



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**«Χρήση των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων
στη ρομποτική χειρουργική»**

Εξαμηνιαία Εργασία

στο μάθημα «Εργαστήριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας»

των φοιτητών

Αλεξοπούλου Γεωργία, Α.Μ.:03120164

Λέκκας Ιωάννης, Α.Μ.: 03119436

Μπαλτά Αντωνία, Α.Μ.: 03120873

Μπουρνάκα Μαρκέλλα, Α.Μ.: 03120030

Διδάσκοντες: Γ. Ματσόπουλος, Κ. Σ. Νικήτα, Ο. Πετροπούλου, Ν. Μωραΐτης

Υπεύθυνη Εργασίας: Ολυμπία Γιαννακοπούλου

Αθήνα, Ιούνιος 2023

Περίληψη

Η ρομποτική χειρουργική έχει επωφεληθεί σημαντικά από τη χρήση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, προωθώντας έτσι την ανάπτυξη και την ενσωμάτωσή της στην ιατρική πρακτική. Ο ραγδαίος ρυθμός αύξησης των ρομποτικών επεμβάσεων τα τελευταία χρόνια οφείλεται στη βελτίωση των χαρακτηριστικών των συστημάτων. Σε αυτή την εργασία, εξετάζονται οι κύριοι τύποι συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που χρησιμοποιούνται σε χειρουργικές διαδικασίες.

Το πρώτο είδος είναι τα συστήματα πλοήγησης, τα οποία βοηθούν στον προσδιορισμό της θέσης και της πορείας του ρομπότ, παρέχοντας συνεχώς ανατομικές πληροφορίες στον χειρουργό. Αυτή η πληροφόρηση επιτρέπει στον εκάστοτε χειρουργό να λαμβάνει ακριβείς και ασφαλείς αποφάσεις κατά τη διάρκεια της επέμβασης.

Το δεύτερο είδος αφορά στα συστήματα απτικής ανατροφοδότησης, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παροχή οπτικής πληροφορίας στον χειρουργό. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την απεικόνιση και την αναγνώριση των ανατομικών δομών, ενώ ενίοτε μπορούν να προσφέρουν και ενισχυμένη προβολή, μείωση της δόσης ακτινοβολίας και βελτίωση της χειρουργικής ακρίβειας.

Συνοψίζοντας, η εφαρμογή συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική έχει επιτρέψει την ανάπτυξη προηγμένων εργαλείων και τεχνολογιών που βελτιώνουν την ακρίβεια, την ασφάλεια και τα αποτελέσματα των επεμβάσεων. Η συνεχής εξέλιξη αυτών των συστημάτων αναμένεται να συνεχίσει να ενισχύει τη ρομποτική χειρουργική και να προωθεί την ιατρική περαιτέρω, ανοίγοντας νέους ορίζοντες για την επίλυση πολύπλοκων ιατρικών προκλήσεων.

Λέξεις Κλειδιά

Robotics, Robotic Surgery, Decision Support System

Ρομποτική, Ρομποτική Χειρουργική, Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	6
1.1	Εισαγωγή στη Ρομποτική Χειρουργική.....	6
1.2	Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων	7
1.3	Συστήματα Πλοήγησης στη Ρομποτική Χειρουργική	9
1.4	Συστήματα Απτικής Ανατροφοδότησης στη Ρομποτική Χειρουργική	10
2	Συστήματα	12
2.1	Σύστημα Da Vinci.....	12
2.2	Πλατφόρμα SIMENDO VR.....	22
2.3	AccuVein AV400.....	27
2.4	Mazor X Stealth Edition (MXSE) System.....	29
2.5	HUGO Robotic-Assisted Surgery System.....	31
2.6	Mako Robotic-Arm Assisted Surgery	35
2.7	Medrobotics Flex Robotic System	38
2.8	Synaptive Modus V System.....	40
2.9	NAVIO Surgical System	43
2.10	ROSA Spine Robot	47
3	Αποτελέσματα	51
3.1	Σύγκριση αποτελεσμάτων παρεμφερών συστημάτων.....	51
3.2	Αποτελέσματα λοιπών συστημάτων	53
4	Επίλογος - Συμπεράσματα	56
4.1	Μελλοντικές επεκτάσεις.....	56
4.2	Επίλογος	58
5	Βιβλιογραφία	59

1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στη Ρομποτική Χειρουργική

Η ρομποτική χειρουργική αποτελεί μια εξελιγμένη μέθοδο χειρουργικής που συνδυάζει την παρέμβαση ενός ρομπότ με τις δεξιότητες και την επίβλεψη του χειρουργού. Αυτή η τεχνολογικά προηγμένη προσέγγιση έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιούνται οι χειρουργικές επεμβάσεις και έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε πολλούς τομείς της ιατρικής.

Η τεχνολογία που κρύβεται πίσω από τη ρομποτική χειρουργική περιλαμβάνει πολλά στοιχεία. Τα χειρουργικά ρομπότ είναι συστήματα που ελέγχονται από υπολογιστές και περιλαμβάνουν ρομποτικούς βραχίονες, που εξασφαλίζουν ακρίβεια και ευελιξία. Ο χειρουργός λειτουργεί το ρομπότ με τη χρήση ενός ειδικού χειριστηρίου και παρακολουθεί τη διαδικασία μέσω μιας οθόνης που εμφανίζει εικόνες υψηλής ανάλυσης. Η χρήση αυτών των ρομπότ επιτρέπει την εκτέλεση ακριβών και προσεκτικών χειρουργικών επεμβάσεων, με μικρότερες τομές, μείωση του αίματος που χάνεται, καθώς και του κινδύνου επιπλοκών[1].

Οι εφαρμογές της ρομποτικής χειρουργικής αξιοποιούνται από πολλούς τομείς της ιατρικής. Συχνά χρησιμοποιείται σε χειρουργικές επεμβάσεις όπου απαιτείται υψηλή ακρίβεια και λεπτομερής έλεγχος, όπως σε χειρουργεία καρκίνου, γαστρεντερικές, ουρολογικές και γυναικολογικές επεμβάσεις. Ωστόσο, η επέκταση της χρήσης της ρομποτικής χειρουργικής σε άλλες ειδικότητες είναι σε εξέλιξη[1].

Η ρομποτική χειρουργική έχει γνωρίσει μια σημαντική αύξηση στη χρήση της τα τελευταία χρόνια και έχει εξαπλωθεί σε πολλές χώρες παγκοσμίως. Οι κύριες χώρες που έχουν υιοθετήσει τη χρήση της περιλαμβάνουν τις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Γερμανία, την Ιαπωνία, την Κίνα και τη Νότια Κορέα. Αυτή η ραγδαία αυξανόμενη προτίμηση της ρομποτικής χειρουργικής, έναντι της παραδοσιακής, υποστηρίζεται σε μεγάλο βαθμό κι από τα αυξημένα ποσοστά επιτυχίας της πρώτης, σε σχέση με την εργονομία και την οικονομία χρόνου τόσο στη χειρουργική επέμβαση όσο και την ανάρρωση.

Συνολικά, η ρομποτική χειρουργική αντιπροσωπεύει μια εξέλιξη στην τεχνολογία και στην ιατρική πρακτική. Η συνδυασμένη δράση του ρομπότ και του χειρουργού επιτρέπει ακριβείς και ασφαλείς επεμβάσεις, βελτιώνοντας τα αποτελέσματα και την ανάρρωση των ασθενών. Η ρομποτική χειρουργική συνεχίζει να εξελίσσεται και να εφαρμόζεται σε όλο και περισσότερες παθήσεις και διαδικασίες, ανοίγοντας νέους ορίζοντες για την ιατρική πρακτική.

