



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΛΙΚΩΝ

Εφαρμογές Ρομποτικής στη Χειρουργική Μύθος ή πραγματικότητα;

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρήστος Π. Αγγελόπουλος

Επιβλέπων: Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΛΙΚΩΝ

Εφαρμογές Ρομποτικής στη Χειρουργική Μύθος ή πραγματικότητα;

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρήστος Π. Αγγελόπουλος

Επιβλέπων: Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η Ιουλίου 2009.

.....
Δημήτριος Κουτσούρης
Καθηγητής

.....
Κωνσταντίνα Νικήτα
Καθηγήτρια

.....
Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2009

.....
Χρήστος Π. Αγγελόπουλος

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

Copyright © Χρήστος Π. Αγγελόπουλος, 2009
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Η δεκαετία του 1990 έγινε μάρτυρας της επονομαζόμενης λαπαροσκοπικής επανάστασης, κατά την οποία πολλές επεμβάσεις προσαρμόστηκαν από την παραδοσιακή ανοικτή χειρουργική στην ελάχιστη επεμβατική τεχνική. Οι συντομότερες παραμονές στο νοσοκομείο, ο μειωμένος μετεγχειρητικός πόνος, τα λιγότερα περιστατικά μολύνσεων από τραύμα και τα καλύτερα αισθητικά αποτελέσματα έχουν καταστήσει τις λαπαροσκοπικές επεμβάσεις ως την καθιερωμένη μέθοδο θεραπείας για έναν αριθμό ασθενειών. Τα ευνοϊκά αποτελέσματα ώθησαν τους χειρουργούς να επιχειρήσουν να αναπτύξουν ελάχιστα επεμβατικές τεχνικές για τις περισσότερες χειρουργικές επεμβάσεις. Εντούτοις, πολλές περίπλοκες χειρουργικές διαδικασίες, όπως είναι η παγκρεατεκτομή, αποδείχτηκαν δύσκολες στην εκμάθηση και την εκτέλεσή τους λαπαροσκοπικά εξαιτίας των τεχνικών περιορισμών της λαπαροσκοπικής χειρουργικής, όπως είναι η περιορισμένη δισδιάστατη απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου και η περιορισμένη ευελιξία των κινήσεων.

Από την αρχή του 21^{ου} αιώνα, η εμφάνιση καινοτόμων τεχνολογιών κατέστησε δυνατές περαιτέρω εξελίξεις στην ελάχιστη επεμβατική χειρουργική. Η ρομποτική χειρουργική και η χειρουργική με τηλεπαρουσία διευθέτησαν αποτελεσματικά τους περιορισμούς των λαπαροσκοπικών και θωρακοσκοπικών διαδικασιών, σημειώνοντας με τον τρόπο αυτό επανάσταση στην ελάχιστη επεμβατική χειρουργική. Η ρομποτική τεχνολογία ενδυναμώνει τη χειρουργική μέσω βελτιωμένης ακρίβειας, σταθερότητας και δεξιάτητας. Στις καθοδηγούμενες από εικόνα διαδικασίες, τα ρομπότ χρησιμοποιούν δεδομένα από εικόνες μαγνητικής και αξονικής τομογραφίας για να καθοδηγήσουν τα εργαλεία στη θέση θεραπείας. Οι ελάχιστες επεμβατικές διαδικασίες χρησιμοποιούν ελεγχόμενα από απόσταση ρομπότ που επιτρέπουν στο χειρουργό να εργαστεί μέσα στο σώμα του ασθενούς χωρίς να κάνει μεγάλες τομές.

Τα ρομπότ έχουν εφαρμογές σε πολλές χειρουργικές ειδικότητες. Στη νευροχειρουργική, καθοδηγούμενα από εικόνα ρομπότ μπορούν να κάνουν βιοψία σε περιοχές αλλοίωσης του εγκεφάλου με ελάχιστη ζημιά στον παρακείμενο φυσιολογικό ιστό. Στην ορθοπεδική χειρουργική, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σε επεμβάσεις ρουτίνας για τη διαμόρφωση του μηριαίου οστού ώστε να ταιριάξει ακριβώς με το προσθετικό μέλος σε αντικαταστάσεις ισχίου. Ρομποτικά χειρουργικά συστήματα έχουν επίσης βρει αποδοχή για τη θεραπεία του καρκίνου του προστάτη, τη στεφανιαία παράκαμψη με κλειστό θώρακα και για τη χειρουργική εκπαίδευση και προσομοίωση. Η ρομποτική χειρουργική αναμένεται να συνεχίσει να συμπεριλαμβάνει ένα αυξανόμενο μέρος της χειρουργικής, καθώς τα αποτελέσματα από τη μέχρι σήμερα κλινική εμπειρία είναι αρκετά θετικά. Για το λόγο αυτό, η ρομποτική χειρουργική δεν θα απαιτεί μόνο ειδική εκπαίδευση. Θα αλλάξει επίσης το υπάρχον πρότυπο χειρουργικής εκπαίδευσης και θα αναμορφώσει την καμπύλη εκμάθησης των ειδικευόμενων χειρουργών προσφέροντας νέες λύσεις, όπως οι ρομποτικοί χειρουργικοί προσομοιωτές και η ρομποτική τηλεκαθοδήγηση. Θέματα που αφορούν το υψηλό κόστος απόκτησης και συντήρησης των σύγχρονων ρομποτικών συστημάτων χρήζουν επίσης επίλυσης.

Λέξεις – Κλειδιά

Ρομπότ, ρομποτική χειρουργική, χειρουργικό σύστημα, ελάχιστη επεμβατική χειρουργική, Ντα Βίντσι, Δίας, νευροχειρουργική, ορθοπεδική, ουρολογία, καρδιοχειρουργική, μιτροειδής βαλβίδα, χολοκυστεκτομή, τηλεϊατρική, τηλεχειρουργική

Abstract

The 1990s have witnessed the so-called laparoscopic revolution in which many operations were adapted from the traditional open surgery to the minimal access technique. Shorter hospital stays, reduced postoperative pain, lower incidence of wound infections and better cosmetic outcomes have made laparoscopic operations the standard treatment method for a number of diseases. Favorable results have prompted surgeons to attempt to develop minimally invasive techniques for most surgical interventions. However, many complex surgical procedures, such as pancreatectomy, proved difficult to learn and to perform laparoscopically due to technical limitations inherent in laparoscopic surgery, such as limited 2-dimensional vision of the operative field and limited maneuvering.

Since the beginning of the 21st century, the emergence of innovative technologies made further advances in minimal access surgery possible. Robotic surgery and telepresence surgery effectively addressed the limitations of laparoscopic and thoracoscopic procedures, thus revolutionizing minimal access surgery. Robotic technology is enhancing surgery through improved precision, stability and dexterity. In image-guided procedures, robots use magnetic resonance and computed tomography image data to guide instruments to the treatment site. Minimally invasive procedures use remotely controlled robots that allow the surgeon to work inside the patient's body without making large incisions.

Robots have applications in many surgical specialties. In neurosurgery, image-guided robots can biopsy brain lesions with minimal damage to adjacent physiological tissue. In orthopedic surgery, robots are routinely used to shape the femur to precisely fit prosthetic hip joint replacements. Robotic surgical systems have also found acceptance for the treatment of prostate cancer, closed-chest heart bypass and for surgical training and simulation. Robotic surgery is expected to continue to comprise a growing part of surgery, as the results from up to date clinical experience are quite positive. Thus, robotic surgery will not only require special training; it will also change the existing surgical training pattern and reshape the learning curve of residents by offering new solutions, such as robotic surgical simulators and robotic telementoring. High initial and maintenance cost issues of advanced robotic surgical systems also remain to be addressed.

Keywords

Robot, robotic surgery, surgical system, minimally invasive surgery, Da Vinci, Zeus, neurosurgery, orthopedics, urology, cardiac surgery, mitral valve, cholecystectomy, telemedicine, telesurgery

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Κο Δημήτριο Κουτσούρη και την οικογένειά μου, η βοήθεια και η αμέριστη υποστήριξη των οποίων υπήρξαν ιδιαίτερα πολύτιμες καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Ρομπότ και ρομποτική

1.1 Τι είναι το ρομπότ.....	15
1.2 Οργάνωση και λειτουργία ενός ρομπότ.....	16
1.2.1 Το μηχανικό μέρος του ρομπότ.....	16
1.2.2 Ο ελεγκτής του ρομπότ.....	17
1.2.3 Βαθμοί ελευθερίας του ρομπότ.....	17
1.3 Το χειρουργικό ρομπότ.....	18
1.4 Ιστορική αναδρομή.....	18
1.5 Τα πρώτα εμπορικά συστήματα.....	21
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Εισαγωγή της ρομποτικής στην ιατρική

2.1 Ελάχιστα επεμβατική χειρουργική.....	23
2.1.1 Υποβοηθούμενη από υπολογιστή χειρουργική.....	24
2.1.2 Ρομποτική χειρουργική.....	24
2.2 Που βρισκόμαστε σήμερα;.....	25
2.3 Πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής.....	25
2.4 Μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής.....	26
2.5 Θέματα ασφάλειας.....	29
2.6 Αξιολόγηση των ρομποτικών συστημάτων.....	30
2.6.1 Φάσεις αξιολόγησης.....	30
2.6.2 Κριτήρια αξιολόγησης.....	30
2.7 Εφαρμογές της ρομποτικής χειρουργικής.....	31
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Σημαντικότερα χειρουργικά ρομποτικά συστήματα

3.1 Συστήματα υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων.....	33
3.1.1 Το σύστημα PUMA.....	33
3.1.2 Το σύστημα Probot.....	34
3.1.3 Το σύστημα NeuroMate.....	34
3.1.4 Το σύστημα ROBODOC.....	35
3.1.5 Το σύστημα Minerva.....	37
3.1.6 Το σύστημα Acrobot.....	37
3.1.7 Το σύστημα neuroArm.....	39
3.2 Ρομποτικά συστήματα ενδοσκόπησης.....	40
3.2.1 Το σύστημα AESOP.....	40
3.2.2 Το σύστημα EndoAssist.....	41
3.3 Συστήματα ελέγχου και τηλεσυνεργασίας.....	42
3.3.1 Το σύστημα SOCRATES.....	42
3.3.2 Το σύστημα Hermes.....	42
3.4 Συστήματα ρομποτικής ακτινοχειρουργικής.....	43
3.4.1 Στερεοτακτική ακτινοχειρουργική.....	43
3.4.2 Το σύστημα CyberKnife.....	43
3.5 Ρομποτικά συστήματα τύπου master-slave.....	46
3.5.1 Το χειρουργικό σύστημα Zeus.....	46
3.5.2 Το χειρουργικό σύστημα da Vinci.....	47
3.5.2.1 Η κονσόλα του χειρουργού (Surgeon Console).....	48

3.5.2.2 Ο χειρουργικός πύργος (Surgical Cart).....	48
3.5.2.3 Το σύστημα 3-Δ απεικόνισης InSite (InSite Vision System).....	49
3.5.2.4 Τα χειρουργικά εργαλεία EndoWrist (EndoWrist Instruments).....	49
3.5.2.5 Οι εκδόσεις da Vinci S ^{HD} και da Vinci Si ^{HD}	50
3.5.2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος da Vinci.....	54
3.5.2.7 Κλινικές εφαρμογές του συστήματος da Vinci.....	55
3.6 Η παγκόσμια αγορά των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων.....	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Εφαρμογές της ρομποτικής στην κλινική πρακτική

4.1 Εφαρμογές στη γενική και θωρακική χειρουργική.....	59
4.1.1 Χολοκυστεκτομή.....	59
4.1.2 Διόρθωση γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης.....	60
4.1.3 Αποκατάσταση αχαλασίας οισοφάγου.....	61
4.1.4 Βαριατρική χειρουργική.....	62
4.1.4.1 Ρυθμιζόμενος γαστρικός δακτύλιος.....	62
4.1.4.2 Γαστρική παράκαμψη κατά Roux-en-Y.....	62
4.1.4.3 Επιμήκης γαστρεκτομή.....	63
4.1.5 Χειρουργική στο κόλον και το ορθό.....	64
4.1.5.1 Ρομποτικές επεμβάσεις στο κόλον.....	64
4.1.5.2 Ρομποτικές επεμβάσεις στο ορθό.....	65
4.1.6 Θυμεκτομή.....	65
4.1.7 Άλλες επεμβάσεις.....	66
4.2 Εφαρμογές στην ουρολογία.....	67
4.2.1 Ριζική προστατεκτομή.....	67
4.2.2 Νεφρεκτομή και Νεφρουρητηρεκτομή.....	68
4.2.3 Μερική νεφρεκτομή.....	69
4.2.4 Νεφρεκτομή δότη εν ζωή.....	69
4.2.5 Πυελοπλαστική.....	70
4.2.6 Κυστεκτομή.....	71
4.2.7 Επινεφριδεκτομή.....	71
4.2.8 Διαδερματική πρόσβαση και μεταμόσχευση νεφρού.....	72
4.3 Εφαρμογές στην παιδιατρική.....	73
4.4 Εφαρμογές στη γυναικολογία.....	74
4.4.1 Υστερεκτομή.....	74
4.4.2 Μυωμεκτομή.....	75
4.4.3 Άλλες εφαρμογές στη γυναικολογία.....	76
4.5 Εφαρμογές στην καρδιοχειρουργική.....	77
4.5.1 Αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας.....	77
4.5.2 Καρδιακή επαναγγείωση.....	79
4.5.3 Διόρθωση κολπικού διαφραγματικού ελλείμματος.....	80
4.5.4 Καρδιακός επανασυγχρονισμός.....	81
4.6 Εφαρμογές στη νευροχειρουργική.....	82
4.6.1 Επεμβάσεις εγκεφάλου.....	82
4.6.2 Χειρουργική της σπονδυλικής στήλης.....	86
4.7 Εφαρμογές στην ορθοπαιδική χειρουργική.....	87
4.7.1 Ολική αρθροπλαστική ισχίου.....	87
4.7.1.1 Προετοιμασία του μηριαίου οστού.....	87
4.7.1.2 Τοποθέτηση της κοτυλιαίας κούπας.....	88
4.7.2 Ολική αντικατάσταση γονάτου.....	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών στην Ιατρική

5.1 Τηλεϊατρική.....	93
5.1.1 Εφαρμογές τηλεϊατρικής.....	93
5.1.1.1 Τηλεδιάγνωση & Τηλεσυμβουλευτική.....	93
5.1.1.2 Τηλεακτινολογία.....	94
5.1.1.3 Τηλεκαρδιολογία.....	95
5.1.1.4 Τηλεπαθολογία.....	95
5.1.1.5 Τηλεοφθαλμολογία.....	96
5.1.1.6 Τηλεδερματολογία.....	97
5.1.1.7 Τηλεπερίθαλψη – Τηλεφροντίδα.....	98
5.1.1.8 Τηλεκαθοδήγηση – Τηλεεκπαίδευση.....	99
5.1.1.9 Υποστήριξη διακομιστικών σταθμών.....	100
5.1.2 Πλεονεκτήματα της τηλεϊατρικής.....	100
5.1.2.1 Οφέλη για τον ιατρό.....	101
5.1.2.2 Οφέλη για τον πολίτη.....	102
5.2 Τηλεχειρουργική.....	102
5.2.1 Τηλεχειρουργική με ρομπότ.....	103
5.2.2 Επέμβαση Lindbergh.....	104
5.2.3 Περιορισμοί της τηλεχειρουργικής με ρομπότ.....	105
5.3 Χειρουργική επιμόρφωση και κατάρτιση.....	106
5.4 Εικονική Πραγματικότητα και Ιατρική.....	108
5.4.1 Τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας.....	109
5.4.2 Ανάδραση δύναμης και αφής.....	111
5.4.3 Εφαρμογές στην Ιατρική.....	112
5.5 Νομικά και ηθικά θέματα.....	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	115

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Η ελληνική πραγματικότητα

6.1 Η τηλεϊατρική στην Ελλάδα.....	117
6.1.1 Σημαντικότερα προγράμματα και έργα τηλεϊατρικής.....	117
6.1.1.1 Το Ελληνικό Πρόγραμμα Τηλεϊατρικής.....	118
6.1.1.2 Το πρόγραμμα VSAT.....	118
6.1.1.3 Το πρόγραμμα ΓΑΛΩΣ.....	118
6.1.1.4 Το πρόγραμμα HERMES.....	119
6.1.1.5 Το πρόγραμμα MEDASHIP.....	119
6.1.1.6 Το έργο ΑΣΠΑΣΙΑ.....	120
6.1.1.7 Το πρόγραμμα VODAFONE.....	120
6.1.1.8 Το ερευνητικό έργο ΝΙΚΑ.....	120
6.1.1.9 Τα προγράμματα του I.T.E.....	121
6.1.2 Νόμος περί τηλεϊατρικής.....	122
6.2 Ρομποτική χειρουργική στην Ελλάδα.....	123
6.3 Ρομποτική χειρουργική εκπαίδευση στην Ελλάδα.....	128
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	129

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	131
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	135

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1.1: Τα ρομπότ ως μέρος της επιστημονικής φαντασίας.....	15
Εικόνα 1.2: Σύγχρονα ρομποτικά συστήματα σε διάφορες εφαρμογές.....	16
Εικόνα 1.3: Βαθμοί ελευθερίας ενός ρομπότ.....	17
Εικόνα 1.4: Το σύστημα τηλεπαρουσίας των Rosen και Fischer.....	19
Εικόνα 1.5: Το σύστημα ARTEMIS.....	20
Εικόνα 2.1: Επέμβαση με υποβοήθηση υπολογιστή.....	24
Εικόνα 2.2: Όργανα του ανθρώπινου σώματος στα οποία πραγματοποιούνται σήμερα ρομποτικές χειρουργικές επεμβάσεις.....	32
Εικόνα 3.1: Το σύστημα Puma 200.....	33
Εικόνα 3.2: Επέμβαση προστάτη με το Probot.....	34
Εικόνα 3.3: Το σύστημα NeuroMate.....	35
Εικόνα 3.4: Τα στάδια της χειρουργικής επέμβασης με το ROBODOC.....	36
Εικόνα 3.5: Το σύστημα ROBODOC.....	36
Εικόνα 3.6: Το σύστημα Minerva.....	37
Εικόνα 3.7: Ο Acrobot Navigator.....	38
Εικόνα 3.8: Το σύστημα neuroArm.....	40
Εικόνα 3.9: Το σύστημα AESOP και χειρουργική επέμβαση με αυτό.....	41
Εικόνα 3.10: Το σύστημα EndoAssist.....	41
Εικόνα 3.11: Η πλατφόρμα ελέγχου Hermes.....	43
Εικόνα 3.12: Το σύστημα CyberKnife.....	44
Εικόνα 3.13: Συνολικός αριθμός ασθενών που έχει υποβληθεί σε θεραπεία με το CyberKnife σε παγκόσμια κλίμακα.....	45
Εικόνα 3.14: Χειρουργική επέμβαση με το σύστημα Zeus.....	47
Εικόνα 3.15: Η χειρουργική κονσόλα του συστήματος da Vinci.....	48
Εικόνα 3.16: Ο χειρουργικός πύργος του συστήματος da Vinci.....	48
Εικόνα 3.17: Το σύστημα όρασης του συστήματος da Vinci.....	49
Εικόνα 3.18: Η σειρά χειρουργικών εργαλείων EndoWrist.....	50
Εικόνα 3.19: Το σύστημα τελευταίας γενιάς da Vinci Si ^{HD}	51
Εικόνα 3.20: Αριθμός εγκατεστημένων μονάδων da Vinci στις Ηνωμένες Πολιτείες.....	52
Εικόνα 3.21: Αριθμός εγκατεστημένων μονάδων da Vinci στον Καναδά.....	52
Εικόνα 3.22: Αριθμός εγκατεστημένων μονάδων da Vinci στην Ευρώπη.....	53
Εικόνα 3.23: Αριθμός εγκατεστημένων μονάδων da Vinci στην Ασία.....	53
Εικόνα 3.24: Το σύστημα da Vinci κατά τη διάρκεια χειρουργικής επέμβασης.....	56
Εικόνα 4.1: Ρομποτική χολοκυστεκτομή.....	59
Εικόνα 4.2: Γραφική αναπαράσταση θολοπλαστικής κατά Nissen.....	60
Εικόνα 4.3: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση προστατεκτομής με το da Vinci σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου.....	68
Εικόνα 4.4: Το σύστημα PAKY.....	72
Εικόνα 4.5: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση υστερεκτομής με το da Vinci σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου.....	74
Εικόνα 4.6: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση μυωμεκτομής με το da Vinci σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου.....	75
Εικόνα 4.7: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση ιεροκολποπηξίας με το da Vinci σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου.....	76
Εικόνα 4.8: Σχηματική αναπαράσταση του εσωτερικού της καρδιάς.....	77
Εικόνα 4.9: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση αποκατάστασης μιτροειδούς βαλβίδας με το da Vinci σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου.....	78
Εικόνα 4.10: Αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας με το da Vinci.....	78
Εικόνα 4.11: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση καρδιακής επαναγγείωσης με το da Vinci σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου.....	79

Εικόνα 4.12: Καρδιακή επαναγγείωση με το da Vinci.....	80
Εικόνα 4.13: Γραφική αναπαράσταση ελλείμματος του κοιλιακού διαφράγματος.....	80
Εικόνα 4.14: Σχηματική αναπαράσταση καρδιακού επανασυγχρονισμού.....	81
Εικόνα 4.15: Προεγχειρητικός σχεδιασμός νευροχειρουργικής επέμβασης.....	83
Εικόνα 4.16: Στερεοτακτικό πλαίσιο αναφοράς.....	83
Εικόνα 4.17: Ρομποτικό σύστημα εκτέλεσης βιοψιών.....	84
Εικόνα 4.18: Το σύστημα PathFinder.....	84
Εικόνα 4.19: Εφαρμογή κρανιακής ακτινοθεραπείας με το CyberKnife.....	85
Εικόνα 4.20: Το σύστημα SpineAssist.....	86
Εικόνα 4.21: Εμφύτευμα για αρθροπλαστική ισχίου και χειρουργική επέμβαση με το ROBODOC.....	88
Εικόνα 4.22: Το σύστημα HipNav.....	89
Εικόνα 4.23: Χειρουργική επέμβαση γονάτου με τη βοήθεια του Acrobot.....	90
Εικόνα 5.1: Εφαρμογή τηλεακτινολογίας.....	95
Εικόνα 5.2: Εφαρμογή τηλεκαρδιολογίας.....	95
Εικόνα 5.3: Δίκτυο υποστήριξης εφαρμογών τηλεπαθολογίας.....	96
Εικόνα 5.4: Εφαρμογή τηλεδερματολογίας.....	97
Εικόνα 5.5: Αρχιτεκτονική ενός συστήματος τηλεφροντίδας.....	99
Εικόνα 5.6: Η επέμβαση Lindbergh σε εξέλιξη.....	104
Εικόνα 5.7: Χειρουργική εκπαίδευση με τη βοήθεια εικονικών μοντέλων προσομοίωσης.....	107
Εικόνα 5.8: Χειρουργική εκπαίδευση από απόσταση.....	108
Εικόνα 5.9: Τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας.....	110
Εικόνα 5.10: Μία οθόνη κεφαλής (HMD).....	110
Εικόνα 5.11: Συσκευές απτικής ανάδρασης της σειράς PHANTOM.....	112
Εικόνα 5.12: Πειραματικές διατάξεις για ανάδραση αφής στα δάχτυλα του χεριού και σε χειρουργικό εργαλείο.....	112
Εικόνα 6.1: Το πρόγραμμα τηλεϊατρικής HERMES στην Ελλάδα.....	119
Εικόνα 6.2: Εφαρμογή του προγράμματος τηλεϊατρικής MEDASHIP.....	120
Εικόνα 6.3: Το πρόγραμμα HYGEIAnet στην Περιφέρεια Κρήτης.....	122
Εικόνα 6.4: Μονάδες Υγείας στην Ελλάδα όπου λειτουργούν εφαρμογές τηλεϊατρικής.....	122
Εικόνα 6.5: Εγκαίνια στο Ιατρικό Κέντρο Αθηνών του πρώτου ρομποτικού συστήματος da Vinci στην Ελλάδα.....	124
Εικόνα 6.6: Το ρομποτικό σύστημα da Vinci του Γενικού Λαϊκού Νοσοκομείου Αθηνών.....	126
Εικόνα 7.1: Το σύστημα LSTAT και μία αναπαράσταση της χειρουργικής αίθουσας του μέλλοντος..	133
Εικόνα 7.2: Γραφική αναπαράσταση ενός νανορομπότ.....	133
Εικόνα 7.3: Ένα ρομπότ MEMS.....	134
Εικόνα 7.4: Ένα μικροσκοπικό ρομπότ.....	134
Εικόνα 7.5: Το “χάπι” ενδοσκοπησης.....	135

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής σε σύγκριση με τη συμβατική λαπαροσκοπική μέθοδο.....	27
Πίνακας 2.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής σε σύγκριση με την κλασική ανοικτή χειρουργική.....	28
Πίνακας 2.3: Χειρουργικές επεμβάσεις που γίνονται σήμερα ρομποτικά.....	31
Πίνακας 3.1: Διάφορα κόστη που σχετίζονται με τη χρήση του συστήματος da Vinci.....	54
Πίνακας 3.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος da Vinci.....	55
Πίνακας 3.3: Εγκρίσεις που έχει λάβει το σύστημα da Vinci.....	55
Πίνακας 3.4: Επεμβάσεις που εκτελούνται με το ρομποτικό σύστημα da Vinci.....	56
Πίνακας 3.5: Η παγκόσμια αγορά των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων.....	57
Πίνακας 4.1: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις διόρθωσης της ΓΟΠ.....	61
Πίνακας 4.2: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις τοποθέτησης γαστρ. δακτυλίου.....	62
Πίνακας 4.3: Συγκριτικά στοιχεία μεταξύ συμβατικών λαπαροσκοπικών και ρομποτικών επεμβάσεων γαστρικής παράκαμψης κατά Roux-en-Y.....	63
Πίνακας 4.4: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις νεφρεκτομής.....	68
Πίνακας 4.5: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις μερικής νεφρεκτομής.....	69
Πίνακας 4.6: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις νεφρεκτομής δότη εν ζωή.....	70
Πίνακας 4.7: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις πυελοπλαστικής.....	70
Πίνακας 4.8: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις επινεφριδεκτομής.....	71
Πίνακας 5.1: Εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας στην ιατρική.....	113
Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα σημαντικότερων ρομποτικών επεμβάσεων στο Ιατρικό Κέντρο Αθηνών κατά τα δύο πρώτα χρόνια λειτουργίας του συστήματος da Vinci.....	124
Πίνακας 6.2: Σημαντικότερες επεμβάσεις ρομποτικής χειρουργικής στο Δ.Θ.Κ.Α “Υγεία”.....	125
Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα επεμβάσεων ριζικής προστατεκτομής στο “Λαϊκό”.....	127
Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα επεμβάσεων αποκατάστασης μιτροειδούς βαλβίδας στο “Λαϊκό”.....	127
Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα επεμβάσεων γενικής χειρουργικής στο “Λαϊκό”.....	128

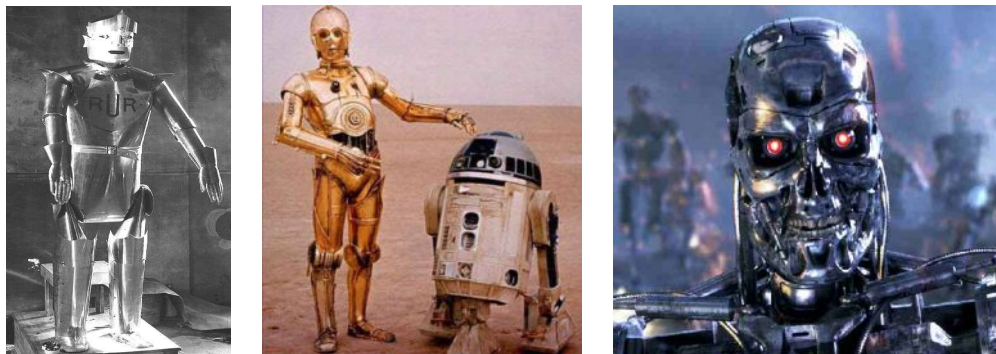
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ρομπότ και ρομποτική

1.1 Τι είναι το ρομπότ

Η λέξη *ρομπότ* (*robot*), γέννημα του 20^{ου} αιώνα, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1921 στο θεατρικό έργο *Rosumovi Universalni Roboti* (*Rossum's Universal Robots* ή *R.U.R.*) του Τσέχου θεατρικού συγγραφέα Karel Capek, ο οποίος την παρήγαγε από την τσεχική λέξη *robot* που σημαίνει “καταναγκαστική εργασία”, κοινώς “αγγαρεία”. Για περίπου 75 χρόνια τα ρομπότ αποτελούσαν μέρος της επιστημονικής φαντασίας. Οι περιγραφές τους εκτεινόταν από εκείνες μίας “χαζής” μηχανής, ικανής να εκτελέσει απλές, μονότονες εργασίες, μέχρι τα ανθρωπόμορφα ρομπότ που περιγράφονται στα κλασικά βιβλία επιστημονικής φαντασίας του Isaac Asimov μεταξύ 1938 και 1942 και τα γνωστά σε όλους R2D2 και C3PO από την κινηματογραφική επιτυχία *Star Wars* στα τέλη της δεκαετίας του '70. Στον Asimov άλλωστε αποδίδεται και ένα σημαντικό μέρος της δημοτικότητας που απέκτησαν τα ρομπότ, εξαιτίας κυρίως των τριών περίφημων ηθικών νόμων που διατύπωσε αυτός στις αρχές της δεκαετίας του '50 και οι οποίοι καθόριζαν τη συμπεριφορά τους:

1. Ένα ρομπότ δεν επιτρέπεται να κάνει κακό σε ανθρώπινη ύπαρξη ή να αφήσει να πάθει κάτι με την αδράνειά του
2. Ένα ρομπότ πρέπει να υπακούει στις οδηγίες των ανθρώπων, εκτός και αν αυτές έρχονται σε αντίθεση με τον πρώτο νόμο
3. Ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ύπαρξή του, όσο αυτό δεν έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο ή δεύτερο νόμο



Εικ. 1.1: Τα ρομπότ ως μέρος της επιστημονικής φαντασίας

Έκτοτε, τα ρομπότ άρχισαν να ξεφεύγουν από τη σφαίρα της ανθρώπινης φαντασίας και να γίνονται σταδιακά μέρος της πραγματικότητας. Με τη μορφή προγραμματιζόμενων μηχανισμών τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σήμερα σε πληθώρα επιστημονικών και βιομηχανικών εφαρμογών ως υποκατάστατα του ανθρώπου στην εκτέλεση λεπτών χειρωνακτικών χειρισμών σε επικίνδυνα αντικείμενα ή σε αφιλόξενους για αυτόν χώρους. Από τις ακριβείς, επαναλαμβανόμενες εργασίες στη βιομηχανία (συναρμολόγηση αυτοκινήτων, κατασκευή μικροεπεξεργαστών κ.λ.π.) και την εξερεύνηση του βυθού και του διαστήματος μέχρι την επεξεργασία των επικίνδυνων αποβλήτων στους πυρηνικούς αντιδραστήρες και την εκτέλεση λεπτών χειρουργικών επεμβάσεων στα νοσοκομεία, τα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα έχουν καταφέρει να κερδίσουν υψηλή αναγνωρισιμότητα χάρη στη λειτουργικότητα για την οποία έχουν σχεδιαστεί.

Σύμφωνα με έναν αρχικό ορισμό που είχε δώσει το Ινστιτούτο Ρομποτικής του Πανεπιστημίου Carnegie Mellon στις Η.Π.Α.:

“Ρομπότ είναι ένας επαναπρογραμματιζόμενος χειριστής πολλαπλών λειτουργιών ειδικά σχεδιασμένος για να κινεί υλικά, εργαλεία ή εξειδικευμένες συσκευές μέσω προγραμματισμένων κινήσεων για την επίτευξη διάφορων εργασιών”

Θεμέλια της ρομποτικής τεχνολογίας – νεοσύστατου κλάδου της τεχνολογίας του αυτοματισμού που ασχολείται με τη μελέτη και ανάπτυξη των ρομπότ – αποτελούν ο ψηφιακός έλεγχος (μέθοδος προγραμματισμού εργαλειομηχανών για την εκτέλεση περίπλοκων κατεργασιών) και η τηλεχειρική (η χρήση δηλαδή μηχανικών βραχιόνων για την εκτέλεση χειρωνακτικών εργασιών από απόσταση).^{[1],[2]}



Εικ. 1.2: Σύγχρονα ρομποτικά συστήματα σε διάφορες εφαρμογές

1.2 Οργάνωση και λειτουργία ενός ρομπότ

Ένα απλό, κλασικό ρομποτικό σύστημα αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία, το μηχανικό μέρος και τον ελεγκτή του. Ακολούθως περιγράφονται αναλυτικότερα τα δύο αυτά στοιχεία και δίνεται ο ορισμός των βαθμών ελευθερίας ενός ρομπότ.

1.2.1 Το μηχανικό μέρος του ρομπότ

Το μηχανικό μέρος ενός ρομπότ περιλαμβάνει το σύνολο των βραχιόνων του. Ανάλογα με την εργασία για την οποία έχει σχεδιαστεί, ένα ρομποτικό σύστημα μπορεί να διαθέτει έναν ή περισσότερους βραχιόνες. Σε κάθε περίπτωση πάντως, κάθε βραχίονας αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

- **Βάση:** Η βάση είναι στερεωμένη στο περιβάλλον εργασίας του ρομπότ και σε αυτήν συνδέεται μία αλυσίδα συνδέσμων και αρθρώσεων που καταλήγει στο εργαλείο δράσης.
- **Συνδέσμοι:** Οι σύνδεσμοι είναι στερεά, μεταλλικά συνήθως σώματα και συγκροτούν το σκελετό του ρομποτικού συστήματος.
- **Αρθρώσεις:** Οι αρθρώσεις είναι μηχανισμοί που επιτρέπουν τη σχετική κίνηση μεταξύ των συνδέσμων. Δύο κύριες κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται αυτές είναι οι *στροφικές* και οι *πρισματικές*. Οι στροφικές αρθρώσεις επιτρέπουν σχετική στροφή μεταξύ δύο συνδέσμων, ενώ οι πρισματικές τη σχετική μετατόπιση – σε ευθεία γραμμή – ανάμεσα σε δύο γειτονικούς συνδέσμους.
- **Κινητήρες:** Είναι φανερό ότι κάθε άρθρωση χρειάζεται και από έναν κινητήρα. Ο κινητήρας μπορεί να είναι ηλεκτρικός, υδραυλικός ή πνευματικός.
- **Αισθητήρες:** Για τον έλεγχο της θέσης του ρομπότ απαιτούνται πληροφορίες για τη θέση και την ταχύτητα κάθε άρθρωσης ξεχωριστά. Για τη συλλογή αυτών των πληροφοριών χρησιμοποιούνται

διάφοροι τύποι αισθητήρων, από απλά ποτενσιόμετρα και ταχύμετρα μέχρι ψηφιακοί οπτικοί κωδικοποιητές θέσης (encoders).

- **Εργαλείο δράσης:** Κάθε βραχίονας του ρομποτικού συστήματος έχει προσαρμοσμένο στο τελικό του άκρο ένα μηχανικό εξάρτημα κατάλληλα σχεδιασμένο για την εκτέλεση της εργασίας για την οποία έχει προγραμματιστεί το συγκεκριμένο σύστημα. Έτσι, ένα εργαλείο δράσης μπορεί να ποικίλλει από μία αρπάγη για τη μεταφορά αντικειμένων, έναν βιομηχανικό συγκολλητή μετάλλων μέχρι ένα λεπτό χειρουργικό εργαλείο.

1.2.2 Ο ελεγκτής του ρομπότ

Ο ελεγκτής είναι η ηλεκτρονική εκείνη μονάδα που μας δίνει τη δυνατότητα να προγραμματίσουμε το ρομπότ και η οποία στη συνέχεια ελέγχει την κίνησή του καθόλη τη διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας του. Ο ελεγκτής αποτελείται από:

- **Ηλεκτρονικά (Hardware):** Στη συνηθέστερη περίπτωση περιλαμβάνουν έναν υπολογιστή, στον οποίο αποθηκεύεται το πρόγραμμα που θα εκτελεστεί, τα ηλεκτρονικά επικοινωνίας μεταξύ του ελεγκτή, του μηχανικού μέρους και του εξωτερικού περιβάλλοντος του ρομποτικού συστήματος (interface), και τους ενισχυτές ισχύος που ενισχύουν τα σήματα ελέγχου στο επίπεδο που απαιτείται ώστε οι κινητήρες να κινούν τις αρθρώσεις.
- **Λογισμικό (Software):** Το λογισμικό είναι υπεύθυνο κυρίως για τη δημιουργία των κατάλληλων σημάτων ελέγχου, σύμφωνα με κάποιον αλγόριθμο, λαμβάνοντας υπ' όψιν διάφορες μεταβλητές όπως π.χ. το φορτίο, τη θέση και την ταχύτητα του ρομπότ. Το λογισμικό μπορεί να περιλαμβάνει επίσης και διάφορα βοηθητικά προγράμματα για τον προγραμματισμό του ρομπότ, τον έλεγχο της λειτουργίας του και την ενημέρωση του χρήστη με διαγνωστικά μηνύματα.

1.2.3 Βαθμοί ελευθερίας του ρομπότ

Σύμφωνα με τον ορισμό, βαθμός ελευθερίας (Degree Of Freedom-DOF) ονομάζεται ο αριθμός των ανεξάρτητων παραμέτρων που προσδιορίζουν τη θέση ενός σώματος στο χώρο. Οι βαθμοί ελευθερίας αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε ρομποτικού βραχίονα και κατ'επέκταση του ρομποτικού συστήματος. Σε γενικές γραμμές οι βαθμοί αυτοί δηλώνουν πόσο ευκίνητο είναι ένα ρομπότ στο χώρο. Κάθε ανεξάρτητη κινούμενη άρθρωση προσθέτει συνήθως έναν βαθμό ελευθερίας στο ρομπότ.

Για να περιγράψουμε τη θέση ενός στερεού σώματος στο χώρο με ακρίβεια χρειάζονται συνολικά έξι μεταβλητές, τρεις για τη θέση του και άλλες τρεις για τον προσανατολισμό του. Συνεπώς, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, για την κίνηση ενός ρομποτικού συστήματος οπουδήποτε μέσα στον χώρο και με οποιονδήποτε προσανατολισμό πρέπει αυτό να διαθέτει τουλάχιστον έξι βαθμούς ελευθερίας. Στα βιομηχανικά ρομπότ σπάνια συναντάμε περισσότερους από έξι βαθμούς, αφού και μεν θα βελτιωνόταν η ευελιξία τους αλλά θα γινόταν πιο περίπλοκος ο αλγόριθμος ελέγχου τους χωρίς να επεκτείνεται ο χώρος δράσης τους. Ο ανθρώπινος βραχίονας υπολογίζεται ότι έχει επτά βαθμούς ελευθερίας.^[3]



Εικ. 1.3: Βαθμοί ελευθερίας ενός ρομπότ

1.3 Το χειρουργικό ρομπότ

Το ρομπότ είναι μία σύνθετη μηχανική κατασκευή που έχει θεωρητικά τη δυνατότητα να εκτελεί κινήσεις αλληλεπιδρώντας σε πραγματικό χρόνο με το περιβάλλον. Στη σχεδιαστική του θεώρηση το ρομπότ είναι εφοδιασμένο με αισθητήρες που συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τη θέση του και την κατάσταση του περιβάλλοντος χώρου, ώστε στη συνέχεια να μπορεί να υπολογίζει με τη βοήθεια του υπολογιστή τις νέες του κινήσεις. Από θεωρητική άποψη, εφόσον αυτό εφοδιαστεί με το κατάλληλο λογισμικό, έχει τη δυνατότητα να εκτελέσει ακόμα και μία χειρουργική επέμβαση.

Το χειρουργικό ρομπότ αποτελεί μία αυτοτροφοδοτούμενη και ελεγχόμενη από υπολογιστή συσκευή ειδικά προγραμματισμένη να βοηθάει στην εστίαση και τον χειρισμό των χειρουργικών οργάνων, επιτρέποντας έτσι στο χειρουργό να εκτελεί πιο περίπλοκες επεμβάσεις. Η πρώτη γενιά χειρουργικών ρομπότ χρησιμοποιείται ήδη σε αρκετά νοσοκομεία σε όλο τον κόσμο. Δεν πρόκειται φυσικά για αυτόνομα ρομπότ που μπορούν να εκτελούν επεμβάσεις μόνα τους, αλλά για μηχανικά βοηθήματα των χειρουργών. Τα ρομποτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στη χειρουργική δε δρουν ανεξάρτητα από αυτούς αλλά ούτε τους αντικαθιστούν. Αποτελούν επέκταση των χειρουργών και είναι απόλυτα καθοδηγούμενα από αυτούς, οπότε και μπορούμε να μιλάμε για μία σχέση τύπου *αφέντη-σκλάβου* (master-slave) ανάμεσά τους. Κάθε σύστημα αφέντη-σκλάβου αποτελείται από δύο βασικά μέρη, την κονσόλα-αφέντη του χειρουργού και τους ρομποτικούς βραχίονες-σκλάβους, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τη βοήθεια καλωδίων δεδομένων κι ενός υπολογιστή.

Η κονσόλα αποτελεί ουσιαστικά τη διασύνδεση του χειρουργού με το ρομποτικό σύστημα. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής υπεισέρχεται ανάμεσα στον ασθενή και το χειρουργό προσφέροντας ανεκτίμητες πληροφορίες στον ιατρό και διευκολύνοντας σημαντικά το έργο του. Μέσω ψηφιακής ανάλυσης, το ρομποτικό σύστημα προσφέρει ακριβέστατη τρισδιάστατη και μεγενθυμένη εικόνα στο χειρουργό και ουσιαστικά καθίσταται αρωγός του ιατρού για το μέγιστο όφελος του ασθενούς.

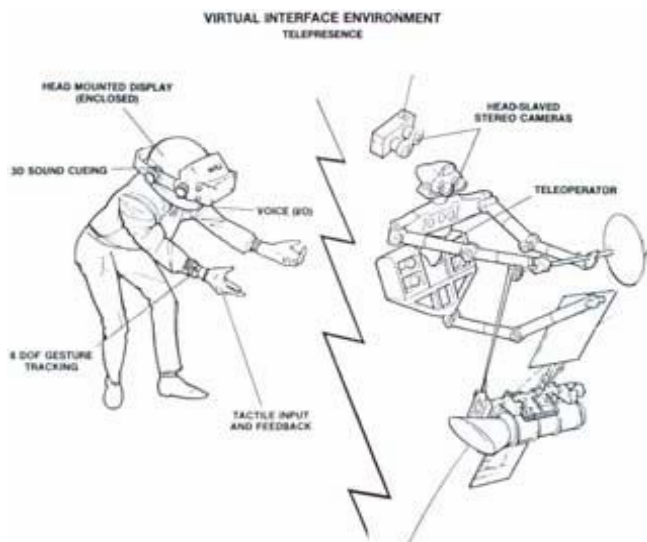
Οι εντολές που δίνει ο χειρουργός μέσω των μοχλών μεταφέρονται ταυτόχρονα ψηφιακά, και με θαυμαστή ακρίβεια, στους αρθρωτούς χειρουργικούς βραχίονες-σκλάβους του ρομπότ οι οποίοι εκτελούν τις κινήσεις στο πεδίο της εγχείρησης. Οι κινήσεις των βραχιόνων του ρομπότ ελέγχονται εκατό τοις εκατό από τον χειρουργό, ο οποίος πρέπει να είναι ειδικά εκπαιδευμένος στη χρήση του ρομποτικού συστήματος.^[4]

1.4 Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία της ρομποτικής χειρουργικής αρχίζει ουσιαστικά με τη χρήση του Puma 560, ενός ρομπότ που χρησιμοποιήθηκε από τον Kwoh το 1985 για την καθοδήγηση μίας βελόνας με μεγάλη ακρίβεια κατά τη διάρκεια νευροχειρουργικής βιοψίας με καθοδήγηση CT (computed tomography). Πολλές από τις πρώτες ιδέες όμως γύρω από την εφαρμογή της ρομποτικής τεχνολογίας στο πεδίο των χειρουργικών επεμβάσεων ανήκουν στον Dr. Scott Fisher, ερευνητή στο κέντρο ερευνών Ames της NASA, και τον Joseph Rosen, πλαστικό χειρουργό από το πανεπιστήμιο Stanford, από τα μέσα έως τα τέλη της δεκαετίας του '80. Την εποχή εκείνη, η ομάδα του κέντρου ερευνών Ames εργαζόταν πάνω σε εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας υπό την καθοδήγηση των Dr. Michael McGreevy και Steve Ellis. Ήταν μία συλλογική προσπάθεια για την εξεύρεση ενός τρόπου επίδειξης του τεράστιου όγκου δεδομένων που είχαν συλλεγεί από αποστολές εξερεύνησης της NASA.

Οι Fisher και Rosen αρχικά υιοθέτησαν και στη συνέχεια ολοκλήρωσαν τις νέες αυτές ιδέες της εικονικής πραγματικότητας, εφαρμόζοντάς τες στη χειρουργική ρομποτική. Ανέπτυξαν έτσι ως πρώτο τους σχέδιο τη λεγόμενη *χειρουργική επέμβαση με τηλεπαρουσία* (telepresence surgery), χρησιμοποιώντας το DataGlove ως μέθοδο μετατόπισης ρομποτικών βραχιόνων από απόσταση. Εξαιτίας όμως της έλλειψης σημαντικής πείρας στον τομέα της ρομποτικής από την ερευνητική ομάδα του Ames, οι Fisher και Rosen απευθύνθηκαν στον Dr. Phil Green, επικεφαλής του τμήματος εμβιομηχανικής στο Ινστιτούτο Ερευνών του Stanford (Stanford Research Institute – SRI), ο οποίος εργαζόταν μαζί με άλλους ειδικούς πάνω στην τεχνολογία του ανθρώπινου interface και τον αναδυόμενο τομέα της εικονικής πραγματικότητας. Με την εισαγωγή των κλινικών δεδομένων από τον Rosen,

αναπτύχθηκε ένας εξαιρετικά επιδέξιος τηλεχειριστής (telem manipulator) με σκοπό την παροχή βοήθειας σε χειρουργικές επεμβάσεις αναστόμωσης αγγείων και νεύρων του χεριού. Ο σχεδιασμός του interface ήταν τέτοιος που έδινε στο χειρουργό την αίσθηση ότι δρούσε άμεσα πάνω σε ένα αντικείμενο το οποίο βρισκόταν μπροστά στα μάτια του, αλλά το οποίο στην πραγματικότητα βρισκόταν στην άλλη πλευρά του δωματίου.



Εικ. 1.4: Το σύστημα τηλεπαρουσίας των Rosen και Fischer

Τη διετία 1988-89 αναπτυσσόταν παράλληλα στο μέτωπο των χειρουργικών επεμβάσεων η επαναστατική μέθοδος της λαπαροσκοπικής χολοκυστεκτομής, που αποτελούσε μία καινούργια προσέγγιση στην καθιερωμένη για πάνω από έναν αιώνα μέθοδο για τη θεραπεία της χολολιθίασης. Ο Jacques Perrisat, MD του πανεπιστημίου Bordeaux στη Γαλλία, παρουσίασε στην ετήσια συνεδρίαση της SAGES (Society of American Gastrointestinal Endoscopic Surgeons) μία βιντεοταινία από μία επέμβαση λαπαροσκοπικής χολοκυστεκτομής. Το τεχνολογικό επίτευγμα που απελευθέρωσε τη λαπαροσκόπηση από τα χέρια του ενός και επέτρεψε τη λειτουργία της χειρουργικής ομάδας ως σύνολο ήταν η εφεύρεση της βιντεοκάμερας λίγο νωρίτερα, το 1986. Έναν χρόνο αργότερα, ο Ph. Mouret ολοκληρώνει την πρώτη λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή κατά τη διάρκεια γυναικολογικής επέμβασης. Η επίδραση της λαπαροσκόπησης στα κύρια ρεύματα της χειρουργικής κοινότητας ήταν σημαντική, γεγονός που οδήγησε σε έκρηξη των επεμβάσεων χολοκυστεκτομής με τη μέθοδο της λαπαροσκοπικής χειρουργικής σε όλη τη Δυτική Ευρώπη και την Αμερική. Μετά τη χολοκυστεκτομή και άλλες επεμβάσεις αρχίζουν να εκτελούνται σταδιακά με τη μέθοδο της λαπαροσκοπικής χειρουργικής, χάρις κυρίως στη μεγάλη πρόοδο που σημειώνει ο τομέας των ενδοσκοπήσεων και των ιατρικών μηχανημάτων.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90, μία ανεξάρτητη προσπάθεια των Dr. Har Paul, DVM και William Barger, MD (ορθοπεδικού χειρουργού) οδήγησε σε συνεργασία με τον Russell Taylor, ερευνητή του κέντρου ερευνών T. J. Watson της IBM, για την ανάπτυξη ενός ρομποτικού συστήματος, βασισμένου στο βραχίονα Puma της IBM, για τη χειρουργική επέμβαση αντικατάστασης ισχίων. Η ρομποτική συσκευή που αναπτύχθηκε ονομάστηκε Robodoc, παρείχε μεγαλύτερη ακρίβεια από την αντίστοιχη χειροκίνητη συσκευή (96 έναντι 75 τοις εκατό) και μετά τις κλινικές δοκιμές έγινε εμπορικό προϊόν. Αργότερα και άλλοι ορθοπεδικοί χειρουργοί αναπτύσσουν και άλλα συστήματα για την αντικατάσταση γόνατος και ισχίων (όπως είναι π.χ. το HipNav από τον Dr. Anthony DiGioia, MD).

Την ίδια χρονική περίοδο στην Ευρώπη δύο διαφορετικές ομάδες προχωρούσαν στην ανάπτυξη των δικών τους πρωτότυπων χειρουργικών ρομποτικών συστημάτων. Ο Sir John Wickham, MD (ουρολόγος) και ο Brian Davies, PhD του Guy's Hospital του Λονδίνου σχεδίασαν ένα σύστημα για την παροχή

βοήθειας σε επεμβάσεις διουρηθρικής προστατεκτομής. Το σύστημα αυτό, το οποίο αργότερα ονομάστηκε Probot, ήταν μηχανικά περιορισμένο, καθώς χρησιμοποιούσε έναν ρομποτικό βραχίονα παρόμοιο με το Puma και το Robodoc. Για την ασφάλεια του ασθενούς, εντούτοις, το σύστημα ήταν εξοπλισμένο με ένα μεγάλο μεταλλικό δαχτυλίδι μέσω του οποίου διερχόταν το όργανο οπισθοτομίας, αποτρέποντας έτσι την κίνηση του ρομποτικού βραχίονα έξω από την περιοχή του προστάτη.

Μία δεύτερη προσπάθεια στην Ευρώπη εκείνη την περίοδο προήλθε από τη συνεργασία του Hermann Rinnsland, PhD από το Κέντρο Ερευνών της Καρλσρούης (Forschungszentrum Karlsruhe) με τον Gerhard Buess, MD του πανεπιστημίου του Tübingen στη Γερμανία. Η προσπάθειά τους κατέληξε στην ανάπτυξη του συστήματος ARTEMIS (Advanced Robot and Telemanipulator System for Minimally Invasive Surgery), ενός συστήματος παρόμοιου με εκείνο του SRI αλλά και με σημαντικές διαφορές, ειδικά στον τερματικό σταθμό του χειριστή. Το σύστημα αυτό, αν και αποδείχθηκε αρκετά επιδέξιο και αποδοτικό, απείχε αρκετά από την εμπορική εκμετάλλευση εξαιτίας προβλημάτων στη χρηματοδότηση του Κέντρου Ερευνών της Καρλσρούης.



Εικ. 1.5: Το σύστημα ARTEMIS

Όλα τα παραπάνω συστήματα αποτελούσαν την αιχμή του δόρατος στη ρομποτική χειρουργική μέχρι το 1993 περίπου. Τα επόμενα έτη, και έως το 1999, οι στρατιωτικοί της Υπηρεσίας Προηγμένων Προγραμμάτων Έρευνας για την Άμυνα των Η.Π.Α. (Defense Advanced Research Projects Agency - DARPA) άρχισαν να επιδεικνύουν μεγάλο ενδιαφέρον για το σύστημα χειρουργικής με τηλεπαρουσία των Fisher και Rosen. Τον Ιούλιο του 1992, ο Richard Satava, MD και ο Donald Jenkins, PhD του Borden Institute of Walter Reed Army Medical Center κλήθηκαν να αρχίσουν για λογαριασμό της Υπηρεσίας αυτής ένα πρόγραμμα προηγμένων βιοϊατρικών τεχνολογιών με χρήση αισθητήρων, ρομποτικής, τηλεϊατρικής και εικονικής πραγματικότητας.

Κατά τη διάρκεια των επόμενων επτά χρόνων χρηματοδοτήθηκε μία πλειονότητα προγραμμάτων πάνω στη χειρουργική με τηλεπαρουσία και τη ρομποτική χειρουργική. Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους ήταν να εφαρμοστεί η μέθοδος των Fisher και Rosen στο πεδίο της μάχης, δηλαδή η δυνατότητα παροχής χειρουργικής φροντίδας σε έναν βαριά πληγωμένο στρατιώτη πριν καν ακόμη αυτός μεταφερθεί πίσω στην πλησιέστερη κινητή χειρουργική μονάδα (Mobile Advanced Surgical Hospital – MASH). Οι ρομποτικοί βραχίονες θα τοποθετούνταν πάνω σε ένα κινούμενο όχημα με την ονομασία MEDFAST (Medical Forward Advanced Surgical Treatment). Εάν ένας στρατιώτης πληγωνόταν βαριά ο βοηθός ιατρός θα τον τοποθετούσε στο MEDFAST και ο χειρουργός θα μπορούσε από την τηλεχειρουργική μονάδα πίσω στο MASH να προβεί στις κατάλληλες χειρουργικές ενέργειες ώστε να σταματήσει την αιμορραγία του, πριν χαθεί έτσι πολύτιμος χρόνος κατά τη μεταφορά του στρατιώτη εκεί.

Μία στρατιωτική δοκιμή που διεξήχθη το 1996 υπό τη διεύθυνση του SRI απέδειξε ότι μία τέτοιου είδους επέμβαση θα μπορούσε να εκτελεστεί με επιτυχία ακόμη και σε απόσταση πέντε χιλιομέτρων μακριά, με τη βοήθεια μίας μικροκυματικής ζεύξης μεταξύ της μονάδας MASH και του MEDFAST. Ωστόσο, αν και η επίδειξη στέφθηκε με απόλυτη επιτυχία, το σύστημα δεν έχει τεθεί ακόμα σε εφαρμογή κυρίως λόγω της μεταμόρφωσης του πεδίου μάχης της δεκαετίας του '90 από συμβατικό,

ανοικτό πεδίο σε πεδίο περιορισμένης έκτασης (π.χ. στα όρια μιας αστικής συνοικίας), το οποίο δεν ταιριάζει στη φιλοσοφία του MEDFAST.

Ένας σημαντικός αριθμός από άλλες ρομποτικές χειρουργικές εφαρμογές αναπτυσσόταν την ίδια περίοδο από την DARPA για την εξεύρεση λύσεων σε δύσκολα τεχνικά θέματα, όπως ήταν για παράδειγμα το πρόβλημα της καθυστέρησης του ηλεκτρονικού σήματος ή η αίσθηση της αφής. Με την πάροδο του χρόνου εμφανίστηκαν διάφορες προτάσεις για τη βελτίωση της καθυστέρησης του χρόνου ανατροφοδότησης. Η ομάδα των Kenneth Salisbury, PhD, Mark Raibert, PhD και Robert Playter, PhD, ερευνητών στο εργαστήριο ρομποτικής και τεχνητής νοημοσύνης του MIT, εργαζόταν υπό την καθοδήγηση του Rodney Brooks, PhD πάνω σε ένα σύστημα απτικής (αίσθησης της αφής). Η συλλογική αυτή προσπάθεια κατέληξε στην ανάπτυξη ενός ακριβούς συστήματος ανατροφοδότησης δύναμης (force feedback) που κυκλοφόρησε με την εμπορική ονομασία “The Phantom” και το οποίο καθιερώθηκε τελικά ως βιομηχανικό πρότυπο για την παροχή “αίσθησης” της αφής σε εικονικά περιβάλλοντα.^[5]

1.5 Τα πρώτα εμπορικά συστήματα

Το πρώτο ρομποτικό σύστημα που ακολούθησε το δρόμο προς την εμπορευματοποίηση ήταν το Robodoc (1992-1993 περίπου) της εταιρείας Integrated Surgical Systems Ltd. με έδρα το Sacramento στην Καλιφόρνια. Ήταν ένα σύστημα σχεδιασμένο για επεμβάσεις αντικατάστασης ισχίου όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Διακρινόταν για τη μεγάλη του ακρίβεια και την εξαιρετική του απόδοση.

Ο Yulun Wang, PhD, αρχικά με χρηματοδότηση πόρων από τη DARPA, ξεκίνησε την ανάπτυξη του AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning) στην τότε νεοϊδρυθείσα εταιρεία του, την Computer Motion Inc. με έδρα τη Santa Barbara στην Καλιφόρνια. Το συγκεκριμένο σύστημα ήταν ένας ρομποτικός βραχίονας που ελεγχόταν μέσω των φωνητικών εντολών του χειρουργού για τον χειρισμό της ενδοσκοπικής κάμερας. Το σύστημα AESOP έχει λάβει την έγκριση της Διεύθυνσης Τροφίμων και Φαρμάκων των Η.Π.Α. (Food and Drug Administration – FDA).

Ενώ οι πωλήσεις του συστήματος AESOP συνεχώς αυξάνονταν, καθώς αυτό γινόταν ολοένα και πιο αποδεκτό από τη χειρουργική κοινότητα, ο Fredrick Moll, MD προέβη στην αγορά των πνευματικών δικαιωμάτων του συστήματος Green Telepresence Surgery του SRI και μαζί με τους Robert Younge και John Freund, MD ίδρυσε την εταιρεία Intuitive Surgical Inc. με έδρα το Sunnyvale στην Καλιφόρνια. Αφού το σύστημα αυτό υποβλήθηκε σε προσεκτικό και εκτεταμένο επανασχεδιασμό κυκλοφόρησε με την εμπορική ονομασία da Vinci Surgical System.

Το σύστημα da Vinci χρησιμοποιεί στερεοσκοπικές εικόνες οι οποίες προβάλλονται ακριβώς πάνω από τα χέρια του χειρουργού, δίνοντάς του έτσι την εντύπωση ότι βρίσκεται επάνω ακριβώς από τον ασθενή. Το da Vinci έγινε το πρώτο ρομποτικό χειρουργικό σύστημα που μπορούσε να χρησιμοποιήσει εργαλεία με έναν επιπρόσθετο βαθμό ελευθερίας. Το σύστημα αυτό έχει λάβει την έγκριση της FDA από το 1997 ενώ η πρώτη χειρουργική επέμβαση με αυτό πραγματοποιήθηκε τον ίδιο χρόνο στις Βρυξέλλες από τους Jacques Himpens, MD και Guy Cardier, MD.

Μέσα σε έναν χρόνο η εταιρεία Computer Motion Inc. κυκλοφόρησε με τη σειρά της το ρομποτικό σύστημα Zeus. Το σύστημα αυτό είναι παρόμοιο με το da Vinci στο ότι ο χειρουργός χρησιμοποιεί ένα σύστημα τηλεχειριστηρίων για την εκτέλεση της επέμβασης τα οποία βρίσκονται σε έναν σταθμό εργασίας. Επιπλέον, και τα δύο συστήματα διακρίνονται για την εργονομική τους σχεδίαση. Τα όργανα ελέγχου βρίσκονται σε βολική θέση μπροστά από την καρέκλα του χειρουργού ενώ οι λαβές των οργάνων σε τέτοια θέση άξονα ώστε να επιτυγχάνεται ο καλύτερος συντονισμός μεταξύ των χεριών και των ματιών αυτού.^[5]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Hockstein N., Gourin C., Faust R. and Terris D., *A history of robots: from science fiction to surgical robotics*, Journal of Robotic Surgery, 1(2):113-118, July 2007
<http://www.springerlink.com/content/v1jm28161618p874>
- [2] Govindarajan A., *Robot-Assisted Surgery: A Review*, University of Toronto Medical Journal, 78(2):108-112, March 2001
<http://www.utmj.org/issues/78.2/Surgery.pdf>
- [3] Καραγιάννης Σ., *Βιομηχανικά Συστήματα Κίνησης*, Σημειώσεις παραδόσεων, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, 2006
- [4] *Ρομποτική χειρουργική*
<http://www.medchannel.gr/Article.php?CatId=101&ArticleId=21>
- [5] Satava R., *History of Robotic Surgery. The early chronicles: a personal historical perspective*, Epublication: WeBSurg.com, October 2006
<http://www.websurg.com/robotics/history.php>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εισαγωγή της ρομποτικής στην ιατρική

2.1 Ελάχιστα επεμβατική χειρουργική

Πριν από περίπου 20 χρόνια οι χειρουργοί ξεκίνησαν να εφαρμόζουν μία νέα προσέγγιση στο χώρο των επεμβάσεων. Μία προσέγγιση η οποία είναι γνωστή σήμερα με τον όρο *ελάχιστα επεμβατική χειρουργική* (minimally invasive surgery – MIS). Στόχος ήταν η εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων με ελάχιστο τραύμα και μικρό χρόνο ανάρρωσης των ασθενών. Κατά την εφαρμογή αυτής της τεχνικής μικροσκοπικές κάμερες προσαρμοσμένες σε όργανα που καλούνται *ενδοσκόπια* ή *λαπαροσκόπια* εισέρχονται μέσα από μικρές τομές περίπου 1cm και καθοδηγούνται μέσα στο σώμα του ασθενούς με τη βοήθεια μίας βιντεοθόνης. Η επιτυχία υπήρξε τόσο μεγάλη που άλλαξε την πορεία της σύγχρονης ιατρικής και δημιούργησε μία καινούργια ειδικότητα, αυτή της *λαπαροσκοπικής χειρουργικής*. Η τελευταία βελτίωσε δραματικά τις συνθήκες νοσηλείας και φροντίδας του χειρουργημένου ασθενούς. Με τη μέθοδο αυτή οι κοιλιοτομές αποτέλεσαν παρελθόν. Ο μετεγχειρητικός πόνος, η απώλεια αίματος, οι μολύνσεις και οι επιπλοκές σχεδόν εκμηδενίστηκαν. Επεμβάσεις που στο παρελθόν απαιτούσαν πολυήμερη νοσηλεία γίνονται πλέον σε επίπεδο one day clinic, δηλαδή με παραμονή μίας το πολύ ημέρας μέσα στην κλινική με ανάλογα μικρότερο κόστος για τον νοσηλεύόμενο ασθενή.

Η λαπαροσκοπική χειρουργική υπήρξε μία τεράστια τεχνολογική και ιατρική καινοτομία, αλλά όταν η χρήση της άρχισε να γενικεύεται εμφανίστηκαν ορισμένες αδυναμίες της που έθεσαν εμπόδια στην περαιτέρω εξέλιξή της. Στη λαπαροσκοπική χειρουργική ο χειρουργός καλείται να εκτελέσει επεμβάσεις με καθοδήγηση βίντεο χωρίς την άμεση επαφή με τον ασθενή. Χειρουργεί σε έναν εικονικά διδιάστατο χώρο (2D visualization) με απώλεια αίσθησης βάθους του χειρουργικού πεδίου. Αδυνατεί να “ψηλαφίσει” τους ιστούς και χρησιμοποιεί μακριά και άκαμπτα εργαλεία που περιορίζουν την ευελιξία και τη δυνατότητα σύνθετων χειρισμών.

Για πρώτη φορά ο έλεγχος του χειρουργικού πεδίου περνάει σε κάποιον άλλο, τον άνθρωπο που κρατά και χειρίζεται το λαπαροσκόπιο. Μερικοί χειρουργοί προτιμούν να κρατούν οι ίδιοι το λαπαροσκόπιο θέλοντας να έχουν έτσι τον πλήρη έλεγχο του οπτικού πεδίου. Η τακτική αυτή όμως οδηγεί στη μονόχειρη εκτέλεση της επέμβασης από την πλευρά του χειρουργού. Σημαντική παράμετρος της ποιότητας της λαπαροσκοπικής εικόνας είναι η προσήλωση του εικονολήπτη στο χειρουργικό πεδίο και η αποφυγή κάθε άσκοπης κίνησης που θα μπορούσε να προκαλέσει εκνευρισμό στα μέλη της χειρουργικής ομάδας. Ο χειρισμός της λαπαροσκοπικής κάμερας έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση της λαπαροσκοπικής εικόνας στην οθόνη καθώς ο φυσικός τρόμος του ανθρώπινου χεριού αλλά και η κίνηση του σφυγμικού κύματος έχουν ως αποτέλεσμα την ανάλογη σε μεγέθυνση κίνηση της λαπαροσκοπικής εικόνας, ιδιαίτερα όταν η επέμβαση εκτελείται με δεκαπλάσια ή και μεγαλύτερη μεγέθυνση του αντικειμενικού χειρουργικού πεδίου.

Ο μικρός χώρος εργασίας, το περιορισμένο οπτικό πεδίο και η υποβάθμιση των φυσικών αισθήσεων του χειρουργού αποτελούσαν σημαντικό εμπόδιο στη διεύρυνση των ενδείξεων και των εφαρμογών αυτής της τεχνολογίας. Έτσι, ενώ ορισμένες απλές λαπαροσκοπικές επεμβάσεις όπως είναι π.χ. η λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή διαδόθηκαν εύκολα και γρήγορα, δε συνέβη το ίδιο με τις πιο απαιτητικές από αυτές (σπληνεκτομή, εντερεκτομές, γαστρεκτομές, προστατεκτομή, αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας κ.λ.π.). Όλες οι μελέτες συνέκλιναν στο συμπέρασμα ότι η προχωρημένη λαπαροσκοπική χειρουργική απαιτεί μακροχρόνια εκπαίδευση και ιδιαίτερη χειρουργική ακρίβεια και επιδεξιότητα (σε ό,τι αφορά τον χειρισμό των ιστών του σώματος π.χ. τομές, συρραφές η συμβατική ανοιχτή χειρουργική βρίσκεται σε πλεονεκτικότερη θέση).

Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα δύο ήταν οι λύσεις: είτε να βοηθηθεί τεχνολογικά ο χειρουργός για να βελτιώσει τις ικανότητές του είτε αυτός να αντικατασταθεί από κάποια αυτόματη μηχανή απαλλαγμένη από ανθρώπινες αδυναμίες. Η έρευνα κινήθηκε από νωρίς και προς τις δύο κατευθύνσεις.

2.1.1 Υποβοηθούμενη από υπολογιστή χειρουργική

Στη φιλοσοφία αυτής της τεχνολογίας, που κάνει εκτεταμένη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, ο χειρουργός παραμένει το κεντρικό πρόσωπο. Κύριοι στόχοι της υποβοηθούμενης από υπολογιστή χειρουργικής (computer-assisted surgery – CAS) είναι η ποιοτική αναβάθμιση των αισθήσεων και των ικανοτήτων του χειρουργού με στόχο να βελτιωθεί η απόδοσή του μέσα στο χειρουργείο. Ο χειρουργός ενισχύεται τώρα στο χειρουργικό πεδίο με τεχνητές αισθήσεις, τρισδιάστατη όραση και αφή, και τρισδιάστατα διαγνωστικά και απεικονιστικά μηχανήματα. Εκτός από το χειρουργείο, η τεχνολογία CAS βρίσκει επίσης εφαρμογές στην ιατρική απεικόνιση, την εκπαίδευση και το σχεδιασμό χειρουργικών επεμβάσεων (surgical planning).



Εικ. 2.1: Επέμβαση με υποβοήθηση υπολογιστή

2.1.2 Ρομποτική χειρουργική

Η εισαγωγή στην κλινική πράξη ρομποτικών βραχιόνων ελεγχόμενων από υπολογιστή που συγκρατούν το λαπαροσκόπιο και υπακούουν πιστά στις εντολές του χειρουργού υποσχέθηκε ικανοποιητική λύση στο πρόβλημα διαχείρισης της λαπαροενδοσκοπικής εικόνας. Οι ρομποτικοί βραχίονες όλων των σημερινών συστημάτων είτε προσαρμόζονται στη ράγα του χειρουργικού τραπέζιου είτε φέρονται επί μίας κινητής βάσης. Ο τρόπος επικοινωνίας του χειρουργού με τον βραχίονα αποτελεί ουσιαστικά τον ακρογωνιαίο λίθο για τη λειτουργική του απόδοση. Η ιδεώδης λειτουργία ενός ρομποτικού βραχίονα που κινεί την λαπαροσκοπική κάμερα θα πρέπει να βασίζεται στην άμεση αντίληψη της εντολής-επιθυμίας του χειρουργού και την σταθερή, ομαλή, ταχεία και ακριβή εκτέλεση της κίνησης.

