



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

*ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ*

ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ

«Ρομποτική Χειρουργική»



**Τσιλγκιρίδου Αναστασία-Μαρίνα**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Επιβλέπων  
**Δρ. ΦΟΥΡΛΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΛΑΜΙΑ 2008**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής υλοποιήθηκε με την υποστήριξη ενός αριθμού ανθρώπων στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου.

Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Φούρλα που πρότεινε το συγκεκριμένο θέμα και μας επέλεξε για την υλοποίησή του, καθώς και για τη βοήθεια που μας προσέφερε κατά τη διάρκεια της αναζήτησης πληροφοριών και συγκρότησης της δομής της εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξή τους όλους αυτούς τους μήνες που ασχολούμαι με τη συγκεκριμένη εργασία.

Έπειτα, τη φίλη και συνάδελφο, Τσιμπίδα Βασιλική, με την οποία μοιραστήκαμε όχι μόνο το θέμα της πτυχιακής εργασίας αλλά και όλες τις δυσκολίες μέχρι την ολοκλήρωσή της. Την ευχαριστώ θερμότατα για την καθημερινή συμπαράσταση και ενθάρρυνση.

Τέλος, ευχαριστώ τον κύριο Αγγέλη, καθηγητή του Τ.Ε.Ι Λαμίας, για τη βοήθειά του καθώς και όλους εκείνους τους σημαντικούς για εμένα ανθρώπους που συμμετείχαν στη διαδικασία συγγραφής της πτυχιακής εργασίας μου.

Τσιλιγκιρίδου Αναστασία-Μαρίνα

Ιούνιος 2008

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	viii
ABSTRACT	ix
<b>1 ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ</b> .....	<b>11</b>
1.1 Εισαγωγή.....	11
1.2 Ορισμός του ρομπότ.....	12
1.3 Είδη ρομπότ.....	13
1.3.1 Τα σπουδαιότερα είδη ρομπότ.....	13
1.4 Δομικά συστατικά ενός ρομπότ.....	17
1.4.1 Αισθητήρες ρομπότ (sensors).....	18
1.4.2 Κινητήρες ρομπότ (motors).....	18
1.5 Εφαρμογές των ρομπότ.....	18
1.6 Ρομποτικοί Βραχίονες.....	19
1.6.1 Ταξινόμηση Βραχιόνων βάσει της Γεωμετρικής Διαμόρφωσής τους.....	21
1.7 Στοιχεία ρομποτικού βραχίονα.....	25
1.7.1 Μηχανικό Σύστημα.....	25
1.7.2 Αισθητήρες.....	26
1.7.3 Ελεγκτής.....	26
1.8 Βαθμοί Κινητικότητας και Βαθμοί Ελευθερίας.....	27
1.9 Χώρος Εργασίας.....	27
1.10 Ωφέλιμο Φορτίο-Επαναληψιμότητα-Ακρίβεια.....	28
1.11 Αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα.....	29

1.11.1	Γεωμετρική λύση .....	29
1.11.2	Αλγεβρική λύση .....	32
1.12	Προγραμματισμός του ρομποτικού βραχίονα.....	36
1.12.1	Χειροκίνητη ρύθμιση .....	36
1.12.2	Προγραμματισμός μέσω καθοδήγησης.....	36
1.12.3	Γλώσσες προγραμματισμού ρομπότ.....	39
1.12.3.1	Προγραμματισμός off-line .....	40
1.13	Έλεγχος ασφαλείας .....	41
1.14	Ασφάλεια.....	42
1.15	Το μέλλον .....	44
1.15.1	Χρονοδιάγραμμα.....	44
1.15.2	Η ρομποτική το 2020 .....	44
<b>2</b>	<b>ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ .....</b>	<b>46</b>
2.1	Εισαγωγή .....	46
2.1.1	Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής .....	47
2.2	Τεχνολογία της ρομποτικής χειρουργικής .....	49
2.3	Τρέχοντα διαθέσιμα συστήματα.....	50
2.4	Εφαρμογές στην ιατρική.....	52
2.5	Εφαρμογές στη Χειρουργική.....	52
2.6	Άλλες χειρουργικές ειδικότητες .....	55
2.6.1	Νευροχειρουργική.....	55
2.6.2	Ορθοπαιδική .....	55
2.6.3	Εφαρμογές αναφερόμενες σε γνάθο και πρόσωπο .....	56
2.6.4	Οφθαλμολογία.....	56
2.6.5	Ουρολογία .....	56
2.6.6	Γαστρεντερική χειρουργική.....	57
2.6.7	Καρδιοχειρουργική .....	57
2.6.8	Γυναικολογία.....	58

2.6.9	Σύγχρονες εφαρμογές της ρομποτικής χειρουργικής στη γυναικολογία .....	58
2.7	Τηλεκαθοδήγηση .....	59
2.8	Χειρουργική με τηλεπαρουσία .....	59
2.9	Το μέλλον .....	60
2.10	Συμπέρασμα .....	61
<b>3</b>	<b>ΤΟ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DA VINCI .....</b>	<b>62</b>
3.1	Εισαγωγή .....	62
3.2	Συστατικά του συστήματος da Vinci .....	63
3.2.1	Surgeon console .....	63
3.2.2	Patient-side cart .....	64
3.2.3	EndoWrist εργαλεία .....	65
3.2.3.1	Ευρεία επιλογή .....	67
3.2.3.2	Ευκολία στη χρήση .....	68
3.2.4	Σύστημα απεικόνισης.....	68
3.2.4.1	Υψηλής ανάλυσης επεξεργασία εικόνας.....	69
3.2.4.2	Οπτική συνέχεια .....	69
3.3	Ο 4 <sup>ος</sup> βραχίονας.....	70
3.4	Χειρουργικό σύστημα da Vinci S HD.....	72
3.4.1	Απαράμιλλη 3D HD οπτικοποίηση.....	72
3.4.2	Ενδυναμωμένη επιδεξιότητα, ακρίβεια και έλεγχος.....	73
3.4.3	Ανώτερη εργονομία .....	74
3.4.4	Γρήγορη, ασφαλής εγκατάσταση .....	74
3.4.5	Εκσυγχρονισμένη διεπιφάνεια.....	75
3.5	Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα .....	76
3.5.1	Πλεονεκτήματα για το γιατρό.....	77
3.5.2	Οφέλη για τους ασθενείς.....	77
3.6	Μηχανισμοί ασφάλειας σε περίπτωση βλάβης.....	78
3.7	Προϋποθέσεις Χειρουργικής Ομάδας .....	78

3.8	Το μέλλον .....	79
<b>4</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ DA VINCI.....</b>	<b>80</b>
4.1	Εισαγωγή .....	80
4.2	Ουρολογία .....	82
4.2.1	Επιλογή του ασθενή .....	82
4.2.2	Ρομποτική τεχνολογία.....	83
4.2.3	Εγκατάσταση της κονσόλας .....	84
4.2.4	Εγκατάσταση των ρομποτικών βραχιόνων .....	84
4.2.5	Τοποθέτηση του ασθενή .....	84
4.2.6	Τοποθέτηση των σημείων εισόδου.....	85
4.2.7	Εργαλεία .....	87
4.2.8	Χειρουργικά βήματα .....	88
4.2.9	Συμπεράσματα.....	92
4.3	Γυναικολογία.....	93
4.3.1	Εισαγωγή .....	93
4.3.2	Τεχνική της υστεροκτομής.....	93
4.3.3	Αποτελέσματα .....	97
4.3.4	Συμπεράσματα.....	98
4.4	Καρδιολογία .....	99
4.4.1	Εισαγωγή .....	99
4.4.2	Μέθοδοι.....	100
4.4.3	Τεχνική της επιδιόρθωσης της μιτροειδούς βαλβίδας (MVR: Mitral Valve Repair) .....	100
4.4.4	Βήματα της επέμβασης .....	101
4.4.4.1	Τοποθέτηση του ασθενή και προετοιμασία .....	101
4.4.4.2	Τομές εργασίας και τοποθέτηση εισόδων .....	101
4.4.4.3	Σταυρωτός σύνδεσμος της αορτής και παύση της καρδιακής δραστηριότητας .....	102
4.4.4.4	Αριστερή κολπική τομή και αποκάλυψη της μιτροειδούς βαλβίδας 102	
4.4.4.5	Επιδιόρθωση της μιτροειδούς βαλβίδας.....	102
4.4.4.6	Κλείσιμο αριστερού κόλπου και αποδιασώληνωση .....	103
4.4.4.7	Έλεγχος ποιότητας και μετεγχειρητική φροντίδα .....	103

4.4.4.8	EndoWrist Curved Scissors .....	103
4.4.4.9	EndoWrist Resano Forceps.....	103
4.5	Συμπεράσματα .....	104
4.6	Εφαρμογές της ρομποτικής στον Ελληνικό χώρο .....	105
4.6.1	Το σύστημα da Vinci στην Ελλάδα.....	106
4.6.1.1	Το κόστος .....	107
4.7	Το αύριο της χειρουργικής.....	107
<b>5</b>	<b>ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....</b>	<b>109</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>110</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των εφαρμογών της ρομποτικής στην ιατρική. Ειδικότερα, παρουσιάζονται ο τρόπος και τα συμπεράσματα από την εφαρμογή των ολοκληρωμένων ρομποτικών συστημάτων στον κλάδο της χειρουργικής.

Αρχικά, στο **κεφάλαιο 1** γίνεται μία εισαγωγή στην επιστήμη της ρομποτικής και παρουσιάζεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή των ρομπότ. Στη συνέχεια, δίνεται ο ορισμός, τα είδη, τα δομικά στοιχεία και οι εφαρμογές των ρομπότ. Επιπλέον, γίνεται μία εκτενής αναφορά στους ρομποτικούς βραχίονες. Συγκεκριμένα, αναφέρεται η ταξινόμηση τους με βάση τη γεωμετρία τους στο χώρο και περιγράφεται η δομή τους. Ολοκληρώνοντας, αναλύεται το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα και παρουσιάζεται ο προγραμματισμός των ρομπότ καθώς και θέματα ασφάλειας.

Το **κεφάλαιο 2** αφορά τη ρομποτική χειρουργική. Συγκεκριμένα, περιγράφονται ορισμένα χειρουργικά συστήματα και περιληπτικά ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζονται στην χειρουργική και ειδικότερα σε οκτώ κλάδους της ιατρικής. Στο τέλος του κεφαλαίου, περιγράφονται οι έννοιες της τηλεκαθοδήγησης και τηλεπαρουσίας.

Στη συνέχεια, στο **κεφάλαιο 3**, παρουσιάζεται το χειρουργικό σύστημα da Vinci. Αναλυτικότερα, περιγράφεται η δομή και ο τρόπος λειτουργίας του, καθώς και τα χαρακτηριστικά και τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή του για τους γιατρούς και για τους ασθενείς. Τονίζεται η απαραίτητη ύπαρξη μηχανισμών ασφάλειας σε περίπτωση βλάβης καθώς και οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρεί η χειρουργική ομάδα.

Τέλος, το **κεφάλαιο 4** αφορά στις εφαρμογές του συστήματος da Vinci. Οι εφαρμογές σχετίζονται με τη γενική χειρουργική, την καρδιοχειρουργική και θωρακοχειρουργική, την ουρολογία, την παιδοχειρουργική, την αγγειοχειρουργική, τη νευροχειρουργική, και τη γυναικολογία. Στη συνέχεια, γίνεται μία εκτενής ανάπτυξη των τεχνικών που εφαρμόζονται σε τρεις ειδικότητες: την ουρολογία, τη γυναικολογία και την καρδιοχειρουργική καθώς και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την κάθε τεχνική. Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο, παρουσιάζεται η εφαρμογή του συστήματος da Vinci στην Ελλάδα.



## **ABSTRACT**

The present diplomatic work aims at the research/study of the robotic applications in medicine. Specifically are presented the way that the integrated robotic systems are used in surgery and the conclusion from this application.

Initially, in Chapter 1, there is an introduction into robotics and a short robotic historical flashback is presented. Then the definition, types, structural elements and applications of robots are given. Additionally, a thorough report in robotic manipulators is made. Specifically, their structure and classification based on their geometry are described. Finally, the inverse kinematics is analyzed and also the robotic programming and security issues are presented.

Chapter 2 is related to robotic surgery. Specifically, certain surgical systems are described and, in short, the way they are applied in surgery and specifically in eight medical fields. At the end of the chapter the definitions of telementoring and telepresenting are described.

Furthermore in chapter 3, the da Vinci surgical system is introduced. The structure and the way it operates are analytically described as are the features and benefits for the doctors and patients by its application. The necessary existence of the security mechanisms in case of malfunction/breakdown is emphasized as are the requirements that the surgical team must fulfill.

Finally, chapter 4 is related to the application of the da Vinci system. The applications are related to general surgery, cardiac surgery, thoracic surgery, urology, paediatric surgery, vascular surgery, neurosurgery and gynecology. In succession there is a thorough development of the techniques that are applied in three specialties: urology, gynecology and cardiac surgery as well as the conclusions that follow each technique. In concluding the chapter, is the application of da Vinci surgical system in Greece is presented.



# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ

### 1.1 Εισαγωγή

Η Ρομποτική είναι εκείνος ο κλάδος της επιστήμης του μηχανικού που ασχολείται με τη σύλληψη, το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία ρομπότ. Τα ρομπότ είναι μηχανές, η χρήση των οποίων αποσκοπεί στην αντικατάσταση του ανθρώπου στην εκτέλεση έργου. Η αντικατάσταση αφορά τόσο στο φυσικό επίπεδο του έργου όσο και στο επίπεδο λήψης απόφασης [1].

Αναζητώντας κανείς τις ρίζες της ρομποτικής θα οδηγηθεί αρκετά πίσω στην ιστορία της ανθρωπότητας. Πράγματι, η φιλοδοξία του ανθρώπου να δημιουργήσει μηχανές που θα του μοιάζουν τόσο στη μορφή όσο και τη λειτουργία πρωτοσυναντάται στην ελληνική μυθολογία. Σύμφωνα με την τελευταία, ο τιτάνας Προμηθέας έπλασε την ανθρωπότητα από πηλό. Επιπλέον, ο Τάλος, ο μυθικός χάλκινος γίγαντας που κατασκεύασε ο Ήφαιστος για να προστατεύσει την Κρήτη από τους εισβολείς, αποτελεί το πρώτο “αυτόματο” στην ανθρώπινη ιστορία.

Στη σύγχρονη εποχή, η εισαγωγή της έννοιας των ρομπότ έγινε το 1921 από τον τσέχο θεατρικό συγγραφέα Karel Čapek με το θεατρικό έργο “Rossum’s Universal Robots”. Στο έργο ο συγγραφέας φαντάζεται ένα μηχανικό κατασκευάσμα, το οποίο και ονομάζει robot από την τσέχικη λέξη robota που σημαίνει καταναγκαστική εργασία. Το “αυτόματό” του στρέφεται τελικά εναντίον της ανθρωπότητας.

Λίγα χρόνια αργότερα, κατά τη δεκαετία του ’40, ο ρώσος συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας Isaac Asimov, συνέλαβε το robot ως ένα “αυτόματο” με

εμφάνιση ανθρώπου, αλλά απαλλαγμένο από συναισθήματα. Η συμπεριφορά του υπαγορευόταν από ένα “ποζιτρονικό μυαλό” προγραμματισμένο από τον άνθρωπο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένες αρχές ηθικής συμπεριφοράς [1]. Ο όρος ρομποτική χρησιμοποιήθηκε από τον Asimov ως το σύμβολο της επιστήμης που είναι αφιερωμένη στη μελέτη των ρομπότ και διέπεται από τους παρακάτω τρεις βασικούς κανόνες:

1. Ένα ρομπότ δεν μπορεί να τραυματίσει ή μέσω της αδράνειάς του να βλάψει ένα ανθρώπινο πλάσμα.
2. Ένα ρομπότ πρέπει να υπακούει στις εντολές που δίνονται από τους ανθρώπους, εκτός και αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο νόμο.
3. Ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ίδια του την ύπαρξη, εκτός και αν αυτό έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο ή το δεύτερο νόμο.

## 1.2 Ορισμός του ρομπότ

Σύμφωνα με το Robot Institute of America (RIA), ως ρομπότ μπορούμε να ορίσουμε έναν επαναπρογραμματιζόμενο πολυλειτουργικό χειριστή σχεδιασμένο ώστε, μέσω προγραμματιζόμενων κινήσεων, να μεταφέρει υλικά, αντικείμενα, εργαλεία ή ειδικές συσκευές με σκοπό την επιτέλεση ποικιλίας εργασιών [1].

Ένας τέτοιος μηχανισμός περιλαμβάνει συνήθως τις ακόλουθες συνιστώσες:

- Ένα μηχανολογικό υποσύστημα, το οποίο ενσωματώνει τη δυνατότητα του ρομπότ για εκτέλεση έργου. Το υποσύστημα αυτό αποτελείται από μηχανισμούς που επιτρέπουν στο ρομπότ να κινείται όπως αρθρώσεις, συστήματα μετάδοσης κίνησης, επενεργητές-κινητήρες, οδηγούς κλπ.
- Ένα υποσύστημα αίσθησης, μέσω του οποίου το ρομπότ συγκεντρώνει πληροφορίες για την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τόσο το ίδιο όσο και το περιβάλλον. Το υποσύστημα αυτό εκτός των άλλων είναι υπεύθυνο για την αποδοχή των εξωτερικών εντολών, την επεξεργασία τους, τη

μετάφρασή τους σε ηλεκτρική ισχύ που θα δοθεί στους κινητήρες του ρομπότ, καθώς επίσης και για την παραγωγή σημάτων εξόδου που θα πληροφορούν για την κατάσταση του συστήματος. Στο υποσύστημα αίσθησης περιλαμβάνονται όργανα μετρήσεως, αισθητήρες, ηλεκτρονικά στοιχεία κλπ.

- Ένα σύστημα ελέγχου, το οποίο συνδυάζει κατάλληλα την αίσθηση με τη δράση, ώστε το ρομπότ να λειτουργεί αποτελεσματικά και με τον επιθυμητό τρόπο. Ο ελεγκτής του ρομπότ επιβλέπει και συντονίζει ολόκληρο το σύστημα, για τη σχεδίαση και υλοποίησή του δε απαιτείται ο συνδυασμός γνώσεων από πολλές γνωστικές περιοχές, όπως είναι ο αυτόματος έλεγχος, η τεχνητή νοημοσύνη, η επιστήμη των υπολογιστών κλπ.

Επομένως, για να μπορεί να θεωρηθεί ένα μηχάνημα ρομπότ, θα πρέπει να έχει την ικανότητα να λειτουργεί αυτόματα, δηλαδή μόνο του. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει ενσωματωμένη ευφυΐα, ή προγραμματιζόμενη μνήμη, ή απλά μια διάταξη ρυθμιζόμενων μηχανισμών που ελέγχουν χειρισμούς.

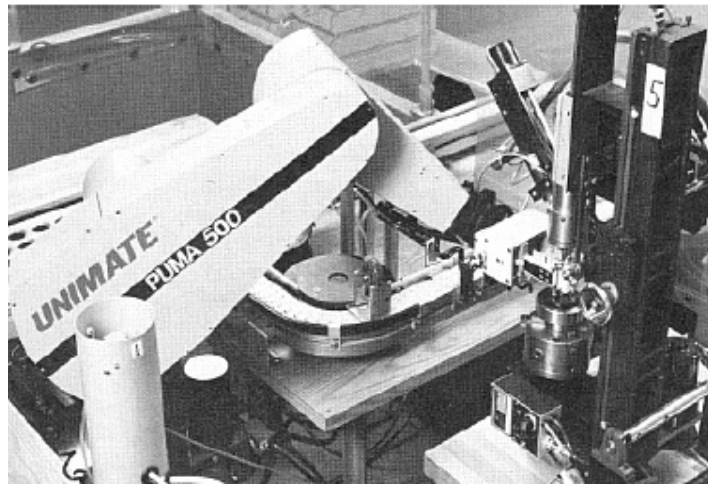
### **1.3 Είδη ρομπότ**

Κατά την πολυετή εξέλιξη της επιστήμης της ρομποτικής προέκυψαν διάφορα είδη ρομποτικών μηχανισμών, οι οποίοι διαφέρουν σημαντικά στη μορφή, αποτελούνται όμως από αντίστοιχα επιμέρους υποσυστήματα. Τα τελευταία είναι αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, δηλαδή το μηχανολογικό υποσύστημα, το υποσύστημα αίσθησης και το σύστημα ελέγχου [1].

#### **1.3.1 Τα σπουδαιότερα είδη ρομπότ**

- Ρομπότ Σταθερής Βάσης: τα ρομπότ αυτά αποτελούνται από διαδοχικά στερεά σώματα (σύνδεσμοι) που συνδέονται μέσω αρθρώσεων σχηματίζοντας μια κινηματική αλυσίδα. Η αλυσίδα αυτή έχει το ένα άκρο

της (βάση) σταθερά συνδεδεμένο με κάποιο σημείο του περιβαλλοντικού χώρου. Η μορφή αυτή ρομπότ είναι η παραδοσιακή μορφή ενός βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα, και περιλαμβάνει το βραχίονα, τον καρπό και το εργαλείο (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1. Ο Βιομηχανικός Ρομποτικός Βραχίονας PUMA 560 της Unimation Inc.

- Κινούμενα Ρομπότ: ως κινητά ρομπότ χαρακτηρίζονται όλα εκείνα τα ρομπότ που έχουν τη δυνατότητα να μετακινήσουν όλα τα σημεία του μηχανισμού τους. Η δυνατότητα αυτή προσφέρεται από ειδικά συστήματα προώθησης, τα οποία μπορεί να είναι είτε απλά (όπως τροχοί) είτε πολύπλοκα (όπως jet, προπέλες, μηχανικά πόδια). Τα κινούμενα ρομπότ διακρίνονται σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με το βαθμό αυτονομίας τους. Έτσι έχουμε:
  - AGVs: τα AGVs (Automatic Guided Vehicles) έχουν περιορισμένη αυτονομία κίνησης, δεδομένου ότι η τροχιά τους είναι προκαθορισμένη μέσω καλωδίων στο έδαφος ή πομπών στον περιβάλλοντα χώρο (Εικόνα 2.2).

- Αυτόνομα Έντροχα Ρομπότ: τα ρομπότ αυτά λειτουργούν με αρκετά υψηλό βαθμό αυτονομίας. Πιο συγκεκριμένα μπορούν και λειτουργούν χωρίς συνεχή εξωτερική επίβλεψη και είναι ικανά να εκτελούν εργασίες αυτόνομα δεχόμενα μόνο ορισμένες υψηλού επιπέδου εντολές (Εικόνα 2.3).
- Βαδίζοντα Ρομπότ: τα ρομπότ αυτά χρησιμοποιούν μηχανικά πόδια για την κίνησή τους και όχι συμβατικούς τροχούς όπως στις προηγούμενες δύο κατηγορίες. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης υλοποίησης είναι η μεγάλη δυνατότητα αποφυγής εμποδίων και η ικανότητα αναρρίχησης σε ανώμαλα εδάφη και μη επίπεδες επιφάνειες. Από τα πιο συνηθισμένα ρομπότ αυτής της κατηγορίας είναι τα δίποδα ενώ δεν αποκλείονται και εφαρμογές με περισσότερα από δύο πόδια, π.χ. ρομπότ που μοιάζουν και κινούνται όπως οι αράχνες (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.2-2.3-2.4. (Από αριστερά) AGV σε Βιομηχανικό περιβάλλον, Αυτόνομα Έντροχο Ρομπότ και ο Dante II του εργαστηρίου JPL της NASA κατά τη διάρκεια ανάβασης σε βουνό της Αλάσκα

- ROVs: τα ROVs (Remotely Operated Vehicles) ανήκουν στην κατηγορία των μη επανδρωμένων υποβρυχίων ρομπότ. Όπως υποδηλώνει το όνομά τους δεν έχουν μεγάλο βαθμό αυτονομίας, μιας και είναι συνδεδεμένα με το μητρικό πλοίο μέσω καλωδίου, το οποίο και καλύπτει τις ανάγκες του ρομπότ σε ενέργεια και επικοινωνίες. Τα ρομπότ αυτού του τύπου έχουν σχήμα κουτιού και κινούνται γενικά σε χαμηλές ταχύτητες (Εικόνα 2.5).
- AUVs: τα AUVs (Autonomous Underwater Vehicles), αντίθετα με τα ROVs, είναι πλήρως αυτόνομα και κατά συνέπεια δεν έχουν την ανάγκη καλωδίου. Για τις ανάγκες τροφοδοσίας (ενέργεια) χρησιμοποιούνται ειδικές μπαταρίες, κάτι όμως που θέτει και περιορισμούς στη λειτουργία των ρομπότ αυτών. Τα AUVs έχουν σχήμα τορπιλών και μπορούν να κινούνται με αρκετά μεγάλες ταχύτητες (Εικόνα 2.6).



*Εικόνα 2.5-2.6. Απόδοση ενός ROV και ενός AUV*

- Εναέρια ρομπότ: πρόκειται για μη επανδρωμένα ιπτάμενα ρομπότ, όπως ελικόπτερα και αεροπλάνα. Τα ρομπότ αυτά έχουν διαρκώς αυξανόμενες εφαρμογές, όμως εξαιτίας της μειωμένης ακόμα σταθερότητας και ασφάλειας στη συμπεριφορά τους χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς κυρίως σκοπούς (Εικόνα 2.7 και 2.8).





*Εικόνα 2.7-2.8. Το Ρομποτικό Ελικόπτερο του USC και το ρομπότ Helios της NASA*

Όλες οι παραπάνω κατηγορίες ρομπότ αποτελούνται από τα βασικά υποσυστήματα που έχουν ήδη αναφερθεί. Τα υποσυστήματα αυτά θα περιγραφούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στις παραγράφους που θα ακολουθήσουν δίνοντας έμφαση κυρίως στην πρώτη κατηγορία ρομπότ. Ο λόγος είναι ότι από όλα τα είδη ρομπότ, αυτό που σήμερα έχει φτάσει σε ένα επίπεδο ώριμης τεχνολογίας είναι οι βιομηχανικοί ρομποτικοί βραχίονες. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι τα επόμενα χρόνια δε θα υπάρξουν σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις και στις υπόλοιπες κατηγορίες ρομπότ.

#### **1.4 Δομικά συστατικά ενός ρομπότ**

Ένα σύγχρονο ρομπότ περιλαμβάνει τουλάχιστον τρία βασικά δομικά μέρη [2]:

- Το χειριστή (βραχίονα, χέρι) που είναι το κινούμενο μηχανικό τμήμα
- Τα **στοιχεία δράσης** (κινητήρες κλπ.) που ενεργοποιούν τις αρθρώσεις του χεριού
- Τον υπολογιστή ή **κεντρικό ελεγκτή** που αποθηκεύει και εκτελεί τα προγράμματα εργασίας και ελέγχει τις κινήσεις του χεριού

### 1.4.1 Αισθητήρες ρομπότ (sensors)

Οι αισθητήρες παρέχουν στο ρομπότ πληροφορίες σχετικά με το εξωτερικό περιβάλλον [3]. Διακρίνονται στα παρακάτω είδη:

- Οπτικοί: εκτίμησης απόστασης με LASER (laser range scanners), μονοφθαλμικής/στερεοσκοπικής όρασης (monocular/binocular vision), αισθητήρες φωτός (light sensors)
- Ηλεκτρομαγνητικοί: συνήθως RADAR (Radio Detection and Ranging)
- Μηχανικοί: θέσης (π.χ. GPS), επιτάχυνσης, πίεσης, κίνησης (οδόμετρα), προσανατολισμού (γυροσκόπια) κ.α.
- Ακουστικοί: συνήθως αισθητήρες υπερήχων για εκτίμηση απόστασης (SONAR; Sound Navigation And Ranging)

### 1.4.2 Κινητήρες ρομπότ (motors)

- Ηλεκτρικοί: σερβοκινητήρες (DC/AC motors, servos), βηματικοί κινητήρες (stepper motors). Οι συνηθέστεροι κινητήρες ρομπότ σήμερα
- Πνευματικοί: αεροσυμπιεστές (air muscles)
- Υδραυλικοί: κίνηση με έμβολα λαδιού ή άλλων υγρών
- Πιεζοηλεκτρικοί: βασίζονται στο αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο (παραμόρφωση έως και 0.1% κεραμικών υλικών σε ηλεκτρικό πεδίο)

## 1.5 Εφαρμογές των ρομπότ

Σήμερα τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση πολύ συγκεκριμένων εργασιών υψηλής ακριβείας στη βαριά βιομηχανία και στην επιστημονική έρευνα που παλαιότερα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν από το ανθρώπινο δυναμικό [5]. Το ρομπότ έχει τη δυνατότητα να είναι πιο σταθερό στην εργασία και έτσι μπορεί να παράγει αποτέλεσμα υψηλής ποιότητας [4].

Τα ρομπότ είναι ιδανικά για εργασίες μη ευχάριστες ή επικίνδυνες, όπως είναι λ.χ. το βάψιμο με ψευκασμό ή ο χειρισμός ραδιενεργών ουσιών. Επίσης τα ρομπότ μπορούν να εργάζονται σε ανιαρές και επαναλαμβανόμενες εργασίες που είναι όμως απλές και συνήθως χρειάζονται ανειδίκευτους εργάτες. Εργασίες που απαιτούν εξυπνάδα και δημιουργικότητα δεν μπορούν γενικά να εκτελεσθούν από τα σημερινά ρομπότ. "Το ρομπότ είναι πολύ χαζό για να το νοιάζει, αλλά είναι αρκετά έξυπνο για να το κάνει καλύτερα".

Έτσι μπορούμε να πούμε, ότι τα ρομπότ δίνουν τη δυνατότητα (ή την ευκαιρία) στον άνθρωπο να απασχολείται σε εργασίες που μπορεί να εκτελεί καλύτερα [4].

Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται πλέον καθημερινά στην κατασκευή μικροεπεξεργαστών, στην εξερεύνηση του διαστήματος και των βυθών και γενικά σε εργασίες που πραγματοποιούνται σε επικίνδυνο περιβάλλον. Ωστόσο, τα ρομπότ καθυστέρησαν πολύ να εισαχθούν στην ιατρική [5].

Τα χειρουργικά ρομπότ εισέβαλλαν δυναμικά στο πεδίο της ιατρικής μέσα στην τελευταία δεκαετία. Συστήματα ρομποτικής τηλεχειρουργικής έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για υπερατλαντικές επεμβάσεις (επέμβαση Lindbergh 2001). Ρομποτικοί βραχίονες που ενεργοποιούνται με τη φωνή μπορούν και χειρίζονται τη λαπαροσκοπική κάμερα. Η διάδοση συστημάτων τηλερομποτικής χειρουργικής είναι ραγδαία σήμερα και καθημερινά ανακαλύπτονται οι δυνατότητές τους στις επεμβάσεις λαπαροενδοσκοπικής χειρουργικής. Τα ρομπότ τηλεχειρουργικής σχεδιάστηκαν για να υπερβούν τους περιορισμούς της συμβατικής λαπαροσκόπησης [5].

## **1.6 Ρομποτικοί Βραχίονες**

Ο ρομποτικός βραχίονας αποτελείται από μια σειρά διαδοχικών στερεών σωμάτων που ονομάζονται σύνδεσμοι (links). Οι σύνδεσμοι συνδέονται ανά δύο μεταξύ τους μέσω αρθρώσεων (joints) σχηματίζοντας μια κινηματική αλυσίδα [1]. Οι αρθρώσεις (ή ενώσεις) ελέγχουν τις κινήσεις των συνδέσμων. Η ομάδα των αρθρώσεων που ελέγχει την κίνηση του εργαλείου ονομάζεται (συλλεκτικά) "καρπός" [6]. Στο τέλος του καρπού υπάρχει ένα εργαλείο (τελικό στοιχείο δράσης). Το εργαλείο

μπορεί να είναι μια κεφαλή συγκόλλησης, ένα πιστόλι χρωματίσματος, ένα μηχανικό εργαλείο ή ένας πιαστήρας (αρπάγη) που ανοιγοκλείνει κατάλληλα, ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ο ρομποτικός βραχίονας. Επειδή όλα τα εργαλεία στερεώνονται στο τέλος των ρομποτικών βραχιόνων για αυτό λέγονται και "τελικά στοιχεία δράσης" [7].

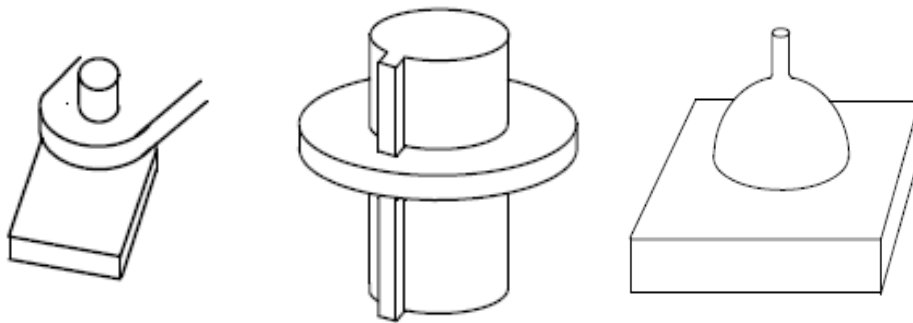
Κάθε μια από τις αρθρώσεις του βραχίονα και του καρπού παρέχει ένα βαθμό ελευθερίας στην κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης. Έτσι ένα ρομπότ με  $n$  βαθμούς ελευθερίας περιέχει " $n$ " αρθρώσεις ή γενικά  $n$  άξονες κίνησης [6].

Η κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης ρυθμίζεται ελέγχοντας τη θέση και την ταχύτητα των αξόνων κίνησης του ρομπότ. Στη ρομποτική ένας άξονας κίνησης ισοδυναμεί με ένα βαθμό ελευθερίας ως προς τον οποίο μπορεί να κινηθεί το ρομπότ. Για να μπορέσει ένας ρομποτικός βραχίονας να φθάσει ένα αυθαίρετο σημείο (μέσα στο χώρο εργασίας του) με ένα επιθυμητό προσανατολισμό του εργαλείου χρειάζεται να έχει έξι άξονες (βαθμούς ελευθερίας) κίνησης. Έστω και μόνο ένας διαφορετικός προσανατολισμός του εργαλείου, μπορεί να αλλάξει ολοκληρωτικά τη θέση του ρομποτικού βραχίονα [6].

Οι αρθρώσεις μπορεί να είναι:

- Πρισματικές: σχετική μεταφορική κίνηση μεταξύ δύο διαδοχικών συνδέσμων
- Περιστροφικές: υλοποιούν σχετική περιστροφική κίνηση μεταξύ δύο διαδοχικών συνδέσμων
- Σφαιρικές: υλοποιούν σφαιρική περιστροφική κίνηση μεταξύ δύο διαδοχικών συνδέσμων

και παρέχουν στην κατασκευή από έναν βαθμό κινητικότητας (Σχήματα 2.9-2.10-2.11) [1].



Σχήματα 2.9-2.10-2.11. Πρισματική, περιστροφική και σφαιρική άρθρωση

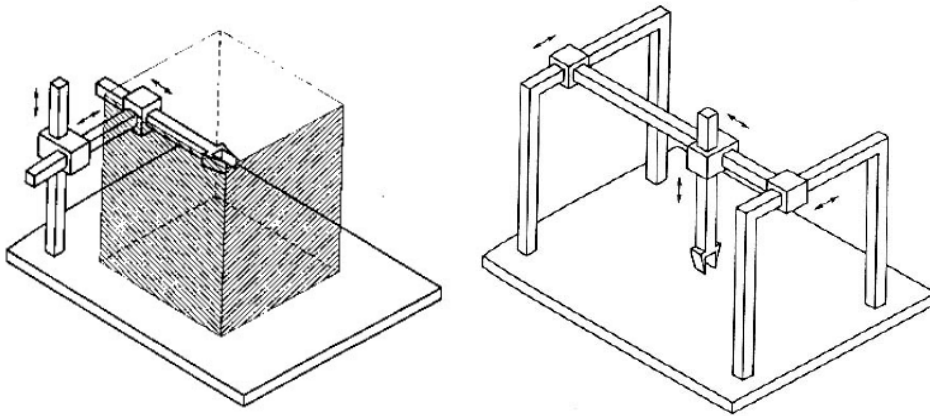
Με τη σειρά της, μία κινηματική αλυσίδα χαρακτηρίζεται ως ανοικτή όταν υπάρχει μία μόνο διαδοχή συνδέσμων που να συνδέει τα δύο άκρα του βραχίονα και κλειστή όταν οι σύνδεσμοι που τη συνιστούν σχηματίζουν βρόχο [1].

### 1.6.1 Ταξινόμηση Βραχιόνων βάσει της Γεωμετρικής Διαμόρφωσής τους

Ο τύπος και διαδοχή των αρθρώσεων επιτρέπει την ταξινόμηση των ρομπότ σε διάφορες κατηγορίες, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω [1]. Οι αρθρώσεις στο σημείο αυτό είναι οι τρεις πρώτες του βραχίονα και κατά συνέπεια εξαιρούνται οι αρθρώσεις του καρπού. Οπότε, προκύπτουν:

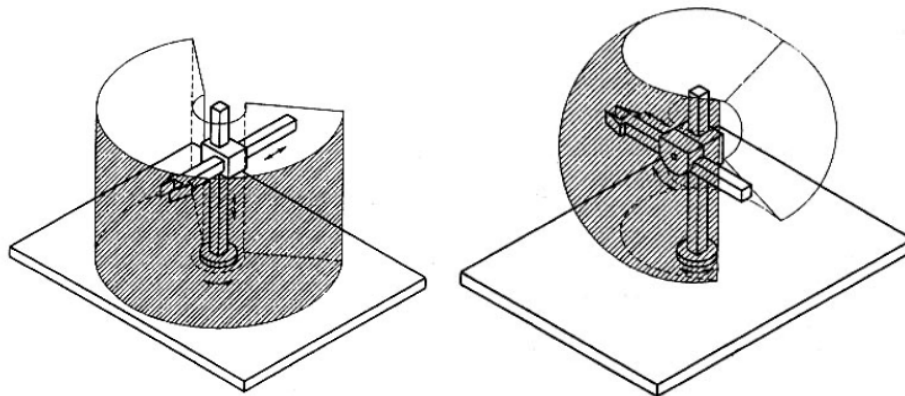
- Καρτεσιανοί Βραχίονες: η καρτεσιανή γεωμετρία υλοποιείται με τρεις διαδοχικές πρισματικές αρθρώσεις. Οι άξονες των αρθρώσεων αυτών είναι ανά δύο κάθετοι μεταξύ τους (Σχήμα 2.12). Η καρτεσιανή δομή παρέχει μεγάλη δυσκαμψία και σταθερή ακρίβεια σε ολόκληρο το χώρο εργασίας που είναι ένα παραλληλεπίπεδο. Βασικό μειονέκτημα της κατασκευής είναι η μειωμένη επιδεξιότητα, λόγω της πρισματικής φύσης των αρθρώσεων.
- Βραχίονες Gantry: οι βραχίονες Gantry είναι στην ουσία καρτεσιανοί, διαφέρουν όμως από τους τελευταίους στον τρόπο προσέγγισης του αντικειμένου ενδιαφέροντος (Σχήμα 2.13). Ειδικότερα, ο βραχίονας Gantry προσεγγίζει το αντικείμενο από πάνω, τη στιγμή που ένας κλασικός καρτεσιανός βραχίονας προσεγγίζει το αντικείμενο από το πλάι. Άμεσες

συνέπειες της διαφοροποίησης αυτής είναι η αύξηση του χώρου εργασίας και της δυσιαμφίας, καθώς επίσης και η δυνατότητα χειρισμού μεγάλων και βαριών αντικειμένων.



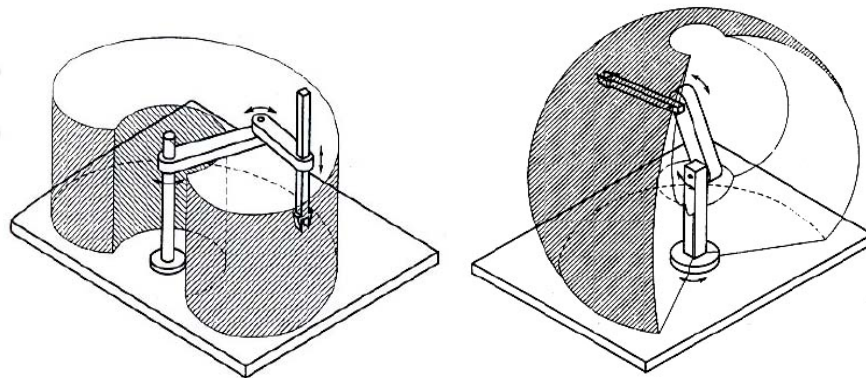
Σχήματα 2.12-2.13. Καρτεσιανός Βραχίονας και Βραχίονας Gantry

- Κυλινδρικοί Βραχίονες: στους κυλινδρικούς βραχίονες, η πρώτη πρισματική άρθρωση της καρτεσιανής δομής έχει αντικατασταθεί από μία περιστροφική άρθρωση (Σχήμα 2.14). Οι συγκεκριμένοι βραχίονες χαρακτηρίζονται από καλή δυσιαμφία, όμως η ακρίβεια της θέσης του καρπού μειώνεται καθώς η οριζόντια μετατόπιση αυξάνεται. Ο χώρος εργασίας στην περίπτωση αυτή είναι τμήμα κυλίνδρου. Σημαντικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης γεωμετρίας είναι το γεγονός ότι ο βραχίονας εισέρχεται στο χώρο εργασίας και τον περιορίζει.
- Σφαιρικοί Βραχίονες: στους βραχίονες αυτούς αντικαθίσταται πλέον και η δεύτερη πρισματική άρθρωση της καρτεσιανής δομής με περιστροφική (Σχήμα 2.15). Η μηχανολογική πολυπλοκότητα αυξάνει, ενώ η δυσιαμφία μειώνεται. Επιπλέον, η ακρίβεια του καρπού μειώνεται με την αύξηση της ακτινικής απόστασης. Ο χώρος εργασίας είναι τμήμα σφαίρας και περιέχει ένα μέρος της βάσης με άμεση συνέπεια τη δυνατότητα χειρισμού αντικειμένων που βρίσκονται στο έδαφος.



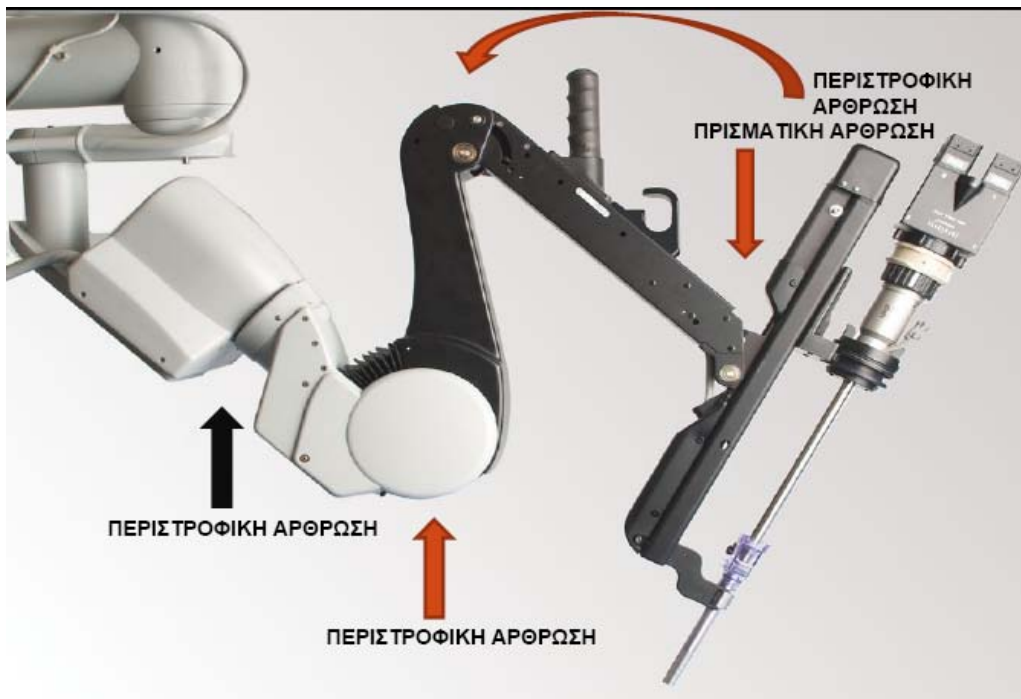
Σχήματα 2.14-2.15. Κυλινδρικός Βραχίονας και Σφαιρικός Βραχίονας

- **Βραχίονες SCARA:** η γεωμετρία SCARA είναι ειδική και περιλαμβάνει δύο περιστροφικές και μία πρισματική άρθρωση τοποθετημένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι άξονες κίνησης να είναι παράλληλοι μεταξύ τους (Σχήμα 2.16). Το όνομα SCARA προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Selective Compliance Assembly Robot Arm. Η συγκεκριμένη γεωμετρία παρέχει μεγάλη δυσκαμψία σε κατακόρυφη φόρτιση και ελαστικότητα σε οριζόντια. Η ακρίβεια του καρπού μειώνεται με την αύξηση της απόστασής του από τον άξονα της πρώτης άρθρωσης.
- **Ανθρωπομορφικοί Βραχίονες:** η ανθρωπομορφική γεωμετρία υλοποιείται με τρεις διαδοχικές περιστροφικές αρθρώσεις. Ειδικότερα, ο άξονας περιστροφής της πρώτης άρθρωσης είναι κατακόρυφος και κάθετος στους άξονες περιστροφής των επόμενων δύο αρθρώσεων, οι οποίοι είναι παράλληλοι μεταξύ τους (Σχήμα 2.17). Η συγκεκριμένη δομή παρέχει τη μεγαλύτερη επιδεξιότητα από όλες τις προηγούμενες, καθώς όλες οι αρθρώσεις είναι περιστροφικές. Ωστόσο, η ακρίβεια του καρπού δεν είναι σταθερή εντός του χώρου εργασίας που έχει τη μορφή σφαίρας.



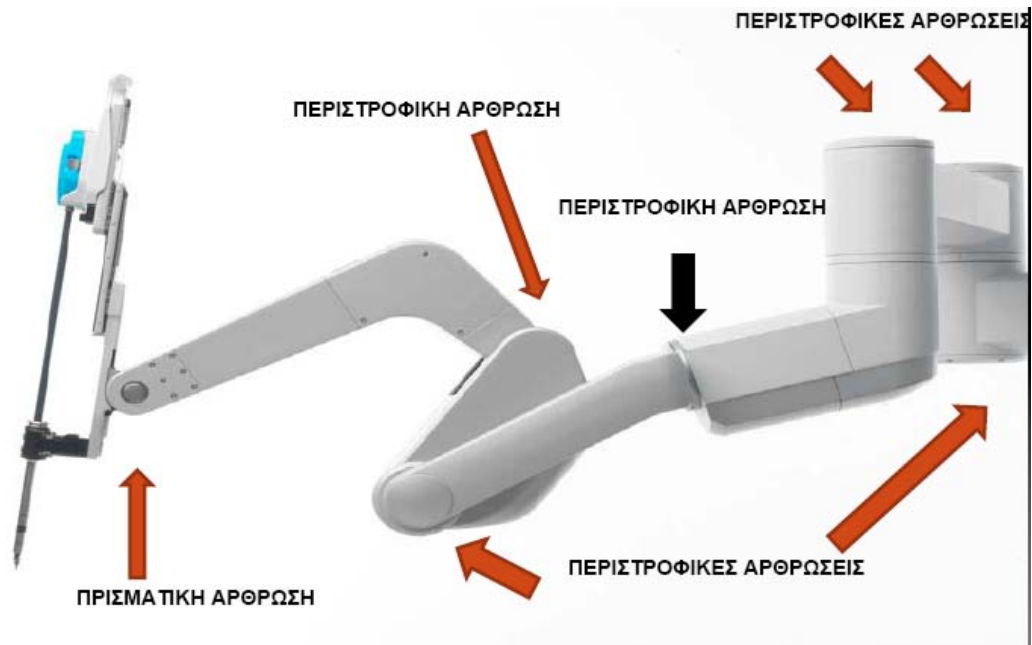
Σχήματα 2.16-2.17. Βραχίονας SCARA και Ανθρωπομορφικός Βραχίονας

Ειδικότερα, στο ρομποτικό σύστημα da Vinci χρησιμοποιούνται οι παρακάτω δύο τύποι ρομποτικού βραχίονα [8]:



Σχήμα 2.18. Ρομποτικός βραχίονας με ενδοσκόπιο. Διακρίνονται οι περιστροφικές και η πρισματική άρθρωση





Σχήμα 2.19. Ρομποτικός βραχίονας με χειρουργικό εργαλείο. Διακρίνονται οι περιστροφικές και η πρισματική άρθρωση

## 1.7 Στοιχεία ρομποτικού βραχίονα

### 1.7.1 Μηχανικό Σύστημα

#### – Βραχίονας

- Επιτρέπει την τοποθέτηση του τελικού στοιχείου δράσης στο χώρο εργασίας

#### – Τελικό Στοιχείο Δράσης

- Επιτρέπει την επίτευξη του έργου (αρπάγη, ηλεκτροσυγκόλληση, εργαλείο γενικής χρήσης).

#### – Επενεργητές και σύστημα μετάδοσης (επιτρέπουν την κίνηση του βραχίονα).

- Επενεργητές:
  - ο Ηλεκτρικοί (κινητήρες)

- ο Υδραυλικοί (έμβολα)
- ο Πνευματικοί
- Σύστημα Μετάδοσης:
  - ο Οδοντωτοί τροχοί
  - ο Ιμάντες
  - ο Απευθείας οδήγηση (χωρίς παρεμβολή συστήματος μετάδοσης κίνησης)

### 1.7.2 Αισθητήρες

- Εσωτερικής Κατάστασης (εκτιμούν την εσωτερική κατάσταση του βραχίονα)
  - Κωδικοποιητές (encoders)
  - Ηλεκτρομηχανικοί μετατροπείς θέσης (resolvers)
  - Ποτενσιόμετρα
  - Γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα
- Αλληλεπίδρασης
- Αισθητήρες δύναμης
- Εξωτερικής Κατάστασης (που βρίσκεται ο βραχίονας σε σχέση με τον εξωτερικό κόσμο)
  - Οπτικά (CCD, CMOS cameras)
  - Λιουστικά (Εκτιμητές απόστασης)
  - Lasers

### 1.7.3 Ελεγκτής

- Χρησιμοποιεί τις πληροφορίες των αισθητήρων και νόμους ελέγχου ώστε να ελέγξει την κίνηση του βραχίονα [9].

## 1.8 Βαθμοί Κινητικότητας και Βαθμοί Ελευθερίας

Κρίνεται σκόπιμο να τονισθεί η διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στους βαθμούς κινητικότητας ενός βραχίονα και τους βαθμούς ελευθερίας που απαιτούνται για την εκτέλεση ενός έργου [1]. Για ένα βραχίονα το πλήθος των βαθμών κινητικότητας είναι σταθερό και ίσο με το πλήθος των αρθρώσεων του (πρισματικών ή/και περιστροφικών). Από την άλλη πλευρά οι βαθμοί ελευθερίας είναι άμεσα συνδεδεμένοι με το συγκεκριμένο έργο που καλείται να φέρει εις πέρας ο βραχίονας. Για τη γενική περίπτωση της τοποθέτησης και του προσανατολισμού ενός αντικειμένου στον τρισδιάστατο χώρο απαιτούνται 6 βαθμοί ελευθερίας (3 για να τοποθετηθεί ένα σημείο του αντικειμένου στο χώρο και 3 για να προσανατολίσουμε το αντικείμενο ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων αναφοράς). Τυπικά ο βραχίονας περιέχει τρεις βαθμούς ελευθερίας (στρωφικής ή γραμμικής κίνησης) και ο καρπός περιέχει τρεις περιστροφικές κινήσεις (ως προς τον διαμήκη, τον εγκάρσιο και τον κάθετο άξονα). Σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται ρομπότ με μόνο πέντε ή τέσσερις βαθμούς ελευθερίας. Στα ρομπότ αυτά ο καρπός περιέχει λιγότερους από τρεις άξονες κίνησης. Είναι προφανές ότι ένας ρομποτικός βραχίονας με 6 βαθμούς κινητικότητας μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυτό το έργο, όπως επίσης και σε οποιοδήποτε άλλο έργο που απαιτεί μέχρι 6 βαθμούς ελευθερίας.

## 1.9 Χώρος Εργασίας

Ως χώρος εργασίας ορίζεται ο τρισδιάστατος χώρος τον οποίο μπορεί να σαρώσει η άκρη του ρομποτικού μηχανισμού. Το μέγεθος και η γεωμετρική μορφή του χώρου αυτού εξαρτώνται από την κατασκευαστική δομή του ρομπότ [1].

### 1.10 Ωφέλιμο Φορτίο-Επαναληψιμότητα-Ακρίβεια

Από τα πιο σημαντικά μεγέθη ενός βραχίονα είναι το ωφέλιμο φορτίο, η επαναληψιμότητα και η ακρίβεια [1]. Πιο συγκεκριμένα, τα παραπάνω μεγέθη αναφέρονται στα εξής:

- Ωφέλιμο Φορτίο: είναι το βάρος που μπορεί να μεταφέρει το άκρο του βραχίονα. Ως σημείο εφαρμογής του βάρους θεωρείται η φλάντζα του καρπού. Το προδιαγραφόμενο αυτό φορτίο δεν είναι σταθερό και εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία πρόκειται να κινηθεί ο καρπός.
- Επαναληψιμότητα: εκφράζει τη δυνατότητα του βραχίονα να γυρίσει στο ίδιο σημείο μετά από αρκετές επαναλήψεις και δίνεται ως εύρος μέσα στο οποίο ο βραχίονας θα τερματίσει την κίνηση. Η απόκλιση οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη λειτουργία του, το ρομπότ είναι δυνατό να χάσει λίγο από τη μέτρηση της θέσης με αποτέλεσμα να μην μπορεί να επιστρέψει στη συγκεκριμένη θέση μετά από ορισμένους κύκλους λειτουργίας. Δεδομένου ότι στις συνήθεις βιομηχανικές εφαρμογές οι επιθυμητές κινήσεις διδάσκονται στο ρομπότ, αντιλαμβάνεται κανείς τη σπουδαιότητα της επαναληψιμότητας.
- Ακρίβεια: είναι η ικανότητα του ρομπότ να πηγαίνει ακριβώς στη θέση που του έχει δοθεί εντολή να πάει. Η ακρίβεια εξαρτάται κυρίως από τη διακριτότητα των εξαρτημάτων ελέγχου, τη μηχανολογική σύνδεση των μελών του και το ελάχιστο επιτρεπόμενο σφάλμα που επιβάλλει η ευστάθεια της λειτουργίας των σέρβο. Η ακρίβεια επηρεάζεται από το είδος και το μέγεθος του εκάστοτε φορτίου, σε αντίθεση με την επαναληψιμότητα, για αυτό και ορισμένοι κατασκευαστές προδιαγράφουν μόνο την τελευταία.

## 1.11 Αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα

**Πρόβλημα:** Δεδομένης μιας θέσης και ενός προσανατολισμού στο χώρο, να βρεθούν οι αντίστοιχες μεταβλητές άρθρωσης [9].

Η λύση δεν υπάρχει πάντα

Υπάρχει πιθανότητα πολλαπλών λύσεων

Οι λύσεις είναι:

κλειστής μορφής (αλγεβρική, γεωμετρική)

αριθμητικές

Στη συνέχεια, εξετάζουμε δύο παραδείγματα λύσεων για ένα ρομπότ δύο βαθμών ελευθερίας.

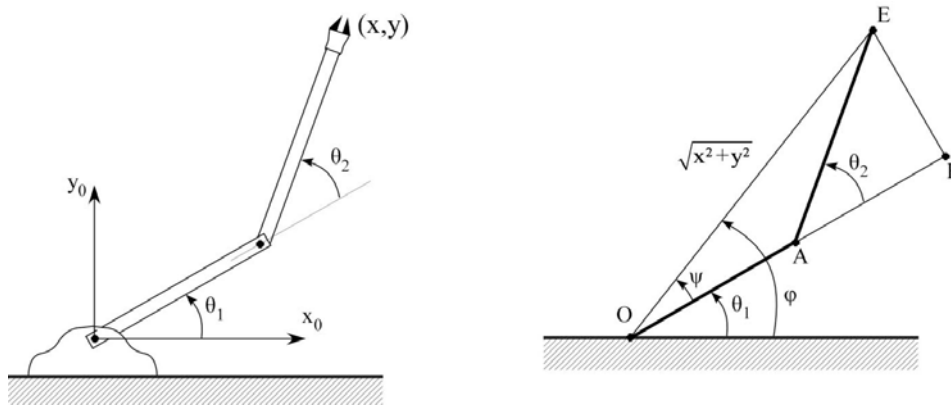
### 1.11.1 Γεωμετρική λύση

Θεωρούμε έναν ρομποτικό βραχίονα δύο βαθμών ελευθερίας που απεικονίζει:

$$[x, y]^T \rightarrow [\theta_1, \theta_2]^T$$

Από το νόμο του συνημιτόνου, εφαρμοσμένος στο τρίγωνο ΟΑΕ (σχήμα 2.18), παίρνουμε τη σχέση:

$$x^2 + y^2 = l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2c_2 \Rightarrow c_2 = \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} = c \quad (1.1)$$



Σχήμα 2.20. Βραχίονας 2 βαθμών ελευθερίας για αντίστροφη κινηματική

Η σχέση αυτή αντιστρέφεται για να βρεθεί η γωνία  $\theta_2$ . το πρόβλημα έχει δύο λύσεις ως εξής:

$$\begin{aligned}\theta_{2,1} &= \cos^{-1}\{c\} \\ \theta_{2,2} &= -\theta_{2,1}\end{aligned}\quad (1.2)$$

Όπου ο δείκτης  $i$  στο  $\theta_{2,i}$  χαρακτηρίζει τον αριθμό της λύσης που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι  $i = 1, 2$ .

Στη συνέχεια, προσδιορίζουμε τη γωνία  $\theta_i$ . Από το σχήμα παρατηρούμε ότι:

$$\varphi = A \tan 2(\mathbf{y}, \mathbf{x}) \quad (1.3)$$

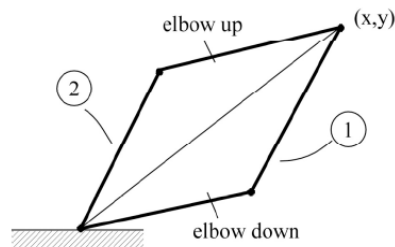
Στη συνέχεια, προσδιορίζουμε τη γωνία  $\psi$ . Όμως εδώ προκύπτουν δύο διαφορετικές γωνίες  $\psi$  ανάλογα με τη γωνία  $\theta_{2,i}$  που θα χρησιμοποιήσουμε. Επομένως, έχουμε:

$$\psi_1 = A \tan 2(\mathbf{EB}, \mathbf{OB}) = A \tan 2(l_2 s_{2,1}, l_1 + l_2 c_{2,1}) = \psi \quad (1.4)$$

$$\psi_2 = A \tan 2(-l_2 s_{2,2}, l_1 + l_2 c_{2,2}) = -\psi_1 = -\psi \quad (1.5)$$

$$\begin{aligned}\theta_{1,1} &= \varphi - \psi \\ \theta_{1,2} &= \varphi + \psi\end{aligned}\quad (1.6)$$

Το σχήμα 2.19 απεικονίζει τις διαμορφώσεις που αντιστοιχούν στα δύο ζεύγη γωνιών  $(\theta_1, \theta_2)_i$ ,  $i=1,2$  που υπολογίστηκαν. Η μία λύση αντιστοιχεί στο να είναι ο “αγκώνας” επάνω και η άλλη στο να είναι κάτω. Όπως φαίνεται από το σχήμα και οι δύο λύσεις οδηγούν το τελικό σημείο στην ίδια θέση.