1.2 Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (DSS) είναι εργαλεία ή συστήματα λογισμικού σχεδιασμένα για να βοηθούν άτομα ή οργανισμούς στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. Ενσωματώνουν διάφορες πηγές πληροφοριών, αναλυτικά μοντέλα και αλγόριθμους με σκοπό την παροχή συστάσεων ή πληροφοριών που βοηθούν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Στο πλαίσιο της ρομποτικής χειρουργικής, τα DSS διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην υποβοήθηση των χειρουργών κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων[2].

Η ρομποτική χειρουργική περιλαμβάνει τη χρήση ρομποτικών συστημάτων για την εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων με αυξημένο έλεγχο. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων ενσωματώνονται σε αυτές τις ρομποτικές χειρουργικές πλατφόρμες για να προσφέρουν πολύτιμη καθοδήγηση και βοήθεια.

Οι τρόποι με τους οποίους τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων βοηθούν τους χειρουργούς στη ρομποτική χειρουργική ποικίλλουν. Αρχικά, όσον αφορά την προεγχειρητική φάση, τα DSS αναλύουν δεδομένα που αφορούν τον ασθενή και παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη χειρουργική διαδικασία, δίνοντας την δυνατότητα επανεξέτασης και προσομοίωσης διαφόρων σεναρίων πριν από την πραγματική επέμβαση, βελτιώνοντας την κατανόηση και τον προγραμματισμό τους.

Κατά τη διάρκεια των χειρουργικών επεμβάσεων, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων καθοδηγούν και ανατροφοδοτούν σε πραγματικό χρόνο στους χειρουργούς, τους προειδοποιούν για πιθανά προβλήματα και παρέχουν συστάσεις για τη βέλτιστη τοποθέτηση εργαλείων ή σημείων τομής. Επιπλέον, τα DSS επιτρέπουν τον έξυπνο έλεγχο των χειρουργικών οργάνων, μειώνοντας την πιθανότητα σφαλμάτων. Μπορούν να αντισταθμίσουν τον τρόπο του χεριού και να παρέχουν πρόσθετη σταθερότητα, καθιστώντας τους ελιγμούς των χειρουργών λεπτούς και με μεγαλύτερη ακρίβεια[2].

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων συγκεντρώνουν και παρουσιάζουν συναφείς πληροφορίες σχετικά με τη χειρουργική διαδικασία, όπως ιστορικά δεδομένα ασθενών, βοηθώντας τους χειρουργούς να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, βελτιώνοντας τελικά τα χειρουργικά αποτελέσματα. Τέλος, ορισμένα προηγμένα DSS αξιοποιούν αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για την ανάλυση ενός τεράστιου όγκου χειρουργικών δεδομένων για την πρόβλεψη αποτελεσμάτων και την αξιολόγηση κινδύνων, επιτρέποντας στους χειρουργούς να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για να προσαρμόσουν τις στρατηγικές τους.

Συνολικά, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική λειτουργούν ως ευφυείς βοηθοί, βοηθώντας τους χειρουργούς στη λήψη αποφάσεων και ενισχύοντας τις ικανότητές τους. Παρέχοντας καθοδήγηση σε πραγματικό χρόνο, σχετικές πληροφορίες και προγνωστικές γνώσεις, τα συστήματα αυτά συμβάλλουν στη βελτίωση της χειρουργικής ακρίβειας, της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας των ασθενών. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα DSS προορίζονται να ενισχύσουν τις δεξιότητες και την κρίση των χειρουργών και όχι να αντικαταστήσουν την τεχνογνωσία τους. Είναι εργαλεία που βοηθούν στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, αλλά η τελική ευθύνη και η εξουσία λήψης αποφάσεων εξακολουθούν να ανήκουν στον χειρουργό.

1.3 Συστήματα Πλοήγησης στη Ρομποτική Χειρουργική

Το σύστημα πλοήγησης προορίζεται για χειρουργικές επεμβάσεις και βοηθάει τους γιατρούς να εντοπίσουν τα ακριβή σημεία εντός του σώματος κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων. Χρησιμοποιώντας πληροφορίες εικόνας, δημιουργείται ένα εικονικό περιβάλλον (χάρτης) που παρέχει μια πλατφόρμα αξιολόγησης της θεραπείας για τους γιατρούς. Δημιουργείται μια εικονική 3D αναπαράσταση βασισμένη συνήθως σε CT ή σε MRI εικόνες του ασθενή. Τα κρίσιμα σημεία εντοπίζονται και επισημαίνονται μέσω εξαγωγής χαρακτηριστικών και αναγνώρισης προτύπων. Αυτό είναι ένα απαιτητικό αντικείμενο λόγω της πολυπλοκότητας της ανατομίας του ανθρώπου.. Συνεπώς, το σύστημα πρέπει να αναγνωρίζει σημαντικές βιολογικές οντότητες με βάση το χρώμα και να παρέχει πολυγωνική οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων[3].

Παράλληλα, για να παρέχεται μια εικονική πειραματική πλατφόρμα στους γιατρούς, απαιτείται η επικάλυψη εικονικών χειρουργικών εργαλείων σε αυτό το περιβάλλον. Αυτό επιτρέπει στους γιατρούς να χειρίζονται εικονικά χειρουργικά εργαλεία με μεγάλη ελευθερία κίνησης και να παρατηρούν από πολλαπλές γωνίες.

Για την προσομοίωση τρισδιάστατων ανθρώπινων οργάνων βασιζόμενοι στα συνολικά δεδομένα (CT scans), ανασκευάζεται ένα μοντέλο ανατομικής επιφάνειας χρησιμοποιώντας έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο ανακατασκευής 3D, όπως η ανακατασκευή βάσει περιγράμματος και η ανακατασκευή βάσει όγκου. Έχει αναπτυχθεί αυτό το σύστημα χρησιμοποιώντας λογισμικά όπως το Microsoft Visual C++.

Με τη βοήθεια του συστήματος πλοήγησης, ο γιατρός μπορεί να διαχειρίζεται τις εικόνες με διάφορες λειτουργίες, όπως μεγέθυνση, μετατόπιση, μέτρηση και σημείωση. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, ενώ ο γιατρός μετακινεί ένα εργαλείο μέσα στον ασθενή, το σύστημα υπολογίζει τη θέση του χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους και μεταφέρει αυτά τα δεδομένα σε μια οθόνη υπολογιστή. Ο υπολογιστής εμφανίζει τη θέση και την κατεύθυνση του εργαλείου σε πραγματικό χρόνο. Ως αποτέλεσμα, αποκτάται βελτιωμένη αντίληψη και χειρουργική ακρίβεια, καθώς και περισσότερη καθοδήγηση στην εκτέλεση σύνθετων διαδικασιών[3].

1.4 Συστήματα Απτικής Ανατροφοδότησης στη Ρομποτική Χειρουργική

Η έννοια της απτικής ανατροφοδότησης στα συστήματα ρομποτικής χειρουργικής αναφέρεται στη χρήση τεχνολογιών και αισθητήρων αφής για την ανίχνευση και την παρακολούθηση των κινήσεων και της δύναμης που ασκεί ο χειρουργός κατά τη διάρκεια της επέμβασης[4].