Η ρομποτική χειρουργική αποτελεί εξέλιξη της ενδοσκοπικής χειρουργικής. Είναι μία ελάχιστη επεμβατική και ελάχιστη τραυματική χειρουργική μέθοδος που θέτει στη διάθεση του χειρουργού εξαιρετικά λεπτά και εύκαμπτα εργαλεία που εκτελούν τις χειρουργικές κινήσεις με πρωτοποριακή ακρίβεια μέσα από μικροσκοπικές τομές στο δέρμα του ασθενούς. Η μέθοδος αυτή ενσωματώνει πολλές από τις εφαρμογές της υποβοηθούμενης από υπολογιστή χειρουργικής. Στη ρομποτική τεχνολογία όμως ο ρόλος του χειρουργού υποβαθμίζεται. Ανάλογα μάλιστα με το βαθμό εμπλοκής του τελευταίου στην επέμβαση, τα σύγχρονα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- **Συστήματα ελεγχόμενα από επόπτη (Supervisory-controlled systems):** Η χειρουργική διαδικασία σχεδιάζεται από πριν καθώς ο χειρουργός προσδιορίζει τις κινήσεις τις οποίες καλείται να εκτελέσει το ρομπότ. Το τελευταίο εκτελεί αυτόματα ακριβώς τις ίδιες κινήσεις κατά τη διάρκεια της επέμβασης, ενώ ο ρόλος του χειρουργού περιορίζεται στη γενικότερη επίβλεψη της επέμβασης για την αποφυγή σφαλμάτων.
- **Συστήματα τηλεχειρουργικής (Telesurgical systems):** Οι επεμβάσεις εκτελούνται από απόσταση χάρη στους εξελιγμένους αισθητήρες του συστήματος και την ανατροφοδότηση εικόνας από το

χειρουργικό πεδίο σε πραγματικό χρόνο. Με τη βοήθεια ενός χειριστηρίου ελέγχου με ανατροφοδότηση δύναμης, ο χειρουργός εκτελεί κινήσεις τις οποίες αντιγράφει και αναπαράγει το ρομποτικό σύστημα. Αυτή η υβριδική τεχνολογία έχει ήδη αρκετές πρακτικές εφαρμογές, με κυριότερο εκπρόσωπο το χειρουργικό σύστημα da Vinci.

- **Συστήματα μοιραζόμενου ελέγχου (Shared-control systems):** Η συγκεκριμένη τεχνολογία απαιτεί τη μεγαλύτερη συμμετοχή του χειρουργού. Στην ουσία πρόκειται για μία τεχνολογία που ακολουθεί τη φιλοσοφία της υποβοηθούμενης από υπολογιστή χειρουργικής. Η επέμβαση εκτελείται κατά κύριο λόγο από τον χειρουργό, ενώ ο ρόλος του ρομπότ περιορίζεται στην παροχή βοήθειας έτσι ώστε οι κινήσεις του χειρουργού να γίνονται πιο ακριβείς. Τα συστήματα αυτά βρίσκονται σε προχωρημένο στάδιο εξέλιξης.^{[1],[2]}

2.2 Που βρισκόμαστε σήμερα;

Στην παρούσα φάση ορισμένες εφαρμογές της υποβοηθούμενης από υπολογιστή χειρουργικής έχουν ήδη περάσει στην κλινική πράξη. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι η λαπαροσκοπική τρισδιάστατη όραση και η τρισδιάστατη απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο. Οι τεχνολογίες αυτές βρίσκουν ήδη εφαρμογή τόσο στη λαπαροσκοπική χειρουργική όσο και σε άλλες ιατρικές ειδικότητες. Όσον αφορά τη ρομποτική χειρουργική, η σχετική τεχνολογία βρίσκεται ακόμη στα σπάργαλα. Τα σοβαρότερα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν πριν την είσοδο των ρομπότ-χειρουργών στην καθημερινή πράξη είναι η έλλειψη κρίσης από την πλευρά τους και η αδυναμία τους να εκπαιδευτούν για να μάθουν. Πριν χειρουργήσουν τα ρομπότ απαραίτητη είναι και η ανάπτυξη λογισμικού που θα ικανοποιεί τις συνθήκες ασφάλειας αναφορικά με τον κίνδυνο μηχανικής βλάβης ή λανθασμένων ενεργειών. Χωρίς τα παραπάνω το ρομπότ είναι καταδικασμένο να παραμείνει ένας “ανόητος” χειρουργός με περιορισμένο ρόλο.^[1]

2.3 Πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής

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

- Παρέχει στο χειρουργό μεγαλύτερη άνεση κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Σε αντίθεση με τη συνηθισμένη χειρουργική πρακτική, η ρομποτική χειρουργική επιτρέπει στο χειρουργό να πραγματοποιεί τις επεμβάσεις καθισμένος, μέσα σε ένα προσεκτικά σχεδιασμένο και εργονομικά άριστο περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η φυσική κούρασή του, το οποίο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα ιδιαίτερα σε περιπτώσεις δύσκολων και πολύωρων επεμβάσεων.
- Επιτυγχάνεται καλύτερος συντονισμός ανάμεσα στα μάτια και τα χέρια του χειρουργού.
- Του εξασφαλίζει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί δύσκολους χειρουργικούς χειρισμούς. Τα χειρουργικά εργαλεία των ρομποτικών βραχιόνων μπορούν να εκτελέσουν όλες τις κινήσεις που πραγματοποιεί το ανθρώπινο χέρι (επτά βαθμοί ελευθερίας στην κίνηση) με μεγαλύτερη δεξιότητα και ακρίβεια, ενώ περιστρέφονται σχεδόν 360⁰ μέσα στο χειρουργικό πεδίο.
- Εξασφαλίζει μεγαλύτερη ακρίβεια στις χειρουργικές κινήσεις. Καθώς οι χειρισμοί του χειρουργού στην κονσόλα μετατρέπονται σε κινήσεις των ρομποτικών βραχιόνων μέσω κατάλληλων ηλεκτρονικών και λογισμικών φίλτρων, ελαχιστοποιείται ο φυσιολογικός τρόμος των χεριών με αποτέλεσμα μία πρωτοφανή χειρουργική δεξιότητα. Τα σύγχρονα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα κλιμακώνουν την κίνηση, έτσι ώστε οι απότομες κινήσεις στις χειρολαβές ελέγχου να μετατρέπονται σε μικρότερες κινήσεις μέσα στο χειρουργικό πεδίο.

- Επιτρέπει στο χειρουργό να έχει μία έγχρωμη, τρισδιάστατη εικόνα του χειρουργικού πεδίου σε πολύ μεγάλη μεγέθυνση, ακόμη και μεγαλύτερη από 15 φορές, δίνοντάς του έτσι την αίσθηση ότι τα μάτια και τα χέρια του βρίσκονται πάνω και μέσα στον ασθενή. Με τον τρόπο αυτό ο χειρουργός αποκτά αντίληψη του βάθους του χειρουργικού πεδίου.
- Ο χειρουργός βλέπει τώρα άριστα και σε σημεία στα οποία μέχρι σήμερα δεν είχε καμμία οπτική πρόσβαση. Έτσι έχει τη δυνατότητα να χειρουργεί σε απρόσιτα σημεία με απόλυτη ασφάλεια και ακρίβεια (π.χ. εκτέλεση μικροαναστομώσεων).
- Δίνει τη δυνατότητα στο χειρουργό να προετοιμάσει την επέμβαση στον ηλεκτρονικό υπολογιστή χρησιμοποιώντας τις εικόνες των εσωτερικών οργάνων του ασθενή, όπως αυτές προκύπτουν από τις εξετάσεις του (π.χ. τομογραφίες). Με τον τρόπο αυτό ο χειρουργός μπορεί κατά τη διάρκεια της επέμβασης να ανακαλέσει και να συμβουλευτεί χρήσιμες εικόνες της παθολογίας του ασθενούς στην οθόνη του.
- Ο χειρουργός εξακολουθεί να έχει τον πλήρη έλεγχο της επέμβασης, αφού το ρομποτικό σύστημα δρα συμπληρωματικά και κατ'επέκταση του πρώτου, ως συνεργάτης του.
- Η μέθοδος της ρομποτικής χειρουργικής έχει μικρότερη καμπύλη εκμάθησης από την αντίστοιχη λαπαροσκοπική μέθοδο.

Η ρομποτική χειρουργική όμως κρύβει και απίστευτα οφέλη για τους ίδιους τους ασθενείς έναντι των συμβατικών μεθόδων:

- Είναι μία ελάχιστη επεμβατική και ελάχιστη τραυματική μέθοδος, εξαιτίας κυρίως της ακρίβειας με την οποία γίνονται οι κινήσεις του χειρουργού.
- Εξασφαλίζει ελάχιστη απώλεια αίματος.
- Εξασφαλίζει μεγάλη ελάττωση του μετεγχειρητικού πόνου και της δυσφορίας του ασθενούς.
- Ο ασθενής αισθάνεται λιγότερο φόβο σε σχέση με τις συμβατικές ανοικτές επεμβάσεις.
- Επιτρέπει μικρότερη διάρκεια αναισθησίας.
- Ελαχιστοποιεί την πιθανότητα ενδοεγχειρητικών και μετεγχειρητικών επιπλοκών που έχουν σχέση με το τραύμα (διαπύση, διάσπαση, κήλη, χρόνιο άλγος κ.λ.π.) και των μετεγχειρητικών συμφύσεων και των συνεπειών τους.
- Εξασφαλίζει λιγότερες αναπνευστικές και καρδιαγγειακές επιπλοκές.
- Επιτρέπει την ταχύτερη ανάρρωση και επάνοδο του ασθενούς στις καθημερινές του δραστηριότητες.
- Μειώνει σημαντικά το χρόνο παραμονής στο νοσοκομείο και κατ'επέκταση το κόστος νοσηλείας.
- Προσφέρει άρτιο αισθητικό αποτέλεσμα.^{[3],[4],[5]}

2.4 Μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής

Παρόλο που η ρομποτική χειρουργική τεχνολογία γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, δεν έχει γίνει ακόμα εφικτό να ξεπεραστούν κάποιοι σημαντικοί περιορισμοί που τη χαρακτηρίζουν. Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής είναι το κόστος της. Δύο σχετικά πρόσφατες μελέτες κατέδειξαν ότι το αυξημένο κόστος των ρομποτικών επεμβάσεων σε σχέση με το αντίστοιχο των συμβατικών μεθόδων οφείλεται κυρίως στο αρχικό κόστος αγοράς των ρομποτικών συστημάτων (κυμαίνεται από 750.000 μέχρι 1.200.000 δολάρια περίπου) και την ετήσια συντήρησή τους (περίπου 100.000 δολάρια). Είναι αναμενόμενο, εντούτοις, ότι και τα δύο αυτά οικονομικά μεγέθη (αρχικό κόστος-συντήρηση) θα ελαττώνονται σταδιακά καθώς τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα θα κερδίζουν ευρύτερη αποδοχή. Σε πρώτη φάση βέβαια, τα κόστη μπορεί να ανέβουν ακόμη υψηλότερα εξαιτίας των τεχνολογικών βελτιώσεων στα ρομποτικά συστήματα που αναπόφευκτα θα γίνουν στο μέλλον.

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

όμως εξασκούν συνήθως και μεγαλύτερες δυνάμεις, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό σε περίπτωση λανθασμένης ενέργειας.

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

Η έλλειψη συμβατού εξοπλισμού συγκαταλέγεται επίσης στα μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής. Η έλλειψη κάποιων συμβατών με το ρομποτικό σύστημα χειρουργικών οργάνων αυξάνει την εξάρτηση από βοηθητικό προσωπικό δίπλα στο χειρουργικό τραπέζι. Ωστόσο αυτό φαίνεται να αποτελεί το λιγότερο σημαντικό μειονέκτημα καθώς νέες τεχνολογίες αναμένεται να δώσουν σύντομα λύσεις στο μέλλον. Ένα ακόμη μεγάλο πρόβλημα για τον χειρουργό αποτελεί η έλλειψη αίσθησης της αφής (tactile feedback). Η *απτική* (haptics), ο τεχνολογικός εκείνος κλάδος δηλαδή ο οποίος ασχολείται με την ανάπτυξη συστημάτων ικανών να “αναπαράγουν” την αίσθηση των ανθρώπινων ιστών μέσω της ανάδρασης αφής, υπόσχεται λύσεις οι οποίες προς το παρόν παραμένουν σε πειραματικό μόνο στάδιο.

Είναι γεγονός πάντως ότι η ρομποτική χειρουργική αποτελεί μία νέα τεχνολογία της οποίας η αποτελεσματικότητα δεν έχει διασαφηνιστεί πλήρως. Τα περισσότερα από τα μειονεκτήματά της αναμένονται να ξεπεραστούν με την πάροδο του χρόνου λόγω των μελλοντικών επανασχεδιασμών και των τεχνολογικών βελτιώσεων που θα υποστούν αναπόφευκτα τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα. Μόνο ο χρόνος μένει για να δείξει αν η χρήση των συστημάτων αυτών θα υπερκεράσει το σημερινό υψηλό κόστος απόκτησης και συντήρησής τους.^{[3],[4],[6]}

	Συμβατική λαπαροσκοπική χειρουργική	Ρομποτική χειρουργική
Πλεονεκτήματα	-καλά ανεπτυγμένη τεχνολογία -οικονομικά προσιτή μέθοδος -αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα	-τρειςδιάστατη απεικόνιση -βελτιωμένη δεξιότητα -επτά βαθμοί ελευθερίας -περιορισμός του φαινομένου του υπομόχλιου -περιορισμός του φυσιολογικού τρόμου των χεριών -ικανότητα κλιμάκωσης των κινήσεων του χειρουργού -δυνατότητα για την εκτέλεση μικροαναστομώνσεων -τηλεχειρουργική -εργονομική θέση
Μειονεκτήματα	-απώλεια αίσθησης της αφής -απώλεια τρισδιάστατης όρασης -περιορισμένη επιδεξιότητα -περιορισμένος αριθμός κινήσεων -ύπαρξη φαινομένου του υπομόχλιου -ενίσχυση φυσιολογικού τρόμου των χεριών του χειρουργού	-απουσία αίσθησης της αφής -ακριβή μέθοδος -υψηλό κόστος εκκίνησης -ενδεχόμενη ανάγκη ύπαρξης επιπλέον προσωπικού -νέα τεχνολογία -μη αποδεδειγμένα οφέλη

Πίνακας 2.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής σε σύγκριση με τη συμβατική λαπαροσκοπική μέθοδο

Δυνατά σημεία του ανθρώπου	Περιορισμοί του ανθρώπου	Δυνατά σημεία του ρομπότ	Περιορισμοί του ρομπότ
Καλός συντονισμός χεριών-ματιών	Περιορισμένη επιδεξιότητα έξω από τη φυσική κλίμακα	Καλή γεωμετρική ακρίβεια	Καμμία κρίση
Επιδεξιότητα	Επιρρεπής στον τρόπο και την κούραση	Σταθερότητα και μη κούραση	Ανικανότητα χρήσης ποιοτικών πληροφοριών
Ευελιξία και προσαρμοστικότητα	Περιορισμένη γεωμετρική ακρίβεια	Κλιμάκωση των κινήσεων	Απουσία απτικής αίσθησης
Δυνατότητα ολοκλήρωσης εκτεταμένων και διάφορων πληροφοριών	Περιορισμένη ικανότητα στη χρήση ποσοτικών πληροφοριών	Δυνατότητα χρήσης διάφορων αισθητήρων για έλεγχο	Ακριβό
Στοιχειώδεις απτικές ικανότητες	Περιορισμένη αποστείρωσή του	Δυνατότητα αποστείρωσής του	Ρευστή τεχνολογία
Ικανότητα χρήσης ποιοτικών πληροφοριών	Ευπαθής στην ακτινοβολία και τις μολύνσεις	Ανθεκτικό στην ακτινοβολία και τις μολύνσεις	Απαιτούνται περισσότερες μελέτες
Καλή κρίση			
Ευκολία στη διδασκαλία και την ενημέρωση			

Πίνακας 2.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής σε σύγκριση με την κλασική ανοικτή χειρουργική

2.5 Θέματα ασφάλειας

Η ασφάλεια που παρέχουν τα ρομποτικά συστήματα αποτελεί μία προφανή ανησυχία όταν πρόκειται για χειρουργικές επεμβάσεις. Σε σύγκριση με τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται στο βιομηχανικό τομέα, τα ιατρικά ρομποτικά συστήματα εγείρουν περισσότερα και πιο πολυσύνθετα θέματα ασφάλειας για τους σχεδιαστές τους. Μάλιστα, όσο πιο πολύπλοκη είναι η εργασία την οποία καλείται να εκτελέσει το ρομπότ, τόσο αυξάνεται η ανάγκη για πιο εξελιγμένα συστήματα υλικού και λογισμικού (μικρότερος χρόνος απόκρισης, μεγαλύτερη ακρίβεια, περισσότεροι βαθμοί ελευθερίας). Αυτό αυξάνει εκθετικά όμως και την πιθανότητα λάθους.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που δικαιολογεί την πολυπλοκότητα του θέματος αυτού είναι η απαιτούμενη ανθρώπινη παρουσία. Σε μία βιομηχανική μονάδα οι απαιτήσεις ασφάλειας είναι αρκετά πιο απλές, καθώς η λειτουργία ενός ρομπότ μπορεί να διακοπεί, εάν αυτό κριθεί απαραίτητο, χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία του ανθρώπου στο άμεσο περιβάλλον εργασίας του ρομποτικού αυτού συστήματος. Στον ιατρικό τομέα, εντούτοις, τα χειρουργικά ρομπότ εργάζονται κοντά στον χειρουργό, αφού τον υποβοηθούν στις επεμβάσεις χωρίς να τον αντικαθιστούν, μέσα σε ένα χαοτικό, χρονικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Από αυτή την οπτική γωνία τα ιατρικά ρομπότ απαιτούνται να έχουν αυξημένες ικανότητες (αισθητήριες κ.λ.π.), γεγονός που εμφανίζει νέα ανυπέρβλητα εμπόδια για τους σχεδιαστές και ωθεί τη σύγχρονη τεχνολογία στα όριά της.

Οι συνέπειες από ένα σφάλμα αποτελούν ακόμη ένα σημαντικό ζήτημα. Αυτό το πρόβλημα δε σχετίζεται μόνο με την παρουσία του ιατρικού προσωπικού κοντά στο χειρουργικό ρομπότ, αλλά και με την ίδια τη φύση της εργασίας του συστήματος, η οποία περιλαμβάνει τυπικά έναν άνθρωπο (τον ασθενή). Στο βιομηχανικό περιβάλλον, για παράδειγμα, το ρομπότ επαναλαμβάνει αυτόματα ένα σύνολο από προκαθορισμένες ενέργειες, χωρίς να παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο εάν το αντικείμενο πάνω στο οποίο αυτό εργάζεται είναι ένα αυτοκίνητο, ένας μεταλλικός σωλήνας ή ένας μικροεπεξεργαστής. Μέσα στη χειρουργική αίθουσα όμως, κάθε ασθενής έχει τα δικά του, διακεκριμένα χαρακτηριστικά, γεγονός που καθιστά μία ομοίμορφη προσέγγιση, ανάλογη της βιομηχανικής παραγωγής, εντελώς ανέφικτη.

Πιθανοί λόγοι που θα μπορούσαν να πλήξουν την ασφάλεια μίας χειρουργικής επέμβασης με ρομπότ είναι η ελαττωματική σχεδίαση, μία ενδεχόμενη δυσλειτουργία μέρους του υλικού ή λογισμικού του συστήματος καθώς και τυχόν παρερμηνεία ή έλλειψη σωστών αποσαφηνιστικών λεπτομερειών (specifications). Η βελτίωση των κρίσιμων αυτών για την ασφάλεια παραμέτρων συνεπάγεται συνήθως αύξηση του κόστους του συστήματος, της πολυπλοκότητάς του ή και των δύο.

Η ιδέα της ολικής ασφάλειας έχει ουσιαστικά ουτοπικό χαρακτήρα. Διαφορετικές τεχνικές για τη μεγιστοποίησή της προσφέρουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Όλες όμως αποβλέπουν στη διατήρηση της ολικής πιθανότητας σφάλματος στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο. Μία κοινή τεχνική είναι να περιλαμβάνουν τα ρομποτικά συστήματα παθητικούς και ενεργητικούς μηχανισμούς ασφάλειας κατά τον μηχανολογικό σχεδιασμό των χειριστηρίων. Ίσως τελικά, περισσότερο σημαντικό από την πιθανότητα εμφάνισης ενός σφάλματος να είναι η ικανότητα έγκαιρης διάγνωσης του σφάλματος, ώστε να αποτραπούν ενδεχόμενοι παρακείμενοι κίνδυνοι από αυτό και το ρομποτικό σύστημα να “αποτύχει” με ασφάλεια. Σε μία τέτοια περίπτωση η επέμβαση θα ολοκληρωνόταν από τον ίδιο τον χειρουργό χωρίς τη συμμετοχή του χειρουργικού ρομπότ.

Μερικοί ειδικοί της ρομποτικής τεχνολογίας βεβαιώνουν ότι είναι σημαντικό ο έλεγχος της διαδικασίας να βρίσκεται στα χέρια του χειρουργού, ακόμη και στην καθοδηγούμενη από εικόνα χειρουργική επέμβαση. Καθώς, πάντως, η εμπειρία μας από τη χρήση ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων μεγαλώνει, το επίπεδο αυτονομίας του ελέγχου μπορεί να αυξηθεί. Είναι, εντούτοις, ιδιαίτερα σημαντικό να σχεδιαστούν συστήματα διεπαφής χρήστη (user interface) τέτοια ώστε να παρέχουν πλήρη ενημέρωση στο χειρουργό για την κατάσταση του συστήματος.

Η ασφάλεια τελικά αποτελεί ένα πολυδιάστατο θέμα το οποίο δεν έχει να κάνει μόνο με την κλινική αποδοχή αλλά και με άλλα ζητήματα, όπως είναι για παράδειγμα η ορθολογική χρήση των προσωπικών δεδομένων του ασθενή, τα στάδια αξιολόγησης μέσα από τα οποία πρέπει να περάσει το σύστημα κ.ά.^[4]

2.6 Αξιολόγηση των ρομποτικών συστημάτων

2.6.1 Φάσεις αξιολόγησης

Η πειραματική αξιολόγηση ενός χειρουργικού ρομποτικού συστήματος διακρίνεται σε τέσσερις φάσεις ελέγχου που διεξάγονται για διαφορετικό σκοπό η καθεμία:

- **Training box:** Σε πρώτη φάση ελέγχεται η ικανότητα και το εύρος των κινήσεων του ρομποτικού συστήματος που είναι απαραίτητα για την εκτέλεση εργασιών χειρισμού και συρραφής.
- **Ex vivo tissue:** Η δεύτερη αυτή φάση αποτελεί προέκταση της προηγούμενης διαδικασίας. Ελέγχεται η ικανότητα του συστήματος στο χειρισμό μαλακών ιστών ώστε να διεξαχθούν συμπεράσματα εάν αυτό είναι σε θέση να ασκήσει την κατάλληλη δύναμη στους ιστούς και να τους χειριστεί βέλτιστα.
- **Animal testing:** Το σύστημα εφαρμόζεται πειραματικά σε ζώα σε περιορισμένο χώρο αλλά και σε πραγματικό περιβάλλον χειρουργείου, ώστε οι εκτιμήσεις για αυτό να είναι οι καλύτερες δυνατές.
- **Human testing:** Για τον έλεγχο του συστήματος σε ανθρώπους απαιτείται το υψηλότερο δυνατό επίπεδο ασφάλειας και αξιοπιστίας.

2.6.2 Κριτήρια αξιολόγησης

Ένα χειρουργικό ρομποτικό σύστημα αξιολογείται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

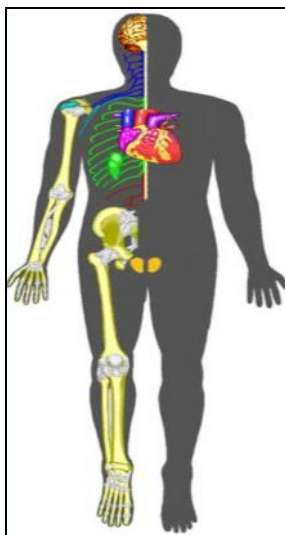
- **Ακρίβεια:** Το σύστημα πρέπει να διακρίνεται για την εξαιρετική ακρίβειά του ώστε να μπορεί να χειρίζεται ιστούς και να εκτελεί λεπτές εργασίες όπως είναι π.χ. οι συρραφές.
- **Ικανότητα λειτουργίας:** Είναι σημαντικό να εκτιμηθεί το εύρος των ικανοτήτων του συστήματος για την απόδοση όλων των επιθυμητών εργασιών που εμπλέκονται σε μία χειρουργική επέμβαση.
- **Επιδεξιότητα:** Αφορά τη δυνατότητα του ρομποτικού συστήματος να εκτελεί εργασίες προς όλα τα επίπεδα διευθύνσεων (προσανατολισμούς) μέσα σε ένα συγκεκριμένο, συνήθως περιορισμένο χώρο εργασίας.
- **Εργονομία:** Η θέση του χειρουργού στην κεντρική κονσόλα ελέγχου πρέπει να διακρίνεται για την εργονομία της, καθώς αυτή αποτελεί τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στον πρώτο και το ρομποτικό σύστημα των βραχιόνων. Πρέπει να εξασφαλίζει την άνετη στάση του χειρουργού, τον άριστο συντονισμό των ματιών και των χεριών του και τα χειριστήρια να διακρίνονται για την ευχρηστία τους. Μία σημαντική απαίτηση για το σύστημα αποτελεί και η εργονομία του σταθμού των ρομποτικών βραχιόνων. Η διαρρύθμιση γύρω από το χειρουργικό τραπέζι πρέπει να είναι τέτοια ώστε να διασφαλίζεται η άνετη πρόσβαση στον ασθενή και την ύπαρξη επαρκούς χώρου για το προσωπικό για την αποφυγή τυχόν συγκρούσεων.
- **Σχεδιαστικές παράμετροι:** Κατά την αξιολόγηση ενός χειρουργικού ρομποτικού συστήματος πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και διάφορες άλλες παράμετροι όπως είναι οι διαστάσεις των χειρουργικών εργαλείων, το μέγεθος της χειρουργικής αίθουσας, η παρέκκλιση από τον κύριο άξονα του συστήματος κ.λ.π.^[7]

2.7 Εφαρμογές της ρομποτικής χειρουργικής

Η ρομποτική τεχνολογία έχει βρει μέχρι σήμερα εφαρμογή σε πολλές ειδικότητες της χειρουργικής. Οι πιο συνηθισμένες λαπαροσκοπικές επεμβάσεις που γίνονται στις μέρες μας ρομποτικά, πολλαπλασιάζοντας έτσι τα σημαντικά πλεονεκτήματα που εξασφαλίζει η λαπαροσκοπική χειρουργική για τον ασθενή, συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα ταξινομημένες ανά χειρουργική ειδικότητα.^[6]

Ειδικότητα	Είδη επεμβάσεων που γίνονται σήμερα ρομποτικά
Γενική χειρουργική	χολοκυστεκτομές, σπληνεκτομές, ηπατεκτομές, παγκρεατεκτομές, δεξιές και αριστερές κολεκτομές, σιγμοειδεκτομές, βουβωνοκήλες, κοιλιοκήλες, σκωληκοειδεκτομές, κοιλιοπερινεϊκές εκτομές, οισοφαγεκτομές, ολικές και μερικές γαστρεκτομές, διόρθωση διαφραγματοκήλης, αποκατάσταση της γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης (θολοπλαστική κατά Nissen), επεμβάσεις κατά της νοσογόνου παχυσαρκίας (βαριατρική), κ.ά.
Ουρολογία	ριζικές και μερικές νεφρεκτομές, νεφρεκτομές δότη, νεφρорητηρεκτομές, ριζικές προστατεκτομές, πνευλοπλαστικές, αποκατάσταση κισσοσκήλης, αφαίρεση κύστεων νεφρού, λεμφαδένων και λίθων από τον ουρητήρα κ.ά
Γυναικολογία	μερικές και ολικές υστερεκτομές, ινομώματα, αφαίρεση κακοήθων όγκων μήτρας και τραχήλου, σαλπινγοοθηκεκτομές, εγχειρήσεις μετάθεσης ωοθηκών και αναστόμωσης των σαλπίγγων, ουρογυναικολογικές επεμβάσεις, λεμφαδενικός καθαρισμός κ.ά
Καρδιοχειρουργική	αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας, αορτοστεφανιαία παράκαμψη (bypass), καρδιακός επανασυγχρονισμός, αποκατάσταση μεσοκολπικής επικοινωνίας, περικαρδιοεκτομές, βαλβιδοπλαστικές
Θωρακοχειρουργική	πνευμονεκτομές για πρωτοπαθές καρκίνωμα του πνεύμονα, λοβεκτομές, αφαίρεση θύμου αδένα
Αγγειοχειρουργική	αποκατάσταση ανευρύσματος κοιλιακής αορτής
Παιδιατρική	επεμβάσεις αποκατάστασης της γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης, χολοκυστεκτομές, σαλπινγοοθηκεκτομές, πνευλοπλαστικές για την απόφραξη της ουρητηροπυελικής συμβολής σε παιδιά, παιδιατρικές καρδιοχειρουργικές επεμβάσεις όπως η αποκατάσταση βατού αρτηριακού πόρου κ.ά
Ορθοπαιδική	ολικές αρθροπλαστικές ισχίων, ολικές αντικαταστάσεις γονάτων
Ογκολογία	καρκίνος στο κόλον, όγκοι του οισοφάγου, γαστρικός καρκίνος
Νευροχειρουργική	επεμβάσεις αφαίρεσης ενδοκρανιακών όγκων, αποστημάτων και κύστεων, κρανιακή ακτινοθεραπεία, επεμβάσεις για την αντιμετώπιση της υδροκεφαλίας και της επιληψίας κ.ά.

Πίνακας 2.3: Χειρουργικές επεμβάσεις που γίνονται σήμερα ρομποτικά



Εικ. 2.2: Όργανα του ανθρώπινου σώματος στα οποία πραγματοποιούνται σήμερα ρομποτικές χειρουργικές επεμβάσεις

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σκρέκας Γ., *Ρομποτική χειρουργική. Παρόν και μέλλον*, 2007
http://www.gomedica.org/robotic_surgery.htm
- [2] *Robot-Assisted Surgery*
http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2005_Groups/04/index.html
- [3] Lanfranco A., Castellanos A., Desai J. and Meyers W., *Robotic Surgery: A Current Perspective*, *Annals of Surgery*, 239(1):14-21, January 2004
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1356187>
- [4] *Robotic Surgery*
<http://library.thinkquest.org/03oct/00760>
- [5] Κωνσταντινίδης Κ., *Πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής*, Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Ρομποτικής Χειρουργικής, 2008
<http://robotic.kkonstantinidis.com/index.php/2008-10-23-16-20-35>
- [6] Morris B., *Robotic Surgery: Applications, Limitations, and Impact on Surgical Education*, *Medscape General Medicine*, 7(3):72, September 2005
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1681689>
- [7] Καραγιάννης Σ., *Βιομηχανικά Συστήματα Κίνησης*, Σημειώσεις παραδόσεων, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, 2006

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σημαντικότερα χειρουργικά ρομποτικά συστήματα

3.1 Συστήματα υποβοήθησης χειρουργικών επεμβάσεων

Τα χειρουργικά ρομπότ μπορούν να διαιρεθούν σε δύο ευρείες κατηγορίες, τα *παθητικά* και τα *ενεργά* συστήματα. Στην πρώτη περίπτωση, ο χειρουργός παρέχει τη φυσική δύναμη που απαιτείται για τον χειρισμό ενός παθητικού ρομπότ, ενώ στη δεύτερη, ένα ενεργό ρομποτικό σύστημα δεν απαιτεί κάποια ανθρώπινη ενέργεια αλλά είναι συνήθως ελεγχόμενο από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αυτό προσδίδει στα ενεργά συστήματα έναν βαθμό αυτονομίας, σε ό,τι αφορά την εκτέλεση εργασιών, γεγονός όμως που τα καθιστά και έως ένα βαθμό ανασφαλή. Τα ενεργά συστήματα είναι αυτόνομα ρομποτικά συστήματα τα οποία υπό την επίβλεψη του χειρουργού εκτελούν συγκεκριμένες φάσεις, δηλαδή συγκεκριμένους χειρουργικούς χρόνους κατά τη διάρκεια μίας εγχείρησης ή ακόμη και ολόκληρες επεμβάσεις. Παρά τη σχετική αυτονομία τους, είναι αυτονόητη η παρουσία του έμπειρου χειρουργού που παρακολουθεί τη χειρουργική πράξη έτοιμος ανά πάσα στιγμή να παρέμβει προκειμένου να διακόψει ή να τροποποιήσει τη λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα. Τα αρχικά ρομποτικά συστήματα ήταν παθητικά, αλλά τα πιο σύγχρονα είναι ενεργά. Σημειώνεται ότι πολλά από τα ενεργά χειρουργικά ρομπότ έχουν δυνατότητα μετάβασης και σε παθητική κατάσταση κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων.^[1]

3.1.1 Το σύστημα PUMA

Ένα κλασικό βιομηχανικό ρομπότ, το PUMA 200 (Programmable Universal Machine for Assembly), χρησιμοποιήθηκε το 1985 από τον Dr. Yik San Kwoh για να κρατά μία βελόνα στερεοτακτικής βιοψίας σε έναν 52χρονο άνδρα πάνω στο τραπέζι του τομογράφου. Η ενδοκρανιακή βλάβη (όγκος) είχε εντοπιστεί με τη βοήθεια προεγχειρητικών εικόνων αξονικής τομογραφίας. Το ρομπότ χρησιμοποιήθηκε για να κατευθύνει με ακρίβεια έναν σωλήνα-οδηγό μέσα στον οποίο είχε εισαχθεί η βελόνα βιοψίας.

Το PUMA 200 ήταν ένα προγραμματιζόμενο, ελεγχόμενο από υπολογιστή ρομπότ που σχεδιάστηκε για να υποβοηθά το χειρουργό κατά τη διάρκεια επεμβάσεων νευροχειρουργικής. Παρείχε ακριβή, λεπτή εργασία και την απαιτούμενη σταθερότητα με τη βοήθεια στερεοτακτικού πλαισίου και εικόνων αξονικής τομογραφίας. Ήταν ένα ασφαλές σύστημα με ειδικούς μηχανισμούς ασφαλείας για την περίπτωση μηχανικού ή ηλεκτρικού σφάλματος. Διέθετε έξι βαθμούς ελευθερίας και οι κινήσεις του εκτελούνταν από DC σερβοκινητήρες. Η ακρίβεια που το χαρακτήριζε ήταν 2mm. Αργότερα ακολούθησαν και νεότερες εκδόσεις του συστήματος.^[2]

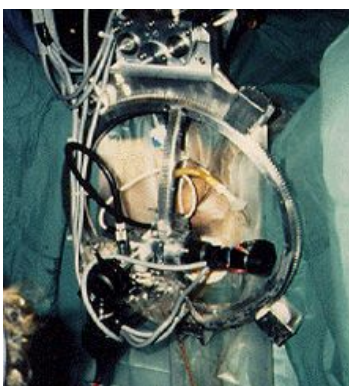


Εικ. 3.1: Το σύστημα Puma 200

3.1.2 Το σύστημα Probot

Το Probot είναι ένα ενεργό ρομποτικό σύστημα ειδικά σχεδιασμένο για την αφαίρεση του προστάτη. Επιτρέπει στο χειρουργό να εντοπίσει τον όγκο μέσα στον προστάτη και ύστερα να προχωρήσει αυτόματα σε αφαίρεση του συγκεκριμένου τμήματος χωρίς την περαιτέρω επέμβαση του πρώτου. Είναι ένα μηχανικά περιορισμένο σύστημα που χρησιμοποιεί έναν ρομποτικό βραχίονα παρόμοιο με το ROBODOC. Το σύστημα διαθέτει για λόγους ασφαλείας έναν μεταλλικό δακτύλιο ο οποίος αποτρέπει την κίνηση του ρομποτικού βραχίονα έξω από την ακριβή περιοχή του προστάτη.

Το Probot πραγματοποιεί κινήσεις σε τρεις άξονες, ενώ χρησιμοποιεί και έναν τέταρτο άξονα για την κίνηση του χειρουργικού εργαλείου. Η γεωμετρία του συστήματος είναι τέτοια που επιτρέπει τη δημιουργία μίας νοητής κουλότητας στην περιοχή του προστάτη. Το ρομπότ ελέγχεται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ενός ζεύγους ενσωματωμένων και προγραμματιζόμενων συστημάτων ελέγχου κινήσεων. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται στον χρήστη το κατάλληλο interface και πρόγραμμα για την ορθή αφαίρεση ιστών από την περιοχή του προστάτη. Το σύστημα αναπτύχθηκε από το Imperial College και έχει χρησιμοποιηθεί σε επεμβάσεις στο Guy's Hospital του Λονδίνου.^[3]



Εικ. 3.2: Επέμβαση προστάτη με το Probot

3.1.3 Το σύστημα NeuroMate

Το NeuroMate αναπτύχθηκε από την Integrated Surgical Systems και είναι ένα εμπορικά διαθέσιμο ρομποτικό σύστημα υποβοήθησης επεμβάσεων νευροχειρουργικής. Αποτελεί το πρώτο σύστημα που έλαβε την έγκριση της FDA για τέτοιου είδους επεμβάσεις. Περιλαμβάνει έναν ρομποτικό βραχίονα με πέντε βαθμούς ελευθερίας και ένα σύστημα σχεδιασμού βασισμένο σε υπολογιστή. Το λογισμικό του συστήματος επιτρέπει έναν ακριβή, βασισμένο σε εικόνες, σχεδιασμό και οπτικοποίηση πολλαπλών τροχιών. Οι εικόνες λαμβάνονται από τον ασθενή είτε με αξονική τομογραφία (CT) είτε με απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (MRI).

Κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης, το σύστημα παρέχει τρισδιάστατη απεικόνιση των ανατομικών δομών του ασθενούς και των σημείων-στόχων στον εγκέφαλό του καθώς διαγράφονται οι προσχεδιασμένες τροχιές του ρομποτικού βραχίονα. Το ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε με ένα στερεοτακτικό πλαίσιο αναφοράς γύρω από το κεφάλι του ασθενούς είτε χωρίς αυτό. Στη δεύτερη περίπτωση, το σύστημα χωρίς πλαίσιο περιλαμβάνει μία ελαφριά, πλαστική βάση στο κεφάλι του ασθενούς μέσα στην οποία εισάγεται μία συσκευή προσδιορισμού της θέσης με υπέρηχους σε μορφή έλικας. Ο αισθητήρας υπέρηχων μεταδίδει σήματα στο χειρουργικό ρομπότ για τη θέση του κεφαλιού του ασθενούς σε σχέση με τον ρομποτικό βραχίονα. Έχει διαπιστωθεί πάντως ότι στην περίπτωση αυτή η ακρίβεια του συστήματος μειώνεται.

Έχει αποδειχθεί ότι το NeuroMate μπορεί να κρατήσει πιο σταθερά και να προσανατολίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια στον τρισδιάστατο χώρο εργαλεία όπως είναι π.χ. μία βελόνα βιοψίας ή ένα ηλεκτρόδιο. Περιορίζει τα ανθρώπινα σφάλματα και μειώνει τον απαιτούμενο χρόνο σε επεμβάσεις που

περιλαμβάνουν κυρίως βιοψίες ή πολλαπλούς στόχους. Εντούτοις, ο όγκος του συστήματος, η μέτρια εργονομία του και ο περιορισμένος αριθμός εργαλείων που μπορεί αυτό να χειριστεί αποτελούν μειονεκτήματα.^{[4],[5]}



Εικ. 3.3: Το σύστημα NeuroMate

3.1.4 Το σύστημα ROBODOC

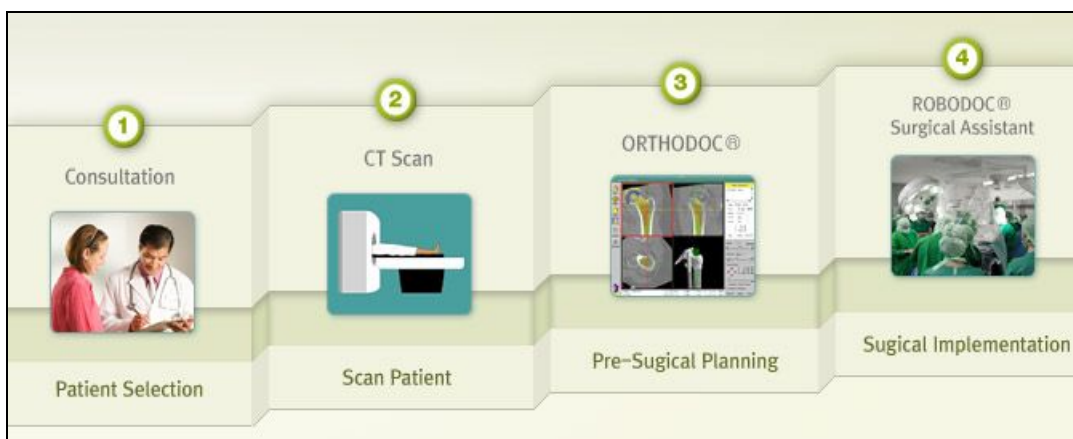
Το συγκεκριμένο ενεργό σύστημα αναπτύχθηκε από την Integrated Surgical Systems από ένα πρότυπο που σχεδιάστηκε στο ερευνητικό κέντρο Thomas J. Watson της IBM το 1986 και ήταν το πρώτο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε το 1992 – και χρησιμοποιείται ακόμα – σε χειρουργικές επεμβάσεις ορθοπαιδικής. Επιτρέπει στους χειρουργούς να σχεδιάζουν προεγχειρητικά τις επεμβάσεις σε ένα τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον και κατόπιν να τις εκτελούν στο χειρουργικό πεδίο όπως αυτές αρχικά σχεδιάστηκαν. Το σύστημα βρίσκει ευρεία εφαρμογή τόσο στην ολική αρθροπλαστική ισχίου (THA), κατά την οποία αντικαθίσταται η πάσχουσα άρθρωση με μία τεχνητή πρόσθεση, όσο και στην ολική αντικατάσταση γονάτου (TKR). Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελείται από δύο υποσυστήματα, το σύστημα προεγχειρητικού σχεδιασμού ORTHODOC και το σύστημα χειρουργικής υποβοήθησης ROBODOC.

Το υποσύστημα προεγχειρητικού σχεδιασμού είναι εξοπλισμένο με κατάλληλο λογισμικό ώστε να παρέχει στο χειρουργό τρισδιάστατη πληροφορία και εύκολο point-and-click έλεγχο. Σε μία επέμβαση αρθροπλαστικής το ORTHODOC μετατρέπει την αξονική τομογραφία της άρθρωσης του ασθενή σε μία τρισδιάστατη εικόνα του οστού, με τη βοήθεια της οποίας ο χειρουργός μπορεί να εξάγει τα χαρακτηριστικά του οστού και της άρθρωσης. Δίνεται έτσι η δυνατότητα στον τελευταίο να χρησιμοποιήσει το ORTHODOC σε μία εικονική προσομοίωση της επέμβασης με τη βοήθεια των εικόνων CT της ανατομίας του ασθενή.

Ο χειρουργός επιλέγει το μοντέλο, το μέγεθος και τον τύπο του εμφυτεύματος από την εκτεταμένη ψηφιακή βιβλιοθήκη του ORTHODOC βασιζόμενος στην ανάλυση των προεγχειρητικών εικόνων αξονικής τομογραφίας και καθορίζει ενεργά, με τη βοήθεια του τρισδιάστατου εικονικού μοντέλου, την επιθυμητή θέση κάθε μέρους της άρθρωσης σε σχέση με τις συντεταγμένες της αξονικής. Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται η βέλτιστη επιλογή του εμφυτεύματος και η ακριβής ευθυγράμμισή του. Μελέτες έχουν δείξει ότι η προεγχειρητική επιλογή τεχνητών προσθέσεων μπορεί να οδηγήσει με κατάλληλο σχεδιασμό σε ποσοστά επιτυχίας μεγαλύτερα και του 95% ακόμα.

Το προεγχειρητικό σχέδιο το οποίο δημιουργήθηκε από το ORTHODOC μεταφέρεται ηλεκτρονικά στο σύστημα χειρουργικής υποβοήθησης ROBODOC, το οποίο, ελεγχόμενο από υπολογιστή, το εκτελεί με εξαιρετική ακρίβεια. Το χέρι του χειρουργού οδηγεί το ρομπότ σε μία αρχική θέση. Κατόπιν το ROBODOC, ασκώντας ελεγχόμενη, ήπια πίεση μπορεί να “σμιλεύσει” την κοιλότητα του οστού στο επιθυμητό σχήμα με ακρίβεια μικρότερη του χιλιοστού, ενώ ταυτόχρονα απεικονίζονται σε ένα μόνιτορ οι δυνάμεις κοπής, η κίνηση των οστών και άλλες παράμετροι ασφαλείας. Ο χειρουργός βλέπει επίσης σε οθόνη την εξέλιξη της επέμβασης και μπορεί να διακόψει το ρομπότ οποιαδήποτε στιγμή. Εάν η επέμβαση σταματήσει για οποιονδήποτε λόγο, υπάρχει δυνατότητα αποκατάστασης του σφάλματος με

επανάληψη της διαδικασίας από την αρχή ή με επανεκκίνηση αυτής σε ένα από τα καθορισμένα σημεία ελέγχου. Αφού επιτευχθεί το επιθυμητό σχήμα οστού, ο χειρουργός συνεχίζει την επέμβαση με τον κλασικό τρόπο.



Εικ. 3.4: Τα στάδια της χειρουργικής επέμβασης με το ROBODOC

Ο ρομποτικός βραχίονας του συστήματος είναι εφοδιασμένος με ένα ορθοπεδικό εργαλείο υψηλής ταχύτητας (τρυπάνι) και λοιπό υλικό εξοπλισμό ειδικά σχεδιασμένο για να επιτυγχάνεται ακριβές ταίριασμα του προσθετικού μέλους. Το ρομπότ έχει επίσης τη δυνατότητα να σμιλεύει κοιλότητες για την εμφύτευση ισχίου, να απομακρύνει την οστέινη ουσία από τα οστά σε επεμβάσεις επανόρθωσης και να λειαίνει τις μηριαίες και κνημιαίες επιφάνειες για εμφύτευση γονάτου. Η χρήση του συγκεκριμένου ρομποτικού συστήματος σε χιλιάδες επεμβάσεις μέχρι σήμερα έχει αποδειχτεί ότι είναι λιγότερο τραυματική για τον ασθενή και μεγαλύτερης ακρίβειας από τις αντίστοιχες συμβατικές τεχνικές.

Τον Ιούνιο του 2008 η κορεάτικη εταιρεία Curexo Technology Corporation εξαγόρασε την Integrated Surgical Systems, αποκτώντας έτσι όλα τα πνευματικά δικαιώματα για το σύστημα ROBODOC. Τον Αύγουστο του 2008 το σύστημα έλαβε την έγκριση της FDA για επεμβάσεις ολικής αρθροπλαστικής ισχίου. Μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί πάνω από 24.000 επεμβάσεις παγκοσμίως με το σύστημα ROBODOC, ενώ η εταιρεία προσπαθεί να επεκτείνει τη χρήση του συστήματος σε επεμβάσεις σπονδυλικής στήλης και κρανίου.^{[6],[7]}

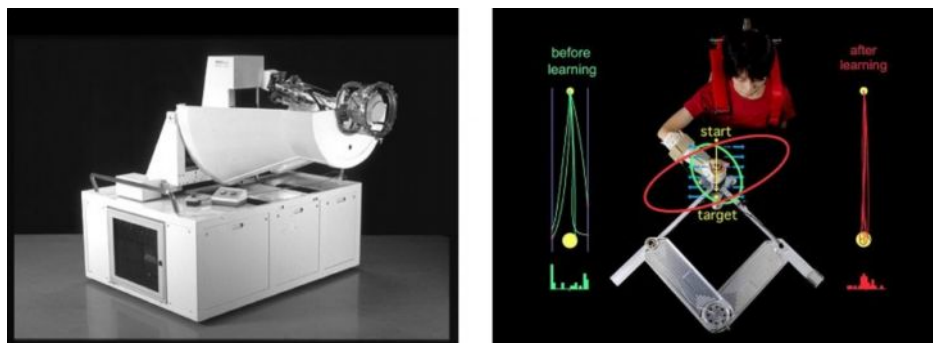


Εικ. 3.5: Το σύστημα ROBODOC

3.1.5 Το σύστημα Minerva

Το σύστημα Minerva σχεδιάστηκε το 1991 στο Πολυτεχνείο της Λωζάννης (EPFL) στην Ελβετία για την υποβοήθηση επεμβάσεων νευροχειρουργικής. Διέθετε συνολικά πέντε βαθμούς ελευθερίας, σε δύο γραμμικούς άξονες (κάθετο και πλάγιο), δύο περιστροφικούς άξονες (για κίνηση σε οριζόντιο και κάθετο επίπεδο) και σε έναν ακόμη γραμμικό για την κίνηση του εργαλείου από και προς το κεφάλι του ασθενούς. Το ρομπότ ήταν τοποθετημένο πάνω σε έναν κινούμενο φορέα. Το στερεοτακτικό πλαίσιο αναφοράς ήταν προσαρτημένο στο σκελετό του ρομπότ και συζευγμένο με το μηχανοκίνητο τραπέζι του αξονικού τομογράφου.

Το σύστημα χρησιμοποιήθηκε σε δύο επεμβάσεις σε ασθενείς το Σεπτέμβριο του 1993 στο νοσοκομείο Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV) της Λωζάννης, αλλά έκτοτε το πρόγραμμα διακόπηκε. Οι περιορισμένοι βαθμοί ελευθερίας του συστήματος, η δυσχρηστία του και η τοποθέτηση του ρομπότ μέσα στον τομογράφο δεν παρείχαν και το ιδανικότερο περιβάλλον για την εκτέλεση νευροχειρουργικών επεμβάσεων και διαγνωστικών απεικονίσεων. Το σύστημα βασιζόταν στο φορτικό για τον ασθενή στερεοτακτικό πλαίσιο αναφοράς και δεν παρουσίαζε κάποιο πλεονέκτημα απόδοσης συγκρινόμενο με αυτό. Οι επεμβάσεις διαρκούσαν περισσότερο και ήταν οικονομικά ασύμφορες, καθώς όποτε ο τομογράφος ήταν ανενεργός, κατά τη διάρκεια αυτών, δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε άλλες εξετάσεις διάγνωσης.^[2]



Εικ 3.6: Το σύστημα Minerva

3.1.6 Το σύστημα Acrobot

Η εταιρεία Acrobot ιδρύθηκε το 1999 ως spin-out εταιρεία του Imperial College στο Λονδίνο. Το ομώνυμο χειρουργικό σύστημα, που αποτελεί και το βασικό της προϊόν, είναι ένα ημιενεργό ρομποτικό σύστημα για τη χειρουργική επέμβαση γονάτων. Η συσκευή δεν κινείται αυτόνομα, παρόλο που θα μπορούσε να προγραμματιστεί για κάτι τέτοιο. Αντιδρά στις κινήσεις του χειρουργού, ο οποίος κρατά μία λαβή προσαρτημένη στη συσκευή. Το σύστημα υποβοηθά την κίνηση όποτε ο χειρουργός μετακινεί ένα εργαλείο διάτρησης οστού στην περιοχή του γονάτου του ασθενούς για να αφαιρέσει το κόκκαλο αλλά και τον αποτρέπει παράλληλα είτε να κινηθεί έξω από τη συγκεκριμένη περιοχή ασφαλείας είτε να κόψει πάρα πολύ κόκκαλο.

Το Acrobot ανήκει σε μία κατηγορία προϊόντων που είναι γνωστά και ως χειρουργικά συστήματα πλοήγησης (navigation systems). Προσφέρει ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα της κατηγορίας διότι παρέχει εργαλεία για τον χειρισμό μαλακών ιστών και καθιστά δυνατή την προσέγγιση της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος έχει αποδειχθεί κλινικά. Οι πρώτες κλινικές δοκιμές το 2002 περιελάμβαναν επτά ολικές αντικαταστάσεις γονάτου. Κατά τη διάρκεια μίας μελέτης που έλαβε χώρα το 2004 πραγματοποιήθηκαν 13 επεμβάσεις αντικατάστασης γονάτου με τη βοήθεια του συστήματος Acrobot και 15 με συμβατικές μεθόδους. Η έρευνα έδειξε ότι η τοποθέτηση του προσθετικού εμφυτεύματος με τη βοήθεια του χειρουργικού

συστήματος πραγματοποιήθηκε με μεγαλύτερη ακρίβεια και συνέπεια σύμφωνα με το χειρουργικό πλάνο. Και στις 13 ρομποτικές επεμβάσεις με το Acrobot τα εμφυτεύματα τοποθετήθηκαν με ακρίβεια 2° . Την ίδια ακρίβεια επέδειξαν μόνο 6 από τις 15 επεμβάσεις με τη συμβατική μέθοδο, με τη χειρότερη περίπτωση να έχει απόκλιση 4.2° από τη σχεδιασμένη θέση. Η πιο πρόσφατη έκδοση του συστήματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα υποσυστήματα:

Acrobot Modeller

Είναι ένα εύχρηστο σύστημα λογισμικού που χρησιμοποιεί τις προεγχειρητικές εικόνες από την αξονική τομογραφία της άρθρωσης του ασθενούς για να παράγει ένα τρισδιάστατο μοντέλο της ανατομίας του οστού του.

Acrobot Planner

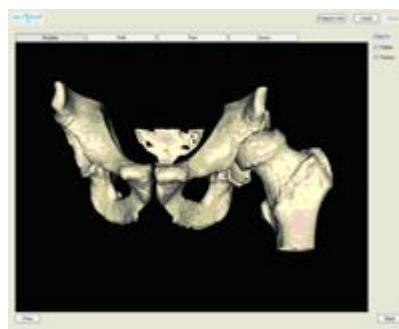
Το λογισμικό αυτό επιτρέπει στον χειρουργό να έχει μία τρισδιάστατη απεικόνιση της ανατομίας του ασθενούς που δημιούργησε ο Acrobot Modeller. Χρησιμοποιείται επίσης από τον χειρουργό για να παράγει ένα μοναδικό για κάθε ασθενή προεγχειρητικό σχέδιο με το σωστό μέγεθος όκαι την ακριβή τοποθέτηση του απαιτούμενου για κάθε περίπτωση εμφυτεύματος.

Acrobot Navigator

Αποτελεί ένα μοναδικό, καθαρά μηχανικό σύστημα, και για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζει τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα οπτικά και ηλεκτρομαγνητικά συστήματα (παρεμβολές κ.ά.). Διαθέτει δύο βραχίονες, ο ένας από τους οποίους προσαρμόζεται στον ασθενή και ο άλλος στα διάφορα χειρουργικά εργαλεία, η εναλλαγή των οποίων γίνεται εύκολα κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Ο Acrobot Navigator είναι ένα εργονομικό και εύχρηστο σύστημα, δεν παρεμβάλλει μέσα στο χειρουργικό πεδίο και διαθέτει ένα άριστο interface μεταξύ του χρήστη και του λογισμικού συστήματος. Επιπλέον, ο χειρουργός έχει τη δυνατότητα να βλέπει την πραγματική σε σύγκριση με την προσχεδιασμένη θέση κάθε εργαλείου, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ακριβής προετοιμασία του οστού, σύμφωνα πάντοτε με το προεγχειρητικό σχέδιο του Acrobot Planner. Η επίσημη παρουσίαση του Acrobot Navigator έγινε το 2007.

Acrobot Sculptor

Το σύστημα αυτό επιτρέπει σε έναν χειρουργό να περιορίζει το κόψιμο ενός οστού μέσα σε έναν καθορισμένο όγκο στο χώρο και να το διαμορφώνει έτσι ώστε να μπορεί να δεχτεί το εμφύτευμα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο χειρουργός μπορεί να αποφασίζει πιο εύκολα που, πότε και πόσο οστό θα κόψει. Η παρουσίαση της συσκευής αναμένεται να γίνει μέσα στο 2009 καθώς βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης.^[8]



Εικ. 3.7: *Ο Acrobot Navigator*

3.1.7 Το σύστημα neuroArm

Το συγκεκριμένο χειρουργικό σύστημα αναπτύχθηκε από τον Dr. Garnette Sutherland, καθηγητή Νευροχειρουργικής στο πανεπιστήμιο του Calgary, και την ομάδα του με τη χρηματοδότηση του Ιδρύματος για την Καινοτομία του Καναδά. Το πρόγραμμα ξεκίνησε το 2001 και η επίσημη παρουσία του συστήματος πραγματοποιήθηκε στις 17 Απριλίου 2007. Το neuroArm είναι ένα καθοδηγούμενο από εικόνα (συμβατό με MRI) και ελεγχόμενο από υπολογιστή ρομποτικό σύστημα για εφαρμογές νευροχειρουργικής. Είναι ειδικά σχεδιασμένο τόσο για μικροχειρουργικές επεμβάσεις όσο και για εφαρμογές βιοψίας και στερεοταξίας.

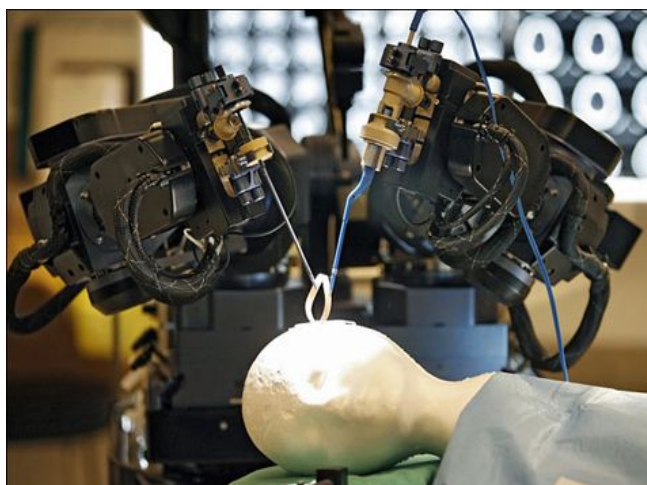
Το σύστημα περιλαμβάνει έναν σταθμό εργασίας (workstation), την κονσόλα ελέγχου του συστήματος και δύο ρομποτικούς βραχίονες πάνω σε μία κινητή βάση. Το neuroArm επιτρέπει τον τηλεχειρισμό των χειρουργικών εργαλείων από ένα δωμάτιο ελέγχου δίπλα ακριβώς στη χειρουργική αίθουσα. Έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί μέσα στο περιβάλλον μαγνητικού τομογράφου 1.5 Tesla. Αυτό δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιούνται στερεοτακτικές επεμβάσεις μέσα στο δακτύλιο του μαγνητικού τομογράφου με καθοδήγηση από εικόνα σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Το σύστημα διαθέτει επίσης την απαιτούμενη δεξιάτητα να εκτελέσει επεμβάσεις μικροχειρουργικής κι έξω από το μαγνητικό τομογράφο.

Οι ρομποτικοί βραχίονες του συστήματος έχουν επτά βαθμούς ελευθερίας και είναι συμβατοί με την τεχνική του μαγνητικού συντονισμού (MR-compatible), το οποίο διασφαλίζει ότι η απόδοσή τους δεν επηρεάζεται από το μαγνητικό πεδίο και η ποιότητα της εικόνας δεν υποβαθμίζεται αισθητά. Τα τελικά στοιχεία δράσης των βραχιόνων είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες δύναμης τριών διαστάσεων που παρέχουν την αίσθηση της αφής. Είναι ειδικά σχεδιασμένα να κρατούν μία σειρά από διάφορα χειρουργικά εργαλεία επιτρέποντας στο χειρουργό να εκτελεί από απόσταση κινήσεις περιστροφής και ώθησης των τελευταίων. Ο σχεδιασμός τους επιτρέπει γρήγορη εναλλαγή των εργαλείων, μειωμένη πιθανότητα καταστροφής αυτών και την κάλυψή τους για λόγους αποστείρωσης. Με τα εξειδικευμένα χειρουργικά εργαλεία το neuroArm μπορεί να κόβει και να χειρίζεται μαλακούς ιστούς, να εκτελεί βιοψίες, να διαχωρίζει τα οστά από τους περιβάλλοντες ιστούς, να πραγματοποιεί τομές σε επίπεδα ιστών, συρραφές, ηλεκτροκαυτηριάσεις, αναρροφήσεις κ.λ.π.

Ο σταθμός εργασίας αποτελεί τη διεπαφή (interface) μέσω της οποίας ο χειρουργός-χρήστης ελέγχει την κίνηση των ρομποτικών βραχιόνων. Τα συστήματα από τα οποία αυτός αποτελείται επιλέχθηκαν όχι μόνο για να αναπαράγουν την εικόνα, τον ήχο και την αίσθηση της αφής από το χειρουργικό πεδίο, αλλά και για να παρέχουν ολοκληρωμένες υπηρεσίες στο χειρουργό με τη βοήθεια προηγμένων συσκευών απεικόνισης. Ο σταθμός αποτελείται από δύο βιντεοοθόνες, δύο οθόνες αφής, μία μονάδα στερεοσκοπικής προβολής και δύο χειριστήρια ελέγχου με ανάδραση δύναμης (force feedback).

Οι δύο βιντεοοθόνες δείχνουν όψεις από το χειρουργικό πεδίο. Η μία από τις δύο οθόνες αφής δείχνει εικόνες δύο και τριών διαστάσεων της μαγνητικής τομογραφίας του ασθενούς, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό της χειρουργικής επέμβασης και τον προσδιορισμό της παθολογίας, ενώ η δεύτερη οθόνη αφής παρουσιάζει διάφορα στοιχεία για την κατάσταση και τις παραμέτρους του συστήματος. Δύο κάμερες υψηλής ευκρίνειας τοποθετημένες στο χειρουργικό μικροσκόπιο μεταδίδουν μία στερεοσκοπική εικόνα στο χειρουργό. Η μονάδα στερεοσκοπικής προβολής είναι δομικά παρόμοια με τις διόπτρες ενός κλασικού μικροσκοπίου. Εντούτοις, χρησιμοποιεί δύο μικροσκοπικές έγχρωμες οθόνες XGA που παρέχουν στο χειρουργό απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου με αντίληψη βάθους.

Το ρομποτικό σύστημα neuroArm έχει ύψος περίπου 1m και πλάτος 60cm, αλλά μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε ύψος χειρουργικού τραπέζιου. Είναι τοποθετημένο πάνω σε τροχίσκους για την ευκολότερη μετακίνησή του και διαθέτει ειδικό μηχανισμό ασφαλείας που το “κλειδώνει” στο πάτωμα ώστε να αποφεύγονται οι ανεπιθύμητες μετακινήσεις του. Η κατασκευή του κόστισε 24 εκατομμύρια δολάρια και σε αυτήν συμμετείχε και η εταιρεία που κατασκευάζει τους ρομποτικούς βραχίονες των διαστημικών λεωφορείων της NASA.^{[9],[10]}



Εικ. 3.8: Το σύστημα neuroArm

3.2 Ρομποτικά συστήματα ενδοσκόπησης

3.2.1 Το σύστημα AESOP

Το ρομποτικό σύστημα AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning) αποτέλεσε το πρώτο προϊόν της εταιρείας Computer Motion Inc. με έδρα την Καλιφόρνια των Η.Π.Α. και κυκλοφόρησε τον Οκτώβριο του 1994. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν μοναδικό ρομποτικό βραχίονα που σχεδιάστηκε για να κρατάει την ενδοσκοπική κάμερα κατά τη διάρκεια ελάχιστα επεμβατικών εγχειρήσεων. Το σύστημα AESOP αποτελεί στην ουσία ένα τρίτο “χέρι” για τον χειρουργό, καθώς ο βραχίονάς του τον απαλλάσσει από την ανάγκη για χειροκίνητο χειρισμό της λαπαροσκοπικής κάμερας. Ο χειρισμός του συστήματος γίνεται με τη βοήθεια πεντάλ ποδιού, γεγονός που συνέβαλλε στην εξάλειψη των προβλημάτων από το φυσικό τρόπο των χεριών του χειρουργού. Αν και τα πεντάλ αυτά ήταν εύκολα στο χειρισμό για τους καλά εκπαιδευμένους χειρουργούς, αποτελούσαν πρόβλημα για τους νέους χρήστες καθώς αυτοί έπρεπε να κοιτούν συνεχώς κάτω μέχρι να μπορέσουν να προσαρμοσθούν.

Τον Δεκέμβριο του 1993 το σύστημα AESOP 1000 έγινε η πρώτη χειρουργική ρομποτική συσκευή με οπτική απεικόνιση που έλαβε την έγκριση της FDA. Η επόμενη έκδοση του προϊόντος, το σύστημα AESOP 2000 που κυκλοφόρησε το 1996, χρησιμοποιούσε εντολές φωνητικού ελέγχου. Αυτό επέτρεπε στο χειρουργό να χρησιμοποιεί φωνητικές εντολές (αντί για πεντάλ ή χειριστήρια) για τον ακριβή έλεγχο της θέσης του λαπαροσκόπιου και την επίτευξη σταθερότερης εικόνας του χειρουργικού πεδίου. Το σύστημα αυτό διέθετε και πιο εξελιγμένο ελεγκτή που ικανοποιούσε τις απαιτήσεις απόδοσης και ηλεκτρικής συμβατότητας της Ευρωπαϊκής Κοινότητας.

Μία κλινική, συμβουλευτική ομάδα από διακεκριμένους καρδιοχειρουργούς συνεργάστηκε στενά με την Computer Motion καθόλη τη διάρκεια ανάπτυξης της τελευταίας έκδοσης AESOP 3000. Ο έξυπνος αυτός ρομποτικός βραχίονας προσέγγιζε τη μορφή και τη λειτουργία του ανθρώπινου βραχίονα, επιτρέποντας στους χειρουργούς με τις ακριβείς κινήσεις του να εκτελούν ελάχιστα επεμβατικές εγχειρήσεις στη θωρακική κοιλότητα. Οι κλινικές δοκιμές του συστήματος, που πραγματοποιήθηκαν σε γνωστά καρδιολογικά κέντρα, ολοκληρώθηκαν το Νοέμβριο του 1997, ενώ το Δεκέμβριο του ίδιου έτους το σύστημα έλαβε την έγκριση της FDA. Το σύστημα αυτό διέθετε έναν επιπλέον βαθμό ελευθερίας στο ρομποτικό του βραχίονα, ενώ μία πιο εξελιγμένη έκδοσή του, το AESOP HR (Hermes Ready), είχε τη δυνατότητα δικτύωσης με άλλες “έξυπνες” συσκευές μέσω του κέντρου ελέγχου Hermes.^{[11],[12]}



Εικ. 3.9: Το σύστημα AESOP (αριστερά) και χειρουργική επέμβαση με αυτό (δεξιά)

3.2.2 Το σύστημα EndoAssist

Το EndoAssist κυκλοφόρησε το 1998 από τη βρετανική εταιρεία Armstrong Healthcare (σήμερα Prosurgics). Αποτελείται από έναν αποσπώμενο ρομποτικό βραχίονα ειδικά σχεδιασμένο για να κρατάει μία κλασική λαπαροσκοπική κάμερα κατά τη διάρκεια ελάχιστα επεμβατικών εγχειρήσεων. Το σύστημα είναι προγραμματισμένο να ανιχνεύει τις κινήσεις του κεφαλιού του χειρουργού και να κατευθύνει την κάμερα σύμφωνα με αυτές. Για το λόγο αυτό ο χειρουργός φοράει έναν ειδικό, ελαφρύ κεφαλόδεσμο στον οποίο έχει προσαρτηθεί ένας ασύρματος πομπός υπέρυθρων. Η κίνηση του κεφαλιού του ανιχνεύεται από τη μονάδα του δέκτη, η οποία και τη μετατρέπει σε κίνηση του ρομπότ. Οι κινήσεις του ρομποτικού βραχίονα (και συνεπώς και της λαπαροσκοπικής κάμερας) εκτελούνται μόνο όταν ο χειρουργός έχει ταυτόχρονα πατημένο ένα ειδικό πεντάλ, επιτρέποντας έτσι σε αυτόν να κινείται ελεύθερα τον υπόλοιπο χρόνο.

Το EndoAssist έχει τη δυνατότητα να κινείται σε τρεις άξονες. Μπορεί να εκτελέσει οριζόντια περιστροφή 350° , κατακόρυφη κίνηση με κλίση από -45° έως $+90^{\circ}$ και διαγώνια κίνηση μέχρι το μήκος του λαπαροσκόπιου. Είναι σχεδιασμένο να δέχεται λαπαροσκόπια με τις συνήθεις διαμέτρους των 5mm και 10mm και να δουλεύει ιδανικά τόσο με αυτά των 0° όσο και αυτά των 30° . Η προετοιμασία του συστήματος πριν από την επέμβαση απαιτεί λιγότερο από 2 min. Το EndoAssist μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις διαδικασίες της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής, την καρδιο- και θωρακοχειρουργική, τη γενική χειρουργική, τη βαριατρική και την ουρολογική χειρουργική. Εντούτοις, τα πλεονεκτήματά του γίνονται εμφανή σε επεμβάσεις όπου η τοποθέτηση του λαπαροσκόπιου απαιτεί ιδιαίτερη ακρίβεια, όπως είναι π.χ. η αποκατάσταση της μιτροειδούς βαλβίδας και η ριζική προστατεκτομή. Το σύστημα έχει λάβει την έγκριση της FDA στις Η.Π.Α. για επεμβάσεις στο θώρακα και την κοιλιακή χώρα, ενώ είναι πιστοποιημένο και κατά CE στην Ευρωπαϊκή Ένωση.^[13]



Εικ. 3.10: Το σύστημα EndoAssist

3.3 Συστήματα ελέγχου και τηλεσυνεργασίας

3.3.1 Το σύστημα SOCRATES

Το σύστημα ρομποτικής τηλεσυνεργασίας SOCRATES είναι η πρώτη συσκευή που πήρε άδεια τον Οκτώβριο του 2001 από την FDA σε μία νέα κατηγορία ιατρικών συσκευών, των επονομαζόμενων συσκευών τηλεχειρουργικής. Αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, δικτυωμένων ιατρικών συσκευών και ρομποτικών συστημάτων με σκοπό να παρέχει έναν οικονομικό και αποτελεσματικό τρόπο συνεργασίας και συμβουλευτικής από απόσταση. Το SOCRATES είναι στην ουσία ένας συνδυασμός της τηλεσυνδιάσκεψης (videoconferencing) και του ελέγχου του συστήματος AESOP από απόσταση.