Σχήμα 2.21. Οι δύο διαμορφώσεις του βραχίονα που αντιστοιχούν στο ίδιο καρτεσιανό σημείο  $(x,y)$

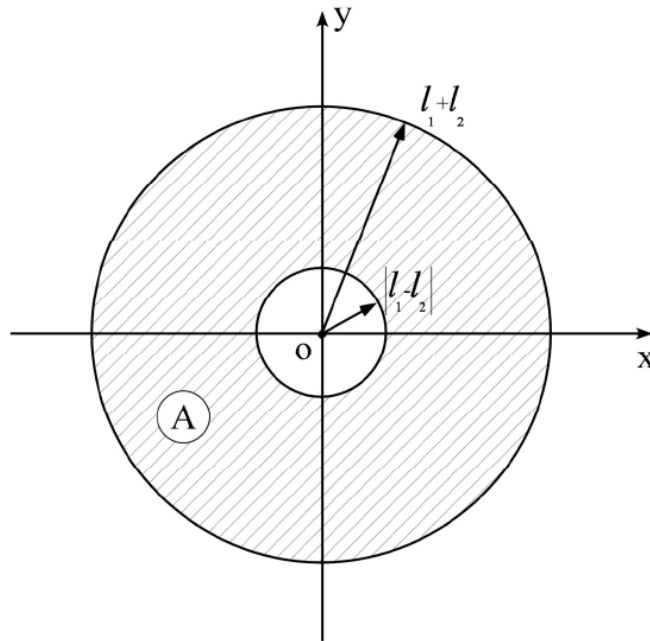
Η επίλυση μέχρι στιγμής έγινε χωρίς να εξετάσουμε αν τα αντίστροφα συνημίτονα ορίζονται. Πράγματι, για να υπάρχει λύση πρέπει να ισχύει:

$$-1 \leq \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} \leq 1 \quad (1.7)$$

$$(l_1 - l_2)^2 \leq x^2 + y^2 \leq (l_1 + l_2)^2 \quad (1.8)$$

Παρατηρώντας την βλέπουμε ότι το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα έχει λύση όταν η απόσταση του τελικού σημείου από τη βάση του βραχίονα βρίσκεται μεταξύ δύο ορίων. Η ανίσωση αυτή ορίζει ένα δακτύλιο που παριστάται στο

σχήμα 2.20. Αν το τελικό σημείο βρίσκεται στη γραμμοσειασμένη περιοχή, τότε το πρόβλημα έχει λύση.



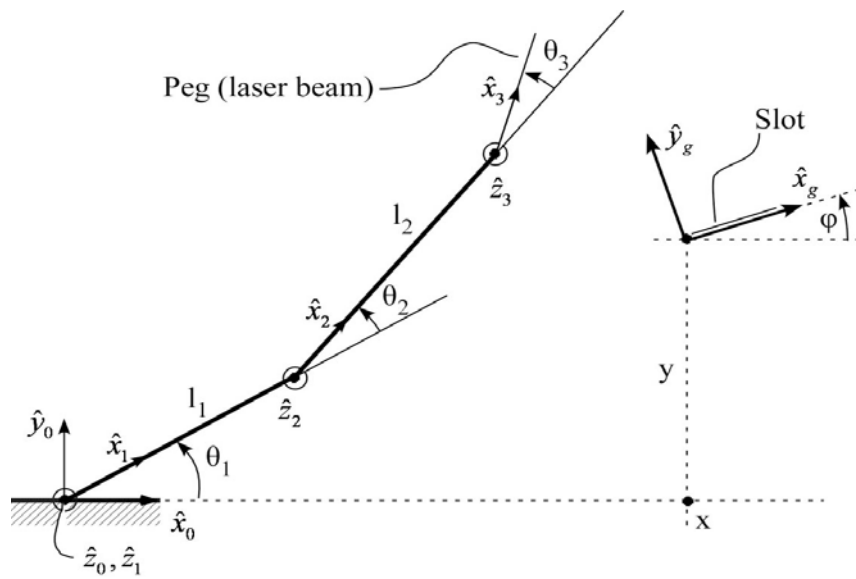
Σχήμα 2.22. Προσπελάσιμος χώρος εργασίας για βραχίονα δευτέρου βαθμού

### 1.11.2 Αλγεβρική λύση

Η αλγεβρική λύση βασίζεται στη μεθοδολογία D&H και προϋποθέτει εύρεση των ομογενών μετασχηματισμών κάθε συνδέσμου και αυτού από το ΤΣΔ (Τελικό Στοιχείο Δράσης) στη βάση.

Για τον ρομποτικό βραχίονα του σχήματος 2.21,





Σχήμα 2.23. Ρομποτικός βραχίονας τριών βαθμών ελευθερίας με τον τελευταίο σύνδεσμο μηδενικού μήκους

ο πίνακας που συνδέει το ΤΣΔ με τη βάση είναι:

$${}^0T_3 = \begin{bmatrix} c_{12\theta} & -s_{12\theta} & 0 & l_1 c_1 + l_2 c_{12} \\ s_{12\theta} & c_{12\theta} & 0 & l_1 s_1 + l_2 s_{12} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

Θέλουμε το ΤΣΔ να βρεθεί στη θέση/προσανατολισμό που περιγράφεται από τον πίνακα:

$${}^0T_g = {}^0T_s T_g = \begin{bmatrix} c_\varphi & -s_\varphi & 0 & x \\ s_\varphi & c_\varphi & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

Δηλαδή:

$${}^0T_3 = {}^0T_\varphi \quad (1.11)$$

Για να επαληθεύεται η εξίσωση (1.11) πρέπει να βρεθούν οι κατάλληλες γωνίες ( $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ ). Εξισώνοντας τα στοιχεία των πινάκων της (1.11), έχουμε:

$$\begin{aligned} x &= l_1 c_1 + l_2 c_{12} \\ y &= l_1 s_1 + l_2 s_{12} \end{aligned} \quad (1.12)$$

$$\left. \begin{aligned} c_\varphi &= c_{123} \\ s_\varphi &= s_{123} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \varphi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (1.13)$$

Η επίλυση των (1.12) και (1.13) μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς είναι η απαλοιφή της πρώτης γωνίας με ύψωση στο τετράγωνο των και άθροισή τους (αυτό αντιστοιχεί στο νόμο του συνημιτόνου).

$$x^2 + y^2 = l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2(c_1c_{12} + s_1s_{12}) \quad (1.14)$$

$$\text{όπου: } c_1c_{12} + s_1s_{12} = c_2$$

Η εξίσωση (1.14) δίνει κατά τα γνωστά:

$$c_2 = \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} = c \quad (1.15)$$

$$\theta_{2,1} = \cos^{-1}\{c\}$$

$$\theta_{2,2} = \cos^{-1}\{c\} \quad (1.16)$$

Έχοντας τη  $\theta_2$ , συνεχίζουμε για τη  $\theta_1$ . Για να αποφύγουμε την εύρεση δύο γωνιών  $\theta_1$  για κάθε από τις δύο γωνίες  $\theta_2$ , προσπαθούμε να υπολογίσουμε το ημίτονο και το συνημίτονο της  $\theta_1$ , ώστε να προκύπτει μία  $\theta_1$  για κάθε  $\theta_2$ . Αν δε γινόταν αυτό, θα είχαμε τέσσερις λύσεις από τις οποίες θα έπρεπε να απορρίψουμε δύο. Θέτουμε:

$$\begin{aligned}k_1 &= l_1 + l_2 c_2 \\k_2 &= l_2 s_2\end{aligned}\tag{1.17}$$

και καταλήγουμε στο επόμενο σύστημα δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους, το ημίτονο και συνημίτονο της γωνίας  $\theta_1$ .

$$\begin{aligned}x &= k_1 c_1 - k_2 s_1 \\y &= k_2 c_1 + k_1 s_1\end{aligned}\tag{1.18}$$

Η λύση είναι:

$$c_1 = \frac{\begin{vmatrix} x & -k_2 \\ y & k_1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} k_1 & -k_2 \\ k_2 & k_1 \end{vmatrix}} = \frac{k_1 x - k_2 y}{k_1^2 + k_2^2}\tag{1.19}$$

$$s_1 = \frac{\begin{vmatrix} k_1 & x \\ k_2 & y \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} k_1 & -k_2 \\ k_2 & k_1 \end{vmatrix}} = \frac{k_1 y - k_2 x}{k_1^2 + k_2^2}\tag{1.20}$$

Επομένως, μπορούμε τώρα να βρούμε μία και μοναδική  $\theta_1$  που αντιστοιχεί σε κάθε μία γωνία από αυτές που υπολογίζονται από την (1.16):

$$\theta_1 = A \tan(s_1, c_1)\tag{1.21}$$

Οι εξισώσεις 1.13, 1.16 και 1.21 αντιπροσωπεύουν την αντίστροφη λύση.

### **Παρατήρηση**

Γενικά, στις αντίστροφες λύσεις πρέπει να προσέχουμε την αύξηση του αριθμού των λύσεων που εισάγονται συνήθως με τον τετραγωνισμό. Σε περίπτωση αμφιβολιών, πρέπει να ελέγχονται όλες οι λύσεις ως προς το αν επαληθεύουν τις κινηματικές εξισώσεις.

## **1.12 Προγραμματισμός του ρομποτικού βραχίονα**

Το ρομπότ προγραμματίζεται με την εισαγωγή προγραμματιστικών εντολών στη μνήμη του ελεγκτή του [10]. Μπορούν να διακριθούν τέσσερις μέθοδοι εισαγωγής των εντολών:

### **1.12.1 Χειροκίνητη ρύθμιση**

Η μέθοδος της χειροκίνητης ρύθμισης σχετίζεται με ρομπότ βηματικής ακολουθίας. Αυτά τα ρομπότ προγραμματίζονται με τη ρύθμιση διακοπών ορίου και μηχανικών στοπ για τον έλεγχο των τελικών σημείων των κινήσεων τους. Η ακολουθία με την οποία εκτελούνται οι κινήσεις, ρυθμίζεται από μια ακολουθιακή συσκευή (π.χ. ένα βηματικό διακόπτη). Αυτή η συσκευή καθορίζει τη σειρά με την οποία ο κάθε σύνδεσμος ενεργοποιείται για να ολοκληρωθεί ο κύκλος κίνησης. Η ρύθμιση των διακοπών και των στοπ και η καλωδίωση της ακολουθιακής συσκευής είναι περισσότερο χειροκίνητη ρύθμιση, παρά προγραμματιστική μέθοδος [10].

### **1.12.2 Προγραμματισμός μέσω καθοδήγησης**

Αυτή η μέθοδος χρονολογείται πίσω στις αρχές της δεκαετίας του 1960, όταν δεν είχε επικρατήσει ακόμη ο έλεγχος μέσω υπολογιστή. Ο προγραμματισμός μέσω

καθοδήγησης αφορά στη διδασκαλία ενός καθήκοντος, μέσω μετακίνησης του βραχίονα πάνω στον απαιτούμενο κύκλο κίνησης. Μερικές φορές η μέθοδος αποκαλείται "διδασκαλία μέσω επίδειξης" [10].

Ο προγραμματισμός μέσω καθοδήγησης απαιτεί ο χειριστής του ρομπότ κατά τη διαδικασία διδασκαλίας να μετακινήσει το ρομποτικό βραχίονα κατά μήκος της επιθυμητής τροχιάς κίνησης, βάζοντας έτσι το πρόγραμμα στη μνήμη του ελεγκτή. Υπάρχουν δυο μέθοδοι για να εκτελεστεί η διαδικασία της διδασκαλίας μέσω καθοδήγησης. Η διαφορά ανάμεσα στις δυο μεθόδους είναι ο τρόπος με τον οποίο ο βραχίονας μετακινείται κατά τον κύκλο εργασίας [11]:

#### ➤ Καθοδήγηση με ενεργοποίηση των κινητήρων

Η καθοδήγηση με ενεργοποίηση των κινητήρων χρησιμοποιείται συνήθως σαν προγραμματιστική μέθοδος για ρομπότ με έλεγχο σημείου προς σημείο. Περιλαμβάνει τη χρήση ενός χειριστηρίου διδασκαλίας (teach pendant), το οποίο είναι ένα κουτί ελέγχου που κρατιέται στο χέρι και έχει διακόπτες χειρισμού για τον έλεγχο της κίνησης των συνδέσμων του βραχίονα. Χρησιμοποιώντας τους διακόπτες, ο προγραμματιστής οδηγεί μέσω των κινητήρων, το βραχίονα στις επιθυμητές θέσεις, ακολουθιακά, και καταγράφει τις θέσεις στη μνήμη. Σε κατοπινή αναπαραγωγή, το ρομπότ μετακινείται κατά μήκος της ακολουθίας των θέσεων μέσω των κινητήρων του.

#### ➤ Χειροκίνητη καθοδήγηση

Η χειροκίνητη καθοδήγηση βολεύει στον προγραμματισμό ρομπότ με έλεγχο συνεχούς δρόμου, όπου η συνεχής τροχιά είναι ένα ακανόνιστο μοτίβο κίνησης, όπως στη βαφή σπρέι. Αυτή η προγραμματιστική μέθοδος απαιτεί να πιάσει με το σώμα του ο χειριστής το άκρο του βραχίονα ή το εργαλείο που έχει προσαρμοστεί στο βραχίονα, και χειρωνακτικά να το μετακινήσει κατά μήκος της ακολουθίας κίνησης, καταγράφοντας την τροχιά στη μνήμη. Επειδή ο ρομποτικός βραχίονας μπορεί να έχει μεγάλη μάζα και να είναι δύσκολο να

μετακινήθει, μια ειδική συσκευή προγραμματισμού αντικαθιστά το πραγματικό ρομπότ στη διαδικασία εκμάθησης.

Οι μέθοδοι καθοδήγησης παρέχουν ένα πολύ φυσικό τρόπο για τον προγραμματισμό εντολών κίνησης στον ελεγκτή του ρομπότ. Στη χειροκίνητη καθοδήγηση ο χειριστής απλά μετακινεί το βραχίονα κατά μήκος της επιθυμητής τροχιάς, ώστε να δημιουργήσει το πρόγραμμα. Στην καθοδήγηση με ενεργοποίηση των κινητήρων ο χειριστής χρησιμοποιεί το χειριστήριο διδασκαλίας για να καθοδηγήσει το βραχίονα. Το χειριστήριο διδασκαλίας είναι εξοπλισμένο με ένα διακόπτη χειρισμού για κάθε σύνδεσμο. Ενεργοποιώντας τους διακόπτες με συνδυασμένο τρόπο για τους διάφορους συνδέσμους, ο προγραμματιστής μετακινεί το βραχίονα στις απαιτούμενες θέσεις του χώρου εργασίας [12].

Ο συντονισμός των μεμονωμένων συνδέσμων με το χειριστήριο διδασκαλίας είναι μερικές φορές δύσκολη μέθοδος για την εισαγωγή εντολών κινήσεων στο ρομπότ. Για παράδειγμα είναι δύσκολο να συντονίσει κανείς τους ανεξάρτητους συνδέσμους ενός αρθρωτού ρομπότ, έτσι ώστε να οδηγηθεί το άκρο του βραχίονα σε ευθύγραμμη κίνηση. Επομένως πολλά ρομπότ που χρησιμοποιούν την καθοδήγηση μέσω ισχύος παρέχουν δυο εναλλακτικές μεθόδους για τον έλεγχο της κίνησης του βραχίονα κατά τον προγραμματισμό, εκτός από τον έλεγχο των μεμονωμένων συνδέσμων. Με αυτές τις μεθόδους ο προγραμματιστής μπορεί να ελέγξει το άκρο του καρπού του ρομπότ, ώστε να κινείται σε ευθύγραμμες τροχιές. Τα ονόματα που δίνονται σε αυτές τις εναλλακτικές μεθόδους είναι: (1) παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων, και (2) σύστημα συντεταγμένων εργαλείου. Και τα δυο συστήματα χρησιμοποιούν ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Στο παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων, η αρχή και το πλαίσιο του συστήματος αναφοράς ορίζονται σε σχέση με κάποια σταθερή θέση και ευθυγράμμιση ως προς τη βάση του ρομπότ. Στο σύστημα συντεταγμένων του εργαλείου, η ευθυγράμμιση του άξονα του συστήματος ορίζεται ως προς τον προσανατολισμό της ακραίας επιφάνειας του καρπού (πάνω στην οποία προσαρμόζεται το τελικό στοιχείο δράσης). Με αυτό τον τρόπο ο προγραμματιστής μπορεί να προσανατολίσει το εργαλείο με τον τρόπο που επιθυμεί και μετά να ελέγξει το

ρομπότ, έτσι ώστε να κάνει γραμμικές κινήσεις σε διευθύνσεις παράλληλες ή κάθετες στο εργαλείο.

Η ταχύτητα του ρομπότ ελέγχεται από το χειριστήριο και/ή τον κεντρικό ελεγκτή του ρομπότ. Συγκεκριμένα τμήματα του προγράμματος θα πρέπει να εκτελούνται με υψηλή ταχύτητα (π.χ. η μετακίνηση αντικειμένων σε σημαντικές αποστάσεις μέσα στο κύτταρο εργασίας), ενώ άλλα τμήματα απαιτούν λειτουργία σε χαμηλή ταχύτητα (π.χ. κινήσεις που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στην τοποθέτηση του αντικειμένου). Ο έλεγχος της ταχύτητας επιτρέπει ακόμα να δοκιμασθεί ένα πρόγραμμα σε μια ασφαλή χαμηλή ταχύτητα, και μετά να χρησιμοποιηθεί με μεγαλύτερη ταχύτητα κατά την παραγωγή [12].

### **1.12.3 Γλώσσες προγραμματισμού ρομπότ**

Η χρήση γλωσσών προγραμματισμού, σαν αυτές των υπολογιστών, έγινε η κατάλληλη προγραμματιστική μέθοδος καθώς οι ψηφιακοί υπολογιστές ανέλαβαν τη λειτουργία του ελέγχου στη ρομποτική. Στη χρήση τους ώθησε η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των καθηκόντων που καλούνται να αναλάβουν τα ρομπότ, καθώς και η συνεπακόλουθη ανάγκη να ενσωματωθούν λογικές αποφάσεις στον κύκλο εργασίας του ρομπότ. Αυτές οι υπολογιστικές γλώσσες προγραμματισμού είναι on-line/off-line μέθοδοι προγραμματισμού, γιατί το ρομπότ πρέπει να διδαχτεί τις θέσεις του μέσω καθοδήγησης [10].

Η εισαγωγή γλωσσών προγραμματισμού με μορφή κειμένου για τα ρομπότ, έδωσε την ευκαιρία να πραγματοποιηθούν ορισμένες σημαντικές λειτουργίες, που ο προγραμματισμός μέσω καθοδήγησης δεν μπορεί να πετύχει. Αυτές οι λειτουργίες περιλαμβάνουν:

- Αυξημένες δυνατότητες αισθητήρων, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης και αναλογικών και ψηφιακών εισόδων και εξόδων.
- Βελτιωμένες ικανότητες εξόδου για τον έλεγχο εξωτερικού εξοπλισμού.
- Λογική ελέγχου προγράμματος πολύ ανώτερη από τις δυνατότητες των μεθόδων καθοδήγησης.

- Υπολογισμούς και επεξεργασία δεδομένων παρόμοια με τις γλώσσες προγραμματισμού υπολογιστών.
- Επικοινωνία με άλλα συστήματα υπολογιστών.

Υπάρχουν πολλές γλώσσες ρομπότ διαθέσιμες στο εμπόριο, όπως η VAL II (από την Unimation-Westinghouse), η AML (IBM Corp.), η RAIL (Automatix Inc.), HELP (General Electric) και άλλες [13].

Ο προγραμματισμός κίνησης με τις σημερινές γλώσσες ρομπότ απαιτεί ένα συνδυασμό από δηλώσεις κειμένου και τεχνικές διδασκαλίας. Επομένως, αυτή η μέθοδος προγραμματισμού αναφέρεται μερικές φορές με το όνομα on-line/off-line προγραμματισμός. Οι δηλώσεις κειμένου χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της κίνησης, και οι μέθοδοι διδασκαλίας χρησιμοποιούνται για τον ορισμό της θέσης και του προσανατολισμού του ρομπότ κατά τη διάρκεια και στο τέλος της κίνησης [14].

### **1.12.3.1 Προγραμματισμός off-line**

Ο προγραμματισμός off-line είναι μια μέθοδος διδασκαλίας με περιορισμένες εφαρμογές σήμερα, αλλά θα αναπτυχθεί περισσότερο στο μέλλον. Το πρόβλημα με τον προγραμματισμό μέσω καθοδήγησης και τις υπάρχουσες γλώσσες προγραμματισμού, είναι ότι το ρομπότ πρέπει να βγει από την παραγωγή για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, για να ολοκληρωθεί ο προγραμματισμός. Το πλεονέκτημα που προσφέρει ο off-line προγραμματισμός είναι ότι νέα προγράμματα μπορούν να ετοιμαστούν σε ένα υπολογιστή και να φορτωθούν στο ρομπότ, χωρίς να διακοπεί η παραγωγή. Είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί κάποιος τύπος γραφικής προσομοίωσης σε υπολογιστή, για να επικυρωθούν προγράμματα που αναπτύχθηκαν off-line [10].

Ο προγραμματισμός off-line επιτρέπει να προετοιμαστεί το πρόγραμμα του ρομπότ σε ένα απομακρυσμένο τερματικό υπολογιστή και να φορτωθεί στον ελεγκτή του ρομπότ για εκτέλεση. Στο γνήσιο προγραμματισμό off-line δεν υπάρχει ανάγκη να εντοπιστούν υλικά οι θέσεις για το ρομπότ στο χώρο εργασίας, όπως απαιτείται στις γλώσσες προγραμματισμού με μορφή κειμένου. Η



διαδικασία προγραμματισμού είναι παρόμοια με τις διαδικασίες off-line προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται στον προγραμματισμό NC τμημάτων. Το σημαντικό πλεονέκτημα του γνήσιου off-line προγραμματισμού είναι ότι ο χρόνος εκτός λειτουργίας για επαναπρογραμματισμό μειώνεται στο ελάχιστο, επιτρέποντας έτσι στο ρομπότ να συνεχίσει χωρίς διακοπή την παραγωγή.

Οι διαδικασίες off-line προγραμματισμού που αναπτύσσονται και προσφέρονται στο εμπόριο, χρησιμοποιούν γραφική προσομοίωση σε ένα σύστημα CAD/CAM. Παραδείγματα διαθέσιμων CAD/CAM πακέτων προσομοίωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για off-line προγραμματισμό ρομπότ είναι το PLACE (McDonnell Douglas Manufacturing Industry Systems Company), το Robographix (Computervision Corporation), το Robot-SIM (General Electric Calma Company), το ROBOCAM (Silma, Inc.) και το ROBCAD [15].

### **1.13 Έλεγχος ασφάλειας**

Για να διακοπεί άμεσα ο κύκλος του ρομπότ σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, θα πρέπει ένας χειριστής που βρίσκεται σε επιφυλακή να προσέξει τον κίνδυνο και να ενεργήσει, έτσι ώστε να διακόψει τον κύκλο. Όμως οι καταστάσεις συναγερμού ασφάλειας δε συμβαίνουν πάντα όταν είναι παρών ένας χειριστής σε επιφυλακή. Έλεγχος ασφάλειας αποκαλείται μια πιο αυτοματοποιημένη και έγκυρη μέθοδος προστασίας του εξοπλισμού του κυττάρου και των ανθρώπων που μπορεί να εισέλθουν στη ζώνη εργασίας.

Ο έλεγχος ασφάλειας (μερικές φορές χρησιμοποιείται και ο όρος έλεγχος κινδύνου) είναι μια λειτουργία ελέγχου του κυττάρου εργασίας, στην οποία χρησιμοποιούνται αισθητήρες για την παρακολούθηση της κατάστασης και των δραστηριοτήτων στο κύτταρο και για την ανίχνευση επικίνδυνων συνθηκών.

Διάφοροι αισθητήρες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για το σύστημα ελέγχου ασφάλειας σε ένα ρομποτικό κύτταρο. Οι αισθητήρες αυτοί μπορεί να είναι απλοί διακόπτες ορίου που ανιχνεύουν αν η κίνηση μιας συγκεκριμένης συνιστώσας έγινε σωστά, αισθητήρες θερμοκρασίας, ακτίνες φωτός σε συνδυασμό με φωτοκύτταρα,

και συστήματα μηχανικής όρασης. Επίσης χρησιμοποιούνται δάπεδα ή χαλάκια που δίνουν κάποιο σήμα όταν δεχτούν πίεση (όταν πατήσει κάποιος πάνω τους). Το σύστημα ελέγχου ασφάλειας προγραμματίζεται έτσι ώστε να ανταποκρίνεται με διαφορετικό τρόπο στις διάφορες επικίνδυνες συνθήκες. Έτσι μπορεί να σταματούν εντελώς οι δραστηριότητες στο κύτταρο, μπορεί να μειώνεται η ταχύτητα του ρομπότ σε ασφαλές επίπεδο (όταν υπάρχουν άνθρωποι γύρω), μπορεί να ενεργοποιούνται σειρήνες για να ειδοποιείται το προσωπικό συντήρησης για κάποιο κίνδυνο στο κύτταρο, και μπορεί να υπάρχουν ειδικά προγραμματισμένες υπολειτουργίες που επιτρέπουν στο ρομπότ να ανανήψει από ένα συγκεκριμένο επικίνδυνο συμβάν. Αυτή η τελευταία απόκριση είναι παράδειγμα προγραμματισμού σε συστήματα αυτοματισμού που ονομάζεται εντοπισμός λαθών και ανάνηψη [16].

#### **1.14 Ασφάλεια**

Τα ρομποτικά συστήματα περιλαμβάνουν μηχανισμούς ελεγχόμενους από υπολογιστές, που μπορούν να κινηθούν με υψηλή ταχύτητα και να ασκήσουν μεγάλη δύναμη, γι αυτό οι χρήστες θα πρέπει να τα χρησιμοποιούν σεβόμενοι τις διατάξεις ασφάλειας.

Συνιστάται η ανάγνωση του "American National Standard for Industrial Robot Systems - Safety Requirements", που έχει εκδοθεί από το Σύνδεσμο Βιομηχανιών Ρομπότ, σε συνεργασία με το Αμερικάνικο Εθνικό Ινστιτούτο Τυποποίησης. Η έκδοση περιλαμβάνει οδηγίες για την εγκατάσταση ρομποτικών συστημάτων, τα μέτρα ασφάλειας, τη συντήρηση, τον έλεγχο, την εκκίνηση των συστημάτων και την εκπαίδευση χειριστών.

##### **• Συγκρούσεις και σημεία παγίδευσης**

Τα μέτρα ασφάλειας πρέπει να αποτελούν απαραίτητο τμήμα της σχεδίασης του ρομποτικού κυττάρου, της εγκατάστασης, της εκπαίδευσης χειριστών και της λειτουργικής διαδικασίας. Τα ρομποτικά συστήματα έχουν συνήθως διάφορα

χαρακτηριστικά που επιτρέπουν τη λήψη μέτρων ασφαλείας. Τέτοια είναι το κύκλωμα που επιτρέπει την από απόσταση στάση κινδύνου, και οι ψηφιακές γραμμές εισόδου και εξόδου.

#### •Ρομπότ ελεγχόμενα από υπολογιστή

Τα ρομπότ ελέγχονται από υπολογιστή, και το πρόγραμμα που τα οδηγεί μπορεί να τα κάνει να κινηθούν σε χρόνο ή/και σε τροχιά απροσδόκητη για το προσωπικό. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος είναι συνήθως αναμμένοι κάποιοι διακόπτες στην κονσόλα του ρομπότ: αυτός που δείχνει ότι υπάρχει παροχή ισχύος στο βραχίονα και αυτός που δείχνει ότι εκτελείται κάποιο πρόγραμμα, Στην περίπτωση αυτή πρέπει να αποφεύγεται η είσοδος στο κύτταρο εργασίας, γιατί το ρομπότ μπορεί να κάνει απροσδόκητες κινήσεις.

#### •Ρομπότ ελεγχόμενα χειροκίνητα

Τα ρομπότ μπορούν να ελεγχθούν και χειροκίνητα. Στην περίπτωση αυτή η εντολή για την κίνηση μπορεί να δοθεί είτε από την κονσόλα ελέγχου είτε από το χειριστήριο διδασκαλίας. Αν κάποιος βρίσκεται μέσα στο κύτταρο εργασίας και χρησιμοποιεί το χειριστήριο διδασκαλίας, υπάρχει ο κίνδυνος να δώσει κάποιος άλλος από το πληκτρολόγιο της κονσόλας μια απροσδόκητη εντολή κίνησης. Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αυτός, υπάρχει συνήθως ειδικός διακόπτης πάνω στο χειριστήριο διδασκαλίας, μέσω του οποίου απενεργοποιείται η δυνατότητα κίνησης του ρομπότ από άλλο.