Τα συστήματα ρομποτικής χειρουργικής παρέχουν στους χειρουργούς οπτική σε τρεις διαστάσεις, αυξημένο εύρος κίνησης, φιλτράρισμα τρέμουλου και κλιμάκωση κίνησης, επιτρέποντάς τους να εκτελούν πολύπλοκες χειρουργικές εργασίες ακόμη και σε περιορισμένους χώρους. Ωστόσο, παρά τις εντυπωσιακές αυτές δυνατότητες, τα υπάρχοντα ρομποτικά συστήματα χειρουργικής πάσχουν από μια κρίσιμη περιοριστική παράμετρο - την έλλειψη απτικής ανατροφοδότησης[5].

Η αίσθηση της αφής διαδραματίζει κομβικό ρόλο στην εκτέλεση ευαίσθητων και περίπλοκων χειρουργικών εργασιών, ιδίως σε εξειδικευμένους τομείς όπως η καρδιακή χειρουργική. Για να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα, οι ερευνητές έχουν εξετάσει την έννοια της "αντικατάστασης αισθήσεων", η οποία περιλαμβάνει τη μεταφορά των εφαρμοζόμενων δυνάμεων στον χειρουργό μέσω οπτικών ή ακουστικών αναπαραστάσεων. Χρησιμοποιώντας εναλλακτικές αισθητηριακές μορφές, όπως οπτικές υποδείξεις ή ακουστικά σήματα, η αντικατάσταση αισθήσεων στοχεύει στο να παρέχει στους χειρουργούς την απαραίτητη απτική ανατροφοδότηση που απαιτείται για την εκτέλεση ευαίσθητων χειρουργικών κινήσεων με χρήση ρομποτικών τεχνικών[4].

Αρκετά συστήματα ρομποτικής χειρουργικής είναι πλέον εξοπλισμένα με αισθητήρες πίεσης και δύναμης που είναι ενσωματωμένοι στα εργαλεία του ρομπότ. Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της δύναμης που εφαρμόζεται στους ιστούς κατά τη διάρκεια χειρουργικών επεμβάσεων. Η ανάδραση πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας έτσι στους χειρουργούς να μετρήσουν με ακρίβεια την απόκριση των ιστών κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Ως αποτέλεσμα, αποκτάται βελτιωμένη αντίληψη και χειρουργική ακρίβεια, καθώς και μεγαλύτερη βεβαιότητα στην εκτέλεση σύνθετων διαδικασιών.

2

Συστήματα

2.1 Σύστημα Da Vinci

Σε πρώτο χρόνο, θα αναλύσουμε το VR σύστημα da Vinci και τις επεκτάσεις του στη ρομποτική χειρουργική, σε ότι αφορά τον προεγχειρητικό σχεδιασμό. Αν και χρησιμοποιείται κυρίως ως διεγχειρητικό εργαλείο, ορισμένες λειτουργίες του συστήματος da Vinci χρησιμοποιούνται για σκοπούς προεγχειρητικής προσομοίωσης. Θα αναφερθούμε συγκεκριμένα σε τρεις λειτουργίες-κλειδιά: εκπαίδευση κονσόλας, προσομοίωση εικονικής πραγματικότητας και προσομοίωση ειδικής διαδικασίας.

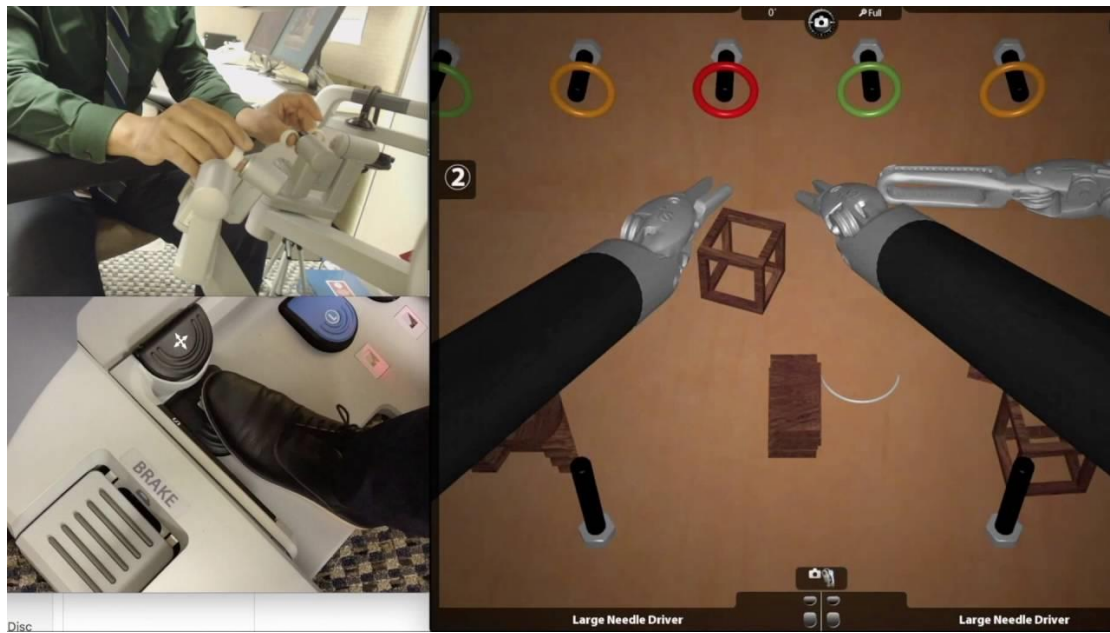
Το σύστημα da Vinci περιλαμβάνει μια κονσόλα, όπου ο χειρουργός κάθεται και χειρίζεται τους ρομποτικούς βραχίονες κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Πριν από τη διεξαγωγή ενός χειρουργείου, οι χειρουργοί μπορούν να υποβληθούν σε εκπαίδευση κονσόλας χρησιμοποιώντας το σύστημα. Αυτό περιλαμβάνει την εξάσκηση διαφόρων χειρουργικών εργασιών και ελιγμών σε ένα προσομοιωμένο περιβάλλον[6]. Η κονσόλα παρέχει μια τρισδιάστατη άποψη του χειρουργικού πεδίου, και επιτρέπει στους χειρουργούς να χειρίζονται εικονικά ρομποτικά όργανα. Αυτό τους δίνει τη δυνατότητα να εξοικειωθούν με τους ελέγχους και την εργονομία του συστήματος, βελτιώνοντας τις δεξιότητες και τις ικανότητές τους πριν εισέλθουν στο χειρουργείο.