Το σύστημα επιτρέπει σε έναν χειρουργό που βρίσκεται μέσα σε μία χειρουργική αίθουσα να δουλέψει σε συνεργασία με έναν άλλο πιο εξειδικευμένο χειρουργό που μπορεί να βρίσκεται σε οποιοδήποτε σημείο του κόσμου. Μέσω των μοναδικών δυνατοτήτων του το σύστημα παρέχει τη δυνατότητα σε έναν απομακρυσμένο, έμπειρο χειρουργό να έχει “τηλεπαρουσία” μέσα στο χειρουργικό δωμάτιο, παρέχοντάς του εικόνα και ήχο από το χειρουργικό πεδίο σε πραγματικό χρόνο. Σε συνεργασία με το Zeus, το SOCRATES είναι το πρώτο κρίσιμο βήμα που σηματοδοτεί την αρχή της περιόδου της ελάχιστη επεμβατικής τηλεχειρουργικής.

Το σύστημα τηλεσυνεργασίας SOCRATES χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς για πρώτη φορά στις 23 Σεπτεμβρίου του 2002 σε μία νευροχειρουργική επέμβαση από απόσταση. Από μία χειρουργική αίθουσα στο Halifax του Καναδά, ο Dr. Ivar Mendez και ο συνεργάτης του Dr. David Clarke βοήθησαν τους νευροχειρουργούς Dr. Simon Walling και Dr. George Kolyvas να εκτελέσουν με επιτυχία μία κρανιοτομή σε ασθενή για την απομάκρυνση ενός όγκου, 400 χιλιόμετρα μακριότερα στο New Brunswick. Το σύστημα SOCRATES αναπτύχθηκε από την Computer Motion.^[14]

3.3.2 Το σύστημα Hermes

Το σύστημα ελέγχου Hermes αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α. από την Computer Motion σε συνεργασία με την εταιρεία κατασκευής ιατρικού εξοπλισμού Stryker στην Καλιφόρνια. Αποτελεί ένα υπερσύγχρονο σύστημα ανοικτής αρχιτεκτονικής που επιτρέπει τη διασύνδεση και το φωνητικό έλεγχο διάφορων συσκευών απαραίτητων για την εκτέλεση εγχειρήσεων ελάχιστης επέμβασης. Το σύστημα αποτελείται από μία οθόνη αφής, την κεντρική μονάδα ελέγχου που συνδέεται με τις υπόλοιπες συσκευές μέσα στο χειρουργείο και ένα ζευγάρι ακουστικών με μικρόφωνο.

Φορώντας το ζεύγος των ακουστικών ο χειρουργός μπορεί να δώσει εντολή στο Hermes να ελέγξει χειρουργικά εργαλεία, να ρυθμίσει το χειρουργικό τραπέζι και το φωτισμό, να βγάλει φωτογραφίες ή να βιντεοσκοπήσει το χειρουργικό πεδίο, να αλλάξει την εικόνα που βλέπει στην οθόνη, να διορθώσει τη θέση της κάμερας που καταγράφει την επέμβαση, να εκτυπώσει εικόνες για μελλοντική αναφορά και να ξαναδεί τις ακτινογραφίες ή μαγνητικές τομογραφίες του ασθενούς σε μία οθόνη βίντεο. Ο χειρουργός μπορεί επίσης να δει αυτόματα τα παθολογικά αποτελέσματα κατά τη διάρκεια της επέμβασης, ενώ του επιτρέπει στιγμιαία πρόσβαση σε ιατρικές πληροφορίες από τα ψηφιακά ιατρικά αρχεία του ασθενούς.

Το σύστημα διαθέτει αναγνώριση φωνής, έτσι ώστε να διασφαλίζεται ότι αυτό θα υπακούει μόνο τις φωνητικές εντολές του χειρουργού. Είναι σημαντικό οι εντολές να δίδονται σωστά. Για λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας, το σύστημα ανταποκρίνεται σε ένα αυστηρά καθορισμένο ρεπερτόριο εντολών, φιλτράροντας από όλους τους ήχους αυτό που θέλει να “ακούσει”. Το προσωπικό του χειρουργείου μπορεί να εισάγει εντολές μέσω μίας οθόνης αφής. Από αυτή την άποψη το Hermes μπορεί να θεωρηθεί ένα “έξυπνο” σύστημα. Έχει τη δυνατότητα να παρέχει οπτική και φωνητική ανάδραση για την κατάσταση κάθε συσκευής, όπως π.χ. εάν υπάρξει κάποιο πρόβλημα δυσλειτουργίας ή αποσύνδεσης. Επιτρέπει επίσης στο χειρουργό και το υπόλοιπο προσωπικό να ελέγχουν ένα ευρύ σύνολο δικτύων, που μπορεί να αποτελείται από τα συστήματα AESOP, Zeus και SOCRATES.

Το κέντρο ελέγχου Hermes αναβαθμίζει γενικά το χειρουργικό εξοπλισμό μειώνοντας το χρόνο και το κόστος της επέμβασης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γενική λαπαροσκόπηση, σε επεμβάσεις ρινοφαρυγγοσκόπησης, ενδοσκόπησης στο αυτί και γενικά οπουδήποτε ενδείκνυται η χρήση λαπαροσκόπιου. Αυτός ο τρόπος ελέγχου των επεμβάσεων μπορεί να μειώσει τον απαιτούμενο χρόνο τους έως και 15%.^[15]



Εικ. 3.11: Η πλατφόρμα ελέγχου Hermes

3.4 Συστήματα ρομποτικής ακτινοχειρουργικής

3.4.1 Στερεοτακτική ακτινοχειρουργική

Η στερεοτακτική ακτινοχειρουργική είναι μία εξειδικευμένη ακτινοθεραπευτική τεχνική με την οποία ακτίνες φωτονίων κατευθύνονται προς έναν στερεοτακτικά προσδιορισμένο στόχο και καταστρέφοντάς τον είναι σαν να επιτυγχάνεται αναίμακτη εγχείρηση. Αποτελεί έναν διεθνή όρο που χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την αντιμετώπιση παθήσεων και όγκων του εγκεφάλου. Η στερεοτακτική ακτινοχειρουργική μπορεί πλέον, εκτός του εγκεφάλου, να αντιμετωπίσει παθολογικές καταστάσεις και σε άλλα όργανα του ανθρώπινου σώματος με την ίδια εξαιρετική ακρίβεια με την οποία αντιμετωπίζονταν παλαιότερα προβλήματα μόνο στην κρανιακή περιοχή.

Ο όρος “στερεοτακτική” σημαίνει ότι όλοι οι παράμετροι της θεραπείας υπολογίζονται και στις τρεις διαστάσεις του χώρου (άξονες x,y,z). Με τη βοήθεια τρισδιάστατης απεικόνισης, ο στόχος-όγκος μελετάται και στη συνέχεια σχεδιάζεται με ακρίβεια η ακτινοβολήσή του, σε σχέση πάντοτε και με τους παρακείμενους υγιείς ιστούς. Η χρήση του όρου “ακτινοχειρουργική” γίνεται κατ’εμφημισμό, καθώς η επέμβαση εκτελείται στην πραγματικότητα με ακτίνες και όχι με νυστέρι, επιτυγχάνοντας έτσι την αναίμακτη και με εξαιρετική ακρίβεια καταστροφή βιολογικών στόχων (κακοήθειες ή παθολογικούς ιστούς) χωρίς την πρόκληση βλαβών σε γειτονικούς φυσιολογικούς ιστούς. Η ακτινοχειρουργική αποτελεί αποδεδειγμένα μία αποτελεσματική μέθοδο, εναλλακτική τόσο της χειρουργικής αντιμετώπισης όσο και της συμβατικής ακτινοθεραπείας για την αντιμετώπιση πολλών τύπων νεοπλασιών καθώς και αρκετών άλλων παθολογικών διαταραχών.

Από το 1967 που ο Σουηδός νευροχειρουργός Lars Leksell επινόησε και κατασκεύασε το πρώτο μηχάνημα στερεοτακτικής ακτινοχειρουργικής, το Gamma Unit I το οποίο αργότερα εξελίχθηκε στο Gamma Knife, έχουν δημιουργηθεί μέχρι σήμερα τέσσερις τεχνικές που χρησιμοποιούν μηχανήματα τριών τύπων με διάφορες παραλλαγές υλικού και λογισμικού, ανάλογα με τις εταιρείες παραγωγής τους (Gamma Knife, X-Knife, IMRT, CyberKnife).^[16]

3.4.2 Το σύστημα CyberKnife

Το CyberKnife είναι το πρώτο σύστημα ακτινοχειρουργικής που σχεδιάστηκε για την αντιμετώπιση όγκων και άλλων παθολογικών καταστάσεων, με ενδείξεις καλοήθειας ή κακοήθειας, σε οποιοδήποτε σημείο του σώματος με ακρίβεια κάτω του χιλιοστού. Η ακρίβεια της θεραπείας είναι καθοριστικός

παράγοντας και πιθανώς το σημαντικότερο χαρακτηριστικό γνώρισμα της ακτινοχειρουργικής. Η μέθοδος επικέντρωσης που χρησιμοποιεί το CyberKnife αντιπροσωπεύει μία μοναδική πρόοδο, πολύ πέρα από τα παλαιότερα συστήματα, τα οποία βασίζονταν στο μεταλλικό πλαίσιο που ήταν βιδωμένο στο κρανίο του ασθενούς ή εξαρτιόταν από το στοματικό αποτύπωμα της άνω γνάθου. Εφευρέθηκε από τον John Adler, καθηγητή Νευροχειρουργικής και Ραδιοογκολογίας στο πανεπιστήμιο Stanford της Καλιφόρνιας το 1987. Είναι ένα σύστημα στερεοτακτικής ακτινοχειρουργικής που χρησιμοποιεί τη σύγχρονη τεχνολογία και έχει ως σκοπό να είναι το ακριβέστερο και πιο ευέλικτο εργαλείο που διαθέτει η μοντέρνα ακτινοθεραπευτική. Το σύστημα CyberKnife αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά μέρη:

- Έναν μικρών διαστάσεων και ειδικών προδιαγραφών γραμμικό επιταχυντή 6MV με ρυθμό δόσης 600MU/min (Monitor Units per minute).
- Ένα ρομποτικό βραχίονα με δυνατότητα κινήσεων σε έξι άξονες (6 βαθμοί ελευθερίας) ώστε να είναι δυνατή οποιαδήποτε κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων στο χώρο. Ο βραχίονας κατευθύνεται και ελέγχεται από υπολογιστή με μέγιστο σφάλμα απόκλισης 0.2 mm.
- Σύστημα ψηφιακής ακτινογραφίας το οποίο καθοδηγεί το ρομπότ – άρα και τη δέσμη – για την παρακολούθηση της κίνησης του ασθενούς, και συνεπώς του στόχου (όγκου ή άλλης παθολογικής εστίας), για να γίνει αυτόματα η ανάλογη διόρθωση των παραμέτρων.
- Ένα ειδικά σχεδιασμένο τραπέζι θεραπείας.
- Σύστημα σχεδιασμού θεραπείας με σύγχρονους και ισχυρούς υπολογιστές αλλά και εξελιγμένο λογισμικό με πολλές και μεγάλες δυνατότητες.
- Το ειδικό σύστημα Synchrony που αποτελείται από συσκευές και λογισμικό και εφαρμόζεται ειδικά σε θεραπείες οργάνων που μετακινούνται με την αναπνευστική λειτουργία (π.χ. πνεύμονας, πάγκρεας, ήπαρ κ.λ.π.). Δίνει τη δυνατότητα σε έναν στόχο να ακτινοβολείται ενώ αυτός κινείται λόγω της αναπνοής του ασθενούς. Το πλεονέκτημα του συστήματος Synchrony είναι ότι ο ασθενής μπορεί να αναπνέει κανονικά σε όλη τη διάρκεια της θεραπείας ενώ το ρομπότ αντισταθμίζει ενεργά την κίνηση αναπνοής κατά τη διάρκεια της ακτινοβολήσης.



Εικ. 3.12: Το σύστημα CyberKnife

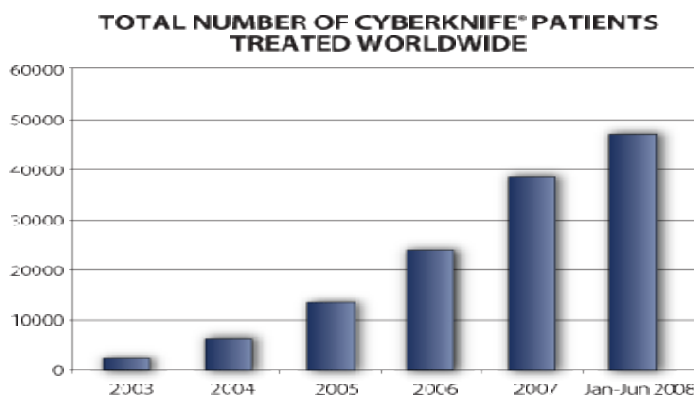
Μετά την τοποθέτηση του ασθενούς στο κρεβάτι του συστήματος και σε θέση θεραπείας, λαμβάνονται δύο ψηφιακές ακτινογραφίες με γωνία 90⁰ μεταξύ τους και το σύστημα βρίσκει τη στερεοτακτική θέση του στόχου τον οποίο ο χειρουργός έχει προγραμματίσει να ακτινοβολήσει. Μόλις χαρτογραφηθεί ακριβώς η θέση του στόχου, ο ρομποτικός βραχίονας κινείται (και μαζί του και ο

γραμμικός επιταχυντής) λαμβάνοντας τη θέση ακτινοβολήσης που έχει καθοριστεί στο εκπονηθέν σχέδιο θεραπείας. Μία νέα ψηφιακή λήψη επιβεβαιώνει ότι δεν υπήρξε μετακίνηση του στόχου ούτε χιλιοστό και τότε δίνεται η πρώτη δέσμη από τον γραμμικό επιταχυντή. Οι επόμενες δέσμες (δεύτερη, τρίτη κ.λ.π.) δίνονται από διάφορες γωνίες στο χώρο, με ανάλογες μετακινήσεις του ρομποτικού βραχίονα. Πριν από κάθε δέσμη ακτινοβολήσης το σύστημα επιβεβαιώνει τη σωστή θέση ασθενούς και στόχου. Αν συμβεί κάποια μετακίνηση εκτελεί αυτόματα διορθώσεις ώστε να συνεχίσει την επικέντρωση της θεραπείας στο στόχο όπως προβλέπει το προσχεδιασμένο πλάνο. Το σύστημα πραγματοποιεί τις διορθώσεις καθ'όλη τη διάρκεια της θεραπείας ακολουθώντας και ελέγχοντας τη θέση του στόχου και του ασθενούς. Αντισταθμίζει τη μετακίνηση του ασθενούς και του στόχου χρησιμοποιώντας ακτινογραφικές εικόνες σε πραγματικό χρόνο που συσχετίζονται με τις ακτινογραφικές εικόνες του σχεδίου θεραπείας.

Τελικά, δίδεται μία υψηλή δόση ακτινοβολίας με ακρίβεια συγκρίσιμη και ανώτερη από άλλες συσκευές ακτινοχειρουργικής βασισμένων σε πλαίσιο ακινητοποίησης, ενώ παράλληλα προφυλάσσεται ο παρακείμενος φυσιολογικός ιστός. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μέγιστη ακρίβεια στην παρεχόμενη ακτινοθεραπεία. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος είναι ότι δεν περιορίζεται σε ισοκεντρική θεραπεία, αλλά οι πολλές και από διάφορες κατευθύνσεις δέσμες του μπορούν να καλύψουν οποιοδήποτε σχήμα στόχου-όγκου, όσο ακανόνιστο κι αν είναι αυτό. Το CyberKnife μπορεί έτσι να αντιμετωπίσει όγκους ή άλλες παθολογικές εστίες που άλλα συστήματα ακτινοχειρουργικής δεν θα μπορούσαν.^[16]

Το πρώτο σύστημα CyberKnife εγκαταστάθηκε το 1994 στο πανεπιστήμιο Stanford και έκτοτε έχουν εγκατασταθεί διεθνώς περισσότερες από 140 μονάδες. Μέχρι στιγμής έχουν αντιμετωπιστεί συνολικά περισσότερα από 60.000 περιστατικά σε όλο τον κόσμο. Το Φεβρουάριο του 2008 οι ασθενείς που έκαναν θεραπεία με το CyberKnife διεθνώς για καρκίνο των πνευμόνων, του προστάτη και του ήπατος είχαν αυξηθεί περίπου κατά 50%, 100% και 131% αντίστοιχα σε σχέση με τον αντίστοιχο μήνα του 2007, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες ποσοστό μεγαλύτερο του 56% των συνολικών περιπτώσεων θεραπείας με το συγκεκριμένο σύστημα αφορά εξωκρανιακούς όγκους.

Το CyberKnife έχει λάβει την έγκριση της FDA για τη θεραπεία όγκων στο κεφάλι, το λαιμό και την ανώτερη σπονδυλική στήλη από το 1999 και την έγκριση για θεραπεία όγκων στο υπόλοιπο σώμα από το 2001. Τα πνευματικά και εμπορικά δικαιώματα του συστήματος διατηρεί η εταιρεία Accuray με έδρα το Sunnyvale της Καλιφόρνιας.^[17]



Εικ. 3.13: Συνολικός αριθμός ασθενών που έχει υποβληθεί σε θεραπεία με το CyberKnife σε παγκόσμια κλίμακα

3.5 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 (slaves) που μοιάζουν με τον ανθρώπινο καρπό.

Με τη βοήθεια του λαπαροσκόπιου, 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. Τον Ιούνιο του 2003 η τελευταία εξαγόρασε την Computer Motion, βασικότερη ανταγωνίστριά της, μαζί με όλα τα δικαιώματα για τα προϊόντα της.

3.5.1 Το χειρουργικό σύστημα Zeus

Το ρομποτικό σύστημα Zeus κατασκευάστηκε το 1995 από την εταιρεία Computer Motion Inc. και βασίστηκε πάνω στην τεχνολογία του συστήματος AESOP αυτής (στην ουσία αποτελεί εξέλιξη του συστήματος αυτού). Αποτελείται από την εργονομικά σχεδιασμένη κονσόλα ελέγχου του χειρουργού, τρεις ρομποτικούς βραχίονες προσαρμοσμένους πάνω στο χειρουργικό τραπέζι και έναν υπολογιστή-ελεγκτή. Ο κεντρικός βραχίονας καθοδηγεί το ενδοσκόπιο μέσα στο σώμα του ασθενούς με τη βοήθεια φωνητικών εντολών από τον χειρουργό, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα στον τελευταίο να έχει κατά προτίμηση δισδιάστατη ή τρισδιάστατη, σταθερή και μεγενθυμένη εικόνα του χειρουργικού πεδίου. Ο έλεγχος των δύο άλλων ρομποτικών βραχιόνων, του αριστερού και δεξιού, γίνεται από τον χειρουργό με τη χρήση ειδικών μοχλών στην κεντρική κονσόλα, οι κινήσεις των οποίων “μεταφράζονται” τελικά σε κινήσεις των χειρουργικών εργαλείων στις άκρες των δύο αυτών βραχιόνων.

Η ικανότητα του συστήματος να φιλτράρει ψηφιακά τον τρόπο στα χέρια του χειρουργού και να κλιμακώνει ανάλογα τις κινήσεις στα χειριστήρια της κονσόλας ελέγχου σε μικροκινήσεις μέσα στο σώμα του ασθενούς, έδωσε τη δυνατότητα για την εκτέλεση επεμβάσεων μικροχειρουργικής με μεγαλύτερη σταθερότητα και αξιοπιστία. Αυτός ήταν και ο λόγος που το συσκευασμένο σύστημα χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε επεμβάσεις καρδιοχειρουργικής, για την εκτέλεση στεφανιαίας παράκαμψης, τη λήψη της εσωτερικής μαστικής αρτηρίας κ.λ.π. Επιπλέον, σε συνδυασμό με το σύστημα SOCRATES, το Zeus προσφέρει επέκταση των δυνατοτήτων του, όπως π.χ. τηλεκαθοδήγηση, τηλεοπτεία κ.ά.

Μετά το 2000 το ρομποτικό σύστημα Zeus ενσωμάτωσε τη νέα τεχνολογία MicroWrist της Computer Motion, η οποία περιελάμβανε μία ολόκληρη σειρά χειρουργικών εργαλείων και οργάνων για χρήσεις ενδοσκοπικής χειρουργικής. Η τεχνολογία MicroWrist προέβλεπε έξι βαθμούς ελευθερίας, γεγονός που αύξησε την επιδεξιότητα των χειρουργών αφού τους επέτρεπε να εκτελούν ένα ευρύ φάσμα κινήσεων, ανάλογων του ανθρώπινου χεριού, μέσα στο σώμα του ασθενούς (το χέρι του ανθρώπου χαρακτηρίζεται από επτά βαθμούς ελευθερίας). Τα χειρουργικά εργαλεία ήταν ειδικά σχεδιασμένα για να ανταποκρίνονται στο ιδιαίτερο περιβάλλον μίας χειρουργικής αίθουσας. Είχαν διάμετρο από 3.5 έως 5 mm μόλις, ήταν ανθεκτικά, επαναχρησιμοποιήσιμα ενώ η αποστείρωσή τους και η εναλλαγή τους κατά τη διάρκεια μίας επέμβασης γίνονταν εύκολα. Η σειρά περιελάμβανε συνολικά περισσότερα από 40

συμβατά με το σύστημα Zeus χειρουργικά εργαλεία σε μία μεγάλη ποικιλία αξονικών διαμέτρων, από καθιερωμένες εταιρείες του χώρου όπως οι Scanlan, Storz και US Surgical.

Το σχετικά μικρό του βάρους επέτρεπε τη γρήγορη εγκατάσταση του χειρουργικού συστήματος Zeus, ενώ ιδιαίτερα μικρός ήταν και ο χρόνος της προετοιμασίας που αυτό απαιτούσε πριν από κάθε επέμβαση, μικρότερος από 15 λεπτά. Το ρεπερτόριο των φωνητικών εντολών που χρησιμοποιούσε ο χειρουργός ήταν περιορισμένο για την αποφυγή λαθών και ανεκτικό στο θόρυβο της χειρουργικής αίθουσας. Στην περίπτωση επιτυχημένης φωνητικής εντολής από τον χειρουργό προβλεπόταν φωνητική και οπτική ανάδραση πίσω σε αυτόν. Ένα πεντάλ ποδιού στην κονσόλα ελέγχου έδινε τη δυνατότητα στον χειρουργό να απομπλέκει το σύστημα όποτε αυτός ένιωθε την ανάγκη να ξεκουραστεί ή ήθελε να τοποθετήσει διαφορετικά τα χέρια του. Το ρομποτικό σύστημα Zeus παρείχε επίσης και τη δυνατότητα αποθήκευσης της εκάστοτε θέσης του ενδοσκοπίου (συντεταγμένες x,y,z), στην οποία μπορούσε αυτό να επιστρέψει εύκολα και γρήγορα οποιαδήποτε στιγμή.

Η πρώτη δοκιμή του συστήματος πραγματοποιήθηκε το 1996 σε ένα πειραματόζωο, ενώ το 1998 ο Dr. Frank Damiano πραγματοποίησε την πρώτη αναστόμωση σάλπιγγας στις Η.Π.Α. με χρήση του συστήματος Zeus. Στις 24 Σεπτεμβρίου 1999 ο Dr. Douglas Boyd του LHSC (London Health Sciences Centre) του Πανεπιστημίου του Δυτικού Οντάριο στο Λονδίνο του Καναδά εκτέλεσε την πρώτη παγκόσμια χειρουργική επέμβαση αορτοστεφανιαίας παράκαμψης κλειστού θώρακα με παλλόμενη καρδιά στον 60χρονο αγρότη John Penner. Έκτοτε το ρομποτικό σύστημα Zeus έχει βρει εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα χειρουργικών ειδικοτήτων που περιλαμβάνουν την καρδιοχειρουργική, τη γενική χειρουργική, τη χειρουργική κατά της νοσογόνου παχυσαρκίας (βαριατρική), την ουρολογία, τη νευροχειρουργική και άλλες ειδικότητες. Το σύστημα έλαβε την έγκριση της FDA το 2001 ενώ είναι πιστοποιημένο και κατά CE για την κυκλοφορία του στην ευρωπαϊκή αγορά. Το κόστος του πλησιάζει το ένα εκατομμύριο δολάρια.^{[18],[19]}



Εικ. 3.14: Χειρουργική επέμβαση με το σύστημα Zeus

3.5.2 Το χειρουργικό σύστημα da Vinci

Το ρομποτικό σύστημα da Vinci δημιουργήθηκε από την εταιρεία Intuitive Surgical Inc. το 1995 και αποτελεί το πρώτο και μοναδικό, αυτή τη στιγμή, σύστημα ρομποτικής χειρουργικής στον κόσμο που πραγματοποιεί εγχειρήσεις με την ελάχιστη δυνατή επέμβαση στον οργανισμό του ασθενούς. Η ονομασία του οφείλεται εν μέρει στον Leonardo da Vinci, ο οποίος εφηύρε το πρώτο ρομπότ και ο οποίος χρησιμοποιούσε απaráμιλλη ακρίβεια ανατομικής και τρισδιάστατες λεπτομέρειες για να δίνει “ζωή” στα έργα του.

Το σύστημα da Vinci περιλαμβάνει την εργονομικά σχεδιασμένη κονσόλα του χειρουργού, τον χειρουργικό πύργο που βρίσκεται δίπλα στον ασθενή, το σύστημα τρισδιάστατης απεικόνισης InSite και την ολοκληρωμένη σειρά πρωτοποριακών, αποσπώμενων χειρουργικών εργαλείων EndoWrist.

3.5.2.1 Η κονσόλα του χειρουργού (Surgeon Console)

Ο χειρουργός εκτελεί την επέμβαση ενώ κάθεται άνετα στην κονσόλα αυτή, μακριά από το χειρουργικό τραπέζι. Κοιτώντας μία τρισδιάστατη και μεγενθυμένη εικόνα του χειρουργικού πεδίου στην οθόνη χειρίζεται με τα δάχτυλά του τους ειδικούς μοχλούς που βρίσκονται κάτω από αυτήν, ενώ τα χέρια του βρίσκονται τοποθετημένα σε φυσιολογική θέση σε σχέση με τα μάτια του. Χάρη στην τεχνολογία Intuitive Masters, το σύστημα έχει τη δυνατότητα να φιλτράρει τον τρόπο των χειρών του χειρουργού και να κλιμακώνει ανάλογα τις κινήσεις του. Έτσι οι τελευταίες μετατρέπονται σε ακριβείς κινήσεις πραγματικού χρόνου των χειρουργικών εργαλείων μέσα στο σώμα του ασθενούς.



Εικ. 3.15: Η χειρουργική κονσόλα του συστήματος da Vinci

3.5.2.2 Ο χειρουργικός πύργος (Surgical Cart)

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

Κατά τη διάρκεια της επέμβασης τα υπόλοιπα μέλη της χειρουργικής ομάδας βοηθούν στην εγκατάσταση όλων των απαραίτητων οργάνων και εργαλείων, την προετοιμασία των μικροτομών στο σώμα του ασθενούς και έχουν τη γενικότερη επίβλεψη των ρομποτικών βραχιόνων. Με τη χορήγηση διοξειδίου του άνθρακα μέσα στη σωματική κοιλότητα του ασθενούς εξασφαλίζεται συνήθως αύξηση του διαθέσιμου χώρου για την ευκολότερη κίνηση των βραχιόνων.



Εικ. 3.16: Ο χειρουργικός πύργος του συστήματος da Vinci

3.5.2.3 Το σύστημα 3-Δ απεικόνισης InSite (InSite Vision System)

Το σύστημα αυτό παρέχει στο χειρουργό πραγματικές τρισδιάστατες εικόνες του χειρουργικού πεδίου, ευθυγράμμιση ματιού-χειριού-οργάνου και την απαραίτητη φυσική αντίληψη του βάθους για τον ακριβή χειρισμό των ιστών. Ένα συνηθισμένο ενδοσκόπιο διπλών φακών συζευγμένο με δύο κάμερες τριών chips εξασφαλίζει στο χειρουργό υψηλή, τρισδιάστατη ανάλυση. Το σύστημα ενσωματώνει επίσης και εξοπλισμό επεξεργασίας εικόνας, ο οποίος παρέχει πάνω από χίλια πλαίσια (καρέ) της θέσης του ενδοσκοπίου κάθε δευτερόλεπτο. Οι λαμβανόμενες εικόνες φιλτράρονται, μεγενθύνονται και βελτιστοποιούνται μέσω ενός επεξεργαστή βίντεο για τον περιορισμό του θορύβου. Η τελική εικόνα είναι φωτεινή, ζοηρή και καθαρή, με ενισχυμένο contrast, χωρίς φαινόμενα flickering ή cross-fading. Η βελτιωμένη απεικόνιση βοηθά το χειρουργό να χειρίζεται με λεπτότητα τους ιστούς, αποφεύγοντας παράλληλα τον τραυματισμό των παρακείμενων φυσιολογικών δομών, όπως είναι, για παράδειγμα, η νευροαγγειακή δέσμη κοντά στον προστάτη.

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



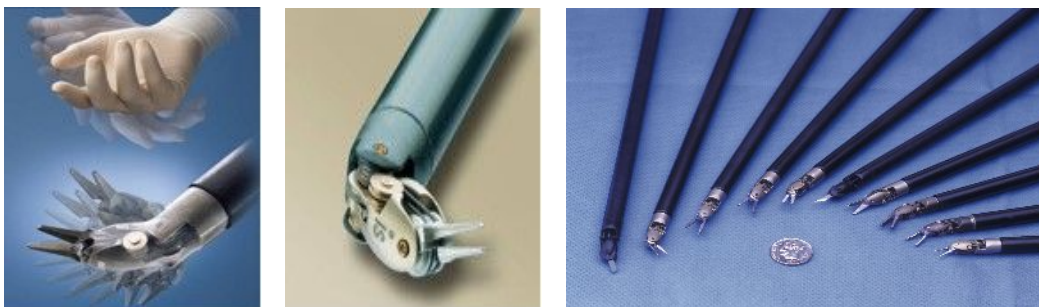
Εικ. 3.17: Το σύστημα όρασης του συστήματος da Vinci

3.5.2.4 Τα χειρουργικά εργαλεία EndoWrist (EndoWrist Instruments)

Η ολοκληρωμένη σειρά των αποκλειστικών εργαλείων EndoWrist της Intuitive Surgical είναι ειδικά σχεδιασμένη για να παρέχει στους χειρουργούς τη φυσική επιδεξιότητα και το φάσμα των κινήσεων εκείνων που απαιτούνται για την πραγματοποίηση λεπτών επεμβάσεων μέσα από μικρές τομές. Ακολουθώντας το μοντέλο του ανθρώπινου χεριού τα εργαλεία αυτά έχουν σχεδιαστεί με επτά βαθμούς ελευθερίας και αρθρώσεις των 90 μοιρών. Τα εσωτερικά καλώδια των εργαλείων EndoWrist, παρόμοια με τους ανθρώπινους τένοντες, διακρίνονται για τη μέγιστη ανταποκρισιμότητά τους, επιτρέποντας έτσι γρήγορες και ακριβές τομές, συρραφές και χειρισμούς των ιστών. Η κίνηση των εργαλείων, που μοιάζει με εκείνη του ανθρώπινου καρπού, η ικανότητα άμεσης ανταπόκρισης και ο ρομποτικός έλεγχος του συστήματος da Vinci παρέχουν στους χειρουργούς μεγάλη επιδεξιότητα και απaráμιλλη ακρίβεια. Τα πλεονεκτήματα αυτά εξασφαλίζουν καλύτερα αποτελέσματα όταν πρόκειται για επεμβάσεις στο περιορισμένο περιβάλλον της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής.

Κάθε εργαλείο EndoWrist είναι ειδικά σχεδιασμένο για μία συγκεκριμένη λειτουργία, όπως είναι για παράδειγμα μία τομή ή μία συρραφή. Η μεταξύ τους αντικατάσταση γίνεται εύκολα και γρήγορα με τη χρήση ειδικών μοχλών αποδέσμευσης πάνω σε κάθε ρομποτικό βραχίονα. Το σύστημα απομνημονεύει τη θέση του βραχίονα πριν την αντικατάσταση ενός εργαλείου, έτσι ώστε το δεύτερο εργαλείο να τοποθετηθεί στην ίδια ακριβώς θέση με το πρώτο. Η σειρά των εργαλείων περιλαμβάνει μία ποικιλία από νυστέρια, τσιμπίδες, ψαλίδια, οδηγούς βελόνων και πολλά άλλα εξειδικευμένα όργανα που καλύπτουν πολλαπλές χειρουργικές ειδικότητες. Για την κάλυψη των απαιτήσεων του χειρουργού τα εργαλεία διατίθενται με διαμέτρους των 5 και 8 mm. Μετά την προσάρτηση ενός εργαλείου στο

σύστημα da Vinci, η διεπαφή (interface) είναι έτσι σχεδιασμένη ώστε όχι μόνο να αναγνωρίζει τον τύπο και τη λειτουργία του εργαλείου αλλά και να δείχνει το συνολικό αριθμό των χρήσεών του. Με τη μοναδική αυτή δυνατότητα, το σύστημα da Vinci μπορεί εύκολα να ανιχνεύσει πότε ένα εργαλείο χρειάζεται αντικατάσταση.



Εικ. 3.18: Η σειρά χειρουργικών εργαλείων EndoWrist

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

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

- Σύστημα απaráμιλλης τρισδιάστατης οπτικής απεικόνισης υψηλής ευκρίνειας (high definition) με διπλάσια ανάλυση, που παρέχει βελτιωμένη καθαρότητα και λεπτομερή απεικόνιση των επιπέδων των ιστών και της ανατομίας, και λόγω πανοραμικής θέασης 16:9 που προσφέρει 20% μεγαλύτερη περιοχή θέασης. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης δυνατότητα ψηφιακού zoom για την ελάττωση της παρεμβολής μεταξύ του ενδοσκοπίου και των εργαλείων και εμπλουτίζεται με ενδοσκοπία stereo 0° και 30°. Παρέχει δυνατότητα μεγένθυσης του χειρουργικού πεδίου έως και 15 φορές (ενδεικτικά, τα αγγεία με μέγεθος χιλιοστού εμφανίζονται στο μέγεθος ενός μολυβιού).
- Βελτιωμένη επιδεξιότητα και ακρίβεια, χάρη στην τεχνολογία Intuitive Movement, για πιο ακριβή έλεγχο των EndoWrist εργαλείων με τις άκρες των δακτύλων και λεπτότερους, τηλεσκοπικούς βραχίονες εργαλείων που εξασφαλίζουν καλύτερη πρόσβαση στον ασθενή μέσω των μικροτομών στο σώμα του.
- Ανώτερη εργονομία για μεγαλύτερη άνεση στη στάση του χειρουργού και βέλτιστη ευθυγράμμιση των χεριών και των ματιών του.
- Γρήγορη και ασφαλή προετοιμασία του συστήματος πριν από την επέμβαση, με ταχύτερη και ελεγχόμενη πρόσβαση αυτού στον ασθενή και μηχανοκίνητο φορείο δίπλα στον ασθενή. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης σύνδεση οπτικής ίνας υψηλής ταχύτητας και αποστειρωμένους αντάπτορες μίας χρήσης.
- Υιοθέτηση τέταρτου ρομποτικού βραχίονα για απλούστευση της χειρουργικής επέμβασης (Solo Surgery).
- Νέο εξελιγμένο interface χρήστη που περιλαμβάνει ολοκληρωμένο monitor με οθόνη αφής, οθόνη τεχνολογίας TilePro πολλαπλών εισόδων για την παρουσίαση κρίσιμων πληροφοριών του ασθενούς, LED και εικονίδια κατάστασης, καθώς και εργαλεία telestration για βελτιωμένη εποπτεία και επικοινωνία της χειρουργικής ομάδας. Η οθόνη TilePro επιτρέπει στο χειρουργό και την υπόλοιπη ομάδα να βλέπουν τρισδιάστατο βίντεο του χειρουργικού πεδίου μαζί με δύο επιπρόσθετες πηγές βίντεο, όπως είναι π.χ. οι υπέρηχοι και το ηλεκτροκαρδιογράφημα (EKG).

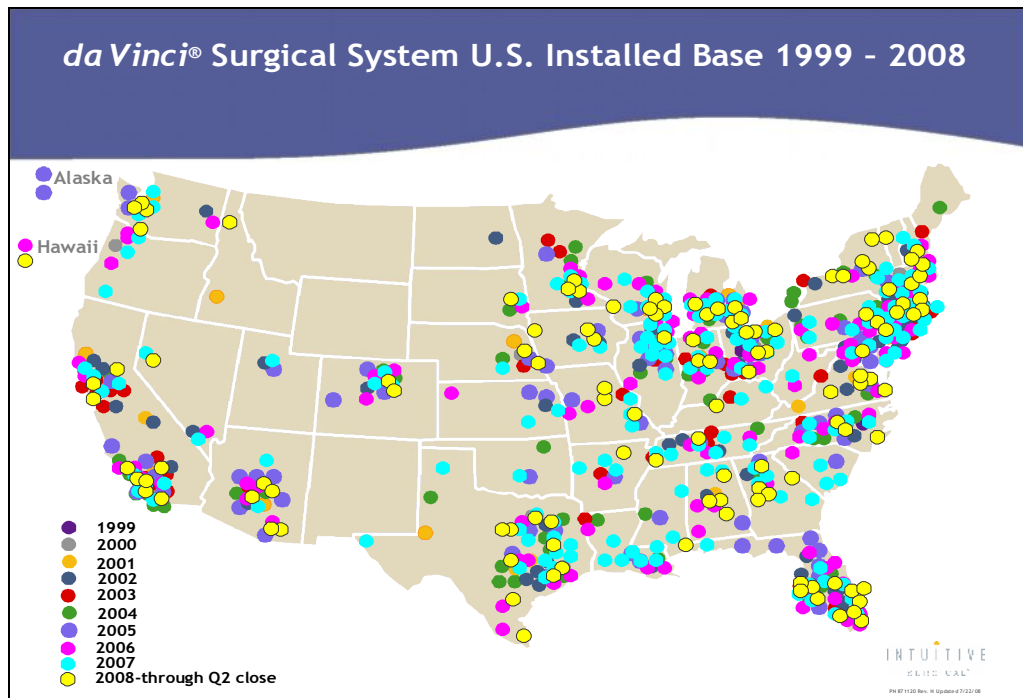
Τον Απρίλιο του 2009 πραγματοποιήθηκε η παρουσίαση του νέου βελτιωμένου ρομποτικού συστήματος da Vinci Si^{HD} που αποτελεί την πιο πρόσφατη προσθήκη στη γραμμή προϊόντων της σειράς da Vinci. Η έκδοση αυτή υιοθετεί αρκετά νέα χαρακτηριστικά, διατηρώντας όμως παράλληλα τη βασική τεχνολογία των προηγούμενων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

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

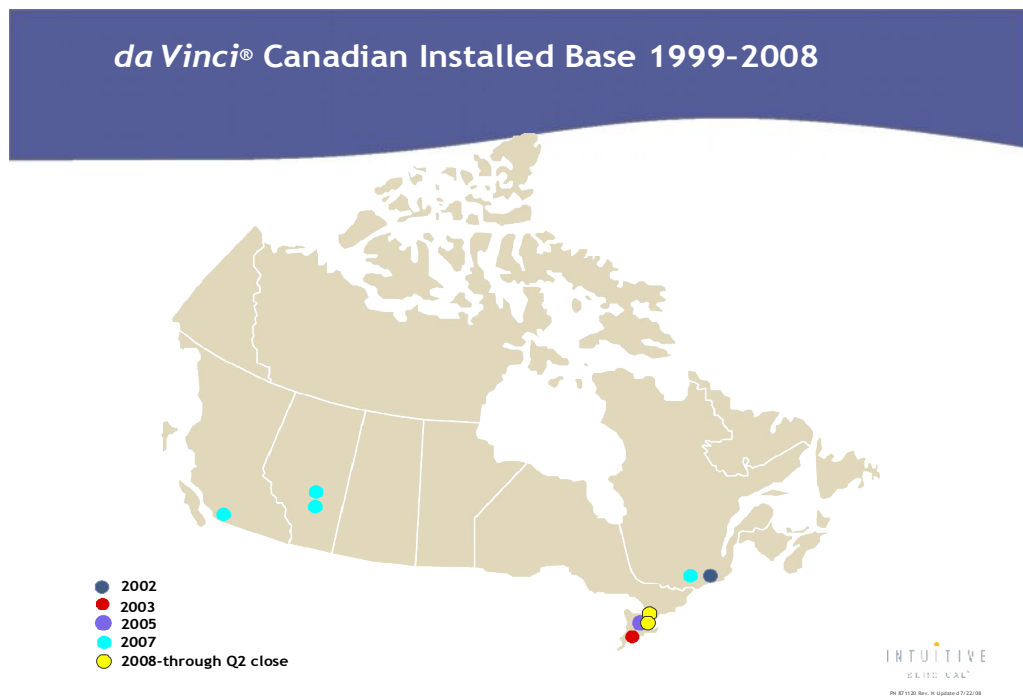


Εικ. 3.19: Το σύστημα τελευταίας γενιάς da Vinci Si^{HD}

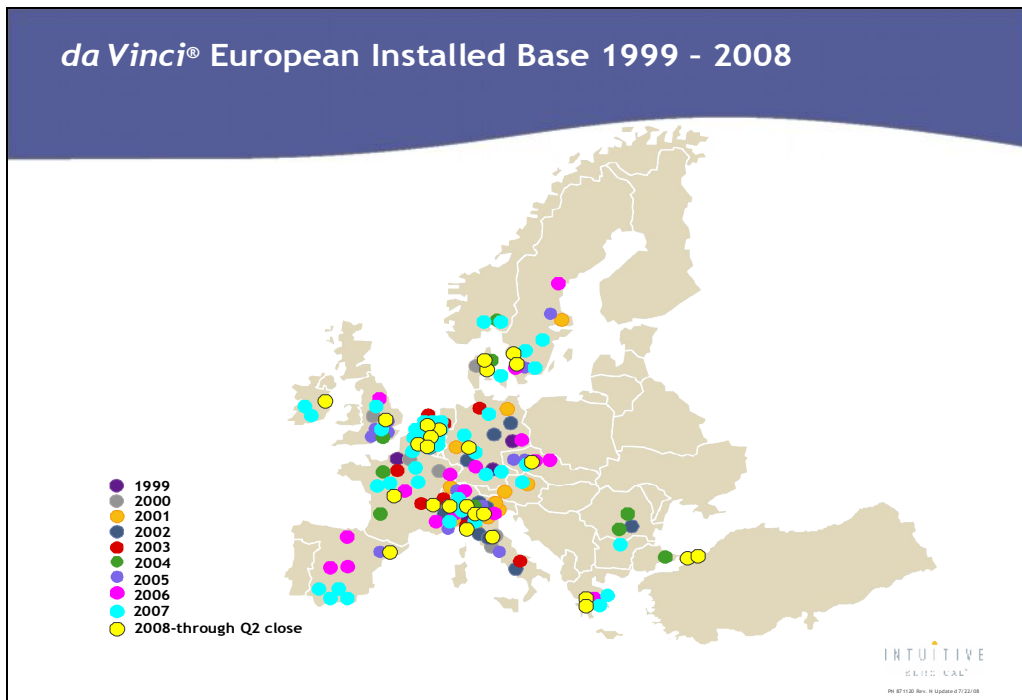
Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Intuitive Surgical, μέχρι την 31^η Μαρτίου 2008 είχαν πωληθεί παγκοσμίως 867 μονάδες του ρομποτικού συστήματος da Vinci. Από αυτές, οι 647 είχαν πωληθεί στις Η.Π.Α., οι 148 στην Ευρώπη και οι 72 στον υπόλοιπο κόσμο. Ενδεικτικά, το σύστημα da Vinci έχει ήδη εγκατασταθεί σε μεγάλα ιατρικά κέντρα στις Ηνωμένες Πολιτείες, την Αυστρία, το Βέλγιο, τον Καναδά, τη Δανία, τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ιταλία, την Ινδία, την Ιαπωνία, την Ολλανδία, τη Ρουμανία, τη Σαουδική Αραβία, τη Σιγκαπούρη, τη Σουηδία, την Ελβετία, το Ηνωμένο Βασίλειο, την Αυστραλία, την Τουρκία, την Ελλάδα και την Τσεχία. Το 2006 πραγματοποιήθηκαν μόνο στις Η.Π.Α. 72.000 επεμβάσεις με χρήση του συστήματος αυτού (καρδιάς, πνευμόνων, γενικές χειρουργικές επεμβάσεις, γυναικολογικές επεμβάσεις και επεμβάσεις του ουροποιητικού συστήματος). Στην Ελλάδα το χειρουργικό σύστημα da Vinci εισάγεται αποκλειστικά από την εταιρεία Plus Medica Ε.Π.Ε.^[20]



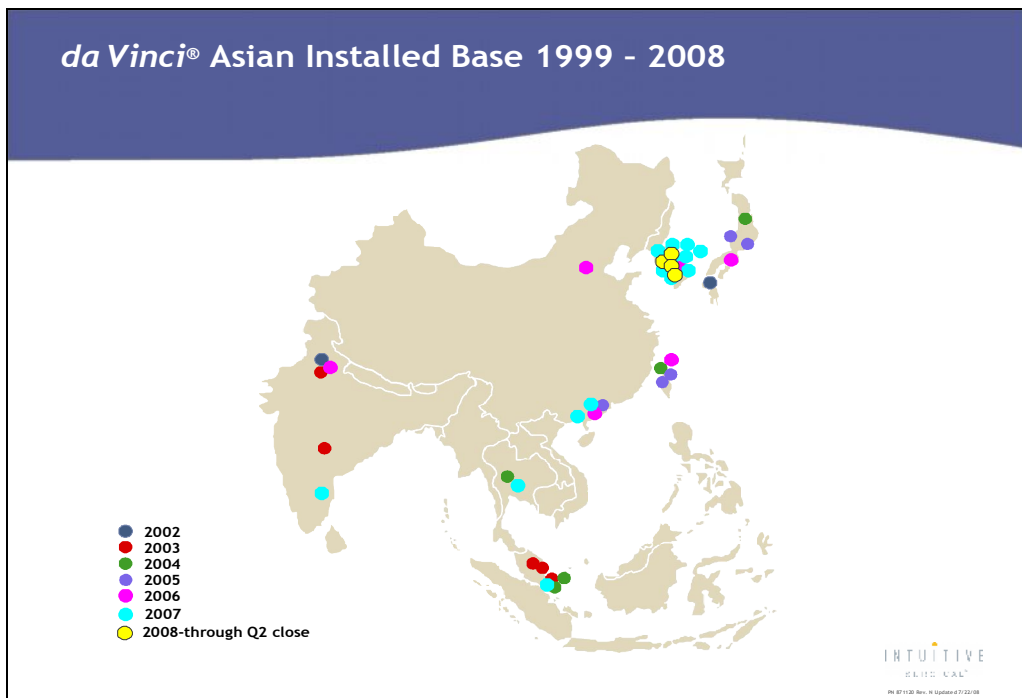
Εικ. 3.20: Αριθμός εγκατεστημένων μονάδων da Vinci στις Ηνωμένες Πολιτείες



Εικ. 3.21: Αριθμός εγκατεστημένων μονάδων da Vinci στον Καναδά



Εικ. 3.22: Αριθμός εγκατεστημένων μονάδων da Vinci στην Ευρώπη



Εικ. 3.23: Αριθμός εγκατεστημένων μονάδων da Vinci στην Ασία

3.5.2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος da Vinci

Δεκάδες χιλιάδες επεμβάσεις έχουν ήδη πραγματοποιηθεί παγκοσμίως με το χειρουργικό σύστημα da Vinci της Intuitive Surgical και σε όλες τις περιπτώσεις η ρομποτική μέθοδος υπερτερούσε της λαπαροσκοπικής κατά την εκτέλεση αναστομώνσεων και ιδιαίτερα σε “δυσπρόσιτες” κοιλότητες του σώματος. Αυτό οφείλεται κυρίως στην τρισδιάστατη απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου και τον μεγάλο βαθμό ελευθερίας κινήσεων των ρομποτικών βραχιόνων, που μοιάζουν με αυτές του ανθρώπινου καρπού. Επιπλέον, οι χειρουργοί έχουν θεωρητικά τη δυνατότητα να εκτελέσουν με το σύστημα da Vinci ασφαλείς επεμβάσεις από μεγάλες αποστάσεις. Εντούτοις, η βελτιστοποίηση του συστήματος για τέτοιου είδους επεμβάσεις τηλεχειρουργικής δεν αποτελεί προς το παρόν πρωταρχικό σκοπό της κατασκευάστριας εταιρείας. Για το λόγο αυτό, η συγκεκριμένη δυνατότητα δεν είναι προς το παρόν ενσωματωμένη στις διαθέσιμες εκδόσεις του συστήματος.^[20]

Για τον ασθενή μία εγχείρηση με τη χρήση του ρομποτικού συστήματος da Vinci προσφέρει όλα τα πιθανά οφέλη μίας ελάχιστα επεμβατικής διαδικασίας, η οποία περιλαμβάνει λιγότερο πόνο, μικρότερη απώλεια αίματος – και κατά συνέπεια μικρότερη ανάγκη για μετάγγιση αίματος – λιγότερο φόβο και μικρότερη πιθανότητα μολύνσεων. Το σύστημα da Vinci μειώνει την παραμονή στο νοσοκομείο περίπου κατά το ήμισυ, με επακόλουθη συνέπεια τον περιορισμό του κόστους νοσηλείας του ασθενούς και την ταχύτερη επιστροφή του στις καθημερινές του δραστηριότητες. Αν και το μέγεθος του συστήματος δεν είναι αρκετά μικρό ακόμα για την εκτέλεση καρδιακών επεμβάσεων σε παιδιά, η ελάχιστα επεμβατική μέθοδος του da Vinci δεν αφήνει μεγάλες μετεγχειρητικές ουλές και για το λόγο αυτό εφαρμόζεται και σε μερικές επεμβάσεις ανηλίκων.

Τα βασικότερα μειονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι ο χρόνος που απαιτείται για την εκπαίδευση των ειδικευόμενων χειρουργών, ο όγκος και το υψηλό κόστος του συστήματος. Αν και η κατασκευάστρια εταιρεία παρέχει ένα πρόγραμμα εκπαίδευσης, απαιτούνται συνήθως 12 με 18 επεμβάσεις σε ασθενείς για να μπορέσουν οι νέοι χειρουργοί να εξοικειωθούν με τη χρήση του συστήματος. Το σημαντικότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι χειρουργοί κατά τη φάση της εκπαίδευσής τους με το ρομποτικό σύστημα da Vinci είναι η έλλειψη της αίσθησης της αφής, της ικανότητας δηλαδή να “αισθάνονται” τους ανθρώπινους ιστούς. Ο μεγάλος όγκος του συστήματος περιορίζει την πρόσβαση στον ασθενή, ενώ το υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησής του περιορίζει προς το παρόν την ευρεία διάδοση της συγκεκριμένης τεχνολογίας.^[21]

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια ενδεικτικά στοιχεία που αφορούν το συνολικό κόστος αγοράς και συντήρησης του ρομποτικού συστήματος da Vinci καθώς και τις μεταβολές στα κόστη των χειρουργικών επεμβάσεων στεφανιαίας παράκαμψης που προκύπτουν από τη χρήση του, όπως αυτά είχαν δημοσιευτεί στο περιοδικό *Journal of Healthcare Management* Ιουλίου/Αυγούστου 2003.^[22]

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

Πίνακας 3.1: Διάφορα κόστη που σχετίζονται με τη χρήση του συστήματος da Vinci

Στον ακόλουθο πίνακα συνοψίζονται τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μίας χειρουργικής επέμβασης με το ρομποτικό σύστημα da Vinci έναντι της αντίστοιχης κλασικής λαπαροσκοπικής μεθόδου.^[23]

	Συμβατική λαπαροσκοπική χειρουργική	Ρομποτική χειρουργική με το σύστημα da Vinci
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> -καλά ανεπτυγμένη τεχνολογία -οικονομικά προσιτή μέθοδος -αποδεδειγμένη αποτελεσματικότητα 	<ul style="list-style-type: none"> -τρισδιάστατη απεικόνιση -βελτιωμένη δεξιότητα -επτά βαθμοί ελευθερίας -περιορισμός του φαινομένου του υπομόχλιου -περιορισμός του φυσιολογικού τρέμουλου των χεριών -ικανότητα κλιμάκωσης των κινήσεων -δυνατότητα για την εκτέλεση μικροαναστομών -τηλεχειρουργική -εργονομική θέση
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> -απώλεια αίσθησης της αφής -απώλεια τρισδιάστατης όρασης -περιορισμένη επιδεξιότητα -περιορισμένος αριθμός κινήσεων -ύπαρξη φαινομένου του υπομόχλιου -ενίσχυση φυσιολογικού τρέμουλου των χεριών του χειρουργού 	<ul style="list-style-type: none"> -απουσία αίσθησης της αφής -ακριβή μέθοδος -υψηλό κόστος εκκίνησης -ενδεχόμενη ανάγκη ύπαρξης επιπλέον προσωπικού -νέα τεχνολογία -μη αποδεδειγμένα οφέλη -μεγάλος όγκος συστήματος -αναγκαιότητα προετοιμασίας του συστήματος πριν την επέμβαση

Πίνακας 3.2: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος da Vinci

3.5.2.7 Κλινικές εφαρμογές του 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. Συγκεκριμένα, το σύστημα έχει λάβει κατά καιρούς τις ακόλουθες εγκρίσεις από την FDA:^[21]

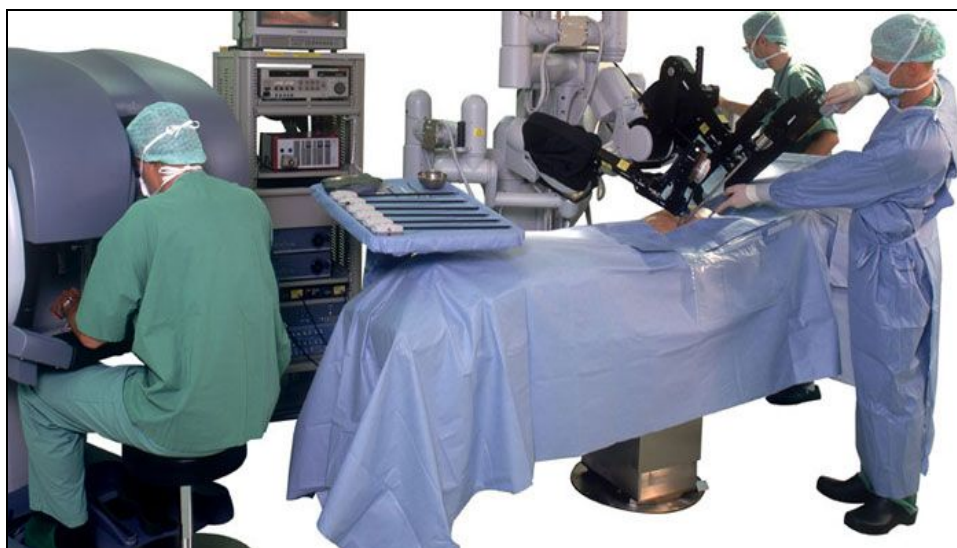
Ημερομηνία έγκρισης	Είδος χειρουργικής επέμβασης
26 Απριλίου 2005	Γυναικολογικές λαπαροσκοπικές επεμβάσεις
30 Ιανουαρίου 2003	Πλήρως ενδοσκοπική κολπική διαφραγματική ανωμαλία
13 Νοεμβρίου 2002	Αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας
12 Νοεμβρίου 2002	Θωρακοσκοπικά υποβοηθούμενες επεμβάσεις καρδιοτομίας
30 Μαΐου 2001	Λαπαροσκοπική ριζική προστατεκτομή
5 Μαρτίου 2001	Θωρακοσκοπική χειρουργική
11 Ιουλίου 2000	Γενική λαπαροσκοπική χειρουργική
31 Ιουλίου 1997	Χειρουργική υποβοήθηση

Πίνακας 3.3: Εγκρίσεις που έχει λάβει το σύστημα da Vinci

Σήμερα, το ρομποτικό σύστημα da Vinci χρησιμοποιείται με επιτυχία, μεταξύ των άλλων, και στις ακόλουθες χειρουργικές επεμβάσεις:^[20]

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

Πίνακας 3.4: Επεμβάσεις που εκτελούνται με το ρομποτικό σύστημα da Vinci



Εικ. 3.24: Το σύστημα da Vinci κατά τη διάρκεια χειρουργικής επέμβασης

3.6 Η παγκόσμια αγορά των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων

Ακολουθούν παρακάτω κάποια στοιχεία για την παγκόσμια αγορά συστημάτων ρομποτικής χειρουργικής όπως αυτά είχαν δημοσιευτεί στο περιοδικό *Journal of Healthcare Management* Ιουλίου/Αυγούστου 2003.^[22]

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

Πίνακας 3.5: Η παγκόσμια αγορά των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Govindarajan A., *Robot-Assisted Surgery: A Review*, University of Toronto Medical Journal, 78(2):108-112, March 2001
<http://www.utmj.org/issues/78.2/Surgery.pdf>
- [2] Eljamel S., *Robotic Applications in Neurosurgery*, Medical Robotics, Book edited by Vanja Bozovic, January 2008
<http://www.intechweb.org/downloadpdf.php?id=637>
- [3] *The Probot*
<http://www3.imperial.ac.uk/mechatronicsinmedicine/research/theprobot>
- [4] *neuromate: the No.1 image-guided neurosurgical robot*
<http://www.renishaw.com/en/10712.aspx>
- [5] Li Q., Zamorano L., Pandya A., Perez R., Gong J. and Diaz F., *The Application Accuracy of the NeuroMate Robot – A Quantitative Comparison with Frameless and Frame-Based Surgical Localization Systems*, Computer Aided Surgery 7:90-98, 2002
<http://www.ece.eng.wayne.edu/~apandya/Publications/CAS2002-RobotAccuracy.pdf>
- [6] <http://www.robodoc.com>
- [7] <http://www.curexo.com>

- [8] *About Acrobot*
<http://www.acrobot.co.uk/About%20Acrobot.html>
- [9] <http://www.neuroarm.org>
- [10] *Ρομπότ-βοηθός εγχειρήσεων στον εγκέφαλο*, εφημερίδα 'Καθημερινή', 19/04/07
http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_world_1_19/04/2007_223879
- [11] *Robot-Assisted Surgery: Overview*
http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2005_Groups/04/history.html
- [12] *Computer Motion Ships New Surgical Robots*, Business Wire, January 1998
http://findarticles.com/p/articles/mi_m0EIN/is_1998_Jan_27/ai_20179277
- [13] http://www.prosurgics.com/prosurgics_endoassist.htm
- [14] *World's First Robotic Telecollaboration in Brain Surgery Performed in Atlantic Canada*
<http://www.allbusiness.com/medicine-health/medical-treatments-procedures/5992511-1.html>
- [15] *Hermes*
<http://www.tzamal-medical.co.il/?doc=151443>
- [16] <http://www.cyberknife.gr/index.php>
- [17] <http://www accuray.com>
- [18] *Robotic Surgery: The Zeus System*
<http://library.thinkquest.org/03oct/00760/Zeus%20System.htm>
- [19] Kodera K., Kiaii B., Rayman R., Novick R. and Boyd D., *Closed Chest CABG on the Beating Heart With a Computer-Enhanced Articulating System: Case Report*, The Heart Surgery Forum, 4(4):305-306, 2001
<http://static.cjp.com/gems/pdfs/2001-6866.pdf>
- [20] <http://www.intuitivesurgical.com/products/index.aspx>
- [21] *Robot-Assisted Surgery: da Vinci Surgical System*
http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2005_Groups/04/davinci.html
- [22] Gerhardus D., *Robot-assisted surgery. The future is here*, Journal of Healthcare Management, 48(4):242-251, July/August 2003
http://www.entrepreneur.com/tradejournals/article/106226723_3.html
- [23] Lanfranco A., Castellanos A., Desai J. and Meyers W., *Robotic Surgery: A Current Perspective*, Annals of Surgery, 239(1):14-21, January 2004
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1356187>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εφαρμογές της ρομποτικής στην κλινική πρακτική

Στην κλινική χειρουργική πρακτική, η ρομποτική χρησιμοποιείται σε όλες σχεδόν τις ειδικότητες, συμπεριλαμβανομένης της νευροχειρουργικής, της καρδιαγγειακής χειρουργικής, της ορθοπεδικής, της γενικής χειρουργικής, της ουρολογίας και της γυναικολογίας. Οι περισσότερες ρομποτικές επεμβάσεις προέρχονται από την καρδιαγγειακή και την ουρολογική χειρουργική.

4.1 Εφαρμογές στη γενική και θωρακική χειρουργική

Η εφαρμογή της ρομποτικής στη γενική και θωρακική χειρουργική, και ειδικότερα στη γαστρεντερική περιοχή, είναι σχετικά νέα. Μέχρι τώρα, ρομποτικά συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί στην εκτέλεση λαπαροσκοπικών χολοκυστεκτομών, σε εγχειρήσεις για την αντιμετώπιση της γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης και της αχαλασίας του οισοφάγου, τη χειρουργική κατά της νοσογόνου παχυσαρκίας, σε επεμβάσεις στο κόλον και το ορθό, όπως επίσης και σε χειρουργικές επεμβάσεις στη σπλήνα και το πάγκρεας. Το πεδίο της θωρακοχειρουργικής περιλαμβάνει ρομποτικές επεμβάσεις στους πνεύμονες και το θύμο αδένα.

4.1.1 Χολοκυστεκτομή

Η πρώτη ρομποτικά υποβοηθούμενη χολοκυστεκτομή πραγματοποιήθηκε από τον Himprins τον Μάρτιο του 1997 με τη βοήθεια ενός συστήματος MONA, πρόδρομο του ρομποτικού συστήματος da Vinci, και ολοκληρώθηκε σε 82 min. Ο Cadière και οι συνεργάτες του εκτέλεσαν το 2001 συνολικά 48 χολοκυστεκτομές ανάμεσα σε 146 ασθενείς χρησιμοποιώντας το σύστημα da Vinci. Ο μέσος χρόνος των 35 τελευταίων περιπτώσεων από τις επεμβάσεις αυτές ήταν 70 min. Τέσσερις από τις περιπτώσεις εκτελέστηκαν για οξεία χολοκυστίτιδα, ενώ σε μία περίπτωση απαιτήθηκε μετάγγιση αίματος κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Ο μέσος χρόνος νοσηλείας ήταν 2 ημέρες. Η χρήση του ρομποτικού συστήματος παρείχε βελτιωμένη δεξιότητα, ανώτερη εργονομία και αυξημένη κινητικότητα των εργαλείων, ενώ οι χρονικές διάρκειες των επεμβάσεων και της νοσηλείας ήταν μέσα στα αποδεκτά όρια.

Ο Marescaux και οι συνεργάτες του πραγματοποίησαν το 2001 μία σειρά από 25 χολοκυστεκτομές με το σύστημα Zeus, οι οποίες περιελάμβαναν 20 συμπτωματικές χολολιθιάσεις, 4 οξείες χολοκυστίτιδες και μία περίπτωση με πολύποδες. Τα αποτελέσματα από τις επεμβάσεις ήταν ικανοποιητικά, ενώ σε μία μόνο περίπτωση χρειάστηκε η εναλλαγή σε ανοικτή χειρουργική. Το Σεπτέμβριο του 2001, και μετά τα πρώτα πειράματα σε χοίρους, ο Marescaux πραγματοποίησε και την πρώτη υπερατλαντική ρομποτική χολοκυστεκτομή σε μία επέμβαση που διήρκησε 54 min ανάμεσα στη Νέα Υόρκη και το Στρασβούργο (επέμβαση Lindbergh).^[1]

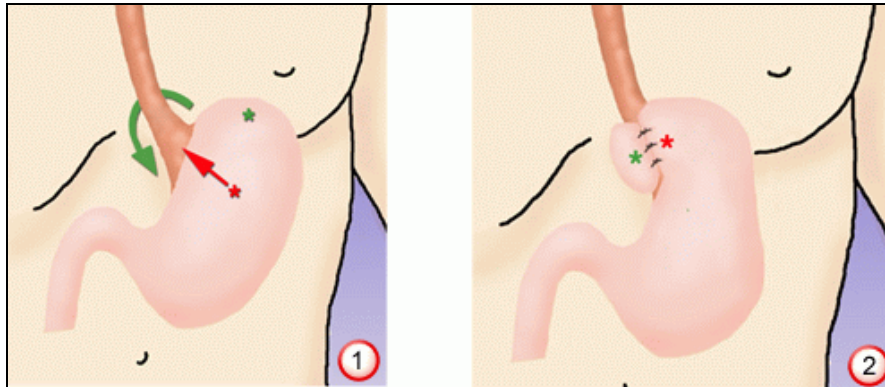


Εικ. 4.1: Ρομποτική χολοκυστεκτομή

4.1.2 Διόρθωση γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης

Γαστροοισοφαγική παλινδρόμηση είναι η νόσος κατά την οποία περιεχόμενο του στομάχου παλινδρομεί στον οισοφάγο. Στο χαμηλότερο τμήμα του οισοφάγου υπάρχει ένας μικρός μυώδης δακτύλιος, ο οποίος ονομάζεται Κατώτερος Οισοφαγικός Σφιγκτήρας (ΚΟΣ). Ο ΚΟΣ ενεργεί ως μία μονόδρομη βαλβίδα, επιτρέποντας τη διέοδο του φαγητού στο στομάχι. Κανονικά, ο ΚΟΣ κλείνει αμέσως μετά την κατάποση για να αποτρέψει την παλινδρόμηση των υγρών του στομάχου, τα οποία έχουν υψηλή περιεκτικότητα οξέων. Η γαστροοισοφαγική παλινδρόμηση (ΓΟΠ) εμφανίζεται όταν ο ΚΟΣ δε λειτουργεί σωστά, επιτρέποντας στα οξέα να κυλήσουν προς τα πίσω και να βλάψουν το κατώτερο τμήμα του οισοφάγου, με κίνδυνο να προκαλέσουν οισοφαγίτιδα, στένωση, έλκος, αιμορραγία, δυσπλασία, ακόμη και καρκινογένεση (αδενοκαρκίνωμα), ενώ στον ασθενή δημιουργείται αίσθημα οπισθοστερνικού καύσους (καούρας).

Οι χειρουργικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της ΓΟΠ είναι δύο, η *θολοπλαστική κατά Nissen*, ή θολοπλαστική 360°, και η *θολοπλαστική κατά Toupet*, ή θολοπλαστική 270°. Οι τεχνικές αυτές ανατάσσουν και διορθώνουν τη διαφραγματοκήλη, συγκλείουν με ράμματα τα σκέλη του διαφράγματος και ενδυναμώνουν τη βαλβίδα του ΚΟΣ, τυλίγοντας τον θόλο του στομάχου γύρω από το κατώτερο τμήμα του οισοφάγου. Οι χειρουργοί πραγματοποιούν 4-5 μικρές τομές 5 mm περίπου στο δέρμα χωρίς να γίνει διατομή μυών.^[2]



Εικ. 4.2: Γραφική αναπαράσταση θολοπλαστικής κατά Nissen

Οι πρώτες ρομποτικά υποβοηθούμενες επεμβάσεις κατά Nissen πραγματοποιήθηκαν από τον Cadière το 1999. Ο Cadière εκτέλεσε 10 ρομποτικές επεμβάσεις αυτού του είδους με χρήση του συστήματος MONA και 11 επεμβάσεις χρησιμοποιώντας την κλασική λαπαροσκοπική μέθοδο. Η μέση χρονική διάρκεια των ρομποτικών επεμβάσεων ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των συμβατικών λαπαροσκοπικών μεθόδων (76 έναντι 52 min), ενώ οι μέσοι χρόνοι νοσηλείας και στις δύο περιπτώσεις ήταν παρόμοιοι. Αν και η ρομποτική μέθοδος αποδείχθηκε εφικτή και ασφαλής τεχνική, δεν παρουσίασε σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της κλασικής λαπαροσκοπικής τεχνικής.