#### •Περιφερειακές συσκευές ελεγχόμενες από υπολογιστή

Συνήθως τα συστήματα αυτά προγραμματίζονται για να ελέγχουν, εκτός του ρομπότ, και άλλο εξοπλισμό και συσκευές. Όπως και με το ρομπότ, το πρόγραμμα που ελέγχει τις συσκευές μπορεί να τις ενεργοποιεί σε στιγμές μη αναμενόμενες από το προσωπικό. Για αυτό είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν μέτρα ασφάλειας που να εμποδίζουν την είσοδο του προσωπικού στο κύτταρο

εργασίας, όταν εκτελείται κάποιο πρόγραμμα. Συνιστάται η χρήση επιπλέον μέτρων, όπως φωτοκυττάρων, εισόδων ασφαλείας ή χαλιών ασφαλείας που να ενεργοποιούνται όταν κάποιος προσπαθεί να εισέλθει στο κύτταρο, ενώ το ρομπότ λειτουργεί. Οι διατάξεις αυτές μπορούν να συνδεθούν σε μερικές περιπτώσεις με το κύκλωμα στάσης κινδύνου του ρομπότ [17].

## **1.15 Το μέλλον**

### **1.15.1 Χρονοδιάγραμμα**

Εξελίξεις σχετικά με τη ρομποτική από την αναφορά NIPSTER 2030 [18]:

2013-2014: γεωργικά ρομπότ (AgRobots)

2013-2017: ρομπότ που θα φροντίζουν τους ηλικιωμένους

2017: ιατρικά ρομπότ που θα εκτελούν χαμηλές επεμβατικές εγχειρίσεις

2017-2019: οικιακά ρομπότ με πλήρης απασχόλησης

????: νανορομπότ

### **1.15.2 Η ρομποτική το 2020**

Τα ρομπότ θα είναι κοινότοπα: στο σπίτι, στα εργοστάσια, στη γεωργία, στο κτίσιμο και στην κατασκευή, στο βυθό, στο διάστημα, στην εξόρυξη, στα νοσοκομεία και στους δρόμους για επιδιόρθωση, κτίσιμο, υποστήριξη, ασφάλεια, ψυχαγωγία, συντροφικότητα, φροντίδα, κ.τ.λ.

Οι σκοποί αυτών των ρομπότ θα περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένα διαστημικά οχήματα και εγκαταστάσεις, ανθρωπομορφικά ρομπότ γενικού σκοπού με χέρια όμοια με του ανθρώπου που θα χρησιμοποιούνται σε δουλειές εργοστασίου, έξυπνα ρομπότ για εργοστάσια χωρίς προσωπικό, δηλαδή πλήρως αυτοματοποιημένα εργοστάσια, ρομπότ που θα οδηγούν άτομα με προβλήματα όρασης και οικιακός

αυτοματισμός για ηλικιωμένους και άτομα με αναπηρίες, ρομπότ που θα εκτελούν σχεδόν όλες τις δουλειές στο σπίτι, στα νοσοκομεία συμπεριλαμβανομένου και ρομπο-χειρουργική, ρομπότ για τις οικιακές δουλειές όπως καθάρισμα, πλύσιμο, μεταφορά κ.τ.λ.-τα οικόσιτα ρομπότ θα είναι μικρά, ειδικευμένα και ευπαρουσίαστα.

Οι ιδιότητες των συγκεκριμένων ρομπότ θα περιλαμβάνουν αυτονομία με αισθητήρες περιβαλλοντικής επίγνωσης, θα είναι αυτοεπαναφορτιζόμενα, αυτοδιαγνωστικά και αυτοεπιδιορθώμενα. Επιπλέον, θα έχουν πιο σύνθετους τεχνητούς εγκεφάλους, ίσως με 10.000 ή περισσότερα κύτταρα τα οποία θα συνδέονται με ηλεκτρονικά κυκλώματα [18].

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ



#### 2.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δυο δεκαετίες παρατηρήθηκε μια επαναστατική αλλαγή στις χειρουργικές τεχνικές και τεχνολογίες. Παραδοσιακά, οι εγχειρίσεις εκτελούνταν με ανοιχτό τρόπο, σύμφωνα με τον οποίο απαιτούνταν μεγάλες τομές και ο

χειρουργός έπρεπε απλά να παρατηρήσει και να χειριστεί το χειρουργικό πεδίο. Αυτές οι τομές αναπόφευκτα δημιουργούσαν σημαντικό τραύμα στους ασθενείς-σημαντικό πόνο και ταλαιπωρία, επεκταμένο χρόνο ανάρρωσης, παρατεινόμενη διαχείριση του πόνου και υψηλά κόστη. Περίπου 20 χρόνια πριν, οι χειρουργοί άρχισαν να εξασκούνται σε μια νέα προσέγγιση εκτέλεσης της επέμβασης, μια προσέγγιση που έγινε γνωστή ως Ελάχιστα Επεμβατική Χειρουργική(EEX). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, έχουν εισαχθεί μικροσκοπικές κάμερες σε εργαλεία που καλούνται ενδοσκοπία ή λαπαροσκοπία. Αυτή η οπτική και χειρουργική βοήθεια θα μπορούσε να εισαχθεί στο σώμα του ασθενή μέσω μικρών εισόδων. Αν και επαναστατική στο θετικό της αποτέλεσμα στο τραύμα του ασθενή και στο χρόνο ανάρρωσης, η EEX αντιμετώπισε σημαντικές τεχνολογικές αδυναμίες. Ο χειρουργός χειρουργούσε χρησιμοποιώντας μια 2D οθόνη αντί να κοιτάζει τα δικά του/της χέρια. Η συνακόλουθη εικόνα εξομάλυνε το φυσικό βάθος του πεδίου και τα αμετάβλητα εργαλεία μείωναν τη δική του/της επιδεξιότητα. Η έλλειψη 3D απεικόνισης του χειρουργικού πεδίου, ο φτωχός εργονομικός σχεδιασμός και ο μειωμένος έλεγχος ήταν τεράστιο εμπόδιο προόδου. Σαν αποτέλεσμα, αυτός ο τύπος EEX απεδείχθη κατάλληλος για ελάχιστο εύρος χειρουργικών επεμβάσεων. Η πρώτη γενιά χειρουργικών ρομπότ χρησιμοποιείται ήδη σε αρκετά χειρουργεία ανά τον κόσμο. Δεν πρόκειται φυσικά για αυτόνομα ρομπότ που μπορούν να χειρουργούν μόνα τους, αλλά για μηχανικά βοηθήματα των χειρουργών. Τα μηχανήματα αυτά απαιτούν φυσικά χειρισμό από ανθρώπους χειρουργούς και δέχονται εντολές από αυτούς. Ο έλεγχος αυτών των χειρουργικών ρομπότ γίνεται με τηλεχειρισμό και ενεργοποίηση μέσω φωνής [19].

### **2.1.1 Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής**

- Είναι μια ελάχιστα επεμβατική και ελάχιστα τραυματική μέθοδος, εξαιτίας της ακρίβειας με την οποία γίνονται οι κινήσεις του γιατρού
- Εξασφαλίζει ελάχιστη απώλεια αίματος
- Εξασφαλίζει μικρότερο πόνο

- Ελαχιστοποιεί την πιθανότητα διεγχειρητικών και μετεγχειρητικών επιπλοκών
- Μειώνει σημαντικά το χρόνο παραμονής στο νοσοκομείο
- Εξασφαλίζει ταχύτερη ανάρρωση
- Παρέχει καλύτερα αισθητικά αποτελέσματα
- Δίνει λύση στους περιορισμούς της λαπαροσκοπικής μεθόδου (δισδιάστατη εικόνα ή ασταθή εικόνα, απώλεια βαθμών ελευθερίας και αίσθησης, εργονομικά προβλήματα για τη χειρουργική ομάδα)
- Επιτρέπει στον χειρουργό να έχει τρισδιάστατη (3D) εικόνα του χειρουργικού πεδίου, σε πολύ μεγάλη μεγέθυνση
- Εξασφαλίζει μεγαλύτερη ακρίβεια στις χειρουργικές κινήσεις. Καθώς οι χειρισμοί του χειρουργού στην κονσόλα μετατρέπονται σε κίνηση των χειρουργικών βραχιόνων εξαλείφεται σχεδόν το φυσιολογικό τρέμουλο των χεριών, με αποτέλεσμα μια πρωτοφανή χειρουργική δεξιότητα
- Δίνει στο χειρουργό τη δυνατότητα να πραγματοποιεί δύσκολους χειρουργικούς χειρισμούς. Τα χειρουργικά εργαλεία των ρομποτικών βραχιόνων μπορούν να πραγματοποιήσουν όλες τις κινήσεις που πραγματοποιεί το ανθρώπινο χέρι (7 βαθμοί ελευθερίας στην κίνηση), με μεγαλύτερη δεξιότητα και ακρίβεια, ενώ περιστρέφονται σχεδόν 360° μέσα στο χειρουργικό πεδίο
- Παρέχει στον χειρουργό μεγαλύτερη άνεση κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Σε αντίθεση με την συνηθισμένη χειρουργική πρακτική, η ρομποτική χειρουργική επιτρέπει στον χειρουργό να πραγματοποιεί τις επεμβάσεις καθισμένος, μέσα σε ένα προσεκτικά σχεδιασμένο και εργονομικά άριστο περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο κάματος



του χειρουργού, με πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις δύσκολων και πολύωρων επεμβάσεων

- Δίνει τη δυνατότητα στον χειρουργό να προετοιμάσει την επέμβαση στον Η/Υ, χρησιμοποιώντας τις εικόνες των εσωτερικών οργάνων των ασθενών που προκύπτουν από τις εξετάσεις τους. Ο χειρουργός μπορεί επίσης και κατά τη διάρκεια της επέμβασης να ανακαλέσει στην οθόνη του και να συμβουλευτεί χρήσιμες εικόνες [9].

Παρακάτω, στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη σύγκριση της λαπαροσκοπικής μεθόδου και της μεθόδου da Vinci [8]:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΑΠΑΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΚΑΙ DA VINCI ΜΕΘΟΔΟΥ

Γενική Λαπαροσκοπική Χειρουργική		
	Λαπαροσκοπική	Σύστημα da Vinci®
Ποσοστό Επιτυχίας	93%	100%
Χρόνος Επέμβασης	173 min	120 min
Χρόνος Νοσηλείας	48 hours	36 hours

## 2.2 Τεχνολογία της ρομποτικής χειρουργικής

Η ρομποτική χειρουργική είναι καινοτομική και τρομακτική στους περισσότερους ανθρώπους επειδή χρησιμοποιεί μηχανές που ονομάζονται ρομπότ. Αυτά τα ρομπότ είναι πολύπλοκα και απαιτούν καλή εκπαίδευση. Οι κύριες χειρουργικές μηχανές, το χειρουργικό σύστημα da Vinci και το Zeus χρησιμοποιούν τρεις χειρουργικούς βραχίονες. Το σύστημα Zeus έχει δυο κύριους χειρουργικούς βραχίονες, οι οποίοι περιλαμβάνουν εργαλεία για τομές και για την εγχείριση. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται μικροί κόφτες στην εγχείριση χοληδόχου κύστης

για την κοπή της χοληδόχου κύστης. Ο άλλος βραχίονας του Zeus είναι μια ψηφιακή υψηλής ποιότητας 3D κάμερα. Η κάμερα και το σύστημα βίντεο στο οποίο χειρουργεί ο χειρουργός πρέπει να είναι εντός 2 sec μεταξύ τους. Αν το βίντεο δεν είναι συντονισμένο σε πραγματικό χρόνο, τότε το ποσοστό λάθους αυξάνει δραματικά [20].

### 2.3 Τρέχοντα διαθέσιμα συστήματα

Τα πέντε κύρια ρομποτικά χειρουργικά συστήματα (Εικόνα 2.1):

- ZEUS
- AESOP
- da Vinci
- Hermes
- Socrates

Η τιμή τους κυμαίνεται από \$750.000 μέχρι \$1.000.000 (Πίνακας 1, [39]). Το σύστημα Zeus ήταν το πρώτο μηχάνημα που εγκρίθηκε από τον Αμερικανικό Οργανισμό Φαρμάκων και Υλικών, FDA(Food and Drug Administrator) αλλά μοιράζεται το προσκήνιο με το χειρουργικό σύστημα da Vinci [20].





Εικόνα 2.1. (Από αριστερά προς τα δεξιά) Τα χειρουργικά συστήματα AESOP, da Vinci, Zeus και Hermes.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 5. ΚΟΣΤΟΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σύστημα	Κόστος	Εταιρεία	Περιγραφή συστήματος
da Vinci Surgical System	\$1,000,000	Intuitive Surgical	Τηλεχειρουργική. Ρομπότ με βραχίονες και χειρουργικά εργαλεία.
Zeus Robot Surgical System	\$975,000	Computer Motion*	Τηλεχειρουργική. Ρομπότ με βραχίονες και χειρουργικά εργαλεία.
Aesop 3000	\$80,000	Computer Motion*	Ρομπότ με δυνατότητα φωνητικού ελέγχου.
Hermes Control Center	Request price quota	Computer Motion*	«Εξυπνο» σύστημα ρομποτικού ελέγχου με εφαρμογές σε δίκτυα.
Socrates Robotic Telecollaboration System	Request price quota	Computer Motion*	Εφαρμογή τηλεχειρουργικής που επιτρέπει τη σύγχρονη χρήση του Aesop 3000 από πολλούς χρήστες.

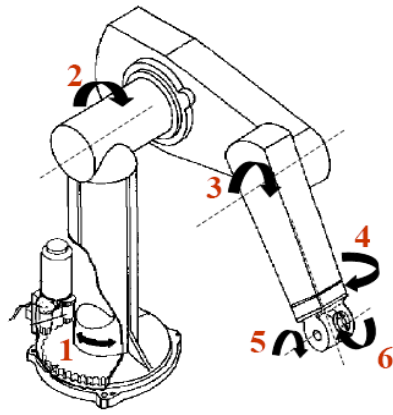
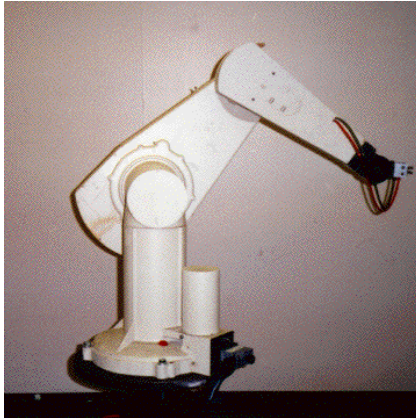
\*Η τέως εταιρεία Computer Motion systems που εξαγοράστηκε από την Intuitive Surgical.

## 2.4 Εφαρμογές στην ιατρική

Η ρομποτική πρόσφατα έχει εφαρμοσθεί στο πεδίο της ιατρικής, αρχικά με συσκευές αποκατάστασης και αρωγής σε εκείνους με αναπηρίες. Ο Dr. David Gow δημιούργησε το πρώτο ρομποτικό χέρι το 1998 με το όνομα EMAS (Edinburgh Modular Arm System). Η ρομποτική τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει άτομα με σοβαρές ανικανότητες εκτελώντας ανεξάρτητες δραστηριότητες της καθημερινότητας (The Winsford feeder) ή για να τα ενσωματώσει στο χώρο εργασίας (RAID: Robot for Assisting the Integration of the Disabled). Χρησιμοποιήθηκε στα νοσοκομεία έμμεσα για τη φροντίδα των ασθενών, ρομπότ όπως το λειτουργεί ημι- ή πλήρως αυτόνομα σαν αχθοφόρος ή αγγελιαφόρος από το 1993. Πρόσφατα, μια νέα ιδέα για εισήχθη, το οποίο επιτρέπει σε θεραπευτές να αλληλεπιδρούν εξ αποστάσεως με τους ασθενείς. Μέσω ενός 5-ft ρομπότ, ένας θεραπευτής που βρίσκεται σε απόσταση μπορεί να δει, να ακούσει και να μιλήσει με έναν ασθενή που βρίσκεται σε ένα θάλαμο νοσοκομείου [21].

## 2.5 Εφαρμογές στη Χειρουργική

Το 1985, η πρώτη χειρουργική εφαρμογή των ρομπότ ήταν σε μια νευροχειρουργική επέμβαση. Το PUMA 560 (Programmable Universal Machine for Assembly), ένα ρομπότ που χρησιμοποιήθηκε από τον Kwoh το 1965 για τη λήψη νευροχειρουργικών βιοψιών με μεγάλη ακρίβεια, χρησίμευε για να προσανατολίζει μια βελόνα για μια βιοψία εγκεφάλου υπό την καθοδήγηση υπολογιστικής τομογραφίας (CT) [21]. Το PUMA έχει 6 άξονες κίνησης που του επιτρέπουν να τοποθετεί το άκρο του σε οποιαδήποτε θέση και προσανατολισμό μέσα στο χώρο εργασίας του (Εικόνα 2.2, [22]).



Εικόνα 2.2. Το PUMA 560 έχει 6 περιστροφικές αρθρώσεις όπου κάθε μία έχει 1 βαθμό ελευθερίας που ορίζεται από τη γωνία του

Διακρίνεται για τη μεγάλη επιδεξιότητα που κληρονομεί από την ανθρωπομορφική κατασκευαστική του διαμόρφωση και από την ευκολία ελέγχου που του χαρίζει η ανοικτή αρχιτεκτονική του. Ωστόσο, η χρήση του σταμάτησε λόγω θεμάτων ασφάλειας [23].

Στο μεταξύ, στο Imperial College στην Αγγλία το 1998, ένα ρομποτικό σύστημα ονομαζόμενο PROBOT δημιουργήθηκε για βοήθεια σε υπερουρθηρική χειρουργική αφαίρεση του προστάτη. Αυτή ήταν η πρώτη αυτόνομη χειρουργική διαδικασία εκτελεσμένη από ένα ρομπότ, όπου είναι σχηματισμένο ένα 3-διαστάσεων μοντέλο του προστάτη, σχεδιάστηκε η περιοχή της αφαίρεσης από το χειρουργό, υπολογίστηκαν οι τροχιές του κοψίματος από το ρομπότ και τέλος εκτελέστηκε η διαδικασία. Παράλληλα η εταιρεία Integrated Surgical Supplies Ltd. στο Sacramento, CA, κατασκεύασε το ROBODOC, ένα ρομποτικό σύστημα που εκτελούσε επεμβάσεις αντικατάστασης ισχίου με μεγαλύτερη ακρίβεια. Το ROBODOC ήταν το πρώτο χειρουργικό ρομπότ που έλαβε την έγκριση του FDA.

Λίγα χρόνια αργότερα, το 1992, η International Business Machines (IBM) και συνεργάτες ανέπτυξαν ένα πρωτότυπο, το PROBODOC, για ορθοπεδική χειρουργική. Το χρησιμοποιήθηκε για να βοηθήσει τους χειρουργούς να ανοίξουν μια τρύπα στο μηριαίο οστό για ολιγές αντικαταστάσεις ισχίου.

Ταυτόχρονα, η γέννηση της τεχνολογίας της ρομποτικής τηλεπαρουσίας (η οποία επιτρέπει στους χειρουργούς να χειρουργούν σε απόσταση από το χειρουργικό δωμάτιο) έλαβε χώρα στο Stanford Research Institute, National Aeronautics and Space Administration (NASA) και στο Department of Defense. Στις αρχές του '90, πολλοί από τους ερευνητές συνεργάστηκαν με το Stanford Research Institute (SRI). Σε συνεργασία με επιστήμονες ρομποτικής και ειδικούς στην εικονική πραγματικότητα, οι ερευνητές αυτοί ανέπτυξαν ένα βραχίονα για επεμβάσεις άκρας χείρας. Κατά την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων, γενικοί χειρουργοί και ενδοσκοπικοί μπήκαν στην ερευνητική ομάδα και ανακάλυψαν τις δυνατότητες υπέρβασης των μέχρι τότε γνωστών δυσκολιών με τη λαπαροσκοπηση [5].

Αρχικά, το πρωτότυπο δημιουργήθηκε ώστε να ικανοποιεί τις ανάγκες του στρατού και οι ρομποτικοί βραχίονες σχεδιάστηκαν ώστε να είναι τοποθετημένα σε ένα τεθωρακισμένο όχημα για να παρέχει άμεση χειρουργική φροντίδα στο πεδίο της μάχης [21]. Ο αμερικανικός στρατός θεώρησε ότι με τη δουλειά της SRI θα μπορούσε να μειώσει τη θνητότητα στο πεδίο μάχης "φέροντας τον χειρουργό στον τραυματισμένο στρατιώτη μέσω τηλεχειρουργικής". Με επιδότηση του στρατού αναπτύχθηκε ένα σύστημα περισυλλογής των τραυματιών και γρήγορης μεταφοράς σε κοντινή κινητή χειρουργική μονάδα - Mobile Advanced Surgical Hospital (MASH). Το σύστημα έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε πειραματικά μοντέλα, αλλά δεν έχει εφαρμοσθεί ακόμα σε πραγματικούς στρατιώτες στο πεδίο της μάχης [5].

Σύντομα, η Intuitive Surgical απέκτησε το πρωτότυπο και εμπορευματοποίησε το σύστημα da Vinci, το οποίο επικεντρώνεται στην ιδέα της τηλεπαρουσίας(όπου ο χειρουργός χειρουργεί σε απόσταση από τον ασθενή αλλά αισθάνεται σαν να ήταν στο χειρουργικό δωμάτιο). Την ίδια στιγμή, η Computer Motion, στη Santa Barbara, CA, αποκάλυψε τον πρώτο κάτοχο λαπαροσκοπικής κάμερας, το AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning), το οποίο μετακινούσε την κάμερα με φωνητικές εντολές από τον χειρουργό. Μετά από την εμφάνιση του AESOP, η Integrated Surgical Systems (σημερινή Intuitive Surgical) στο Mountain View, CA, αγόρασε τα δικαιώματα του SRI Green Telepresence Surgery system. Το σύστημα υποβλήθηκε σε προσεκτικό επανασχεδιασμό και

παρουσιάστηκε ως da Vinci Surgical System. Μέσα σε ένα χρόνο, η Computer Motion ξεκίνησε να παράγει το ρομπότ Zeus [21], το οποίο είναι ένα ολοκληρωμένο ρομποτικό σύστημα(ο χειρουργός χειρουργεί σε απόσταση από τον ασθενή και είναι ενήμερος ότι είναι σε απόσταση).

## **2.6 Άλλες χειρουργικές ειδικότητες**

### **2.6.1 Νευροχειρουργική**

Η πρώτη κλινική εφαρμογή της ρομποτικής ήταν σε νευροχειρουργικές επεμβάσεις. Το αρχικό μοντέλο ήταν το PUMA 560. Αυτό ακολούθηθηκε από το MINERVA, NEYROMATE και άλλα. Πιο πρόσφατα, η ρομποτική έχει χρησιμοποιηθεί για ραδιοχειρουργική: ένα ρομποτικό σύστημα διανομής (για παράδειγμα Cyber-Knife) χρησιμοποιείται για το χειρισμό ενός γραμμικού επιταχυντή καθώς μεταφέρει ακτινοβολία πολύ κοντά στο κρανίο σε μια περιοχή αναγνωρισμένη σε προεγχειριτική απεικόνιση.

### **2.6.2 Ορθοπαιδική**

Η αντικατάσταση ολόκληρου γονάτου είναι μια συχνή ορθοπαιδική διαδικασία της οποίας η επιτυχία είναι βασισμένη στη συμμαχία του άκρου και της προσθετικής. Το πρωτότυπο ROBODOC σύστημα χρησιμοποιεί CT καθοδήγηση για να ανοίξει μια συγκεκριμένη οπή στη μηριαία κοιλότητα. Ένα δεύτερο ολοκληρωμένο ρομποτικό σύστημα, το ACROBOT φαίνεται ελπιδοφόρο σε προκαταρκτικές δοκιμές. Επιπλέον, για ασθενείς με πόνο χαμηλά στην πλάτη που υποβάλλονται σε ελάχιστα επεμβατικές εγχειρίσεις όπως απόφραξη νεύρων, ένα ρομπότ έχει αναπτυχθεί από τρεις διαφορετικές ομάδες για να βοηθήσει το θεράπευτή στην τοποθέτηση βελόνας.

### **2.6.3 Εφαρμογές αναφερόμενες σε γνάθο και πρόσωπο**

Ένα χειρουργικό ρομπότ(RX90) που αναπτύχθηκε στη Γερμανία, χρησιμοποιεί CT scanning για να εκτελέσει κρανιοπροσωπικές οστεοτομές με ένα χειρουργικό κοπτικό πριόνι. Προκαταρκτικές μελέτες σε ζώα φάνηκαν ελπιδοφόρες.

### **2.6.4 Οφθαλμολογία**

Πολλές χειρουργικές επεμβάσεις στο μάτι απαιτούν ακριβείς ικανότητες μικροραψίματος. Ένα ρομπότ που αναπτύχθηκε από το John Hopkins University είναι το “Steady Hand” ρομπότ για μικροχειρουργική πρόσθεση. Αυτό το ρομποτικό εργαλείο απαιτεί ο θεραπευτής στην πράξη να κρατά και να χειρίζεται το εργαλείο με τη βοήθεια του ρομπότ. Μελέτες που αξιολόγησαν την ακρίβεια τοποθέτησης χειρουργικού ράμματος έχουν καταδείξει ένα πλεονέκτημα με τη ρομποτική βοήθεια.

### **2.6.5 Ουρολογία**

Οι ουρολογικές εφαρμογές της ρομποτικής τεχνολογίας έχουν ακτίνα εφαρμογής από υπερουρηθρική χειρουργική αφαίρεση προστάτη με το πρωτότυπο PROBOT μέχρι πρόσβαση στο νεφρό εκτελούμενη μέσω δέρματος για ελάχιστα επεμβατικές εγχειρίσεις στο νεφρό. Πρόσφατα, αποτιμήθηκε η δραστηριότητα της ρομποτικής πρόσβασης στο νεφρό μέσω δέρματος για νεφρολιθοτομή και βρέθηκε ότι ο αριθμός των ακτινών προσπαθειών και προσβάσεων ήταν συμβατός με τις αναγνωρισμένες τεχνικές. Ο ρόλος της τηλερομποτικής χειρουργικής στην ουρολογία έχει αποτιμηθεί σε έναν αριθμό επεμβάσεων με ποικίλα αποτελέσματα. Αποτιμήθηκε ο ρόλος του χειρουργικού συστήματος για πυελοπλαστικής και αφαιρετικές ουρολογικές επεμβάσεις στο ζωικό μοντέλο και βρέθηκαν αυξημένοι επεμβατικοί χρόνοι όπως συγκρίθηκαν με τις παραδοσιακές λαπαροσκοπικές τεχνικές.

Ωστόσο, συγκρίνοντας το χειρουργικό σύστημα όταν χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση ρομποτικά υποβοηθούμενης πυελοπλαστικής έδειξε να έχει συγκρίσιμους



χρόνους με την ανοιχτή προσέγγιση με επιπλέον τα πλεονεκτήματα της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής. Για ριζική προστατευτομή σε ανθρώπους, φαίνεται να υπάρχει συγκρίσιμος ορμονικός έλεγχος με τα πλεονεκτήματα της ελάχιστης απώλειας αίματος, σύντομη νοσοκομειακή παραμονή, γρήγορη ανάρρωση και πρόωγη ικανότητα επανάκτησης δυνάμεων. Η ρομποτική χειρουργική χρησιμοποιήθηκε για λαπαροσκοπική νεφροτομή δότη και κυστεκτομή, μεταμόσχευση νεφρού και πρόσφατα ρομποτική επέμβαση αντιστροφής της αφαιρέσης του σπερματικού πόρου στους άνδρες.

### **2.6.6 Γαστρεντερική χειρουργική**

Η ποικιλία των ρομποτικών περιπτώσεων που χρησιμοποιούνται στη γαστρεντερική χειρουργική περιλαμβάνουν: Heller μυοτομή, γαστρικό bypass, στένωση πυλωρού, γαστρονηστιδοστομία, οισοφαγεκτομή, αποκοπή δωδεκαδακτυλικού πολύποδα και αποκοπή γαστρικής μάζας. Άλλες επεμβάσεις που εκτελούνται ρομποτικά περιλαμβάνουν: ενδογαστρική αφαίρεση, ακραία γαστρεκτομή, εκτομή άκρων, Roux-en Y γαστρικό bypass, γαστρικό banding, χολική παγκρεατική εκτροπή, rectopexy, προγενέστερη αποκοπή και γαστροπερινεοική αποκοπή.

### **2.6.7 Καρδιοχειρουργική**

Η ρομποτική τεχνολογία τηλεπαρουσίας αρχικά δημιουργήθηκε για καρδιακή χειρουργική. Τα πλεονεκτήματα της τριών διαστάσεων οπτικοποίησης και κατασκευής σε μικρό μέγεθος πολύ-αρθρωτών εργαλείων έχουν επιτρέψει σε καρδιοχειρουργούς να εκτελούν ελάχιστα επεμβατική ενδοσκοπική bypass μεταμόσχευση στεφανιαίας αρτηρίας και επεμβάσεις βαλβίδας. Πρόσφατα, η μεταμόσχευση στεφανιαίας αρτηρίας και η χειρουργική βαλβίδας έχουν εκτελεστεί χρησιμοποιώντας είτε το Zeus ή το da Vinci χειρουργικό σύστημα. Τα αποτελέσματα είναι αισιόδοξα και για τις δύο αποκαταστάσεις μιτροειδούς βαλβίδας σε 38 ασθενείς και κλείσιμο των ελαττωμάτων του κόλπου σχετικά με τη μεμβράνη ιστού σε 10 ασθενείς χρησιμοποιώντας το da Vinci χειρουργικό σύστημα.

### **2.6.8 Γυναικολογία**

Η χειρουργική στη μαιευτική και στη γυναικολογία έχει παραδοσιακά διδαχθεί μέσω της λαπαροτομής ή κολπικής προσέγγισης. Τα πλεονεκτήματα της λαπαροσκοπικής συμπεριλαμβανομένου της αντίληψης σε βάθος και αισθητής ανάδρασης από την αντίδραση του δυναμικού του ιστού/οργάνου. Άλλωστε, υπάρχει μια ευκολία στην ενδογαστρική συρραφή από τους 6 βαθμούς ελευθερίας ευκολίας από τον ανθρώπινο καρπό.