Εικόνα 2.1.1 – Training Console: Surgical Simulation

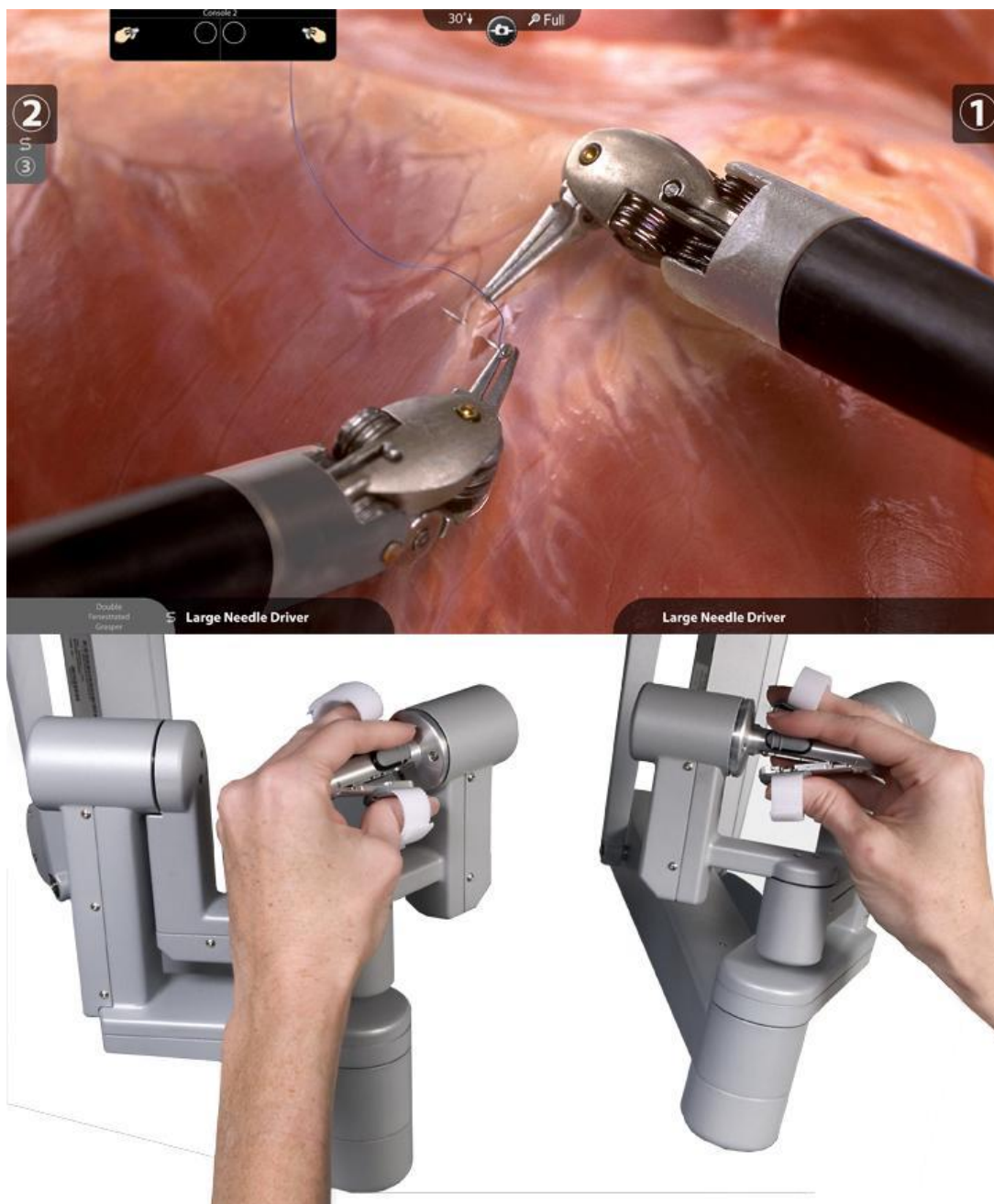
Το χειρουργικό σύστημα da Vinci έχει μια μοναδική διεπαφή ελέγχου που απαιτεί ένα ορισμένο επίπεδο δεξιοτήτων και επιδεξιότητας. Η εκπαίδευση στην κονσόλα επιτρέπει στους χειρουργούς να εξοικειωθούν με τα χειριστήρια του συστήματος, τον συντονισμό χεριού-ματιού και τον χειρισμό των οργάνων. Με εξάσκηση, οι χειρουργοί μπορούν να αναπτύξουν μυϊκή μνήμη και να ρυθμίσουν τις κινήσεις τους, οδηγώντας σε βελτιωμένο έλεγχο και ακρίβεια κατά τη διάρκεια πραγματικών χειρουργικών επεμβάσεων.

Εκτός από την εξοικείωση με τις κινήσεις, το σύστημα da Vinci προσφέρει μια τρισδιάστατη άποψη του χειρουργικού πεδίου, η οποία ενισχύει την αντίληψη του βάθους. Η εκπαίδευση στην κονσόλα επιτρέπει στους χειρουργούς να εξασκηθούν στην εργασία με τη στερεοσκοπική όραση του συστήματος, η οποία διαφέρει από την παραδοσιακή 2D προβολή. Αποκτώντας επάρκεια στην ερμηνεία της τρισδιάστατης οπτικής ανάδρασης, οι χειρουργοί μπορούν να κρίνουν με ακρίβεια τις αποστάσεις και τις χωρικές σχέσεις, βελτιώνοντας την ικανότητά τους να χειρίζονται όργανα και να εκτελούν λεπτούς χειρισμούς.



Εικόνα 2.1.2 – Using the robot surgery simulator

Αξίζει επίσης να αναφερθεί πως το σύστημα da Vinci χρησιμοποιεί τεχνολογία master-slave. Αυτό σημαίνει πως οι κινήσεις των χεριών του χειρουργού μεταφράζονται σε ακριβείς κινήσεις ρομποτικών οργάνων. Η εκπαίδευση κονσόλας βοηθά τους χειρουργούς να βελτιώσουν τον συντονισμό χεριού-ματιού τους, ασκώντας εργασίες που απαιτούν ακριβείς κινήσεις, όπως ραφή, ανατομή ιστού και δέσιμο κόμπων. Μέσω επαναλαμβανόμενης εκπαίδευσης, μπορούν να αναπτύξουν τις απαραίτητες κινητικές δεξιότητες για να εκτελούν σύνθετους χειρουργικούς ελιγμούς ομαλά και με ακρίβεια.