Εξαιτίας του περιορισμένου χώρου για την εκτέλεση εκτομών αλλά και της καμπυλότητας της γαστρικής περιοχής, έχουν πραγματοποιηθεί έκτοτε αρκετές ρομποτικές επεμβάσεις για τη διόρθωση της ΓΟΠ, τόσο με θολοπλαστική κατά Nissen όσο και με άλλες τεχνικές. Τα αποτελέσματα των χειρουργικών αυτών επεμβάσεων συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα. Από τις κλινικές αυτές δοκιμές προκύπτει ότι η ρομποτική θολοπλαστική κατά Nissen δίνει παρόμοια αποτελέσματα με την αντίστοιχη συμβατική τεχνική, αλλά είναι πιο ακριβή και έχει μεγαλύτερη χρονική διάρκεια. Τα ποσοστά θνησιμότητας σε όλες τις περιπτώσεις ήταν μηδενικά.^[3]

Αναφορά	Έτος	n	Μέση διάρκεια επέμβασης (min)	Μετατροπή σε ανοικτή επέμβαση (%)	Επιπλοκές (%)	Μέσος χρόνος νοσηλείας (days)
Cadière et al.	2001	36	82	5.5	0	2
Chitwood et al.	2001	14	107 ± 3.2	0	0	-
Giulanotti et al.	2003	49	110	2	5	4
Benincà et al.	2003	13	97.1	0	7.6	3.2
Hanly and Talamini	2004	57	192	22.8	-	-
Hubens et al.	2004	9	100	0	-	-
Anvari et al.	2005	13	73	-	-	-
D'annibale et al.	2006	21	140	0	9.5	7.6
El Nakadi et al.	2006	9	137 ± 12	11.1	11.1	4.4 ± 0.2
Morino et al.	2006	25	131.3	8	0	3
Müller-Stich et al.	2007	20	88	0	0	2.9 ± 0.8
Heemskerk et al.	2007	11	220	0	9	4
Άλλες μελέτες	2007	31	166	3.3	3.3	6

Πίνακας 4.1: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις διόρθωσης της ΓΟΠ

4.1.3 Αποκατάσταση αχαλασίας οισοφάγου

Η αχαλασία του οισοφάγου είναι μία διαταραχή που αφορά στην κινητικότητα του οργάνου. Η αιτία που την προκαλεί είναι κατά κανόνα άγνωστη. Ο οισοφάγος αδυνατεί να ολοκληρώσει τις περισταλτικές του κινήσεις, οι οποίες είναι χρήσιμες για την προώθηση των τροφών στο στομάχι. Επιπλέον, ο κατώτερος οισοφαγικός σφιγκτήρας δεν ανοίγει επαρκώς τη στιγμή που διέρχεται η τροφή, καθώς βρίσκεται σε μία κατάσταση διαρκούς σπασμού. Εμφανίζεται κυρίως σε ηλικίες 30-60 ετών σε ποσοστό 1 στους 100.000, με συμπτώματα δυσφαγίας, αναγωγών και απώλειας σωματικού βάρους λόγω κακής θρέψης. Θεωρείται προκαρκινωματώδης κατάσταση διότι μετά την πάροδο 15-25 περίπου ετών αναπτύσσεται καρκίνος του οισοφάγου σε ποσοστό 1-10% των ασθενών.

Η λαπαροσκοπική χειρουργική αντιμετώπιση της αχαλασίας του οισοφάγου ονομάζεται *μυοτομή κατά Heller* και σε κάποιες περιπτώσεις συνοδεύεται από λαπαροσκοπική θολοπλαστική κατά Dor (180°) ή Toupet (270°). Με ελάχιστες σε μέγεθος τομές 5 mm εισέρχονται στην κοιλιά το ενδοσκόπιο και τα διάφορα χειρουργικά εργαλεία. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μία τομή λίγων εκατοστών στον μυϊκό χιτώνα του οισοφάγου και, εάν κριθεί απαραίτητο, η επέμβαση συνοδεύεται από μία πλαστική του θόλου του στομάχου γύρω από τον κατώτερο οισοφάγο.^[2]

Σύμφωνα με μία αναφορά που δημοσιεύθηκε το 2004 στο Σικάγο από τον Jacobsen και τους συνεργάτες του σχετικά με την εκτέλεση 35 ρομποτικών μυοτομών κατά Heller, δεν παρουσιάστηκε κατά τη διάρκειά τους απολύτως καμία διάτρηση, γεγονός που αποδόθηκε στην ενισχυμένη τρισδιάστατη απεικόνιση του μυϊκού συστήματος του οισοφάγου και την ευρεία κλίμακα κινήσεων των εργαλείων EndoWrist του συστήματος da Vinci. Η μέση χρονική διάρκεια των ρομποτικών μυοτομών ήταν σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη των συμβατικών λαπαροσκοπικών επεμβάσεων.^[1]

4.1.4 Βαριατρική χειρουργική

Με την έναρξη του 21^{ου} αιώνα και την παχυσαρκία να έχει λάβει επιδημικές διαστάσεις στο δυτικό κόσμο, αυξήθηκε σημαντικά ο αριθμός των ασθενών που καταφεύγουν σε επεμβάσεις βαριατρικής χειρουργικής με σκοπό την απώλεια σωματικού βάρους, που τους προκαλεί σοβαρά προβλήματα υγείας όπως είναι ο σακχαρώδης διαβήτης και η υπέρταση. Σήμερα, η βαριατρική χειρουργική για την αντιμετώπιση της νοσογόνου παχυσαρκίας αποτελεί έναν ξεχωριστό, εξειδικευμένο τομέα της χειρουργικής με μεγάλες δυνατότητες και προοπτικές εξέλιξης. Το μεγαλύτερο ποσοστό των επεμβάσεων αυτού του είδους γίνεται με συμβατικές λαπαροσκοπικές τεχνικές, ενώ τα τελευταία χρόνια κάποιες από τις εγχειρήσεις βαριατρικής πραγματοποιούνται και ρομποτικά. Αυτές περιλαμβάνουν την τεχνική του *ρυθμιζόμενου γαστρικού δακτύλιου* (LAP-Band), τη *γαστρική παράκαμψη κατά Roux-en-Y* (gastric bypass) και την *επιμήκη γαστρεκτομή* (sleeve gastrectomy).

4.1.4.1 Ρυθμιζόμενος γαστρικός δακτύλιος

Ο γαστρικός δακτύλιος αποτελεί πλέον μία από τις πιο διαδεδομένες επεμβάσεις κατά της νοσογόνου παχυσαρκίας. Στην είσοδο του στομάχου και κοντά στον οισοφάγο τοποθετείται ένας ρυθμιζόμενος δακτύλιος από σιλικόνη ο οποίος περιορίζει δραστικά την ποσότητα τροφής που μπορεί να δεχτεί το στομάχι. Ο δακτύλιος είναι συνδεδεμένος με ένα τύμπανο που εμφυτεύεται στο λίπος της κοιλιάς. Από εκεί ο ιατρός μπορεί να ρυθμίζει με εγχύσεις φυσιολογικού ορού τις τάσεις του δακτυλίου ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη απώλεια σωματικού βάρους. Η μέθοδος πραγματοποιείται λαπαροσκοπικά, είτε με τη συμβατική είτε με τη ρομποτική μέθοδο, μέσα από 4-5 τομές του ενός εκατοστού.^[4]

Η αξία του ρομποτικού συστήματος da Vinci για τη βαριατρική χειρουργική έχει αποδειχθεί από επεμβάσεις που έχουν γίνει μέχρι σήμερα, ειδικά σε περιπτώσεις εφαρμογής γαστρικού δακτύλιου ή γαστρικής παράκαμψης. Τα στοιχεία που έχουν συγκεντρωθεί από διάφορες επεμβάσεις τοποθέτησης γαστρικού δακτύλιου συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα. Τα ποσοστά θνησιμότητας σε όλες τις περιπτώσεις ήταν μηδενικά.^[3]

Αναφορά	Έτος	n	Μέση διάρκεια επέμβασης (min)	Μετατροπές σε ανοικτή επέμβαση (%)	Επιπλοκές (%)	Μέσος χρόνος νοσηλείας (days)
Cadière et al.	2001	10	60 (55-90)	0	0	2 (2-3)
Mühleman et al.	2003	6	137 (11-175)	0	0	-
Jacobsen	2003	32	105 (60-150)	0	3.1	1 (0.2-6)
Nguyen	2004	2	-	-	-	-
Hubens et al.	2004	7	-	-	-	-
Bodner et al.	2005	10	167	0	0	-
Άλλες μελέτες	2007	14	141 (90-240)	12.5	5	4 (3-7)

Πίνακας 4.2: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις τοποθέτησης γαστρικού δακτυλίου

4.1.4.2 Γαστρική παράκαμψη κατά Roux-en-Y

Από όλες τις επεμβάσεις για την αντιμετώπιση της νοσογόνου παχυσαρκίας, η γαστρική παράκαμψη Roux-en-Y είναι η πιο συνηθισμένη τεχνική. Χρησιμοποιείται μόνο ένα μικρό τμήμα του στομάχου το οποίο ενώνεται με το έντερο, έτσι ώστε η τροφή να παρακάμπτει ένα σημαντικό κομμάτι της γαστρεντερικής οδού. Με την τεχνική αυτή η φυσιολογία της πέψης και της απορρόφησης της τροφής αλλάζει με αποτέλεσμα τη σημαντική απώλεια σωματικού βάρους.^[4]

Η λαπαροσκοπική επέμβαση μπορεί να γίνει και με τη ρομποτική μέθοδο μέσα στα ίδια περίπου χρονικά πλαίσια με την αντίστοιχη συμβατική τεχνική και με ελάχιστο κίνδυνο νοσηρότητας ή θνησιμότητας για τον ασθενή. Η ρομποτική μέθοδος αποτελεί μία εναλλακτική τεχνική στη δημιουργία της γαστρονηστιδοστομίας με το χέρι, της αναστόμωσης δηλαδή στομάχου και νήστιδας (τμήμα του λεπτού εντέρου μετά το δωδεκαδάκτυλο), και προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στον βαριατρικό χειρουργό. Η τρισδιάστατη απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου και οι πρόσθετοι βαθμοί ελευθερίας επιτρέπουν στους χειρουργούς να εκτελούν καλύτερες και πιο ακριβείς συρραφές, γεγονός που οδηγεί σε σημαντικά χαμηλότερα ποσοστά γαστρεντερικών διαρροών, ειδικά στην περιοχή της γαστρονηστιδοστομίας. Η διάρκεια της νοσηλείας είναι η ίδια, ανεξάρτητα από τη μέθοδο που ακολουθείται.

Από στοιχεία που συγκεντρώθηκαν μέσα σε μία πενταετία από την εκτέλεση επεμβάσεων γαστρικής παράκαμψης Roux-en-Y, προέκυψε ότι η ρομποτική μέθοδος, αν και πιο ακριβή από την αντίστοιχη συμβατική, εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν αφορούσαν 605 περιπτώσεις ασθενών, από τους οποίους οι 356 ακολούθησαν τη συμβατική λαπαροσκοπική τεχνική ενώ οι υπόλοιποι 249 τη ρομποτική μέθοδο.^[5]

Συνολικός αριθμός ασθενών (n=605)	Συμβατική λαπαροσκοπική τεχνική (n=356) (%)	Ρομποτική μέθοδος (n=249) (%)
Μέση ηλικία (yrs)	42 (18-68)	43 (19-72)
Ποσοστό ανδρών (%)	20	21
Μέσος BMI (Kg/m ²)	50.4 (34-88)	50.2 (34-92)
Μέση διάρκεια επέμβασης (min)	204 (109-489)	217 (114-434)
Μέση διάρκεια νοσηλείας (days)	2.96 (1-29)	2.97 (2-13)
Μόλυνση τραύματος	4 (1.1)	1 (0.4)
Εμφάνιση στένωσης	8 (2.2)	8 (3.2)
Συμπτώματα αφυδάτωσης	19 (5.3)	13 (5.2)
Κοιλιακός πόνος	6 (1.7)	4 (1.6)
Ενδοεντερική αιμορραγία	4 (1.1)	2 (0.8)
Αιμορραγία κοιλιακού τοιχώματος	0	1 (0.4)
Εμφάνιση κήλης	2 (0.6)	2 (0.8)
Ραβδομύολυση	1 (0.3)	2 (0.8)
Εγκεφαλικό επεισόδιο	1 (0.3)	0
Πνευμονικός εμβολισμός	0	2 (0.8)
Διαρροή αναστόμωσης	6 (1.7)	0
Απόφραξη εντέρου	2 (0.6)	0

Πίνακας 4.3: Συγκριτικά στοιχεία μεταξύ συμβατικών λαπαροσκοπικών και ρομποτικών επεμβάσεων γαστρικής παράκαμψης κατά Roux-en-Y

4.1.4.3 Επιμήκης γαστρεκτομή

Η λαπαροσκοπική επιμήκης γαστρεκτομή προέκυψε ως επέμβαση για την αντιμετώπιση της παχυσαρκίας πριν από λίγα χρόνια. Πρόκειται για την αφαίρεση ενός μεγάλου τμήματος του στομάχου χωρίς όμως να διαταράσσεται ουσιαστικά η λειτουργία της πέψης και απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών. Με την τεχνική αυτή αφαιρείται περίπου το 85% του στομάχου κατά τον επιμήκη άξονα, ενώ οι άκρες του τμήματος που απομένει συρράπτονται με τη βοήθεια εξελιγμένων εργαλείων, σχηματίζοντας με τον τρόπο αυτό έναν στομαχικό σωλήνα σε μορφή μανικιού (sleeve) ή πανάνας. Και αυτή η επέμβαση πραγματοποιείται ρομποτικά με τη βοήθεια 4-5 τομών του ενός εκατοστού περίπου.^[4]

4.1.5 Χειρουργική στο κόλον και το ορθό

Μία μεγάλη σειρά από επεμβάσεις έχουν πραγματοποιηθεί στο κόλον και το ορθό. Οι επεμβάσεις αυτές περιλαμβάνουν δεξιά και αριστερή κολεκτομή, εκτομή σιγμοειδούς, ορθοπηξία, χαμηλή πρόσθια εκτομή, κοιλιοπερινεϊκή εκτομή, τυφλοστομία και ολική κολεκτομή. Εντούτοις, παρόλο τα προηγμένα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος da Vinci, οι περισσότερες αναφορές για επεμβάσεις στο κόλον και το ορθό δε διακρίνουν σημαντικά πλεονεκτήματα της ρομποτικής έναντι της συμβατικής λαπαροσκοπικής τεχνικής.

4.1.5.1 Ρομποτικές επεμβάσεις στο κόλον

Από τότε που ο Weber και οι συνεργάτες του ανακοίνωσαν τις δύο πρώτες κολεκτομές με τη βοήθεια του ρομποτικού συστήματος da Vinci το Μάρτιο του 2001, τα περιστατικά των ρομποτικών κολεκτομών έχουν αυξηθεί. Κλινικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς αποδεικνύουν την εφικτότητα και την ασφάλεια των ρομποτικών κολεκτομών όχι μόνο σε περιπτώσεις καλοήθειας αλλά και σε κακοήθεις ασθένειες.

Από τη σύγκριση 18 περιπτώσεων ρομποτικών δεξιών ημικολεκτομών και 10 ρομποτικών αριστερών με 50 περιπτώσεις λαπαροσκοπικών δεξιών ημικολεκτομών και 73 λαπαροσκοπικών αριστερών, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η ρομποτική χειρουργική στο κόλον είναι μεν εφικτή και ασφαλής μέθοδος αλλά απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο (Spinoglio et al., 2008). Στο ίδιο συμπέρασμα είχε καταλήξει και ο Delaney με τους συνεργάτες του σε προηγούμενη μελέτη (Delaney et al., 2003). Επιπλέον, μία άλλη μελέτη ανέφερε ότι τα κλινικά αποτελέσματα ανάμεσα στις ρομποτικές και τις λαπαροσκοπικές κολεκτομές ήταν παρόμοια, ενώ οι ρομποτικές επεμβάσεις απαιτούσαν σημαντικά μεγαλύτερο χρόνο στην περίπτωση των δεξιών κολεκτομών. Η μεγαλύτερη χρονική διάρκεια της ρομποτικής μεθόδου αποδόθηκε, σύμφωνα πάντοτε με τη συγκεκριμένη μελέτη, στην εκτέλεση ενδοσωματικής και όχι εξωσωματικής αναστόμωσης, όπως γίνεται στη συμβατική λαπαροσκοπική τεχνική. Εντούτοις, δεν υπάρχει καμμία απόδειξη ότι η συγκεκριμένη αναστόμωση αποτελεί καλύτερη μέθοδο σε επεμβάσεις κολεκτομών από την αντίστοιχη εξωσωματική (Rawlings et al., 2007).

Σύμφωνα με όλες τις παραπάνω αναφορές, η ρομποτική κολεκτομή αποδεικνύεται εφικτή και ασφαλής, αλλά δεν παρουσιάζει καλύτερα κλινικά αποτελέσματα, παρόλο που το ρομποτικό σύστημα da Vinci διακρίνεται για τα τεχνολογικά πλεονεκτήματά του σε σύγκριση με τα κλασικά λαπαροσκοπικά εργαλεία. Για το λόγο αυτό, πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η σχέση ανάμεσα στα τεχνολογικά προτερήματα του da Vinci και των ανατομικών χαρακτηριστικών κατά τη διάρκεια μίας κολεκτομής. Το μεγάλο χειρουργικό πεδίο κατά τη διάρκεια μίας τέτοιας επέμβασης περιορίζει τα όποια οφέλη προσφέρει το τρισδιάστατο σύστημα απεικόνισης του ρομποτικού συστήματος (π.χ. δεκαπλάσια μεγέθυνση, σταθερότητα). Ο χειρουργός έχει καλή θέα του χειρουργικού πεδίου, ακόμη και με τη διπλάσια μόνο μεγέθυνση που προσφέρει η κλασική λαπαροσκοπική τεχνική, ενώ ένας καλά εκπαιδευμένος βοηθός χειρουργείου μπορεί να χειρίζεται τη λαπαροσκοπική κάμερα με την απαιτούμενη σταθερότητα, σύμφωνα με τις εντολές του χειρουργού. Επίσης, ο εύκολος και κατάλληλος ελκυσμός των κλασικών λαπαροσκοπικών εργαλείων αντισταθμίζει τα πλεονεκτήματα από τους δύο επιπλέον βαθμούς ελευθερίας του ρομποτικού συστήματος κατά τη διάρκεια μίας κολεκτομής, αφού το χειρουργικό πεδίο είναι μεγάλο και δεν περιορίζεται από καμμία οστεΐνη δομή, όπως είναι π.χ. η λεκάνη.

Η ρομποτική χειρουργική αποτελεί, γενικά, εφικτή και ασφαλή μέθοδο για την εκτέλεση κολεκτομών. Προς το παρόν όμως, δεν οδηγεί σε καλύτερα κλινικά αποτελέσματα από την αντίστοιχη ανοικτή ή συμβατική λαπαροσκοπική μέθοδο. Η ρομποτική τεχνολογία, βέβαια, βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο. Στο μέλλον πρέπει να πραγματοποιηθούν αρκετές ακόμη τεχνολογικές εξελίξεις, όπως είναι η ανατροφοδότηση αφής και η σχεδίαση ενός ειδικού εργαλείου για τον κατάλληλο ελκυσμό ενός πλεονάζοντος κόλου. Επιπλέον, η βελτίωση της εξωσωματικής ελευθερίας του ρομποτικού βραχίονα θα αποτελέσει μελλοντικά σημαντική τεχνολογία για τις επεμβάσεις στο κόλον, καθώς οι συγκρούσεις μεταξύ των βραχιόνων του συστήματος συμβαίνουν συνήθως επειδή ο ελκυσμός ενός πλεονάζοντος κόλου απαιτεί εξωσωματική κίνηση του ρομποτικού βραχίονα.^[6]

4.1.5.2 Ρομποτικές επεμβάσεις στο ορθό

Οι επεμβάσεις στο ορθό αποτελούν πιο δύσκολες χειρουργικές διαδικασίες από αυτές στο κόλον εξαιτίας των ανατομικών χαρακτηριστικών του ορθού και της πυέλου (λεκάνης). Η κλασική τεχνική που ακολουθείται στη χειρουργική για την καταπολέμηση του καρκίνου του ορθού είναι η *ολική εκτομή μεσοορθού* (Total Mesorectal Excision – TME) στο επίπεδο των ανελκτάρων του πρωκτού. Η εκτομή πραγματοποιείται ανάμεσα στην προϊερά περιτονία (presacral fascia) και την ίδια περιτονία του ορθού (fascia propria). Για το λόγο αυτό, το χειρουργικό πεδίο περιορίζεται μέσα στην πυέλο, γεγονός που οδηγεί σε δύσκολες επεμβάσεις όταν αυτή είναι στενή. Έτσι, το πυελικό μέγεθος αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που σχετίζεται άμεσα με την ποιότητα της χειρουργικής επέμβασης.

Η ολική εκτομή μεσοορθού είναι μία τεχνικά απαιτητική διαδικασία και η εξασφάλιση της βέλτιστης θέας του χειρουργικού πεδίου αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση για μία επιτυχημένη επέμβαση κατά του καρκίνου στο ορθό. Υπάρχουν αναφορές που καταδεικνύουν τα πλεονεκτήματα του συστήματος da Vinci σε σύγκριση με την αντίστοιχη συμβατική λαπαροσκοπική μέθοδο, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου το χειρουργικό πεδίο είναι μικρό και είναι απαραίτητες οξείες και ακριβείς τομές (Baik et al., 2008). Μία άλλη αναφορά, που αφορούσε τη σύγκριση 12 ρομποτικών επεμβάσεων ορθού με αντίστοιχες συμβατικές, κατέδειξε ότι τόσο η ρομποτική όσο και η συμβατική τεχνική μπορούν να επιτύχουν τα ίδια εγχειρητικά και μετεγχειρητικά αποτελέσματα (D' Annibale et al., 2004). Εντούτοις, μέχρι σήμερα, υπάρχουν λίγες αναφορές για τη ρομποτική χειρουργική του ορθού. Οι μελέτες αυτές στην πλειονότητά τους δε σχολιάζουν τα πραγματικά πλεονεκτήματα του συστήματος da Vinci σε επεμβάσεις ορθού, αν και τα αναφέρουν.^[6]

4.1.6 Θυμεκτομή

Η βαρεία μυασθένεια (myasthenia gravis) είναι μία όχι πολύ συχνή πάθηση που αποτελεί συνέπεια διαταραχής της λειτουργίας της νευρομυϊκής συνάψεως και χαρακτηρίζεται από προοδευτική και ταχεία εξάντληση της μυϊκής ισχύος κατά τη διάρκεια επαναλαμβανόμενων ή συνεχών προσπαθειών. Η βαρεία μυασθένεια οφείλεται σε ανοσιακή διαταραχή, στην οποία κυριαρχικό ρόλο φαίνεται να παίζουν ανωμαλίες ή όγκοι του θύμου αδένου, επειδή από αυτόν καθορίζεται η παραγωγή αντισωμάτων. Τα συμπτώματα της ασθένειας ποικίλλουν, από οφθαλμικές διαταραχές που χαρακτηρίζονται από πτώση και διπλωπία μέχρι ήπια, μέτρια ή σοβαρή γενικευμένη αδυναμία των αναπνευστικών μυών στο τελικό στάδιο. Από το 1941, όταν ο Blalock και οι συνάδελφοί του ανέφεραν τα αποτελέσματα της πρώτης θυμεκτομής μέσω του στέρνου σε ασθενείς με βαρεία μυασθένεια, η μέθοδος αυτή έχει αποκτήσει σημαντικό ρόλο για τη θεραπεία της συγκεκριμένης νόσου. Παρόλο όμως που η συγκεκριμένη τεχνική είναι ευρέως αποδεκτή ως θεραπευτική μέθοδος για τη βαρεία μυασθένεια, η επιλογή των ασθενών, το μέγεθος της εκτομής του θύμου αδένου και η χειρουργική προσέγγιση παραμένουν ακόμη υπό συζήτηση.

Ένας αριθμός τεχνικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση του θύμου αδένου. Αυτές περιλαμβάνουν την κλασική θυμεκτομή μέσω του στέρνου, τη θυμεκτομή μέσω του αυχένου, τη θωρακοσκοπική προσέγγιση με τη βοήθεια κινούμενης εικόνας και, πιο πρόσφατα, τη ρομποτική θυμεκτομή με το χειρουργικό σύστημα da Vinci. Για την τελευταία μέθοδο, υπάρχουν ήδη κάποιες αναφορές που επιβεβαιώνουν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητά της. Μία από αυτές αφορά 33 περιπτώσεις ασθενών, 24 γυναικών και 9 ανδρών με μέση ηλικία τα 41 χρόνια, που υποβλήθηκαν σε ρομποτική θωρακοσκοπική θυμεκτομή για βαρεία μυασθένεια χωρίς θύμωμα. Οι επεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν από τον Απρίλιο του 2002 μέχρι και τον Οκτώβριο του 2004 στην Πάδουα της Ιταλίας. Για την εκτέλεση των επεμβάσεων υιοθετήθηκε η αριστερόπλευρη προσέγγιση μέσω 3 μικροτομών, επειδή αυτή παρείχε καλύτερη οπτική επαφή με το χειρουργικό πεδίο και μικρότερη πιθανότητα τραυματισμού των φρενικών νεύρων.

Η μέση διάρκεια των επεμβάσεων ήταν 120 min και ολοκληρώθηκαν χωρίς επιπλοκές. Μόνο δύο ασθενείς (ποσοστό 6%) παρουσίασαν μετεγχειρητικές επιπλοκές. Ο μέσος χρόνος νοσηλείας ήταν 2.6 ημέρες. Η ιστολογική ανάλυση των χειρουργικών δειγμάτων αποκάλυψε 23 υπερπλασίες, 4 φυσιολογικούς θύμους, 4 ατροφίες και 2 θυμώματα. Σε 12 ασθενείς (ποσοστό 36.3%) βρέθηκε έκτοπος θυμικός ιστός. Η αξιολόγηση των πρώτων 24 ασθενών, μετά από μία μετεγχειρητική περίοδο μέσης

διάρκειας 23.8 μηνών, έδειξε ότι 4 από αυτούς (ποσοστό 16.7%) είχαν πλήρη ύφεση και 18 (ποσοστό 75%) σημαντική κλινική βελτίωση.^[7]

4.1.7 Άλλες επεμβάσεις

Μόνο μερικές περιπτώσεις έχουν αναφερθεί για την εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων στη σπλήνα, το πάγκρεας, τον οισοφάγο και το έντερο με τη βοήθεια ρομποτικού συστήματος, ενώ η χρήση ρομπότ σε ηπατικές επεμβάσεις βρίσκεται υπό αξιολόγηση.

Η πρώτη εφαρμογή της ρομποτικής χειρουργικής στο πάγκρεας αφορούσε την εξαίρεση ενός νευροενδοκρινούς όγκου με τη βοήθεια του συστήματος da Vinci από τον Melvin το 2003. Σε μία άλλη περίπτωση, μία σειρά από 8 ασθενείς υποβλήθηκε σε δωδεκαδακτυλοπαγκρεατεκτομή. Κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων αυτών, οι ηπατο- και γαστρονηστιδοστομίες πραγματοποιήθηκαν ενδοσωματικά με το χέρι. Η έλλειψη απτικής ανάδρασης αποκλείει, τουλάχιστον προς το παρόν, την ασφαλή χρήση των ρομποτικών συστημάτων σε περίπλοκες επεμβάσεις στο πάγκρεας. Μία τέτοια χειρουργική διαδικασία είναι και η επέμβαση Whipple, στην οποία η ψηλάφηση των ιστών για την προσεκτική εκτέλεση τομών στην πυλαία φλέβα είναι απολύτως απαραίτητη (Giulianotti et al., 2003).

Σε επεμβάσεις σπληνεκτομής, το σύστημα da Vinci βελτιώνει την ικανότητα του χειρουργού να προσδιορίζει την αρχιτεκτονική των αγγείων και να σκιαγραφεί τη θέση της σπλήνας σε σχέση με το πάγκρεας ενώ η ακρίβεια των χειρουργικών εργαλείων EndoWrist διευκολύνει την έκθεση των σπληνικών αγγείων. Σε μία αναφορά τους το 2003, ωστόσο, ο Talamini και οι συνεργάτες του κοινοποίησαν 2 μετατροπές σε ανοικτή χειρουργική μέθοδο που αναγκάστηκαν να κάνουν εξαιτίας των δυσκολιών που συνάντησαν σε 7 ρομποτικές επεμβάσεις, προτείνοντας ότι οι σπληνεκτομές δεν αποτελούν τον ιδανικότερο τομέα για εφαρμογή της ρομποτικής χειρουργικής.

Σε μία διαφορετική σειρά σπληνεκτομών που πραγματοποιήθηκε το 2005 από τον Bodner και τους συνεργάτες του σε 7 ασθενείς με το σύστημα da Vinci, δεν παρατηρήθηκε καμμία επιπλοκή κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων και δεν έγινε απολύτως καμμία μετατροπή σε ανοικτή χειρουργική μέθοδο. Οι μέσες διαστάσεις των σπληνών που υπέστησαν εκτομή ήταν 140 ± 34 mm X 80 ± 11 mm X 50 ± 17 mm, το μέσο βάρος τους 307 ± 193 gr ενώ η μέση διάρκεια των επεμβάσεων 147 ± 58 min. Η συγκεκριμένη ομάδα συμπεραίνει στην αναφορά της ότι η ρομποτική σπληνεκτομή με το σύστημα da Vinci είναι τεχνικά εφικτή, ασφαλής και αποτελεί μία εναλλακτική πρόταση στη συμβατική λαπαροσκοπική μέθοδο. Εντούτοις, η ομάδα υπογραμμίζει ότι ένας περιορισμός του ρομποτικού αυτού συστήματος είναι η έλλειψη συμβατών συσκευών συρραφής. Για το λόγο αυτό, ο χειρουργικός έλεγχος της σπληνικής πύλης πρέπει να γίνεται με τις συμβατικές συσκευές συρραφής δίπλα στο χειρουργικό τραπέζι.^[1]

Η ρομποτική χειρουργική στο ήπαρ αποτελεί ένα νέο, αναπτυσσόμενο πεδίο και για το λόγο αυτό δεν υπάρχουν ακόμη αρκετές αναφορές που να τεκμηριώνουν την αποτελεσματικότητά της. Μία σειρά αριστερών τμηματικών εκτομών που πραγματοποιήθηκαν στο ήπαρ 3 ασθενών από το Μάρτιο έως το Μάιο του 2007 στο τμήμα χειρουργικής του Πανεπιστημίου Yonsei στη Σεούλ, κατέδειξε ότι η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί εφικτή και ασφαλή τεχνική για ασθενείς με μικρούς κακοήθεις όγκους και καλοήθεις ηπατικές ασθένειες. Η πρώτη από τις περιπτώσεις αυτές αφορούσε ένα ηπατοκυτταρικό καρκίνωμα (HCC), ο δεύτερος ασθενής έπασχε από καρκίνο στο κόλον με μετάσταση στο ήπαρ, ενώ η τρίτη περίπτωση αφορούσε ενδοηπατικές πέτρες. Και οι τρεις επεμβάσεις ολοκληρώθηκαν με επιτυχία και οι ασθενείς ανάρρωσαν χωρίς επιπλοκές. Η διάρκεια νοσηλείας ήταν μικρότερη από τις αντίστοιχες συμβατικές μεθόδους, ενώ οι ασθενείς άρχισαν να λαμβάνουν νωρίτερα τροφή από το στόμα. Εντούτοις, ο πρώτος ασθενής επανεμφάνισε ηπατοκυτταρικό καρκίνωμα τρεις μήνες μετά την επέμβαση.^[8]

4.2 Εφαρμογές στην ουρολογία

Από την αρχική της εφαρμογή στην καρδιοχειρουργική, η ρομποτική χειρουργική μετακινήθηκε προοδευτικά στην ουρολογία, με αποτέλεσμα περισσότερες από τις μισές επεμβάσεις που πραγματοποιούνται σήμερα ρομποτικά να αφορούν ουρολογικά περιστατικά. Ο βασικότερος ίσως λόγος για αυτό ήταν η εξέλιξη που γνώρισε η κλασική λαπαροσκόπηση στην ουρολογία, κυρίως επειδή η ανοικτή τομή που πραγματοποιείται στον ασθενή είναι συνήθως μεγαλύτερη από το όργανο-στόχο, το οποίο βρίσκεται βαθιά μέσα στο σώμα.

4.2.1 Ριζική προστατεκτομή

Η μεγαλύτερη ενημερότητα και η ευρύτερη διαθεσιμότητα διαγνωστικών τεστ όπως το PSA, έχουν καταστήσει πλέον τις κλινικές διαγνώσεις καρκίνου του προστάτη ένα σύνηθες φαινόμενο. Ένας ολόένα και μεγαλύτερος αριθμός ασθενών διαγιγνώσκεται με καρκίνο του προστάτη σε πρώιμο ακόμη στάδιο, όπου η ριζική προστατεκτομή προσφέρει μία πιθανή θεραπεία. Το γεγονός αυτό έχει οδηγήσει σε μία μαζική αύξηση του αριθμού των χειρουργικών επεμβάσεων αυτού του είδους που πραγματοποιούνται κάθε χρόνο σε διεθνές επίπεδο. Στις Η.Π.Α. μόνο, όπου έχει επικρατήσει το τεστ PSA, εκτελούνται κάθε χρόνο 75.000 ριζικές προστατεκτομές.

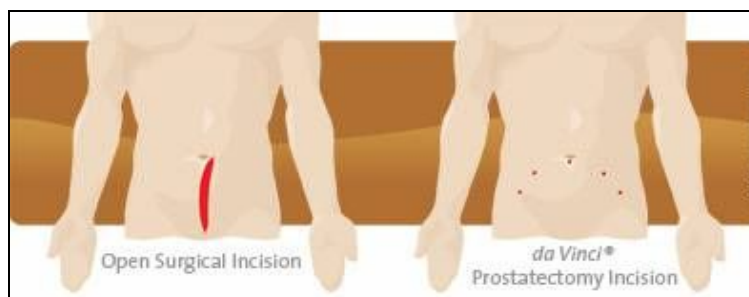
Η λαπαροσκοπική ριζική προστατεκτομή είναι μία δύσκολη επέμβαση και σχετίζεται με σημαντική νοσηρότητα, όπως είναι η ακράτεια των ούρων και η στυτική δυσλειτουργία. Έχει κατηγοριοποιηθεί ως μία δύσκολη έως και πολύ δύσκολη χειρουργική τεχνική. Παρότι ένας μεγάλος αριθμός ιατρικών κέντρων στον κόσμο εκτελεί λαπαροσκοπικές ουρολογικές επεμβάσεις, λίγα μόνο από αυτά προσφέρουν τη λαπαροσκοπική ριζική προστατεκτομή ως επέμβαση ρουτίνας. Στα λίγα χρόνια από τότε που αναφέρθηκαν οι πρώτες ρομποτικές ριζικές προστατεκτομές, η διαδικασία αυτή έχει καθιερωθεί ως η μόνη μεγαλύτερη ένδειξη για τη χρήση ρομποτικού συστήματος. Το τελευταίο είναι κατάλληλο για μία τέτοια επέμβαση εξαιτίας του μικρού, και σε βάθος, χώρου εργασίας, της ανάγκης για ακριβή τομή της κορυφής της ουρήθρας, της διατήρησης της νευροαγγειακής δέσμης και της ανακατασκευής της ουρηθροκυστικής συμβολής.

Η πλειονότητα των αναφορών για ρομποτικές προστατεκτομές προέρχεται από το Ουρολογικό Ινστιτούτο Vattikuti του Νοσοκομείου Henry Ford στο Ντητρόιτ των Ηνωμένων Πολιτειών. Ερευνητές στο συγκεκριμένο ινστιτούτο πραγματοποίησαν μετάβαση στη ρομποτική τεχνική ύστερα από μία περίοδο εκπαίδευσης στη λαπαροσκοπική ριζική προστατεκτομή. Από τον Οκτώβριο του 2000, οπότε και ξεκίνησε να εφαρμόζεται το συγκεκριμένο πρόγραμμα ρομποτικών προστατεκτομών, οι ερευνητές του ινστιτούτου συλλέγουν δεδομένα από τα περιστατικά τους. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι το ινστιτούτο διαθέτει ένα εκτενές πρόγραμμα εκπαίδευσης προσανατολισμένο στις συγκεκριμένες τεχνικές από τον πρώτο κιόλας χρόνο εφαρμογής του προγράμματος.

Με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων από μία μεγάλη σειρά 1.100 περιπτώσεων, ο Menon και οι συνεργάτες του ανέφεραν χρονική διάρκεια επεμβάσεων 70-160 min, που περιελάμβανε το άνοιγμα και το κλείσιμο των μικροτομών (ports), τη λήψη δειγμάτων και τις επουλώσεις των τραυμάτων. Η απώλεια αίματος κυμαινόταν στο διάστημα 50-150 ml, χωρίς να υπάρξει ανάγκη για μετάγγιση αίματος σε κάποια από τις περιπτώσεις. Περισσότεροι από το 95% των ασθενών πήραν εξιτήριο μέσα σε 24 ώρες. Ολική εγκράτεια ούρων επιτεύχθηκε στο 96% των ασθενών μέσα σε 6 μήνες και ανάκτηση της στυτικής λειτουργίας στο 82% των ασθενών κάτω των 60 ετών με προηγούμενη σεξουαλική δραστηριότητα. Τα ποσοστά της θνησιμότητας και της αποδεκτής νοσηρότητας ήταν μηδενικά. Η αναφορά από τις περιπτώσεις αυτές καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ρομποτική προστατεκτομή είχε καλύτερα αποτελέσματα, σε ό,τι αφορά την εγκράτεια ούρων και τη στυτική λειτουργία, από την αντίστοιχη ανοικτή και συμβατική λαπαροσκοπική τεχνική (Menon et al., 2004).

Το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Irvine σύγκρινε το 2004 τα αποτελέσματα 60 ανοικτών προστατεκτομών με 60 από τις πιο πρόσφατες ρομποτικές περιπτώσεις, αφού απέκλεισε πρώτα την καμπύλη εκμάθησης των αρχικών 45 ρομποτικών διαδικασιών. Η χρονική διάρκεια της ρομποτικής μεθόδου ήταν 231 min ενώ της αντίστοιχης ανοικτής 214 min. Η ρομποτική τεχνική, όμως, αποδείχθηκε

καλύτερη σε ό,τι αφορούσε την απώλεια αίματος (103 έναντι 418 ml), το ποσοστό μετάγγισης αίματος (0% έναντι 2%), το ποσοστό επιπλοκών (6.7% έναντι 10%) και το χρόνο νοσηλείας (25.9 έναντι 52.8 ωρών). Η εγκράτεια ούρων ήταν 75% και στις δύο ομάδες μετά από περίοδο 3 μηνών (Ahlering et al., 2004).^[9]



Εικ. 4.3: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση προστατεκτομής με το da Vinci (δεξιά) σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου (αριστερά)

4.2.2 Νεφρεκτομή και Νεφρουρητηρεκτομή

Η ρομποτική χειρουργική για την εκτέλεση νεφρικών εκτομών έχει περιγραφεί ως μία χρήσιμη ελάχιστα επεμβατική τεχνική, τόσο για περιστατικά κακοήθειας όσο και για καλοήθειες καταστάσεις. Έχουν δημοσιευτεί κατά καιρούς αρκετές σειρές περιπτώσεων που υπογραμμίζουν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα της ρομποτικής μεθόδου, χωρίς να έχει αναφερθεί καμμία σημαντική επιπλοκή σε ασθενή ή στον εξοπλισμό. Αν και στα περισσότερα ιατρικά κέντρα σήμερα υιοθετείται συνήθως η συμβατική λαπαροσκοπική προσέγγιση, οι ρομποτικές τεχνικές είναι ελκυστικές για τους χειρουργούς με ελάχιστη λαπαροσκοπική εμπειρία. Αντίθετα, χειρουργοί με ιδιαίτερη ευχέρεια στις βασικές λαπαροσκοπικές ικανότητες δυσκολεύονται να δικαιολογήσουν τη χρήση ενός ρομποτικού συστήματος σε μία χειρουργική διαδικασία που θεωρείται από πολλούς σχετικά πρωτοποριακή (κλασική λαπαροσκόπηση). Οι περισσότερο περιγραφόμενες τεχνικές καθρεφτίζουν τη συμβατική λαπαροσκοπική προσέγγιση για την εκτομή νεφρού. Επιπλέον, το ρομποτικό σύστημα da Vinci δεν είναι συμβατό με εφαρμοστές κλιπ τεχνολογίας multifire και τις συμβατικές συσκευές εκτέλεσης ενδοαγγειακών συρραφών που απαιτούνται για τις νεφραγγειακές απολινώσεις (περιδέσεις) και διαιρέσεις. Αυτό αποτελεί ένα μειονέκτημα για την εκτέλεση ρομποτικών επεμβάσεων ρουτίνας που αφορούν εκτομές νεφρού.^{[10],[11]}

Αναφορά	Υποκείμενοι στην επέμβαση	n	Τύπος επέμβασης	Τεχνική επιτυχία
Gill et al.	χοίροι	5	απλή	όλες
Sung and Gill	χοίροι	11	απλή	όλες
Guillonneau et al.	άνθρωποι	1	απλή	όλες
Marella et al.	άνθρωποι	18	απλή	-
Hubert et al.	άνθρωποι	12	απλή	11/12
Hubert et al.	άνθρωποι	2	ριζική	-
Predaza et al.	άνθρωποι	1	νεφρουρητηρεκτομή	όλες

Πίνακας 4.4: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις νεφρεκτομής

4.2.3 Μερική νεφρεκτομή

Τη σύγχρονη εποχή, οι περισσότεροι όγκοι που οδηγούν σε μερικές εκτομές του νεφρού ανακαλύπτονται εντελώς τυχαία, ύστερα από απεικόνιση της κοιλιακής περιοχής (π.χ. ακτινογραφία) για κάποια άσχετη με το νεφρό ένδειξη. Ασθενείς με εξωφυτικές αλλοιώσεις μικρότερες των 4 cm αποτελούν ιδανικούς υποψήφιους για μερική νεφρεκτομή στο επιλεγμένο σημείο. Η τεχνική αυτή δικαιολογείται ακόμη περισσότερο σε ασθενείς με περιορισμένη λειτουργία του ενός νεφρού (βασική νεφρική επάρκεια), οι οποίοι έχουν αυξημένες πιθανότητες να μείνουν μελλοντικά με ένα μόνο νεφρό λόγω επιδείνωσης της κατάστασής τους.

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει ένας εκρηκτικός αριθμός αναφορών που περιγράφουν ελάχιστα επεμβατικές, λαπαροσκοπικές τεχνικές για μερική νεφρεκτομή, συμπεριλαμβανομένων και των ρομποτικών μεθόδων. Η συμβατική λαπαροσκοπική μερική νεφρεκτομή είναι μία τεχνικά προκλητική επέμβαση. Για το λόγο αυτό, έχουν αναζητηθεί στρατηγικές για την απλοποίηση της εκτομής και της επανόρθωσης (reconstruction) με παράλληλο περιορισμό του ισχαιμικού χρόνου. Θεωρητικά, η ενισχυμένη ικανότητα των χειρουργικών εργαλείων EndoWrist να προσαρμόζουν τις γωνίες εκτομής και να διευκολύνουν τις ενδοσωματικές συρραφές έχει καταστήσει τη ρομποτική μερική νεφρεκτομή μία ιδιαίτερα ελκυστική εναλλακτική τεχνική.^[10]

Αναφορά	n	Μέσο μέγεθος αλλοίωσης (cm)	Μέση διάρκεια επέμβασης (min)	Μέση απώλεια αίματος (ml)	Μέσος χρόνος νοσηλείας (days)	Αριθμός επιπλοκών
Gettman et al.	13	3.5	215	170	4.3	1
Stifelman et al	1	2.0	230	150	2.0	0
Philips et al.	12	1.8	265	240	2.7	0
Caruso et al.	10	1.9	279	240	2.6	1
Kaul et al.	10	2.0	158	92	1.5	0
Rogers et al.	14	3.6	192	230	2.6	0

Πίνακας 4.5: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις μερικής νεφρεκτομής

4.2.4 Νεφρεκτομή δότη εν ζωή

Η πιο εκτεταμένη εμπειρία σε ρομποτικές επεμβάσεις εκτομής νεφρού προέρχεται από εγχειρήσεις νεφρεκτομής δότη εν ζωή. Παρόλο που κάποια ιατρικά κέντρα στον κόσμο θεωρούν ακόμη την αντίστοιχη ανοιχτή επέμβαση ως τη “χρυσή” καθιερωμένη διαδικασία, η λαπαροσκοπική μέθοδος συνεχίζει να κερδίζει έδαφος. Τα πλεονεκτήματα μίας ελάχιστα επεμβατικής διαδικασίας περιλαμβάνουν μειωμένο μετεγχειρητικό πόνο, μικρότερη διάρκεια νοσηλείας και ταχύτερη επιστροφή του ασθενούς στις καθημερινές του δραστηριότητες. Η ευρεία αποδοχή της τεχνικής αυτής έχει συνεισφέρει σημαντικά στην αύξηση του αριθμού των νεφρεκτομών δότη, βοηθώντας έτσι να μειωθεί το κενό που υπάρχει ανάμεσα στους δότες και τους λήπτες μοσχευμάτων.

Η νεφρεκτομή δότη για μεταμόσχευση νεφρού απαιτεί πιο λεπτές τομές από την απλή νεφρεκτομή και την ελάχιστη δυνατή νοσηρότητα, αφού το μόσχευμα προορίζεται για ένα υγιές, κατά τα άλλα, άτομο. Η τεχνικά απαιτητική φύση της λαπαροσκοπικής μεθόδου κάνει την υιοθέτηση ρομποτικής υποβοήθησης πιο ελκυστική. Υπάρχουν ενδείξεις ότι η ρομποτική μέθοδος είναι ασφαλής και παρέχει κλινικά αποτελέσματα παρόμοια τόσο με την ανοιχτή όσο και με άλλες ελάχιστα επεμβατικές τεχνικές.^[10]

Αναφορά	n	Μέση διάρκεια επέμβασης (min)	Μέσος θερμός ισχαιμικός χρόνος (sec)	Μέσος χρόνος νοσηλείας (days)	Αριθμός επιπλοκών
Horgam et al.	12	166	79	1.9	2
Talamini et al.	15	143	-	1.0	0
Renoult et al.	13	185	430	5.8	1
Horgan et al.	273	150	98	2.3	9

Πίνακας 4.6: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις νεφρεκτομής δότη εν ζώη

4.2.5 Πυελοπλαστική

Η λαπαροσκοπική πυελοπλαστική για την απόφραξη της ουρητηροπυελικής συμβολής έχει γίνει μία καθιερωμένη διαδικασία με ποσοστά επιτυχίας ανάλογα με αυτά της ανοικτής μεθόδου και ελάχιστη νοσηρότητα, διότι είναι λιγότερο επεμβατική. Η τεχνική είναι πολύπλευρη, επιτρέποντας την αντιμετώπιση ασθενών με όλους τους τύπους της παθολογίας π.χ. διασταυρώμενα αγγεία, υψηλή ουρητηρική εισαγωγή και πλεονάζουσα πύελο. Η λαπαροσκοπική πυελοπλαστική απαιτεί σημαντική χειρουργική δεξιότητα εξαιτίας των ακριβών συρραφών. Αυτή η τεχνική δυσκολία είναι ο κύριος λόγος για την περιορισμένη εφαρμογή της. Η ρομποτική τεχνολογία είναι ιδανική για τη μείωση των τεχνικών δυσκολιών σε τέτοιες περιπτώσεις καθώς επιτρέπει μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας στα χειρουργικά εργαλεία και τρισδιάστατη απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου.

Υπάρχουν διάφορες αναφορές για την εφαρμογή της ρομποτικής χειρουργικής στην πυελοπλαστική. Οι πρώτες από αυτές αφορούν επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν αρχικά σε χοίρους και καταδεικνύουν ότι η συγκεκριμένη διαδικασία αποτελεί εφικτή και ασφαλή χειρουργική μέθοδο, με το σύστημα da Vinci να αποδεικνύεται ανώτερο από το Zeus (Sung et al., 1999 και 2001, Guillonneau et al., 2003). Μεταγενέστερες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις σε ανθρώπους με χρήση του συστήματος da Vinci καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η ρομποτική πυελοπλαστική μέθοδος Anderson-Hynes απαιτεί μικρότερο χρόνο από την αντίστοιχη συμβατική μέθοδο (Gettman et al., 2002 και 2004).

Το μεγαλύτερο αντίκτυπο από τη χρήση του ρομποτικού συστήματος da Vinci σε αυτή την περίπλοκη διαδικασία είναι το γεγονός ότι χειρουργοί με μικρή εμπειρία στη λαπαροσκόπηση παρήγαγαν παρόμοια επιτυχή αποτελέσματα. Υπάρχουν αναφορές που επιβεβαιώνουν τη χρησιμότητα του συστήματος da Vinci σε χειρουργούς με περιορισμένη ή καθόλου λαπαροσκοπική εμπειρία σε επεμβάσεις πυελοπλαστικής (Bentas et al., 2003, Hubert et al., 2003 και Peschel et al., 2002).^[11]

Αναφορά	Υποκείμενοι στην επέμβαση	n	Τεχνική επιτυχία	Ποσοστό επιπλοκών (%)
Sung et al.	χοίροι	6	όλες	0
Sung and Gill	χοίροι	12	όλες	0
Guillonneau et al.	χοίροι	10	όλες	0
Gettman et al.	άνθρωποι	9	όλες	11
Gettman et al.	άνθρωποι	49	όλες	2
Bentas et al.	άνθρωποι	11	όλες	0
Hubert et al.	χοίροι	14	όλες	0
Yohannes and Burjonrappa	άνθρωποι	1	όλες	0

Πίνακας 4.7: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις πυελοπλαστικής

4.2.6 Κυστεκτομή

Η ριζική κυστεκτομή είναι η επιλεγόμενη θεραπεία για ασθενείς με καρκίνωμα της ουροδόχου κύστης. Η απομάκρυνση της κύστης απαιτεί την κατασκευή ενός εναλλακτικού συστήματος διοχέτευσης των ούρων. Η πρόοδος που έχει σημειωθεί στη χρήση τμημάτων εντέρου στην ουρολογία έχει οδηγήσει στη δημιουργία εγκρατών ουρητηρικών εκτροπών και ορθότοπων νεοκύστεων, με σκοπό το καλύτερο δυνατό λειτουργικό αποτέλεσμα για τον ασθενή. Η κατασκευή της νεοκύστης απαιτεί σημαντικές χειρουργικές ικανότητες. Προς το παρόν υπάρχουν σχετικά λίγες αναφορές για τέτοιου είδους επεμβάσεις μέσω της κλασικής λαπαροσκόπησης, κυρίως εξαιτίας της ιδιαίτερα μεγάλης χρονικής διάρκειάς τους και της πολυπλοκότητάς τους. Η διαθεσιμότητα των σύγχρονων ρομποτικών συστημάτων και η μεγάλη δεξιοτήτά τους έχουν καταστήσει πιθανή μία εξ'ολοκλήρου ρομποτική λαπαροσκοπική προσέγγιση σε τέτοιες εγχειρήσεις.

Ο Menon στην αρχική αναφορά του (Menon et al., 2003) περιγράφει την τεχνική της ρομποτικής κυστεκτομής. Σε αυτούς τους ασθενείς, η εκτροπή πραγματοποιήθηκε εξωσωματικά αλλά η κυστεοεντερική αναστόμωση εκτελέστηκε ρομποτικά ύστερα από επαναδημιουργία του πνευμοπεριτόναιου. Τα χρόνια που ακολούθησαν υπήρξαν περιγραφές ολόκληρων λαπαροσκοπικών επεμβάσεων με τη χρήση ρομπότ. Οι επεμβάσεις κυστεκτομών με ορθότοπες νεοκύστες στις γυναίκες παρουσιάζουν επίσης την πιθανότητα διατήρησης της γονιμότητάς τους. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η ρομποτική κυστεκτομή αποτελεί μία τεχνικά εφικτή και αποτελεσματική χειρουργική διαδικασία που μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα σε αποδεκτά χρονικά όρια. Παρέχει άριστα λειτουργικά και ογκολογικά αποτελέσματα με χαμηλά ποσοστά επιπλοκών.^{[9],[12]}

4.2.7 Επινεφριδεκτομή

Το επινεφρίδιο είναι ακόμη ένα όργανο με κατάλληλη θέση μέσα στο ανθρώπινο σώμα για εφαρμογή της λαπαροσκοπικής προσέγγισης. Η κλασική ανοικτή χειρουργική απαιτεί μία μεγάλη τομή, παρόλο που οι περισσότεροι όγκοι είναι μικροί. Από την εκτέλεση της πρώτης λαπαροσκοπικής επινεφριδεκτομής από τον Gagner και τους συνεργάτες του το 1992, υπήρξε μία μετάβαση από την κλασική ανοικτή προς τη λαπαροσκοπική τεχνική. Μικρότεροι χρόνοι παραμονής στο νοσοκομείο, μειωμένα ποσοστά μετεγχειρητικού πόνου και βελτιωμένες αναρρώσεις των ασθενών έχουν αναφερθεί συστηματικά. Αν και δεν υπάρχει σταθερή εμπειρία από ρομποτικές επινεφριδεκτομές ακόμη, οι επεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα έχουν δείξει ότι η ρομποτική μέθοδος μπορεί να εκτελεστεί με ασφάλεια μέσω υιοθέτησης των ήδη καθιερωμένων λαπαροσκοπικών τεχνικών.^[11]

Αναφορά	Υποκείμενοι στην επέμβαση	n	Τεχνική επιτυχία
Sung and Gill	χοίροι	10	όλες
Young et al.	άνθρωποι	1	όλες
Bentas et al.	άνθρωποι	4	όλες
Desai et al.	άνθρωποι	2	όλες
Beninca et al.	άνθρωποι	9	5
Brunaud et al.	άνθρωποι	14	όλες
Undre et al.	άνθρωποι	2	όλες
D' Annibale et al.	άνθρωποι	1	όλες

Πίνακας 4.8: Δημοσιευμένες αναφορές για ρομποτικές επεμβάσεις επινεφριδεκτομής

4.2.8 Διαδερματική πρόσβαση και μεταμόσχευση νεφρού

Η διαδερματική νεφρική χειρουργική για την αντιμετώπιση της νεφρολιθίασης, των ανωμαλιών της ουρητηροπυελικής συμβολής ή των όγκων του ανώτερου συστήματος απαιτεί την ακριβή τοποθέτηση μίας βελόνας μέσα στο σύστημα πυέλου-καλύκων του νεφρού. Αυτή η διαδικασία συνήθως εκτελείται από το χειρουργό ή έναν ακτινολόγο με καθοδήγηση από υπερηχογραφία ή ακτινοσκόπηση και μπορεί να αποδειχτεί δύσκολη σε ασθενείς με ελάχιστη διαστολή. Η πιθανότητα στερεοτακτικής-ρομποτικής υποβοήθησης μέσω διεπαφής (interface) αναφέρθηκε για πρώτη φορά το 1997 (Cadeddu, Bzostek, Schreiner et al.). Η συγκεκριμένη ομάδα κατάφερε να τρυπήσει με επιτυχία τον επιθυμητό νεφρικό κάλυκα σε 10 από τις 12 επεμβάσεις που εκτέλεσε με τη βοήθεια ρομποτικού συστήματος. Την επόμενη χρονιά η ίδια ομάδα έδωσε την περιγραφή του ρομποτικού της συστήματος PAKY, με το οποίο κατάφερε να εισάγει μία βελόνα τόσο σε ένα in-vitro μοντέλο χοίρου όσο και σε ασθενείς με τη βοήθεια καθοδήγησης από ακτινοσκόπηση. Η συσκευή αποδείχτηκε επιτυχημένη σε κάθε της προσπάθεια με έναν μέσο χρόνο πρόσβασης 8.2 min. Αν και αυτή η προσέγγιση υπόσχεται αρκετά, δεν υπάρχουν αναφορές για την ενσωμάτωσή της σε ένα κανονικό κλινικό πρόγραμμα.



Εικ. 4.4: Το σύστημα PAKY

Το 2002, ο Hoznek και οι συνεργάτες του κατάφεραν να εκτελέσουν επιτυχώς μία μεταμόσχευση νεφρού από ένα πτώμα σε έναν 26χρονο ασθενή που ήταν αναγκασμένος να κάνει αιμοκάθαρση για 11 συνεχή χρόνια. Η επέμβαση πραγματοποιήθηκε με το χειρουργικό σύστημα da Vinci, μακριά από το χειρουργικό τραπέζι, και η χρονική της διάρκεια ήταν 178 min. Η συγκεκριμένη ομάδα θεωρεί ότι, πέρα από την αυξημένη δεξιότητα του συστήματος στην εκτέλεση αγγειακών αναστομώσεων, αυτού του είδους η τηλερομποτική χειρουργική μπορεί να βοηθήσει στην πρόληψη μολύνσεων μεταξύ ασθενούς και δότη.^[11]

4.3 Εφαρμογές στην παιδιατρική

Η βασική εφαρμογή της ρομποτικής χειρουργικής στην παιδιατρική αφορά τη διόρθωση συγγενών ανωμαλιών. Οι περισσότερες περιπτώσεις απόφραξης της ουρητροπυελικής συμβολής διαγνώονται στη βρεφική ή παιδική ηλικία και διορθώνονται τα πρώτα χρόνια της ζωής. Το 2004 μία αξιολόγηση σε 18 από 22 περιπτώσεις πυελοπλαστικής κατέληξε σε καλά κλινικά αποτελέσματα για 17 από αυτές. Ένας ασθενής εμφάνισε συμπτώματα εντερικής απόφραξης (ειλεό) που προκλήθηκε από διαφυγή ούρων και απαιτήθηκε η προσωρινή χρήση ενός καθετήρα νεφροστομίας, ενώ σε μία άλλη περίπτωση απαιτήθηκε η επανάληψη μίας ρομποτικής πυελοπλαστικής καθώς στην αρχική επέμβαση είχε διαφύγει ένα διασταυρώμενο αγγείο (Peters, 2004).

Μία άλλη εφαρμογή σε αυτή την ηλικιακή ομάδα είναι η θεραπεία της κυστεοουρητηρικής παλινδρόμησης. Δύο είναι οι συνήθεις τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε ρομποτικές επεμβάσεις. Η πρώτη περιλαμβάνει μία εξωκυστική επανόρθωση με χρήση της τεχνικής Lich-Gregoir για τη δημιουργία μίας σήραγγας εξωστήρα για τον ουρητήρα. Μέσω τριών θυρών (ports) πραγματοποιείται μία τομή στον εξωστήρα μυ, η οποία ακολουθείται από επαναπροσέγγιση του ένθετου ουρητήρα. Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιήθηκε από τον Peters σε 19 περιπτώσεις με ικανοποιητικά αποτελέσματα και προοδευτικά μικρότερους εγχειρητικούς χρόνους.

Ο Olsen και οι συνεργάτες του περιέγραψαν ένα πειραματικό μοντέλο ενδοκυστικής επανόρθωσης αμφοτερόπλευρης παλινδρόμησης με χρήση της τεχνικής Cohen για επανεμφύτευση. Οι ρομποτικές θύρες τοποθετούνται στην ουροδόχο κύστη διαμέσου της κοιλίας ύστερα από διάταση με αλατούχο διάλυμα. Η ουροδόχος κύστη κρατείται σε διάταση με εμφύσηση αερίου ενώ η επέμβαση ολοκληρώνεται. Ο Peters αναφέρει τη χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής σε κάποιους από τους ασθενείς του χωρίς να περιγράφει τα κλινικά αποτελέσματα και τις λεπτομέρειες των επεμβάσεων (Peters, 2004).^[11]

Μία αναφορά ανασκόπησης που πραγματοποιήθηκε στο τμήμα Παιδιατρικής Χειρουργικής του Νοσοκομείου Chelsea and Westminster στο Λονδίνο, βασίστηκε σε όλες τις μελέτες και τα δεδομένα που είχαν δημοσιευτεί μέχρι τον Οκτώβριο του 2007 για ρομποτικές επεμβάσεις σε παιδιά. Συνολικά συγκεντρώθηκαν 31 μελέτες που αφορούσαν 566 ασθενείς, από τους οποίους 513 εγχειρίστηκαν με ρομποτική μέθοδο και οι υπόλοιποι 53 είτε με την ανοικτή είτε με τη συμβατική λαπαροσκοπική τεχνική. Το πιο κοινό ρομποτικό σύστημα ήταν το da Vinci (23 μελέτες), ενώ ακολουθούσε το Zeus (4 μελέτες). Η μέση ηλικία των παιδιών ήταν τα 8.3 χρόνια. Οι πιο συνηθισμένες ρομποτικές επεμβάσεις ήταν η πυελοπλαστική (141 περιπτώσεις), η θολοπλαστική (122 περιπτώσεις) και η απολίνωση ανοικτού αρτηριακού πόρου (50 περιπτώσεις).

Η αναφορά καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι ρομποτικές επεμβάσεις πυελοπλαστικής και θολοπλαστικής έχουν καθιερωθεί στην παιδιατρική χειρουργική πρακτική. Τα αρχικά αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά, με μειωμένους χρόνους επεμβάσεων για χειρουργούς με μεγαλύτερη εμπειρία. Σχεδόν όλες οι ρομποτικές παιδιατρικές επεμβάσεις ολοκληρώθηκαν επιτυχώς, με ένα μικρό ποσοστό επιπλοκών και μετατροπών σε άλλη μέθοδο. Η ρομποτική χειρουργική αυξάνει τη δεξιάτητα, παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτέλεση τομών και συρραφών και εξασφαλίζει το βέλτιστο συντονισμό ματιού-χειριού του χειρουργού. Ωστόσο, το αρχικό κόστος του ρομποτικού συστήματος da Vinci παραμένει ένα σημαντικό ζήτημα.^[13]

4.4 Εφαρμογές στη γυναικολογία

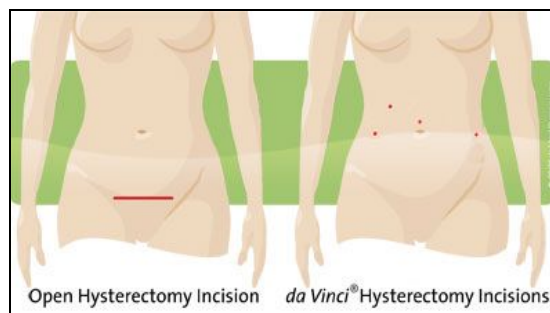
Στο πεδίο της γυναικολογίας το ρομποτικό σύστημα da Vinci χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα χειρουργικών επεμβάσεων, που περιλαμβάνει επεμβάσεις για καρκίνο του ενδομητρίου, μύωματα της μήτρας, αδενομύωση, υπερπλασία του ενδομητρίου και αυχενική ενδοεπιθηλιακή νεοπλασία. Το συγκεκριμένο σύστημα έλαβε την επίσημη έγκριση της Διεύθυνσης Τροφίμων και Φαρμάκων των Η.Π.Α. για γυναικολογικές επεμβάσεις το 2005.

4.4.1 Υστερεκτομή

Η υστερεκτομή, η μερική ή ολική εξαίρεση δηλαδή της μήτρας από την κοιλιακή ή την κολπική οδό, είναι η πιο κοινή χειρουργική επέμβαση στις Η.Π.Α. που δεν σχετίζεται με εγκυμοσύνη. Περίπου 600.000 υστερεκτομές εκτελούνται κάθε χρόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες και αφορούν κυρίως σε περιστατικά καλοήθειας. Η λαπαροσκοπική υστερεκτομή αναφέρθηκε για πρώτη φορά περισσότερα από 15 χρόνια πριν, και έκτοτε έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές χειρουργικές επεμβάσεις που περιλαμβάνουν κολπική υστερεκτομή, υπεραυχενική υστερεκτομή και ολική υστερεκτομή με λαπαροσκοπική μέθοδο. Εντούτοις, η ιστορία της ρομποτικής υστερεκτομής είναι σύντομη, καθώς η τεχνική αυτή ακόμη αναπτύσσεται. Οι πρώτες σειρές ρομποτικών επεμβάσεων αυτού του είδους εκτελέστηκαν μεταξύ Ιανουαρίου και Σεπτεμβρίου του 2001 με το σύστημα da Vinci και περιελάμβαναν 11 περιπτώσεις επιτυχών ρομποτικών υστερεκτομών. Η ηλικία των ασθενών κυμαινόταν από 27 έως 77 χρόνια και οι ενδείξεις για υστερεκτομή περιελάμβαναν αυχενική ενδοεπιθηλιακή νεοπλασία τύπου III, ενδομήτριο καρκίνο, μύωμα της μήτρας, μετεμμηνοπαυσιακή αιμορραγία και σε μία περίπτωση καρκίνο των ωοθηκών. Οι ασθενείς επέστρεψαν στο σπίτι τους σε ικανοποιητική κατάσταση μετά από 2 ημέρες κατά μέσον όρο (Diaz-Arrastia et al., 2002).

Ο Fiorentino και οι συνεργάτες του επιβεβαίωσαν με τη σειρά τους με μία πιλοτική μελέτη την εφικτότητα των ρομποτικών υστερεκτομών. Στη συγκεκριμένη μελέτη περιελήφθησαν είκοσι γυναίκες με καταστάσεις καλοήθειας. Η χειρουργική επέμβαση μετατράπηκε σε λαπαροτομική σε δύο ασθενείς (ποσοστό μετατροπών 10%) εξαιτίας περιορισμένης απεικόνισης του χειρουργικού πεδίου. Η μέση χρονική διάρκεια των επεμβάσεων ήταν 3.2 ώρες ενώ ο χρόνος αναισθησίας 4 ώρες. Η μέση απώλεια αίματος ήταν 81 ml και ο μέσος χρόνος νοσηλείας 2 ημέρες (Fiorentino et al., 2006).

Μία άλλη αναφορά από τον Reynolds (Reynolds et al., 2006) για 16 ακόμη περιπτώσεις ρομποτικών επεμβάσεων αυτού του είδους καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η χρήση του συστήματος da Vinci είναι εφικτή και ασφαλής μέθοδος για την εκτέλεση ρομποτικών υστερεκτομών. Καμμία από τις επεμβάσεις αυτές δεν μετατράπηκε σε λαπαροτομική. Το μέσο βάρος μήτρας ήταν 131.5 gr και η μέση διάρκεια των επεμβάσεων 242 min. Η μέση απώλεια αίματος ήταν 96 ml και ο μέσος χρόνος νοσηλείας 1.5 ημέρες.^{[14],[15]}



Εικ. 4.5: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση υστερεκτομής με το da Vinci (δεξιά) σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου (αριστερά)

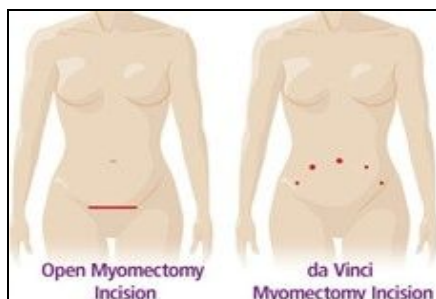
4.4.2 Μυωμεκτομή

Η μυωμεκτομή παραμένει η χειρουργική επιλογή για γυναίκες με συμπτωματικά λειομώματα, οι οποίες επιθυμούν διατήρηση της μήτρας ή, ειδικότερα, διασφάλιση της μελλοντικής γονιμότητας. Η εκτομή των λειομωμάτων και η επανόρθωση της μήτρας με πολυεπίπεδες συρραφές είναι μία κρίσιμη και τεχνικά απαιτητική διαδικασία. Η χρήση της ρομποτικής τεχνολογίας ως λύση για τη διευκόλυνση της ολοκλήρωσης μίας μυωμεκτομής λαπαροσκοπικά υιοθετήθηκε σχετικά πρόσφατα. Δημοσιευμένα προκαταρκτικά δεδομένα έχουν αποδείξει την εφικτότητα και την ασφάλεια της προσέγγισης αυτής με το ρομποτικό σύστημα da Vinci.

Το 2004 αναφέρθηκαν 35 περιπτώσεις ρομποτικών μυωμεκτομών, από τις οποίες οι 3 μετατράπηκαν τελικά σε λαπαροτομία (ποσοστό μετατροπών 8.6%). Συνολικά αφαιρέθηκαν 48 μύωματα σε 31 ασθενείς με πλήρεις ρομποτικές λαπαροσκοπικές επεμβάσεις. Η μέση διάμετρος των μυωμάτων που αφαιρέθηκαν ήταν 7.9 ± 3.5 cm, ενώ η μέση χρονική διάρκεια των επεμβάσεων 230.8 ± 83 min. Το ποσοστό των επιπλοκών ήταν επίσης σχετικά χαμηλό, ενώ ο μέσος χρόνος νοσηλείας μία μόλις ημέρα (Advincula et al., 2004).