Απλές γυναικολογικές επεμβάσεις όπως στείρωση των ωαγωγών, ωοθηκικές κυστεκτομές και θερμοκαυτηρίαση του ενδομήτριου είναι παραδείγματα επεμβάσεων που μπορούν αποτελεσματικά να εκτελεστούν μέσω λαπαροσκοπικής και έχουν αποκτήσει δημοφιλή αποδοχή από την πρώτη περιγραφή τους το 1970. Είναι οι πιο περίπλοκες οι εξελιγμένες λαπαροσκοπικές περιπτώσεις που παρουσιάζουν ενδιαφέρουσες μάθησης καμπύλη συμπεριλαμβανομένου της μικροχειρουργικής αναστόμωσης ωαγωγών, γαστρική διόρθωση της πρόπτωσης της κολπικής καμάρας, εκτομή μυώματος και ριζική υστερεκτομή.

### **2.6.9 Σύγχρονες εφαρμογές της ρομποτικής χειρουργικής στη γυναικολογία**

Αν και οι γυναικολόγοι ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν λαπαροσκοπικές χειρουργικές τεχνικές, ο ρόλος της ρομποτικής χειρουργικής στη γυναικολογία έχει αναπτυχθεί μετά από άλλες ειδικότητες. Η πρώτη χρήση της ρομποτικής στη γυναικολογική βιβλιογραφία ήταν από το Mettler, ο οποίος χρησιμοποίησε το AESOP σε 50 γυναικολογικές επεμβάσεις.

Στην υποπερίπτωση της αναπαραγωγικής ενδοκρινολογίας, η επικρατέστερη επέμβαση που χρησιμοποιεί ρομποτική τεχνολογία είναι οι μικροχειρουργικές μεταστροφές ωαγωγών. Χρησιμοποιώντας το σύστημα Zeus, η πρώτη επέμβαση που εκτελέστηκε ήταν η μικροχειρουργική αναστόμωση του μητρικού τοιχώματος σε έξι θηλυκά γουρούνια το 1998. Αυτή η επέμβαση επωφελείται από τα πλεονεκτήματα του ρομποτικού συστήματος παρέχοντας εξαιρετικές κινήσεις κινητήρα που απαιτούνται για ενδοσωματική συρραφή, τρισδιάστατη εικόνα και

κλίμακα κίνησης για βοήθεια στη μικροχειρουργική. Ο Falcone και οι συνεργάτες εκτέλεσαν την πρώτη ανθρώπινη δοκιμή χρησιμοποιώντας το σύστημα Zeus το 1998 σε 10 ασθενείς με προηγούμενες επιδέσεις ωαγωγών που υποβλήθηκαν σε λαπαροσκοπική αναστόμωση ωαγωγών με τη βοήθεια της ρομποτικής. Η εγκατάσταση περιελάμβανε τοποθέτηση των εισόδων σε χαμηλότερα τεταρτημόρια αμφίπλευρα των ρομποτικών βραχιόνων και η μία είσοδος τοποθετήθηκε άνω του εφηβίου για την εισαγωγή της συρραφής. Για την εκτέλεση της αναστόμωσης, χρησιμοποιήθηκε 6-0 polygalactin στη μεσοσάλπιγγα και 8-0 στις σάλπιγγες. Ο μέσος χειρουργικός χρόνος για την εκτέλεση της αναστόμωσης ήταν  $159 \pm 33.8$  λεπτά.

## **2.7 Τηλεκαθοδήγηση**

Η εισαγωγή της τηλεδιάσκεψης προκάλεσε ενδιαφέρον στην τηλεκαθοδήγηση. Αυτό θα επιτρέψει έναν πεπερασμένο χειρουργό σε μια τοποθεσία να διδάξει και να καθοδηγήσει αυτούς που εκπαιδεύονται σε μια διαφορετική τοποθεσία χρησιμοποιώντας είτε οπτικοακουστικό εξοπλισμό, όπως στη ρομποτική AESOP ή da Vinci. Θα μειωθεί η μεταφορά και η απώλεια χρόνου από τη δουλειά στη διδασκαλία ή στη μάθηση.

## **2.8 Χειρουργική με τηλεπαρουσία**

Η τηλεπαρουσία στη χειρουργική ειδικότερα επιτρέπει στο χειρουργό να βρίσκεται σε μια τοποθεσία και να χειρουργεί ασθενή που βρίσκεται σε διαφορετική τοποθεσία μέσω της χρήσης ενός ολοκληρωμένου ρομποτικού χειρουργικού συστήματος. Μία από τις πρώτες επεμβάσεις με τηλεπαρουσία εκτελέστηκε το 1998.

Για να χειρουργήσει ο γιατρός μέσω μακρινών αποστάσεων, το τρέχον σύστημα χρησιμοποιεί και μεθόδους που φέρνουν θέματα συνέπειας και αξιοπιστίας. Επιπλέον, άλλος παράγοντας είναι η ταχύτητα μεταφοράς της πληροφορίας από το χειρουργό στον ασθενή. Ο χρόνος καθυστέρησης από το χειρουργό στην εκτέλεση

θα πρέπει να είναι λιγότερο από 300 ms για το χειρουργό να αντισταθμίσει, αν και ιδανικά η καθυστέρηση θα πρέπει να είναι λιγότερο από 200 ms.

Η χειρουργική με τηλεπαρουσία φέρνει στην επιφάνεια πλήθος από ηθικά διλήμματα. Η ιδιωτικότητα του ασθενή και η υπευθυνότητα για τη φροντίδα του ασθενή είναι κριτικά θέματα όταν έχουν σχέση με ένα χειρουργό που χειρουργεί από μια τοποθεσία εξ αποστάσεως και θα πρέπει να απευθυνθεί πριν την ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας.

## **2.9 Το μέλλον**

Το μέλλον της ρομποτικής χειρουργικής έχει σημαντικά ενδεχόμενα. Επί του παρόντος για τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα, περιοχές μελέτης περιλαμβάνουν χρήση μικρών διαστάσεων κινητήρων για τη μείωση του μεγέθους του ρομποτικού πύργου, αποτίμηση του ενδεχομένου η βάση του ρομποτικού πύργου να βρίσκεται στην οροφή ή σε τοίχο για την αύξηση των σημείων πρόσβασης στον ασθενή και η πραγματικού χρόνου ή μη πραγματικού χρόνου ολοκλήρωση της εικόνας στην ενδοσκοπική εικόνα στην κονσόλα. Η ολοκλήρωση της εικόνας θα επιτρέπει στο χειρουργό να χειρουργεί στο όργανο-στόχο και να αποτιμά την παροχή αίματος με πραγματικού χρόνου υπέρηχο ή να αναγνωρίσει μια βλάβη μέσω απεικόνισης ολοκληρωμένου μαγνητικού συντονισμού(MRI)/ CT εικόνες εντός της χειρουργικής εικόνας.

Από το σημείο της εκπαίδευσης, περιοχές της δραστηκής έρευνας περιλαμβάνουν την προσθήκη μιας κονσόλας καθοδήγησης στο σύστημα. Αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκπαίδευση δια μέσω της οποίας ένας ειδικευμένος ιατρός θα κάθεται στη μια κονσόλα, ο καθοδηγητής στην άλλη και ελέγχοντας τα “masters” θα μεταπίπτουν από τον καθοδηγητή στο μαθητή. Άλλωστε, υπάρχει μελέτη στους ρομποτικούς προσομοιωτές, οι οποίοι με αθροιστική και εποικοδομητική αποτίμηση θα έχουν αισθητή ανάδραση.

Η ρομποτική στην τηλεκαθοδήγηση θα επιτρέπει τη διεθνή ανταλλαγή ιδεών φροντίδας υγείας και νέων χειρουργικών τεχνικών και θα παρέχει την ικανότητα τυποποίησης της χειρουργικής εκπαίδευσης. Αυτό θα έχει κάποιο ρόλο στην

πιστοποίηση ή στη βεβαίωση νέων και ενδυναμωμένων χειρουργών. Το ενδεχόμενο χειρουργικής με τηλεπαρουσία δείχνει προς την παγκόσμια φροντίδα υγείας. Ένας ασθενής με σπάνια ασθένεια θα μπορεί να θεραπευτεί από ειδικούς ανά τον κόσμο χωρίς να ταξιδέψει ή χωρίς άλλους φραγμούς που μπορεί να εμποδίσουν την πρόσβαση σε φροντίδα υγείας.

## **2.10 Συμπέρασμα**

Η ρομποτική άρχισε ως ένας τρόπος ψυχαγωγίας και έχει εξελιχθεί σε μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε πεδία των υπολογιστών, αυτοματισμού, ψυχαγωγίας, εξερεύνηση ωκεανών/διαστήματος και φροντίδα υγείας. Στην Ιατρική και πιο ειδικευμένα στη χειρουργική, η ρομποτική τεχνολογία έχει γίνει μια εφαρμόσιμη χειρουργική εναλλακτική να παρέχει ελάχιστα επεμβατική χειρουργική με τα πλεονεκτήματα της παραδοσιακής ανοιχτής χειρουργικής τεχνικής. Άλλωστε, η ρομποτική έχει έναν ρόλο στη χειρουργική εκπαίδευση των ειδικευόμενων γιατρών αυξάνοντας την ακρίβεια και την αξιοπιστία της διαδικασίας μάθησης, αν και αυτό θα πρέπει ακόμα να μεταφερθεί στη χειρουργική αίθουσα. Η ρομποτική επίσης επιτρέπει την τηλεκαθοδήγηση και τηλεπαρουσία στη χειρουργική διευκολύνοντας την παγκόσμια πρόσβαση στη φροντίδα υγείας.

Ωστόσο, οικονομικά και ηθικά θέματα θα πρέπει να αξιολογηθούν καθώς και η περαιτέρω συλλογή πληροφοριών στο κόστος των επιδράσεων της ρομποτικής. Είναι αναγκαίες και άλλες δοκιμές που να συγκρίνουν τη δραστηριότητα/λειτουργικότητα της ρομποτικής σε σύγκριση με τις κλασικές λαπαροσκοπικές ή λαπαροτομικές προσεγγίσεις ώστε να καθορίσουν οριστικά το μελλοντικό ρόλο της ρομποτικής [21].

# 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΤΟ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ DA VINCI



### 3.1 Εισαγωγή

Στα τέλη του 1990, άλλο ένα επαναστατικό στάδιο στην ανάπτυξη της χειρουργικής τεχνικής κατορθώθηκε με την εφαρμογή της ρομποτικής στη χειρουργική τεχνολογία. Η Intuitive Surgical εισήγαγε το σύστημα da Vinci. Το 1997, το σύστημα da Vinci πήρε την έγκριση του FDA για υποβοήθηση στη χειρουργική και τον Ιούλιο του 2000 έγινε το πρώτο λαπαροσκοπικό χειρουργικό σύστημα το οποίο θα εκτελούσε επεμβάσεις. Το σύστημα da Vinci αποτελείται από μια εργονομικά σχεδιασμένη χειρουργική κονσόλα (surgeon console), ένα καροτσάκι δίπλα στον ασθενή (patient-side cart) με τέσσερις ρομποτικούς βραχίονες που

αλληλεπιδρούν, το υψηλής απόδοσης InSite σύστημα απεικόνισης και χειρουργικά εργαλεία. Οι κινήσεις των χεριών του χειρουργού είναι κλιμακωμένες, φιλτραρισμένες και μεταφρασμένες σε ακριβείς κινήσεις των εργαλείων. Το αποτέλεσμα: μια διαισθητική διεπαφή/αλληλεπίδραση με χειρουργικές δυνατότητες. Σήμερα, υπάρχουν περισσότερα από 400 ρομποτικά συστήματα da Vinci- η πλειονότητά τους βρίσκεται σε κέντρα των ΗΠΑ- ενώ πάνω από 80 σε κέντρα της Ευρώπης. Εκτός από την Ελλάδα αξίζει να αναφέρουμε 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, την Τουρκία και την Αυστραλία.

## **3.2 Συστατικά του συστήματος da Vinci**

### **3.2.1 Surgeon console**

Χρησιμοποιώντας το σύστημα, ο χειρουργός χειρουργεί καθώς κάθεται άνετα σε μια κονσόλα παρακολουθώντας μια 3D εικόνα του χειρουργικού πεδίου. Τα δάκτυλά του κρατούν τα “master” controls κάτω από την οθόνη, με χέρια και καρπούς φυσικά τοποθετημένα σχετικά με τα μάτια του/της. Το σύστημα μεταφράζει χωρίς ραφή τις κινήσεις του χεριού, του καρπού και των δακτύλων σε ακριβείς, πραγματικού χρόνου κινήσεις των χειρουργικών εργαλείων μέσα στον ασθενή (Εικόνα 3.1-3.2) [24].



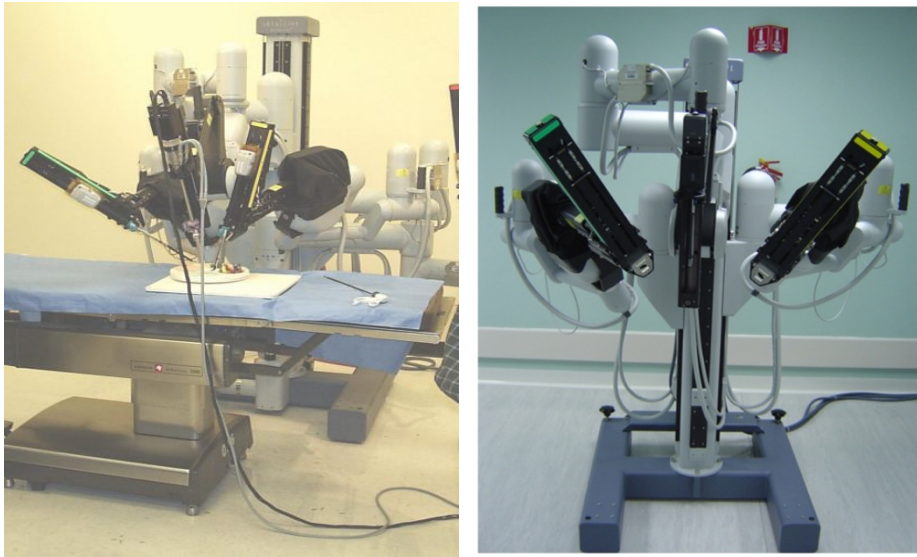
Εικόνα 3.1-3.2. Η κονσόλα του χειρουργού και τα “masters” controls.

### 3.2.2 Patient-side cart

Παρέχει είτε τρεις είτε τέσσερις ρομποτικούς βραχίονες-δυο ή τρεις βραχίονες με εργαλεία και έναν ενδοσκοπικό βραχίονα-που εκτελούν τις εντολές του χειρουργού. Ο άξονας περιστροφής των λαπαροσκοπικών βραχιόνων στις 1-2 cm εισόδους επέμβασης, αποκλείει τη χρήση του τοιχώματος του σώματος του ασθενή για δραστηριότητα και ελαχιστοποιεί τον τραυματισμό του ιστού.

Υποστηρίζοντας τα μέλη της χειρουργικής ομάδας, βοηθάει στην εγκατάσταση των κατάλληλων εργαλείων, προετοιμάζει την 1-2 cm είσοδο στον ασθενή και ελέγχει/επιτηρεί τους λαπαροσκοπικούς βραχίονες και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται (Εικόνα 3.4-3.5) [24].





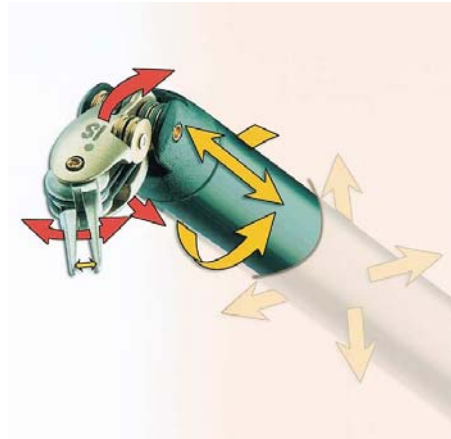
*Εικόνα 3.4-3.5. Αριστερά, ο ενδοσκοπικός πύργος τοποθετείται δίπλα στο χειρουργικό τραπέζι. Δεξιά, διακρίνονται οι τέσσερις ρομποτικοί βραχίονες.*

### **3.2.3 EndoWrist εργαλεία**

Ένα μεγάλο εύρος εργαλείων είναι διαθέσιμο για να υποστηρίξει το χειρουργό όταν χειρουργεί (Εικόνα 3.6-3.7). Τα εργαλεία είναι σχεδιασμένα με 7 βαθμούς ελευθερίας που μιμούνται την επιδεξιότητα του ανθρώπινου χεριού και καρπού (Εικόνα 3.8). Κάθε εργαλείο έχει μια συγκεκριμένη χειρουργική αποστολή όπως σύσφιξη, συρραφή και χειρισμό του ιστού. Γρήγορης απελευθέρωσης μοχλοί ταχύτητας εργαλείων αλλάζουν κατά τη διάρκεια της χειρουργικής διαδικασίας [24].



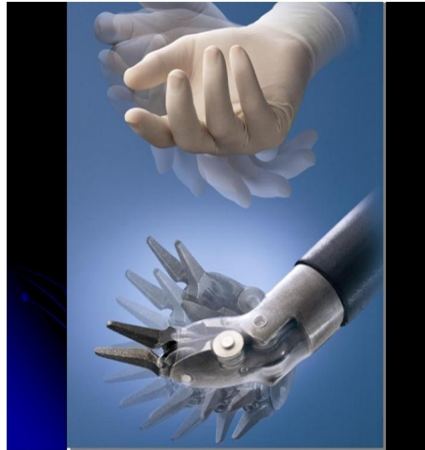
*Εικόνα 3.6-3.7. Τα χειρουργικά εργαλεία EndoWrist χαρακτηρίζονται από την ποιαλία και το μικροσκοπικό τους μέγεθος.*



*Εικόνα 3.8. Οι 7 βαθμοί ελευθερίας περιλαμβάνουν τέσσερις κινήσεις που υπάρχουν στην παραδοσιακή λαπαροσκόπηση (μεγάλα κίτρινα βέλη), δύο ενδοσωματικές κινήσεις από την τεχνολογία EndoWrist (μεγάλα κόκκινα βέλη) επιπλέον στην κίνηση γραπώματος (μικρό κίτρινο βέλος).*

Τα εργαλεία EndoWrist που είναι αποκλειστικά στην Intuitive Surgery είναι σχεδιασμένα να εξοπλίζουν τους χειρουργούς με φυσική επιδεξιότητα και πλήρες εύρος κινήσεων για ακριβείς επεμβάσεις μέσω μικροσκοπικών τομών. Τα EndoWrist εργαλεία που μοντελοποιήθηκαν από τον ανθρώπινο καρπό, μπορούν να προσφέρουν ένα ακόμα μεγαλύτερο εύρος κινήσεων από ότι το ανθρώπινο χέρι (Εικόνα 3.9). Πραγματικά, επιτρέπουν το σύστημα da Vinci να παίρνει χειρουργική ακρίβεια και τεχνική πέρα από τα όρια του ανθρώπινου χεριού. Παρόμοια με τους ανθρώπινους τένοντες, τα εσωτερικά καλώδια των εργαλείων παρέχουν μέγιστη ανταπόκριση, επιτρέποντας αστραπιαίες και ακριβείς συρραφές, διατομές και χειρισμό του ιστού.

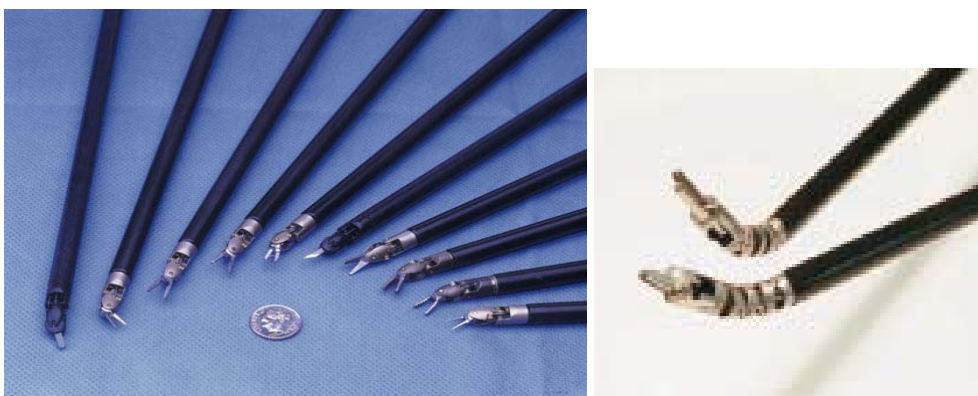
Οι κινήσεις είναι όμοιες με του καρπού, η ανταπόκριση και ο ρομποτικός έλεγχος παρέχονται από το σύστημα da Vinci και τα αποκλειστικά του εργαλεία παρέχουν στους χειρουργούς ρευστή αμφιδεξιότητα και απαράμιλλη ακρίβεια [25].



*Εικόνα 3.9. Οι κινήσεις των χειρουργικών εργαλείων είναι όμοιες με αυτές του ανθρώπινου καρπού.*

### **3.2.3.1 Ευρεία επιλογή**

Τα εργαλεία είναι διαθέσιμα σε μια ευρεία επιλογή ειδικών άκρων σχεδίασης ώστε να καταστήσουν ένα πλήρες εύρος επεμβάσεων χρησιμοποιώντας το da Vinci (Εικόνα 3.10). Η σειρά προϊόντων EndoWrist περιλαμβάνει μια ποικιλία λαβίδων, οδηγητών βελόνας, ψαλίδια: μονόπολα και δίπολα εργαλεία ηλεκτροκαυτηρίασης, νυστέρια και άλλα ειδικά εργαλεία. Επιπλέον, τα εργαλεία είναι διαθέσιμα σε 5 mm και 8 mm διαμέτρους για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του χειρουργού [25].



*Εικόνα 3.10. Τα χειρουργικά εργαλεία εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία τόσο σε μέγεθος όσο και στη χρήση τους.*

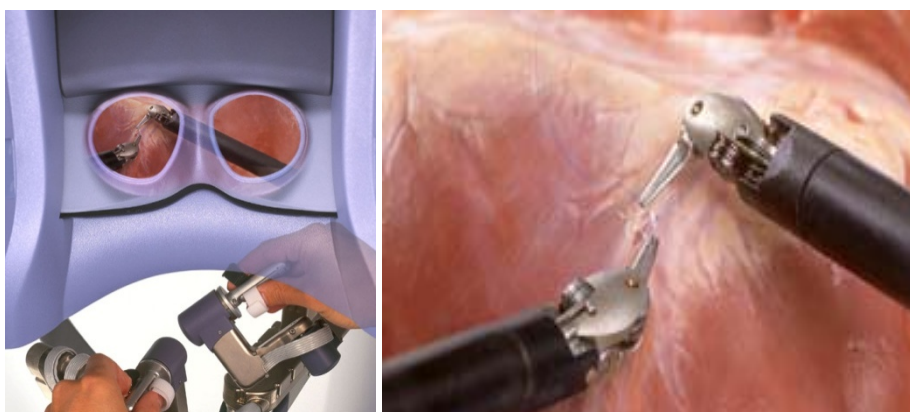
### 3.2.3.2 Ευκολία στη χρήση

Τα εργαλεία είναι σχεδιασμένα για να είναι φιλικά προς το χρήστη σε όλες τις απόψεις της εγχείρισης. Αφότου ένα εργαλείο τοποθετείται στο σύστημα da Vinci, η διεπαφή είναι σχεδιασμένη όχι μόνο για να αναγνωρίσει τον τύπο και τη λειτουργία του εργαλείου, αλλά και να φανερώσει τον αριθμό των χρήσεων. Με αυτή τη μοναδική διεπαφή, το σύστημα da Vinci μπορεί εύκολα να διακρίνει πότε το εργαλείο χρειάζεται αντικατάσταση [25].

### 3.2.4 Σύστημα απεικόνισης

Το σύστημα απεικόνισης, με υψηλής ανάλυσης 3D ενδοσκόπιο και εξοπλισμό επεξεργασίας εικόνας, παρέχει αληθινές εικόνες του χειρουργικού πεδίου (Εικόνα 3.11). Οι χειρουργικές εικόνες είναι τονισμένες, ακριβείς και βελτιστοποιημένες χρησιμοποιώντας συγχρονιστές εικόνες, υψηλής έντασης φωτιστές και μονάδες ελέγχου της κάμερας (Εικόνα 3.12).

Το σύστημα είναι η μόνη εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία που μπορεί να εξοπλίσει το χειρουργό με διαισθητικό έλεγχο, εύρος κινήσεων, εξαιρετική ικανότητα χειρισμού του ιστού και ορατότητας χαρακτηριστικά ανοιχτής επέμβασης, καθώς ταυτοχρόνως επιτρέπει στο χειρουργό να δουλεύει μέσω μικροσκοπικών τομών, χαρακτηριστικό της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής [24].



Εικόνα 3.11-3.12. Διακρίνονται τα “master controls” και η 3D εικόνα του χειρουργικού πεδίου που έχει ο χειρουργός

Η αξιοσημείωτη απεικόνιση που παρέχει το σύστημα da Vinci βυθίζει το χειρουργό σε μια τρισδιάστατη εικόνα του χειρουργικού πεδίου, παρέχοντας μια άμεση ευθυγράμμιση ματιού-χειριού-εργαλείου και φυσική αντίληψη του βάθους που είναι απαραίτητη για τον ακριβή χειρισμό λεπτεπίλεπτων στρωμάτων ιστού. Ένα σύνθηρες διπλού φακού ενδοσκόπιο συνδέεται με δυο κάμερες 3-chip που οδηγούν το χειρουργό “μέσα” στον ασθενή [26].

#### **3.2.4.1 Υψηλής ανάλυσης επεξεργασία εικόνας**

Το οπτικό σύστημα περιλαμβάνει ένα 3D ενδοσκόπιο υψηλής ανάλυσης με δυο ανεξάρτητα οπτικά κανάλια συνδεδεμένα σε δυο οθόνες υψηλής ανάλυσης προοδευτικής σάρωσης χρώματος. Το σύστημα, επιπλέον, ενσωματώνει εξοπλισμό επεξεργασίας εικόνας αποτελούμενο από υψηλής απόδοσης βινετοκάμερες, ειδικού τονισμού των άκρων και εξοπλισμό μείωσης θορύβου.

Η συνακόλουθη 3D εικόνα υψηλής ανάλυσης είναι φωτεινή, ξεκάθαρη και διαυγής, χωρίς τρεμόσβημα ή ξεθώριασμα της αντίθεσης όπως στα απλά συστήματα οθόνης [26].

#### **3.2.4.2 Οπτική συνέχεια**

Ο έλεγχος της κάμερας, που παρέχεται μέσω του χειριστηρίου και των πεντάλ ποδιού, παρέχει σχεδόν χωρίς ραφές πέρασμα μεταξύ των εικόνων. Η αλλαγή της θέσης της κάμερας είναι στιγμιαία με τα πεντάλ του ποδιού ή εστιάζοντας επάνω, κάτω, δεξιά, αριστερά κουνώντας τα χέρια στην επιθυμητή κατεύθυνση. Μετακινώντας το κεφάλι στην κονσόλα δεν επηρεάζει την ποιότητα της εικόνας όπως σε άλλα 3D απεικονιστικά συστήματα [26].

### 3.3 Ο 4<sup>ος</sup> βραχίονας

Το patient-side cart του συστήματος ορθώνει τέσσερις ηλεκτρομαγνητικούς βραχίονες που χειρίζονται τα εργαλεία μέσα στον ασθενή (Εικόνα 3.13). Τα εργαλεία και η κάμερα προσαρτώνται εύκολα στους βραχίονες και εύκολα αλλάζουν θέση/αντικαθίστανται από την κονσόλα ή από το χειρουργό που είναι δίπλα στον ασθενή (Εικόνα 3.15). Η προσθήκη τέταρτου βραχίονα επιτρέπει Solo Surgery, ένα πέρασμα στη ρομποτικά υποβοηθούμενη EEX [27].



*Εικόνα 3.13-3.14. Ο ενδοσκοπικός πύργος με τους τέσσερις βραχίονες και ο τρίτος βραχίονας που κρατά την κάμερα (ενδοσκόπιο)*



*Εικόνα 3.15. Η τοποθέτηση των χειρουργικών εργαλείων στο ρομποτικό βραχίονα*

Οι πρώτοι δυο βραχίονες, που αντιπροσωπεύουν το δεξί και αριστερό χέρι του χειρουργού, κρατούν τα εργαλεία. Ένας τρίτος βραχίονας τοποθετεί το ενδοσκόπιο, επιτρέποντας στο χειρουργό να αλλάξει εύκολα, να κινείται, να εστιάζει και να περιστρέφει το δικό του/της πεδίο ορατότητας από την κονσόλα (Εικόνα 3.14). Αυτή η κινητικότητα αποκλείει την ανάγκη για έναν βοηθό να κρατά τη κάμερα σταθερά.

Ο προαιρετικός τέταρτος βραχίονας επεκτείνει τις χειρουργικές δυνατότητες δίνοντας τη δυνατότητα στο χειρουργό να προσθέσει ένα τρίτο EndoWrist εργαλείο και να εκτελέσει επιπρόσθετες εργασίες όπως εφαρμογή αντίθετης δύναμης σε μία άλλη για τη μείωση των καταγμάτων, συρραφή και ακολούθηση τρέχουσας συρραφής. Αυτό το προαιρετικό χαρακτηριστικό ενδεχομένως αποκλείει την ανάγκη χειρουργού δίπλα στον ασθενή.