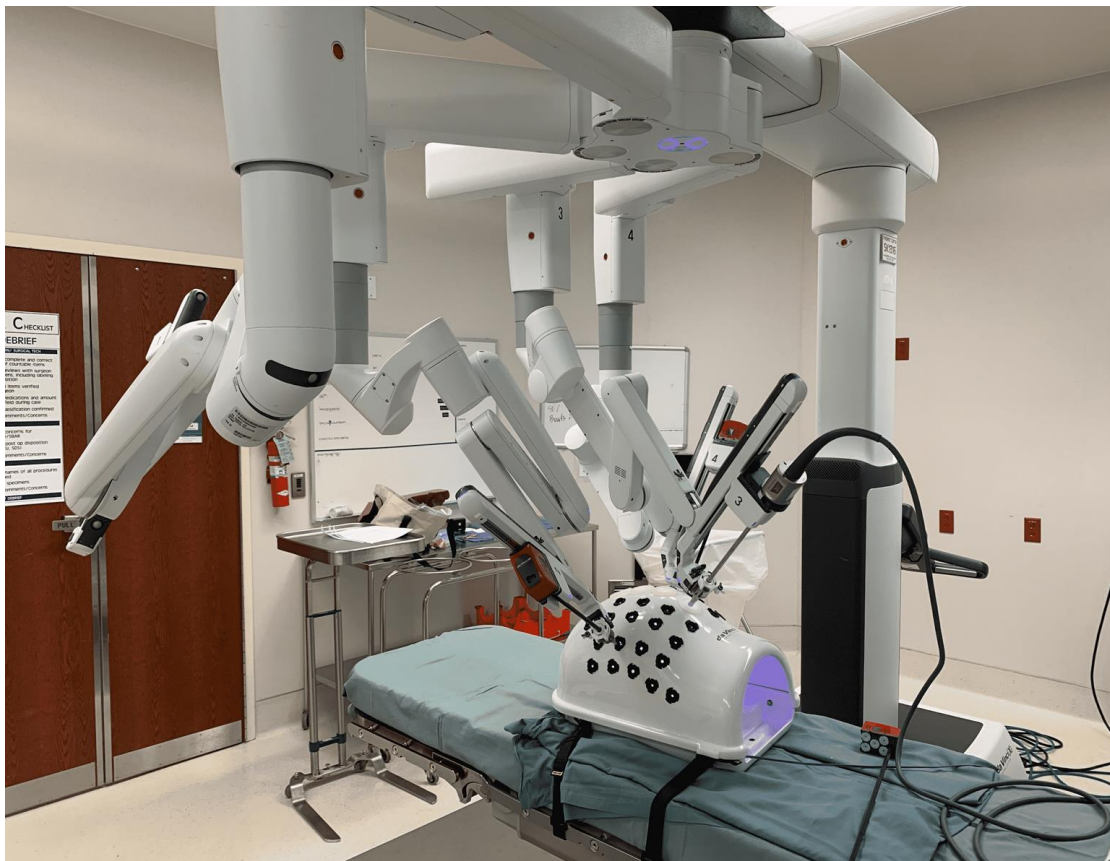


Εικόνα 2.1.3 - Motions of the hands are replicated

Ορισμένα μοντέλα του συστήματος da Vinci, όπως το da Vinci Skills Simulator, ενσωματώνουν δυνατότητες προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας. Οι χειρουργοί μπορούν να συμμετάσχουν σε προσομοιωμένα χειρουργικά σενάρια που αναπαράγουν τις πραγματικές διαδικασίες. Ο προσομοιωτής παρέχει ένα εικονικό περιβάλλον με ρεαλιστικές ανατομικές δομές και χειρουργικά εργαλεία. Οι χειρουργοί μπορούν να εκτελέσουν εργασίες όπως συρραφή, ανατομή ιστού και χειρισμό οργάνων

χρησιμοποιώντας τα εικονικά όργανα. Ο προσομοιωτής προσφέρει ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο, παρακολουθεί μετρήσεις απόδοσης και επιτρέπει την αντικειμενική αξιολόγηση και τη βελτίωση των χειρουργικών δεξιοτήτων.

Ακόμη πιο συγκεκριμένα, οι χειρουργοί μπορούν να αξιοποιήσουν τις δυνατότητες προσομοίωσης του συστήματος da Vinci για να εξασκήσουν συγκεκριμένες διαδικασίες. Για παράδειγμα, εάν ένας χειρουργός έχει προγραμματιστεί να πραγματοποιήσει μια ρομποτικά υποβοηθούμενη εγχείρηση στη θωρακική κοιλότητα, μπορεί να προσομοιώσει τη διαδικασία εκ των προτέρων[7]:



Εικόνα 2.1.4 - Da Vinci arm set-up in the Intuitive abdominal dome model: Arm 1 is stowed; the camera was placed on the center arm (Arm 3) with grasper on the left hand (Arm 2) and either monopolar scissors or needle driver on the right hand (Arm 4). [7]

Με την αλληλεπίδραση με την εικονική ανατομία του ασθενούς, την εξάσκηση στο χειρισμό των οργάνων και τον προγραμματισμό των χειρουργικών βημάτων, οι χειρουργοί μπορούν να αποκτήσουν εμπιστοσύνη και να βελτιστοποιήσουν την προσέγγισή τους. Αυτή η προσομοίωση επιτρέπει την προεγχειρητική οπτικοποίηση

και πρόβα, μειώνοντας πιθανώς τις διεγχειρητικές προκλήσεις και ενισχύοντας τα χειρουργικά αποτελέσματα.

Συνεπώς, η καλή γνώση χειρισμού του συστήματος da Vinci παρέχει ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον για τους χειρουργούς να εξασκήσουν τις δεξιότητές τους και να βελτιώσουν την επάρκειά τους. Οι χειρουργοί μπορούν να συμμετάσχουν σε σκόπιμη πρακτική, εστιάζοντας σε συγκεκριμένες εργασίες και δύσκολα σενάρια. Λαμβάνοντας άμεση ανατροφοδότηση κατά τη διάρκεια των εκπαιδευτικών συνεδριών, οι χειρουργοί μπορούν να εντοπίσουν τομείς για βελτίωση και να εργαστούν για τη βελτίωση της τεχνικής τους, οδηγώντας σε αυξημένη γνώση της ρομποτικής πλατφόρμας[8].

Η άλλη πτυχή στην οποία συμβάλλει η χρήση του συστήματος da Vinci στον προεγχειρητικό σχεδιασμό αφορά στην εργονομία και την ελαχιστοποίηση του χρόνου των χειρουργείων. Αφενός, η εκπαίδευση κονσόλας παρέχει μια ευκαιρία βελτιστοποίησης της εργονομικής ρύθμισης για κάθε χειρουργό ξεχωριστά. Οι χειρουργοί μπορούν να προσαρμόσουν τις ρυθμίσεις των εξαρτημάτων της κονσόλας, όπως είναι τα υποβραχίονια και τα πεντάλ ποδιών, για να εξασφαλίσουν μέγιστη άνεση και αποτελεσματικότητα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Αφετέρου, η εκπαίδευση μπορεί να βελτιώσει τη χειρουργική αποτελεσματικότητα εξοικειώνοντας τους χειρουργούς με τη ροή εργασίας και τα χειριστήρια των οργάνων. Η αυξημένη ικανότητα με τα ρομποτικά όργανα επιτρέπει την απρόσκοπτη ανταλλαγή οργάνων, τη βελτιωμένη επιδεξιότητα και την καλύτερη χρήση των χαρακτηριστικών του συστήματος. Τελικά, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερη διάρκεια χειρουργικής επέμβασης και δυνητικά βελτιωμένα αποτελέσματα.

Σε δεύτερο χρόνο, θα εξετάσουμε τη λειτουργία του χειρουργικού συστήματος da Vinci ως διεγχειρητικό εργαλείο. Στο διεγχειρητικό περιβάλλον, το σύστημα da Vinci χρησιμοποιείται από χειρουργούς για την εκτέλεση ακριβών και ελεγχόμενων χειρουργικών επεμβάσεων με ενισχυμένη οπτικοποίηση και επιδεξιότητα.

Πριν την έναρξη της εγχείρησης, ο ασθενής τοποθετείται στο χειρουργικό τραπέζι και οι ρομποτικοί βραχίονες του συστήματος da Vinci προσαρμόζονται στο καρότσι στην πλευρά του ασθενούς. Ο χειρουργός κάθεται στην κονσόλα, η οποία βρίσκεται μακριά από τον ασθενή, και εισάγει τα δάχτυλά του στα κύρια χειριστήρια, τα οποία αναπαράγουν τις κινήσεις τους με ακρίβεια[9]. Με την τοποθέτηση του

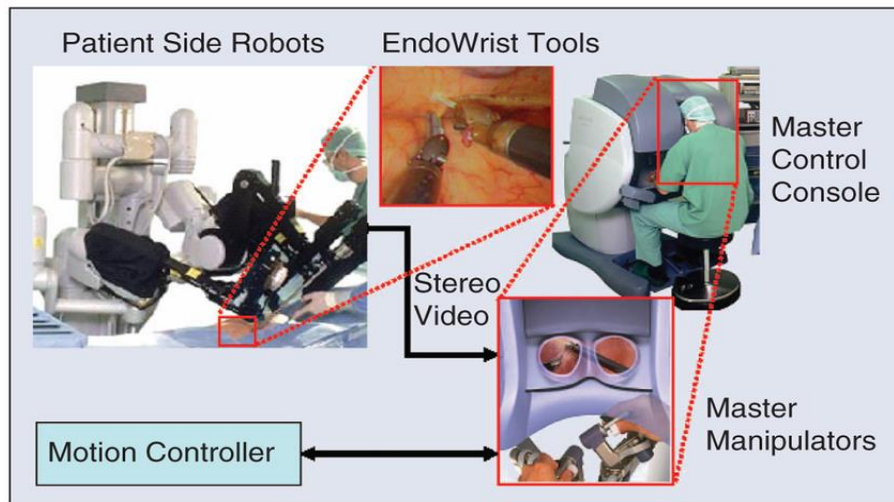
χειρουργού στην κονσόλα, η χειρουργική ομάδα εισάγει τα ρομποτικά όργανα μέσα μικρών τομών στο σώμα του ασθενούς. Αυτά τα όργανα περιλαμβάνουν έναν βραχίονα κάμερας και πολλαπλούς ρομποτικούς βραχίονες με εξειδικευμένα χειρουργικά εργαλεία, όπως ψαλίδι, λαβή και συσκευές ηλεκτροκαυτηριασμού. Πριν ξεκινήσει η διαδικασία, το σύστημα da Vinci βαθμονομείται για να διασφαλιστεί η ακρίβεια της κίνησης και της οπτικοποίησης του οργάνου.