Μεταξύ Ιουλίου 2005 και Απριλίου 2008, 110 ασθενείς με ενδείξεις καλοήθειας υποβλήθηκαν σε ρομποτικές γυναικολογικές επεμβάσεις με το σύστημα da Vinci στο Γενικό Νοσοκομείο του Rochester στις Η.Π.Α. Οι επεμβάσεις περιελάμβαναν 74 υστερεκτομές (και υστερεκτομές με αμφοτερόπλευρη σαλπινγοοθηκεκτομή), 15 υστερεκτομές με ιεροκολποπηξία και άλλες συνακόλουθες διαδικασίες, 18 μυωμεκτομές και 3 ωοθηκεκτομές. Όλες οι διαδικασίες εκτελέστηκαν ρομποτικά, χωρίς να υπάρξει ανάγκη μετατροπής σε ανοικτή επέμβαση. Η μέση ηλικία των ασθενών ήταν τα 44 χρόνια και ο μέσος δείκτης μάζας σώματος αυτών 31 Kg/m^2 . Η μέση χρονική διάρκεια των επεμβάσεων ήταν 2.15 ώρες και η μέση εκτιμώμενη απώλεια αίματος 160 ml. Το μέσος βάρος των μητρών που υπέστησαν εκτομή ήταν 143 gr και των μυωμάτων 317 gr. Οι επιπλοκές περιελάμβαναν μία κυστοτομία σε μία ασθενή με τρεις προηγούμενες καισαρικές τομές, η οποία διαγνώστηκε αμέσως και αποκαταστάθηκε, μία διάνοιξη κολπικού θόλου και δύο ανεξάρτητες από τη χρήση του ρομποτικού συστήματος μετεγχειρητικές μολύνσεις. Ο μέσος χρόνος νοσηλείας ήταν μία ημέρα, ενώ περισσότερες από τις μισές ασθενείς έλαβαν εξιτήριο μέσα στο πρώτο 24ωρο μετά την επέμβαση.

Η αναφορά καταλήγει στο συμπέρασμα ότι με τη ρομποτική μέθοδο επιτυγχάνονται καλύτερες και πιο εύκολες ενδοσωματικές συρραφές απ'ότι με την αντίστοιχη ανοικτή ή συμβατική λαπαροσκοπική τεχνική. Η αναδόμηση (σύγκλιση) του τμήματος του κολπικού θόλου που παραμένει ανοικτό προς το περιτόναιο στο τέλος μίας υστερεκτομής μπορεί να εκτελεστεί αποτελεσματικά από την κουρασμένη χειρουργική ομάδα χάρις στα εργαλεία EndoWrist του συστήματος da Vinci. Η βελτιωμένη εμπειρία από τη χρήση του ρομποτικού συστήματος οδηγεί επίσης σε ταχύτερους εγχειρητικούς χρόνους απ'ότι η συμβατική λαπαροσκοπική μέθοδος.^{[14],[15]}



Εικ. 4.6: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση μυωμεκτομής με το da Vinci (δεξιά) σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου (αριστερά)

4.4.3 Άλλες εφαρμογές στη γυναικολογία

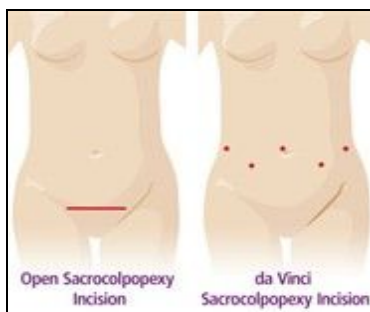
Παρόλο που το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας για τις εφαρμογές της ρομποτικής στο πεδίο της γυναικολογίας αφορά στις υστερεκτομές, υπάρχουν επίσης αναφορές για χρήση του ρομποτικού συστήματος da Vinci σε επαναστομώσεις σαλπίνγων (δηλ. επεμβάσεις αποκατάστασης της συνέχειάς τους) και επεμβάσεις ιεροκολποπηξίας.

Τόσο ο Degueldre το 2000, όσο και ο Dharja το 2004, πραγματοποίησαν με τους συνεργάτες τους μελέτες εφικτότητας στην περιοχή της επαναστόμωσης σαλπίνγων. Στην πρώτη σειρά επεμβάσεων, 8 συνολικά ασθενείς υπέστησαν επαναστόμωση σαλπίνγων με το da Vinci. Μετά από τέσσερις μήνες, 5 από τους 8 ασθενείς επέδειξαν τουλάχιστον μονόπλευρη αποκατάσταση του προβλήματος, ενώ σε 2 επιτεύχθηκε κατάσταση εγκυμοσύνης. Στη δεύτερη περίπτωση, 18 ρομποτικές επεμβάσεις επαναστόμωσης σαλπίνγων με το ίδιο σύστημα συγκρίθηκαν με 10 περιπτώσεις που υποβλήθηκαν στην αντίστοιχη ανοικτή επέμβαση. Τα αποτελέσματα από τις δύο σειρές επεμβάσεων ήταν συγκρίσιμα, όχι μόνο ως προς τα ποσοστά επιτυχίας αλλά και ως προς τα κόστη που πρόεκυψαν από την προκαταρκτική ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας.

Περισσότερα από 120.000 περιστατικά πρόπτωσης της μήτρας και του κολπικού θόλου αντιμετωπίζονται χειρουργικά κάθε χρόνο στις Η.Π.Α. Η πρόπτωση ενός οργάνου του πυελικού εδάφους (μήτρας, κόλπου, ουροδόχου κύστης ή ορθού) συμβαίνει όταν οι συνδετικοί ιστοί ή μύες αδυνατούν να κρατήσουν την πύελο στο φυσικό της προσανατολισμό. Η εξασθένηση των συνδετικών ιστών επιταχύνεται με την ηλικία, ύστερα από μία γέννα, με την αύξηση του σωματικού βάρους και την εντατική φυσική κόπωση. Γυναίκες με πρόπτωση πυελικού οργάνου τυπικά έχουν προβλήματα ακράτειας ούρων, κοπλικής έλκωσης, σεξουαλικής δυσλειτουργίας και/ή μετακίνησης εντέρου.

Η ιεροκολποπηξία (sacrocolpopexy) είναι μία χειρουργική διαδικασία για τη διόρθωση της πρόπτωσης του κολπικού θόλου, κατά την οποία τοποθετείται ένα συνθετικό πλέγμα για τη συγκράτηση αυτού στη σωστή ανατομική θέση. Η διαδικασία αυτή μπορεί επίσης να εκτελεστεί μετά από μία υστερεκτομή για να παρέχει μακροπρόθεσμη υποστήριξη του κολπικού θόλου. Ο DiMacro και οι συνεργάτες του περιέγραψαν το 2004 τη χρήση και τα οφέλη της ρομποτικής λαπαροσκοπικής ιεροκολποπηξίας στη θεραπεία 5 ασθενών με πρόπτωση του κολπικού θόλου μετά από επέμβαση υστερεκτομής στην οποία είχαν υποβληθεί. Χρησιμοποίησαν το σύστημα da Vinci για να συρράψουν με ακρίβεια το πλέγμα στο ανώτερο τμήμα του ιερού οστού. Η ανάλυσή τους καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η ρομποτική τεχνική δύναται να εξασφαλίσει την ίδια μακροπρόθεσμη διάρκεια της αντίστοιχης ανοικτής μεθόδου, αλλά με τα οφέλη της ελάχιστα επεμβατικής προσέγγισης.

Έχει επίσης υπάρξει αναφορά για τα οφέλη από τη χρήση του da Vinci σε μία χειρουργική επέμβαση μετατόπισης των ωοθηκών, με σκοπό τη διατήρηση της λειτουργίας τους, πριν από μία διαδικασία ραδιοθεραπείας για την αντιμετώπιση περιστατικού κακοήθειας (Molpus et al., 2003).^[16]

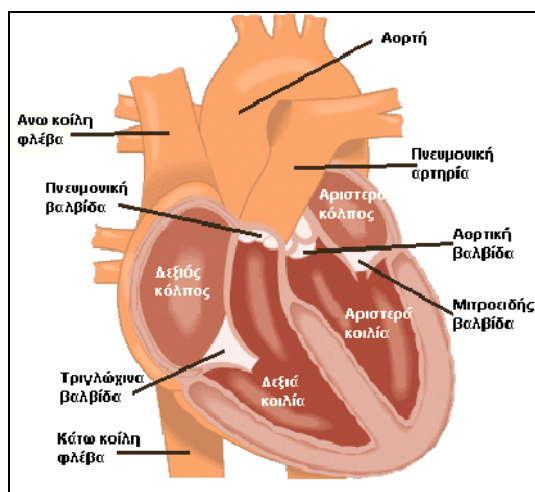


Εικ. 4.7: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση ιεροκολποπηξίας με το da Vinci (δεξιά) σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου (αριστερά)

4.5 Εφαρμογές στην καρδιοχειρουργική

Την τελευταία δεκαετία περίπου το πεδίο της καρδιοχειρουργικής έχει επηρεαστεί από ένα σημαντικό αριθμό τεχνολογικών εξελίξεων. Η πιο αξιοσημείωτη από αυτές ήταν η ανάπτυξη των ελάχιστα επεμβατικών τεχνικών, που περιλαμβάνουν την τεχνική MIDCAB, τη στεφανιαία παράκαμψη χωρίς αντλία (OPCAB) και τη χειρουργική βαλβίδων ελάχιστης πρόσβασης. Κατά τη διάρκεια των πρώτων χρόνων εφαρμογής της ελάχιστα επεμβατικής καρδιοχειρουργικής η απουσία των κατάλληλων τεχνολογιών πρόσβασης, όπως τα συστήματα απεικόνισης, οι σταθεροποιητές και οι εναλλακτικές μέθοδοι αγγειακής παροχέτευσης και καρδιοπνευμονικής παράκαμψης, αποτελούσε ανασταλτικό παράγοντα για την εκτέλεση επεμβάσεων μέσω μικρών τομών. Με την εξέλιξη αυτών των τεχνολογιών, οι χειρουργοί απέκτησαν την ικανότητα να εκτελούν πολύπλοκες καρδιακές επεμβάσεις, όπως είναι η παράκαμψη της στεφανιαίας αρτηρίας (bypass), η αποκατάσταση ή αντικατάσταση της μιτροειδούς βαλβίδας και η διόρθωση του κολπικού διαφραγματικού ελλείματος.

Σε πολλές περιπτώσεις, εντούτοις, η έκταση κατά την οποία έχει μειωθεί το μέγεθος των τομών στο σώμα του ασθενούς από αυτές τις ελάχιστα επεμβατικές τεχνικές έχει οδηγήσει σε μία ανάλογη αύξηση στις τεχνικές δυσκολίες και τους εγχειρητικούς χρόνους, εξαιτίας των περιορισμών που θέτει η μικρότερη έκθεση της καρδιάς στο χειρουργό. Πρόσφατα, η ρομποτική τεχνολογία έχει εξελιχθεί ως ένας δυναμικός παράγοντας για τη διευκόλυνση διαδικασιών ελάχιστης εισβολής. Η συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τη βελτιστοποίηση της απεικόνισης των ενδοκαρδιακών δομών με τη βοήθεια μίας ελεγχόμενης από φωνητικές εντολές ενδοσκοπικής κάμερας (AESOP). Τα τελευταία χρόνια, τα πιο σύγχρονα ρομποτικά συστήματα (Zeus, da Vinci) έχουν επιτρέψει το χειρισμό των χειρουργικών εργαλείων μέσω περιορισμένων σε μέγεθος θωρακικών τομών.



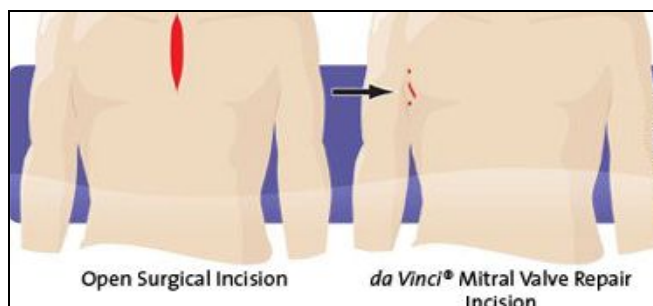
Εικ. 4.8: Σχηματική αναπαράσταση του εσωτερικού της καρδιάς

4.5.1 Αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας

Η μιτροειδής είναι μία “δίφυλλη” βαλβίδα της καρδιάς μεταξύ αριστερού κόλπου και αριστερής κοιλίας. Κατά τη συστολή της καρδιάς η μιτροειδής βαλβίδα κλείνει, ενώ στη διαστολή ανοίγει. Εάν από κάποια αιτία το στόμιο της βαλβίδας δεν κλείνει στεγανά, τότε αίμα παλινδρομεί από την αριστερή κοιλία πίσω στον αριστερό κόλπο και η κατάσταση αυτή ονομάζεται ανεπάρκεια μιτροειδούς. Όταν η τελευταία είναι σοβαρή ακολουθείται χειρουργική προσέγγιση κατά την οποία γίνεται αποκατάσταση ή αντικατάσταση της βαλβίδας.

Οι επεμβάσεις μιτροειδούς αποτελούσαν ανέκαθεν μία από τις πιο σημαντικές κατηγορίες των σύγχρονων εγχειρήσεων καρδιάς. Μέχρι πριν από λίγα χρόνια, ο μόνος τρόπος για την αποκατάσταση (ή

αντικατάσταση) μίας καρδιακής βαλβίδας ήταν μέσω θωρακοτομής με παράλληλη μηχανική οξυγόνωση του ασθενούς. Βελτιώσεις τόσο στην οπτική απεικόνιση όσο και στα χειρουργικά εργαλεία έχουν επιτρέψει την ταχεία μετάβαση προς τις υποβοηθούμενες από εικόνα επεμβάσεις μιτροειδούς. Εντούτοις, οι επεμβάσεις αποκατάστασης των βαλβίδων είναι πολύ δύσκολες και συνήθως οδηγούν σε χειρουργικές ανακρίβειες και μη αποδεκτούς εγχειρητικούς χρόνους. Η ανάπτυξη σύγχρονων ρομποτικών συστημάτων, όπως είναι το da Vinci, έδωσε για πρώτη φορά τη δυνατότητα εκτέλεσης καρδιακών επεμβάσεων με κλειστό θώρακα και μεγάλη ακρίβεια, καθιστώντας πλέον τις διαδικασίες αποκατάστασης μιτροειδούς εγχειρήσεις ρουτίνας.



Εικ. 4.9: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση αποκατάστασης μιτροειδούς βαλβίδας με το da Vinci (δεξιά) σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου (αριστερά)

Μεταξύ Μαΐου 2000 και Δεκεμβρίου 2001 πραγματοποιήθηκαν σε 38 ασθενείς επεμβάσεις αποκατάστασης της μιτροειδούς βαλβίδας με το σύστημα da Vinci ως μέρος κλινικών δοκιμών της FDA. Οι τεχνικές των επεμβάσεων περιελάμβαναν περιφερειακή καρδιοπνευμονική έγχυση, μία μικρή θωρακοτομή 4 έως 5 cm, διαθωρακική αορτική απόφραξη και ορθόδρομη καρδιοπληγία. Η ενισχυμένη τρισδιάστατη απεικόνιση των “φύλλων” της μιτροειδούς βαλβίδας επέτρεψε τον ακριβή και ασφαλή χειρισμό των ενδοκαρδιακών ιστών. Όλες οι επεμβάσεις κρίθηκαν επιτυχημένες, με μηδενικό ποσοστό θνησιμότητας. Μόνο σε μία περίπτωση ζητήθηκε η αντικατάσταση της βαλβίδας λόγω αιμόλυσης, ενώ ένας άλλος ασθενής επανεξετάστηκε για αιμορραγία. Τόσο η διάρκεια των αποκαταστασέων των βαλβίδων όσο και η συνολική χρονική διάρκεια των επεμβάσεων μειώθηκαν σημαντικά από 1.9 ± 0.1 και 5.1 ± 0.1 h για τους πρώτους 19 ασθενείς σε 1.5 ± 0.1 και 4.4 ± 0.1 h για τους υπόλοιπους 19 ασθενείς αντίστοιχα. Ο μέσος χρόνος νοσηλείας των ασθενών ήταν 3.8 ± 0.6 ημέρες (το 82% των ασθενών είχε χρόνο νοσηλείας μέχρι 4 ημέρες ενώ το 18% από 5 έως 9 ημέρες).^[17]

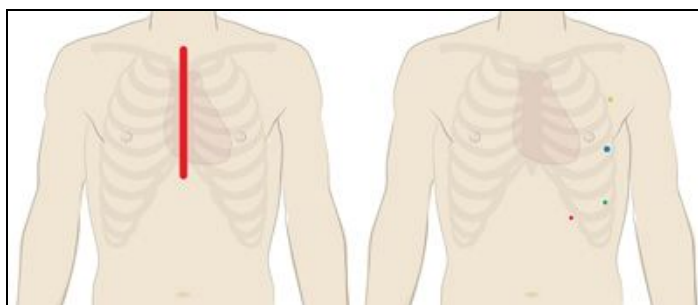


Εικ. 4.10: Αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας με το da Vinci

4.5.2 Καρδιακή επαναγγείωση

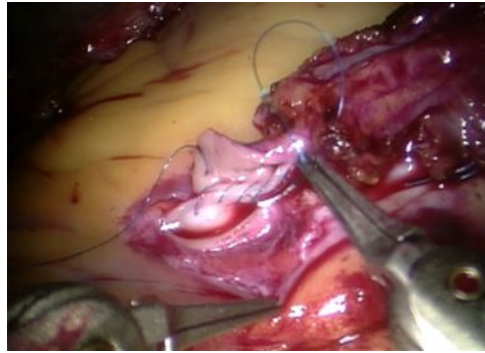
Ο χειρισμός της αορτής, η καρδιοπνευμονική παράκαμψη, η αφαίρεση μοσχεύματος και η στερνοτομή αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες στην επεμβατική, συμβατική χειρουργική στεφανιαίας παράκαμψης (bypass). Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, μία νέα τεχνολογία επέτρεψε την εφαρμογή μίας ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής μεθόδου για τις φραγμένες στεφανιαίες αρτηρίες, η καρδιακή επαναγγείωση με το ρομποτικό σύστημα da Vinci. Η συγκεκριμένη ρομποτική τεχνική χρησιμοποιείται τόσο για μικρές θωρακοτομές ενός αγγείου (Single-Vessel Small Thoracotomies – SVST) όσο και για μικρές θωρακοτομές πολλαπλών αγγείων (Multi-Vessel Small Thoracotomies – MVST).

Και στις δύο τεχνικές το σύστημα da Vinci εξασφαλίζει την απαραίτητη ακρίβεια που απαιτείται από την αρχή μέχρι το τέλος της επέμβασης, δηλαδή από την εύκολη λήψη της εσωτερικής μαστικής αρτηρίας (IMA) μέχρι τη διχάλωση και την αναστόμωση της αριστερής εσωτερικής μαστικής αρτηρίας (LIMA) στην αριστερή πρόσθια κατιούσα αρτηρία (LAD). Όλες οι διαδικασίες εκτελούνται μέσα από μία μικρή τομή στην αριστερή πλευρά του στήθους. Με τη χρήση ενός σταθεροποιητή των ιστών της καρδιάς η επέμβαση πραγματοποιείται ενώ αυτή πάλλεται, χωρίς τη χρήση αντλίας και οξυγονωτή. Η ανάπτυξη των δύο αυτών τεχνικών είχε ως σκοπό την επίτευξη μίας λιγότερο επεμβατικής εναλλακτικής μεθόδου σε σχέση με τη συμβατική στεφανιαία παράκαμψη, χωρίς όμως την υιοθέτηση των ελλείψεων της τεχνικής MIDCAB (Minimally Invasive Direct Coronary Artery Bypass). Η αναστόμωση LIMA-LAD χαρακτηρίζεται από ένα ποσοστό βατότητας 95% για μία χρονική περίοδο δέκα ετών και αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα εκτίμησης της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας ασθενών με παθήσεις της στεφανιαίας αρτηρίας.^[18]



Εικ. 4.11: Τοποθέτηση των μικροτομών σε μία επέμβαση καρδιακής επαναγγείωσης με το da Vinci (δεξιά) σε σχέση με την κλασική τομή της ανοικτής χειρουργικής μεθόδου (αριστερά)

Μία μελέτη της FDA που επιβεβαιώνει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα του ρομποτικού συστήματος da Vinci σε επεμβάσεις στεφανιαίας παράκαμψης περιελάμβανε την επιλογή 98 ασθενών για επαναγγείωση LAD ενός αγγείου και την εισαγωγή τους σε 12 εγκεκριμένα από την FDA ιατρικά κέντρα των Η.Π.Α. από τον Ιανουάριο του 2002 μέχρι τον Ιούλιο του 2004. Δεκατρείς από τους ασθενείς (ποσοστό 13%) αποκλείστηκαν από τη μελέτη κατά τη διάρκεια της επέμβασης, λόγω π.χ. αποτυχημένης παροχέτευσης της μηριαίας αρτηρίας ή περιορισμένου χώρου εργασίας. Στους υπόλοιπους 85 ασθενείς, που υποβλήθηκαν τελικά σε επέμβαση στεφανιαίας παράκαμψης με το da Vinci, η μέση ολική διάρκεια της επέμβασης ήταν 353 ± 89 min ενώ ο μέσος χρόνος νοσηλείας 5.1 ± 3.4 ημέρες. Υπήρξαν συνολικά 5 μετατροπές σε αντίστοιχες ανοικτές τεχνικές (ποσοστό 6%). Τα ποσοστά θνησιμότητας και εγκεφαλικών επεισοδίων ήταν μηδενικά, ενώ χαμηλό ήταν και το ποσοστό νοσηρότητας. Σε μία περίπτωση υπήρξε ανάγκη για επανεπέμβαση ενώ σε μία άλλη ο ασθενής εμφάνισε έμφραγμα του μυοκαρδίου. Η τρίμηνη αγγειογραφία σε 76 ασθενείς αποκάλυψε σημαντική στένωση ή απόφραξη της αναστόμωσης σε 6 από αυτούς.^[19]

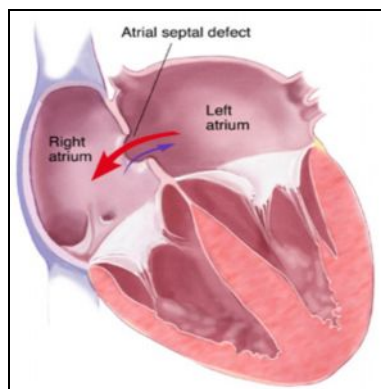


Εικ. 4.12: Καρδιακή επαναγγείωση με το da Vinci

4.5.3 Διόρθωση κολπικού διαφραγματικού ελλείμματος

Το κολπικό διαφραγματικό έλλειμμα (Atrial Septal Defect – ASD) αποτελεί μία μορφή συγγενούς καρδιακής ανωμαλίας που επιτρέπει τη ροή αίματος ανάμεσα στον αριστερό και δεξιό κόλπο της καρδιάς μέσω του συγκεκριμένου διαφράγματος. Το κολπικό διάφραγμα είναι ένας ιστός που διαχωρίζει τους δύο κόλπους της καρδιάς (ανώτερα τμήματα αυτής). Η ελλειμματική λειτουργία του έχει ως αποτέλεσμα την ανάμιξη του υψηλά οξυγονωμένου αρτηριακού αίματος στον αριστερό κόλπο με το φλεβικό αίμα του δεξιού κόλπου που έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Η συγκεκριμένη ανωμαλία μπορεί να οδηγήσει σταδιακά σε καρδιακή ανεπάρκεια και πρόωρο θάνατο.

Η διόρθωση του κολπικού διαφραγματικού ελλείμματος με τη συμβατική στερνοτομή εφαρμόζεται επιτυχώς, αλλά συνδέεται παράλληλα με προβλήματα που έχουν σχέση με το τραύμα στο στέρνο καθώς και με φτωχά αισθητικά αποτελέσματα. Για τον περιορισμό του χειρουργικού τραύματος και τη βελτίωση των αισθητικών αποτελεσμάτων έχουν αναπτυχθεί διάφορες ελάχιστα επεμβατικές χειρουργικές προσεγγίσεις που έχουν ήδη εφαρμοστεί με καλά κλινικά αποτελέσματα. Η χειρουργική διόρθωση μέσω μικροθωρακοτομής έχει κερδίσει σημαντική αποδοχή μέσα στην καρδιοχειρουργική κοινότητα. Η εφαρμογή πλήρως ενδοσκοπικών διαδικασιών που κάνουν χρήση της ρομποτικής τεχνολογίας έχει αποδειχτεί μία ασφαλής και αποτελεσματική μέθοδος, με μηδενική θνησιμότητα και πολύ χαμηλά ποσοστά νοσηρότητας. Σύμφωνα με αναφορές, η ρομποτική τεχνική εξασφαλίζει για τον ασθενή ταχεία ανάκτηση της ποιότητας ζωής με ελάχιστα επίπεδα μετεγχειρητικού πόνου, σε σύγκριση με την κλασική στερνοτομή ή τη συμβατική λαπαροσκοπική μέθοδο.^{[20],[21]}

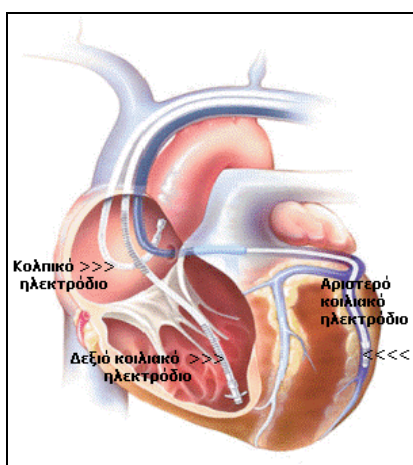


Εικ. 4.13: Γραφική αναπαράσταση ελλείμματος του κολπικού διαφράγματος

4.5.4 Καρδιακός επανασυγχρονισμός

Μία ακόμη σημαντική εφαρμογή της καρδιοχειρουργικής είναι η αποκατάσταση του ρυθμού των κοιλιών, των δύο κατώτερων δηλαδή τμημάτων της καρδιάς. Ο καρδιακός επανασυγχρονισμός ή αμφικοιλιακή βηματοδότηση (biventricular pacing), όπως ονομάζεται η συγκεκριμένη θεραπευτική μέθοδος, έχει ως σκοπό την ταυτόχρονη συστολή της δεξιάς και αριστερής κοιλίας με την εφαρμογή μικρών ηλεκτρικών ωθήσεων στον καρδιακό μυ. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η καρδιά να μπορεί να συστέλλεται πιο αποτελεσματικά και να εξωθεί μεγαλύτερη ποσότητα αίματος.

Ο αμφικοιλιακός βηματοδότης είναι μία εξειδικευμένη βηματοδοτική συσκευή. Παραδοσιακά, οι βηματοδότες εμφυτεύονται σε ασθενείς με βραδυαρρυθμίες. Οι βηματοδότες μπορούν να έχουν ένα εμφυτευμένο ηλεκτρόδιο, είτε στον κόλπο είτε στην κοιλία, ή και δύο ηλεκτρόδια, ένα στον κόλπο και ένα στην κοιλία. Στην αμφικοιλιακή βηματοδότηση χρησιμοποιείται και ένα τρίτο ηλεκτρόδιο για να βοηθάει την καρδιά να συστέλλεται με συγχρονισμένο τρόπο, επανασυγχρονίζοντας τη συστολή της αριστερής και δεξιάς κοιλίας. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στον δεξιό κόλπο, στη δεξιά και αριστερά κοιλία. Όταν ο αμφικοιλιακός βηματοδότης αισθανθεί την κολπική συστολή δίδει εντολή στα κοιλιακά ηλεκτρόδια να βηματοδοτήσουν ταυτόχρονα και τις δύο κοιλίες. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της καρδιακής λειτουργίας.^[22]



Εικ. 4.14: Σχηματική αναπαράσταση καρδιακού επανασυγχρονισμού

Αναρίθμητες κλινικές δοκιμές και μελέτες έχουν δείξει ότι η συγκεκριμένη θεραπεία μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα ζωής σε πολλούς ασθενείς που πάσχουν από καρδιακή ανεπάρκεια. Οι ερευνητές συμπεραίνουν ότι ο καρδιακός επανασυγχρονισμός που επιτυγχάνεται από τον ειδικό βηματοδότη βελτιώνει την καρδιακή λειτουργία, μειώνει τις εισαγωγές στο νοσοκομείο και περιορίζει τους θανάτους από προοδευτική καρδιακή ανεπάρκεια. Παρόλο που τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται συχνά με χρήση διαδερματικών τεχνικών, περίπου 15 με 20% των εμφυτεύσεων αυτού του είδους αποτυγχάνουν. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται χειρουργική επέμβαση.

Οι πρώτες αναφορές για χρήση της ρομποτικής τεχνολογίας (σύστημα da Vinci) στην εμφύτευση βηματοδότη επιβεβαίωσαν την εφικτότητα των ελάχιστα επεμβατικών εγχειρήσεων. Η μελέτη περιελάμβανε τα αποτελέσματα για 13 ασθενείς, 6 από τους οποίους (ποσοστό 46%) είχαν υποβληθεί παλαιότερα σε επέμβαση καρδιακού bypass. Οι επεμβάσεις ολοκληρώθηκαν επιτυχώς χωρίς να παρουσιαστεί καμία επιπλοκή, ούτε στους ασθενείς ούτε στον τεχνικό εξοπλισμό (DeRose et al., 2004). Μία διαφορετική αναφορά περιελάμβανε τα αποτελέσματα για 41 ασθενείς που υποβλήθηκαν σε έναν συνδυασμό ελάχιστα επεμβατικών (μέσω δηλαδή μικροθωρακοτομών) και ρομποτικών τοποθετήσεων βηματοδότη. Και αυτές οι επεμβάσεις ολοκληρώθηκαν με επιτυχία, με μηδενικό ποσοστό θνησιμότητας και χωρίς επιπλοκές ή τεχνικές βλάβες (Navia et al., 2005).^[23]

4.6 Εφαρμογές στη νευροχειρουργική

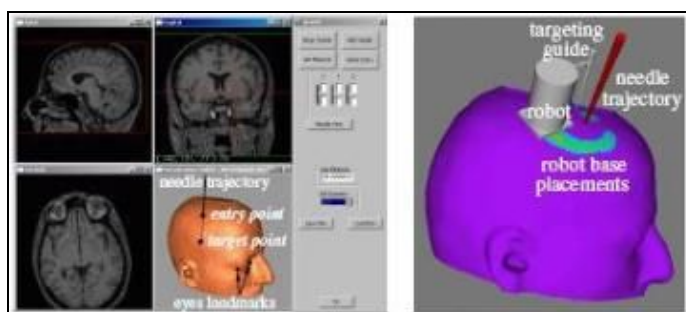
Το πεδίο της νευροχειρουργικής έχει επιδείξει μία εναρμονισμένη προσπάθεια για την υιοθέτηση και ενσωμάτωση εξελισσόμενων τεχνολογιών στο χειρουργικό πεδίο, τόσο νέων τεχνικών όσο και συσκευών, σε μία προσπάθεια για την αύξηση της ασφάλειας και της εφικτότητας των επεμβάσεων στον εγκέφαλο και τη σπονδυλική στήλη. Επιμελείς προσπάθειες πραγματοποιούνται για την ελαχιστοποίηση του τραύματος των φυσιολογικών ιστών κατά τη διάρκεια μίας χειρουργικής επέμβασης με παράλληλη βελτιστοποίηση των κλινικών αποτελεσμάτων. Ανάμεσα σε αυτές τις υιοθετήσεις δίδεται ιδιαίτερη έμφαση στη χειρουργική ρομποτική. Τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της ρομποτικής ενσωματώνονται στη χειρουργική αίθουσα με τη χρήση της μικροσκοπίας, της πλοήγησης, της οπτικής απεικόνισης και των νέων χειρουργικών εργαλείων και οργάνων. Εντούτοις, η χρήση μίας μηχανικής συσκευής για τον καλύτερο χειρισμό των εργαλείων σε απευθείας επαφή με τον ασθενή είναι σχετικά νέα στη χειρουργική του εγκεφάλου και της σπονδυλικής στήλης. Το γεγονός ότι τα χειρουργικά ρομπότ δεν έχουν τύχει ακόμη ευρείας κλινικής αποδοχής στις νευροχειρουργικές επεμβάσεις βρίσκεται υπό συζήτηση, καθώς ο όρος “ρομπότ” αποδέχεται πολλές ερμηνείες. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, θα εννοούμε κάθε μηχανική συσκευή που χρησιμοποιείται στο πεδίο της νευροχειρουργικής και παρέχει με βέλτιστο τρόπο στο χειρουργό την ικανότητα να καθοδηγεί τη συσκευή με τη βοήθεια αυτοματισμού ή ελέγχου από απόσταση.

4.6.1 Επεμβάσεις εγκεφάλου

Από τότε που ο Kwoh και οι συνεργάτες του επιχείρησαν μία ρομποτική βιοψία εγκεφάλου στα τέλη της δεκαετίας του '80, το αυξανόμενο ενδιαφέρον στο συγκεκριμένο πεδίο και τα ενδεχόμενα κλινικά οφέλη αυτού έχει ενθαρρύνει την ανάπτυξη πολλαπλών συστημάτων. Για τους νευροχειρουργούς κάτι τέτοιο αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση, καθώς οι “χειρωνακτικές” μικροχειρουργικές τεχνικές έχουν ήδη ενσωματωθεί αποτελεσματικά και με επιτυχία στην καθιερωμένη πρακτική. Η προσέγγιση της παθολογίας του κεντρικού νευρικού συστήματος με ακρίβεια χιλιοστών, η δεξιοτήτα των χεριών του χειρουργού και ο περιορισμός των άτεχνων, απότομων κινήσεων του τελευταίου αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις της νευροχειρουργικής. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι κατάλληλος για ρομποτικές εφαρμογές διότι περικλείεται από μία σταθερή, άκαμπτη δομή, το κρανίο, με αποτέλεσμα και η μικρότερη ακόμη εισαγωγή των χειρουργικών εργαλείων να μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτη βλάβη με μοιραίες για τον ασθενή συνέπειες. Η ολοκλήρωση της χειρουργικής ρομποτικής αποτελεί, για το λόγο αυτό, ένα ενδιαφέρον δίλημμα και μία μεγάλη υπόσχεση. Ακολουθώς αναφέρονται οι σημαντικότερες εφαρμογές ενός ρομποτικού συστήματος στη νευροχειρουργική.

Προεγχειρητικός σχεδιασμός

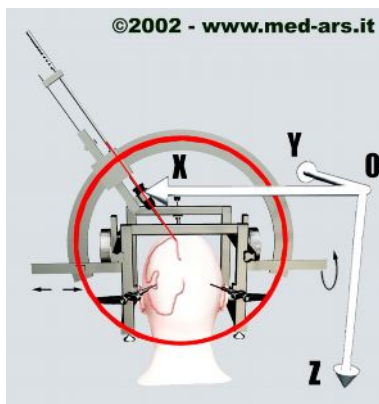
Τα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα κάνουν χρήση εξελιγμένου λογισμικού επεξεργασίας εικόνας και σχεδιασμού, το οποίο μπορεί να διαχωρίζει εικόνες από τομογραφίες CT και MRI σε τμήματα, να τις συγχωνεύει και να τις παρουσιάζει στην έξοδο με διάφορους τρόπους. Ο χειρουργός είναι σε θέση να αποκτήσει επίγνωση της παθολογίας του ασθενούς και να κατανοήσει την ανατομική σχέση ανάμεσα στην οργανική βλάβη, τον περιβάλλοντα εγκέφαλο και τα εξωτερικά διακριτικά σημεία (landmarks), έτσι ώστε να σχεδιάσει την πιο σύντομη και ασφαλή πορεία (τροχιά) του ρομποτικού συστήματος για την αποφυγή κρίσιμων δομών. Επιπλέον, το λογισμικό σχεδιασμού επιτρέπει στο χειρουργό να δοκιμάσει τις χειρουργικές τροχιές και να τις τροποποιήσει, εάν αυτό κριθεί απαραίτητο, πριν από την εκτέλεση της επέμβασης. Το συγκεκριμένο λογισμικό αποτελεί παράλληλα και ένα άριστο εργαλείο εκπαίδευσης.



Εικ. 4.15: Προεγχειρητικός σχεδιασμός νευροχειρουργικής επέμβασης

Υποβοήθηση στερεοτακτικών επεμβάσεων

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση ενός ρομποτικού συστήματος στην εκτέλεση στερεοτακτικών επεμβάσεων είναι η αυτοματοποίηση των συντεταγμένων του όγκου-στόχου, ο άμεσος μετασχηματισμός τους στην άκρη του ρομποτικού εργαλείου χωρίς τους κουραστικούς υπολογισμούς των συντεταγμένων X, Y, και Z, ο μετασχηματισμός και η προσαρμογή των συντεταγμένων αυτών στο τόξο σκόπευσης του στερεοτακτικού πλαισίου και η ευκαμψία στην εκτέλεση πολλαπλών σκοπεύσεων, τροχιών και σχεδίων χωρίς να απαιτείται ξανά η χρονοβόρα διαδικασία της προσαρμογής του δακτυλίου αναφοράς του πλαισίου γύρω από το κεφάλι του ασθενούς και ο υπολογισμός των συντεταγμένων από την αρχή. Τα ρομποτικά συστήματα είναι γρηγορότερα, αξιόπιστα και πιο ακριβή.



Εικ. 4.16: Στερεοτακτικό πλαίσιο αναφοράς

Ενδοκρανιακοί όγκοι

Οι ενδοκρανιακοί όγκοι αποτελούν κατάλληλες εφαρμογές της ρομποτικής στο πεδίο της νευροχειρουργικής γιατί απαιτούν συνήθως στερεοτακτική βιοψία, η οποία μπορεί να εκτελεστεί εύκολα από ένα ρομποτικό σύστημα. Το πλεονέκτημα από τη χρήση ενός ρομπότ στην περιοχή αυτή είναι η ικανότητά του να πραγματοποιεί με ακρίβεια πολλαπλές βιοψίες για την απόκτηση της ακριβούς παθολογικής ταξινόμησης του όγκου, από το να αποσπά απλά ένα μοναδικό κομμάτι του νεκρωτικού κέντρου. Ένα ρομποτικό σύστημα θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη σχεδίαση και την εφαρμογή διάμεσης ραδιοθεραπείας ή φωτοδυναμικής θεραπείας.



Εικ. 4.17: Ρομποτικό σύστημα εκτέλεσης βιοψιών

Ενδοκρανιακά αποστήματα

Η διαχείριση ενός ενδοκρανιακού αποστήματος περιλαμβάνει την απαγωγή του από την εγκεφαλική περιοχή με τη βοήθεια μίας βελόνας αναρρόφησης ή, πιο κατάλληλα ακόμη, με χρήση στερεοτακτικής αναρρόφησης. Η τάση στην κοινή πρακτική είναι η χρήση με ελεύθερο χέρι της βελόνας αναρρόφησης, καθώς η εφαρμογή του στερεοτακτικού πλαισίου αποδεικνύεται πολλές φορές φορτική για τον ασθενή. Εντούτοις, η χρήση ενός ευέλικτου ρομποτικού συστήματος θα αποτελούσε ιδανική μέθοδο για την απαγωγή των μικροοργανισμών και του πύου ενός τέτοιου αποστήματος.

Διέγερση του εγκεφάλου σε βάθος

Η διέγερση του εγκεφάλου σε βάθος χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα για τη θεραπεία της νόσου του Πάρκινσον σε προχωρημένο στάδιο, του στατικού ιδιοπαθούς τρόμου, του τρόμου που οφείλεται σε σκλήρυνση κατά πλάκας, της δυστονίας, των ιδεοψυχαναγκαστικών διαταραχών και της επίμονης κατάθλιψης. Οι διαδικασίες αυτές απαιτούν την ακρίβεια του στερεοτακτικού πλαισίου και της νευροφυσιολογικής απεικόνισης με χρήση μικροηλεκτροδίων. Το ρομποτικό σύστημα θα αποτελούσε ένα ιδανικό σύστημα για το σχεδιασμό και την εκτέλεση τέτοιων διαδικασιών με ακρίβεια. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στον ανατομικό σχεδιασμό για τη στόχευση του υποθαλάμιου πυρήνα στη νόσο του Πάρκινσον, το εσωτερικό της ωχράς σφαίρας στην περίπτωση της δυστονίας, του κοιλιακού ενδιάμεσου πυρήνα του θαλάμου για τον έλεγχο του τρόμου, της τοξοειδούς δεσμίδας του εγκεφάλου στη θεραπεία της επίμονης κατάθλιψης κ.λ.π.

Χειρουργική κατά της επιληψίας

Η χειρουργική του κροταφικού λοβού είναι μία αποτελεσματική θεραπεία για την ανθεκτική σε φαρμακευτική αγωγή επιληψία. Η επιτυχία της εξαρτάται από τον προ- και ενδοεγχειρητικό εντοπισμό της επιληπτογενούς εστίας, ενώ διευκολύνεται από την έγκαιρη αναγνώριση του κροταφικού κέρατος. Το PathFinder είναι ένα ρομποτικό σύστημα νευροχειρουργικής, η χρησιμότητα του οποίου στην ακριβή εισαγωγή ηλεκτροδίων σε βάθος για τον εντοπισμό της εστίας της επιληψίας και του κροταφικού κέρατος έχει ήδη αποδειχθεί. Η χρήση του έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της χρονικής διάρκειας των επεμβάσεων (Eljamel, 2006).



Εικ. 4.18: Το σύστημα PathFinder

Υδροκεφαλία και ενδοκρανιακές κύστες

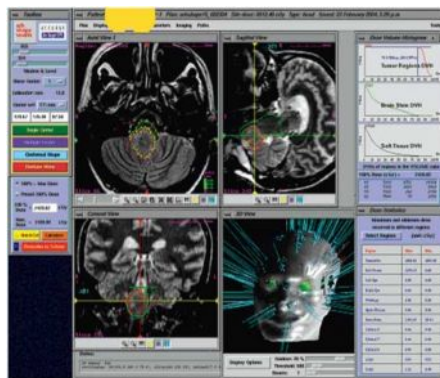
Η ρομποτική χειρουργική είναι κατάλληλη και για την αντιμετώπιση ενδοκρανιακών κύστεων. Η απαγωγή μίας κολλοειδούς κύστης, η οποία βρίσκεται μέσα στην τρίτη κοιλία του εγκεφάλου και μπορεί να προκαλέσει υδροκεφαλία, πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός ρομποτικού συστήματος. Κύστες της επίφυσης και άλλες κύστες της τρίτης κοιλίας μπορούν να αντιμετωπιστούν με τον ίδιο τρόπο. Το κρανιοφαρυγγίωμα είναι ένας ακόμη όγκος που μπορεί να παρουσιαστεί με μεγάλες κύστες. Η αντιμετώπισή του περιλαμβάνει και τη ρομποτική προσέγγιση. Το ρομποτικό σύστημα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση σωληνίσκου παροχέτευσης τόσο σε όλες τις προαναφερόμενες κυστικές ανωμαλίες όσο και στην περίπτωση της υδροκεφαλίας.

Κρανιακή ακτινοθεραπεία

Το CyberKnife αποτελεί ένα άριστο παράδειγμα της εφαρμογής της ρομποτικής στην κρανιακή ακτινοθεραπεία. Το συγκεκριμένο σύστημα επιτρέπει την υψηλή ακτινοβολία 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.

Μεταξύ του Μαρτίου του 2004 και του Ιουνίου του 2008, 26 ασθενείς με επιβεβαιωμένα αδενώματα στην υπόφυση, 14 άνδρες και 12 γυναίκες ηλικίας από 31 έως 69 ετών, ακολούθησαν τη μέθοδο της στερεοτακτικής ακτινοχειρουργικής με το ρομποτικό σύστημα CyberKnife στο St. Mary's Hospital της Σεούλ, στη Ν. Κορέα. Οι περιπτώσεις περιελάμβαναν 17 ασθενείς με μη-λειτουργούντα αδενώματα, 3 με προλακτιναιμία και 6 με μεγαλακρία. Ο σχεδιασμός των πλάνων θεραπείας περιελάμβανε την υιοθέτηση περιορισμών στις χορηγούμενες δόσεις ακτινοβολίας, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της ακτινοβολίας συγκεκριμένων δομών, όπως π.χ. το οπτικό σύστημα, αλλά τη μέγιστη ακτινοβολία των όγκων-στόχων.

Η μετεγχειρητική περίοδος που ακολούθησε κυμάνθηκε από 7 έως 47 μήνες. Το ποσοστό ελέγχου των όγκων ήταν 92.3%. Η ορμονική λειτουργία βελτιώθηκε και στις 9 περιπτώσεις με λειτουργούντα αδενώματα (ποσοστό 100%), ενώ επανήλθε σε κανονικά επίπεδα στους 4 από τους 9 ασθενείς (ποσοστό 44%) μετά από μία μέση χρονική περίοδο 16 μηνών. Σε δύο ασθενείς (ποσοστό 7.6%) χειροτέρευσε η οπτική οξύτητα μετά την επέμβαση με το σύστημα CyberKnife, ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία άλλη επιπλοκή. Η μελέτη επιβεβαιώνει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων ακτινοχειρουργικής με το σύστημα CyberKnife σε ασθενείς με υποφυσικά αδενώματα.^{[24],[25],[26]}



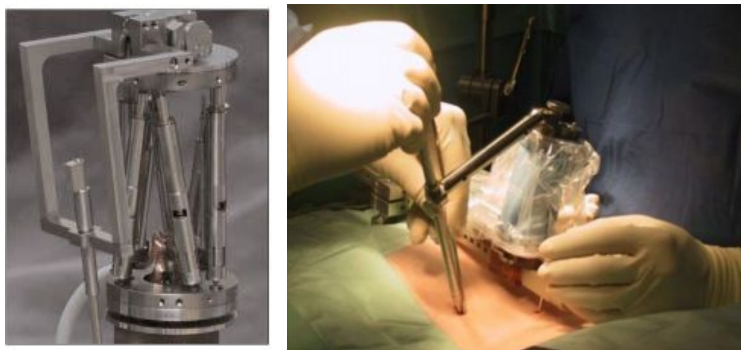
Εικ. 4.19: Εφαρμογή κρανιακής ακτινοθεραπείας με το CyberKnife

4.6.2 Χειρουργική της σπονδυλικής στήλης

Υπάρχει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον στο πεδίο της χειρουργικής της σπονδυλικής στήλης για την ενσωμάτωση ενός ρομποτικού βραχίονα στην καθοδήγηση με εικόνα με στόχο την υποβοήθηση χειρουργικών επεμβάσεων σε οστέινα σημεία. Έχουν αναπτυχθεί αρκετά ρομποτικά συστήματα για να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις της χειρουργικής στη σπονδυλική στήλη. Όπως και με τις εφαρμογές εγκεφάλου, οι συσκευές αυτές έχουν ενισχυθεί σημαντικά από τις τεχνολογικές εξελίξεις που σημειώνονται στην ενδοεγχειρητική καθοδήγηση από εικόνα. Σε γενικές γραμμές, η έρευνα στην περιοχή αυτή έχει επικεντρωθεί στην ακριβή τοποθέτηση των στοιχείων υποστήριξης της σπονδυλικής στήλης, προσβλέποντας με τον τρόπο αυτό στην αυξανόμενη ακρίβεια που προσφέρει η ρομποτική.

Η τρέχουσα έρευνα στις χειρουργικές επεμβάσεις σπονδυλικής στήλης εστιάζει στην καθοδηγούμενη από εικόνα παθητική υποβοήθηση για την ευθυγράμμιση του χειρουργικού τρυπανιού. Συσκευές συζευγμένες με καθοδηγούμενα από εικόνα συστήματα πλοήγησης έχουν υποστεί δοκιμές για την ακριβή τοποθέτηση των βιδών. Ο Lieberman και οι συνεργάτες του το 2006 επιβεβαίωσαν με δοκιμές την ακρίβεια του συστήματος SpineAssist σε τέτοιου είδους εφαρμογές. Η συγκεκριμένη συσκευή, η οποία δεν είναι μεγαλύτερη από ένα κουτί σόδας, προσαρμόζεται απευθείας στο σώμα του ασθενούς και επιτρέπει στο χειρουργό να προσδιορίσει την ακριβή τοποθέτηση των εργαλείων και των εμφυτευμάτων. Διαθέτει έξι βαθμούς ελευθερίας και συνδέεται στον αντίστοιχο σταθμό εργασίας (SpineAssist Workstation), ο οποίος και ελέγχει τις κινήσεις του ρομπότ. Το σύστημα είναι ημι-ενεργό, καθώς καθοδηγεί το χειρουργό στις επιθυμητές θέσεις των εμφυτευμάτων, σύμφωνα πάντα με το προεγχειρητικό σχέδιο, ενώ αφήνει το κυρίως χειρουργικό έργο στα χέρια αυτού. Το SpineAssist μειώνει το χειρουργικό χρόνο, αυξάνει την ακρίβεια και ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο των ιατρικών σφαλμάτων από την κακή τοποθέτηση των εμφυτευμάτων και τη χρήση των χειρουργικών εργαλείων σε διαδικασίες στερέωσης της σπονδυλικής στήλης (Lieberman et al., 2006).

Στη ραδιοχειρουργική, οι ρομποτικές λύσεις στην κίνηση της σπονδυλικής στήλης με την αναπνοή έχουν επίσης αποδειχτεί ιδιαίτερα χρήσιμες. Όπως και με τις ενδοκρανιακές ακτινοχειρουργικές εφαρμογές, ο πιο κοινός τύπος ρομποτικού συστήματος στη στερεοτακτική ακτινοχειρουργική της σπονδυλικής στήλης είναι ένα σύστημα ελεγχόμενο από επόπτη (supervisory-controlled system). Το CyberKnife βασίζεται σε ένα προαποφασισμένο σχέδιο για την εστίαση μίας δέσμης ακτίνων στο σημείο της παθολογίας. Με τη χρήση μηχανισμών ανάδρασης το σύστημα μπορεί να προσαρμόζει την τροχιά του ανάλογα με την κίνηση του ασθενούς, η οποία οφείλεται κυρίως στην αναπνοή του. Η χρήση του συγκεκριμένου συστήματος έχει επεκταθεί επίσης και σε ενδοκρανιακές εφαρμογές, δεδομένης της πιθανότητας μετακίνησης του εγκεφάλου κατά την επέμβαση.^[24]



Εικ. 4.20: Το σύστημα SpineAssist

4.7 Εφαρμογές στην ορθοπεδική χειρουργική

Η ορθοπεδική ήταν από τους πρώτους τομείς της χειρουργικής στους οποίους αναπτύχθηκαν ρομποτικές εφαρμογές. Ο χειρισμός των οστών είναι σχετικά πιο εύκολος από τον αντίστοιχο των μαλακών ιστών, καθώς αυτά παραμορφώνονται ελάχιστα κατά τη διαδικασία κοπής. Για το λόγο αυτό, οι καθοδηγούμενες από εικόνα τεχνικές είναι σχετικά απλές στην υλοποίησή τους. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι ρομποτικές διαδικασίες καταλήγουν σε καλύτερη συμφωνία με ένα προεγχειρητικό σχέδιο απ'ότι η ανάλογη χειροκίνητη μέθοδος. Οι ορθοπεδικές εφαρμογές που έχουν λάβει τη μεγαλύτερη προσοχή είναι οι αντικαταστάσεις ισχίων και γονάτων, ενώ επιπρόσθετη έρευνα έχει γίνει και σε άλλες περιοχές, όπως η θεραπεία των καταγμάτων και η αναδόμηση περιοχών του κρανίου και του προσώπου.

4.7.1 Ολική αρθροπλαστική ισχίου

Η ολική αρθροπλαστική ισχίου (Total Hip Arthroplasty – THA) είναι η αντικατάσταση των προβληματικών αρθρώσεων του ισχίου εξαιτίας ασθένειας ή τραύματος.

4.7.1.1 Προετοιμασία του μηριαίου οστού

Η διαδικασία ξεκινά με την απεξάρθρωση της ένωσης και την αφαίρεση της κεντρικής κεφαλής του μηριαίου οστού. Στη συνέχεια, μία προσθετική κούπα από μέταλλο και πολυμερές τοποθετείται στην κοτύλη. Το μηριαίο εμφύτευμα αποτελείται από έναν μακρύ μεταλλικό άξονα (μέχρι 220 mm) που εισάγεται σε μία βαθειά κοιλότητα που πρέπει να διαμορφωθεί κατά μήκος του κεντρικού άξονα του μηριαίου οστού.

Στη χειροκίνητη τεχνική, ο χειρουργός κόβει την κοιλότητα με ειδικά εργαλεία αυλάκωσης και διεύρυνσης οπών, διαδικασία που αφήνει μία τραχιά και ανώμαλη επιφάνεια. Μέχρι πρόσφατα, το εμφύτευμα στερεωνόταν σε αυτή την κοιλότητα με οστικό τσιμέντο, αλλά μακροπρόθεσμα μετεγχειρητικά δεδομένα έδειξαν ότι το τσιμέντο μπορούσε να ραγίσει, να χαλαρώσει ή να προκαλέσει οστεόλυση, καταλήγοντας έτσι σε αποτυχία του εμφυτεύματος. Νεότερα εμφυτεύματα χωρίς οστικό τσιμέντο διαθέτουν μία πορώδη μεταλλική επιφάνεια και βασίζονται στη φυσική ανάπτυξη του οστού μέσα στο μέταλλο για τη στήριξη. Η τεχνική αυτή απαιτεί στενή εγγύτητα (0.25 mm ή λιγότερο) ανάμεσα στην επιφάνεια του οστού και το εμφύτευμα, με αποτέλεσμα η μακροπρόθεσμη επιτυχία της διαδικασίας να εξαρτάται ιδιαίτερα από τη σφιχτή συναρμογή μεταξύ του εμφυτεύματος και του μηριαίου οστού.

Η ανάγκη για βελτιωμένη ακρίβεια οδήγησε στη δημιουργία μίας ρομποτικής προσέγγισης για τη διαμόρφωση της μηριαίας κοιλότητας. Η ανάπτυξη ρομποτικών συστημάτων για επεμβάσεις ορθοπεδικής (π.χ. ROBODOC, Acrobot κ.ά) 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 στο χειρουργό να βελτιστοποιήσει το μέγεθος και την τοποθέτηση του εμφυτεύματος για κάθε ασθενή ξεχωριστά.

Η χειρουργική διαδικασία με το ROBODOC αρχίζει με την τοποθέτηση πριν από την επέμβαση τριών καρφίτσων από τιτάνιο στους μηριαίους κονδύλους και τον μεγαλύτερο τροχαντήρα για λόγους καταχώρησης (registration). Η διαδικασία της καταχώρησης ουσιαστικά “ταιριάζει” τον εικονικό κόσμο των προεγχειρητικών εικόνων με τον πραγματικό κόσμο του ασθενούς και του περιβάλλοντος της χειρουργικής αίθουσας. Αφορά στο συσχετισμό ανάμεσα στις προεγχειρητικές εικόνες (π.χ. CT) και σε ένα σταθερό σημείο στην ανατομία του ασθενούς. Ο ασθενής υποβάλλεται σε αξονική τομογραφία, η οποία και “φορτώνεται” στο λογισμικό προεγχειρητικού σχεδιασμού. Το υπολογιστικό σύστημα προβάλλει αλληλεπιδραστικά διάφορες όψεις των δεδομένων της εικόνας, ο χειρουργός επιλέγει το

καταλληλότερο εμφύτευμα από μία ψηφιακή βιβλιοθήκη και στη συνέχεια προσδιορίζει την τοποθέτησή του, λαμβάνοντας υπ' όψιν παράγοντες όπως η κινηματική του ποδιού και η πυκνότητα του οστού.

Η χειρουργική ομάδα τοποθετεί την κοτυλαία κούπα και αφαιρεί την κεφαλή του μηριαίου οστού, ακριβώς όπως και στη χειροκίνητη διαδικασία. Το μηριαίο οστό συσφίγγεται σταθερά από έναν σταθεροποιητή, που είναι προσαρμοσμένος στη βάση του ρομποτικού συστήματος, ώστε να εξασφαλιστεί μία σταθερή, γνωστή θέση στο χώρο. Οι καρφίτσες καταχώρησης αποκαλύπτονται και ένα αισθητήριο εργαλείο στην άκρη του ρομποτικού βραχίονα (probe) φέρεται σε επαφή με καθεμία από αυτές. Με τον τρόπο αυτό, προσδιορίζεται ο μετασχηματισμός ανάμεσα στο προεγχειρητικό σχέδιο και τη φυσική θέση του μηριαίου οστού. Ένα σύστημα ελέγχου της ασφάλειας επιβεβαιώνει ότι οι θέσεις του probe του ρομπότ και η προεγχειρητική εικόνα δείχνουν την ίδια χωρική σχέση ανάμεσα στις καρφίτσες. Μία συσκευή επεξεργασίας υψηλής ταχύτητας στην άκρη του ρομποτικού βραχίονα κόβει τότε τη μηριαία κοιλότητα. Ο έλεγχος του ROBODOC είναι ουσιαστικά αυτόνομος. Το ρομπότ ακολουθεί την προσχεδιασμένη διαδικασία κοπής χωρίς την καθοδήγηση του χειρουργού. Μετά τη διαμόρφωση της κοιλότητας ο χειρουργός συνεχίζει σύμφωνα με τη χειροκίνητη διαδικασία.

Αναφορές για περίπου 130 επεμβάσεις αντικατάστασης ισχίου από μία κλινική μελέτη που πραγματοποιήθηκε στις Η.Π.Α. το 1998 συνέκριναν τις θεραπείες με το ROBODOC στις οποίες υποβλήθηκαν οι ασθενείς με αντίστοιχες συμβατικές διαδικασίες. Οι περιπτώσεις με το ROBODOC παρουσίασαν σημαντικά λιγότερο κενό ανάμεσα στο προσθετικό μέλος και το οστό. Η τοποθέτηση του εμφυτεύματος επίσης βελτιώθηκε. Επιπλέον, δεν παρουσιάστηκε κανένα ενδοεγχειρητικό μηριαίο κάταγμα στις περιπτώσεις με το ROBODOC, σε αντίθεση με τις συμβατικές επεμβάσεις όπου παρουσιάστηκαν τρεις. Στην Ευρώπη, το ρυθμιστικό πλαίσιο επέτρεψε την ευρύτερη υιοθέτηση του συστήματος. Από το Νοέμβριο του 1994 μέχρι το Φεβρουάριο του 1998 περισσότεροι από 1000 ασθενείς θεραπεύτηκαν σε 17 μέρη στη Γερμανία και την Αυστρία. Τα αποτελέσματα επέδειξαν βελτιωμένο ταίριασμα του προσθετικού μέλους και μικρότερο ποσοστό επιπλοκών από αντίστοιχες συμβατικές επεμβάσεις (11.6% από 16.6-33.7%). Η χρονική διάρκεια των ρομποτικών επεμβάσεων μειωνόταν δραματικά καθώς οι χειρουργοί αποκτούσαν μεγαλύτερη εμπειρία με το σύστημα, από 220 min για τις 10 πρώτες περιπτώσεις σε 90-100 min για τις επόμενες.^[27]



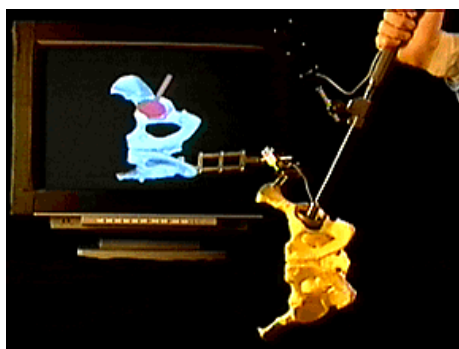
Εικ. 4.21: Εμφύτευμα για αρθροπλαστική ισχίου (αριστερά) και χειρουργική επέμβαση με το ROBODOC (δεξιά)

4.7.1.2 Τοποθέτηση της κοτυλαίας κούπας

Η εξάρθρωση ισχίου συμβαίνει όταν η κεφαλή του μηριαίου οστού αποσυνδεθεί από την κοτυλαία κούπα. Αποτελεί μία από τις πιο κοινές μετεγχειρητικές επιπλοκές σε επεμβάσεις ολικής αντικατάστασης ισχίων, με ποσοστό εμφάνισης 1-5%. Η αιτία της εξάρθρωσης σχετίζεται με έναν αριθμό παραγόντων, κυρίως όμως με τη λανθασμένη τοποθέτηση του κοτυλαίου εμφυτεύματος. Η ανακριβής τοποθέτηση μπορεί να επιτρέψει στο λαιμό του κοτυλαίου εμφυτεύματος να προσκρούσει στην άκρη της κούπας ή σε μία οστέινη προεξοχή της λεκάνης, ωθώντας τη μηριαία κεφαλή προς τα έξω. Δυστυχώς, οι χειροκίνητες συσκευές ευθυγράμμισης διαμορφώνουν το εμφύτευμα ανάλογα με

τους άξονες του σώματος του ασθενούς, χωρίς να λαμβάνουν υπ' όψιν τον προσανατολισμό της πυέλου (λεκάνης) στο χειρουργικό τραπέζι και τις ιδιαίτερες μεταβολές στη γεωμετρία αυτής.

Για να μειωθεί αυτή η επιπλοκή, αναπτύχθηκε ένα σύστημα για την ακριβή τοποθέτηση του εμφυτεύματος της κοτυλιαίας κούπας. Το σύστημα HipNav αποτελείται από έναν προεγχειρητικό σχεδιαστή, έναν προσομοιωτή εύρους κινήσεων και ένα σύστημα ενδοεγχειρητικής ανίχνευσης και καθοδήγησης. Ο προσομοιωτής εύρους κινήσεων βοηθά το χειρουργό να καθορίσει τον προσανατολισμό των εμφυτευμάτων στον οποίο θα μπορούσε να συμβεί μία πρόσκρουση. Χρησιμοποιούμενος από κοινού με το σύστημα σχεδιασμού και τις προεγχειρητικές εικόνες από την τομογραφία του ασθενούς, ο προσομοιωτής επιτρέπει στο χειρουργό να προσδιορίσει τον βέλτιστο για τον ασθενή προσανατολισμό της κοτυλιαίας κούπας. Στη χειρουργική, ένα σύστημα ανίχνευσης πρέπει να καταγράφει τη θέση της πυέλου με το προεγχειρητικό σχέδιο και να ελέγχει τη θέση της κούπας ώστε να καθοδηγεί το χειρουργό να τοποθετήσει κατάλληλα το εμφύτευμα.^[27]



Εικ. 4.22: Το σύστημα HipNav

4.7.2 Ολική αντικατάσταση γονάτου

Το γόνατο είναι μία σύνθετη άρθρωση, με μεγάλες κοίλες επιφάνειες και ένα περίπλοκο σύστημα συνδέσμων, διαμορφωμένο για να περιορίζει την πλευρική κίνηση. Έχουν αναπτυχθεί συστήματα πλοήγησης για διάφορες διαδικασίες που σχετίζονται με το γόνατο, όπως είναι π.χ. η αντικατάσταση χιαστού συνδέσμου. Τα περισσότερα ρομποτικά συστήματα υποβοήθησης αυτού του είδους, ωστόσο, προσανατολίζονται στη χειρουργική ολικής αντικατάστασης γονάτου (Total Knee Replacement – TKR). Κατά τη διαδικασία αυτή αντικαθίστανται όλα τα όργανα της άρθρωσης από προσθετικά μέλη. Στην TKR, ο χειρουργός χρησιμοποιεί ένα σύστημα-οδηγό για να κατευθύνει τον πριονισμό του οστού. Η τοποθέτηση του εργαλείου αυτού βασίζεται στις προεγχειρητικές εικόνες ακτίνων X και στην περιορισμένη οπτική πληροφορία από την επιφάνεια του εκτειθέμενου οστού. Εξαιτίας της έλλειψης ενδοεγχειρητικής πληροφορίας, αναφορές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ένα μεγάλο μέρος από τις χειροκίνητες διαδικασίες οδηγεί σε κλινικά σημαντικές ανακρίβειες, ενώ μέχρι και το 40% των ασθενών φεύγει με επιγονατιδομηρικό πόνο ή περιορισμένη κάμψη μετά από μία συμβατική επέμβαση TKR. Η ευθυγράμμιση του μηριαίου οστού και της κνήμης και η θέση των συνδέσμων είναι κρίσιμες. Μικρές μετατοπίσεις του μηριαίου οστού (2.5 mm) φαίνεται να μεταβάλλουν το εύρος της κίνησης έως και 20°.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετά ρομποτικά συστήματα υποβοήθησης επεμβάσεων TKR για να αυξήσουν την ακρίβεια ευθυγράμμισης του προσθετικού μέλους. Πολλά από αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν ένα σύστημα προεγχειρητικού σχεδιασμού βασισμένου σε εικόνα και ένα ρομπότ για το κόψιμο του οστού. Ένα τέτοιο σύστημα είναι και το Puma 560, το οποίο χρησιμοποιεί το ρομπότ για να καθοδηγήσει τα εργαλεία κοπής στη σωστή θέση, επιτρέποντας στο χειρουργό να εκτελέσει ακριβείς τομές στο οστό. Αρχικά, το PUMA 560 ακολουθεί την κίνηση και εντοπίζει το κέντρο της μηριαίας κεφαλής, ενώ ο χειρουργός κάμπει και απάγει το μηρό με το χέρι. Το ρομπότ χρησιμοποιεί αυτό το διακριτικό σημείο ως σημείο αναφοράς επιπρόσθετα στις προεγχειρητικά εμφυτευμένες καρφίτσες για να καθοδηγήσει τα εργαλεία κοπής στο σημείο όπου πρόκειται να γίνει εκτομή του μηριαίου οστού.