Ο χειρουργός μπορεί ταυτόχρονα να ελέγχει όποιον από τους δυο χειρουργικούς βραχίονες πατώντας ελαφρά ένα πεντάλ ποδιού κάτω από την κονσόλα του χειρουργού. Ο τέταρτος βραχίονας, που κοστίζει \$175.000, είναι διαθέσιμος σαν

μια επιλογή(προαιρετικά) σε νέα χειρουργικά συστήματα da Vinci και μπορεί να προστεθεί σαν μια αναβάθμιση στα ήδη υπάρχοντα συστήματα da Vinci.

### 3.4 Χειρουργικό σύστημα da Vinci S HD



Το σύστημα Da Vinci S HD ολοκληρώνει την 3D HD ενδοσκοπία και την ανωτάτου επιπέδου ρομποτική τεχνολογία να επεκτείνει ουσιαστικά τα μάτια και τα χέρια του χειρουργού στο χειρουργικό πεδίο. Μόνο το σύστημα καθιστά ικανές νέες, ελάχιστα επεμβατικές επιλογές για πολύπλοκες χειρουργικές επεμβάσεις [28].

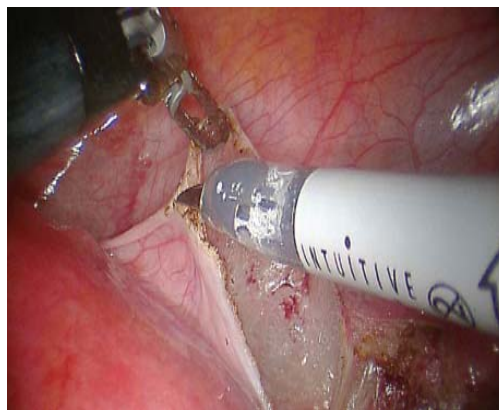
- Γρήγορη, ασφαλής εγκατάσταση
- Αστραπιαία αλλαγή εργαλείων
- Πρόσβαση πολυτεταρτημόριο
- Αλληλεπιδρούμενες βιντεο-οθόνες

#### 3.4.1 Απαράμιλλη 3D HD οπτικοποίηση

- Το πρώτο ρομποτικό σύστημα του κόσμου με 3D HD εικόνα



- Διπλάσια ανάλυση της εικόνας παρέχει βέλτιστη διαύγεια του επιπέδου του ιστού και έλεγχο της ανατομίας
- Πανοραμική 16:9 άποψη που είναι 30% πιο πλατιά , παρέχοντας 20% περισσότερη περιοχή παρακολούθησης
- Ψηφιακή εστίαση μειώνει τις παρεμβολές μεταξύ του ενδοσκοπίου και των εργαλείων
- 0° και 30° στερεο-ενδοσκόπια



### 3.4.2 Ενδυναμωμένη επιδεξιότητα, ακρίβεια και έλεγχος

- Ακριβής έλεγχος με ακροδάκτυλα των πλήρως αρθρωτών EndoWrist εργαλείων
- Κλίμακα κίνησης και μείωση τρεμουλιάσματος
- Πρωτότυπη Intuitive κίνηση
- Μεγάλο εύρος της κίνησης των ρομποτικών βραχιόνων και επεκτάσιμο μήκος των εργαλείων επιτρέπουν πρόσβαση
- Λεπτοί, πτυσσόμενοι βραχιόνες εργαλείων παρέχουν καλύτερη πρόσβαση στον ασθενή και καταλληλότερη τοποθέτηση σημείων εισόδου
- Ευρεία επιλογή από 8 mm και 5 mm εργαλείων EndoWrist



### 3.4.3 Ανώτερη εργονομία

- Κατάλληλη ευθυγράμμιση ματιού-χειριού
- Με βύθιση στερεο-εικονοσκόπιο
- Πιο άνετη καθιστή στάση



### 3.4.4 Γρήγορη, ασφαλής εγκατάσταση

- Patient cart με κινητήρα

- Quick-click σωληνίσκος τοποθετείται για απλουστευμένο δεξameνισμό του ασθενή
- Ολοκληρωμένος τέταρτος βραχίονας για γρήγορη παράταξη
- Διαμόρφωση παλμογράφου με οθόνη αφής
- Μονή υψηλής ταχύτητας σύνδεση οπτικής ίνας
- Μιας χρήσης αποστειρωμένοι προσαρμοστές με ολοκληρωμένο drapes

### 3.4.5 Εκσυγχρονισμένη διεπιφάνεια

- Ολοκληρωμένη οθόνη αφής
- Παραγωγή σχεδιασμένων βιντεο-εικόνων πάνω στις εικόνες του φόντου για βελτιωμένη εποπτική και ομαδική επικοινωνία
- Tile pro πολλαπλών εισόδων οθόνη επιτρέπει μια ολοκληρωμένη άποψη των πληροφοριών ελέγχου του ασθενή
- Διαισθητική θέση/ σειρά των LED και των εικονιδίων



### 3.5 Χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα

Το σύστημα δίνει τη δυνατότητα στους θεραπευτές να χειρουργήσουν με έναν τρόπο που δεν είχαν ξαναδοιμάσει ποτέ. Το σύστημα χωρίς ραφές μεταφράζει τις κινήσεις των χεριών του χειρουργού στα εργαλεία ελέγχου της κονσόλας σε αντίστοιχες μικρο-κινήσεις των εργαλείων που είναι τοποθετημένα μέσα στον ασθενή [29].

- Καλύτερη απεικόνιση
  - Επαναστατικά αληθινή 3D εικόνα
  - Φωτεινή, ξεκάθαρη, υψηλής ανάλυσης εικόνα
  - Με βύθιση εικόνα του χειρουργικού πεδίου
  
- Εμπλουτισμένη δεξιότητα, ακρίβεια και επιλογή
  - Έλεγχος ακροδακτύλων των εργαλείων EndoWrist
  - 4 ρομποτικοί βραχίονες που δίνουν τη δυνατότητα για Solo Surgery
  - 7 βαθμοί ελευθερίας- 90° άρθρωσης
  - Κλίμακα κινήσεων και μείωση τρεμουλιάσματος
  
- Καλύτερη εργονομία
  - Καταλληλότερη ευθυγράμμιση των αξόνων εικόνας και κίνησης
  - Πιο άνετη καθιστή θέση



### 3.5.1 Πλεονεκτήματα για το γιατρό

- Έχει τρισδιάστατη έγχρωμη εικόνα των οργάνων του ασθενούς
- Αίσθηση ότι τα μάτια και τα χέρια του βρίσκονται μέσα στο σώμα του ασθενούς
- Βλέπει άριστα σε σημεία που μέχρι σήμερα δεν υπήρχε καμιά οπτική πρόσβαση
- Χειρουργεί σε απόσιτα μέχρι σημεία με απόλυτη ασφάλεια και ακρίβεια.
- Το ρομπότ δρα σαν συνεργάτης υπό τον πλήρη έλεγχο του [30].

### 3.5.2 Οφέλη για τους ασθενείς

- Μικρότερη διάρκεια αναισθησίας
- Μεγάλη ελάττωση του μετεγχειρητικού πόνου
- Ταχύτερη ανάρρωση και έξοδο από το νοσοκομείο
- Μικρότερο κόστος νοσηλείας
- Ταχεία επάνοδο στην εργασία

- Εξάλειψη των μετεγχειρητικών επιπλοκών, που έχουν σχέση με το τραύμα (διαπύση, διάσπαση, κήλη, χρόνιο άλγος κ.λπ.) και των μετεγχειρητικών συμφύσεων και των συνεπειών τους
- Λιγότερες αναπνευστικές και καρδιαγγειακές επιπλοκές
- Αναίμακτο χειρουργείο
- Δε μένουν ουλές [31]

### **3.6 Μηχανισμοί ασφάλειας σε περίπτωση βλάβης**

Το ενδιαφέρον για την ασφάλεια παραμένει το κέντρο της προσοχής για την Intuitive Surgical. Για να ξεινήσει η επέμβαση, το κεφάλι του χειρουργού πρέπει να τοποθετηθεί στο εικονοσκόπιο. Διαφορετικά, το σύστημα θα κλειδωθεί και θα παραμένει ακίνητο μέχρι να εντοπίσει την παρουσία του κεφαλιού του χειρουργού ξανά. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, ένα μηδενικού σημείου σύστημα κίνησης αποτρέπει τους ρομποτικούς βραχίονες από το να περιστραφούν άνω ή στο σημείο εισόδου, το οποίο αλλιώς θα είχε ακούσια σιτιστεί. Μία εφεδρική μπαταρία περιλαμβάνεται στην πηγή ισχύος και δίνεται ο αρκετός χρόνος στο νοσοκομείο ώστε να ανασυσταθεί η ισχύς. Κάθε εργαλείο περιλαμβάνει ένα chip που αποτρέπει τη χρήση κάθε άλλου εργαλείου εκτός από εκείνα που κατασκευάστηκαν στην Intuitive Surgical. Αυτά τα chip επιπλέον αποθηκεύουν πληροφορίες για κάθε εργαλείο για περισσότερο ακριβή έλεγχο και κρατούν την πορεία της χρήσης του εργαλείου για να προσδιορισθεί τότε πρέπει να αντικατασταθεί [32].

### **3.7 Προϋποθέσεις Χειρουργικής Ομάδας**

Το ρομποτικό σύστημα da Vinci είναι πραγματικά ευεργετικό εργαλείο για τον ασθενή και τους χειρουργούς όταν αυτό χρησιμοποιείται από έμπειρη, εξειδικευμένη και κατάλληλα εκπαιδευμένη χειρουργική ομάδα με ανάλογη εμπειρία.

Απαραίτητη προϋπόθεση για τα μέλη της ρομποτικής χειρουργικής ομάδας είναι η εμπειρία και η ευχέρεια στις τεχνικές προχωρημένης λαπαροσκοπησης καθώς και κατάλληλη εκπαίδευση σε εγκεκριμένο εκπαιδευτικό κέντρο Ρομποτικής Χειρουργικής.

Πέρα από τη χειρουργική ομάδα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η υποδομή του ιδρύματος που φιλοδοξεί να φιλοξενήσει ένα πρόγραμμα ρομποτικής χειρουργικής. Το προσωπικό του χειρουργείου θα πρέπει να ενημερωθεί εκτενώς και να προσαρμοστεί ανάλογα στην αρχική περίοδο εγκατάστασης του συστήματος καθώς και στη διαδικασία εγκατάστασης - απεγκατάστασης που πρέπει να γίνεται πάντοτε με μεγάλη προσοχή προκειμένου να αποφευχθούν βλάβες στο σύστημα [33].

### **3.8 Το μέλλον**

Πέρα από το κόστος, το χειρουργικό σύστημα da Vinci έχει ακόμα πολλά εμπόδια που πρέπει να προσπεράσει πριν να ενσωματωθεί πλήρως στο υπάρχον σύστημα υγείας. Από την έλλειψη της χειροπιαστής ανάδρασης ως το μεγάλο μέγεθος, το υπάρχον χειρουργικό σύστημα da Vinci είναι μόνο μια πρόγευση του τι θα ακολουθήσει. Ξοδεύοντας γύρω στα \$16.2 εκατομμύρια το 2003 μόνο, η Intuitive Surgical έχει το πλεονέκτημα απέναντι στους ανταγωνιστές της και συνεχίζει να οδηγεί καθώς λαμβάνει όλο και περισσότερες εγκρίσεις από τον FDA. Για το μέλλον, αναμένονται περισσότερες βελτιώσεις στο μέγεθος, τη χειροπιαστή αίσθηση, το κόστος και την τηλεχειρουργική [32].

# 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ DA VINCI



### 4.1 Εισαγωγή

Το σύστημα da Vinci είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί από πολλές ειδικότητες της χειρουργικής [31], όπως:

➤ **Γενική Χειρουργική για:**

- Τοποθέτηση δακτυλίου στομάχου Lap Band ή γαστρικού bypass για νοσογόνο παχυσαρκία



- Διόρθωση διαφραγματοκήλης και γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης
- Αποκατάσταση αχαλασίας οισοφάγου
- Χολοκυστεκτομή, μετεγχειρητικές: κήλες, βουβωνοκήλες, κισσοκήλες
- Διερεύνηση χοληδόχου πόρου
- Εκτομές κύστεων ήπατος, νεφρού, παγκρέατος, σπληνός
- Αφαίρεση παγκρέατος
- Επινεφριδεκτομή
- Αποκατάσταση βουβωνοκήλης και κοιλιοκήλης με πλέγμα
- Κολεκτομή, σπληνεκτομή, παγκρεατεκτομή, ηπατεκτομή, γαστρεκτομή, σικωληκοειδεκτομή, λύση συμφύσεων κ.α.

➤ **Καρδιοχειρουργική – Θωρακοχειρουργική για:**

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

➤ **Ουρολογία για:**

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

➤ **Γυναικολογία για:**

- Αφαίρεση κύστεων ωοθηκών, ινομυωμάτων, σαλπίνγων, εξωμητρίου κυήσεως
- Λεμφαδενικό καθαρισμό, υστερεκτομή, κ.α.

#### **Επίσης έχει εφαρμογές στη:**

Παιδοχειρουργική, Αγγειοχειρουργική, Νευροχειρουργική

Στη συνέχεια, θα αναπτύσσονται οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε τρεις ειδικότητες της Ιατρικής: στην Ουρολογία, τη Γυναικολογία και την Καρδιοχειρουργική.

## **4.2 Ουρολογία**

Η ρομποτική ριζική προστατεκτομή είναι μια νέα μέθοδος για την αντιμετώπιση του καρκίνου του προστάτη. Πολλά κέντρα επιχειρούν αυτό το νέο τρόπο αλλά μια λεπτομερής περιγραφή της τεχνικής δεν έχει ακόμα δημοσιευθεί. Παρακάτω, γνωστοποιείται η τεχνική όπως εκτελέστηκε στο Vattikuti Urology Institute [34]. Στο Vattikuti Urology Institute, εκτελέστηκαν πάνω από 30 τέτοιες επεμβάσεις και τυποποιήθηκε η τεχνική για ασφαλή και αναπαραγωγική θεραπεία του καρκίνου του προστάτη. Έγινε η συλλογή των δεδομένων των ασθενών και των χειρουργικών ημερολογίων για να επιτευχθεί η τυποποίηση της επέμβασης. Η επέμβαση καταγράφηκε και έγιναν κατάλληλες αλλαγές μετά την ανασκόπηση της εγγραφής για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων.

### **4.2.1 Επιλογή του ασθενή**

Υποψήφιοι για αυτή την επέμβαση ήταν άντρες με κλινικά επιτόπιο καρκίνο του προστάτη που επέλεξαν τη θεραπεία με εγχείριση. Αποκλείστηκαν ασθενείς αν το προσδόκιμο ζωής ήταν λιγότερο από 10 χρόνια ή το σκορ ήταν 3 ή μεγαλύτερο.

Οι ασθενείς υποβλήθηκαν σε μια λεπτομερή αξιολόγηση, συμπεριλαμβανομένου ορού με αντιγόνο ειδικού για προστάτη καθορισμός, International Prostate Symptom score, καταγραφή της σεξουαλικής λειτουργίας, score για την ποιότητα της ζωής και ερωτηματολόγιο για ακράτεια. Επιπλέον, καταγράφουμε πληροφορίες σχετικά με άλλα όπως καρδιακή προσβολή, ανευρύσμα, διαβήτης, υπέρταση, χρόνια αποφρακτική πνευμονική νόσο και έμφραγμα μυοκαρδίου. Συγκεκριμένα, ρωτάμε τους ασθενείς για γαστρική επέμβαση, περιτονίτιδα, εγχείριση στο γόνατο ή στο ισχίο και περιφερειακή νευροπάθεια. Ένα ιστορικό εμφράγματος ή ανευρύσματος ήταν σχετική αντένδειξη για αυτή την επέμβαση, επειδή ο ασθενής θα τοποθετούνταν σε μια αποφασισμένη Trendelenburg θέση για 4 με 5 ώρες. Προηγούμενη γαστρική επέμβαση δεν ήταν αντένδειξη.

Οι ασθενείς προσήλθαν την ημέρα της επέμβασης και έλαβαν θρόμβωση φλέβας(ηπαρίνη 5000 IU υποδερμικά στο δρόμο προς την αίθουσα του χειρουργείου) και αντιβιοτική προφυλακτικά μέτρα στην προεγχειρητική χώρα αναμονής. Τοποθετήθηκαν μπότες και στην κοιλιακή χώρα αφαιρέθηκε το τρίχωμα από τη θηλή ως τη βουβωνική χώρα.

#### **4.2.2 Ρομποτική τεχνολογία**

Το σύστημα ενσωματώνει τρεις ρομποτικούς βραχίονες με πολλές αρθρώσεις με έναν να ελέγχει το διοπτρικό ενδοσκόπιο και οι άλλοι δυο να ελέγχουν τα EndoWrist εργαλεία. Δυο φακοί χρησιμοποιούνται-0° και 30°. Κατά τη διάρκεια διαφορετικών σταδίων της επέμβασης, ο 30° φακός μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για να κοιτάει επάνω ή κάτω για να βελτιώσει την απεικόνιση. Δυο χειριστές ελεγχόμενοι με τα δάκτυλα (τα “masters”) στεγάζονται σε μια κινητή κονσόλα για να ελέγχουν τους δυο ρομποτικούς βραχίονες και την κάμερα. Ο χειρουργός κάθεται στην κονσόλα και δεν περιορίζεται. Η εικόνα από τις δυο οθόνες ενώνεται από ένα στερεοσκόπιο, το οποίο παρέχει άριστη τρισδιάστατη απεικόνιση. Ο χειρισμός των αναμεταδίδεται σε έναν υπολογιστή που φιλτράρει, ιεραρχεί και αναμεταδίδει τις κινήσεις του χειρουργού στους ρομποτικούς βραχίονες και

εργαλεία. Τα ρομποτικά χειριστήρια μπορούν να ιεραρχήσουν τις κινήσεις του χεριού σε 1:1, 3:1 ή 5:1 κίνηση την άκρη των οργάνων. Αυτή η ιεράρχηση επιτρέπει πιο ακριβή εκτέλεση των συγκεκριμένων βημάτων της επέμβασης. Το τρεμούλιασμα και οι μικρές, ακούσιες κινήσεις που προκύπτουν από το κράτημα των εργαλείων για μια παρατεινόμενη περίοδο αποκλείονται. Δεν υπάρχει μετρήσιμη καθυστέρηση μεταξύ της κίνησης των χειριστών στην κονσόλα και της κίνησης των εργαλείων εντός του ασθενή. Τα εργαλεία επιτρέπουν 7<sup>ο</sup> ελευθερίας στην κίνηση τους, ακόμα περισσότερους από το ανθρώπινο χέρι.

#### **4.2.3 Εγκατάσταση της κονσόλας**

Η κονσόλα τέθηκε σε εφαρμογή και ετοιμάστηκε. Το σύστημα τότε μπορεί να περάσει από τη διαδικασία αυτοελέγχου κατά την οποία αναγνωρίζει ποικίλα συστατικά. Η κάμερα και οι φακοί είναι ισορροπημένοι σε μαύρο και άσπρο και βαθμονομημένοι σε μια διασταυρωμένη μπάρα. Οι αρχικές ρυθμίσεις είναι σε 1:3 κλίμακα. Το ύψος προσαρμόζεται σε ένα άνετο επίπεδο και η όραση από τα δυο μάτια συγχωνεύεται για καλύτερη απεικόνιση. Η κάμερα και οι βραχίονες ελέγχονται και το σύστημα αφήνεται σε αναμονή.

#### **4.2.4 Εγκατάσταση των ρομποτικών βραχιόνων**

Το ρομπότ είναι έτοιμο για την επέμβαση και έχοντας αποστειρωμένα πλαστικά περιβλήματα οι βραχίονες ανυψώνονται και έρχονται κοντά πριν το χειρουργικό δεξάμενισμό. Επιπρόσθετα χειρουργικά καλύμματα τοποθετούνται μόνιμα στο ρομπότ για την αποφυγή ακούσιας μόλυνσης.

#### **4.2.5 Τοποθέτηση του ασθενή**

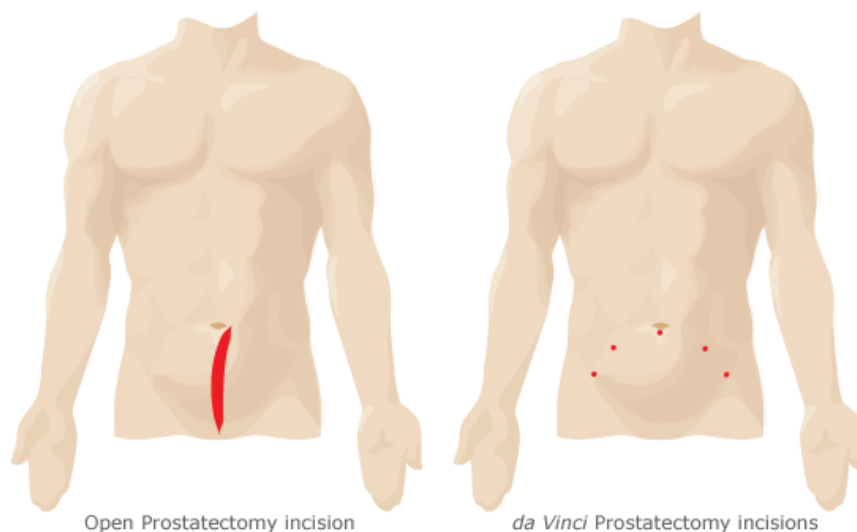
Ο ασθενής τοποθετείται ανάσκελα με επαρκή παραγεμίσματα/μαξιλαράκια στα σημεία πίεσης και στον ώμο, πλάτη, πόδια και χέρια. Χρησιμοποιούνται μαξιλαράκια με ζελέ για την πλάτη του ασθενή. Βαμβακερά μαξιλαράκια χρησιμοποιούνται για να προστατεύσουν τη μασχάλη και άλλα σημεία πίεσης.

Χρησιμοποιείται μαξιλαράκι για να προστασία των χεριών καθώς τα διπλώνουν δίπλα από τον κορμό του ασθενή. Αυτό είναι ένα σημαντικό σημείο, επειδή τα χέρια μερικές φορές μπορεί να έρθουν σε επαφή με τους ρομποτικό σύστημα και ακούσια να τραυματίσουν ή να εμφανιστεί νευραπραξία. Αυτό αποφεύγεται τοποθετώντας μαξιλαράκια και διπλώνοντας τα χέρια του ασθενή όσο ακόμα είναι ξύπνιος. Τα πόδια τοποθετούνται σε στάση λιθοτομία με αρκετό διάστημα μεταξύ των μηρών ώστε το ρομποτικό σύστημα να περάσει μέσα. Αν ο ασθενής είναι πιο κοντός από 1.83 m, δε χρησιμοποιείται αυτή στάση αλλά απλά τοποθετούνται τα πόδια σε στάση βατράχου. Στους αστράγαλοι επίσης τοποθετούνται μαξιλαράκια. Ο ομφαλός του ασθενή απολυμαίνεται με οινόπνευμα και αφαιρείται το τρίχωμα από το υποπλευρικό περιθώριο ως τη βουβωνική χώρα για να ασφαλίσουμε τον ασθενή στο τραπέζι. Εξαιτίας του κινδύνου τραυματισμού των νεύρων, δε χρησιμοποιούνται άκαμπτα υποστηρίγματα ώμων.

#### **4.2.6 Τοποθέτηση των σημείων εισόδου**

Μετά το χρωμάτισμα και την τοποθέτηση των καλυμμάτων στην κοιλιακή χώρα, δημιουργείται ένα πνευμοπεριτόναιο με μια βελόνα Veress που εισάγεται μέσω του επάνω αριστερά τεταρτημορίου της κοιλιάς ή μιας ομφαλικής παρακέντησης. Η εμφύσηση ρυθμίζεται σε μια ανώτατη πίεση του πνευμονοπεριτόναιου μεταξύ 12 και 15 mm Hg. Προσεγγιστικά 3 με 4.5 L όγκου αερίου εισάγεται πριν τοποθετηθούν τα σημεία εισόδου.

Ένα σύνολο από έξι σημεία εισόδου θα τοποθετηθεί για αυτή την επέμβαση.

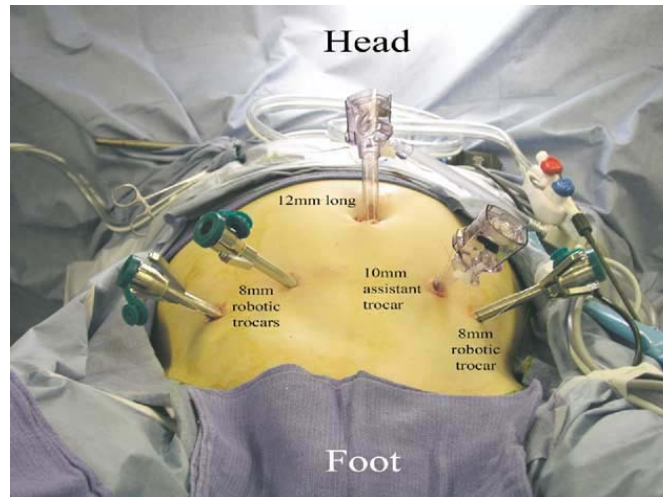


*Εικόνα 5.1. Στα αριστερά διακρίνεται η τομή της ανοιχτής προστατεκτομής, ενώ στα δεξιά διακρίνονται τα 6 σημεία εισόδου για την τοποθέτηση των ρομποτικών βραχιόνων.*

Μια 12-mm είσοδος τοποθετείται στον ομφαλό για την εισαγωγή του διοπτρικού μικροσκοπίου. Οι υπόλοιπες εισοδοί τοποθετούνται χρησιμοποιώντας το 30° “επάνω” φακό για την οπτικοποίηση του κοιλιακού τοιχώματος. Δυο 8 mm εισοδοί χρησιμοποιούνται για τους βραχίονες των εργαλείων και τοποθετούνται προσεγγιστικά 10 cm από τη μεσαία γραμμή σε μια ευθεία που ενώνει την προσθιοανώτερη λαγόνιο άκανθα(σπονδυλική στήλη) με τον ομφαλό. Δυο επιπλέον εισοδοί τοποθετούνται στη δεξιά πλευρά για τους σκοπούς της συστολής και αναρρόφησης από τον πρώτο βοηθό και για την εισαγωγή των ραμμάτων. Η πλευρική είσοδος είναι 10 mm και η μεσαία είναι 5 mm. Συνήθως χρησιμοποιείται μια βοηθητική έκτη είσοδος (5 mm) στην αριστερή πλευρά. Αυτή η είσοδος τοποθετείται πλευρικά στο λαγόνιο οστούν (πλευρά) λίγο πιο κάτω από την αριστερή είσοδο.

Έπειτα, εισάγεται ο βραχίονας με την κάμερα στην κεντρική 12 mm είσοδο και οι βραχίονες με τα εργαλεία στις 8 mm εισόδους. Οι χειρουργοί που είναι δίπλα στον ασθενή, στέκονται αριστερά και δεξιά από τον ασθενή και προσεκτικά ελέγχουν την είσοδο και τους ρομποτικούς βραχίονες για να επιτυγχάνεται η απαραίτητη ευθυγράμμιση και η ακριβής τοποθέτηση. Παρέχεται φροντίδα για την αποφυγή

τραυματισμού στο κοιλιακό δέρμα και στα χέρια και τα πόδια από την ακούσια πίεση από κάθε ρομποτικό βραχίονα. Χρειάζονται 15 με 45 λεπτά την εισαγωγή της βελόνας μέχρι να ξεκινήσει πραγματικά η επέμβαση.



*Εικόνα 5.2-5.3. Τα 6 σημεία εισόδου με τις βελόνες παρακέντησης(πάνω) και η εισαγωγή των ρομποτικών βραχιόνων στο σώμα του ασθενή.*

#### **4.2.7 Εργαλεία**

Χρησιμοποιούνται συμβατικά λαπαροσκοπικά εργαλεία από τον χειρουργό που είναι δίπλα στον ασθενή και περιλαμβάνουν μη τραυματικές λαβές, ψαλίδια,

αναρρόφηση, διπολική καυτηρίαση, ενδοσωματικές λαβίδες. Η διατομή γίνεται χρησιμοποιώντας απλά δυο ρομποτικά εργαλεία: ένα μονοπολικό άγκιστρο στη δεξιά πλευρά και λαβίδες στην αριστερή (για έναν δεξιόχειρα χειρουργό). Χρησιμοποιούνται δυο οδηγητές βελόνας κατά τη διάρκεια της αναστόμωσης. Η ηλεκτροχειρουργική συσκευή ρυθμίζεται σε 30 με 50 ισχύ έτοιμη για πήξη.