Εικόνα 2.1.5 - da Vinci Surgical System Tools

Χρησιμοποιώντας τα κύρια χειριστήρια της κονσόλας, ο χειρουργός χειρίζεται τους ρομποτικούς βραχίονες και τα όργανα με εξαιρετική ακρίβεια. Οι κινήσεις των χεριών του χειρουργού μεταφράζονται σε ακριβείς και κλιμακωμένες κινήσεις των ρομποτικών οργάνων μέσα στο σώμα του ασθενούς. Ο χειρουργός βλέπει το σημείο της χειρουργικής επέμβασης μέσω της τρισδιάστατης οθόνης της κονσόλας, η οποία παρέχει μια μεγεθυμένη και εξαιρετικά λεπτομερή προβολή. Η τρισδιάστατη αυτή απεικόνιση είναι υψηλής ευκρίνειας, παρέχοντας στον χειρουργό μια βελτιωμένη άποψη του χειρουργικού πεδίου. Το σύστημα εξαλείφει επίσης τυχόν τρέμουλο στις κινήσεις των χεριών του, βελτιώνοντας τον έλεγχο των οργάνων και μειώνοντας τον κίνδυνο βλάβης των ιστών. Η ανατροφοδότηση της οπτικής πληροφορίας στον χειρουργό γίνεται σε πραγματικό χρόνο, συμπεριλαμβανομένης της ανάδρασης

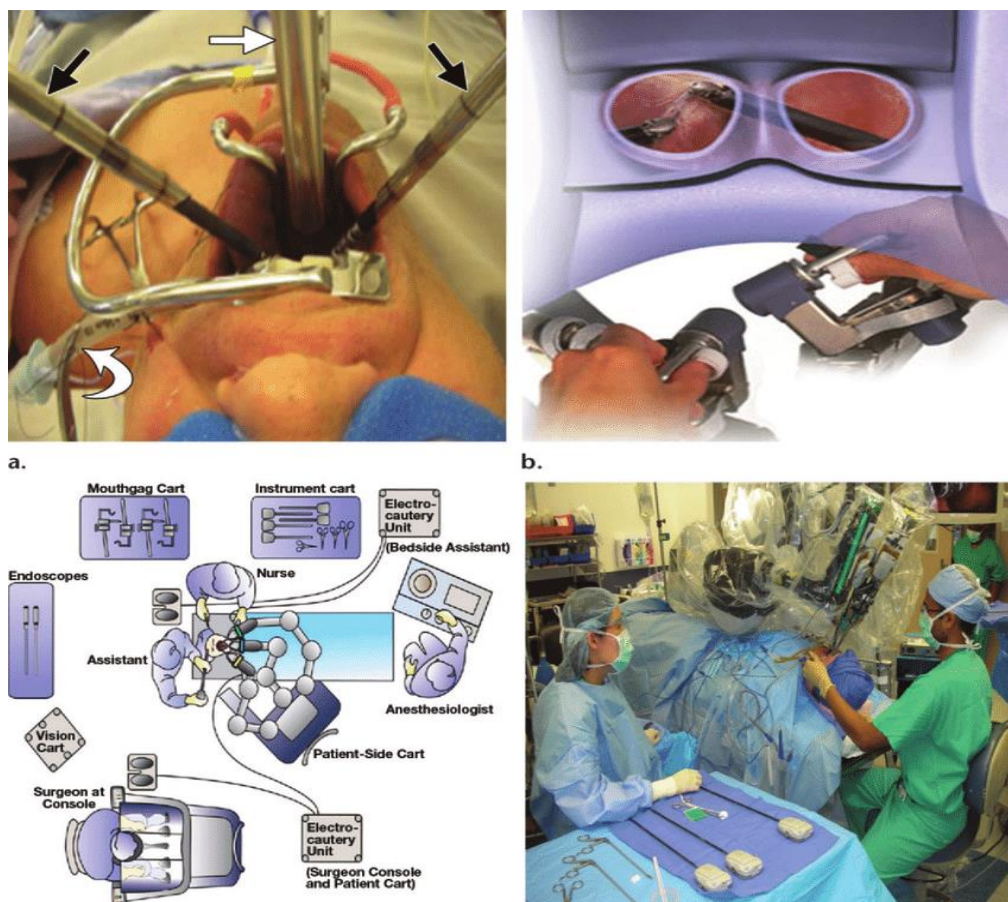
δύναμης και των απτικών αισθήσεων, μέσω των χειριστηρίων της κονσόλας. Μόλις ολοκληρωθεί η χειρουργική διαδικασία, αφαιρούνται τα ρομποτικά εργαλεία και γίνονται τα απαραίτητα κλεισίματα των τομών[10].



Εικόνα 2.1.6 - The da Vinci Surgical System (courtesy Intuitive Surgical, Inc.) [10]

Το χειρουργικό σύστημα da Vinci χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες χειρουργικές ειδικότητες, συμπεριλαμβανομένης της γυναικολογίας, της γενικής χειρουργικής και της θωρακικής χειρουργικής. Η προηγμένη ρομποτική τεχνολογία και ο ακριβής έλεγχος οργάνων το έχουν καταστήσει πολύτιμο εργαλείο για την εκτέλεση πολύπλοκων διαδικασιών με βελτιωμένη ακρίβεια και μειωμένη επεμβατικότητα[11].

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος στη ρομποτική χειρουργική άπτεται στο γεγονός πως λαμβάνει πληθώρα δεδομένων, τα οποία ανατροφοδοτεί ως έξοδο στον εκάστοτε χειριστή. Πιο συγκεκριμένα, οι κινήσεις των χεριών και των δακτύλων του χειρουργού εισάγονται στο σύστημα da Vinci μέσω της κύριας κονσόλας, όπου εξειδικευμένοι ελεγκτές τις μεταφράζουν σε ακριβείς κινήσεις ρομποτικών οργάνων. Το σύστημα επίσης παρέχει οπτική ανατροφοδότηση στον χειρουργό μέσω ενός συστήματος στερεοσκοπικής κάμερας τοποθετημένης σε ρομποτικούς βραχίονες. Χάρη σε αυτή καταγράφεται τρισδιάστατο βίντεο υψηλής ευκρίνειας του χειρουργικού πεδίου. Τέλος, οι ίδιοι οι βραχίονες του συστήματος διαθέτουν πρόσθετους αισθητήρες, όπως αισθητήρες δύναμης, που παρέχουν ανάδραση στις δυνάμεις που ασκούνται κατά τη διάρκεια της επέμβασης.



Εικόνα 2.1.7 - The da Vinci robotic system. (a) Intraoperative photograph of the manipulator unit shows a centrally located endoscope (straight white arrow) that is integrated to cameras and two laterally placed instrument arms (black arrows). The patient's mouth is held open with an FKWO retractor. (b) View from the surgeon's console. (c) Diagram illustrates the operating room setup for transoral robotic surgery. The anesthesiologist is positioned at the foot of the patient bed, and a surgeon assistant and scrub nurse sit near the head of the patient with the robotic manipulator unit. (d) Intraoperative photograph shows the operating room setup for a robotic-assisted lateral oropharyngectomy.