Αφού ο χειρουργός εκτελέσει την κοπή του τελευταίου, το ρομπότ οδηγεί τη θέση κοπής για την κνήμη χρησιμοποιώντας τις εμφυτευμένες καρφίτσες. Για τη διατήρηση της καταγραφής, η πύελος και ο αστράγαλος σταθεροποιούνται στο χειρουργικό τραπέζι, ενώ το ακραίο μηριαίο οστό και η κεντρική κνήμη ασφαλιζονται στη βάση του ρομπότ, το οποίο χρησιμοποιεί έναν βραχίονα με έξι βαθμούς ελευθερίας. Ο μηχανικός αυτός βραχίονας πρέπει να προσαρμόζεται στα οστά χωρίς να παρεμβάλλει στις δραστηριότητες του χειρουργού.^[27]



Εικ. 4.23: Χειρουργική επέμβαση γονάτου με τη βοήθεια του Acrobot

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Luncă S., Bouras G. and Stănescu A., *Gastrointestinal Robot-Assisted Surgery. A Current Perspective*, Romanian Journal of Gastroenterology, 14(4):385-391, December 2005
http://www.jgld.ro/42005/385-391_10.pdf
- [2] Ξιάρχος Α., *Χειρουργικές Επεμβάσεις: Γαστροοισοφαγική παλινδρόμηση, Διαφραγματοκήλη, Αχλασσία του οισοφάγου*, 2007
<http://www.axiarchos.gr/surg03.asp>
- [3] Soravia C., Schwieger I., Witzig J., Wassmer F., Vedrenne T., Sutter P., Dufour J. and Racloz Y., *Laparoscopic robotic-assisted gastrointestinal surgery: a Geneva experience*, Journal of Robotic Surgery, 1(4):291-295, February 2008
<http://www.springerlink.com/content/d183vj022h736222/fulltext.pdf>
- [4] ΠΡΟΤΥΠΟ ΒΑΡΙΑΤΡΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ, *Επεμβάσεις*, 2008
<http://www.obesity-surgery.gr>
- [5] Snyder B., Wilson T., Scarborough T., Yu S. and Wilson E., *Lowering gastrointestinal leak rates: a comparative analysis of robotic and laparoscopic gastric bypass*, Journal of Robotic Surgery, 2(3):159-163, September 2008
<http://www.springerlink.com/content/m6g27843424x07p4>
- [6] Baik. S., *Robotic Colorectal Surgery*, Yonsei Medical Journal, 49(6):891-896, December 2008
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2628019>
- [7] Rea F., Marulli G., Bortolotti L., Feltracco P., Zuin A. and Sartori F., *Experience With the “Da Vinci” Robotic System for Thymectomy in Patients With Myasthenia Gravis: Report of 33 Cases*, The Annals of Thoracic Surgery, 81(2):455-459, February 2006
<http://ats.ctsnetjournals.org/cgi/content/full/81/2/455>

- [8] Choi S. B., Park J. S., Kim J. K., Hyung W. J., Kim K. S., Yoon D. S., Lee W. J. and Kim B. R., *Early Experience of Robotic-assisted Laparoscopic Liver Resection*, Yonsei Medical Journal, 49(4):632-638, August 2008
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2615291>
- [9] Kumar R. and Hemal A., *Emerging role of robotics in urology*, Journal of Minimal Access Surgery, 1(4):202-210, October 2005
<http://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/7145/1/ma05037.pdf>
- [10] Warren J., Da Silva V., Caumartin Y. and Luke P., *Robotic Renal Surgery: The future or a passing curiosity?*, Canadian Urological Association Journal, 3(3):231-240, June 2009
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2692162>
- [11] Kumar R., Hemal A. and Menon M., *Robotic renal and adrenal surgery: present and future*, BJUI, 96(3):244-249, August 2005
<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/118669979/PDFSTART>
- [12] Mottrie A., Carpentier P., Schatteman P., Fonteyne E., Suttman H., Stöckle M. and Siemer S., *Robot-assisted laparoscopic radical cystectomy: initial experience on 27 consecutive patients*, Journal of Robotic Surgery, 1(3):197-201, December 2007
<http://www.springerlink.com/content/t08709821876h644/fulltext.pdf>
- [13] Sinha C., and Haddad M., *Robot-assisted surgery in children: current status*, Journal of Robotic Surgery, 1(4):243-246, February 2008
<http://www.springerlink.com/content/916p321714546014/fulltext.pdf>
- [14] Kim Y. T., Kim S. W. and Kim Y. W., *Robotic Surgery in Gynecologic Field*, Yonsei Medical Journal, 49(6):886-890, December 2008
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2628037>
- [15] Piquion J., Nayar A., Ghazaryan A., Papanna R., Klimek W. and Laroia R., *Robot-assisted gynecological surgery in a community setting*, Journal of Robotic Surgery, 3(2):61-64, June 2009
<http://www.springerlink.com/content/29831h93315k70p4/fulltext.pdf>
- [16] Advincula A., *Robotic Applications in Advanced Gynecologic Surgery*, Robotics in Surgery: History, Current and Future Applications, Book edited by Russell A. Faust, March 2006
<http://books.google.gr/books?id=p70afWyqcrMC&pg=PP1&dq=robotics+in+surgery>
- [17] Nifong L., Chu V., Bailey M., Maziarz D., Sorrell V., Holbert D. and Chitwood R., *Robotic Mitral Valve Repair: Experience With the da Vinci System*, The Annals of Thoracic Surgery, 75(2):438-443, February 2003
<http://ats.ctsnetjournals.org/cgi/content/full/75/2/438>
- [18] *da Vinci Cardiac Revascularization*, Intuitive Surgical Inc., 2005
<http://www.intuitivesurgical.com/clinical/cardiacapplications/revasc.aspx>
- [19] Argenziano M., Katz M., Bonatti J., Srivastana S., Murphy D., Poirier R., Loulmet D., Siwek L., Kreaden U. and Ligon D., *Results of the Prospective Multicenter Trial of Robotically Assisted Totally Endoscopic Coronary Artery Bypass Grafting*, The Annals of Thoracic Surgery, 81(5):1666-1675, May 2006
<http://ats.ctsnetjournals.org/cgi/content/full/81/5/1666>

- [20] Torracca L., Ismeno G. and Alfieri O., *Totally Endoscopic Computer-Enhanced Atrial Septal Defect Closure in Six Patients*, *The Annals of Thoracic Surgery*, 72(4):1354-1357, October 2001
<http://ats.ctsnetjournals.org/cgi/content/full/72/4/1354>
- [21] Bonaros N., Schachner T., Oehlinger A., Ruetzler E., Kolbitsch C., Dichtl W., Mueller S., Laufer G. and Bonatti J., *Robotically Assisted Totally Endoscopic Atrial Septal Defect: Insights From Operative Times, Learning Curves, and Clinical Outcome*, *The Annals of Thoracic Surgery*, 82(2):687-693, August 2006
<http://ats.ctsnetjournals.org/cgi/content/full/82/2/687>
- [22] *Αμφικολιλιακός βηματοδότης στην καρδιακή ανεπάρκεια (Καρδιακός επανασυγχρονισμός)*
http://www.incardiology.gr/pathiseis_ka/bimatodotodotes_amfikiliakoi.htm
- [23] Rodriguez E. and Chitwood W. Jr., *Outcomes in robotic cardiac surgery*, *Journal of Robotic Surgery*, 1(1):19-23, March 2007
<http://www.springerlink.com/content/84714105k83g8716/fulltext.pdf>
- [24] Karas C. and Chiocca A., *Neurosurgical robotics: a review of brain and spine applications*, *Journal of Robotic Surgery*, 1(1):39-43, March 2007
<http://www.springerlink.com/content/7512441h74456338/fulltext.pdf>
- [25] Eljamel S., *Robotic Applications in Neurosurgery*, *Medical Robotics*, Book edited by Vanja Bozovic, January 2008
<http://www.intechweb.org/downloadpdf.php?id=637>
- [26] Cho C. B., Park H. K., Joo W., Chough C. K., Lee K. J. and Rha H. K., *Stereotactic Radiosurgery with the CyberKnife for Pituitary Adenomas*, *Journal of Korean Neurosurgical Society*, 45(3):157-163, March 2009
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2666117>
- [27] Howe R. and Matsuoka Y., *Robotics for Surgery*, *Annual Review of Biomedical Engineering*, 01:211-240, August 1999
<http://biorobotics.harvard.edu/pubs/annurev99.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών στην Ιατρική

5.1 Τηλεϊατρική

Με τον όρο τηλεϊατρική αναφερόμαστε στη συνδυασμένη χρήση των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής για την παροχή υπηρεσιών υγείας και ιατρικής εκπαίδευσης από απόσταση. Η τηλεϊατρική χρησιμοποιεί ηλεκτρονικά μηνύματα για να μεταφέρει ιατρικά δεδομένα από ένα μέρος σε ένα άλλο (π.χ. βιοσήματα, εργαστηριακές αναλύσεις, 2D και 3D εικόνες από απεικονιστικές διατάξεις, δεδομένα ιατρικού φακέλου). Τα ιατρικά αυτά δεδομένα μπορούν να αποστέλλονται μαζί και με συνοδευτικά δεδομένα, όπως είναι η φωνή (audio) και η κινούμενη εικόνα (video). Η μεταφορά των δεδομένων μπορεί να είναι μονόδρομη ή αμφίδρομη, μέσω του απλού τηλεφωνικού δικτύου, του Internet, μέσω ενός Intranet, μίας δορυφορικής ζεύξης κ.λ.π.

5.1.1 Εφαρμογές τηλεϊατρικής

Ο απώτερος σκοπός της τηλεϊατρικής είναι να συμβάλλει αποφασιστικά στη βελτίωση των υπηρεσιών υγείας και πρόνοιας και στην ορθολογικότερη διαχείριση των πόρων προς όφελος του πολίτη. Άρτια εκπαιδευμένοι ιατροί μπορούν να δώσουν λύση σε σημαντικά προβλήματα υγείας παρέχοντας τις ιατρικές τους γνώσεις με τη μορφή διάγνωσης, δεύτερης γνώμης ή συμβουλευτικής οδηγίας με τη βοήθεια προηγμένων συστημάτων τηλεματικής. Η τηλεϊατρική προσφέρει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών ενώ παράλληλα μπορεί να βοηθήσει στην παραμονή ιατρών και νοσηλευτικού προσωπικού σε γεωγραφικά απομονωμένες περιοχές. Επιτρέπει την εικονική συνάντηση ασθενών και ιατρών σε πραγματικό χρόνο, τη διάγνωση, την παροχή ιατρικών συμβουλών, την αντιμετώπιση περιστατικών χωρίς την ταυτόχρονη φυσική παρουσία του ιατρού με τον ασθενή, την εκπαίδευση φοιτητών και ειδικευόμενων ιατρών από απόσταση κ.ά.

Η ιστορία της τηλεϊατρικής ξεκινά τη δεκαετία του '70. Οι πρώτες εφαρμογές τηλεϊατρικής αφορούσαν την παροχή ιατρικών συμβουλών και οδηγιών μέσω ασυρμάτου σε πλοία σε περιπτώσεις έκτακτων ιατρικών περιστατικών. Στην πορεία όμως, λόγω της εμφάνισης των πρώτων υπολογιστικών συστημάτων τη δεκαετία του '80 και της αλματώδους ανάπτυξης των τηλεπικοινωνιακών δικτύων τη δεκαετία του '90, η τηλεϊατρική γνώρισε ραγδαία ανάπτυξη με πιο εξελιγμένες και εξειδικευμένες εφαρμογές, οι πιο σημαντικές από τις οποίες περιγράφονται παρακάτω.

5.1.1.1 Τηλεδιάγνωση & Τηλεσυμβουλευτική

Είναι η παροχή εξειδικευμένης ιατρικής γνώσης με τη μορφή διάγνωσης ή συμβουλευτικής μέσω της χρήσης τηλεματικών συστημάτων. Στην κλασική της μορφή, κλινικά στοιχεία, όπως είναι π.χ. οι ακτινογραφίες και τα καρδιογραφήματα, μεταδίδονται σε ψηφιακή μορφή μέσω δικτύου από τον “μη εξειδικευμένο” ιατρό σε κάποιον περισσότερο “εξειδικευμένο” ιατρό, ο οποίος αφού τα εξετάσει στον υπολογιστή του προχωράει στη διάγνωση της εξέτασης, την οποία και επιστρέφει μαζί με οδηγίες πίσω στον “μη εξειδικευμένο” ιατρό. Η μετάδοση μπορεί να γίνεται τοπικά, π.χ. εντός ενός νοσοκομείου, αλλά και από απόσταση, μεταξύ κέντρων υγείας και νοσοκομείων.

Παρότι είναι δυνατή η μετάδοση ενός μεγάλου αριθμού εξετάσεων οι περισσότερες εφαρμογές της τηλεδιάγνωσης, επί του παρόντος τουλάχιστον, περιορίζονται στη μετάδοση ακτινολογικών εικόνων, καρδιογραφήματων, εικόνων μικροσκοπίου κ.ά. Έτσι, οι πιο διαδεδομένες εφαρμογές της μέχρι σήμερα είναι η τηλεακτινολογία, η τηλεκαρδιολογία, η τηλεπαθολογία, η τηλεοφθαλμολογία και η τηλεδερματολογία, ενώ χρησιμοποιείται τηλεδιάγνωση επίσης στη νευρολογία και την ψυχιατρική.

Στην πιο συνηθισμένη μορφή τους οι παραπάνω εφαρμογές υλοποιούνται με τη μετάδοση των ιατρικών εξετάσεων σε ψηφιακή μορφή. Συνεπώς, ανεξάρτητα από το είδος της εφαρμογής, ο βασικός εξοπλισμός που είναι απαραίτητος για την υλοποίηση μίας τέτοιας τηλειατρικής εφαρμογής είναι:

- μία συσκευή που συλλέγει τα ιατρικά δεδομένα, π.χ. ακτινολογικό μηχάνημα, ηλεκτροκαρδιογράφος, μικροσκόπιο κ.λ.π.
- μία συσκευή ψηφιοποίησης της ιατρικής πληροφορίας, στην περίπτωση που τα παραγόμενα ιατρικά δεδομένα είναι σε αναλογική μορφή, π.χ. x-ray scanner, camera/frame grabber, ψηφιακός καρδιογράφος κ.λ.π.
- ο τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός για τη μετάδοση των ψηφιακών δεδομένων μέσω ενσύρματης ή ασύρματης ζεύξης.
- διάταξη απεικόνισης των δεδομένων με οθόνες υψηλής ανάλυσης, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

5.1.1.2 Τηλεακτινολογία

Είναι η μετάδοση ακτινολογικών εικόνων από ένα σημείο σε ένα άλλο για γνωμάτευση ή απλά για συμβουλευτικούς σκοπούς μέσω υπολογιστή χρησιμοποιώντας ενσύρματες ή ασύρματες ζεύξεις. Λόγω του γεγονότος ότι η μετάδοση αφορά ψηφιακή πληροφορία, απαιτείται η σύλληψη της εικόνας σε ψηφιακή μορφή. Στην περίπτωση που το απεικονιστικό μηχάνημα δε διαθέτει ψηφιακή έξοδο, πράγμα που συμβαίνει στα περισσότερα ακτινολογικά μηχανήματα, υπερηχογράφους και σε αρκετούς αξονικούς και μαγνητικούς τομογράφους, είναι απαραίτητη η ψηφιοποίηση της εικόνας χρησιμοποιώντας είτε ψηφιοποιητές ακτινολογικού φιλμ (film scanners), είτε frame grabbers συνδεδεμένους απευθείας στην έξοδο composite video της απεικονιστικής διάταξης.

Η πρώτη λύση χρησιμοποιείται συνήθως για την ψηφιοποίηση ακτινογραφιών, ενώ η δεύτερη για την ψηφιοποίηση εικόνων αξονικών/μαγνητικών τομογράφων, υπερηχογράφων και εικόνων πυρηνικής ιατρικής. Η ψηφιοποίηση ενός ακτινολογικού φιλμ μπορεί να γίνει είτε μέσω ενός συστήματος διαφανοσκόπιου/βιντεοκάμερας είτε με τη βοήθεια ενός film scanner. Στην πρώτη περίπτωση, το φιλμ φωτίζεται μέσω του διαφανοσκόπιου και η εικόνα ψηφιοποιείται με τη βοήθεια μίας βιντεοκάμερας υψηλής ευκρίνειας. Η τεχνική αυτή, παρότι οικονομική, παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα, όπως είναι η ανομοιομορφία της φωτεινότητας και η δυσκολία στη χρήση (τοποθέτηση του φιλμ και ανάκτηση της πληροφορίας). Τα τελευταία χρόνια, ωστόσο, τα συστήματα τηλεακτινολογίας διαθέτουν εξειδικευμένες συσκευές ψηφιοποίησης ακτινολογικών φιλμ, τα λεγόμενα film scanners, οι οποίες χρησιμοποιούν τεχνολογία CCD ή laser. Βασικότερα πλεονεκτήματά τους είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας ψηφιοποίησης και η υψηλή ποιότητα και πιστότητα αυτής. Μοναδικό μειονέκτημά τους είναι το σχετικά υψηλό κόστος, το οποίο όμως με την πάροδο του χρόνου μειώνεται.

Η τεχνολογία CCD (Charge Coupled Device) στηρίζεται στη λειτουργία φωτοευαίσθητων κυττάρων τα οποία μετατρέπουν τη φωτεινή ροή που προσπίπτει πάνω τους σε ρεύμα ηλεκτρονίων. Κάθε στοιχείο της εικόνας (pixel) που προκύπτει αντιστοιχεί στο αρχικό ρεύμα από ένα κύτταρο. Η τεχνολογία των ψηφιοποιητών laser, από την άλλη, θεωρείται καλύτερη για εφαρμογές τηλεακτινολογίας γιατί παρέχει συνήθως μεγαλύτερη ανάλυση (resolution) και καλύτερη αντίθεση (contrast), αλλά με σημαντική επιβάρυνση του κόστους των συσκευών.

Παρά την τεχνική της πολυπλοκότητα, η τηλεακτινολογία αποτελεί την πλέον διαδεδομένη εφαρμογή της τηλειατρικής, ιδίως στις Η.Π.Α. όπου δαπανώνται αρκετές εκατοντάδες εκατομμύρια δολάρια ετησίως για την εγκατάσταση και τη λειτουργία συστημάτων τηλεακτινολογίας.



Εικ. 5.1: Εφαρμογή τηλεακτινολογίας

5.1.1.3 Τηλεκαρδιολογία

Οι πρώτες εφαρμογές τηλεκαρδιολογίας εμφανίστηκαν εδώ και 70 χρόνια με τη χρήση ευαίσθητων μικρόφωνων συνδεδεμένων στο τηλεφωνικό δίκτυο για την “τηλεακρόαση” καρδιακών ήχων και αναπνευστικών ακροαστικών ευρημάτων. Η ανάπτυξη της τηλεκαρδιολογίας όμως ξεκίνησε ουσιαστικά τη δεκαετία του '70, όταν χρησιμοποιήθηκε η τηλεομοιοτυπία (fax) για τη μετάδοση καρδιογραφικών και εγκεφαλογραφικών εκτυπώσεων μέσω του τηλεφωνικού δικτύου. Παρόλα αυτά, μόνο σχετικά πρόσφατα έγινε δυνατή η διάγνωση ηχοκαρδιογραφημάτων από απόσταση.

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή τηλεκαρδιολογίας αφορά στη μετάδοση ηλεκτροκαρδιογραφημάτων (ΗΚΓ) για διαγνωστικούς σκοπούς. Η εφαρμογή απαιτεί τη χρήση ενός ψηφιακού καρδιογράφου για την ανάκτηση σε ψηφιακή μορφή του καρδιογραφήματος, ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου (συνήθως απλό τηλεφωνικό δίκτυο), κι ενός υπολογιστικού σταθμού για την αποθήκευση και απεικόνιση του ΗΚΓ. Για να υπάρξει η δυνατότητα διασύνδεσης μεταξύ διαφορετικών συστημάτων η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Προτυποποίησης (CEN) έχει καθορίσει ως πρωτόκολλο μετάδοσης ψηφιακών καρδιογραφημάτων το Health Level 7 (HL7).



Εικ. 5.2: Εφαρμογή τηλεκαρδιολογίας

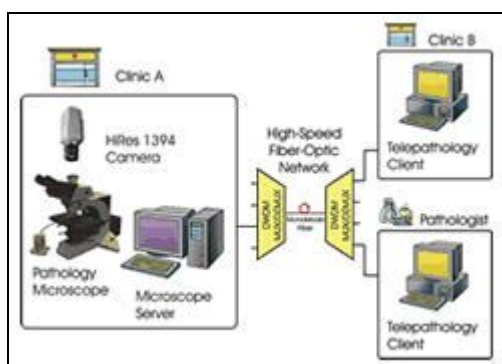
5.1.1.4 Τηλεπαθολογία

Είναι η χρήση τηλεπικοινωνιακών και υπολογιστικών μέσων για τη διευκόλυνση παθολογοανατομικών εξετάσεων από απόσταση. Ήδη από το 1968 είχε αναπτυχθεί μία πειραματική διάταξη η οποία, με τη χρήση μίας μονόχρωμης κάμερας συνδεδεμένης σε ένα μικροσκόπιο, μετέδιδε παθολογοανατομικές εικόνες μέσω μίας μικροκυματικής ζεύξης. Παρότι η εφαρμογή δεν είχε κλινικό χαρακτήρα, πέτυχε να αναδείξει τις δυνατότητες ανάπτυξης τέτοιων τηλεϊατρικών εφαρμογών. Το 1986, με τη χρήση δορυφορικών διαύλων και μίας κάμερας υψηλής ευκρίνειας συνδεδεμένης σε ένα ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, έγινε δυνατή η μετάδοση εικόνων βιοψίας υψηλής ανάλυσης αλλά και ο μηχανικός έλεγχος του μικροσκοπίου από απόσταση (εστίαση, μεγέθυνση κ.λ.π.).

Οι εφαρμογές τηλεπαθολογίας μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- στη **στατική** τηλεπαθολογία, όπου μία ή περισσότερες στατικές εικόνες συλλέγονται, αποθηκεύονται προσωρινά και στη συνέχεια μεταδίδονται off-line με διάφορους τρόπους (www, ftp, videotelephony) για διάγνωση.
- στην **κινητική** τηλεπαθολογία που περιλαμβάνει τις περιπτώσεις χειρισμού του μικροσκοπίου από απόσταση.
- στη **δυναμική** τηλεπαθολογία, η οποία περιλαμβάνει την ικανότητα αποστολής έγχρωμων μη συμπίεσμένων εικόνων σε πραγματικό χρόνο σε συνδυασμό με τον μηχανικό έλεγχο του μικροσκοπίου από απόσταση.

Για όποια εφαρμογή τηλεπαθολογίας και αν μιλάμε, ο τυπικός εξοπλισμός περιλαμβάνει μία κάμερα υψηλής ευκρίνειας συνδεδεμένης σε ένα μικροσκόπιο, έναν υπολογιστικό σταθμό ψηφιοποίησης, κωδικοποίησης, και μετάδοσης εικόνας, ηλεκτρομηχανικά συστήματα για τον έλεγχο του μικροσκοπίου και της κάμερας, καθώς και το υπολογιστικό σύστημα λήψης, απεικόνισης και αποθήκευσης στην πλευρά του ειδικευμένου ιατρού. Είναι σαφές ότι τα κρίσιμα χαρακτηριστικά είναι η διακριτική ικανότητα του συστήματος ψηφιοποίησης και απεικόνισης των δεδομένων (για όλες τις περιπτώσεις τηλεπαθολογίας) και το εύρος ζώνης του τηλεπικοινωνιακού δικτύου για την περίπτωση της δυναμικής εφαρμογής.



Εικ. 5.3: Δίκτυο υποστήριξης εφαρμογών τηλεπαθολογίας

5.1.1.5 Τηλεοφθαλμολογία

Οι εφαρμογές τηλεοφθαλμολογίας έχουν σαν στόχο να επιτρέπουν την πρόσβαση σε εξειδικευμένους οφθαλμιάτρους αλλά και οφθαλμολογικά μηχανήματα ανά πάσα στιγμή και από οποιοδήποτε μέρος. Όπως και στις περισσότερες εφαρμογές τηλεϊατρικής τα συστατικά στοιχεία ενός συστήματος τηλεοφθαλμολογίας είναι το σύστημα ανάκτησης και ψηφιοποίησης εικόνας και το σύστημα μετάδοσης ψηφιακών εικόνων. Στις περισσότερες εφαρμογές τηλεοφθαλμολογίας απαιτείται η μετάδοση στατικών εικόνων. Η ανάκτηση των οφθαλμολογικών εικόνων μπορεί να γίνει είτε απευθείας ψηφιακά, με τον ανάλογο ιατρικό εξοπλισμό, είτε με ψηφιοποίηση των λαμβανόμενων αναλογικών εικόνων.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι ανάκτησης εικόνων τηλεοφθαλμολογίας είναι η χρήση μίας CCD κάμερας τοποθετημένης μπροστά από ένα οφθαλμολογικό μικροσκόπιο ή μία ακτινοσκοπική αγγειογραφική συσκευή. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται ψηφιακές φωτογραφικές συσκευές (digital cameras) συνδεδεμένες στα οφθαλμολογικά όργανα εξέτασης (slit-lamps), επιτρέποντας έτσι την παραγωγή ψηφιακών φωτογραφιών υψηλής ανάλυσης. Μία άλλη δυνατότητα είναι η ψηφιοποίηση εικόνων από οφθαλμοσκόπιο laser (Scanning Laser Ophthalmoscope ή SLO) για την εξέταση ανωμαλιών του αμφιβληστροειδούς. Σε κάθε περίπτωση, οι διαγνωστικές εικόνες ψηφιοποιούνται,

αποθηκεύονται και ακολούθως μεταδίδονται στον εξειδικευμένο οφθαλμίατρο για γνωμάτευση και παροχή περαιτέρω οδηγιών.

5.1.1.6 Τηλεδερματολογία

Ο στόχος της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι η παροχή ιατρικών υπηρεσιών δερματολογίας σε κάποια απομακρυσμένη περιοχή, όπως είναι, για παράδειγμα, η παροχή συμβουλών, διαγνωστικών και θεραπευτικών οδηγιών σε κάποιον μη ειδικευμένο ιατρό ενός κέντρου υγείας. Οι εφαρμογές τηλεδερματολογίας είναι απλές. Ο ασθενής με το δερματολογικό πρόβλημα βρίσκεται στη μονάδα νοσηλείας Α, που συνήθως στελεχώνεται από έναν γενικό ιατρό, ενώ ο ειδικευμένος δερματολόγος βρίσκεται στη νοσηλευτική μονάδα Β. Δερματολογικές εικόνες του ασθενούς, εργαστηριακές αναλύσεις και οτιδήποτε άλλο σχετικό δεδομένο μεταδίδονται ηλεκτρονικά από το σημείο Α στο Β, όπου ο δερματολόγος αξιολογεί τα κλινικά δεδομένα, προβαίνει σε διάγνωση και καθορίζει τις περαιτέρω πράξεις. Η τηλεδερματολογία αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς κλάδους στον χώρο της τηλεϊατρικής. Τα δερματολογικά περιστατικά είναι πολλά, περίπου το 20 τοις εκατό των συνολικών περιπτώσεων, και όμως αυτά είτε δεν αντιμετωπίζονται σωστά είτε αντιμετωπίζονται ελλιπώς λόγω έλλειψης εξειδικευμένου δερματολόγου.

Η εμπειρία έχει δείξει ότι η ανάκτηση, αποθήκευση και μετάδοση σε μη πραγματικό χρόνο (store-and-forward) δερματολογικών εικόνων είναι απόλυτα ικανή να επιτρέψει σε δερματολόγους τη διάγνωση και διαχείριση σημαντικού αριθμού δερματολογικών περιστατικών. Για τον σκοπό αυτό, ο απαιτούμενος εξοπλισμός τηλεδερματολογίας αποτελείται από μία διάταξη ανάκτησης στατικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και μία διάταξη μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων. Το κομμάτι της μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων είναι παρόμοιο με αυτό των εφαρμογών τηλεακτινολογίας. Για την ανάκτηση ψηφιακών δερματολογικών εικόνων δύο είναι οι πιο συνηθισμένοι τρόποι:

- μέσω μίας αναλογικής βιντεοκάμερας συνδεδεμένης με ένα σύστημα ψηφιακής ανάκτησης στατικών εικόνων (frame grabber)
- ανάκτηση μέσω ψηφιακών φωτογραφικών συσκευών (digital cameras) και στη συνέχεια μεταφορά στο σύστημα τηλεμετάδοσης

Εκτός από την ανάκτηση και μετάδοση σε μη πραγματικό χρόνο, είναι δυνατή και η αλληλεπιδραστική τηλεδερματολογία (interactive teledermatology). Με την τεχνική αυτή έχουμε μετάδοση ιατρικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ενώ υπάρχει και η δυνατότητα άμεσης επαφής του γενικού ιατρού με τον εξειδικευμένο δερματολόγο με τη μορφή τηλεσυνδιάσκεψης. Ο δερματολόγος μέσω της κάμερας έχει τη δυνατότητα να βλέπει σε πραγματικό χρόνο τη δερματική ανωμαλία και να κατευθύνει την εξέταση/διάγνωση. Παρότι η τεχνική αυτή έχει το πλεονέκτημα της άμεσης επαφής ειδικευμένου ιατρού και ασθενούς και του μειωμένου χρόνου που απαιτείται για τη διάγνωση από απόσταση, έχει υψηλότερο κόστος υλοποίησης, ευαισθησία σε δυσλειτουργίες (συνεπώς μικρότερη αξιοπιστία) και σε πολλά απλά περιστατικά δεν παρουσιάζει ουσιαστικά πλεονεκτήματα.^[1]



Εικ. 5.4: Εφαρμογή τηλεδερματολογίας

5.1.1.7 Τηλεπερίθαλψη – Τηλεφροντίδα

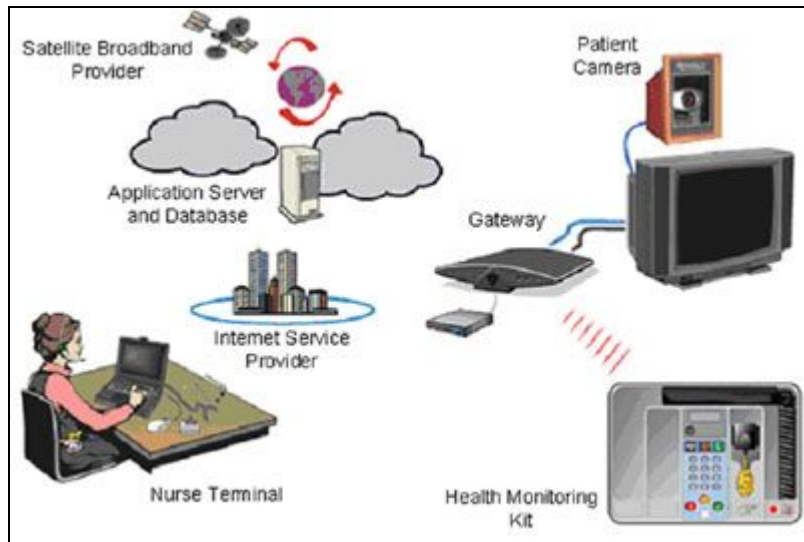
Οι τελευταίες δεκαετίες έχουν επιφέρει μία εκρηκτική αύξηση στην ικανότητά μας να συλλέγουμε, να αποθηκεύουμε, να επεξεργαζόμαστε και να διαχειριζόμαστε δεδομένα. Πέρα από τις συμβατικές μεθόδους, τα δεδομένα που αφορούν την υγεία μπορούν σήμερα να συλλέγονται σε μία ποικιλία διαφόρων τύπων μέσω αποθήκευσης από νέο, πιο εξελιγμένο τεχνολογικό εξοπλισμό, όπως είναι οι φορητές ψηφιακές συσκευές, οι συσκευές παλάμης, οι κάρτες υγείας και μία πληθώρα αισθητήρων. Κλινικά, εργαστηριακά, γενετικά δεδομένα και δεδομένα εικόνων και διαχείρισης αποθηκεύονται πλέον σε καταναμημένα, ηλεκτρονικά αρχεία υγείας και ετερογενή πληροφοριακά συστήματα ανοικτής αρχιτεκτονικής, με σκοπό την εύκολη και γρήγορη πρόσβαση στην ιατρική φροντίδα και τη διασφάλιση της ποιότητας και της συνέχειας αυτής.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την ανάπτυξη “έξυπνων” βιοϊατρικών συσκευών, οι οποίες να μπορούν να αλλάξουν σε σημαντικό βαθμό τον τρόπο με τον οποίο παρέχεται η φροντίδα υγείας σε ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού. Για παράδειγμα, ασθενείς που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις, όπως διαβήτη ή νευρολογικές διαταραχές, ηλικιωμένοι και ομάδες ανθρώπων με αναπηρίες έχουν την ανάγκη να ελέγχουν εύκολα την κατάσταση της υγείας τους πολλές φορές σε καθημερινή βάση. Ο έλεγχος αυτός θα μπορούσε να πραγματοποιείται χωρίς την ανάγκη μετακίνησης του ασθενούς από το σπίτι ή το χώρο εργασίας του, χάρις στις εξελίξεις στην τεχνολογία των επικοινωνιών, των ψηφιακών συσκευών και αισθητήρων που μπορούν να εξάγουν πληροφορία από το σώμα του ασθενούς και το περιβάλλον του.

Οι ηλεκτρονικές αυτές συσκευές μπορούν να είναι είτε φορητές, είτε ακόμη και φορετές, στο σώμα ή τα ρούχα του ασθενούς, και έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν αποκλίσεις στις μετρήσεις σημάτων ζωτικής σημασίας από τις αντίστοιχες φυσιολογικές τιμές κατά τη διάρκεια των καθημερινών δραστηριοτήτων του ατόμου. “Ευφυή” προσωπικά συστήματα και εξατομικευμένες ηλεκτρονικές υπηρεσίες αναπτύσσονται διεθνώς για τη βελτίωση της παροχής ιατρικής φροντίδας μέσω συνεχούς, οικονομικής και αποτελεσματικής παρακολούθησης των δεδομένων φυσιολογίας από το εσωτερικό του σώματος του ασθενούς. Η έρευνα εστιάζεται στην ολοκλήρωση διάφορων βιοϊατρικών αισθητήρων και άλλων ψηφιακών συσκευών σε ένα ενοποιημένο και φιλικό προς το χρήστη φορετό ένδυμα, όπως είναι, για παράδειγμα, το Smart Shirt (Sensatex, Η.Π.Α.) και το Medical Assistance Suit (VTAMN, Γαλλία). Τέτοιου είδους “έξυπνα” βιοϊατρικά ενδύματα με ενσωματωμένα ηλεκτρονικά μπορούν να επεκτείνουν μελλοντικά τις δυνατότητες εποπτείας των βιοσημάτων του ασθενούς που τα φέρει.

Τηλεφροντίδα, ή κατ’οίκον φροντίδα (telecare), είναι η παροχή από απόσταση υπηρεσιών φροντίδας υγείας στο σπίτι ενός πολίτη με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Οι τελευταίες περιλαμβάνουν ασύσματες και κινητές επικοινωνίες, ψηφιακές κάμερες και συστήματα ελέγχου από απόσταση, διάφορους τύπους αισθητήρων και ενεργοποιητών, ψηφιακές ιατρικές συσκευές, συσκευές παλάμης, κάρτες και ηλεκτρονικά αρχεία υγείας. Οι τεχνολογίες αυτές είναι ικανές να υποστηρίζουν εφαρμογές τηλεεποπτείας (telemonitoring), παροχής βοήθειας στο σημείο ανάγκης, υπηρεσίες τηλεσυμβουλευτικής (teleconsultation), αυτόματο έλεγχο και υπηρεσίες συντήρησης των ιατρικών συσκευών και του οικιακού ηλεκτρονικού εξοπλισμού από απόσταση, διαφυλλάσσοντας παράλληλα την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα και το απόρρητο των ιατρικών δεδομένων του ασθενούς.

Ένα σύστημα τηλεφροντίδας έχει ως στόχο να παρέχει τις συγκεκριμένες υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο βασισμένο στις μετρήσεις των φυσιολογικών παραμέτρων που λαμβάνονται από το σώμα και το περιβάλλον του ατόμου (π.χ. ηλεκτροκαρδιογράφημα, παλμοί της καρδιάς, πίεση αίματος, θερμοκρασία, αναπνοή). Τα δεδομένα αποστέλλονται με την απαιτούμενη ασφάλεια μέσω δικτύου σε ένα κεντρικό, πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου στην ιατρική μονάδα, όπου επεξεργάζονται, αξιολογούνται και κατόπιν αποθηκεύονται σε μεγάλες βάσεις δεδομένων. Η κεντρική αυτή μονάδα ελέγχου εκτελεί 24ωρο έλεγχο και συγχρονίζει όλες τις δραστηριότητες των κόμβων του δικτύου μέσω συστημάτων επικοινωνίας και ειδοποίησης στο σπίτι του ατόμου. Ένα τέτοιο σύστημα τηλεφροντίδας έχει την ικανότητα να ελέγχει επανειλημμένα και να αξιολογεί την κατάσταση της υγείας του ασθενούς, να παρέχει οικονομικές υπηρεσίες τηλεϊατρικής υψηλής ποιότητας σε αυτόν και να εξασφαλίζει τη συνεργασία του με επαγγελματίες υγείας διαφόρων ειδικοτήτων.^[2]



Εικ. 5.5: Αρχιτεκτονική ενός συστήματος τηλεφροντίδας

5.1.1.8 Τηλεκαθοδήγηση – Τηλεεκπαίδευση

Η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιακών και πληροφορικών συστημάτων κατέστησε δυνατή τα τελευταία χρόνια, και με σχετικά χαμηλό κόστος, τη δυνατότητα τηλεσυνδιάσκεψης δύο ή περισσότερων προσώπων. Η ιατρική ήταν από τους πρώτους τομείς που αξιοποίησαν τη δυνατότητα αυτή για την παροχή εξειδικευμένων υπηρεσιών υγείας. Είναι αρκετά σύνηθες σήμερα, σε περιπτώσεις που απαιτείται η έμπειρη γνώμη ενός ή περισσότερων ιατρών αυτή να λαμβάνεται σε πραγματικό χρόνο μέσω υπηρεσιών τηλεσυνδιάσκεψης. Στην ιδανική περίπτωση είναι δυνατή η τηλεκαθοδήγηση της εξέτασης με τη βοήθεια τηλεσυνδιάσκεψης, αφού ο έμπειρος ιατρός μπορεί να βλέπει τον ασθενή κατά τη διάρκεια της εξέτασης και ταυτόχρονα να καθοδηγεί τον θεράποντα ιατρό. Σε άλλες περιπτώσεις πάλι, είναι δυνατή η σύσταση ιατρικών συμβουλίων μέσω τηλεσυνδιάσκεψης χωρίς την ανάγκη μετακίνησης των εξειδικευμένων ιατρών, οι οποίοι ενδεχομένως να βρίσκονται ακόμη και σε διαφορετικές χώρες του κόσμου.^[1]

Μία παραλλαγή της παραπάνω περίπτωσης αποτελεί η τηλεεκπαίδευση μέσω τηλεσυνδιάσκεψης, κατά την οποία μία ομάδα φοιτητών ή ιατρών μπορεί να εκπαιδεύεται σε συγκεκριμένες ιατρικές διαδικασίες και τεχνικές χωρίς αυτοί να βρίσκονται κατ' ανάγκη στον χώρο όπου εκτελείται η ιατρική διαδικασία. Βέβαια, η εξέλιξη των τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας έχει δημιουργήσει πολλαπλές δυνατότητες στην τηλεεκπαίδευση, αφού η μέχρι πρότινος “παθητική” εκπαίδευση μετατρέπεται τώρα σε ενεργητική με την “εικονική” συμμετοχή των εκπαιδευομένων. Το 1965 ο καρδιοχειρουργός Dr. Michael DeBekay πρωτοστάτησε στο πεδίο της τηλεϊατρικής, όταν μία επέμβαση ανοικτής-καρδιάς για την αντικατάσταση βαλβίδας αορτής την οποία εκτελούσε στο Χιούστον των Η.Π.Α. μεταδόθηκε ζωντανά μέσω δορυφόρου στο προσωπικό της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου της Γενεύης στην Ελβετία. Ο Dr. DeBakey είχε τη δυνατότητα μέσω της δορυφορικής ζεύξης να περιγράφει την εξέλιξη της διαδικασίας αλλά και να απαντά στα ερωτήματα που του έθετε η επιστημονική ομάδα από τη Γενεύη κατά τη διάρκεια της επέμβασης.^[3]

Αν και η τηλεσυνδιάσκεψη και η τηλεεκπαίδευση δεν αποτελούν τηλεϊατρικές εφαρμογές με τον στενό ορισμό που δόθηκε στην αρχή, δηλαδή την χρήση τηλεπικοινωνιών για την παροχή ιατρικών υπηρεσιών από απόσταση, επειδή συχνά χρησιμοποιείται ο ίδιος εξοπλισμός και για την τηλεεκπαίδευση, έχει καθιερωθεί πλέον οι εφαρμογές αυτές να περιλαμβάνονται σε μία ευρύτερη θεώρηση της τηλεϊατρικής.

5.1.1.9 Υποστήριξη διακομιστικών σταθμών

Στον Ελλαδικό χώρο οι υπηρεσίες άμεσης βοήθειας προσφέρονται από το Εθνικό Κέντρο Άμεσης Βοήθειας (ΕΚΑΒ). Οι υπηρεσίες αυτές συνίστανται στην παροχή άμεσης βοήθειας για την αρχική υποστήριξη και αντιμετώπιση των έκτακτων ιατρικών περιστατικών κατά τη μεταφορά των ασθενών σε οργανωμένες μονάδες επείγουσας ιατρικής, όπως είναι π.χ. οι σταθμοί πρώτων βοηθειών, τα εξωτερικά ιατρεία επειγόντων περιστατικών και οι μονάδες εντατικής θεραπείας των νοσηλευτικών ιδρυμάτων κ.λ.π. Τα προβλήματα επείγουσας ιατρικής στην Ελλάδα εντείνονται εξαιτίας της γεωγραφικής ανομοιομορφίας της χώρας (ορεινά χωριά, μεγάλος αριθμός νησιών) και της άνισης κατανομής του πληθυσμού της.

Η ποιότητα της παρεχόμενης περίθαλψης πρώτης φροντίδας στον ασθενή κατά τη διάρκεια της διακομιδής του εξαρτάται πολλές φορές από το ιατρικό ιστορικό αυτού και τις πρωτοβουλίες που λαμβάνει το προσωπικό του διακομιστικού σταθμού. Πολλά ιατρικά περιστατικά απαιτούν περίθαλψη εξειδικευμένης μορφής, επιβάλλοντας έτσι τη συνεργασία περισσότερων της μίας ιατρικών ειδικοτήτων. Για τους λόγους αυτούς έχει διαπιστωθεί η ανάγκη για διασύνδεση σε ένα ενοποιημένο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο των κεντρικών νοσηλευτικών ιδρυμάτων με περιφερειακά νοσοκομεία, κέντρα υγείας, σταθμούς πρώτων βοηθειών και αγροτικά ιατρεία με παράλληλη υποστήριξη των διακομιστικών σταθμών πρώτων βοηθειών (Ε.Κ.Α.Β., ασθενοφόρα) για τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Είναι προφανές ότι η εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών στην ιατρική, και ειδικότερα η τηλεϊατρική, μπορεί να δώσει λύση σε τέτοιου είδους προβλήματα.

5.1.2 Πλεονεκτήματα της τηλεϊατρικής

Η τηλεϊατρική παρουσιάζει διεθνώς μεγάλη ανάπτυξη και εξυπηρετεί τόσο τις ανάγκες μέσα στις ίδιες τις ανεπτυγμένες χώρες όσο και τις ανάγκες των αναπτυσσόμενων χωρών με χώρες που διαθέτουν ήδη εξειδικευμένα ιατρικά κέντρα. Στις Η.Π.Α. λειτουργεί επί του παρόντος ένας μεγάλος αριθμός τηλεϊατρικών συστημάτων που έχει ως στόχο τη μείωση του κόστους παροχής υπηρεσιών υγείας μέσω της εξ'αποστάσεως μαζικής διάγνωσης ιατρικών δεδομένων από εξειδικευμένους ιατρούς. Σημαντική δραστηριότητα, επίσης, έχει αναπτύξει ο αμερικανικός στρατός ο οποίος στον Πόλεμο του Κόλπου αλλά και της Βοσνίας λειτουργούσε ένα εξελιγμένο τηλεϊατρικό σύστημα με υποστήριξη από εξειδικευμένα στρατιωτικά κέντρα των Η.Π.Α.

Η τηλεϊατρική καλείται να διαδραματίσει ακόμα σημαντικότερο ρόλο στο μέλλον, ανεβάζοντας το επίπεδο ιατρικής περίθαλψης και εκμηδενίζοντας τις αποστάσεις και το αίσθημα της αβεβαιότητας. Διαρκώς γίνονται σημαντικά βήματα για την προώθηση καινοτόμων λύσεων σε όλες τις εφαρμογές της τηλεϊατρικής παγκοσμίως. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή της τηλεϊατρικής είναι:

- Πρόσβαση σε ιατρικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τη διεκπεραίωση των ιατρικών πράξεων από απομακρυσμένους χρήστες και δυνατότητες επικοινωνίας για παροχή συμβουλών
- Διάχυση ιατρικής πληροφορίας
- Ευρεία κάλυψη ιατρικών περιστατικών (χαρακτηριστικά αναφέρονται ότι είναι δυνατό να καλυφθούν περιστατικά καρδιολογικά, παιδιατρικά, δερματολογικά, μαιευτικά-γυναικολογικά, ορθοπεδικά, χειρουργικά, γενικής ιατρικής, ψυχιατρικής, χωρίς ο κατάλογος να είναι εξαντλητικός)
- Αναβάθμιση των παρεχόμενων ιατρικών υπηρεσιών σε τοπικό επίπεδο
- Αντιμετώπιση των προβλημάτων οργάνωσης στις απομακρυσμένες και χωρίς πολλούς πόρους μονάδες πρωτοβάθμιας φροντίδας υγείας
- Εκσυγχρονισμός του περιβάλλοντος εργασίας του ιατρικού προσωπικού με χρήση σύγχρονης τεχνολογίας και ευρωπαϊκών προτύπων (π.χ. ηλεκτρονικοί ιατρικοί φάκελοι)
- Αφομοίωση και χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας τηλεματικής από το ιατρικό προσωπικό όλων των βαθμίδων
- Δυνατότητα μελέτης και ανάλυσης ιατρικών δεδομένων από ευρείες γεωγραφικές περιοχές
- Ευρεία γεωγραφική κάλυψη
- Ολική διασφάλιση ποιότητας

- Ουσιαστική μείωση των εξόδων διαχείρισης του συστήματος περίθαλψης μέσω καλύτερου ελέγχου των δαπανών
- Ευφυής διαχείριση ιατρικών πόρων
- Ίσα δικαιώματα πρόσβασης στις υπηρεσίες υγείας για όλους τους πολίτες
- Μείωση του φαινομένου της εσωτερικής μετανάστευσης προς τα μεγάλα αστικά κέντρα για λόγους καλύτερης παροχής ιατρικών υπηρεσιών

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει η τηλεϊατρική αποτελεί η περίπτωση της Ινδίας. Σε ένα αναπτυσσόμενο κράτος όπως είναι η Ινδία, υπάρχει τεράστια ανισότητα σε ό,τι αφορά τη διανομή ιατρικής φροντίδας. Παρόλο που το 75% των Ινδών κατοικούν σε αγροτικές περιοχές, περισσότεροι από το 75% των ιατρών ζουν και εργάζονται στις πόλεις. Οι περισσότεροι από τους 620 εκ. ινδούς αγρότες δεν έχουν πρόσβαση σε εγκαταστάσεις παροχής ιατρικής περίθαλψης. Η φτωχή υποδομή των αγροτικών κέντρων υγείας καθιστά αδύνατη την παραμονή των ιατρών στα χωριά, καθώς αυτοί αισθάνονται ότι αποξενώνονται επαγγελματικά και ότι η επιστημονική τους γνώση σταδιακά απαρχαιώνεται. Μία μελέτη που συντάχθηκε έδειξε ότι το 89% των ασθενών σε αγροτικές περιοχές της Ινδίας πρέπει να ταξιδεύουν περίπου 8 Km για να αποκτήσουν πρόσβαση σε στοιχειώδη ιατρική περίθαλψη, ενώ οι υπόλοιποι ακόμη περισσότερο.

Ξεκινώντας το 2001 με πιλοτικά προγράμματα τηλεϊατρικής, ο Ινδικός Οργανισμός Διαστημικών Ερευνών (Indian Space Research Organisation – ISRO) είχε καταφέρει μέχρι το 2006 να συνδέσει 22 νοσοκομεία σε μεγάλες πόλεις της Ινδίας, με πληθώρα ιατρικών ειδικοτήτων, με 78 μικρότερα νοσοκομεία σε απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές της χώρας μέσω των γεωστατικών δορυφόρων του. Αυτή η πρώιμη επιτυχία στον τομέα της τηλεϊατρικής σε συνδυασμό με τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις στην Ινδία (εξάπλωση καλωδίων οπτικών ινών, αύξηση εύρους ζώνης, αδειοδότηση ιδιωτικών παρόχων υπηρεσιών Internet) έδωσε την ώθηση για την κατασκευή ενός δορυφόρου, του HealthSAT, για την παροχή αποκλειστικά τηλεϊατρικών υπηρεσιών σε ευρύτερη κλίμακα, τόσο στις αγροτικές περιοχές της χώρας όσο και σε άλλες φτωχές χώρες στην Ασία και την Αφρική. Το κόστος του συγκεκριμένου δορυφόρου υπολογιζόταν μόλις στο 1% του προϋπολογισμού της Ινδίας το 2006 για την Υγεία, ενώ ιδιαίτερα μικρό είναι και το κόστος του απαιτούμενου τερματικού εξοπλισμού. Η υπηρεσία αυτή αναμένεται να μειώσει αισθητά ορισμένα άλλα κόστη, όπως είναι για παράδειγμα το κόστος μετακίνησης και διαμονής των ασθενών, το κόστος νοσηλείας κ.λ.π.

Με την πρωτοβουλία του αυτή, ο Ινδικός Οργανισμός Διαστημικών Ερευνών σκοπεύει να συνδέσει μονάδες υγείας διαφορετικών μεταξύ τους τύπων με τα μεγάλα και άρτια εξοπλισμένα νοσοκομεία της χώρας σε μία σειρά από διαδοχικές φάσεις. Άλλωστε στην Ινδία υπάρχουν 650 μικρότερα νοσοκομεία, 3000 νοσοκομειακές μονάδες σε διάφορες υποπεριοχές και περισσότερα από 23.000 στοιχειώδη κέντρα υγείας. Όταν το δίκτυο επεκταθεί αρκετά, ενδεχομένως να συμπεριληφθούν ιδιωτικές μονάδες και νοσοκομεία στην Ασία και την Αφρική. Σε πρώτη φάση, οι εφαρμογές θα περιοριστούν στην τηλεσυμβουλευτική ενώ στο μέλλον ίσως προστεθούν εφαρμογές τηλεχειρουργικής και τηλερομποτικής. Άλλωστε το 99% των περιστατικών δεν απαιτεί κάποιο είδος χειρουργικής επέμβασης.^{[1],[4]}

5.1.2.1 Οφέλη για τον ιατρό

Τα οφέλη που μπορεί να αποκομίσει ένας ιατρός από τη χρήση τηλεϊατρικών συστημάτων είναι:

- Δυνατότητα διάγνωσης από απόσταση για έναν ασθενή που βρίσκεται σε απομακρυσμένη περιοχή
- Άμεση πρόσβαση στο ιατρικό αρχείο του ασθενούς
- Άμεση επικοινωνία με συναδέλφους μέσω δικτύου για ανταλλαγή απόψεων
- Δυνατότητα λήψης από απόσταση της γνώμης ενός εξειδικευμένου συναδέλφου σχετικά με τον εξεταζόμενο ασθενή
- Άμεση πληροφόρηση και ενημέρωση σε νέες πληροφορίες και γνώσεις
- Διευκόλυνση και αναβάθμιση της συνεχιζόμενης εκπαίδευσής του
- Δραστική μείωση του χρόνου επικοινωνίας μεταξύ ιατρών και νοσοκομείων

5.1.2.2 Οφέλη για τον πολίτη

Η τηλεϊατρική προσφέρει στον απλό πολίτη συνεχή και άμεση πρόσβαση στην περίθαλψη. Τα βασικότερα οφέλη γι' αυτόν είναι:

- Άμεση επαφή με τον ιατρό, ακόμη κι όταν ο τελευταίος βρίσκεται μακριά
- Μείωση της φυσικής και γεωγραφικής απομόνωσης των ασθενών (απομακρυσμένες περιοχές, ηλικιωμένοι και ανάπηροι)
- Μείωση του χρόνου καθυστέρησης, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κρίσιμων περιστατικών
- Ταχύτερη ανάρρωση και ουσιαστική μείωση στα έξοδα εξέτασης και μετακίνησης των ασθενών
- Άμεση ενημέρωση για θέματα δημόσιας υγείας, επιδημίες και πρόληψη

5.2 Τηλεχειρουργική

Η ιστορία της τηλεχειρουργικής ξεκινά ουσιαστικά με την ανάπτυξη της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής (MIS), καθώς για πρώτη φορά μέχρι τότε ο χειρουργός αρχίζει να χρησιμοποιεί, αντί για την απευθείας οπτική επαφή με το χειρουργικό πεδίο, ισοδύναμα πληροφορίας (οθόνη βίντεο) και χειρουργικά εργαλεία των οποίων αδυνατεί να δει την άκρη (παρά μόνο στην οθόνη του βίντεο). Το κανάλι επικοινωνίας μεταξύ χειρουργού και χειρουργικού πεδίου παύει να στηρίζεται στις φυσικές αισθήσεις του πρώτου, αλλά αντικαθίσταται από το ψηφιακό κανάλι της λαπαροσκοπικής κάμερας που του παρέχει τώρα την απαιτούμενη πληροφορία και τη δυνατότητα ελέγχου των χειρουργικών του κινήσεων. Με την MIS, ο χειρουργός χάνει την αίσθηση της αφής, το φυσικό συντονισμό όρασης και χεριών και την επιδεξιότητα που του προσέφερε η μέθοδος της ανοικτής χειρουργικής και επαφίεται πια στην ποιότητα της ψηφιακής πληροφορίας που λαμβάνει στην οθόνη και την ανάπτυξη νέων δεξιοτήτων.

Η μεγαλύτερη δυσκολία της MIS για το χειρουργό, και ειδικότερα της τηλεχειρουργικής, είναι η θέση από την οποία καλείται αυτός να χειρουργήσει τον ασθενή. Ενώ στην κλασική χειρουργική το μάτι, το χέρι και το όργανο-στόχος του χειρουργικού πεδίου παραμένουν πάντα στον ίδιο άξονα, στην ελάχιστα επεμβατική μέθοδο ο άξονας αυτός διαταράσσεται και συχνά απουσιάζει εντελώς. Αν αναλογιστεί κανείς ότι στην καθημερινή ζωή οποιαδήποτε πράξη εκτελείται πάντα στον άξονα χέρι-αντικείμενο, είναι εύκολο να αντιληφθεί τις δυσκολίες που συνάντησε η ελάχιστα επεμβατική χειρουργική κατά την εδραίωσή της. Όμως, η υπέρβαση αυτού του εμποδίου είναι που άνοιξε τις θύρες της τηλεχειρουργικής, αφού ο χειρουργός μπορούσε πια να εκτελεί επεμβάσεις χωρίς να έχει άμεση οπτική επαφή με το χειρουργικό πεδίο.

Η τηλεχειρουργική είναι ένας τομέας της τηλεϊατρικής που αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια και παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Το βασικό έρεισμα στην ανάπτυξη της τηλεχειρουργικής είναι η ανάγκη μετάδοσης και διάχυσης των εξειδικευμένων χειρουργικών τεχνικών και γνώσεων διευκολύνοντας την αρτιότερη και αποτελεσματικότερη εκπαίδευση και διάδοση των λαπαροσκοπικών χειρουργικών διαδικασιών. Η ανάπτυξη και κλινική εφαρμογή ρομποτικών συστημάτων όπως είναι τα Zeus και da Vinci επιτρέπει τη χειρουργική επέμβαση στον ασθενή από απόσταση, ωστόσο οι εφαρμογές τους δεν emπίπτουν αμιγώς στο πεδίο της τηλεχειρουργικής, καθώς τελικά ο χειρουργός βρίσκεται στην ίδια χειρουργική αίθουσα με τον ασθενή, ή τουλάχιστον σε τέτοια απόσταση που του επιτρέπεται η διακοπή της λειτουργίας του συστήματος ανά πάσα στιγμή και η συνέχιση της χειρουργικής διαδικασίας από τον ίδιο.

Σήμερα η τηλεχειρουργική μπορεί να νοηθεί ως η αμφίδρομη μετάδοση εικόνας και ήχου που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ χειρουργών μικρής εμπειρίας στα χειρουργεία και χειρουργών μεγαλύτερης εμπειρίας σε απομακρυσμένες περιοχές. Η χρήση ρομποτικών συσκευών επιτρέπει στους απομακρυσμένους χειρουργούς να συμμετέχουν ενεργά στη χειρουργική διαδικασία. Είναι αυτονόητο ότι πέρα από τις αυξημένες τηλεπικοινωνιακές υποδομές που η εφαρμογή αυτή απαιτεί, απαιτείται και πολύ εξειδικευμένο λογισμικό και υλικό ώστε να είναι εφικτή η προσομοίωση, στον απομακρυσμένο σταθμό, της κατάστασης που επικρατεί στο χειρουργείο. Για το σκοπό αυτό, απαιτούνται συνήθως

συστήματα εικονικής πραγματικότητας (virtual reality) που επιτρέπουν στους απομακρυσμένους χειρουργούς να έχουν μία ολοκληρωμένη εικόνα της όλης διαδικασίας.^[1]

5.2.1 Τηλεχειρουργική με ρομπότ

Η τηλεχειρουργική προϋποθέτει τη μεταβίβαση πληροφορίας στο χειρουργό με τέτοιο τρόπο και σε τέτοια έκταση και λεπτομέρεια ώστε αυτός να νοιώθει παρών στο φυσικό περιβάλλον της εκτελούμενης από το ρομποτικό βραχίονα χειρουργικής επέμβασης. Σε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο τηλεχειρουργικής, ο χειρουργός βρίσκεται σε μία ειδική κονσόλα μέσω της οποίας λαμβάνει διαισθητική πληροφορία (εικόνα, ήχο, αίσθηση της αφής), έτσι ώστε να αισθάνεται σαν να ήταν πραγματικά παρών στην ίδια χειρουργική αίθουσα με τον ασθενή. Μεταξύ αυτών των δύο μπορεί να μεσολαβούν από μερικά μέτρα μέχρι μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα ενσύρματου ή ασύρματου δικτύου. Στην πλευρά του ασθενούς βρίσκονται ένας ή περισσότεροι ρομποτικοί βραχίονες, οι οποίοι και εκτελούν τη χειρουργική επέμβαση υπό τις εντολές και τον έλεγχο του χειρουργού.

Η τηλεχειρουργική υπόσχεται δύο σημαντικά πλεονεκτήματα που αποτελούν και τους κινητήριους μοχλούς για την ανάπτυξη της απαραίτητης τεχνολογίας: (α) τη δυνατότητα χειρουργικής παρουσίας σε απομακρυσμένα μέρη και (β) τη δυνατότητα ενίσχυσης της χειρουργικής δεξιάτητας. Η δυνατότητα χειρουργικής παρουσίας στον τόπο μίας φυσικής καταστροφής, στο μέτωπο πολεμικών επιχειρήσεων, σε γεωγραφικά απομονωμένες περιοχές ή ακόμη και στο διάστημα είναι πραγματικά ελκυστική. Το σημαντικότερο ίσως όμως πλεονέκτημα της τηλεχειρουργικής είναι η δυνατότητα να μετατρέπει μία δυσπρόσιτη ανατομική περιοχή του ασθενούς σε ένα εργονομικό χειρουργικό πεδίο και να ενισχύει την ακρίβεια, τη σταθερότητα και την ποιότητα της απτικής αίσθησης, επιτρέποντας έτσι την εκτέλεση μικροχειρουργικών επεμβάσεων από απόσταση.

Χρησιμοποιώντας εξελιγμένο λογισμικό για εφαρμογές τηλεσυνδιάσκεψης, ένας έμπειρος χειρουργός έχει σήμερα τη δυνατότητα να επιτηρεί και να συμβουλεύει από απόσταση άλλους συναδέλφους σε απομακρυσμένες περιοχές, ή ακόμη και να καθοδηγεί τη χειρουργική επέμβαση σαν να ήταν και ο ίδιος μέρος της συνολικής διαδικασίας. Οι πρώτες εγχειρήσεις που εκτελέστηκαν υπό την καθοδήγηση χειρουργού που βρισκόταν σε απόσταση από τον ασθενή και τη χειρουργική αίθουσα (telementoring) πραγματοποιήθηκαν το 1999 στη Σιγκαπούρη σε σύνδεση με το νοσοκομείο John Hopkins στη Βαλτιμόρη των Η.Π.Α

Το συγκεκριμένο νοσοκομείο έχει τηλεκαθοδηγήσει αρκετές επεμβάσεις σε διάφορα μέρη του κόσμου, μεταξύ των οποίων είναι η Ταϊλάνδη, η Αυστρία, η Ιταλία και η Σιγκαπούρη. Η τηλεκαθοδήγηση των χειρουργικών αυτών επεμβάσεων βασίστηκε σε μία πλατφόρμα τηλεσυνδιάσκεψης που περιελάμβανε ήχο και βίντεο σε πραγματικό χρόνο και έλεγχο από απόσταση ενός ρομποτικού βραχίονα AESOP 1000TS για χρήση της λαπαροσκοπικής κάμερας και ενός ηλεκτροκαυτήρα σε καθεμία από τις απομακρυσμένες περιοχές. Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε μέσω τριών ψηφιακών γραμμών ISDN με ρυθμό μετάδοσης 384 Kbps/sec, ενώ ο έλεγχος του ρομποτικού βραχίονα μέσω μίας ξεχωριστής αναλογικής γραμμής (POTS) στα 9600 baud. Μία δεύτερη αναλογική γραμμή στα 28.8 Kbps χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του ηλεκτροκαυτήρα. Ο χειρουργός στη Βαλτιμόρη είχε ανά πάσα στιγμή τη δυνατότητα να διακόψει τη λειτουργία του ρομποτικού συστήματος με ένα πεντάλ ελέγχου.

Οι χειρουργικές επεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν περιελάμβαναν εκτομές κίρσοκλήλης, νεφρεκτομές, επινεφριδεκτομές και χολοκυστεκτομές και εκτελέστηκαν με τηλεκαθοδήγηση από απόσταση 7200 Km έως και 17600 Km, ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρισκόταν ο εκάστοτε ασθενής. Όλες οι επεμβάσεις ολοκληρώθηκαν με επιτυχία, χωρίς επιπλοκές για τους ασθενείς ή δυσλειτουργίες του συστήματος. Ο χρόνος καθυστέρησης του σήματος, από τη Βαλτιμόρη στην απομακρυσμένη χειρουργική αίθουσα και πάλι πίσω, δεν είχε αισθητή επίπτωση στις επεμβάσεις με τηλεκαθοδήγηση. Αν και η μέση όμως καθυστέρηση ήταν περίπου 500 msec για τις χώρες της Άπω Ανατολής και 280 msec για τις ευρωπαϊκές περιοχές, ο χρόνος ήταν αρκετά μεγάλος (μεγαλύτερος από 200 msec) για να επιτρέψει μία αμιγώς τηλεχειρουργική επέμβαση.^[5]

5.2.2 Επέμβαση Lindbergh

Στις 7 Σεπτεμβρίου του 2001 το σύστημα τηλεσυνεργασίας SOCRATES σε συνδυασμό με το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα Zeus έμεινε στην ιστορία αφού έκανε πραγματικότητα την πρώτη αμιγώς τηλεχειρουργική επέμβαση. Μία τροποποιημένη έκδοση του συγκεκριμένου συστήματος, το Zeus TS, χρησιμοποιήθηκε σε μία υπερατλαντική χειρουργική επέμβαση χολοκυστεκτομής σε μία 68χρονη ασθενή από τον Dr. Jacques Marescaux του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεχειρουργικής (European Institute of Telesurgery – EITS) στο Στρασβούργο και τον και Dr. Michel Gagner του Ιατρικού Κέντρου “Mount Sinai” στη Νέα Υόρκη. Η ίδια επέμβαση είχε ήδη εκτελεστεί πειραματικά σε έξι χοίρους. Το ρομποτικό σύστημα και η ασθενής βρίσκονταν σε μία χειρουργική αίθουσα στο Στρασβούργο της Γαλλίας ενώ ο χειρουργός και η κονσόλα ελέγχου περίπου 7000 Km μακριά, σε ένα ψηλό κτίριο της Νέας Υόρκης στις Η.Π.Α. Δίπλα στην ασθενή βρισκόταν μία ομάδα χειρουργών για λόγους ασφάλειας.

Στις περιπτώσεις αυτές, η καθυστέρηση του σήματος λόγω της μεγάλης απόστασης, από την ώρα που ο χειρουργός κινεί τα χέρια του μέχρι τη στιγμή που ο βραχίονας εκτελεί την κίνηση και η εκόνα αυτή προβάλλεται πίσω στην οθόνη του χειρουργού, αποτελεί ιδιαίτερα κρίσιμο παράγοντα. Ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στην κίνηση των χεριών του χειρουργού και την κίνηση των τελικών στοιχείων δράσης του ρομποτικού συστήματος (χειρουργικών εργαλείων) μπορεί να γίνει τόσο μεγάλος εξαιτίας της καθυστέρησης του μεταδιδόμενου σήματος που ο ιστός θα μπορούσε εν τω μεταξύ να κινηθεί και ο χειρουργός να κόψει λάθος σημείο του.

Εξαιτίας της καθυστέρησης αυτής, πιστευόταν αρχικά ότι μία επέμβαση τηλεχειρουργικής με τη βοήθεια επίγειων επικοινωνιών θα ήταν εφικτή σε μερικές μόνο εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά. Ακόμη και οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι, οι οποίοι εισάγουν μία καθυστέρηση 1.5 sec περίπου, θεωρούνται ακατάλληλοι για την εκτέλεση τέτοιων επεμβάσεων. Οι Marescaux και Gagner υπολόγισαν ότι μία ασφαλή χειρουργική επέμβαση από μεγάλη απόσταση απαιτούσε μία μέγιστη καθυστέρηση 300 msec περίπου. Εντούτοις, κατάφεραν να εκτελέσουν τη χειρουργική επέμβαση με μέση καθυστέρηση της τάξης των 155 msec πάνω στις υπερωκεάνιες αποστάσεις. Για την εκτέλεση της επέμβασης επιλέχθηκε η χρήση μίας επίγειας σύνδεσης ATM οπτικής ίνας λόγω του υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων (10 Mb/s) και της ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας. Ο χρόνος προετοιμασίας του ρομποτικού συστήματος διήρκησε 16 min και η χοληδόχος κύστη αφαιρέθηκε μέσα σε 54 min. Η ασθενής παρέμεινε στο νοσοκομείο για 48 ώρες – τυπικός χρόνος για μία λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή – και ανάρρωσε πλήρως χωρίς παρενέργειες. Η χειρουργική αυτή επέμβαση ονομάστηκε *επέμβαση Lindbergh*, προς τιμή του Charles Lindbergh που πραγματοποίησε την πρώτη υπερατλαντική πτήση από τη Νέα Υόρκη στο Παρίσι το 1927.^[6]



Εικ. 5.6: Η επέμβαση Lindbergh σε εξέλιξη

Η επέμβαση Lindbergh άνοιξε το δρόμο για διάφορες εφαρμογές της τηλεχειρουργικής τεχνολογίας. Στις 28 Φεβρουαρίου του 2003 πραγματοποιήθηκε στο Οντάριο του Καναδά η πρώτη τηλερομποτικά υποβοηθούμενη χειρουργική επέμβαση από νοσοκομείο σε νοσοκομείο, η απόσταση μεταξύ των οποίων ήταν περίπου 400 χιλιόμετρα. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης αυτή, δύο χειρουργοί συνεργάστηκαν από απόσταση για να εκτελέσουν μία θολοπλαστική κατά Nissen. Ο ένας από αυτούς βρισκόταν δίπλα στον ασθενή και ο άλλος χειριζόταν το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα από το άλλο νοσοκομείο.

Ένα τέτοιο σενάριο θα μπορούσε μελλοντικά να επιτρέπει στους χειρουργούς στις αγροτικές κυρίως περιοχές να λαμβάνουν εξειδικευμένη βοήθεια κατά τη διάρκεια ελάχιστα επεμβατικών εγχειρήσεων. Άλλες εν δυνάμει εφαρμογές της τηλεχειρουργικής περιλαμβάνουν:

- την εκπαίδευση νέων χειρουργών
- την παροχή βοήθειας και εκπαίδευσης σε χειρουργούς των απομακρυσμένων περιοχών και των αναπτυσσόμενων χωρών
- την παροχή φροντίδας και ιατρικής περίθαλψης σε στρατιώτες στο πεδίο της μάχης ή σε μέλη ερευνητικών αποστολών σε απομονωμένες περιοχές
- την εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων στο διάστημα
- τη συνεργασία χειρουργών από όλον τον κόσμο κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων
- τη μεταφορά φροντίδας υγείας σε περιοχές με υποβαθμισμένη ιατρική περίθαλψη, περιορίζοντας έτσι τη μετακίνηση των ασθενών^[7]

5.2.3 Περιορισμοί της τηλεχειρουργικής με ρομπότ

Η τηλεχειρουργική, όπως και όλες οι εφαρμογές τηλεϊατρικής γενικότερα, στηρίζεται σε μεγάλο ποσοστό στη μεταβίβαση πληροφοριών μεταξύ δύο τοποθεσιών. Όσο η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών τοποθεσιών αυξάνεται τόσο πιο μεγάλη και πιο αντιληπτή γίνεται η χρονική καθυστέρηση που εισάγεται. Αυτό αυξάνει το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της δράσης και του αποτελέσματος και μετά από ένα σημείο καθιστά αδύνατη τη χειρουργική επέμβαση σε πραγματικό χρόνο. Αν και θεωρητικά η επιμήκυνση του κυκλώματος, από μερικά μέτρα μέχρι μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, ανάμεσα στην κονσόλα του χειρουργού και του χειρουργικού τραπέζιού του ασθενούς ακούγεται εφικτή, στην πραγματικότητα κάτι τέτοιο δεν είναι εύκολο.

Η χρονική καθυστέρηση όμως δεν είναι συνάρτηση μόνο της απόστασης, αλλά επίσης του χρησιμοποιούμενου υλικού (hardware) και του εύρους ζώνης (bandwidth). Αν το προς μετάδοση σήμα παράγεται αρχικά σε αναλογική μορφή, τότε αυτό θα πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε ψηφιακή και στη συνέχεια να κωδικοποιηθεί και να συμπιεστεί για να μεταδοθεί. Η αντίστροφη διαδικασία θα πρέπει να γίνει στην άλλη μεριά της τηλεπικοινωνιακής ζεύξης. Τα ηλεκτρονικά συστήματα που χρησιμοποιούνται όμως (μετατροπείς A/D, κωδικοποιητές/αποκωδικοποιητές κ.λ.π.) επεξεργάζονται τα δεδομένα με έναν συγκεκριμένο ρυθμό, εισάγοντας έτσι και αυτά με τη σειρά τους μία επιπλέον χρονική καθυστέρηση, τον χρόνο επεξεργασίας. Με την πάροδο του χρόνου, εντούτοις, εμφανίζονται αποδοτικότερα και πιο γρήγορα συστήματα υπολογιστών και επεξεργασίας βίντεο. Είναι αυτονόητο επίσης ότι όσο το κόστος του εύρους ζώνης θα μειώνεται με την ανάπτυξη των ψηφιακών επικοινωνιών η διαθεσιμότητά του θα αυξάνεται, με αποτέλεσμα την μείωση της χρονικής καθυστέρησης.

Ο χρόνος καθυστέρησης του σήματος αποτελεί ιδιαίτερα κρίσιμο παράγοντα για την ασφαλή και ομαλή εκτέλεση της επέμβασης από απόσταση. Ο χρόνος αυτός πρέπει να είναι τόσο μικρός ώστε ο χειρουργός να αισθάνεται ότι χειρουργεί σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει πως η εικόνα που λαμβάνει στην οθόνη του θα πρέπει να δείχνει αυτό που πραγματικά εκτελούν εκείνη τη στιγμή οι ρομποτικοί βραχίονες του συστήματος και κατ'επέκταση τα χέρια του. Η αποδεκτή καθυστέρηση, η μέγιστη δηλαδή καθυστέρηση που αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος εγκέφαλος, είναι μόλις 10 msec. Μετά από ειδική εκπαίδευση, στην οποία υποβάλλονται και οι αστροναύτες της NASA, ο χειρισμός εργαλείων από απόσταση μπορεί να γίνει με σχετική ασφάλεια ακόμη και με μία καθυστέρηση των 100 msec. Οποιαδήποτε όμως καθυστέρηση μεγαλύτερη των 200 msec θα καθιστούσε απαγορευτική, αδύνατη και εξαιρετικά επικίνδυνη, μία τέτοια προσπάθεια.