#### 4.2.8 Χειρουργικά βήματα

- I. **Διατομή λεμφαδένα.** Η εκτομή του λεμφαδένα εκτελείται χρησιμοποιώντας τους 0° φακούς για οπτικοποίηση. Προτιμάται να χρησιμοποιείται ένα ευρύ πεδίο ορατότητας ώστε τα κύρια αγγεία να είναι πάντα εντός του πεδίου. Χρησιμοποιείται η 1:3 κλίμακα ώστε η διατομή να είναι πιο ακριβής. Αν και χρειάζονται 15 με 20 λεπτά για αυτό το βήμα, κερδίζεται χρόνος για την επακόλουθη διατομή στη πρόσθια ουροδόχο κύστη.
- II. **Οπίσθια διατομή.** Σύμφωνα με την τεχνική, η διατομή όπισθεν της ουροδόχου κύστης των σπερματικών κυστιδίων και του σπερματικού πόρου ήταν το πρώτο βήμα της επέμβασης. Πρόσφατα, αυτό το στάδιο εγκαταλείφθηκε και άρχισε η διατομή προσθίως. Προτιμάται η χρήση του 30° "κάτω" φακού για αυτό το σημείο της επέμβασης. Το τοιχωματικό περιτόναιο καλύπτει την ουροδόχο κύστη προσθίως και το ορθό έντερο οπισθίως. Μεταξύ αυτών των δυο δομών υπάρχει η κεφαλή επιδιδυμίδας και τα σπερματικά κυστίδια. Είναι σημαντικό να αναγνωρίζεται η κεφαλή επιδιδυμίδας νωρίς και να παραμένεις στην επιφάνειά της μέχρι να οδηγήσει στα σπερματικά κυστίδια οπισθοκατώτερα. Η κεφαλή επιδιδυμίδας και τα σπερματικά κυστίδια συνήθως εγκλείονται ημίλευκη μικρή κοιλότητα ιστού και ο εντοπισμός του λίπους κατά τη διάρκεια της αναζήτησης αυτών των δομών συνήθως σημαίνει ότι η μια είναι σε λάθος περιοχή. Η διαφορική αρτηρία και ο μίσχος του σπερματικού κυστιδίου (στην άκρη) ελέγχονται χρησιμοποιώντας είτε μια διπολική λαβίδα ή μια λαβίδα. Χρειάζεται προσοχή για να αποφευχθεί η χρήση υπερβολικού ηλεκτρικού ρεύματος, επειδή οι νευραγγειακές δέσμες απλώνονται πολύ κοντά στις κορυφές των



σπερματικών κυστιδίων. Σε αυτό το σημείο της διατομής εισήχθη μια τροποποίηση. Μερικές φορές, είναι δυνατόν μπερδέψεις την ουρήθρα με την κεφαλή επιδιδυμίδας στο πολύ περιορισμένο πεδίο ορατότητας σε αυτό το στάδιο της επέμβασης. Για να αποφευχθεί ο ακούσιος τραυματισμός στην ουρήθρα, δεν κόβεται εγκάρσια η κεφαλή επιδιδυμίδας μέχρι να αναγνωριστεί η οπίσθια επιφάνεια των σπερματικών κυστιδίων παραπλεύρως της κεφαλής επιδιδυμίδας. Δευτερευόντως, μετά τη διατομή πρόσθια των σπερματικών κυστιδίων, πάντα χαράσσεται η περιτονία προσθίως. Αυτό βοηθά σημαντικά στην παράδοση των σπερματικών κυστιδίων και της κεφαλής επιδιδυμίδας μετά τη διαδοχική οπίσθια εγκάρσια κοπή της ουροδόχου neck.

- III. **Τομή και κινητοποίηση της ουροδόχου κύστης και του προστάτη-Ανάπτυξη του Space of Retzius.** Χρησιμοποιείται ο 0° φακός και ένας 1:1 μη κλιμακωμένος τρόπος για αυτό το σημείο της επέμβασης. Ξεινά όσο πιο ψηλά στο πρόσθιο κοιλιακό τοίχωμα όσο θα επιτρέψει η τοποθέτηση της εισόδου και γίνεται μια πλατιά τομή σε σχήμα U γύρω από την ουρήθρα (η οποία είναι γεμάτη με 150 mL αλατούχου διαλύματος σε αυτό το στάδιο). Οι μεσαίοι ομφαλικοί σύνδεσμοι κόβονται προσεκτικά χρησιμοποιώντας ένα άγκιστρο ή ψαλίδι και η διατομή συνήθως συνεχίζεται ως τον ουραχό.
- IV. **Ράψιμο νωτιαίας φλέβας.** Ο 0° και 30° επάνω φακός θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για το ράψιμο της νωτιαίας φλέβας χωρίς κλίμακα. Χρησιμοποιείται λαπαροσκοπικού μήκους ράμμα σε μια CT-1 βελόνα(0 πλεγμένο σε πλεξούδα, polygalactin ράμμα με μια 36 mm λεπτή βελόνα, Ethicon) για να ελέγχει το νωτιαίο φλεβικό δίκτυο με δυο απλά ράμματα.
- V. **Εγκάρσιο κόψιμο του αυχένα της κύστης.** Βρέθηκε ότι ο 30° “κάτω” φακός του βοηθάει υπερβολικά στην ακριβή διατομή του αυχένα της κύστης. Η προστατοκυστική ένωση είναι συνήθως στο σημείο όπου το χαλαρό λίπος δεν μπορεί πλέον να παρασυρθεί από τον προστάτη. Με πείρα, μπορεί κανείς να αναγνωρίσει μια αβαθή/ρηχή αύλακα μεταξύ του

προστάτη και της κύστης και της οριζόντια προσανατολισμένης ίνας του εξωστήρα μύος. Χρησιμοποιώντας ένα άγκιστρο ηλεκτροκαυτηρίασης, αναπτύσσεται αυτό το επίπεδο και διαχωρίζεται η κύστη από τον προστάτη. Ορισμένες φορές, η προστατοκυστική ένωση οροθετείται καλύτερα από ότι στη μεσαία γραμμή. Ο της κύστης κόβεται για να εκθέσει τον καθετήρα Foley. Το μπαλόνι είναι ξεφούσκωτο και τραβηγμένο προσθίως για να εκθέσει ο οπίσθιος αυχένος της κύστης, ο οποίος και κόβεται. Το πρόσθιο στρώμα της δέσμης Denonvilliers φανερώνεται. Σημειώνεται ότι αυτό έχει κοπεί σε προηγούμενη φάση της διατομής. Αυτό βοηθάει σε κατάλληλη οροθέτηση και μειώνει την πιθανότητα είτε να εισαχθεί στον προστάτη ή να εξασθενήσει τον αυχένα της κύστης. Η κεφαλή επιδιδυμίδας οπτικοποιείται εύκολα μέσω αυτού του παραθύρου. Η κεφαλή επιδιδυμίδας και τα σπερματικά κυστίδια είναι πιασμένα και αφαιρούνται προς τα πάνω. Τα κατάλοιπα σύνδεσης μεταξύ της κύστης και του προστάτη διαχωρίζονται με ηλεκτροκαυτηρίαση για να φανούν ο πλευρικός μίσχος του προστάτη.

#### VI. Έλεγχος του πλευρικού μίσχου και εξοικονόμηση νεύρων.

Χρησιμοποιώντας άμεση και αιχμηρή διατομή, φανερώνεται ο μίσχος ο οποίος ελέγχεται με τη χρήση λαβίδων Hem-o-lok πολυμερής επίδεσης.

Αν η εξοικονόμηση νεύρων είναι σχεδιασμένη, εισάγεται το επίπεδο μεταξύ των στρωμάτων του περιτοναίου του προστάτη. Η νευραγγειακή δέσμη είναι εγκλεισμένη εντός στρωμάτων του προστατικού και περιπροστατικού περιτοναίου. Αναδιπλώνεται το περιπροστατικό περιτόναιο και αφαιρείται η νευραγγειακή δέσμη. Βρέθηκε ότι τα εργαλεία του συστήματος da Vinci που μοιάζουν με καρπό, βοηθούν αυτή τη διατομή πάρα πολύ και να αφαιρεθούν τα νεύρα από το δείγμα με ακρίβεια. Αυτή η διατομή κατευθύνεται όσο το δυνατόν πιο χαμηλά και σε κάθε περίπτωση, στην πλευρική κυρτότητα του προστάτη.

#### VII. Διατομή πίσω από τον προστάτη. Από τη στιγμή που και η κεφαλή επιδιδυμίδας και τα σπερματικά κυστίδια έχουν διαχωριστεί, ανασηκώνονται από το βοηθό που βρίσκεται στα αριστερά. Αυτή η κίνηση τοποθετεί τη

δέσμη σε τέντωμα και ένα αμυδρό επίπεδο μεταξύ του ορθού και του προστάτη είναι ορατό. Η δέσμη κόβεται απότομα για να φανεί το περιεδρικό λίπος. Χρησιμοποιώντας αιχμηρή και άμεση διατομή, αναπτύσσουμε το επίπεδο για την αφαίρεση του προστάτη και της δέσμης Denonvilliers από το ορθό. Το ακραίο όριο της διατομής είναι η προστατική κορυφή.

VIII. **Κορυφαία διατομή του προστάτη.** Σε αυτό το σημείο της επέμβασης, τρεις δομές συνδέονται με τον προστάτη: το προηγούμενο συνδεδεμένο νωτιαίο φλεβικό σύμπλεγμα, ο ηβοπερινεϊκός μυς και η ουρήθρα και ο συνδεδεμένος ορθοουρηθρικός μυς. Χρησιμοποιείται ένας 0° φακός με 1:3 κλίμακα για να χαράξει το νωτιαίο φλεβικό σύμπλεγμα και την ουρήθρα. Με τη χρήση ενός ηλεκτρο-άγκιστρου, το νωτιαίο σύμπλεγμα αναπτύσσεται απαλά για να φανερώσει το πρόσθιο τοίχωμα της ουρήθρας. Ο ηβοπερινεϊκός μυς αφαιρείται κοφτά από την ουρήθρα, φροντίζεται να τοποθετηθεί πιο πίσω και να διατηρηθεί η νευραγγειακή δέσμη. Ένας ήχος van Buren ουρήθρας τοποθετείται με ακρίβεια στη μεσαία γραμμή για να αναγνωρίσει την πρόσθια επιφάνεια της ουρήθρας στην ουρηθροπροστατική ένωση. Για να μειωθεί η πιθανότητα ακραίου περιθωρίου, το πρόσθιο τοίχωμα της ουρήθρας κόπηκε εγκάρσια με το ψαλίδι 5 με 10 περιφερειακά ως την κορυφή του προστάτη. Το οπίσθιο τοίχωμα της ουρήθρας και ορθοουρηθρικός μυς είναι κομμένος. Το απελευθερωμένο δείγμα τοποθετείται σε μια EndoCatch τσάντα επανάκτησης δείγματος.

IX. **Ουρηθροκυστική αναστόμωση.** Ο 0° φακός χρησιμοποιείται για οπτικοποίηση και δε χρησιμοποιείται κλίμακα. Χρησιμοποιείται ένα ράμμα για την αναστόμωση μεταξύ του μίσχου της κύστης και της ουρήθρας. Η EndoWrist τεχνολογία βοηθάει σημαντικά σε αυτό το στάδιο της επέμβασης, επειδή τα ράμματα μπορούν να τοποθετηθούν υπό οποιαδήποτε γωνία. Εάν ο μίσχος της κύστης έχει προφυλαχθεί, χρησιμοποιούνται ασυνέχιστα ράμματα. Αν ο μίσχος της κύστης είναι πλατύς, μια αδιάκοπη αναστόμωση προτιμάται. Ένας 20F καθετήρας Foley εισάγεται και είναι

φουσκωμένος με 20 ως 30 mL. Η κύστη γεμίζει με 250 mL αλατούχο διάλυμα, με το μπαλόνι του καθετήρα μακριά από το μίσχο της κύστης, για τον έλεγχο της ακεραιότητας της αναστόμωσης.

- X. **Επανάκτηση δείγματος και ολοκλήρωση της επέμβασης.** Ένα σωληνάκι αναρρόφησης τοποθετείται μέσω μιας από τις 5 mm εισόδους. Η 10 mm είσοδος κλείνει και το παγιδευμένο δείγμα αφαιρείται μετά την εξόγκωση της ομφαλικής εισόδου τομής όπως απαιτείται. Η τομή κλείνει σε στρώματα.

#### 4.2.9 Συμπεράσματα

Η ρομποτικά υποβοηθούμενη ανατομική προστατεκτομή είναι μια ασφαλής, αποτελεσματική και αναπαράγόμενη διαδικασία για τη διαχείριση του κλινικά επιτόπιου καρκίνου του προστάτη. Βρέθηκε ότι η κλασική Montsouris τεχνική για λαπαροσκοπική προστατεκτομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αλλαγές όπως απαιτεί η ρομποτική τεχνολογία. Τα αποτελέσματα της ριζικής προστατεκτομής με το σύστημα da Vinci σε σύγκριση με άλλες μεθόδους παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, [8]. Η διαδικασία είναι σε εξέλιξη και θα γίνουν περαιτέρω αλλαγές καθώς νέα εργαλεία και ικανότητες θα αναπτυχθούν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ, ΛΑΠΑΡΟΣΚΟΠΙΚΗΣ ΚΑΙ DA VINCI ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΡΙΖΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΤΕΚΤΟΜΗ

Ριζική Προστατεκτομή	Ουρολογία (Ριζική Προστατεκτομή)		
	Ανοιχτό Χειρουργείο	Λαπαροσκοπικά	Σύστημα da Vinci®
Χρόνος Επέμβασης	164 min	248 min	160min
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

## **4.3 Γυναικολογία**

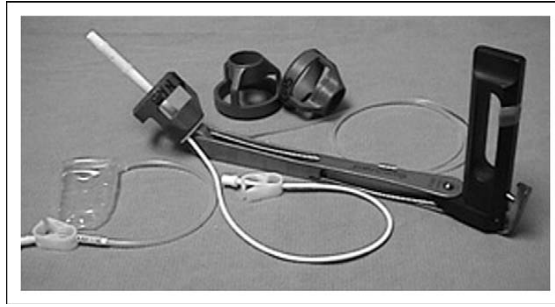
### **4.3.1 Εισαγωγή**

Ο σκοπός της παρακάτω μελέτης είναι να εκτιμηθεί η επιτευξιμότητα και τα χειρουργικά αποτελέσματα της ρομποτικής ριζικής υστερεκτομής λεμφαδενεκτομής για ασθενείς με τραχηλικό καρκίνωμα σταδίου I χρησιμοποιώντας το χειρουργικό σύστημα da Vinci [35].

### **4.3.2 Τεχνική της υστεροεκτομής**

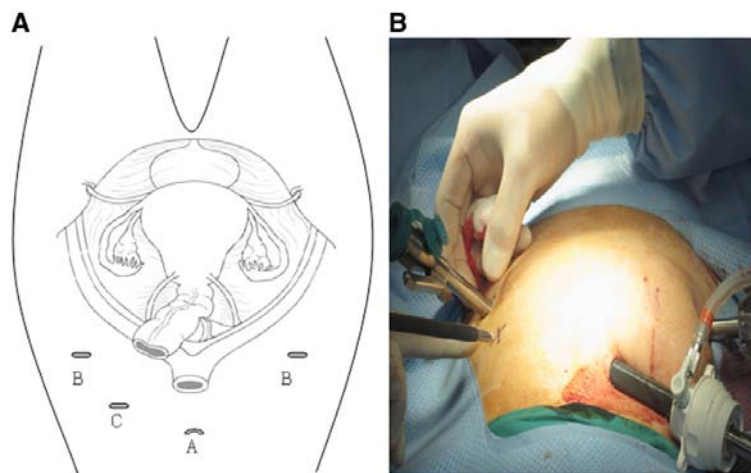
Μεταξύ του Ιούνη του 2006 και το Μάιο του 2007, 10 ασθενείς υποβλήθηκαν σε λαπαροσκοπική ριζική υστερεκτομή με λεμφαδενεκτομή στη λειάνη. Όλοι οι ασθενείς συναίνεσαν ώστε να υποβληθούν σε λαπαροσκοπική εγχείριση χρησιμοποιώντας το σύστημα da Vinci στο Yonsei University Medical Center. Η συγκατάθεση περιελάμβανε τη γνώση ότι ο ασθενής γνωρίζει πως η επέμβαση θα γίνει με μια νέα χειρουργική τεχνική. Τα κριτήρια επιλογής των ασθενών ήταν γυναίκες με πρόσφατη διάγνωση μη θεραπεύσιμου επεμβατικά τραχηλικού καρκίνου, FIGO στάδιο IB1 ή μικρότερης νόσου, καθόλου στοιχεία εμπλοκής αδένων στη μελέτη απεικόνισης (MRI και/ή PET), GOG απόδοση και οικονομική ικανότητα να πληρώσουν το κόστος της επέμβασης (\$10.000). Η μέση ηλικία των ασθενών ήταν 49.9 έτη (εύρος 34 με 75 χρόνια).

Η επέμβαση χωρίστηκε σε επτά μέρη: (1) δεξιά και αριστερή λεμφαδενεκτομή στη λειάνη, (2) ανάπτυξη του παρακυστικού και παραπρωκτικού χώρου, (3) διατομή της ουρήθρας, (4) σύνδεση και διατομή της αρτηρίας της ουρήθρας, (5) ανάπτυξη του vesicouterine και του ορθοκολπικού χώρου, (6) εκτομή του παραμήτριου και (7) εκτομή του άνω κόλπου. Τα μέρη της επέμβασης ορίστηκαν και καταγράφηκαν σε βίντεο. Ο ασθενής τοποθετήθηκε σε μια χαμηλή ραχιαία και Trendelenburg θέση. Ένας καθετήρας Foley εισήχθη για την αποστράγγιση της ουρήθρας. Ένας RUMI χειριστής ουρήθρας τοποθετήθηκε με ένα Koh δαχτυλίδι κολποτομής και ένα κολπικό μπαλόνι πνευμο-φραγμού.



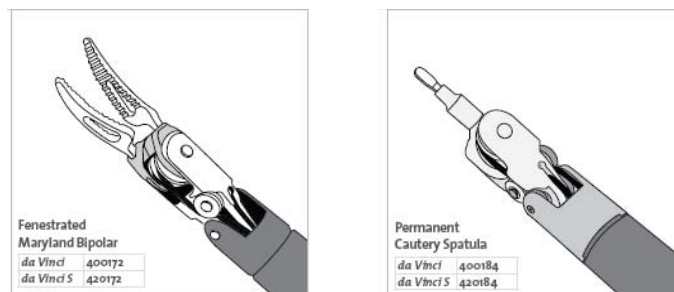
Εικόνα 5.4. Ο καθετήρας Foley και το δαχτυλίδι Koh

Δόθηκε εμφύσηση CO<sub>2</sub> με βελόνα παρακέντησης και συνεχίστηκε με πίεση 12 mm Hg. Τέσσερις εισοδοί τοποθετήθηκαν μετά από διασφάλιση του πνευμονοπεριτόναιου. Μια 12-mm βελόνα παρακέντησης αποβολής εισήχθη στο επίπεδο του ομφαλού για να υποδεχτεί την κάμερα. Δύο 8-mm βελόνες παρακέντησης εισήχθησαν σε κάθε ένα χαμηλό τεταρτημόριο της κοιλιακής χώρας, πλευρικά στις επιγαστρικές αρτηρίες, 2-3 cm κάτω από το επίπεδο του ομφαλού. Μία τέταρτη βοηθητική είσοδος (10 mm) τοποθετήθηκε στη μέση απόσταση μεταξύ του ομφαλού και του αριστερού ρομποτικού βραχίονα.



Εικόνα 5.5-5.6. Η εισαγωγή των σημείων εισόδου και η τοποθέτηση των βελόνων παρακέντησης.

Αφότου τοποθετηθούν και οι τέσσερις εισοδοι, το χειρουργικό cart τοποθετήθηκε ανάμεσα των ποδιών της ασθενούς, πίσω από το δεύτερο βοηθό. Οι τρεις ρομποτικοί βραχίονες τοποθετήθηκαν στις βελόνες παρακέντησης. Αρχικά έγινε μια εκτίμηση του χειρουργικού πεδίου και διασφαλίστηκαν οι περιτοναϊκές πλύσεις. Για τη λεμφαδενεκτομή στη λειάνη, ανοίχτηκε το τμήμα πίσω από το περιτόναιο κάνοντας πλευρική τομή στο κωνικό σύνδεσμο της πυέλου από το πυελικό χείλος ως το κυκλικό τμήμα χρησιμοποιώντας τα εργαλεία EndoWrist Maryland Bipolar και EndoWrist Permanent Cautery Spatula.



Εικόνα 5.7-5.8 Τα χειρουργικά εργαλεία EndoWrist Maryland Bipolar και EndoWrist Permanent Cautery Spatula.

Οι άκρες του περιτόναιου ανυψώθηκαν και οι υποκείμενοι συνδετικοί ιστοί αποκόπηκαν με αντιτασσόμενη έλξη παράλληλα στα αγγεία για να ανοιχτεί ο χώρος πίσω από το περιτόναιο. Ο παρακυστικός και παραπρωκτικός χώρος αναγνωρίστηκαν. Μόλις αναγνωρίστηκαν τα πυελικά αγγεία και οι ουρητήρες, οι λεμφαδένες απομονώθηκαν και απομακρύνθηκαν αφαιρώντας τους ιστούς πλευρικά και παράλληλα στην εξωτερική λαγόνιο αρτηρία επεκτείνοντας από τη διακλάδωση της κοινής λαγόνιας αρτηρίας ως το σημείο όπου η βαθιά περισπωμένη λαγόνιο φλέβα διασχίζει την εξωτερική λαγόνιο αρτηρία. Η λεμφατική δέσμη αποσύρθηκε ενδιάμεσα χρησιμοποιώντας το εργαλείο EndoWrist Maryland Bipolar και την αφείρεσε από την εξωτερική λαγόνιο αρτηρία και φλέβα. Ο ψοίτης μυς αναγνωρίστηκε, το γεννητικο-μηριαίο νεύρο προστατεύτηκε και οι λεμφαδένες

μεταξύ του γεννητικο-μηριαίου νεύρου και η επιφάνεια της εξωτερικής λαγόνιας αρτηρίας και φλέβας αποκόπηκαν. Ο ουρητήρας ανακλήθηκε ενδιάμεσα κατά τη διάρκεια της διατομής των κοινών λαγόνιων αρτηριών και έμειναν συνδεδεμένοι στο τοιχωματικό περιτόναιο (Εικόνα 3Α). Ο κλειστός χώρος εισήχθη ανακλώντας την εξωτερική λαγόνιο αρτηρία και τους λεμφατικούς ιστούς ενδιάμεσα και οι λεμφαδένες αποκόπηκαν από τη δική τους οπίσθια σύνδεση στην εξωτερική λαγόνιο φλέβα και πλευρική σύνδεση στο πυελικό πλευρικό τοίχωμα. Χρειάστηκε προσοχή για να βρεθεί το κλειστό νεύρο, το οποίο απογυμνώθηκε από τη σύνδεση στους λεμφατικούς ιστούς. Οι κοινοί λαγόνιοι αδένες διασφαλίστηκαν επεκτείνοντας την περιτοναϊκή τομή πάνω από το πυελικό χείλος και ανακλώντας το περιτόναιο ενδιάμεσα για να αποκαλυφθεί οι κοινές λαγόνιες αρτηρίες. Για την αιμόσταση, προτείνεται να δεθεί σφιχτά ο αποκομμένος χώρος με καυτή γάζα για την παροχή χρόνου για έναν θρόμβο αίματος για να αναπτυχθεί.

Για τη ριζική υστερεκτομή, οι αρτηρίες της μήτρας αποκόπηκαν στην έκφυσή τους από τις εσωτερικές λαγόνιες αρτηρίες (Εικόνα 3Β). Το πλατάγισμα της ουρήθρας αναλλάται από το χαμηλό τμήμα του ουρητήρα κάνοντας τομή στο περιτόναιο της ουρήθρας από τη σύνδεσή του στη μήτρα. Οι περιτοναϊκές προσφύσεις της βάσης της ουρήθρας αφέθηκαν και ο κυστεοαυχενικός χώρος αναπτύχθηκε κατώτερα και πλευρικά. Η μεσαία άκρη των διαχωρισμένων αρτηριών της μήτρας τραβήχτηκε ενδιάμεσα και η μήτρα έμεινε ασιέπαστη. Οι σύνδεσμοι της μήτρας στο ιερό οστό τεντώθηκαν δίνοντας πρόσθια κλίση στη μήτρα από το δεύτερο βοηθητικό RUMI χειριστή. Η περιτοναϊκή ανάκλαση του τυφλού κυστιδίου του Douglas χαραχτηκε τότε. Χρειάστηκε προσοχή για να αποφευχθεί ο τραυματισμός των ουρητήρων, οι οποίοι ήταν συνδεδεμένοι στο περιτόναιο σχεδόν πλευρικά στο σύνδεσμο στο ιερό οστό της μήτρας. Το παραμήτριο προοδευτικά συγκολλείται και διαχωρίζεται μέχρι να φτάσει η διόγκωση από το colpotomizer δεύτερου επιπέδου δακτυλίου στον κόλπο. Έγινε μία περιφερειακή κολπική τομή και τραβήχτηκε το δείγμα της μήτρας στον κόλπο χρησιμοποιώντας το χειριστή RUMI. Το κλείσιμο του κολπικού περιτυλίγματος εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας ασυνέχιστα ράμματα του 1-Vicryl (Ethicon, Piscataway, NJ). Ο ρομποτικός οδηγός της βελόνας και η ρομποτική λαβίδα χρησιμοποιήθηκαν για το ενδοσωματικό δέσιμο των ραμμάτων.



Επί της ολοκλήρωσης της επέμβασης, η πύελος καθαρίστηκε με κανονικό αλατούχο διάλυμα και η αιμόσταση αποκαταστάθηκε. Για την πρόληψη του μετεγχειρητικού σχηματισμού επούλωσης, ο κολπικός θόλος καλύφθηκε με Interceed (Johnson & Johnson Patient Care Inc, New Brunswick, NJ). Όλες οι εισοδοί που είναι μεγαλύτερες των 8 mm σε διάμετρο έλλεισαν με ασυνέχιστο ράμμα με 2-Vicryl (Ethicon, Piscataway, NJ) ράμμα στη δεσμίδα.

### **4.3.3 Αποτελέσματα**

Όλες οι επεμβάσεις ολοκληρώθηκαν με ρομπότ χωρίς καμία μετατροπή σε λαπαροτομή. Ο μέσος χρόνος δεξαμενισμού ήταν 26 λεπτά (εύρος 10- 45 λεπτά). Ο χρόνος δεξαμενισμού μετρήθηκε από την αρχή της εξέτασης υπό αναισθησία μέχρι τον πλήρη δεξαμενισμό των ρομποτικών βραχιόνων στις βελόνες παρακέντησης. Ο χρόνος δεξαμενισμού ανά περίπτωση έδειξε μια μειωμένη τάση με αυξημένη εμπειρία. Ο μέσος χρόνος επέμβασης ήταν 207 min (εύρος 120-240 min). Ο χρόνος της επέμβασης μετρήθηκε από την έναρξη του πλήρους δεξαμενισμού του χειρουργικού cart μέχρι την εφαρμογή κάλυψης των εισόδων. Η εκτιμώμενη απώλεια αίματος (EAA-EBL) υπολογίστηκε παρατηρώντας τη διαφορά μεταξύ των όγκων των εισπνεόμενων και των καθαρών υγρών. Η μέση εκτιμώμενη απώλεια αίματος ήταν 355 mL. Δεν απαιτήθηκαν μεταγγίσεις αίματος σε αυτές τις επεμβάσεις. Ο μέσος αριθμός πνευλικών λεμφαδένων που αποκόπηκαν ήταν 27.6 (εύρος 12-52). Κανένας ασθενής δεν είχε μικροσκοπική μεταστατική νόσο αδένων. Στην εικόνα 3 φαίνονται τα EndoWrist εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην πνευλική λεμφαδενοεκτομή. Τα χειρουργικά περιθώρια ήταν αρνητικά για όλες τις περιπτώσεις. Η μέση διάρκεια παραμονής ήταν 7.9 μέρες (εύρος 5-17 μέρες). Η μόνη επιπλοκή στις περιπτώσεις αυτές ήταν η πνευμονία σε μία ασθενή η οποία την παρουσίασε μετεγχειρητικά και της χορηγήθηκαν ενδοφλέβια αντιβιοτικά για 6 μέρες. Δεν παρατηρήθηκαν επιπλοκές ενδοκοιλιακά στο έντερο ούτε μετάσταση στις εισόδους. Η μέση διάρκεια συνεχούς παρακολούθησης για αυτή την ομάδα ήταν 9 μήνες. Όλες οι ασθενείς που υποβλήθηκαν σε ρομποτική ριζική υστερεκτομή παραμένουν κλινικά χωρίς νόσο τη

στιγμή που γράφεται αυτό το άρθρο. Δεν υπήρχε καμία επιπλοκή στην ουροδόχο ούτε άλλες επιπλοκές μετά το εξιτήριο.

#### **4.3.4 Συμπεράσματα**

Η χρήση των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων στην εκτέλεση λαπαροσκοπικών επεμβάσεων αυξήθηκε την περασμένη δεκαετία. Σε πολυάριθμες μελέτες, φάνηκε να είναι μια ασφαλής και αποτελεσματική εναλλακτική σε αντίθεση με τη λαπαροσκοπική χειρουργική σε μια ποικιλία από χειρουργικές ειδικότητες όπως καρδιολογία, ουρολογία και γενική χειρουργική. Στη βιβλιογραφία της γυναικολογίας, υπήρχαν διάφορες μελέτες ρομποτικών λαπαροσκοπικών υστερεκτομών και αναστομώνσεων ωαγωγών. Αν και η γυναικολογική ογκολογία είναι σχετικά καινούργια εφαρμογή των ρομποτικών χειρουργικών συστημάτων, αρχικές έρευνες προτείνουν η ρομποτική ριζική υστερεκτομή για γυναικολογικούς κακοήθεις όγκους μπορεί να προσφέρει στους ασθενείς σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με την παραδοσιακή λαπαροτομία.

Η χρήση του ρομποτικού συστήματος είναι εφικτή για τη ριζική υστερεκτομή με πυελική λεμφαδενεκτομή. Ο μέσος χρόνος της επέμβασης ήταν 207 min, ο οποίος ήταν συγκρίσιμος με άλλες προηγούμενες μελέτες. Ο σωλήνας πίσω από το περιτόναιο αφαιρέθηκε την 4<sup>η</sup> μετεγχειρητική μέρα και ο καθετήρας Foley απομακρύνθηκε την 7<sup>η</sup> μέρα εφόσον ο υπολειπόμενος όγκος των ούρων ήταν λιγότερο από 50 mL. Επειδή οι περισσότερες ασθενείς ήθελαν να πάρουν εξιτήριο εφόσον απομακρυνθεί ο καθετήρας Foley, αυξήθηκε η διάρκεια παραμονής των ασθενών. Επιπλέον, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στη μετεγχειρητική περίοδο με τακτικούς ελέγχους.