Τα παραπάνω καθιστούν δυνατή την άμεση παροχή δεδομένων εξόδου από το σύστημα da Vinci. Αρχικά, ο χειρουργός έχει στη διάθεσή του μια μεγεθυμένη, υψηλής ανάλυσης, στερεοσκοπική άποψη του χειρουργικού πεδίου. Αυτή η οπτική έξοδος τον βοηθά στην οπτικοποίηση των ανατομικών δομών, στην αναγνώριση των επιπέδων ιστού και στην εκτέλεση ακριβών ελιγμών. Αυτοί οι ελιγμοί και οι κινήσεις του χειρουργού μεταφράζονται σε ακριβείς, μειωμένες κινήσεις των ρομποτικών οργάνων. Οι ρομποτικοί βραχίονες μιμούνται τις ενέργειες του χειρουργού, επιτρέποντας αυξημένη ακρίβεια και εύρος κίνησης. Το σύστημα, ακόμη, μπορεί να παρέχει άμεση ανάδραση για διάφορες παραμέτρους, όπως δυνάμεις που ασκούνται από τα όργανα, θέση και προσανατολισμό του οργάνου και κατάσταση του συστήματος. Αυτή η

ανατροφοδότηση βοηθά τον χειρουργό να μετρήσει τον αντίκτυπο των ενεργειών του και να κάνει προσαρμογές όπως απαιτείται.

Το χειρουργικό σύστημα da Vinci, στο προεγχειρητικό στάδιο, αξιοποιεί δεδομένα τόσο οπτικά, όσο και κατά παραγγελία. Αρχικά, το σύστημα μπορεί να αξιοποιήσει οπτική πληροφορία από προηγούμενες χειρουργικές επεμβάσεις ή ακόμη και από τον προεγχειρητικό έλεγχο τους ασθενούς. Ακόμη, το σύστημα δέχεται πληροφορίες για τον ασθενή (ηλικία, φύλο, ιατρικό ιστορικό) αλλά και για την ίδια τη διαδικασία του χειρουργείου (χειρουργικές τεχνικές, εξοπλισμός χειρουργείου) γεγονός που επιτρέπει στον χειριστή να προσεγγίσει την πραγματικότητα σε όσο το δυνατόν καλύτερο βαθμό[12].

Όσον αφορά στην επεξεργασία των δεδομένων αυτών, το σύστημα da Vinci διαθέτει ενσωματωμένους αλγόριθμους προ-επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων, όπως οι αλγόριθμοι τμηματοποίησης εικόνας, 3D ανακατασκευής και παρακολούθησης οργάνων. Συγκεκριμένα για τους αλγόριθμους τμηματοποίησης της εικόνας, χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό ανατομικών δομών που λαμβάνονται από τα δεδομένα απεικόνισης και για την απομόνωση των δομών ενδιαφέροντος, όπως όργανα, αιμοφόρα αγγεία ή όγκους, για καλύτερη οπτικοποίηση και προεγχειρητικό σχεδιασμό. Οι αλγόριθμοι 3D ανακατασκευής εκτελούν την ανακατασκευή της ανατομίας του ασθενούς, μέσα των δεδομένων απεικόνισης και μέσω της ενοποίησης πολλαπλών 2D εικόνων προκειμένου να αναπαρασταθεί η εκάστοτε δομή σε 3D μορφή.

Όπως και στο προεγχειρητικό στάδιο, έτσι και στο διεγχειρητικό, τα αποτελέσματα του συστήματος da Vinci υποβάλλονται σε επεξεργασία με τη χρήση ορισμένων αλγορίθμων, με σκοπό τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας και τη βελτιστοποίηση των χειρουργικών αποτελεσμάτων. Η επεξεργασία εικόνας, η κλιμάκωση και φιλτράρισμα, η επεξεργασία δύναμης ανάδρασης είναι μερικές από τις λειτουργίες αυτών των αλγορίθμων.

Το χειρουργικό σύστημα da Vinci έχει επιδείξει αξιοσημείωτη αποτελεσματικότητα στο διεγχειρητικό στάδιο. Με την ενσωμάτωση της ρομποτικής τεχνολογίας, της προηγμένης απεικόνισης και του ακριβούς ελέγχου των οργάνων, το σύστημα ενισχύει τις ικανότητες ενός χειρουργού και του δίνει τη δυνατότητα να εκτελεί περίπλοκες διαδικασίες με εξαιρετική ακρίβεια.

2.2 Πλατφόρμα *SIMENDO VR*

Η πλατφόρμα *SIMENDO VR* είναι ένας χειρουργικός προσομοιωτής εικονικής πραγματικότητας που έχει σχεδιαστεί για προεγχειρητική προσομοίωση και εκπαίδευση σε λαπαροσκοπικές επεμβάσεις. Παρέχει στους χειρουργούς ένα ρεαλιστικό και καθηλωτικό περιβάλλον για να εξασκήσουν τις δεξιότητές τους και να βελτιώσουν την ικανότητά τους πριν από την πραγματοποίηση πραγματικών χειρουργικών επεμβάσεων. Ακολουθεί μια επισκόπηση του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιείται η πλατφόρμα *SIMENDO VR* για προεγχειρητική προσομοίωση.

Η πλατφόρμα *SIMENDO VR* δημιουργεί ένα εικονικό περιβάλλον που αναπαράγει τη ρύθμιση του χειρουργείου. Οι χειρουργοί φορούν ένα ακουστικό VR, το οποίο τους «εναποθέτει» σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον που προσομοιώνει τη χειρουργική επέμβαση. Το εικονικό περιβάλλον περιλαμβάνει λεπτομερή ανατομικά μοντέλα, χειρουργικά εργαλεία και άλλα σχετικά αντικείμενα που χρειάζονται για τη συγκεκριμένη διαδικασία.



Εικόνα 2.2.1 - SIMENDO VR Simulation Module

Για ενίσχυση του ρεαλισμού, η πλατφόρμα *SIMENDO VR* ενσωματώνει απτική ανάδραση. Αυτό επιτρέπει στον χειρουργό να αντιλαμβάνεται την αφή και την αντίσταση ενώ αλληλεπιδρά με το εικονικό περιβάλλον. Η οπτική ανάδραση παρέχεται

μέσω εξειδικευμένων ελεγκτών ή συσκευών ανατροφοδότησης που προσομοιώνουν τις απτικές αισθήσεις και τις δυνάμεις που βιώνονται κατά τη λαπαροσκοπική επέμβαση[13].



Εικόνα 2.2.2 - Tactile feedback [13]

Ο χειρουργός είναι σε θέση να χειριστεί εικονικά λαπαροσκοπικά όργανα μέσα στο περιβάλλον VR. Η πλατφόρμα SIMENDO VR υποστηρίζει διάφορα λαπαροσκοπικά όργανα, όπως λαβή, ψαλίδι και τροκάρ. Ο χειρουργός μπορεί να εξασκήσει τις ακριβείς κινήσεις που απαιτούνται για τις λαπαροσκοπικές επεμβάσεις, συμπεριλαμβανομένης της κοπής, της συρραφής και του χειρισμού των ιστών.