Με βάση λοιπόν αυτή την παραδοχή, το μήκος του κυκλώματος που μεσολαβεί μεταξύ κονσόλας και χειρουργικού πεδίου πρέπει να είναι τέτοιο ώστε η συνολική καθυστέρηση του σήματος που λαμβάνει ο χειρουργός στην οθόνη του να μην ξεπερνά τα 200 msec. Αυτός είναι άλλωστε και ο βασικότερος λόγος για τον οποίο δεν έχουν επιλυθεί ακόμη τα τεχνικά προβλήματα για την εκτέλεση επεμβάσεων σε πλοία που ταξιδεύουν στον ωκεανό ή ακόμη και στο διάστημα. Αν και έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, π.χ. χρήση ευρυζωνικών συνδέσεων ή ζεύξεις

μέσω δορυφόρων χαμηλής τροχιάς, ελάχιστες ολοκληρωμένες επεμβάσεις τηλεχειρουργικής έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς και μέσα σε αυστηρά πλαίσια.

Αντίθετα, εφαρμογές στις οποίες ο ευρισκόμενος σε απόσταση έμπειρος χειρουργός δε χειρίζεται χειρουργικά εργαλεία με άμεσο τρόπο, αλλά καθοδηγεί και εποπτεύει τον χειρουργό δίπλα στον ασθενή, έχουν ήδη πραγματοποιηθεί με επιτυχία.^[5] Η ευφορία που προκάλεσαν οι επιτυχημένες αυτές προσπάθειες ήταν μεγάλη, στην πραγματικότητα όμως ανέδειξαν την παντελή απουσία ρυθμιστικής νομοθεσίας και έθεσαν πλήθος ερωτημάτων γύρω από την ασφάλεια, την αστική ευθύνη, την άδεια άσκησης χειρουργικής από απόσταση, την ευθύνη των τηλεπικοινωνιακών παρόχων και γενικότερα οριοθέτησαν ένα πλαίσιο προβληματισμού για τη διατύπωση αυστηρών οδηγιών και προϋποθέσεων για την εκτέλεση τηλεχειρουργικών επεμβάσεων. Η Διεύθυνση Τροφίμων και Φαρμάκων των Η.Π.Α. επέτρεψε, για παράδειγμα, να εκτελεστεί η επέμβαση Lindbergh (από Γάλλους χειρουργούς σε Γαλλίδα ασθενή) τηλεχειρουργικά από τη Νέα Υόρκη με την προϋπόθεση ότι η γαλλική κυβέρνηση θα αναλάμβανε πλήρως την ευθύνη. Στην αντίθετη περίπτωση, η επίλυση όλων των απαραίτητων νομικών θεμάτων για χρήση του ρομποτικού συστήματος από τις Ηνωμένες Πολιτείες θα αποδεικνυόταν μία ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία.^[8]

Το υψηλό κόστος των συστημάτων τηλεχειρουργικής είναι μία λογική αιτία για προβληματισμό. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το κόστος της επέμβασης Lindbergh ανήλθε κατά προσέγγιση στο ένα εκατομμύριο δολάρια. Τα σύγχρονα συστήματα τηλεχειρουργικής τα οποία βρίσκονται σήμερα υπό δοκιμές ενσωματώνουν ένα σημαντικό αριθμό νέων τεχνολογιών, καθιστώντας για το λόγο αυτό σχετικά δύσκολο τον υπολογισμό του κόστους των μελλοντικών επεμβάσεων αυτού του είδους. Εντούτοις, σύμφωνα με κάποιους ενδεικτικούς υπολογισμούς που έχουν γίνει, η χρήση του συστήματος da Vinci σε μία τηλεχειρουργική επέμβαση ριζικής προστατεκτομής θα απαιτούσε μία αρχική επένδυση 800.000 δολλαρίων και ένα επιπλέον κόστος συντήρησης 100.000 δολλαρίων το χρόνο περίπου. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους κάθε επέμβασης κατά 1.500 με 2.000 δολάρια.^[9]

Η αξιοπιστία, το κόστος και η διαθεσιμότητα των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αποτελούν επίσης ιδιαίτερα κρίσιμους παράγοντες που περιορίζουν τη χρήση των συστημάτων τηλεχειρουργικής σε ευρεία κλίμακα. Παρόλο που ένα επίγειο “δίκτυο κορμού” οπτικών ινών (ATM) υψηλής ταχύτητας είναι διαθέσιμο σε πάνω από 200 χώρες, πολλά νοσοκομεία σήμερα δεν είναι εξοπλισμένα με τη σχετική τεχνολογία. Επιπλέον, το ετήσιο κόστος για τη διαθεσιμότητα επίγειων γραμμών υψηλών ταχυτήτων από σημείο-σε-σημείο είναι υψηλό και εξαρτάται άμεσα από τις περιοχές που εμπλέκονται στην τηλεπικοινωνιακή ζεύξη για την εκτέλεση της επέμβασης (όταν πραγματοποιήθηκε η επέμβαση Lindbergh το ετήσιο κόστος για τη διάθεση γραμμών ATM ανερχόταν σε 100.000-200.000 δολάρια). Το κόστος, εντούτοις, των τηλεπικοινωνιών συνήθως μειώνεται με την πάροδο του χρόνου.^[6]

5.3 Χειρουργική επιμόρφωση και κατάρτιση

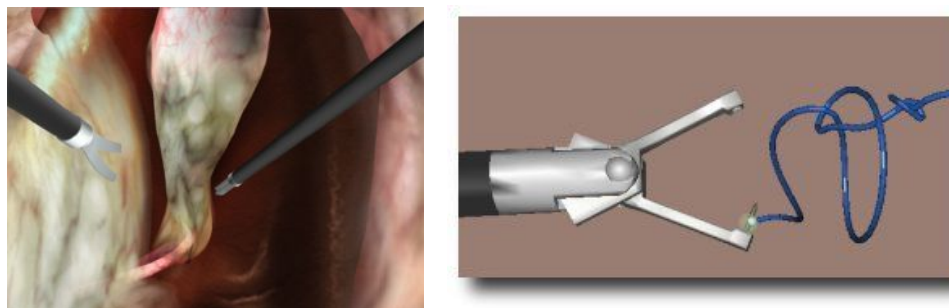
Τα ρομπότ βρίσκουν επίσης σημαντική εφαρμογή στην κατάρτιση και επιμόρφωση των χειρουργών μέσω προσομοιώσεων όλων των επεμβάσεων που μπορούν να γίνουν με αυτά. Με τη βοήθεια υπολογιστικών μοντέλων που αναπαριστούν την αλληλεπίδραση μεταξύ χειρουργικού εργαλείου και ανθρώπινων ιστών (ανατροφοδότηση δύναμης), οι χειρουργοί μπορούν να χρησιμοποιούν τα χειρουργικά ρομπότ για να κάνουν εξάσκηση σε επεμβάσεις μέσω τρισδιάστατων οπτικών προσομοιώσεων εικονικής πραγματικότητας. Στα συστήματα αυτά, ο χρήστης χειρίζεται τις λαβές των χειρουργικών εργαλείων που είναι συνδεδεμένα στα ειδικά κατασκευασμένα ρομποτικά χειριστήρια. Ένας υπολογιστής αντιλαμβάνεται τις κινήσεις που πραγματοποιούνται από το χρήστη και διατάζει το ρομπότ να εφαρμόσει τις δυνάμεις που θα είχαν προκύψει από την επαφή των χειρουργικών εργαλείων με τον πραγματικό ιστό. Ο υπολογιστής παράγει επίσης εικόνες από το εικονικό χειρουργικό πεδίο.

Συστήματα έχουν αναπτυχθεί για πολλές διαδικασίες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η αρθροσκοπική χειρουργική επέμβαση γόνατος, η σαλπγγική αναστόμωση και διάφορες άλλες. Αυτά τα συστήματα εικονικού περιβάλλοντος (virtual environment systems) προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα. Οι δαπάνες μπορούν να μειωθούν σε σχέση με τη μέχρι τώρα εξάσκηση σε ανθρώπινα πτώματα ή ζώα, καθώς αυτή μπορεί πλέον να γίνεται σε εικονικά αντικείμενα που εξομοιώνουν μέρη της ανατομίας του ανθρώπου. Υπάρχουν μικρότεροι περιορισμοί ως προς το χρόνο και την απόδοση σε

σύγκριση με τη συμβατική χειρουργική κατάρτιση που βασίζεται σε ασθενείς. Για πάνω από έναν αιώνα οι εκπαιδευόμενοι χειρουργοί αποκτούσαν πείρα μέσω επιβλεπόμενων επεμβάσεων σε πραγματικούς ασθενείς. Αυτή η προσέγγιση όμως καθιστά τη χειρουργική επιμόρφωση ολοκληρωτικά εξαρτώμενη από τον αριθμό των περιστατικών, παρατείνοντας έτσι τη διαδικασία κατάρτισης, ενώ παράλληλα εκθέτει και τους ασθενείς σε κίνδυνο.

Τα σύγχρονα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα αναμένεται να ενισχύσουν την καμπύλη εκμάθησης, επιτρέποντας στους εκπαιδευόμενους χειρουργούς να αποκτούν σημαντικές δεξιότητες σε σύντομο χρονικό διάστημα χωρίς να τίθεται θέμα για την ασφάλεια των ασθενών. Επειδή αυτά τα συστήματα καταγράφουν όλες τις ενέργειες κατά τη διάρκεια μίας διαδικασίας, οι εκπαιδευόμενοι μπορούν αργότερα να ανατρέξουν στα συλλεγόμενα στοιχεία για να αναλύσουν την τεχνική ενώ οι εκπαιδευτές με τη σειρά τους μπορούν να αξιολογήσουν το επίπεδο κατάρτισης και προόδου των πρώτων. Οι χειρουργοί μπορούν επίσης να πειραματιστούν πάνω σε νέες τεχνικές, ενώ με την ενσωμάτωση προεγχειρητικών στοιχείων (π.χ. εικόνες από τομογράφο) να προετοιμάσουν συγκεκριμένες για κάθε ασθενή διαδικασίες.

Ο τομέας των προσομοιώσεων, βέβαια, με εφαρμογές στη χειρουργική βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης. Ρομποτικά συστήματα που ενσωματώνουν αλληλεπίδραση επαφής (haptic interface) ικανά να αναπαράγουν ρεαλιστική αίσθηση της αφής είναι διαθέσιμα εδώ και μία δεκαετία. Η μοντελοποίηση των ανθρώπινων ιστών όμως παραμένει ένα άλυτο πρόβλημα. Για να αποφασίζει κάθε στιγμή τη σωστή δύναμη ανατροφοδότησης ως απόκριση στις κινήσεις του χρήστη, το σύστημα πρέπει να είναι ικανό να υπολογίζει την παραμόρφωση του πρότυπου ιστού σε πραγματικό χρόνο. Οι τεχνικές μοντελοποίησης που βασίζονται στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων έχουν αποδειχθεί πολύ αργές για χρήση σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, δεν έχουν μετρηθεί οι μηχανικές ιδιότητες πολλών από τους ανθρώπινους ιστούς που μας ενδιαφέρουν. Ένα ακόμη πρόβλημα είναι η δημιουργία συγκεκριμένων για κάθε ασθενή μοντέλων (patient-specific models) από δεδομένα τρισδιάστατων εικόνων (3D image data).^[10]



Εικ. 5.7: Χειρουργική εκπαίδευση με τη βοήθεια εικονικών μοντέλων προσομοίωσης

Η ενεργή παρέμβαση από απομακρυσμένες περιοχές, πέρα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει για τον ασθενή, ανοίγει νέους δρόμους και για τη χειρουργική εκπαίδευση. Ο αντικειμενικός σκοπός της εκτέλεσης επεμβάσεων από απόσταση δεν είναι στην πραγματικότητα η αντικατάσταση των χειρουργών, αλλά η βελτίωση της χειρουργικής μέσω της διδασκαλίας και της εκπαίδευσης έτσι ώστε να μειωθεί η καμπύλη εκμάθησης των χειρουργών στις νέες χειρουργικές τεχνικές. Η βοήθεια ενός ειδικού μπορεί να εκτείνεται από την απλή καθοδήγηση των χειρουργών δίπλα στο κρεβάτι του ασθενούς μέχρι την ολοκληρωμένη εκτέλεση της επέμβασης. Έχει υπολογιστεί ότι 44.000 με 98.000 θάνατοι ετησίως οφείλονται σε λάθη κατά τη χορήγηση ιατρικής φροντίδας στα νοσοκομεία, και ότι ένα ποσοστό 54% των χειρουργικών λαθών θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί. Με την απευθείας παρέμβαση ενός ειδικού, η τηλεχειρουργική ενδέχεται να περιορίσει τα σφάλματα που οφείλονται στην έλλειψη εμπειρίας^[6] ή που σχετίζονται με την αρχική φάση της καμπύλης εκμάθησης των νέων χειρουργικών τεχνικών.^[6]

Οι ειδικευόμενοι χειρουργοί εκτελούν τυπικά 20 με 50 επεμβάσεις, ενώ βρίσκονται ακόμη στη διαδικασία εκμάθησης, εκθέτοντας έτσι τους ασθενείς σε κάποιο κίνδυνο. Αν ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι οι χειρουργικές τεχνικές αλλάζουν κάθε δύο χρόνια περίπου, τότε γίνεται προφανές ότι οι νέοι χειρουργοί έχουν ανάγκη από την επίβλεψη των ειδικών στη δουλειά. Μέσω της τηλεχειρουργικής ένας ειδικός μπορεί να διδάσκει τις νέες ενδοσκοπικές τεχνικές σε ειδικευόμενους ιατρούς πολύ πιο αποτελεσματικά απ'ότι σε ένα κλασικό διήμερο σεμινάριο. Ο Dr. Louis Kanoussi, καθηγητής στην Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου John Hopkins στη Βαλτιμόρη των Η.Π.Α, χρησιμοποιεί εδώ και μερικά χρόνια ψηφιακές τηλεφωνικές γραμμές, δύο κάμερες, εικόνες από ακτινογραφίες και το ρομπότ στη χειρουργική αίθουσα της σχολής για την εκπαίδευση χειρουργών από απόσταση σε νέες τεχνικές, χωρίς να έχει πλέον την ανάγκη συνεχούς μετακίνησης από περιοχή σε περιοχή.^[8]



Εικ. 5.8: Χειρουργική εκπαίδευση από απόσταση

5.4 Εικονική Πραγματικότητα και Ιατρική

Η προσομείωση και η δημιουργία μοντέλων στον υπολογιστή έχουν αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία σε πολλά επιστημονικά και τεχνολογικά πεδία κυρίως λόγω της αυξανόμενης υπολογιστικής ισχύος. Ο υπολογισμός της συμπεριφοράς των υπολογιστικών αυτών μοντέλων αντικαθιστά με αυξανόμενο ρυθμό τα πειράματα που εκτελούνται σε αντικείμενα του πραγματικού κόσμου και καθίσταται ένα απαραίτητο εργαλείο για την ανάπτυξη νέων προϊόντων και διαδικασιών. Στη βιομηχανία αυτοκινήτων, για παράδειγμα, πραγματοποιούνται έλεγχοι ασφάλειας με προσομοιώσεις κρούσεων των οχημάτων, ενώ προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται και κατά τη διαδικασία σχεδίασης και ανάπτυξης αεροσκαφών, πυρηνικών όπλων κ.ά.

Παρόμοια, η ανάπτυξη τεχνικών απόκτησης δεδομένων (π.χ. ιατρική απεικόνιση) έχει δώσει τη δυνατότητα αναπαραγωγής αντιγράφων υψηλής ανάλυσης αντικειμένων του πραγματικού κόσμου από τη μνήμη του υπολογιστή. Η ανάπτυξη τεχνολογιών ιατρικής απεικόνισης, όπως είναι η αξονική και η μαγνητική τομογραφία, η απεικόνιση υπερήχων κ.λ.π., έχει καταστήσει την ανάκτηση λεπτομερών ανατομικών και μερικώς λειτουργικών μοντέλων της τρισδιάστατης ανατομίας του ανθρώπινου σώματος μία διαδικασία ρουτίνας της καθημερινής κλινικής πρακτικής. Για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα η εξέταση και η αλληλεπίδραση με τέτοιου είδους υπολογιστικά μοντέλα αποτελούσε αποκλειστικό προνόμιο των ειδικών, οι οποίοι είχαν την ικανότητα να κατανοούν την περιορισμένη αναπαράσταση των δεδομένων που προσέφεραν τα προγράμματα του υπολογιστή. Στην περίπτωση της ιατρικής απεικόνισης, η νοερή ανακατασκευή τρισδιάστατων ανατομικών αντικειμένων από εικόνες εγκάρσιων τομών, όπως συνήθως παρουσιάζονται στην οθόνη του υπολογιστή ή του συστήματος προβολής (light box) ενός ακτινολόγου για παράδειγμα, δεν περιλαμβάνεται στις φυσικές ικανότητες

αντίληψης ενός ανθρώπου. Στην περίπτωση των ακτινολόγων απαιτείται εντατική εκπαίδευση και εκτεταμένη εμπειρία για κάτι τέτοιο.

Η εικονική πραγματικότητα (ΕΠ) έχει ως βέλτιστο σκοπό να επιτρέψει την παρουσίαση εικονικών αντικειμένων σε όλες τις ανθρώπινες αισθήσεις με έναν τρόπο ταυτόσημο με τον αντίστοιχο φυσικό. Η ιατρική και ο τομέας των ηλεκτρονικών παιχνιδιών αποτελούν τα δύο πιο σημαντικά πεδία εφαρμογής της εικονικής πραγματικότητας. Η εφαρμογή της στην ιατρική, ειδικότερα, υποκινήθηκε αρχικά από την ανάγκη του ιατρικού προσωπικού να απεικονίζει με ρεαλιστικό τρόπο έναν μεγάλο όγκο πολύπλοκων ιατρικών δεδομένων που απαιτούνται ή παράγονται κατά τη διάρκεια διαδικασιών όπως ο σχεδιασμός χειρουργικών επεμβάσεων, η ιατρική εκπαίδευση κ.ά. Πιο πρόσφατα, το πεδίο εφαρμογών της ΕΠ στην ιατρική διευρύνθηκε ώστε να συμπεριλάβει τη φυσική και ψυχιατρική αποκατάσταση και σε μικρότερη έκταση τη διάγνωση.^{[11],[12]}

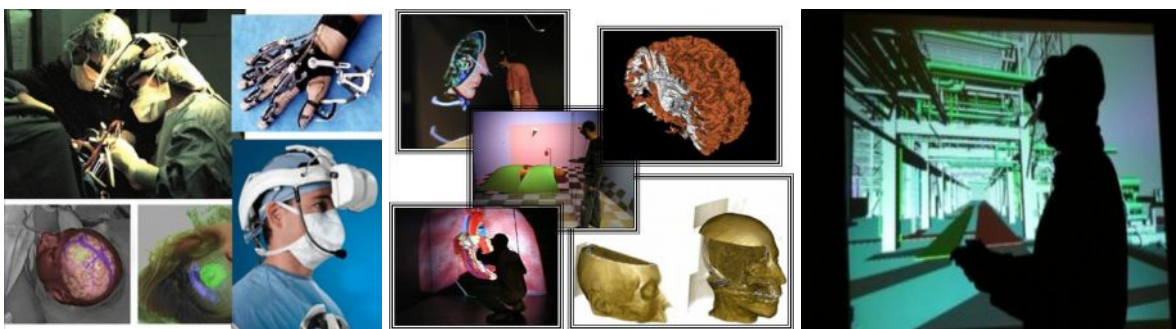
5.4.1 Τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας

Η εικονική πραγματικότητα είναι μία τεχνολογία χάρις στην οποία επιτυγχάνεται η διεπαφή του χρήστη με ένα υπολογιστικό σύστημα (human-computer interface) που είναι διαφορετική από την κλασική διεπαφή μέσω του πληκτρολογίου ή του ποντικιού. Στην ΕΠ ο χρήστης καλείται να αλληλεπιδράσει με ένα σύστημα υπολογιστών εκτελώντας ενέργειες και κινήσεις όπως αυτές που εκτελεί με τις καθημερινές του δραστηριότητες στο πραγματικό του περιβάλλον. Αυτό ακριβώς το γεγονός, δηλαδή ότι η αλληλεπίδραση με τον υπολογιστή γίνεται με φυσιολογικό και ενστικτώδη τρόπο σε πραγματικό χρόνο μέσα σε ένα περιβάλλον που μιμείται ουσιαστικά την πραγματικότητα, αποτελεί τη μεγάλη συνεισφορά της εικονικής πραγματικότητας.

Τη βάση της ιδέας για την ΕΠ αποτελεί το γεγονός ότι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής μπορεί να συνθέσει ένα τρισδιάστατο γραφικό περιβάλλον από αριθμητικά δεδομένα. Ο υπολογιστής δεν αποτελεί πλέον μόνο μία μηχανή υπολογισμών, αλλά και ένα σύστημα απεικόνισης πληροφοριών, όπου οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτού και του ανθρώπου συμβαίνουν σε ένα τρισδιάστατο, εικονικό περιβάλλον. Η ραγδαία εξέλιξη στην τεχνολογία των GUIs (Graphical User Interfaces) οδήγησε σε εφαρμογές όπου ο χρήστης ξεπερνά το νοητό όριο της οθόνης και βιώνει την ψευδαίσθηση ότι αλληλεπιδρά με τον υπολογιστή μέσω του τεχνητού αυτού περιβάλλοντος.

Η δημιουργία μίας τέτοιας τεχνητής πραγματικότητας επιτυγχάνεται με την τροφοδότηση των αισθητηρίων οργάνων του χρήστη με οπτικές, ακουστικές και απτικές πληροφορίες μέσω ανάλογων συσκευών. Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες αυτές ο χρήστης μπορεί να αισθάνεται το τεχνητό αυτό περιβάλλον σαν να αποτελούσε μέρος του πραγματικού κόσμου. Αυτό το παραγόμενο από υπολογιστή περιβάλλον μπορεί να είναι ένα μοντέλο αντικειμένου του πραγματικού κόσμου (π.χ. ένα σπίτι), ένας αφηρημένος κόσμος ο οποίος δεν υπάρχει μεν στην πραγματικότητα αλλά γίνεται αντιληπτός από τους ανθρώπους (π.χ. ένα χημικό μόριο ή η αναπαράσταση ενός συνόλου δεδομένων), ή ακόμη και ένας εντελώς νέος κόσμος, προϊόν της επιστημονικής φαντασίας.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας της ΕΠ ξεκίνησε ουσιαστικά με τη σταδιακή εισαγωγή των τρισδιάστατων γραφικών σε διάφορες εφαρμογές αρκετές δεκαετίες πριν. Ο πρωταρχικός σκοπός της είναι η παραγωγή εικόνων με εικονικά αντικείμενα ή ολοκληρωμένες σκηνές (scenes) με ένα σχεδόν φωτορεαλιστικό τρόπο. Δύο βασικά στοιχεία απαιτούνται για την επίτευξη αυτού του στόχου, κατάλληλοι αλγόριθμοι για τον υπολογισμό του οπτικού αποτελέσματος της εικονικής σκηνής (rendering) και κατάλληλες συσκευές για την παρουσίαση του αποτελέσματος αυτού στο χρήστη (συνήθως οθόνες γραφικών). Κατά συνέπεια, ένα σύστημα ΕΠ είναι ο συνδυασμός υλικού και λογισμικού που παρέχει στους προγραμματιστές τη δυνατότητα να δημιουργούν εφαρμογές ΕΠ. Τα μέρη του υλικού λαμβάνουν ως είσοδο τις αντιδράσεις και τις κινήσεις του χρήστη μέσω ειδικών συσκευών ελεγχόμενων από αυτόν και μεταβιβάζουν πολυαισθητήρια έξοδο για τη δημιουργία της αίσθησης ενός εικονικού κόσμου. Το λογισμικό του συστήματος διαχειρίζεται το υλικό και είναι αυτό που μαζί με μία εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας (VR application) δημιουργούν τον ανάλογο εικονικό κόσμο.



Εικ. 5.9: Τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας

Για την επίτευξη του rendering έχει αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες μία αρκετά μεγάλη συλλογή μεθόδων. Όλες προσομοιώνουν στην ουσία την αλληλεπίδραση του φωτός με την εκάστοτε γεωμετρία των εικονικών αντικειμένων, οπότε δημιουργείται ανάλογα είτε αναπαράσταση με συλλογές από επιφάνειες (surface rendering), είτε με ογκομετρικά μοντέλα (volume rendering). Για την απόδοση μεγάλων αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο έχουν ήδη αναπτυχθεί διάφορες εξειδικευμένες μονάδες επιτάχυνσης γραφικών, οι οποίες είναι εμπορικά διαθέσιμες ακόμη και για προσωπικούς υπολογιστές. Το επίπεδο του ρεαλισμού μπορεί να βελτιωθεί αισθητά με τη χρήση διάφορων τεχνικών όπως είναι, για παράδειγμα, η απόδοση υφής στις επιφάνειες των αντικειμένων από λεπτομερείς φωτογραφικές εικόνες (texture mapping) και ο υπολογισμός της αντανάκλασης, της διάθλασης ή της απορρόφησης μίας ακτίνας φωτός οπότε αυτή τέμνει ένα αντικείμενο στη σκηνή (ray tracing).

Τα αποτελέσματα των αλγορίθμων rendering παρουσιάζονται συνήθως σε μία οθόνη βίντεο. Έχει γίνει σημαντική προσπάθεια για την ανάπτυξη στερεοσκοπικών συστημάτων απεικόνισης, καθώς η στερεοσκοπική όραση αποτελεί βασική προϋπόθεση για ρεαλιστική “εμβύθιση” σε μία εικονική σκηνή. Η βασική τεχνική των συσκευών αυτών είναι η παρουσίαση της σκηνής από μία ελαφρώς διαφορετική οπτική γωνία για κάθε μάτι. Ο απλούστερος τρόπος για να γίνει ο διαχωρισμός αυτός είναι η χρήση πολωμένων γυαλιών τα οποία φιλτράρουν επιλεκτικά τις εικόνες που εμφανίζονται στην οθόνη. Μία διαφορετική πρόταση αποτελούν οι οθόνες κεφαλής (Head Mounted Displays – HMD) που παρέχουν στο χρήστη μία εντελώς ξεχωριστή οθόνη για κάθε μάτι, ενώ νέες, πιο εξελεγμένες τεχνολογικά λύσεις που βασίζονται στην κατασκευή ειδικών οθονών ή την τεχνική της ολογραφίας υπόσχονται να περιορίσουν την ανάγκη του χρήστη να φοράει τον απαιτούμενο ειδικό εξοπλισμό, διατηρώντας παράλληλα την παρουσίαση πλήρως στερεοσκοπικών σκηνών.



Εικ. 5.10: Μία οθόνη κεφαλής (HMD)

Η ισχύς των σημερινών υπολογιστών επιτρέπει τον υπολογισμό και την απόδοση (rendering) των σκηνών ΕΠ σε πραγματικό χρόνο – ο ελάχιστος απαιτούμενος ρυθμός είναι 25 περίπου πλαίσια το δευτερόλεπτο – δίνοντας τη δυνατότητα στο χρήστη για εικονική εξερεύνηση και αλληλεπίδραση με

αυτές. Εκτός από τις κλασικές συσκευές ενός υπολογιστή, όπως είναι το πληκτρολόγιο και το ποντίκι, ένας αυξανόμενος αριθμός συσκευών επιτρέπει ρεαλιστικές αλληλεπιδράσεις με εικονικά αντικείμενα (π.χ. γάντια δεδομένων ή data gloves, δείκτες τριών διαστάσεων κ.ά). Χάρης στη ραγδαία ανάπτυξη νέων τρόπων αλληλεπίδρασης ο χρήστης καθίσταται πλέον ολοκληρωμένο μέρος μίας εικονικής σκηνής. Για τη διευκόλυνση αυτής της ολοκλήρωσης και της συνεπακόλουθης “εμβύθισης” είναι απαραίτητη η παροχή πληροφοριών στο σύστημα ΕΠ σχετικά με την πραγματική κατάσταση του χρήστη, δηλαδή τη θέση του, την κατεύθυνση του βλέμματός του, τις κινήσεις αυτού κ.λ.π. Τέτοιου είδους πληροφορίες ανακτώνται από διάφορες συσκευές ανίχνευσης (οπτικές, μηχανικές, ακουστικές κ.ά) οι οποίες ακολουθούν συγκεκριμένες ανατομικές δομές του χρήστη ή τη θέση εξωτερικών διακριτικών σημείων στην οθόνη ή στις συσκευές αλληλεπίδρασης με ακρίβεια μικρότερης του χιλιοστού σε μία απόσταση εργασίας αρκετών μέτρων.^{[11],[13]}

5.4.2 Ανάδραση δύναμης και αφής

Η απτική ανάδραση (haptic feedback), η αίσθηση δηλαδή της αφής και της δύναμης, συνιστά σημαντική πηγή πληροφορίας κατά την αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον. Κατά συνέπεια, οι δυνάμεις αυτές πρέπει να “μεταδίδονται” στο χρήστη εάν απαιτείται ένα λογικό επίπεδο ρεαλισμού. Αν και η έρευνα για την ανάπτυξη συστημάτων με ανάδραση δύναμης και αφής δεν είναι ιδιαίτερα εντατική, έχει αναπτυχθεί ένας σημαντικός αριθμός τέτοιων συσκευών και κάποιες από αυτές είναι ήδη εμπορικά διαθέσιμες, ακόμη και για ιατρικές εφαρμογές.

Μία συσκευή ανατροφοδότησης δύναμης (force feedback device), εξασκεί μία δύναμη στο χρήστη που κρατάει τη συσκευή αυτή δίνοντάς του την αίσθηση του αποτελέσματος των ενεργειών του πάνω στο αντικείμενο που διαχειρίζεται (στην περίπτωση μίας χειρουργικής επέμβασης πάνω στους ιστούς). Η ανατροφοδότηση δύναμης επιτυγχάνεται συνήθως με “αντίστροφες” ρομποτικές μονάδες, οι ηλεκτρικοί κινητήρες των οποίων δεν παράγουν ενεργές κινήσεις αλλά ενεργούν αντίθετα στις κινήσεις του χρήστη. Τέτοια συστήματα είναι συνήθως εξωσκελετικές συσκευές που εγκαθίστανται γύρω από το χέρι ή εξειδικευμένοι μεταλλικοί σκελετοί (gantry) μέσω των οποίων πρέπει να γίνουν όλοι οι χειρισμοί.

Η σημασία της ανάδρασης δύναμης είναι μεγάλη στην περίπτωση των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων. Όποτε ένα χειρουργικό εργαλείο αγγίζει κάποιον ιστό στο σώμα του ασθενούς, ο χειρουργός πρέπει να λαμβάνει στα χέρια του την αίσθηση της αντίστασης του συγκεκριμένου ιστού. Στην αντίθετη περίπτωση, η απουσία αυτής της αίσθησης μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του ιστού. Ο χειρουργός θα πιάσει τον ιστό με το ρομποτικό βραχίονα χωρίς να γνωρίζει το μέγεθος της πίεσης που αυτός πραγματικά εξασκεί.

Μία συσκευή ανατροφοδότησης της αφής (tactile feedback device) εφαρμόζει μία δύναμη στο χρήστη με τέτοιο τρόπο ώστε να του επιτρέπει να διακρίνει στοιχεία για τη γεωμετρία και τη σύσταση του αντικειμένου που αυτός διαχειρίζεται (π.χ. μέγεθος, υφή, σύσταση κ.λ.π.). Στις επεμβάσεις ανοικτής χειρουργικής η πληροφορία που λαμβάνεται από την ψηλάφηση των ιστών είναι εξαιρετικά σημαντική αφού επιτρέπει στους χειρουργούς να αισθάνονται τις ανατομικές δομές του ασθενούς. Σημαντικά αγγεία συνήθως περιβάλλονται από συνδετικό ιστό. Όγκοι στο συκώτι ή το κόλον πρέπει να αφαιρούνται χωρίς να επιτρέπεται η περαιτέρω εξάπλωση των καρκινικών κυττάρων. Η αίσθηση της αφής παρέχεται συνήθως από ενεργοποιητές (actuators) που κάνουν χρήση θερμικών, μηχανικών ή παλμικών διεγέρσεων.

Οι πιο γνωστές συσκευές απτικής ανατροφοδότησης είναι τα συστήματα της σειράς PHANTOM. Οι συγκεκριμένες συσκευές διατίθενται στην αγορά από την εταιρεία SensAble Technologies, η οποία ιδρύθηκε το 1993 από τους Dr. Kenneth Salisbury και Thomas Massie χάρις στην επιστημονική τους έρευνα στο MIT τη δεκαετία του 1990. Τα διάφορα μοντέλα της σειράς καλύπτουν τις ανάγκες τόσο των εμπορικών όσο και των ερευνητικών εφαρμογών. Τα συστήματα αυτά παρέχουν ανάδραση αφής σε υπολογιστικά συστήματα που χρησιμοποιούν τρισδιάστατη τεχνολογία απεικόνισης, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να διακρίνει τη γεωμετρία και τις ιδιότητες των εικονικών αντικειμένων. Μέσω μίας απτικής διεπαφής (haptic interface) υψηλής απόδοσης ανιχνεύουν την πορεία και την κίνηση έξι βαθμών ελευθερίας του χρήστη και παρέχουν ανάλογα ανάδραση δύναμης τριών ή έξι βαθμών ελευθερίας (οι τρεις επιπλέον βαθμοί στην περίπτωση περιστροφικής κίνησης). Στον ιατρικό τομέα, ειδικότερα, οι

συσκευές PHANTOM αποτελούν μέρος των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων τύπου master-slave, δίνοντας τη δυνατότητα στους χειρουργούς να έχουν αίσθηση των ιστών στο σώμα του ασθενούς.^{[11],[14]}



Εικ. 5.11: Συσκευές απτικής ανάδρασης της σειράς PHANTOM

Η πλειονότητα των μελετών μέχρι σήμερα καταδεικνύει μία ομοφωνία γνώμεων σχετικά με τα οφέλη που παρουσιάζει η πρόσθεση ανάδρασης δύναμης στα συστήματα της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής ή τα μειονεκτήματα της απουσίας απτικής ανάδρασης από αυτά. Η απτική ανάδραση επιτρέπει στους χειρουργούς να είναι περισσότερο ακριβείς και να εξασκούν μεγαλύτερες δυνάμεις τάσεων με τη βοήθεια του ρομποτικού βραχίονα κατά την εκτέλεση λεπτών συρραφών των πληγών του ασθενούς χωρίς να προκαλείται θραύση των κόμπων κατά το δέσιμό τους. Η ποιότητα των κόμπων αλλά και η συνολική διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης στην περίπτωση αυτή παραμένουν αμετάβλητες σε σύγκριση με τη συμβατική μέθοδο.

Ο βαθμός ρεαλισμού που προσδίδει η απτική ανάδραση θα έχει σημαντικό ρόλο στο μέλλον, καθώς αναμένεται να περιορίσει τα χειρουργικά σφάλματα και ταυτόχρονα να αυξήσει την ασφάλεια του ασθενούς. Τα συνδεδεμένα κόστη των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων είναι πράγματι υψηλά και οι καμπύλες εκμάθησης εξαιρετικά απότομες. Εντούτοις, τα αποδεδειγμένα ουσιαστικά οφέλη και πλεονεκτήματα της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής (μικρότεροι χρόνοι νοσηλείας, λιγότερες μετεγχειρητικές επιπλοκές και μολύνσεις, λιγότερος πόνος για τον ασθενή) αποτελούν εγγύηση για την περαιτέρω, ασφαλή ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής. Η απόδοση απτικής ανάδρασης στα σύγχρονα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα θα συνεισφέρει εμφανώς σημαντικά στην ασφαλή εκτέλεση επεμβάσεων με αυτά τα πολύπλοκα συστήματα.^{[15],[16]}



Εικ. 5.12: Πειραματικές διατάξεις για ανάδραση αφής στα δάχτυλα του χεριού (αριστερά) και σε χειρουργικό εργαλείο (δεξιά)

5.4.3 Εφαρμογές στην Ιατρική

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες οι ιατρικές εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας αναπτύσσονται με τέτοιους ρυθμούς που η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει πλέον μετατραπεί από απλή επιστημονική “περιέργεια” σε μία εμπορικά και κλινικά σημαντική περιοχή της ιατρικής πληροφορικής. Οι εξελίξεις στην έρευνα και την ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών συνοψίζονται κατά καιρούς σε σημαντικά επιστημονικά συνέδρια, όπως είναι το MMVR (Medicine Meets Virtual Reality), ενώ η

εμπορευματοποίηση της τεχνολογίας βρίσκεται ήδη σε αρκετά προχωρημένο στάδιο. Η εικονική πραγματικότητα εφαρμόζεται σήμερα σε ένα ευρύ φάσμα των ιατρικών περιοχών ενδιαφέροντος, τόσο ως ένα εργαλείο προσομοίωσης (π.χ. χειρουργική, ιατρική εκπαίδευση, διαγνωστική απεικόνιση) όσο και ως εργαλείο αλληλεπίδρασης (π.χ. φυσική και διανοητική υγεία και αποκατάσταση). Οι ακόλουθες κατηγορίες αντιπροσωπεύουν τρέχουσες και αναπτυσσόμενες εφαρμογές της ΕΠ στην ιατρική.^{[13],[17]}

Εφαρμογή	Περιγραφή
Χειρουργική εκπαίδευση	Εκπαίδευση σε χειρουργικές επεμβάσεις με τη χρήση χειρουργικών εργαλείων και ρεαλιστικής προσομοίωσης (με ή χωρίς απτική ανάδραση)
Προεγχειρητικός σχεδιασμός	Χρήση τρισδιάστατων εικόνων (από τομογραφίες, ακτινογραφίες κ.λ.π.) και κατάλληλου λογισμικού για τη σχεδίαση μίας χειρουργικής επέμβασης
Χειρουργική καθοδηγούμενη από εικόνες	Χρήση τρισδιάστατων εικόνων, επικαλυπτόμενων σε πραγματικό χρόνο στο χειρουργικό πεδίο, για τη διευκόλυνση μίας χειρουργικής επέμβασης
Τρισδιάστατη διαγνωστική απεικόνιση	Εργαλεία για τη σύλληψη, ανάλυση και διαχείριση δεδομένων ιατρικών εικόνων σε τρισδιάστατη μορφή και διενέργεια ποσοτικών συγκρίσεων
Σχεδιασμός και έλεγχος ακτινοθεραπείας	Συστήματα τρισδιάστατης σχεδίασης και ελέγχου διαδικασιών ακτινοθεραπείας ώστε να ταιριάζουν ακριβώς με την ανατομία του εκάστοτε ασθενούς
Ιατρική επιμόρφωση & κατάρτιση	Μαθήματα με τη χρήση τρισδιάστατης ανατομίας και εικονικών πτωμάτων, μελέτες περιστατικών, προσομοίωση μονάδας εντατικής θεραπείας κ.ά.
3-Δ απεικόνιση για τηλεϊατρική	Τηλεσυμβουλευτική και παροχή δεύτερης γνώμης με χρήση ακτινολογικών εικόνων, μοιραζόμενα δεδομένα για την επιθεώρηση και διάγνωση όγκων, εξέταση ασθενών από απόσταση, συμβούλια ειδικευμένων ιατρών
Τηλεχειρουργική	Υποβοηθούμενη από υπολογιστή χειρουργική σε απόσταση, αλγόριθμοι πρόβλεψης, τρισδιάστατος χειρουργικός σχεδιασμός
Φυσική αποκατάσταση και αθλητιατρική	Περιβάλλοντα προσομοίωσης για αξιολόγηση και αποκατάσταση – φυσικοθεραπεία, ορθοπεδική, εργασιοθεραπεία, εργονομία
Διανοητική υγεία και αποκατάσταση	Περιβάλλοντα ενισχυμένης πραγματικότητας για τη θεραπεία του αυτισμού και άλλων διαταραχών της αντίληψης ενός ατόμου
Νευρολογική αξιολόγηση	Προτυποποιημένα περιβάλλοντα προσομοίωσης για την αξιολόγηση της αντίληψης ενός ατόμου, βλάβες από εγκεφαλικά επεισόδια, δυσλειτουργίες της μνήμης, κινητικά προβλήματα
Ψυχική υγεία και συμπεριφορά	Αξιολόγηση και θεραπεία των δυσλειτουργιών στη συμπεριφορά ενός ατόμου π.χ. φοβίες, άγχος, μετατραυματικό στρες, θεραπεία εθισμών κ.λ.π.

Πίνακας 5.1: Εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας στην ιατρική

5.5 Νομικά και ηθικά θέματα

Τα προσδοκώμενα πλεονεκτήματα της τηλεϊατρικής και της ρομποτικής χειρουργικής είναι τόσο σημαντικά ώστε οι νομικές προσεγγίσεις από την πλευρά των δικηγόρων και των δικαστηρίων θα πρέπει να διευκολύνουν και να μην παρεμποδίζουν την υιοθέτηση των εφαρμογών τους. Η άσκηση του ιατρικού επαγγέλματος πέρα από τα καθορισμένα όρια δικαιοδοσίας μπορεί να εξασφαλίσει τις καλύτερες διαγνωστικές, θεραπευτικές και χειρουργικές τεχνικές σε ασθενείς που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές. Χωρίς την ανάγκη μετακίνησης από το χώρο εργασίας τους, κορυφαίοι ειδικοί σε ιατρικές ειδικότητες έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους σε άλλες χώρες ή ακόμη και ηπείρους. Η τηλεϊατρική και η ρομποτική χειρουργική όμως που εξασκούνται πέρα από τα εθνικά ή άλλα όρια δικαιοδοσίας εμπλέκουν μία ιστορική και παράλληλα πολύπλοκη περιοχή της νομικής επιστήμης, την επονομαζόμενη “Σύγκρουση Νόμων”. Η συγκεκριμένη περιοχή του Δικαίου σχετίζεται με κανόνες που κατά καιρούς έχουν θεσπίσει οι κοινωνίες για τη μεταξύ τους διευθέτηση θεμάτων που εμπλέκουν άτομα από διαφορετικές χώρες και πολιτισμούς, όπως είναι π.χ. οι έμποροι, οι ναυτικοί κ.ά.

Ένα αρχικό νομικό ζήτημα που εγείρει η εκτέλεση τηλεϊατρικών εφαρμογών, είναι εάν ένας ιατρός που διαθέτει άδεια για την άσκηση του επαγγέλματος σε μία περιοχή δικαιοδοσίας Α και ο οποίος παρέχει τηλεϊατρικές υπηρεσίες σε έναν ασθενή που βρίσκεται στην περιοχή Β παραβιάζει το νόμο της τελευταίας περιοχής. Επιπλέον ερωτήματα που δημιουργούνται είναι σε ποια περιοχή καθίσταται τελικά υπόλογος ένας ιατρός, ο οποίος έχει αφενός άδεια για την περιοχή δικαιοδοσίας Α, αλλά αφετέρου παραβιάζει τους όρους ενός συμβολαίου ή παρέχει ιατρικές υπηρεσίες αμελώς σε έναν ασθενή στην περιοχή Β. Στην περιοχή Β, στην Α ή μήπως και στις δύο περιοχές; Επίσης τι γίνεται στην περίπτωση που η παρεχόμενη θεραπεία καλύπτεται νομικά στην περιοχή Α αλλά όχι στη Β; Είναι υπεύθυνος ο ιατρός για εγκληματική ενέργεια λόγω αμέλειας;

Η έλλειψη άμεσης επαφής (πρόσωπο με πρόσωπο) μεταξύ ασθενούς και ιατρού είναι ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κακής ιατρικής πρακτικής. Επειδή οι εφαρμογές τηλεϊατρικής ενδεχομένως να εμπλέκουν περισσότερα από ένα κράτη είναι πολύ πιθανό να προκύψουν θέματα δικαιοδοσίας ή ακόμη και διαφιλονικίες. Είναι επίσης σημαντικό να διευθετηθούν και άλλα νομικά ζητήματα, όπως για το εάν ένας ιατρός πρέπει ή όχι να είναι υπόλογος για σφάλματα τα οποία σχετίζονται με καθυστερήσεις στη μετάδοση ή με τον εξοπλισμό ή εάν θα πρέπει να λαμβάνεται ειδική συναίνεση για την εκτέλεση κάποιας τηλεϊατρικής εφαρμογής και ποιος είναι υπεύθυνος για να τη δώσει.

Το πλέον σημαντικό θέμα που αφορά στις υπηρεσίες τηλεϊατρικής είναι η “*συναίνεση του επαρκώς πληροφωρημένου πολίτη ή ασθενούς*”, ένας όρος που στην αγγλική γλώσσα είναι γνωστός ως “*Informed Consent*”. Οι ιατροί, και γενικότερα όλοι οι επαγγελματίες υγείας που χειρίζονται τηλεματικό εξοπλισμό και συμμετέχουν στην παροχή υπηρεσιών τηλεϊατρικής, οφείλουν να λαμβάνουν την έγκριση του ασθενούς πριν την εφαρμογή των συγκεκριμένων υπηρεσιών. Στην ειδική περίπτωση που κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, η έγκριση πρέπει να λαμβάνεται από συγγενικά πρόσωπα, όπως ο νόμος ορίζει και για τις υπόλοιπες περιπτώσεις παροχής υπηρεσιών υγείας. Οι επαγγελματίες υγείας οφείλουν γενικά να χρησιμοποιούν κάθε διαθέσιμο μέσο προς όφελος του ασθενούς, διατηρώντας όμως παράλληλα το δικαίωμα να αρνηθούν την παροχή υπηρεσιών τηλεϊατρικής, με ανάληψη της σχετικής ευθύνης, εάν αυτοί είναι της άποψης ότι η χρήση τέτοιων εφαρμογών δεν πρόκειται να συμβάλλει στην επιτυχή αντιμετώπιση ενός περιστατικού. Ο ασθενής και οι συγγενείς του δεν έχουν, από τη δική τους μεριά, το δικαίωμα να απαιτήσουν τη χρήση υπηρεσιών τηλεϊατρικής χωρίς τη σύμφωνη γνώμη του ιατρού ή νοσηλευτή.

Η τηλεϊατρική και η ρομποτική χειρουργική υπηρετούν την ηθική αρχή ή καθήκον της αγαθοεργίας, παρέχοντας τη δυνατότητα σε έναν μεγάλο αριθμό ιατρών να καθιστούν τις υπηρεσίες τους διαθέσιμες σε περιοχές που η φυσική τους παρουσία δεν είναι εφικτή. Με τον τρόπο αυτό, οι νέες τεχνολογίες μπορούν να μετριάσουν την έλλειψη ιατρικών ειδικοτήτων σε ανεπαρκώς εξυπηρετούμενες περιοχές και χώρες. Έναντι αυτών των οφελών, εντούτοις, υπάρχει ο κίνδυνος επιδείνωσης της μετανάστευσης εξειδικευμένων ιατρών από τις περιοχές με χαμηλούς πόρους σε άλλες πιο προηγμένες τεχνολογικά. Οι εξειδικευμένοι ιατροί έχουν τώρα τη δυνατότητα να υπηρετούν από απόσταση τις περιοχές που εγκαταλείπουν με τη βοήθεια των νέων ηλεκτρονικών και ρομποτικών τεχνολογιών. Η μετακίνηση

ιατρών από τις φτωχότερες στις πιο πλούσιες χώρες αποτελεί ένα αυξανόμενο εμπόδιο για την παγκόσμια υγεία, αφού διευρύνει τις ανισότητες προς όφελος κρατών όπως οι Η.Π.Α., το Ηνωμένο Βασίλειο, ο Καναδάς και η Αυστραλία που παρέχουν απασχόληση σε απόφοιτους ιατρικών σχολών και εξειδικευμένους ιατρούς από κράτη με χαμηλότερα κατά κεφαλήν εισοδήματα.

Πρέπει επίσης να ληφθούν σοβαρά υπόψη πολλά επιμέρους θέματα που σχετίζονται σε τελευταία ανάλυση με την προστασία του ατόμου, είτε αυτό είναι ασθενής ή πολίτης είτε επαγγελματίας στον χώρο της Υγείας, από κακόβουλες ενέργειες τρίτων προσώπων, αστοχίες ή πλημμελή αντιμετώπιση των θεμάτων από ανθρώπινες δραστηριότητες και κατασκευές. Στην τελευταία κατηγορία περιλαμβάνονται ο εξοπλισμός (hardware) και τα προγράμματα εφαρμογών (software). Πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα για την αποτροπή της υποκλοπής ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων κατά τη συλλογή και την επεξεργασία τους από το ιατρικό ή το τεχνικό προσωπικό ή τη μετάδοσή τους μέσω των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, έτσι ώστε να διασφαλίζονται η εμπιστευτικότητα των δεδομένων και το ιατρικό απόρρητο των ασθενών. Μερικά δεδομένα ενδέχεται να είναι ξεχωριστής σημασίας, όπως π.χ. ακτινογραφίες, υπερηχογραφήματα, το φύλο ή τυχόν ανωμαλίες στην ανάπτυξη ενός εμβρύου, ιατρικές διαγνώσεις για παθήσεις και άλλα. Γενικά, πρέπει να αντιμετωπιστούν θέματα όπως:

- οι ρόλοι και οι ευθύνες των εμπλεκόμενων μερών, είτε αυτά είναι φυσικά είτε νομικά πρόσωπα
- η ασφάλεια και η ακεραιότητα των προσωπικών δεδομένων, των πληροφοριών, των συστημάτων και των εγκαταστάσεων
- τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις των ασθενών και των πολιτών εν γένει
- ο καταλογισμός των ευθυνών σε περίπτωση σφαλμάτων στην παροχή των εφαρμογών τηλεϊατρικής και ο τρόπος εφαρμογής των ανάλογων κανονισμών
- η αναγκαιότητα ύπαρξης ειδικών νόμων για την τηλεϊατρική
- ο περιορισμός τυχόν εμποδίων ώστε οι εφαρμογές τηλεϊατρικής να αναπτυχθούν με επιτυχία σε ευρεία κλίμακα

Ανεξάρτητα από το σύστημα τηλεϊατρικής που χρησιμοποιείται, δεν πρέπει να υπάρχει κανενός είδους συμβιβασμός σε ό,τι αφορά τη διασφάλιση των βασικών αρχών ιατρικής ηθικής. Η ανάπτυξη συστημάτων τηλεϊατρικής δεν υποκαθιστά σε καμμία περίπτωση τους καθιερωμένους τρόπους παροχής ιατρικών υπηρεσιών και δεν αλλάζει την αμεσότητα της σχέσης ιατρού και ασθενούς που βασιζέται στις αρχές του Ιπποκράτη.^{[18],[19]}

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] *ΤΗΛΕΪΑΤΡΙΚΗ*, Εργαστήριο Τηλεϊατρικής και Ιατρικής Πληροφορικής, ΤΕΙ Κρήτης, 2001
<http://www.techmed.teiher.gr/defaultPse.htm>
- [2] Petropoulou S., Mantas J. and Bekakos M., *Current Medical Digital Applications-Telesurgery*, HERCMA Proceedings, 2005
<http://www.aueb.gr/pympe/hercma/proceedings2005/H05-FULL-PAPERS-1/PETROPOULOU-MANTAS-BEKAKOS-1.pdf>
- [3] DeBakey M., *Telemedicine has now come of age*, Telemedicine Journal, 1(1):44-52, 1995
<http://www.hon.ch/Library/papers/debakey.html>
- [4] Bagchi S., *Telemedicine in Rural India*, PLoS Medicine, 3(3):e82, March 2006
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1420376>
- [5] Bauer J., Lee B., Stoianovici D., Bishoff J., Janetschek G., Bunyaratavej P., Kamolpronwijit W., Ratchanon S., O'Kelley S., Cadeddu J., Micali S., Micali F., Li M., Goh P., Png D. and Kavoussi L., *Remote Telesurgical Mentoring: Feasibility and Efficacy*, Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000
<http://csdl2.computer.org/comp/proceedings/hicss/2000/0493/05/04935023.pdf>

- [6] Marescaux J., Leroy J., Rubino F., Smith M., Vix M., Simone M. and Mutter D., *Transcontinental Robot-Assisted Remote Telesurgery: Feasibility and Potential Applications*, *Annals of Surgery*, 235(4): 487-492, April 2002
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1422462>
- [7] *Telesurgery*
<http://www.surgeryencyclopedia.com/St-Wr/Telesurgery.html>
- [8] Brower V., *The cutting edge in surgery: Telesurgery has been shown to be feasible-now it has to be made economically viable*, *EMBO Reports*, 3(4):300-301, April 2002
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1084071>
- [9] Holt D., Zaidi A., Abramson J. and Somogyl R., *Telesurgery: Advances and Trends*, *University of Toronto Medical Journal*, 82(1):52-54, December 2004
http://www.utmj.org/issues/82.1/Tech_Review_82-52.pdf
- [10] Morris B., *Robotic Surgery: Applications, Limitations, and Impact on Surgical Education*, *Medscape General Medicine*, 7(3):72, September 2005
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1681689>
- [11] Székely G. and Satava R., *Virtual reality in medicine*, *British Medical Journal*, 319(7220):1305, November 1999
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1129082>
- [12] Γεωργίου Ε. και Γκατζώνης Μ., *Η Εικονική Πραγματικότητα στην Ιατρική*, Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική Σχολή, ΕΚΠΑ, Νοέμβριος 2008
<http://mpl.med.uoa.gr/Downloads/PDF/i-eikonik-pragmatikotita-stin-iatrik.pdf>
- [13] Riva G., *VIRTUAL REALITY*, *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*, 2006
<http://www.cybertherapy.info.RivaWileyVR.pdf>
- [14] *Products & Services: Haptic Devices*, SensAble Technologies
<http://www.sensable.com/products-haptic-devices.htm>
- [15] Van der Meijden O. and Schijven M., *The value of haptic feedback in conventional and robot-assisted minimal invasive surgery and virtual reality training: a current review*, *Surgical Endoscopy*, 23(6):1180-1190, June 2009
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2686803>
- [16] Bethea B., Okamura A., Kitagawa M., Fitton T., Cattaneo S., Gott V., Baumgartner W. and Yuh D., *Application of Haptic Feedback to Robotic Surgery*, *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques*, 14(3):191-195, June 2004
- [17] Greenleaf W., *Medical Applications of Virtual Reality*, February 2004
<http://www.greenleafmed.com/publications/VR%20Med%20overview.pdf>
- [18] Dickens B. and Cook R., *Legal and ethical issues in telemedicine and robotics*, *International Journal of Gynecology and Obstetrics*, 94(1):73-78, 2006
http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=944833
- [19] Σωτηρίου Δ., *Υπηρεσίες Τηλεϊατρικής*, Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική Σχολή, ΕΚΠΑ, Νοέμβριος 2008
<http://mpl.med.uoa.gr/Downloads/PDF/tileiatrik.pdf>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Η ελληνική πραγματικότητα

6.1 Η τηλεϊατρική στην Ελλάδα

Η τηλεϊατρική έχει ιδιαίτερη σημασία για την πατρίδα μας λόγω της γεωγραφικής ιδιομορφίας της χώρας (ορεινά χωριά, πολυάριθμα και απομονωμένα νησιά) και της άνιση κατανομής του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα και την περιφέρεια. Είναι, άλλωστε, κοινώς αποδεκτό ότι οι άνθρωποι που ζουν σε περιφερειακές και απομακρυσμένες περιοχές έχουν πρόβλημα γρήγορης πρόσβασης σε ιατρικά κέντρα υψηλής εξειδίκευσης, τα οποία είναι επανδρωμένα με πολύ καλά εκπαιδευμένους και εξειδικευμένους ιατρούς. Οι κάτοικοι των περιοχών αυτών έχουν πρόσβαση σε κάποιον αγροτικό ιατρό ή κέντρο υγείας αλλά πρέπει να ξοδέψουν σημαντικό χρόνο και χρήματα για να τύχουν εξειδικευμένης ιατρικής φροντίδας. Δεδομένου ότι η αξία της ανθρώπινης ζωής είναι ανεκτίμητη διαπιστώνεται η αναγκαιότητα εφαρμογής της τηλεϊατρικής για την καλύτερη παροχή ιατρικών υπηρεσιών σε εθνικό επίπεδο. Αν και το χρονικό διάστημα που η τηλεϊατρική βρίσκεται σε εφαρμογή δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, μπορούν να γίνουν ορισμένες βάσιμες επισημάνσεις για τις πρώτες επιδράσεις της στο εθνικό σύστημα υγείας.

Η τηλεϊατρική υπόσχεται τον ερχομό της ημέρας όπου η καθοδηγητική γραμμή για την ιατρική περίθαλψη του ασθενούς θα εξατομικεύεται και η μακροχρόνια παρακολούθηση της εξέλιξης του προβλήματος υγείας ενός χρόνια πάσχοντος ασθενούς θα είναι δυνατή. Η καλύτερη πρόσβαση των ανεπαρκώς εξυπηρετούμενων περιοχών (π.χ. αγροτικές κοινότητες) σε εξειδικευμένες ιατρικές υπηρεσίες είναι ένα από τα πιο σημαντικά οφέλη που υπόσχεται η τηλεϊατρική. Βελτίωση στην καθημερινή ιατρική έρευνα έχει ήδη εμφανιστεί. Το να ψάξει κανείς ένα θέμα για κλινικούς ή εκπαιδευτικούς σκοπούς είναι απίστευτα απλό και απαιτεί ένα μικρό κλάσμα του χρόνου που θα απαιτούσε αυτή η έρευνα μέχρι τώρα.

Η σταδιακή πρόοδος της τεχνολογίας στον τομέα των επικοινωνιών έβαλε τα θεμέλια για την ανάπτυξη της τηλεϊατρικής και στην Ελλάδα. Η ανάπτυξη των δραστηριοτήτων τηλεϊατρικής στην Ελλάδα, στη μορφή που αυτές παρουσιάζονται σήμερα, έχει την αφετηρία της κυρίως στις πρωτοβουλίες του Εργαστηρίου Ιατρικής Φυσικής της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών από το 1988. Σημαντική ώθηση δόθηκε από τα επονομαζόμενα “Προγράμματα Πλαίσιο” της Ευρωπαϊκής Ένωσης που άρχισαν να υλοποιούνται στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Η ΕΕ είχε χρηματοδοτήσει τότε ανταγωνιστικά έργα με σκοπό την ανάδειξη των ερευνητικών διαστάσεων σε θέματα τηλεματικής στην υγεία και τη δημιουργία του κατάλληλου περιβάλλοντος για το σχεδιασμό και την υλοποίηση υπηρεσιών υγείας και πρόνοιας με τη βοήθεια τηλεματικών τεχνολογιών.

Αν και κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορες πιλοτικές εφαρμογές τόσο στο δημόσιο όσο και τον ιδιωτικό τομέα, γεγονός που επιβεβαιώνει τις δυνατότητες που προσφέρονται και τις θετικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει η τηλεϊατρική στην παροχή υπηρεσιών υγείας υψηλής ποιότητας, η ανάπτυξη τέτοιου είδους υπηρεσιών δεν διατηρήθηκε με τον ίδιο ρυθμό μετά το 1992. Η Ελλάδα, από πρωτοπόρος ουσιαστικά στην Ευρώπη την περίοδο 1989-1992, έμεινε αρκετά πίσω. Η κατάσταση δεν είναι ιδιαίτερα καλή σήμερα, καθώς οι τεχνολογίες τηλεματικής δεν έχουν υιοθετηθεί από το σύστημα υγείας στο βαθμό και με την ποιότητα που επιβάλλεται. Τα μεγαλύτερα εμπόδια φαίνονται να είναι οι πολύ μεγάλες ανάγκες εκπαίδευσης, που δεν καλύπτονται προς το παρόν από καμμία στρατηγική και κανένα πρόγραμμα, και οι ελλείψεις καταρτισμένου προσωπικού.^{[1],[2]}

6.1.1 Σημαντικότερα προγράμματα και έργα τηλεϊατρικής

Ακολούθως αναφέρονται τα σημαντικότερα ερευνητικά έργα και προγράμματα τηλεϊατρικής τα οποία έχουν ήδη υλοποιηθεί ή γίνονται ακόμη στον ελλαδικό χώρο.

6.1.1.1 Το Ελληνικό Πρόγραμμα Τηλεϊατρικής

Το πρώτο σύστημα τηλεϊατρικής εγκαταστάθηκε στο Σισμανόγλειο Νοσοκομείο το 1989 στο πλαίσιο πιλοτικού προγράμματος σε συνεργασία με το Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών. Η πειραματική φάση του προγράμματος χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Υγείας, τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και το πρόγραμμα “Science For Stability” (SFS) του NATO, ενώ η πιλοτική του φάση από το Υπουργείο Υγείας και τον ΟΤΕ. Το 1992, με απόφαση του Υπουργείου Υγείας, δημιουργήθηκε το αρχικό δίκτυο τηλεϊατρικής που συνέδεσε το Σισμανόγλειο με 12 περιφερειακά Κέντρα Υγείας (Σαντορίνης, Γυθείου, Σουφλίου, Τσοτυλίου, Μύρινας, Θεσπρωτικού, Φιλιατών, Πάρου, Αμυνταίου, Σκοπέλου, Εχίνου και Αστυπάλαιας). Το 1995 η Μονάδα Τηλεϊατρικής εντάχθηκε στον Οργανισμό του Σισμανόγλειου, το οποίο ορίστηκε ως νοσοκομείο υποστήριξης του δικτύου τηλεϊατρικής του Εθνικού Συστήματος Υγείας. Έκτοτε, προστέθηκαν στο δίκτυο και άλλα Κέντρα Υγείας και μέχρι το 2007 η μονάδα ήταν ήδη συνδεδεμένη με 42 περιφερειακές μονάδες υγείας ενώ είχε εξυπηρετήσει περίπου 9.000 περιστατικά διαφόρων ειδικοτήτων. Σκοπός του συστήματος τηλεϊατρικής είναι η παροχή εξειδικευμένων διαγνωστικών και θεραπευτικών πληροφοριών στις υγειονομικές μονάδες που υποστηρίζονται από το δίκτυο, καθώς επίσης και η υποστήριξη προγραμμάτων προληπτικής ιατρικής, αγωγής υγείας και εκπαίδευσης υγειονομικών στελεχών. Τις υπηρεσίες τηλεϊατρικής απολαμβάνουν και οι υπάλληλοι του Υπουργείου Εξωτερικών, είτε αυτοί βρίσκονται στην Ελλάδα είτε υπηρετούν σε ελληνικές πρεσβείες και προξενεία στο εξωτερικό.^{[2],[3]}

6.1.1.2 Το πρόγραμμα VSAT

Το VSAT (1994-1996) αποσκοπούσε στην οργάνωση και παροχή υπηρεσιών τηλεϊατρικής με χρήση δορυφορικών επικοινωνιών (EUTELSAT), ειδικών τερματικών συσκευών (Very Small Aperture Terminals – VSAT) και ηλεκτρονικών ιατρικών φακέλων. Το έργο χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και το πρόγραμμα “Science For Stability” του NATO. Στο πρόγραμμα συμμετείχαν, εκτός από το Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών, η εταιρεία ΤΕΧΝΟΓΝΩΣΗ Α.Ε., τα νοσοκομεία “Λαϊκό”, “Αγία Σοφία” και “Ωνάσειο”, τα Κέντρα Υγείας Νάξου, Καρπάθου και Μήλου και το περιφερειακό ιατρείο Αρκεσίνης Αμοργού. Στα πλαίσια του προγράμματος έγινε προσαρμογή του χρησιμοποιούμενου λογισμικού των ιατρικών φακέλων HEALTH.one για την αντιμετώπιση περιστατικών γενικής ιατρικής, παιδιατρικής, καρδιολογίας, περιστατικών ασθενών με σακχαρώδη διαβήτη ή υπέρταση και νευρολογικών περιστατικών.^[4]

6.1.1.3 Το πρόγραμμα ΤΑΛΩΣ

Σκοπός του έργου αυτού ήταν η ανάπτυξη ενός δικτύου παροχής υπηρεσιών τηλεκαρδιολογίας σε Κέντρα Υγείας και περιφερειακά ιατρεία νησιών του Αιγαίου. Το σύστημα επιτρέπει τη συλλογή και μετάδοση μίας σειράς σημαντικών βιοσημάτων και εικόνων του ασθενούς μέσω διάφορων τηλεπικοινωνιακών δικτύων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η επικοινωνία με ειδικευμένους ιατρούς ενός νοσοκομείου ή ιατρικού κέντρου ακόμη και από σημεία όπου η ύπαρξη ενσύρματων τηλεφωνικών γραμμών είναι αβέβαιη. Αξιοσημείωτη προσπάθεια στο πρόγραμμα αυτό αποτέλεσε η συνεργασία δημόσιων και ιδιωτικών φορέων για την υλοποίηση του έργου. Συγκεκριμένα, το έργο επιχορηγήθηκε από την Interamerican Βοήθειας για την αγορά και διάθεση πάγιου εξοπλισμού στα Κέντρα Υγείας, καθώς και για τη διοικητική και εκπαιδευτική υποστήριξη.

Οι υπηρεσίες παρέχονται από το 1995 από τις δύο καρδιολογικές κλινικές του Ωνάσειου Καρδιοχειρουργικού Κέντρου (ΩΚΚ) στα Κέντρα Υγείας Μήλου, Μυκόνου, Νάξου, Σαντορίνης και Σκιάθου. Το 1996 προστέθηκαν στο πρόγραμμα το Κέντρο Υγείας Πλωμαρίου Λέσβου και το περιφερειακό ιατρείο Αρκεσίνης Αμοργού. Εκτός από την παροχή υπηρεσιών τηλεκαρδιολογίας σε άτομα που χρήζουν άμεσης ιατρικής παρέμβασης, είναι ιδιαίτερα επιθυμητή και η συνεχιζόμενη εκπαίδευση των ιατρών σε θέματα τηλεϊατρικής και καρδιολογίας με έμφαση στην αντιμετώπιση επειγόντων περιστατικών.^[4]

6.1.1.4 Το πρόγραμμα HERMES

Το ερευνητικό έργο HERMES ήταν ένα τριετές πρόγραμμα τηλεϊατρικής (1996-1998) που χρηματοδοτήθηκε από την Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Όλες οι υπηρεσίες προσφέρονταν με την ανταλλαγή των ηλεκτρονικών ιατρικών φακέλων των ασθενών. Ο σχεδιασμός του έργου αυτού πραγματοποιήθηκε από τις Ιατρικές Σχολές των Πανεπιστημίων Εδιμβούργου και Αθηνών, ενώ στο συντονισμό του συμμετείχαν επίσης ιατρικοί, τεχνικοί και επιχειρησιακοί εμπειρογνώμονες από τη Γερμανία, το Βέλγιο, την Πορτογαλία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Από την ελληνική πλευρά μετείχαν η ερευνητική ομάδα VSAT και η εταιρεία Intrasoft.