Η ρομποτική ριζική υστερεκτομή με πυελική λεμφαδενεκτομή είναι ευκολότερη στην εκτέλεση με ένα τρισδιάστατο οπτικό πεδίο και θα είναι πιο αναπαραγωγική από άλλους χειρουργούς χωρίς μια αύξηση σε πολύπλοκους ρυθμούς. Επιπλέον, η καμπύλη μάθησης που απαιτούσε να ελέγχει τη χρήση του ρομπότ ήταν υπολογίσιμα μικρότερη από το χρόνο εκμάθησης και υιοθέτησης της τυπικής λαπαροσκοπικής. Η εμπειρία προσφέρει στοιχεία για την επιτευξιμότητα της

διεξαγωγής της γυναικολογικής και της εγχείρισης της γυναικολογικής ογκολογίας με το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα. Αυτή η τεχνική προσφέρει τα πλεονεκτήματα όπως περιορισμένες ουλές στην κοιλιακή χώρα, χαμηλή νοσηρότητα και λιγότερες επιπλοκές όταν χρησιμοποιείται σε ασθενείς που έχουν επιλεγεί προσεχτικά.

Ωστόσο, παρά τα όσα πλεονεκτήματα, υπάρχουν περιορισμοί όπως η έλλειψη της χειροπιαστής ανάδρασης και το υψηλό κόστος της τεχνολογίας. Όπως με κάθε καινούργια τεχνολογία, το κόστος κάθε εξοπλισμού και η ανάπτυξη νέων τεχνικών είναι υψηλά. Είναι απαραίτητο να αποφασιστεί ποιές επεμβάσεις επωφελούνται περισσότερο από τα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα και θα χρειαστούν περισσότεροι ασθενείς να δοκιμάσουν τις νέες τεχνικές ώστε να υπάρξει σύγκριση μεταξύ του οφέλους και του κόστους. Τα γενικά ογκολογικά αποτελέσματα και οφέλη για τον ασθενή πρέπει να εκτιμηθούν και να αποδειχθούν προσεχτικά πριν η ρομποτική χειρουργική γίνει ευρέως αποδεκτή στη γυναικολογία.

## **4.4 Καρδιολογία**

### **4.4.1 Εισαγωγή**

Οι βελτιώσεις στην οπτικοποίηση και στην αφαίρεση οργάνων με εργαλεία έχουν δώσει τη δυνατότητα για αστραπιαία πρόοδο προς τις υποβοηθούμενες από βίντεο επιδιορθώσεις της μιτροειδούς βαλβίδας και αντικαταστάσεις. Ωστόσο, λόγω του τρεμουλιάσματος των χεριών, τις συγκρούσεις των εργαλείων και τη φτωχή μετάφραση των εντολών, οι λεπτεπίλεπτες επεμβάσεις της βαλβίδας είναι πολύ δύσκολες και συχνά οδηγούν σε χειρουργικές ανακρίβειες και अपαράδεκτο χειρουργικό χρόνο. Η ανάπτυξη και η τελειοποίηση του χειρουργικού συστήματος da Vinci έχει εισάγει την πρώτη δυνατότητα για ακριβή, ελάχιστα επεμβατική κοντά στο στήθος εγχείριση καρδιάς. Αυτό είναι το πρώτο μηχάνημα που παρέχει εξαιρετική 3D οπτικοποίηση, εύκαμπτα εργαλεία και την επιδεξιότητα για την εκτέλεση πολύπλοκων επεμβάσεων. Έχει επεκταθεί η πρώιμη χρήση του

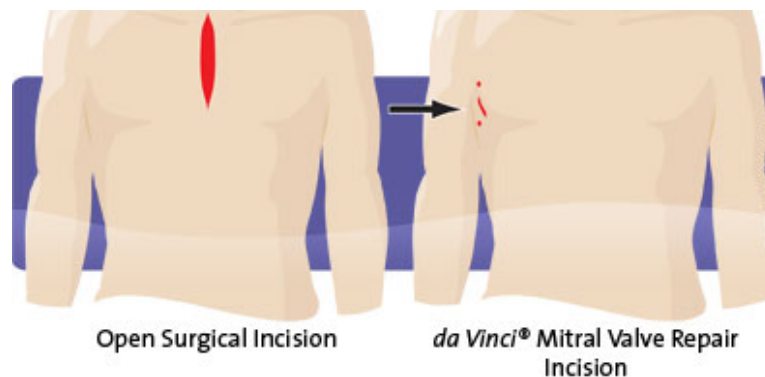
συστήματος da Vinci για επιδιορθώσεις και αντικαταστάσεις σε μια επέμβαση ρουτίνας με μια μεγάλη σειρά ασθενών [36].

#### 4.4.2 Μέθοδοι

Χρησιμοποιώντας την τεχνική Chitwood, ο ασθενής τοποθετείται με το δεξί στήθος ανυψωμένο κατά 30°. Η CPB αρχίζει μέσω των της δεξιάς μηριαίας αρτηρίας με φλεβική αποξήρανση μέσω της δεξιάς μηριαίας φλέβας/IVC και της δεξιάς φλέβας /SVC.

#### 4.4.3 Τεχνική της επιδιόρθωσης της μιτροειδούς βαλβίδας (MVR: Mitral Valve Repair)

Η επιδιόρθωση της μιτροειδούς βαλβίδας με το σύστημα da Vinci προσφέρει στους ασθενείς τα πλεονεκτήματα της ελάχιστα επεμβατικής εγχείρισης καθώς παρέχουν στο χειρουργό τον έλεγχο μιας επέμβασης ανοιχτού στήθους. Συγκεκριμένα, το ρομποτικό σύστημα παρέχει καλύτερη οπτικοποίηση της ανατομίας της μιτροειδούς βαλβίδας, συμπεριλαμβανομένου της στεφάνης, leaflets και των υποβαλβιδικών μηχανισμών, απαράμιλλη ακρίβεια κατά τη διάρκεια της λεπτεπίλεπτης ανασυγκρότησης της μιτροειδούς βαλβίδας και βελτιωμένος έλεγχος εργαλείων διευκολύνει την MVR, συμπεριλαμβανομένου του πρόσθιου περυγίου της μιτροειδούς βαλβίδας και bileaflet πρόπτωση.



Εικόνα 5.9. Η τομή της ανοιχτής επιδιόρθωσης μιτροειδούς βαλβίδας και οι τομές με το σύστημα da Vinci

#### 4.4.4 Βήματα της επέμβασης

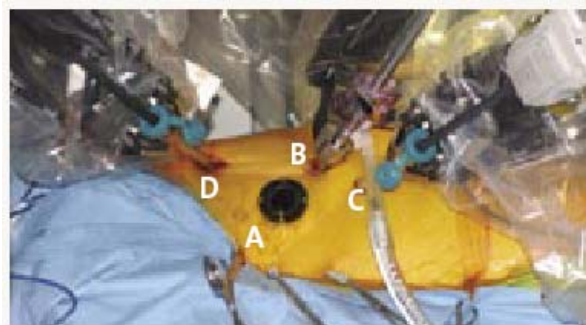
##### 4.4.4.1 Τοποθέτηση του ασθενή και προετοιμασία

- Ο ασθενής τοποθετείται στα αριστερά στο χειρουργικό τραπέζι και μαρκάρονται οι εισοδοί
- Η βουβωνική χώρα προετοιμάζεται: εκτελείται η τυπική περιφερειακή εισαγωγή σωληνίσκου
- Το σύστημα da Vinci τοποθετείται στην αριστερή πλευρά του ασθενή



##### 4.4.4.2 Τομές εργασίας και τοποθέτηση εισόδων

- A. Μικρή πλευρική θωρακοτομία στις 4<sup>ες</sup> ICS λειτουργίες σαν τομή εργασίας. Απαιτείται προσοχή για την παροχή ελάχιστης επέκτασης οστών
- B. Η ρομποτική κάμερα τοποθετείται στην 4<sup>η</sup> ICS (μέσω των τομών εργασίας ξεχωριστής εισόδου)
- C. Η δεξιά είσοδος για τα ρομποτικά εργαλεία τοποθετείται στην 4<sup>η</sup>/5<sup>η</sup> ICS
- D. Η αριστερή είσοδος για τα ρομποτικά εργαλεία τοποθετείται στη 2<sup>η</sup> ICS



#### **4.4.4.3 Σταυρωτός σύνδεσμος της αορτής και παύση της καρδιακής δραστηριότητας**

- Το πιάσιμο στην άκρη των EndoWrist Resano Forceps στοχεύει στο μη τραυματικό πιάσιμο του ιστού κατά τη διάρκεια της περικαρδιοτομής
- Η 3D οπτικοποίηση της αορτής και της περιβάλλουσας ανατομίας διευκολύνει την τοποθέτηση του υπερθωρακικού σφιγκτήρα(η εναλλακτική σύσφιξη επιτυγχάνεται από τεχνική απόφραξης ενδοαορτηριακού μπαλονιού)
- Καθετήρας για την παύση της λειτουργίας της καρδιάς ο οποίος κατευθύνεται και τοποθετείται με τη βοήθεια των EndoWrist εργαλείων

#### **4.4.4.4 Αριστερή κολπική τομή και αποκάλυψη της μιτροειδούς βαλβίδας**

- Αριστερή κολπική τομή με EndoWrist Curved Scissors και Resano Forceps εργαλεία
- Η λεπίδα συγκράτησης του κόλπου τοποθετείται μέσω των τομών εργασίας: ασφαρίζεται η εγκατάσταση για να διατηρηθεί η 3D οπτικοποίηση της στεφάνης της μιτροειδούς βαλβίδας και των υποβαλβιδικών μηχανισμών.

#### **4.4.4.5 Επιδιόρθωση της μιτροειδούς βαλβίδας**

- Τα EndoWrist Curved Scissors και Resano Forceps εργαλεία βελτιώνουν την ακρίβεια και την δεξιότητα κατά τη διάρκεια της πολύπλοκης αναδόμησης της μιτροειδούς βαλβίδας: απaráμιλλη 3D οπτικοποίηση της ανατομίας της μιτροειδούς διευκολύνει πολύπλοκες επιδιορθώσεις-τετραγωνικές χειρουργικές αφαιρέσεις οργάνων, ολίσθησης, από άκρη σε άκρη προσεγγίσεις, χορδιαίες/ αρμονικές μεταφορές και επιδιορθώσεις.
- Η δεσμίδα ασφαρίζεται με εργαλεία EndoWrist Large Needle Driver και U-Clip® Valve Fixation Devices

#### **4.4.4.6 Κλείσιμο αριστερού κόλπου και αποδιασωλήνωση**

- Τα εργαλεία EndoWrist® DeBakey ή Resano Forceps και Large Needle Driver διευκολύνουν το συνεχές, διπλού στρώματος κλείσιμο του αριστερού κόλπου
- Καρδιάς από την αριστερή γραμμή ραψίματος, και οι δυο πνεύμονες οξυγονώνονται και η CPB διακόπτεται: αποδιασωλήνωση

#### **4.4.4.7 Έλεγχος ποιότητας και μετεγχειρητική φροντίδα**

- Κλείνονται οι τομές των εισόδων
- Οι εισοδοί για τα εργαλεία χρησιμοποιούνται για σωληνάκι αποστράγγισης στο στήθος
- Η απόδοση της μιτροειδούς βαλβίδας αποτιμάται μέσω ενδολειτουργικού TEE
- Η διαχείριση του μετεγχειρητικού πόνου επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας αντλία σύστημα πόνου

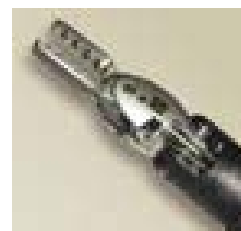
#### **4.4.4.8 EndoWrist Curved Scissors**

- Περιορισμένο προφίλ κοπής το οποίο καθιστά ικανή την ακριβή σμίλευση του ιστού της βαλβίδας
- Η καμπυλωτή άκρη τονίζει την οπτικοποίηση του πεδίου κοπής



#### **4.4.4.9 EndoWrist Resano Forceps**

- Μη τραυματικός σχεδιασμός των σιαγόνων που διευκολύνει το λεπτεπίλεπτο κράτημα των ιστών της βαλβίδας και του περικάρδιου
- Η λαβή κοντά στην άκρη παρέχει ασφαλές κράτημα του ιστού





*Εικόνα 5.10. (Από αριστερά προς τα δεξιά ) Τα εργαλεία EndoWrist® DeBakey Forceps, Large Needle Driver, Permanent Cautery Spatula και Round Tip Scissors χρησιμοποιούνται επίσης στην επιδιόρθωση της μιτροειδούς βαλβίδας*

#### **4.5 Συμπεράσματα**

Η κλινική εμπειρία είναι εξαιρετικά ευνοϊκή χρησιμοποιώντας το σύστημα da Vinci (Πίνακας 3, [8]). Πλέον προτιμάται να προσεγγιστεί κάθε επέμβαση χρησιμοποιώντας το σύστημα. Δίνεται η δυνατότητα να γίνονται περισσότερες και πιο πολύπλοκες επιδιορθώσεις. Επιπλέον, τα κλινικά αποτελέσματα για το da Vinci είναι ίσα με την παραδοσιακή ανοιχτή εγχείρηση. Τα πλεονεκτήματα για τους ασθενείς περιλαμβάνουν μικρότερη διάρκεια νοσηλείας, μειωμένες μεταγγίσεις και μια επισπευσμένη επιστροφή σε φυσιολογικές δραστηριότητες. Αυτοί οι παράγοντες σε συνδυασμό με την ικανότητα για επιδιόρθωση δύσκολων παθολογιών, προμηνύουν τη μεγαλύτερη χρήση του χειρουργικού συστήματος σε επεμβάσεις μιτροειδούς βαλβίδας παγκοσμίως.



ΠΙΝΑΚΑΣ 3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗΣ ΚΑΙ DA VINCI ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΙΤΡΟΕΙΔΟΥΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ

Καρδιοχειρουργική – Θωρακοχειρουργική				
Αποκατάσταση Βαλβίδας	Μιτροειδούς	Ανοιχτό Χειρουργείο	Σύστημα Vinci®	da
Θνησιμότητα		2,2%	0%	
Σημαντικές Μετεγχειρητικές Επιπλοκές		13,1%	0%	
Χρόνος Μετεγχειρητικής Νοσηλείας		8,5 ημέρες	1,3 ημέρες	

#### 4.6 Εφαρμογές της ρομποτικής στον Ελληνικό χώρο

Σύμφωνα με τους ειδικούς, πριν από περίπου δέκα χρόνια στην Ελλάδα το 10-20% των επεμβάσεων γινόταν λαπαροσκοπικά, ενώ στην συντριπτική πλειονότητά τους οι εγχειρίσεις διενεργούνταν με βάση την κλασική ανοιχτή χειρουργική. Σήμερα οι όροι έχουν αντιστραφεί: το 70-80% των επεμβάσεων διενεργείται με ελάχιστα επεμβατικές μεθόδους. Όπως αναφέρει ο κ. Κ. Κωνσταντινίδης, επίκουρος καθηγητής του Ohio State University των ΗΠΑ, διευθυντής της Κλινικής Γενικής, Λαπαροσκοπικής και Ρομποτικής Χειρουργικής του Ιατρικού Κέντρου Αθηνών και πρόεδρος της ελληνικής Επιστημονικής Εταιρείας Ρομποτικής Χειρουργικής, εκτιμάται ότι στη χώρα μας διενεργούνται περί τις 15.000-20.000 λαπαροσκοπικές επεμβάσεις ετησίως τόσο στα δημόσια νοσοκομεία όσο και στα ιδιωτικά κέντρα και κλινικές. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι πρόκειται για εκτιμήσεις, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν συγκεκριμένα αρχεία καταγραφής για τις λαπαροσκοπικές επεμβάσεις στην Ελλάδα! Από το σύνολο των λαπαροσκοπικών επεμβάσεων η πιο δημοφιλής είναι η λαπαροσκοπική αφαίρεση της χολής (χολοκυστεκτομή), δεύτερη σε συχνότητα επέμβαση είναι η λαπαροσκοπική αφαίρεση κήλης (βουβωνοκήλης ή κοιλιοκήλης). Ακολουθούν η λαπαροσκοπική σκωληκοειδεκτομή, η αντιμετώπιση της διαφραγματοκήλης, κολεκτομή (αφαίρεση τμήματος του εντέρου), επεμβάσεις παχυσάρκας όπως το γαστρικό bypass ενώ λιγότερο συχνά διενεργούνται άλλες επεμβάσεις όπως σπληνεκτομή, επινεφριδεκτομή ή αντιμετώπιση συμφύσεων. Σύμφωνα με τον κ. Κωνσταντινίδη η Ελλάδα δεν υστερεί σε σύγκριση με άλλες

χώρες σε ό,τι αφορά το εύρος των παθήσεων που αντιμετωπίζονται με τις σύγχρονες ελάχιστα επεμβατικές τεχνικές [37].

#### **4.6.1 Το σύστημα da Vinci στην Ελλάδα**

Στη χώρα μας το πρώτο ρομποτικό χειρουργικό σύστημα da Vinci λειτουργεί από το Σεπτέμβριο του 2006 σε ένα μεγάλο ιδιωτικό κέντρο της Αθήνας, στο Ιατρικό Κέντρο Αθηνών, ενώ πρόσφατα τέθηκε σε λειτουργία ένα δεύτερο σύστημα σε ένα μεγάλο ιδιωτικό θεραπευτήριο της πρωτεύουσας, στο Νοσοκομείο “Υγεία” και αναμένεται η εφαρμογή αντίστοιχου συστήματος στο “Λαϊκό” Νοσοκομείο. Έχουν εκτελεστεί ήδη με απόλυτη επιτυχία μέσα στον πρώτο χρόνο περισσότερες από 150 χειρουργικές επεμβάσεις. Επιστημονικός υπεύθυνος της πρωτοβουλίας αυτής είναι ο Επ. Καθηγητής κ. Κ.Μ. Κωνσταντινίδης [37].

Ο Κ. Κωνσταντινίδης με τους συνεργάτες του, πραγματοποίησαν με επιτυχία τις πρώτες ρομποτικές χειρουργικές επεμβάσεις που περιλαμβάνουν την επέμβαση Heller-Dorr για την αντιμετώπιση της αχαλασίας οισοφάγου, την αποκατάσταση διαφραγματοκήλης κατά Nissen, σκωληροειδεικτομές, χολοκυστεκτομές, επεμβάσεις εξωπεριτοναϊκής αποκατάστασης βουβωνοκήλης, αποκατάσταση κοιλιοκήλης, τοποθέτηση γαστρικού δακτυλίου για νοσογόνο παχυσαρμιά, εκτομή όγκων οπισθοπεριτοναϊκού χώρου και κύστεων νεφρού, επινεφριδεκτομές αλλά και κολεκτομή (δεξιά, αριστερή και χαμηλή πρόσθια). Επίσης ωθηκεκτομές και ρομποτικά-υποβοηθούμενη υστερεκτομή. Παράλληλα, οι ουρολόγοι Β. Πουλιάκης, Α. Πλουμίδης και Ν. Παρδαλίδη πραγματοποίησαν τις πρώτες ριζικές προστατεκτομές με χρήση του da Vinci στις οποίες διατηρούνται τα νεύρα της περιοχής διαφυλάσσοντας τη στυτική λειτουργία [38].

Το σύστημα da Vinci δεν έχει χρησιμοποιηθεί ακόμα για την αντιμετώπιση των καρδιολογικών παθήσεων. Εκτιμάται πάντως ότι μέσα στους επόμενους τρεις μήνες θα ξεκινήσουν οι πρώτες επεμβάσεις του είδους στο ιδιωτικό νοσοκομείο που έφερε το μηχάνημα, δεδομένου ότι έχει γίνει η κατάλληλη εκπαίδευση των ειδικών χειρουργών και του νοσηλευτικού προσωπικού. Οι περιπτώσεις που θα αντιμετωπίζονται θα αφορούν bypass σε δύο το πολύ αγγεία-το σύστημα da Vinci

δεν μπορεί να κάνει τριπλό bypass καθώς για τη συγκεκριμένη διαδικασία απαιτούνται ειδικοί χειρισμοί και ελαφρά μετακίνηση της καρδιάς, που δεν μπορούν να γίνουν με τους ρομποτικούς βραχίονες [37].

#### **4.6.1.1 Το κόστος**

Τα μακροπρόθεσμα οφέλη είναι μεγάλα και δικαιολογούν το κόστος, το οποίο είναι σήμερα υψηλό στην Ελλάδα δεδομένου ότι ο ρομποτικός “χειρουργός” δεν έχει γνωρίσει ακόμα μεγάλη διάδοση. Σχετικά με το ζήτημα της κάλυψης των ρομποτικών επεμβάσεων από τα Ταμεία, σήμερα αυτή είναι πλήρης μόνο σε ό,τι αφορά τις ιδιωτικές ασφαλιστικές εταιρείες. Τα δημόσια Ταμεία συνήθως προχωρούν σε μερική καταβολή του ποσού που κυμαίνεται από 30-50% -σε ορισμένες περιπτώσεις, ύστερα από διεκδίκηση των ασφαλισμένων, το ποσοστό κάλυψης έφθασε ως και το 60% [38].

### **4.7 Το αύριο της χειρουργικής**

Η παρούσα εργασία αναφέρθηκε εκτενώς στο χθες και το σήμερα της ρομποτικής χειρουργικής. Προσπαθώντας να προσεγγίσουμε το αύριο στο συγκεκριμένο τομέα μπορούμε να αναφέρουμε ότι το μέλλον δείχνει ακόμη πιο μικρά εργαλεία και ίσως μία ημέρα ευρέως διαδεδομένες επεμβάσεις χωρίς καμία επέμβαση! Σε αυτές τις επεμβάσεις δε θα γίνεται καμία τομή, αφού η αφαίρεση των οργάνων ή όγκων θα γίνεται μέσω των φυσιολογικών οδών του οργανισμού και τα εργαλεία θα συνεχίσουν να γίνονται ολοένα και πιο μινιατούρες [37].

Το επόμενο σύστημα που θα φέρει επανάσταση στη ρομποτική χειρουργική είναι το οπτικό σύστημα. Ο χειρουργός ενώ βρίσκεται στην κονσόλα θα έχει την ικανότητα της αφής, αφού θα αισθάνεται ότι ακουμπάει με τα χέρια του το σώμα και τα όργανα του ασθενή που χειρουργεί. Η εταιρεία που δημιούργησε το σύστημα da Vinci έχει ήδη έτοιμο ένα τέτοιο πειραματικό σύστημα το οποίο δοκιμάζεται σε πειραματόζωα. Ενδέχεται μέσα στο επόμενο έτος το οπτικό

σύστημα να κυκλοφορήσει στην αγορά ώστε να ενσωματωθεί στα ήδη υπάρχοντα μηχανήματα [37].

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Έπειτα από την εκτενή μελέτη της ρομποτικής χειρουργικής στην παρούσα εργασία, διαπιστώνεται ότι η εφαρμογή των σύγχρονων ρομποτικών συστημάτων παρέχει ευκολία στη διένεξη των επεμβάσεων. Τέτοιου είδους επεμβάσεις δεν γίνονται με πρωτοβουλία του ίδιου του συστήματος αλλά σε συνεργασία με το χειρουργό, ο οποίος καθοδηγεί το ρομπότ.

Η επιστήμη της ρομποτικής συμβάλλει στη βελτίωση του τρόπου διεξαγωγής των επεμβάσεων προσφέροντας αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τον παραδοσιακό τρόπο. Τα πλεονεκτήματα από τις επεμβάσεις με το σύστημα da Vinci συνοψίζονται στα εξής: ελάχιστη απώλεια αίματος, λιγότερο πόνο, ταχύτερη ανάρρωση, καλύτερα αισθητικά αποτελέσματα, σημαντική μείωση του χρόνου παραμονής στο νοσοκομείο, μεγαλύτερη ακρίβεια στις χειρουργικές κινήσεις, τρισδιάστατη (3D) εικόνα του χειρουργικού πεδίου και ελαχιστοποίηση της πιθανότητας διεγχειρητικών και μετεγχειρητικών επιπλοκών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρά τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, το ρομποτικό σύστημα da Vinci έχει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα, το υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας καθώς και της χειρουργικής επέμβασης, το αυξημένο μέγεθος του ρομποτικού συστήματος και η μειωμένη αίσθηση αφής του γιατρού είναι μερικά από αυτά. Επιπλέον, η εφαρμογή του κρίνεται από την εμπιστοσύνη του ασθενούς να χειρουργηθεί από το ρομποτικό σύστημα.

Το μόνο σίγουρο είναι ότι η ρομποτική χειρουργική έχει να προσφέρει ακόμα περισσότερα στην επιστήμη της Ιατρικής τα επόμενα χρόνια.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. [http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics\\_pdf/intro.pdf](http://nereus.mech.ntua.gr/courses/robotics/robotics_pdf/intro.pdf), σημειώσεις που βασίστηκαν το βιβλίο “Modelling and Control of Robot Manipulators”, L.Sciavicco and B. Siciliano, Springer, 2000
2. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_1.html), §4.1
3. Νίκος Βλάσσης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης Πολυτεχνείο Κρήτης, Ρομποτική, 9<sup>ο</sup> Εξάμηνο ΜΠΔ, 2007: Παρουσίαση “Εισαγωγή στη Ρομποτική”
4. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_1.html), §1.3
5. <http://www.roboticsurgery.gr/History/History.htm>
6. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_1.html), §4.2
7. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_1.html), gr§4.1.1
8. [http://www.teiser.gr/icd/staff/fasoulas/PAROUSIASI\\_Rombotiki\\_xeirourgiki.pdf](http://www.teiser.gr/icd/staff/fasoulas/PAROUSIASI_Rombotiki_xeirourgiki.pdf)
9. <http://www.google.com>
10. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_1.html), §9.1
11. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_1.html), §9.2
12. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_1.html), §9.3

13. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_\\_\\_\\_\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_____1.html),  
§9.4
14. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_\\_\\_\\_\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_____1.html),  
§9.5
15. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_\\_\\_\\_\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_____1.html),  
§9.6
16. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_\\_\\_\\_\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_____1.html),  
§10.4
17. [http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr\\_\\_\\_\\_\\_1.html](http://www.biomed.ntua.gr/Delicate/LeonardoPubl/gr_____1.html),  
§8.1
18. [http://en.wikipedia.org/wiki/Future\\_of\\_robotics](http://en.wikipedia.org/wiki/Future_of_robotics)
19. [http://www.intuitivesurgical.com/Robotic-Assisted\\_Surgery.aspx](http://www.intuitivesurgical.com/Robotic-Assisted_Surgery.aspx)
20. <http://library.thinkquest.org/03oct/00760/index.htm>
21. *Sejal P. Dharia, M.D.(1) and Tommaso Falcone, M.D.(2)*, (1): Department of Obstetrics and Gynecology, University of Alabama at Birmingham, Birmingham, Alabama και (2) Department of Obstetrics and Gynecology, Cleveland Clinic Foundation, Cleveland, Ohio: **Robotics in reproductive medicine**
22. <http://users.softlab.ece.ntua.gr/~ktzaf/Courses/robotics-I.html>
23. [http://www.robolab.tuc.gr/GRPAGES/GR\\_TEACHING/GR\\_ROBOTIC\\_S.htm](http://www.robolab.tuc.gr/GRPAGES/GR_TEACHING/GR_ROBOTIC_S.htm)
24. [http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci\\_surgicalsystm/index.aspx](http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci_surgicalsystm/index.aspx)
25. [http://www.intuitivesurgical.com/products/endowrist\\_instruments/index.aspx](http://www.intuitivesurgical.com/products/endowrist_instruments/index.aspx)

26. [http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci\\_surgicalsystm/3d.aspx](http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci_surgicalsystm/3d.aspx)
27. [http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci\\_surgicalsystm/4th.aspx](http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci_surgicalsystm/4th.aspx)
28. <http://www.intuitivesurgical.com/products/davincissurgicalsystm/index.aspx>
29. [http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci\\_surgicalsystm/features\\_benefits.aspx](http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci_surgicalsystm/features_benefits.aspx)
30. <http://www.iatrikionline.gr/berzovitis/Neou/14.htm>
31. <http://e-physician.blogspot.com/>
32. [http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108\\_2005\\_Groups/04/davinci.html](http://biomed.brown.edu/Courses/BI108/BI108_2005_Groups/04/davinci.html)
33. [http://www.roboticsurgery.gr/The\\_Robot/Requirements.htm](http://www.roboticsurgery.gr/The_Robot/Requirements.htm)
34. Ashutosh Tewari, James Peabody, Richard Sarle, Guruswami Balakrishnan, Ashok Hemal, Alok Shrivastava, and Mani Menon: **Technique of *da Vinci* Robot-Assisted Anatomic Radical Prostatectomy,**
35. Young Tae Kim (1), Sang Wun Kim (1), Woo Jin Hyung (2), Soo Jin Lee (1), Eun Ji Nam (1), Woo Jung Lee (2), (1):Department of Obstetrics and Gynecology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea and (2):Department of Surgery, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea: **Robotic radical hysterectomy with pelvic lymphadenectomy for cervical carcinoma: A pilot study,** Received 26 July 2007
36. [http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci\\_surgicalsystm/index.aspx](http://www.intuitivesurgical.com/products/davinci_surgicalsystm/index.aspx), brochure: da Vinci Mitral Valve Repair
37. Εφημερίδα “Το Βήμα”, ένθετο “Βήμα Science”, Κυριακή 4 Νοεμβρίου 2007
38. [http://www.roboticsurgery.gr/The\\_Robot/DaVinci\\_in\\_Greece.htm](http://www.roboticsurgery.gr/The_Robot/DaVinci_in_Greece.htm)



39. [http://www.gomedica.org/robotic\\_surgery.htm](http://www.gomedica.org/robotic_surgery.htm)

Τα άρθρα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία προέρχονται από τις παρακάτω ιστοσελίδες:

<http://www.sciencedirect.com/>

<http://www.springerlink.com>