Στον ελλαδικό χώρο δόθηκε έμφαση στην παροχή υπηρεσιών μητρότητας σε νησιά του Αιγαίου με σημεία υποστήριξης μαιευτικές και γυναικολογικές κλινικές στην Αθήνα και το Εδιμβούργο. Τα Κέντρα Υγείας Νάξου και Μυκόνου θα υποστηρίζονταν, κατόπιν συμφωνίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, από τη Β' Μαιευτική & Γυναικολογική Κλινική του Αρεταίειου Νοσοκομείου. Κατά το πρώτο έτος εφαρμογής του προγράμματος δόθηκε έμφαση στην παροχή υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, ενώ τα επόμενα δύο οι υπηρεσίες του επεκτάθηκαν καλύπτοντας την παρακολούθηση κυήσεων, διάφορες εφαρμογές τηλεκαρδιολογίας και γενικής ιατρικής και ιατρικές υπηρεσίες εν πτήση. Το ερευνητικό έργο HERMES περατώθηκε επιτυχώς στις 31 Δεκεμβρίου 1998.^[4]



Εικ. 6.1: Το πρόγραμμα τηλεϊατρικής HERMES στην Ελλάδα

6.1.1.5 Το πρόγραμμα MEDASHIP

Αποτελεί ένα πρωτοποριακό σύστημα τηλεϊατρικής για τη σύνδεση εμπορικών και επιβατηγών πλοίων εν πλω με νοσοκομεία σε όλη την Ευρώπη. Η παρουσίαση του προγράμματος πραγματοποιήθηκε στις 2 Οκτωβρίου του 2003 στο Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. “Δημόκριτος” ενώ η χρηματοδότησή του έγινε κατά 50% από κοινοτικούς πόρους. Στην αρχική φάση εφαρμογής του το MEDASHIP παρείχε τις υπηρεσίες του αποκλειστικά σε ελληνικά και ιταλικά πλοία. Μέσω αυτού του τεχνολογικά προηγμένου προγράμματος πλοία που ταξιδεύουν έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν μέσω δορυφόρου με νοσοκομεία σε διάφορα μέρη της Ευρώπης ώστε να αντιμετωπιστεί άμεσα και αποτελεσματικά οποιοδήποτε περιστατικό προκύψει ενδεχομένως εν πλω. Η πρωτοποριακή αυτή εφαρμογή της τηλεϊατρικής στα πλοία συνέβαλε σημαντικά στην αναβάθμιση των παρεχόμενων υπηρεσιών τόσο στους επιβάτες όσο και στα μέλη των πληρωμάτων.^[5]



Εικ. 6.2: Εφαρμογή του προγράμματος τηλεϊατρικής MEDASHIP

6.1.1.6 Το έργο ΑΣΠΑΣΙΑ

Η συγκεκριμένη μελέτη (1999) αφορούσε την ιδέα για την ενοποίηση των χώρων από την περιοχή 'Γουδί' του Δήμου Αθηναίων μέχρι και τις παρυφές των Δήμων Παπάγου και Ζωγράφου, όπου λειτουργούν μεγάλα νοσοκομεία, μέσα σε ένα πάρκο πρασίνου πολύ μεγάλης έκτασης (Ασκληπιείο Πάρκο Αθηνών). Η εν λόγω περιοχή έχει μία περίμετρο περίπου 8 Km και περικλείει οκτώ νοσοκομειακές μονάδες (Λαϊκό, Αγία Σοφία, Αγλαΐα Κυριακού, Γ. Γεννηματάς, Σωτηρία, 401 ΓΣΝΑ, 251 ΓΝΑ και το Κέντρο Επαγγελματικής Προεργασίας & Ψυχοκοινωνικό Κέντρο). Σκοπός του έργου ήταν οι δυνατότητες αναβάθμισης του νοσοκομειακού περιβάλλοντος, η ποιοτική βελτίωση των συνθηκών παροχής υπηρεσιών υγείας και απασχόλησης του προσωπικού, η δημιουργία συνθηκών για την ουσιαστική ενημέρωση σε θέματα υγείας και, γενικότερα, η συμβολή στην ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας σχεδιασμού τέτοιων σύγχρονων "ψηφιακών" περιοχών (Σύγχρονων Ασκληπιείων). Στα πλαίσια του έργου πραγματοποιήθηκε και μελέτη για τη δημιουργία ενός τηλεματικού δικτύου με βάση τις απαιτήσεις των νοσοκομειακών μονάδων του Ασκληπιείου Πάρκου Αθηνών.^[6]

6.1.1.7 Το πρόγραμμα VODAFONE

Στα πλαίσια της κοινωνικής της δραστηριότητας η εταιρεία κινητής τηλεφωνίας Vodafone έχει δημιουργήσει, σε συνεργασία με το Χατζηπατέρειο Κέντρο Αποκατάστασης Σπαστικών Παιδιών, ένα πρόγραμμα τηλεπαρακολούθησης παιδιών με εγκεφαλική παράλυση (2002-2004). Πρόκειται για ένα πρωτοποριακό πρόγραμμα που συνδυάζει την τεχνολογία με την ιατρική, προσφέροντας σε παιδιά με ιδιαίτερες ανάγκες θεραπεία, εκπαίδευση, δυνατότητες επικοινωνίας και κοινωνικής ένταξης και βέβαια ιατρική παρακολούθηση σε καθημερινή βάση. Μία ομάδα από παιδίατρος, φυσιοθεραπευτές, εργοθεραπευτές, ψυχολόγους και κοινωνικούς λειτουργούς φροντίζει για τη συστηματική εφαρμογή της θεραπείας των παιδιών, αλλά και την υποστήριξη των υπόλοιπων μελών της οικογένειας στην αντιμετώπιση των καθημερινών θεμάτων που ανακύπτουν.^[7]

6.1.1.8 Το ερευνητικό έργο NIKΑ

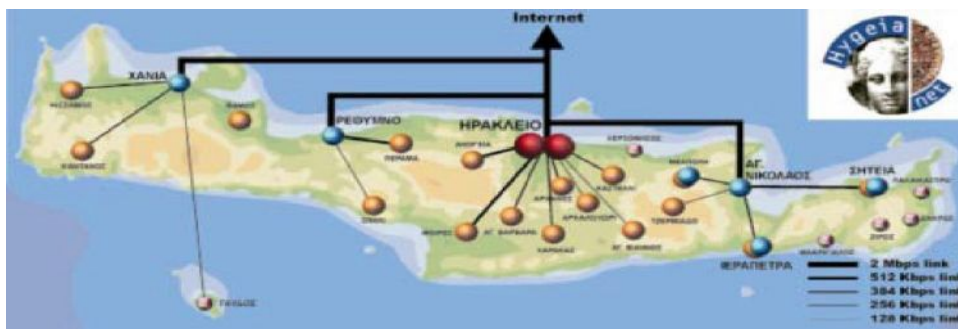
Το ερευνητικό έργο NIKΑ (1995-1997) ήταν ένα πρόγραμμα μερικώς χρηματοδοτούμενο από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας. Αντικείμενό του ήταν η ανάπτυξη ενός γενικευμένου ολοκληρωμένου συστήματος για τη διαχείριση και επεξεργασία ιατρικής εικόνας με σκοπό την εφαρμογή του σε εθνική κλίμακα για την κάλυψη των αναγκών της περιφέρειας σε κρίσιμα σημεία της ιατρικής δραστηριότητας. Το ολοκληρωμένο σύστημα εφαρμόστηκε πιλοτικά στο Ωνάσειο Καρδιοχειρουργικό Κέντρο για καρδιολογικά περιστατικά, ενώ η δεύτερη πιλοτική εφαρμογή καλύπτει

τις ανάγκες απομακρυσμένων περιοχών στο Νομό Εύβοιας. Με την εγκατάσταση ενός συστήματος τηλεϊατρικής από το Ε.Μ.Π. εκεί, το σύστημα ολοκληρώνει εφαρμογές τηλεακτινολογίας (ψηφιοποίηση, μετάδοση και επισκόπηση ακτινολογικών φιλμ) και τηλεκαρδιολογίας (μετάδοση καρδιογραφικών δεδομένων). Το σύστημα εγκαταστάθηκε στο Κέντρο Υγείας Ιστιαίας και στο νοσοκομείο Κύμης, ενώ η υποστήριξη γίνεται από το νοσοκομείο Χαλκίδας.^[8]

6.1.1.9 Τα προγράμματα του Ι.Τ.Ε.

Το Ινστιτούτο Έρευνας και Τεχνολογίας έχει επίσης κατά καιρούς ολοκληρώσει μία σειρά από έργα και προγράμματα τηλεϊατρικής, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι:

- το TelePACS (1992-1995), το οποίο χρηματοδοτήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και οι βασικοί στόχοι του οποίου ήταν:
 - η πρόσληψη, η κατανομημένη αρχειοθέτηση και η διαχείριση ιατρικών εικόνων και άλλων δεδομένων του ιατρικού φακέλου ασθενών σε περιβάλλον νοσοκομείου
 - η συμβατότητα με τα διεθνή πρότυπα
 - η απλότητα και φιλικότητα της διεπαφής χρήστη
 - η τηλεματική μεταφορά εικόνων και άλλων δεδομένων σε γεωγραφικά απομακρυσμένες περιοχές
 - η έξυπνη, ιεραρχική διαχείριση αρχειοθέτησης και ανάκλησης δεδομένων
 - η ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση εικόνων και βιοσημάτων
- το TEMeTeN (1997-2000), το οποίο ήταν ένα διαπεριφερειακό έργο που χρηματοδοτήθηκε εν μέρει από την Ευρωπαϊκή Ένωση με σκοπό την ανάπτυξη και επίδειξη καινοτόμων υπηρεσιών τόσο στον τομέα της υγείας, με την ανάπτυξη και αξιολόγηση ολοκληρωμένων περιφερειακών δικτύων τηλεματικών εφαρμογών, όσο και στον τομέα της τηλεεργασίας με την ανάπτυξη βασικών υποδομών (κέντρα τηλεεργασίας) και προωθημένων υπηρεσιών και συστημάτων υποστήριξης (virtual office). Στο έργο συμμετείχαν συνολικά 22 φορείς από 5 ευρωπαϊκές περιφέρειες.
- το HYGEIAnet (1998-2001), το οποίο αποτελέσει το πρώτο ολοκληρωμένο περιφερειακό δίκτυο τηλεματικών εφαρμογών στην υγεία. Πρόκειται για ένα ανοικτό και επεκτάσιμο δίκτυο ευρείας εμβέλειας για τη διασύνδεση των φορέων όλων των βαθμίδων της ιεραρχίας του ΕΣΥ (πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας παροχής υπηρεσιών υγείας) στην Περιφέρεια της Κρήτης. Με συνεργασία του Ινστιτούτου Πληροφορικής του Ινστιτούτου Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΠ·ΙΤΕ) και όλων των τοπικών φορέων υγείας, το HYGEIAnet αναπτύχθηκε και τέθηκε πιλοτικά και με μεγάλη επιτυχία σε καθημερινή χρήση παρέχοντας υπηρεσίες επείγουσας προνοσοκομειακής περίθαλψης (υποστήριξη ΕΚΑΒ), τηλεκαρδιολογίας, τηλεακτινολογίας, κατ'οίκον φροντίδας και διαχείρισης ηλεκτρονικών φακέλων υγείας του πολίτη.
- το Twister (2004-2007), το οποίο συγχρηματοδοτήθηκε από την ευρωπαϊκή επιτροπή και είχε ως στόχο την ανάπτυξη και αποδοχή ευρυζωνικών υπηρεσιών σε σημαντικές περιοχές εφαρμογών όπως η υγεία, η αγροτική ανάπτυξη, η δημόσια διοίκηση και το ηλεκτρονικό εμπόριο. Στον τομέα της υγείας, ειδικότερα, ο σκοπός του προγράμματος ήταν η βελτίωση των υπηρεσιών υγείας σε απομονωμένες περιοχές της Ελλάδας σε συνεργασία με το ΕΚΑΒ Κρήτης και φορείς υγείας των Περιφερειών Κρήτης και Νοτίου Αιγαίου. Αναλυτικότερα, το έργο συνέβαλε στη συνέχεια της φροντίδας υγείας των πολιτών μέσω του ηλεκτρονικού φακέλου υγείας, στη συνεχιζόμενη εκπαίδευση του ιατρικού προσωπικού, τη βελτίωση του χρόνου απόκρισης στα επείγοντα περιστατικά που διακομίζονταν στο Ηράκλειο και στην καλύτερη συνεργασία μεταξύ ΕΚΑΒ Κρήτης και των μονάδων υγείας στα νησιά του Νοτίου Αιγαίου. Το έργο εφαρμόστηκε στα Κέντρα Υγείας Χάρακα και Κανδάνου (και τα περιφερειακά τους ιατρεία) και στο Κέντρο Υγείας Σαντορίνης και τα περιφερειακά ιατρεία στην Ανάφη, τη Σίκινο, τη Φολέγανδρο και τη Θηρασιά.^[9]

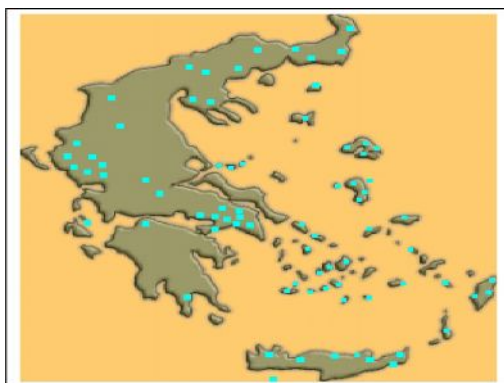


Εικ. 6.3: Το πρόγραμμα HYGEIA net στην Περιφέρεια Κρήτης

6.1.2 Νόμος περί τηλεϊατρικής

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει ειδικός νόμος που να αφορά τις υπηρεσίες τηλεϊατρικής. Η αρχική θεώρηση των πραγμάτων, από την εποχή των πρόσφατων βημάτων της τηλεϊατρικής στην Ελλάδα (1989-1995), είχε διαμορφώσει την άποψη ότι η υπάρχουσα νομοθεσία και οι δεοντολογικοί κανόνες που αφορούν τις υπηρεσίες υγείας καλύπτουν επαρκώς και τα θέματα της τηλεϊατρικής. Σε άλλες χώρες ακολουθήθηκε διαφορετική προσέγγιση και σήμερα είτε υπάρχουν ειδικές ρυθμίσεις που αφορούν τις υπηρεσίες της τηλεϊατρικής (Η.Π.Α.) είτε έχουν διαμορφωθεί ειδικοί νόμοι (Μαλαισία).

Η Ελλάδα έχει υιοθετήσει τις γενικές κατευθυντήριες γραμμές που έχουν τεθεί στα πλαίσια διεθνών οργανισμών (π.χ. του Συμβουλίου της Ευρώπης και της Ευρωπαϊκής Ένωσης) και έχει θέσει σε εφαρμογή τον Ν. 2472/1997 που αφορά την προστασία του ατόμου από την επεξεργασία δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα.^[1]



Εικ. 6.4: Μονάδες Υγείας στην Ελλάδα όπου λειτουργούν εφαρμογές τηλεϊατρικής

6.2 Ρομποτική χειρουργική στην Ελλάδα

Για πρώτη φορά στην Ελλάδα εφαρμόστηκε ρομποτική νεφρεκτομή στο Γενικό Νοσοκομείο Χανίων το Φεβρουάριο του 2003. Παρουσιάστηκε στις 28 Μαρτίου του ίδιου έτους στο αμφιθέατρο του Νοσοκομείου Χανίων από τους βασικούς συντελεστές της επέμβασης και τη διοίκηση του ιδρύματος. Την παρουσίαση έκανε ο διευθυντής του Ουρολογικού Τμήματος Πέτρος Χατζηλίας. Η χειρουργική επέμβαση πραγματοποιήθηκε με το AESOP 1000 σε συνδυασμό με την τεχνολογία του Τμήματος Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης και την επιστημονική γνώση των ιατρών του Νοσοκομείου Χανίων. Χρησιμοποιήθηκε η τεχνική “hand assisted” λαπαροσκοπική νεφρεκτομή και η εγχείρηση στέφθηκε με απόλυτη επιτυχία. Η συγκεκριμένη επέμβαση χαρακτηρίστηκε πρωτοποριακή, καθώς η λαπαροσκοπική νεφρεκτομή θεωρείται εξαιρετικά δύσκολη επέμβαση.

Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται επίσης ρομποτικά συστήματα σε νευροχειρουργικές επεμβάσεις. Η νευροχειρουργική τα τελευταία χρόνια έχει ενσωματώσει τη μεγάλη τεχνολογική πρόοδο των απεικονιστικών μεθόδων (CT, MRI κ.ά.) και των ηλεκτρονικών υπολογιστών για την αποτελεσματική χειρουργική αντιμετώπιση των παθήσεων του εγκεφάλου, του νωτιαίου μυελού και της σπονδυλικής στήλης. Το πρώτο σύστημα ρομποτικής πλοήγησης που χρησιμοποιήθηκε στην Ελλάδα σε τέτοιου είδους επέμβαση ήταν το Vector Vision II στο Νοσοκομείο “Υγεία” στην Αθήνα. Το ίδιο σύστημα νευροπλοήγησης αγοράστηκε και από το Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο Ηρακλείου και λειτούργησε για πρώτη φορά στις 28 Νοεμβρίου του 2002. Το συγκεκριμένο σύστημα καλύπτει όλο το φάσμα των νευροχειρουργικών επεμβάσεων συμβάλλοντας παράλληλα:

- στον ακριβή εντοπισμό των παθήσεων του εγκεφάλου, της σπονδυλικής στήλης και του νωτιαίου μυελού
- στην ακριβή οριοθέτηση των όγκων στην τρισδιάστατη απεικόνιση
- στον περιορισμό του χειρουργικού τραύματος και του χειρουργικού χρόνου
- στην μείωση της πιθανότητας τραυματισμού των φυσιολογικών δομών
- στην εκτέλεση στερεοτακτικών επεμβάσεων χωρίς το πλαίσιο αναφοράς με ακρίβεια μικρότερη του χιλιοστού

Το σύστημα πλοήγησης συνεργάζεται με το ψηφιακό χειρουργικό μικροσκόπιο, μεταφέροντας με τον τρόπο αυτό τις πληροφορίες από την επέμβαση στο οπτικό πεδίο του χειρουργού, κινεί αυτόματα το μικροσκόπιο και εστιάζει επακριβώς στο σημείο της προκαθορισμένης βλάβης. Συνεργάζεται επίσης με το χειρουργικό ενδοσκόπιο υποστηρίζοντας όλες τις ενδοσκοπικές επεμβάσεις όπως π.χ. υδροκεφαλία, όγκοι εγκεφαλικών κοιλιών, αποστήματα και αιματώματα εγκεφάλου. Ανεκτίμητη είναι η συμβολή του συστήματος πλοήγησης σε παθήσεις της σπονδυλικής στήλης. Παθήσεις όπως η σκολίωση, η κήλη του μεσοσπονδύλιου δίσκου και η αυχενική σπονδύλωση πραγματοποιούνται με μεγάλη ευκολία και ασφάλεια για τον ασθενή με τη βοήθεια του συγκεκριμένου συστήματος. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται επίσης οι όγκοι και οι αγγειακές παθήσεις του νωτιαίου μυελού.

Από τον Σεπτέμβριο του 2006 λειτουργεί στο Ιατρικό Κέντρο Αθηνών και το πρώτο ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci στη χώρα μας, τα επίσημα εγκαίνια του οποίου πραγματοποιήθηκαν στις 8 Νοεμβρίου του ίδιου έτους στο Μαρούσι. Μέσα στα δύο πρώτα χρόνια λειτουργίας του είχαν ήδη εκτελεστεί με απόλυτη επιτυχία 197 επεμβάσεις γενικής χειρουργικής και 290 ουρολογικές επεμβάσεις, οι οποίες μεταξύ των άλλων περιελάμβαναν:

- 34 θολοπλαστικές κατά Nissen για αποκατάσταση διαφραγματοκήλης
- 3 αποκαταστάσεις παραοισοφαγικής διαφραγματοκήλης και 8 μυοτομές κατά Heller για διόρθωση αχαλασίας οισοφάγου
- 3 εκτομές γαστρικών όγκων, 1 περιφερειακή παγκρεατεκτομή, 1 τμηματεκτομή ήπατος και 4 εκτομές κύστεων ήπατος
- 36 χολοκυστεκτομές
- 5 σιγμοειδεκτομές με ή χωρίς ορθοπηξία
- 5 σκωληκοειδεκτομές
- 3 εκτομές κύστεων νεφρού, 4 νεφρεκτομές και 4 επινεφριδεκτομές

- 5 βουβωνοκήλες και 22 επεμβάσεις αποκατάστασης κοιλιοκήλης
- ριζικές προστατεκτομές και κυστεκτομές

Στο διάστημα αυτό έγινε πλήρης καταγραφή του χρόνου προετοιμασίας του ρομποτικού συστήματος, της διάρκειας των χειρουργικών επεμβάσεων, της μετεγχειρητικής νοσηρότητας και του χρόνου νοσηλείας. Η καμπύλη εκμάθησης αξιολογήθηκε από τη σύγκριση των εγχειρητικών χρόνων στις περιπτώσεις της ρομποτικής χολοκυστεκτομής και θολοπλαστικής κατά Nissen στον πρώτο και δεύτερο χρόνο εφαρμογής του συστήματος, ενώ όλοι οι ασθενείς δήλωσαν ικανοποιημένοι μετά το πέρας της επέμβασης.^{[10],[11]}

Είδος επέμβασης	Αριθμός επεμβάσεων	Μέση ηλικία (έτη)	Μέσος χρόνος προετοιμασίας συστήματος (λεπτά)	Μέσος εγχειρητικός χρόνος (λεπτά)	Μέση διάρκεια νοσηλείας (ημέρες)
Ρομποτική χολοκυστεκτομή	36	48.78	16.19	60.27	1.92
Ρομποτική θολοπλαστική κατά Nissen	34	46.26	19.74	99.28	1.68

Πίνακας 6.1: Αποτελέσματα σημαντικότερων ρομποτικών επεμβάσεων στο Ιατρικό Κέντρο Αθηνών κατά τα δύο πρώτα χρόνια λειτουργίας του συστήματος da Vinci



Εικ. 6.5: Εγκαίνια στο Ιατρικό Κέντρο Αθηνών του πρώτου ρομποτικού συστήματος da Vinci στην Ελλάδα

Τον Ιούλιο του 2007 εγκαταστάθηκε και άρχισε να λειτουργεί στο Διαγνωστικό και Θεραπευτικό Κέντρο Αθηνών “ΥΓΕΙΑ” ένα δεύτερο σύστημα ρομποτικής χειρουργικής τελευταίας γενιάς, το da Vinci S (Stream Line), το οποίο πραγματοποιεί όλο το φάσμα των λαπαροσκοπικών εγχειρήσεων αλλά και μεγάλο ποσοστό των έως σήμερα συμβατικών επεμβάσεων. Στο συγκεκριμένο θεραπευτήριο έχει πραγματοποιηθεί κατά καιρούς ένας σημαντικός αριθμός επιτυχημένων ρομποτικών επεμβάσεων. Ενδεικτικά, αναφέρονται μερικές από αυτές: ^{[12],[13],[14]}

Ημερομηνία	Είδος χειρουργικής επέμβασης
16-04-08	Πρώτη χειρουργική επέμβαση παχυσαρκίας (sleeve gastrectomy) με το ρομποτικό σύστημα da Vinci S στην Ελλάδα.
22-04-08	Πρώτη χειρουργική επέμβαση αορτοστεφανιαίας παράκαμψης (by-pass) χωρίς στερνοτομή σε έναν 74χρονο ασθενή με το σύστημα da Vinci S στην Ελλάδα. Ο ασθενής μεταφέρθηκε στο θάλαμό του την ίδια ημέρα (και όχι στη ΜΕΘ) και επέστρεψε στο σπίτι του εντός τεσσάρων ημερών.
26-06-08	Πρώτη ρομποτική διαδερμική σπονδυλοδεσία στην Ελλάδα σε έναν 70χρονο ασθενή. Η επέμβαση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του ρομποτικού συστήματος SpineAssist για υποβοήθηση εγχειρήσεων στη σπονδυλική στήλη.
01-07-08	Πρώτη ολική υστερεκτομή και αφαίρεση ωθηκών σε μία 52χρονη ασθενή με το σύστημα da Vinci S στην Ελλάδα. Η ασθενής είχε τη δυνατότητα να πάρει εξιτήριο ακόμα και την ίδια ημέρα. Η όλη διαδικασία μεταδόθηκε ζωντανά κατά τη διάρκεια ημερίδας που πραγματοποιήθηκε στο νοσοκομείο με θέμα “Η Ρομποτική Χειρουργική στη Γυναικολογία”.
20-10-08	Ανακοινώθηκε η επιτυχημένη ολοκλήρωση των τριών πρώτων καρδιοχειρουργικών επεμβάσεων αποκατάστασης μιτροειδούς βαλβίδας με το ρομποτικό σύστημα da Vinci S στην Ελλάδα.
23-10-08	Πρώτη επιτυχημένη χειρουργική επέμβαση εγκεφάλου στη χώρα μας σε ασθενή 54 χρονών με τη χρήση του ρομποτικά καθοδηγούμενου μικροσκοπίου PENTERO, το οποίο ενδείκνυται για όγκους μεγαλύτερους των 3 cm. Το μικροσκόπιο ήταν ηλεκτρονικά συνδεδεμένο με το αυτοματοποιημένο σύστημα νευροπλοήγησης Stealth Station. Η συγκεκριμένη μέθοδος συμπληρώνει την υφιστάμενη, στο θεραπευτήριο “ΥΓΕΙΑ”, ρομποτική ακτινοχειρουργική τεχνική Gamma Knife.
06-04-09	Αποτελεσματική αντιμετώπιση των ινομυωμάτων με το σύστημα da Vinci S σε μία 30χρονη γυναίκα. Η αφαίρεση των δύο ινομυωμάτων, μεγέθους 2.5 και 4.5 cm, ολοκληρώθηκε αναίμακτα, χωρίς επιπλοκές και η ασθενής είχε τη δυνατότητα να πάρει εξιτήριο από το θεραπευτήριο την αμέσως επόμενη ημέρα.

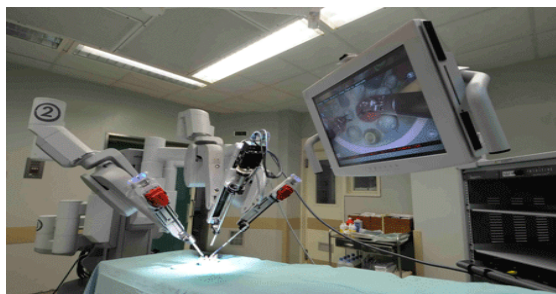
Πίνακας 6.2: Σημαντικότερες επεμβάσεις ρομποτικής χειρουργικής στο Δ.Θ.Κ.Α “Υγεία”

Το νοσοκομείο “ΥΓΕΙΑ” αποτελεί πλέον κέντρο αναφοράς σε Ελλάδα και Ευρώπη ως προς τον τεχνολογικό εξοπλισμό και την εφαρμογή πρωτοποριακών τεχνικών στην Ακτινοθεραπεία, μετά και την πρόσφατη εγκατάσταση τριών υπερσύγχρονων ρομποτικών γραμμικών επιταχυντών στη Μονάδα Ακτινοθεραπευτικής Ογκολογίας του νοσοκομείου με μία επένδυση που άγγιξε το ποσό των 7 εκ. ευρώ. Οι νέοι γραμμικοί επιταχυντές ELEKTA AXESSE, synergy και platform ενσωματώνουν τα πλέον εξελιγμένα συστήματα για καθοδηγούμενη από εικόνες ακτινοθεραπεία (Image-Guided RadioTherapy ή IGRT), προσφέροντας έτσι μοναδική ευκαιρία όχι μόνο στους Έλληνες αλλά και στους πολίτες των όμορων κρατών για την όσο το δυνατόν καλύτερη αντιμετώπιση των διάφορων μορφών καρκίνου.

Με τους τρεις νέους αυτούς ρομποτικούς επιταχυντές επιτυγχάνεται κλιμάκωση των χορηγούμενων δόσεων ακτινοβολίας με λιγότερη τοξικότητα για τη ριζική θεραπεία και διάσωση ζωτικών οργάνων. Ο εξοπλισμός τους περιλαμβάνει προηγμένα συστήματα ηλεκτρονικής απεικόνισης πεδίου και συστήματα ανάλογα του αξονικού τομογράφου, ώστε να επιτυγχάνεται τρισδιάστατη ογκομετρική απεικόνιση του ασθενούς στη θέση θεραπείας την ώρα της ακτινοβολήσης, καθώς και ρομποτικούς χειρισμούς ελέγχου, διόρθωσης και ακριβούς τοποθέτησης, εξασφαλίζοντας έτσι την απόλυτη στόχευση του όγκου-στόχου. Με τον τρόπο αυτό, η μονάδα Ακτινοθεραπευτικής Ογκολογίας του “ΥΓΕΙΑ” έχει τη δυνατότητα εφαρμογής της πλέον εξελιγμένης μορφής συμμόρφου τρισδιάστατης ακτινοθεραπείας, της ακτινοθεραπείας με πεδία ακτινοβολίας διαμορφωμένης έντασης (Intensity Modulated Radiation Therapy ή IMRT), της ογκομετρικά τοξοειδούς ακτινοθεραπείας διαμορφωμένης έντασης (Volumetric Modulated Arc Therapy ή VMAT) και της στερεοτακτικής ακτινοθεραπείας και ακτινοχειρουργικής (Stereotactic Radiotherapy and Radiosurgery) σώματος-κεφαλής.^[15]

Μία ακόμη ιδιωτική πρωτοβουλία οδήγησε στην εγκατάσταση και ενός άλλου συστήματος ρομποτικής χειρουργικής da Vinci στη χώρα μας. Στα πλαίσια της πρώτης επίσημης παρουσίασης της Γενικής Κλινικής Doctors’ Hospital, που έλαβε χώρα την Τετάρτη 11 Ιουνίου 2008 στην Αίγλη Ζαπτείου, δόθηκε στους παρευρισκόμενους η δυνατότητα να παρακολουθήσουν μέσω ζωντανής σύνδεσης με το χειρουργείο της κλινικής μία επέμβαση παχυσαρκίας που πραγματοποιήθηκε με το σύστημα αυτό. Οι παριστάμενοι είχαν επίσης την ευκαιρία να ενημερωθούν ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τον τρόπο λειτουργίας και τις περιπτώσεις κατά τις οποίες ενδείκνυται η χρήση του συστήματος da Vinci. Σημειώνεται, ότι η συγκεκριμένη κλινική, την ιδιοκτησία και διαχείριση της οποίας έχει η εταιρεία “ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ Α.Ε.Ε.-Ο.Τ.Κ.”, εξειδικεύεται κυρίως σε επεμβάσεις βariatρικής.^{[16],[17]}

Το Γενικό Νοσοκομείο Αθηνών “Λαϊκό” αποτελεί από τις 23 Ιουλίου του 2008 το πρώτο δημόσιο νοσοκομείο της χώρας μας στο οποίο έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί το σύστημα ρομποτικής χειρουργικής da Vinci, προσφέροντας σε όλους τους Έλληνες ασθενείς τη δυνατότητα να επωφελούνται από την πιο σύγχρονη τεχνολογία στην εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων που εφαρμόζεται σήμερα σε πολλές χώρες διεθνώς. Το σύστημα άρχισε να εφαρμόζεται άμεσα σε επεμβάσεις γενικής χειρουργικής, ενώ εντός του επόμενου εξαμήνου από την εγκατάστασή του προβλεπόταν η επέκταση των εφαρμογών του στην ουρολογία και σε άλλες χειρουργικές ειδικότητες.



Εικ. 6.6: Το ρομποτικό σύστημα da Vinci του Γενικού Λαϊκού Νοσοκομείου Αθηνών

Η εγκατάσταση και λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος στο δημόσιο, πανεπιστημιακό νοσοκομείο “Λαϊκό” εγκαινίασε ουσιαστικά την εποχή της ρομποτικής χειρουργικής για το ελληνικό δημόσιο νοσοκομείο και αποτέλεσε την έμπρακτη απόδειξη της συνεχούς προσπάθειας που καταβάλλεται έτσι ώστε το Εθνικό Σύστημα Υγείας να παρέχει υπηρεσίες υψηλού επιπέδου σε κάθε Έλληνα ασθενή. Επιπρόσθετα, η εφεξής συστηματική εφαρμογή της ρομποτικής χειρουργικής θα προσφέρει τη δυνατότητα εκπαίδευσης των φοιτητών της Ιατρικής Σχολής και των ειδικευόμενων ιατρών του Λαϊκού Νοσοκομείου σε ιατρικές τεχνολογίες αιχμής.^[18]

Στις περιπτώσεις της ριζικής προστατεκτομής για παράδειγμα, όπου έχει εντοπιστεί καρκίνος στον προστάτη, η ρομποτική χειρουργική με το σύστημα da Vinci πλεονεκτεί ουσιαστικά σε σύγκριση με την ανοιχτή χειρουργική. Η ρομποτική μέθοδος εξαιρεί ριζικά τη νόσο και μειώνει για πρώτη φορά σημαντικά τις πιθανότητες να εμφανίσει ο ασθενής ακράτεια ούρων ή στυτική δυσλειτουργία μετά την επέμβαση. Για τους λόγους αυτούς άλλωστε η εξάπλωση των ρομποτικών ριζικών προστατεκτομών είναι αξιοσημείωτη (πάνω από 5.000 παγκοσμίως).

Ουρολογία Ριζική Προστατεκτομή	Ανοιχτό Χειρουργείο	Λαπαροσκοπικά	Σύστημα da Vinci
Διάρκεια επέμβασης	164 min	248 min	160 min
Απώλεια Αίματος	900 ml	380 ml	153 ml
Μετεγχειρητικές επιπλοκές	15%	10%	5%
Χρόνος νοσηλείας	3.5 ημέρες	1.3 ημέρες	1.2 ημέρες
Ποσοστό ανάπτυξης καρκίνου μετεγχειρητικά	24%	24%	5%
Χρόνος χρήσης καθετήρα μετά την επέμβαση	15 ημέρες	10 ημέρες	5 ημέρες

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα επεμβάσεων ριζικής προστατεκτομής στο “Λαϊκό”

Η ρομποτική χειρουργική εφαρμόζεται στην Ελλάδα και στην καρδιολογία, σε περιπτώσεις απλού bypass μέχρι στιγμής. Ο ασθενής καταπονείται αισθητά λιγότερο, καθώς αποφεύγεται έτσι η μεγάλη θωρακική τομή της ανοιχτής μεθόδου. Χάρη σε τέσσερις τομές του ενός εκατοστού ο μετεγχειρητικός πόνος είναι ελάχιστος, το εξιτήριο από τη μονάδα εντατικής θεραπείας χορηγείται την ίδια ημέρα της επέμβασης ενώ η συνολική παραμονή στο νοσοκομείο δεν ξεπερνά τις τέσσερις ημέρες.

Καρδιοχειρουργική Αποκατάσταση μιτροειδούς βαλβίδας	Ανοιχτό Χειρουργείο	Σύστημα da Vinci
Θνησιμότητα	2.2%	0%
Σημαντικές μετεγχειρητικές επιπλοκές	13.1%	0%
Χρόνος μετεγχειρητικής νοσηλείας	8.5 ημέρες	1.3 ημέρες

Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα επεμβάσεων αποκατάστασης μιτροειδούς βαλβίδας στο “Λαϊκό”

Εμφανή όμως είναι και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η ρομποτική χειρουργική με το da Vinci στην Ελλάδα και σε επεμβάσεις γενικής χειρουργικής. Από τα περιστατικά που έχουν αντιμετωπιστεί με τη ρομποτική μέθοδο μέχρι στιγμής έχουν προκύψει τα ακόλουθα στατιστικά στοιχεία.^[19]

Γενική Χειρουργική	Λαπαροσκοπικά	Σύστημα da Vinci
Ποσοστό επιτυχίας	93%	100%
Διάρκεια επέμβασης	173 min	120 min
Χρόνος νοσηλείας	48 ώρες	36 ώρες

Πίνακας 6.5: Αποτελέσματα επεμβάσεων γενικής χειρουργικής στο “Λαϊκό”

Από το 2006 λειτουργεί στο κέντρο μαγνητικής τομογραφίας “ΙΑΤΡΟΠΟΛΙΣ” η πρώτη στην Ελλάδα ρομποτική ακτινοχειρουργική μονάδα τελευταίας γενιάς CyberKnife G4 για την αντιμετώπιση ογκολογικών και άλλων παθήσεων σε όλο το σώμα. Η μονάδα αυτή έχει τη δυνατότητα να ακτινοβολεί πρωτογενείς ή μεταστατικούς όγκους καθώς και δυσπλασίες ή αλλοιώσεις σε κάθε σημείο του σώματος, χωρίς την ανάγκη ειδικής ακινητοποίησης του κεφαλιού ή του σώματος, με ακρίβεια καλύτερη από 0.3 mm χωρίς αναισθησία, αναίμακτα, σε μία έως πέντε συνεδρίες. Πρόκειται για έναν υπερσύγχρονο ιατρικό εξοπλισμό που αποκτήθηκε στα πλαίσια μίας επένδυσης ύψους 10 εκ. ευρώ.^{[20],[21]}

Στα τρία χρόνια λειτουργίας του συστήματος στην Ακτινοχειρουργική Μονάδα του κέντρου έχουν ήδη αντιμετωπιστεί 1000 και πλέον περιστατικά, από τα οποία τα 651 ήταν περιστατικά όγκου κεφαλής και τα υπόλοιπα αφορούσαν όγκους στο υπόλοιπο σώμα. Το σύνολο των ασθενών που ακολούθησαν τη συγκεκριμένη θεραπευτική μέθοδο στο “ΙΑΤΡΟΠΟΛΙΣ” δεν περιελάμβανε αποκλειστικά Έλληνες, αλλά και Ιταλούς, Άγγλους, Κύπριους και Αλβανούς, ενώ ζητήθηκε και η γνώμη των εξειδικευμένων, πεπειραμένων επιστημόνων του κέντρου από ασθενείς και ιατρικά κέντρα άλλων χωρών όπως η Ελβετία, η Νέα Ζηλανδία, το Ισραήλ, η Νορβηγία, η Αυστραλία, η Ρουμανία και η Ρωσία. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι επίσης ότι η συγκεκριμένη μέθοδος θεραπείας καλύπτεται πλήρως από τα ασφαλιστικά ταμεία.^[22]

6.3 Ρομποτική χειρουργική εκπαίδευση στην Ελλάδα

Από την εγκατάσταση και λειτουργία του πρώτου ρομποτικού συστήματος da Vinci στην Ελλάδα το Σεπτέμβριο του 2006 στο Ιατρικό Κέντρο Αθηνών μέχρι σήμερα έχουν εκπαιδευτεί ήδη περισσότεροι από 20 Έλληνες ρομποτικοί χειρουργοί. Οι ρομποτικές επεμβάσεις που πραγματοποιούνται στη χώρα μας αποτελούν κατά καιρούς αφορμές να επισκέπτονται την Ελλάδα ομάδες επιστημόνων από γειτονικές κυρίως χώρες. Μία ρομποτική επέμβαση διαφραγματοκήλης σε έναν 42χρονο ασθενή έδωσε, για παράδειγμα, την ευκαιρία σε ομάδες καθηγητών χειρουργών από την Τουρκία και τη Σερβία να επισκεφθούν την Ελλάδα στις 21 Μαΐου του 2008 στο πλαίσιο της εκπαίδευσής τους στη ρομποτική τεχνολογία.^[23]

Η εγκατάσταση του πρώτου ρομποτικού συστήματος da Vinci σε δημόσιο νοσοκομείο της χώρας, και συγκεκριμένα στο Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο “Λαϊκό”, σηματοδότησε παράλληλα και την έναρξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων για χειρουργούς, ειδικευόμενους ιατρούς και φοιτητές. Μέχρι τότε η εκπαίδευση στη ρομποτική χειρουργική πραγματοποιούνταν αποκλειστικά στο εξωτερικό. Συγκεκριμένα, από τις 15 έως και τις 19 Δεκεμβρίου του 2008 πραγματοποιήθηκε στην Αθήνα το 1^ο Διεθνές Workshop Ρομποτικής Χειρουργικής στη Νοτιοανατολική Ευρώπη από την Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου Αθηνών και το Λαϊκό Γενικό Νοσοκομείο σε συνεργασία με την Ελληνική Εταιρεία Ενδοσκοπικής Χειρουργικής και την εταιρεία Plus Medica, η οποία διατηρεί τα αποκλειστικά δικαιώματα στην Ελλάδα για το σύστημα da Vinci. Δώδεκα χειρουργοί από την Ελλάδα, τη Ρουμανία και τη Σερβία παρακολούθησαν θεωρητικά σεμινάρια και συμμετείχαν σε προγράμματα πρακτικής

εξάσκησης στο πειραματικό χειρουργείο για την εφαρμογή του συστήματος ρομποτικής χειρουργικής da Vinci σε επεμβάσεις γενικής χειρουργικής και ουρολογίας. Το Workshop πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του Ιδρύματος Ιατροβιολογικών Ερευνών της Ακαδημίας Αθηνών με τη συμμετοχή αναγνωρισμένων Ελλήνων χειρουργών με μεγάλη εξειδίκευση και εμπειρία στη ρομποτική χειρουργική.^[24]

Τη ρομποτική χειρουργική εκπαίδευση στην Ελλάδα συμπληρώνουν επιστημονικά συνέδρια, σεμινάρια και ημερίδες που πραγματοποιούνται κατά καιρούς. Πρόσφατα ανακοινώθηκε ότι το 6^ο Παγκόσμιο Συνέδριο Ρομποτικής Χειρουργικής (MIRA 2011) θα πραγματοποιηθεί στην Αθήνα. Η ανακοίνωση αυτή έγινε στα πλαίσια των εργασιών του 4^{ου} Παγκόσμιου Συνεδρίου Ρομποτικής Χειρουργικής (MIRA 2009) που πραγματοποιήθηκε στο Κεμπέκ του Καναδά.^[25]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σωτηρίου Δ., *Υπηρεσίες Τηλεϊατρικής*, Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική Σχολή Ε.Κ.Π.Α.
<http://mpl.med.uoa.gr/Downloads/PDF/tileiatrik.pdf>
- [2] Μπουλούτζα Π., *Σε πέντε χρόνια κατέρρευσε η τηλεϊατρική. Φυτοζωεί, εξαιτίας της έλλειψης προσωπικού, η μονάδα μονάδα του ΕΣΥ, στο Σισμανόγλειο, εφημερίδα 'Καθημερινή', 29/04/07*
http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_ell_1_29/04/2007_225048
- [3] *ΤΗΛΕΪΑΤΡΙΚΗ*, Σισμανόγλειο Γενικό Νοσοκομείο
<http://www.sismanoglio.gr/special9.sismanoglio.gr>
- [4] *Ερευνητικά Έργα*, Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική Σχολή Ε.Κ.Π.Α., 1998
http://asclepieion.mpl.uoa.gr/pubASPIS/YT_Ερευνητικά_Έργα.htm
- [5] Grasczew G., Balanos E., Roelofs T., Rakowsky S., Schlag P. and Bagnoli F., *Medical Assistance at Sea*, VDE Kongress, Berlin, 2004
<http://www.rrk-berlin.de/op2000/misc/papers/DGBMT-MEDASHIP.pdf>
- [6] *Έργο ΑΣΠΑΣΙΑ. Ασκληπιείο Πάρκο Αθηνών: Σύνοψη Ιδεωδών & Ανάπτυξης*, Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική Σχολή Ε.Κ.Π.Α., 1999-2000
<http://asclepieion.mpl.uoa.gr/aspasia/default.htm>
- [7] *Πρόγραμμα Τηλεπαρακολούθησης Παιδιών*, Εταιρεία Κινητής Τηλεφωνίας Vodafone
<http://www.vodafone.gr/portal/client/cms/viewCmsPage.action?pageId=1809>
- [8] *Η ΤΗΛΕΪΑΤΡΙΚΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ*, Εργαστήριο Τηλεϊατρικής και Ιατρικής Πληροφορικής, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2001
<http://www.techmed.teicrete.gr/cd%20PSE/>
- [9] *Εργαστήριο Βιοϊατρικής Πληροφορικής και Έργα*, Ινστιτούτο Πληροφορικής Ι.Τ.Ε., 2001
<http://www.ics.forth.gr/eHealth/projects-gr.jsp>
- [10] *Η ρομποτική χειρουργική στην Ελλάδα*, Ελληνική Επιστημονική Εταιρεία Ρομποτικής Χειρουργικής, 22/04/09
http://www.roboticsurgery.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=50
- [11] Κωνσταντινίδης Κ., Χειρίδης Σ., Ξιάρχος Α., Αναστασάκου Κ., Σάμπαλης Γ., Βοριάς Μ., Γεωργίου Μ. και Θωμάς Δ., *ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DA VINCI ΔΥΟ ΧΡΟΝΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ*, Ιατρικό Αθηνών, 2009
http://library.tee.gr/digital/m2376/m2376_konstantinidis.pdf

- [12] Δελτία Τύπου – 2007, Διαγνωστικό & Θεραπευτικό Κέντρο Αθηνών “ΥΓΕΙΑ”
http://www.hygeia.gr/page.aspx?p_id=44
- [13] Δελτία Τύπου – 2008, Διαγνωστικό & Θεραπευτικό Κέντρο Αθηνών “ΥΓΕΙΑ”
http://www.hygeia.gr/page.aspx?p_id=267
- [14] Δελτία Τύπου – 2009, Διαγνωστικό & Θεραπευτικό Κέντρο Αθηνών “ΥΓΕΙΑ”
http://www.hygeia.gr/page.aspx?p_id=373
- [15] Δ.Θ.Κ.Α. ΥΓΕΙΑ: Η μεγαλύτερη επένδυση στον τομέα της Ακτινοθεραπείας στην Ελλάδα, εφημερίδα ‘ΤΑ ΝΕΑ’, 18/05/2009
<http://ygeia.tanea.gr/default.asp?pid=8&ct=85&articleID=6485>
- [16] Κλινική Doctors’ Hospital: Η ρομποτική στην αντιμετώπιση της παχυσαρκίας, εφημερίδα ‘ΤΑ ΝΕΑ’, 18/06/2008
<http://ygeia.tanea.gr/default.asp?pid=8&ct=85&articleID=3536&la=1>
- [17] Η OTC στην Εναλλακτική Αγορά του Χρηματιστηρίου Αθηνών, εφημερίδα ‘ΤΑ ΝΕΑ’, 11/05/09
<http://ygeia.tanea.gr/default.asp?pid=8&ct=85&articleID=6416>
- [18] Επίσημα εγκαίνια για τη λειτουργία του Συστήματος Ρομποτικής Χειρουργικής da Vinci στο Γενικό Νοσοκομείο Αθηνών «Λαϊκό», Δελτίο Τύπου του Νοσοκομείου “Λαϊκό”, 23/07/2008
http://www.hellenic-health.gr/deltia_tyrou/deltia_tyrou_23_7_08_laikohospital.php
- [19] Τι είναι η ρομποτική χειρουργική; Δελτίο Τύπου του Νοσοκομείου “Λαϊκό”, 23/07/2008
http://www.hellenic-health.gr/deltia_tyrou/deltia_tyrou_info_23_7_08_laikohospital.php
- [20] Νέες ιατρικές εξελίξεις 2007, ΙΑΤΡΟΠΟΛΙΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ Α.Ε.
http://www.iatropoli.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=69&Itemid=64
- [21] Λιακοπούλου Θ., Επένδυση 10 εκατ. ευρώ από την Ιατρόπολις για εγκατάσταση μηχανήματος ρομποτικής ιατρικής, εφημερίδα ‘Καθημερινή’, 29/12/2006
http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_economyepix_1_29/12/2006_210404
- [22] Ιατρόπολις: Τρία χρόνια λειτουργία του CyberKnife, εφημερίδα ‘ΤΑ ΝΕΑ’, 27/05/2009
<http://ygeia.tanea.gr/default.asp?pid=8&ct=85&articleID=6587>
- [23] Η καινοτομία της Ρομποτικής Χειρουργικής, 21/05/08
<http://news.pathfinder.gr/health/476641.html>
- [24] Η Ελλάδα γίνεται κέντρο εκπαίδευσης στη ρομποτική χειρουργική, εφημερίδα ‘Καθημερινή’, 17/12/2008
http://portal.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_kathciv_1_17/12/2008_260629
- [25] Παγκόσμιο Συνέδριο Ρομποτικής Χειρουργικής στην Ελλάδα, 11/02/09
http://www.iatronet.gr/article.asp?art_id=7532

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αν και η ιδέα της ρομποτικής ξεκίνησε ως έργο επιστημονικής φαντασίας, τα ρομποτικά συστήματα κατέχουν σημαντικό ρόλο στον τρόπο ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Τα χειρουργικά ρομπότ αποτελούν ήδη αναπόσπαστο κομμάτι των ιατρικών επιστημών. Από το αρχικό σχέδιο της DARPA για την εφαρμογή της τηλεχειρουργικής στο πεδίο της μάχης μέχρι την πρώτη υπερατλαντική επέμβαση λαπαροσκοπικής χολοκυστεκτομής έχει σημειωθεί εξαιρετική πρόοδος και η ρομποτική έχει πλέον καθιερωθεί στη χειρουργική πρακτική. Εμπορικά συστήματα είναι ήδη διαθέσιμα εδώ και αρκετά χρόνια, η αξία των οποίων έχει ήδη υποβληθεί σε αυστηρή επιστημονική αξιολόγηση με τη βοήθεια κλινικών δοκιμών. Για παράδειγμα, οι δυνατότητες ελέγχου και οι πολλαπλοί βαθμοί ελευθερίας που προσφέρει το σύστημα da Vinci αυξάνουν τη δεξιοτεχνία και περιορίζουν τον τρόπο των χειρών του χειρουργού, ενώ η σαφώς βελτιωμένη οπτική απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου επιτρέπει την εκτέλεση μικροαναστομών. Τα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα μειώνουν επίσης το χρόνο νοσηλείας με ευεγερτικά αποτελέσματα για τους ασθενείς αλλά και οικονομικά οφέλη για τα νοσοκομεία.

Από πολλούς έχει γίνει η παρατήρηση ότι τα ρομποτικά συστήματα είναι στην ουσία πληροφοριακά συστήματα, και ως τέτοια έχουν τη δυνατότητα να ολοκληρώνουν πολλές από τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται ή ήδη χρησιμοποιούνται μέσα στη χειρουργική αίθουσα. Μία δυνατότητα είναι η συγχώνευση των εικόνων από τις απεικονιστικές εξετάσεις του ασθενούς (αξονικής και μαγνητικής τομογραφίας) με την εικόνα του χειρουργικού πεδίου για την καλύτερη καθοδήγηση του χειρουργού στην αναγνώριση της παθολογίας και την πραγματοποίηση τομών. Τα δεδομένα αυτά μπορούν εξίσου να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση προεγχειρητικών δοκιμών σε περίπλοκες επεμβάσεις.

Η φύση των ρομποτικών συστημάτων δίνει επίσης τη δυνατότητα για παροχή συμβουλών από ειδικούς και καθοδήγηση των επεμβάσεων από απόσταση, ενώ παρέχει και ευκαιρίες για την εκπαίδευση και αξιολόγηση των νέων χειρουργών μέσω της προσομοίωσης. Η τηλεχειρουργική αποτελεί το επόμενο βήμα της ρομποτικής χειρουργικής και, παρά τους διάφορους περιορισμούς της, φαίνεται να έχει λαμπρό μέλλον. Πρέπει, ωστόσο, να αναγνωριστεί ότι η τηλεχειρουργική αποτελεί μία μόνο πτυχή του τομέα της τηλεϊατρικής, όλα τα πεδία της οποίας συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της παροχής ιατρικής φροντίδας σε ασθενείς. Μπορούν να συνδράμουν στην ευρεία διάδοση της ιατρικής γνώσης και πείρας σε περιοχές που μειονεκτούν γεωγραφικά, οικονομικά και κοινωνικά, καθώς και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Δεδομένου ότι η τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών σημειώνει τα τελευταία χρόνια ραγδαία πρόοδο ενώ τα σχετικά κόστη μειώνονται συνεχώς, είναι αναμενόμενο τα πεδία της τηλεϊατρικής, συμπεριλαμβανομένης και της τηλεχειρουργικής, να έχουν μελλοντικά σημαντικό αντίκτυπο στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης αλλά και της ιατρικής εκπαίδευσης σε όλο τον κόσμο.

Αν και η αποτελεσματικότητα των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων μέσα στη χειρουργική αίθουσα έχει αποδειχθεί, είναι απαραίτητο να επισημανθούν μία σειρά από προβλήματα που σχετίζονται με το υψηλό κόστος απόκτησης και συντήρησής τους και τον όγκο που αυτά καταλαμβάνουν μέσα στη χειρουργική αίθουσα (π.χ. σύστημα da Vinci). Το πιο σημαντικό, βέβαια, είναι η προσαρμογή των χειρουργείων στη νέα πραγματικότητα, η κατάρτιση του ιατρικού και νοσηλευτικού προσωπικού τους και η αποδοχή αυτής της διαφορετικής τεχνολογίας τόσο από τους χειρουργούς όσο και τους ασθενείς. Σε όλα μας τα συμπεράσματα που αφορούν τη ρομποτική χειρουργική πρέπει να λαμβάνεται πάντοτε υπόψη ότι πρόκειται για μία σχετικά πρόσφατη τεχνολογία η οποία δεν έχει δοκιμαστεί ακόμη αρκετά και δεν έχει γίνει ακόμα κομμάτι της καθημερινής χειρουργικής πρακτικής. Δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα για τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματά της αλλά και για την τελική μορφή την οποία αυτή θα λάβει με την πλήρη ενσωμάτωσή της στα περισσότερα νοσοκομεία.^[1]

Οι κατασκευαστές των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων υποστηρίζουν ότι αυτή είναι μόνο η αρχή. Τα προϊόντα αυτά θα συνεχίσουν να εξελίσσονται προκειμένου να διορθωθούν τυχόν περιορισμοί τους. Σκοπός των ερευνητών είναι να αναπτύξουν υψηλής απόδοσης συστήματα που θα επιτρέπουν στους χειρουργούς να αισθάνονται και να διαχειρίζονται με “φυσικό” τρόπο τους ιστούς κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων. Τα σημερινά συστήματα βασίζονται κυρίως στην οπτική ανάδραση (visual feedback). Μεγεθυμένα τρισδιάστατα μοντέλα καθοδηγούν τους χειρουργούς υποδεικνύοντάς τους τις

παραμορφώσεις των ιστών, ώστε να μπορούν αυτοί να υπολογίζουν πόση δύναμη ασκεί το ρομποτικό σύστημα. Οι χειρουργοί, όμως, είναι συνηθισμένοι να χρησιμοποιούν τα χέρια τους κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων και έχουν μάθει να βασίζονται στις πληροφορίες που τους προσφέρει η ψηλάφηση των ιστών στις επεμβάσεις της κλασικής ανοικτής χειρουργικής. Η έλλειψη απτικής αίσθησης αποτελεί σήμερα το σημαντικότερο ίσως μειονέκτημα των σύγχρονων συστημάτων. Αν και έχει αναπτυχθεί μία πληθώρα από αισθητήρες και μεθόδους ελέγχου που προσφέρουν απτική ανάδραση, πρέπει να επιλυθούν προβλήματα που αφορούν το κόστος, την πολυπλοκότητα και τη συμβατότητά τους με τα ρομποτικά συστήματα και τους ανθρώπινους ιστούς.^[2]

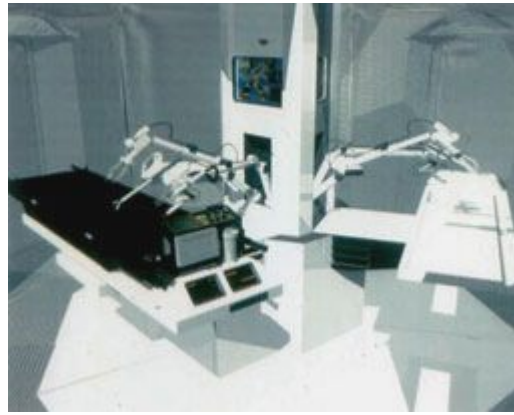
Η εξοικείωση των χειρουργών με τη νέα τεχνολογία αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα. Η επιφυλακτικότητα με την οποία αντιμετωπίζουν την εισαγωγή της ρομποτικής στη χειρουργική μπορεί να χαρακτηριστεί ως φυσιολογική και αναμενόμενη, καθώς η χειρουργική εκπαίδευση δεν έχει αλλάξει σχεδόν καθόλου για περισσότερο από έναν αιώνα. Αν και πολλοί, νέοι κυρίως, χειρουργοί εκδηλώνουν ενδιαφέρον για τα ρομποτικά συστήματα, λίγα ιδρύματα προσφέρουν την απαιτούμενη εκπαίδευση. Η ένταξη της ρομποτικής χειρουργικής στο πρόγραμμα σπουδών των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων όχι μόνο θα οδηγήσει στη μείωση της καμπύλης εκμάθησης των νέων χειρουργών αλλά θα επιφέρει και σημαντικές αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο οι τελευταίοι αποκτούν τις χειρουργικές τους ικανότητες, αφού πλέον η εξάσκηση θα γίνεται σε εικονικά περιβάλλοντα χωρίς να τίθενται θέματα για την ασφάλεια των ασθενών.

Μελλοντικές προοπτικές

Το μέλλον είναι ελπιδοφόρο εξαιτίας της μεγάλης ικανότητας των σύγχρονων ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων να επεκτείνουν τις δυνατότητες της χειρουργικής πέρα από τους ανθρώπινους περιορισμούς. Νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται συγχρόνως με τη ρομποτική υπόσχονται σύντομα να ενσωματωθούν στις επόμενες γενιές των χειρουργικών ρομπότ. Ένα ενδιαφέρον πεδίο έρευνας αποτελεί η συγχώνευση προεγχειρητικών εικόνων του ασθενούς από τομογραφίες με την εικόνα του εγχειρητικού πεδίου (αυξημένη πραγματικότητα – augmented reality), η οποία υπόσχεται να μας οδηγήσει στην εποχή της *διεγχειρητικής πλοήγησης*, όπου οι χειρουργικές επεμβάσεις θα καθοδηγούνται πλέον από ηλεκτρονικό υπολογιστή που θα επεξεργάζεται όλα τα δεδομένα από τον παρακλινικό έλεγχο του ασθενούς.^[3]

Καθώς ο τομέας της ρομποτικής θα εξελίσσεται, τα συστήματα θα γίνονται πιο ευφυή, εκτελώντας τελικά, εάν όχι ολόκληρη, το μεγαλύτερο μέρος από μία χειρουργική επέμβαση. Στο εγγύτερο μέλλον θα υπάρξει ανάγκη για την ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων υλικού-λογισμικού τα οποία θα έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν ολοκληρωμένες εργασίες από μία χειρουργική επέμβαση, για παράδειγμα αναστομώσεις, συνενώσεις νεύρων κ.λ.π. Τα συστήματα αυτά θα απαιτούν μία πολύπλοκη υποδομή την οποία θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να υιοθετήσει η χειρουργική αίθουσα του μέλλοντος. Οι μοναδικές απαιτήσεις των συστημάτων αυτών περιλαμβάνουν μία εύρωστη υποδομή πληροφοριών, πρόσβαση σε εξωτερικές πληροφορίες (π.χ. ακτίνες X, συμβουλευτική), φωνητικό έλεγχο του συστήματος από το χειρουργό καθώς και περιορισμό των διαστάσεών τους. Ενδεχομένως να υπάρξει και εξέλιξη της χειρουργικής αίθουσας, ώστε αυτή να μοιάζει περισσότερο με “δωμάτιο ελέγχου” εξαιτίας του μεγάλου αριθμού ηλεκτρονικών συστημάτων που θα πρέπει να ελέγχονται.

Ένα ενδιαφέρον προϊόν που έχει σχέση με τον έλεγχο και την παρακολούθηση των ασθενών είναι το σύστημα LSTAT (Life Support for Trauma and Transport), το οποίο αποτελεί ουσιαστικά μία ολοκληρωμένη μονάδα εντατικής θεραπείας. Αν και το LSTAT αναπτύχθηκε αρχικά από τον αμερικανικό στρατό ως σύστημα εκκένωσης του πεδίου της μάχης περιλαμβάνει πλήρη συστήματα ελέγχου, παρακολούθησης και διοίκησης ενώ υποστηρίζει και εφαρμογές τηλεϊατρικής. Έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί και να αποσυνδεθεί χωρίς να μετακινηθεί απαραίτητα ο ασθενής και είναι πλήρως συμβατό με τα σύγχρονα συστήματα τηλερομποτικής. Ένα σύστημα παρόμοιο αυτό μπορεί να ενσωματωθεί στη χειρουργική αίθουσα του μέλλοντος για να διευκολύνει την αναισθησία, τη χειρουργική επέμβαση και τη μεταφορά του ασθενούς, εξασφαλίζοντας παράλληλα τη συνεχή παρακολούθησή του.



Εικ. 7.1: Το σύστημα LSTAT (αριστερά) και μία αναπαράσταση της χειρουργικής αίθουσας του μέλλοντος (δεξιά)

Εκτός από τα τυπικά ρομποτικά συστήματα που είναι διαθέσιμα σήμερα, μερικά από τα συστήματα επόμενης γενιάς ενδεχομένως να χρησιμοποιούν τεχνολογία από τον αναδυόμενο τομέα της νανοτεχνολογίας και των μικροσυστημάτων. Έχουν γίνει ήδη υποθέσεις για τη χρήση μικροσκοπικών ρομπότ μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό. Τα συγκεκριμένα ρομπότ θα εισάγονται με τη βοήθεια μίας ένεσης μέσα στο σώμα του ασθενούς και θα καθοδηγούνται μέσω της αιματικής ροής προς το σημείο ενδιαφέροντος. Θα μπορούν να μετακινούνται μέσα στο ανθρώπινο σώμα, να συλλέγουν πληροφορίες και να εκτελούν μικρές εργασίες αποκατάστασης. Εάν τα σχέδια για τα “νανορομπότ” γίνουν πραγματικότητα, τότε μελλοντικά ίσως αυτά να είναι σε θέση να εντοπίζουν και να διαλύουν πέτρες στα νεφρά, να καθαρίζουν τα αιμοφόρα αγγεία ή να μεταφέρουν φάρμακα στα κύτταρα όγκων με κακοήθεια. Αν και η συγκεκριμένη ιδέα είναι αρκετά ενδιαφέρουσα, πρέπει να επιλυθούν αρκετά εμπόδια που αφορούν την κατασκευή και τον έλεγχο τόσο μικρών, ολοκληρωμένων και πολύπλοκων συστημάτων σε μοριακό πλέον επίπεδο. Η πρώτη γενιά των συστημάτων αυτών δεν θα είναι ορατή με γυμνό μάτι, θα κατασκευαστεί πιθανώς με χημικές μεθόδους σε δισεκατομμύρια αντίγραφα και δεν θα είναι ελεγχόμενη, αλλά προγραμματισμένη να αναγνωρίζει συγκεκριμένους τύπους κυττάρων ή ιστών.



Εικ. 7.2: Γραφική αναπαράσταση ενός νανορομπότ

Συνήθεις αναφορές γίνονται επίσης και στα μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS), ωστόσο αυτά είναι χίλιες φορές περίπου μεγαλύτερα ($\sim 10^{-6}$ m) από τα συστήματα νανοτεχνολογίας ($\sim 10^{-9}$ m). Τέτοια συστήματα θα ήταν ορατά ως πολύ μικρά ρομπότ και θα μπορούσαν να ελεγχθούν απευθείας από το χειρουργό. Εντούτοις, όσο η τεχνολογία προχωράει σε όλο και μικρότερες κλίμακες μεγέθους η ισχύς και η δύναμη του συστήματος ελαττώνονται επίσης, καθιστώντας πρακτικά αδύνατη την εκτέλεση κάποιας εργασίας από ένα τόσο μικρό ρομπότ. Αν και έχει κατασκευαστεί ήδη ένας αριθμός ρομπότ MEMS, κανένα από αυτά δεν είναι στην πραγματικότητα ικανό να εκτελέσει κάποια σημαντική εργασία, πόσο μάλλον μία χειρουργική επέμβαση.^[4]



Εικ. 7.3: Ένα ρομπότ MEMS

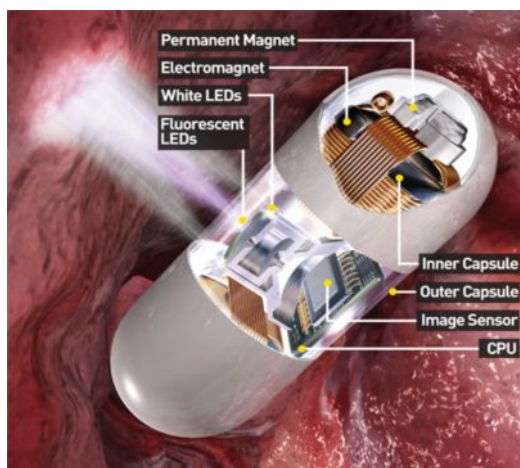
Μικροσκοπικά ρομπότ στο μέγεθος ενός γυναικείου κραγιόν, όμως, έχουν σχεδιαστεί από ερευνητές του Πανεπιστημίου της Νεμπράσκα και αναμένεται, στο εγγύς μέλλον, να δώσουν τη δυνατότητα σε ιατρούς στη γη να πραγματοποιούν χειρουργικές επεμβάσεις σε ασθενείς στο διάστημα. Τα ρομποτικά αυτά συστήματα θα μπορούν να τοποθετηθούν στο σώμα του ασθενούς μέσω μικρών τομών, ενώ ο χειρισμός τους θα είναι εφικτός μέσω υπολογιστή από χειρουργούς που θα βρίσκονται στη γη. Κάποια από τα ρομπότ είναι εξοπλισμένα με κάμερες και φώτα και μπορούν να στέλνουν εικόνες στους χειρουργούς. Άλλα έχουν ενσωματωμένα χειρουργικά εργαλεία, ο χειρισμός των οποίων ελέγχεται από απόσταση. Η NASA έχει ήδη εντάξει στα σχέδιά της την εκπαίδευση των αστροναυτών της στη χρήση αυτών των ρομπότ, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων στο διάστημα. Η καθυστέρηση που υπάρχει στην επικοινωνία λόγω της μεγάλης απόστασης επιβάλλει την εκπαίδευση των αστροναυτών από εξειδικευμένους ιατρούς σχετικά με τις εντολές που ενδεχομένως να χρειάζεται αυτοί να δίνουν στα ρομπότ. Πάντως και από τη γη οι χειρουργοί θα είναι σε θέση να χειρίζονται οι ίδιοι τα ρομπότ από διαφορετικές τοποθεσίες.^[5]



Εικ. 7.4: Ένα μικροσκοπικό ρομπότ

Μικρά σε μέγεθος ρομπότ έχουν ήδη αναπτυχθεί με σκοπό τον έλεγχο και την ενδοσκόπηση της γαστρεντερικής περιοχής. Ο καρκίνος στο κόλον, άλλωστε, αποτελεί μία από τις βασικές αιτίες θανάτου στις βιομηχανοποιημένες χώρες. Η κολονοσκόπηση πραγματοποιείται σήμερα με τον χειροκίνητο έλεγχο ενός εύκαμπτου ενδοσκοπίου διαμέτρου μέχρι δύο εκατοστών. Η συγκεκριμένη μέθοδος, όμως, αποτελούσε ανέκαθεν μία δύσκολη, επικίνδυνη και ιδιαίτερα επώδυνη για τον ασθενή διαδικασία. Κάποιες εναλλακτικές λύσεις φαίνεται να δίνουν μικροσκοπικά ρομπότ, τα οποία είτε με τη μορφή αυτόνομης μικροκάψουλας που καταπίνει ο ασθενής (ενδοσκοπικού χαπιού), είτε με τη μορφή ενός ημιαυτόνομου και αυτοπροωθούμενου κολονοσκοπίου που κινείται βιομημητικά (προσομειώνοντας την κίνηση π.χ. μίας κάμπιας), εισέρχονται στην περιοχή ενδιαφέροντος, συλλέγουν πληροφορίες και αποστέλλουν δεδομένα και εικόνες στον θεράποντα ιατρό. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ασύρματη κάψουλα ενδοσκόπησης M2A που αναπτύχθηκε από τον Iddan και τους συνεργάτες του το

2000 στο Ισραήλ. Το νέο αυτό σύστημα ενδοσκόπησης διαθέτει άριστη διαγνωστική ικανότητα για ασθένειες του λεπτού εντέρου, αιμορραγίες και χρόνιους πόνους στο υπογάστριο.^[6]



Εικ. 7.5: Το “χάπι” ενδοσκόπησης

Ακριβώς όπως στην κουλτούρα του ανθρώπου, έτσι και στη χειρουργική το μέλλον της ρομποτικής περιορίζεται μόνο από τη φαντασία. Πολλές μελλοντικές εξελίξεις βρίσκονται κάτω από το φακό της έρευνας. Ήδη μερικά ερευνητικά εργαστήρια δουλεύουν και έχουν αναπτύξει κάποια συστήματα για τη μετάδοση της αίσθησης της αφής από τα ρομποτικά εργαλεία πίσω στον χειρουργό. Άλλα εργαστήρια πάλι εργάζονται πάνω στην περαιτέρω βελτίωση των υπάρχουσών μεθόδων και την ανάπτυξη συσκευών για την εκτέλεση αναστομών χωρίς συρραφές. Όταν οι περισσότεροι άνθρωποι μιλούν για τη ρομποτική, εννοούν κυρίως τον αυτοματισμό. Η πιθανότητα αυτοματοποίησης κάποιων χειρουργικών εργασιών είναι τόσο συναρπαστική όσο και αμφισβητήσιμη. Τα μελλοντικά συστήματα ενδεχομένως να παρέχουν τη δυνατότητα σε έναν χειρουργό να προγραμματίζει την επέμβαση και στη συνέχεια αυτός να περιορίζεται απλά στην επίβλεψη των ενεργειών που εκτελεί το ρομπότ. Είναι άλλωστε κατανοητό ότι στο απώτερο μέλλον και κάτω από ειδικές περιστάσεις, όπως θα ήταν π.χ. μία αποστολή της NASA στον Άρη για παράδειγμα, τα ρομπότ θα εκτελούσαν ολόκληρη τη χειρουργική επέμβαση χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Οι πιθανότητες για βελτίωση για περαιτέρω εξέλιξη περιορίζονται μόνο από τη φαντασία και το κόστος.^[1]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Lanfranco A., Castellanos A., Desai J. and Meyers W., *Robotic Surgery: A Current Perspective*, *Annals of Surgery*, 239(1):14-21, January 2004
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1356187>
- [2] Okamura A., *Methods for haptic feedback in teleoperated robot-assisted surgery*, *Industrial Robot*, 31(6):499-508, December 2004
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1317565>
- [3] *Δελτίο Τύπου της Ελληνικής Επιστημονικής Εταιρείας Ρομποτικής Χειρουργικής για την 1^η Ημερίδα Ρομποτικής Χειρουργικής*, 27/02/2008
<http://www.kkonstantinidis.com/el/robotical-surgery.html>

- [4] Satava R., *History of Robotic Surgery. The early chronicles: a personal historical perspective*, Epublication: WeBSurg.com, October 2006
<http://www.websurg.com/robotics/history.php>
- [5] Γκιρίνης Α., *ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΣΤΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ*, Τμήμα Πληροφορικής και Επικοινωνιών, ΤΕΙ Σερρών
http://www.teiser.gr/icd/staff/fasoulas/Rombotiki_xeirourgiki.pdf
- [6] Hashizume M. and Tsugawa K., *Robotic Surgery and Cancer: the Present State, Problems and Future Vision*, Japanese Journal of Clinical Oncology, 34(5):227-237, May 2004
<http://jjco.oxfordjournals.org/cgi/content/full/34/5/227>