Επιπλέον, η πλατφόρμα SIMENDO VR προσφέρει μια σειρά από προφορτωμένες λαπαροσκοπικές επεμβάσεις από τις οποίες μπορούν να επιλέξουν οι χειρουργοί. Αυτές οι διαδικασίες καλύπτουν διαφορετικές πτυχές της λαπαροσκοπικής χειρουργικής, συμπεριλαμβανομένης της εκπαίδευσης βασικών δεξιοτήτων, ειδικών διαδικασιών (όπως χολοκυστεκτομή ή σκωληκοειδεκτομή) και πολύπλοκων σεναρίων. Οι χειρουργοί μπορούν να επιλέξουν τη διαδικασία που θέλουν να ασκήσουν και να επικεντρωθούν σε συγκεκριμένες δεξιότητες ή τεχνικές[14].

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, η πλατφόρμα παρέχει μετρήσεις απόδοσης σε πραγματικό χρόνο και ανατροφοδότηση στον χειρουργό. Αυτές οι μετρήσεις αξιολογούν διάφορες πτυχές της χειρουργικής απόδοσης, όπως ο χρόνος που απαιτείται, η ακρίβεια των κινήσεων, ο χειρισμός των οργάνων και ο χειρισμός των

ιστών. Η ανατροφοδότηση βοηθά τους χειρουργούς να εντοπίσουν τομείς προς βελτίωση και να παρακολουθούν την πρόοδό τους με την πάροδο του χρόνου[15].

Η πλατφόρμα SIMENDO VR επιτρέπει ακόμη την προσαρμογή και τη δημιουργία σεναρίων. Οι χειρουργοί και οι εκπαιδευτικοί μπορούν να σχεδιάσουν τα δικά τους σενάρια ή να τροποποιήσουν τα υπάρχοντα, ώστε να ταιριάζουν με τους εκπαιδευτικούς τους στόχους. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει εξατομικευμένες εκπαιδευτικές εμπειρίες για συγκεκριμένες διαδικασίες, επίπεδα δεξιοτήτων ή περιπτώσεις ασθενών. Για τον σκοπό αυτό, στην πλατφόρμα περιλαμβάνεται συχνά ένα δομημένο εκπαιδευτικό πρόγραμμα που καθοδηγεί τους χειρουργούς σε προοδευτικά επίπεδα δυσκολίας και πολυπλοκότητας. Το πρόγραμμα σπουδών βοηθά τους χειρουργούς να αναπτύξουν τις λαπαροσκοπικές τους δεξιότητες βήμα προς βήμα, διασφαλίζοντας μια ολοκληρωμένη και συστηματική προσέγγιση στην εκπαίδευση.



Εικόνα 2.2.3 - The SIMENDO, a VR trainer produced by DeltaTech

Το πρόγραμμα καταγράφει δεδομένα κατά τη διάρκεια κάθε συνεδρίας προσομοίωσης, συμπεριλαμβανομένων των κινήσεων του χειρουργού, των αλληλεπιδράσεων των οργάνων και των μετρήσεων απόδοσης. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν για να παρέχουν αντικειμενικές αξιολογήσεις της απόδοσης του χειρουργού, να εντοπίσουν τομείς βελτίωσης και να παρακολουθήσουν την πρόοδο με την πάροδο του χρόνου.

Η πλατφόρμα SIMENDO VR αξιοποιεί πληθώρα δεδομένων με σκοπό την παραγωγή όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικής προσομοίωσης. Τα δεδομένα εισαγωγής αφορούν τον ίδιο τον χρήστη, καθώς αφορούν στην ανατομία του χεριού του και μεταφράζονται σε χειρισμό εικονικών οργάνων εντός του προσομοιωμένου περιβάλλοντος. Αφορούν, ωστόσο, και στην απτική ανάδραση, καθώς ο προσομοιωτής μπορεί να ενσωματώνει απτικές συσκευές ή διεπαφές αναγκαστικής ανάδρασης για την παροχή απτικής πληροφορίας στον χρήστη, προσομοιώνοντας την αίσθηση της αλληλεπίδρασης με εικονικούς ιστούς και όργανα. Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις, δεδομένα απεικόνισης όπως αξονικές τομογραφίες ή μαγνητικές τομογραφίες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ανατομικών μοντέλων, ειδικά για τον ασθενή. Ωστόσο, είναι άξιο αναφοράς ότι το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων SIMENDO VR εστιάζει κυρίως στην εκπαίδευση και την αξιολόγηση των χειρουργικών δεξιοτήτων και όχι στις διαδικασίες που αφορούν τον ασθενή[14].

Σε ότι αφορά τα αποτελέσματα του προσομοιωτή, παρέχει πληθώρα δεδομένων εξόδου, τα οποία αφορούν σε μετρήσεις απόδοσης και σε εικονική οπτικοποίηση. Από τη μία, ο προσομοιωτής παρέχει ποσοτική και ποιοτική ανατροφοδότηση σχετικά με την απόδοση του χρήστη, συμπεριλαμβανομένων μετρήσεων όπως ο χρόνος, η ακρίβεια και η ικανότητα σε συγκεκριμένες χειρουργικές εργασίες ή διαδικασίες. Αυτές οι μετρήσεις βοηθούν στην αξιολόγηση του επιπέδου δεξιοτήτων και της προόδου του χρήστη με την πάροδο του χρόνου. Από την άλλη, το σύστημα παρέχει οπτική ανατροφοδότηση στον χρήστη, εμφανίζοντας τη λαπαροσκοπική άποψη του εικονικού χειρουργικού περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των ανατομικών δομών, των εικονικών οργάνων και των προσομοιωμένων αλληλεπιδράσεων ιστού. Τα γραφικά στοχεύουν να αναπαράγουν την πραγματική λαπαροσκοπική εμπειρία.

Η πλατφόρμα SIMENDO VR δεν ανακοινώνει τους αλγορίθμους επεξεργασίας δεδομένων που αξιοποιεί, τα βήματα προεπεξεργασίας χρησιμοποιούνται συνήθως σε

λαπαροσκοπικούς χειρουργικούς προσομοιωτές για να βελτιώσουν τον ρεαλισμό και την ακρίβεια της προσομοίωσης. Στα κοινά βήματα και τους αλγόριθμους περιλαμβάνονται η τμηματοποίηση της εικόνας, οι αλγόριθμοι δυναμικής ανάδρασης και οι αλγόριθμοι αξιολόγησης απόδοσης. Καταρχάς, όταν χρησιμοποιούνται δεδομένα απεικόνισης ειδικά για τον ασθενή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι τμηματοποίησης εικόνας για την εξαγωγή σχετικών ανατομικών δομών και τη δημιουργία ακριβών 3D μοντέλων για προσομοίωση. Έπειτα, για τη δημιουργία απτικής ανάδρασης, χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι ανάδρασης δύναμης για τον υπολογισμό και τη μετάδοση ρεαλιστικών δυνάμεων στον χρήστη, επιτρέποντάς του να αισθάνεται την αντίσταση και την αλληλεπίδραση με εικονικούς ιστούς και όργανα. Τέλος, για την αξιολόγηση της απόδοσης του χρήστη, χρησιμοποιούνται διάφοροι αλγόριθμοι αξιολόγησης για την ανάλυση των κινήσεων του χρήστη, του χρόνου που απαιτείται, της ακρίβειας και άλλων μετρήσεων απόδοσης. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να κυμαίνονται από βασικούς υπολογισμούς έσω πιο εξελιγμένες προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης.

Χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα SIMENDO VR για προεγχειρητική προσομοίωση, οι χειρουργοί μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμη πρακτική εμπειρία, να βελτιώσουν τις λαπαροσκοπικές δεξιότητές τους και να βελτιώσουν τη χειρουργική τους επάρκεια πριν εισέλθουν στο χειρουργείο. Αυτό το καθηλωτικό και ρεαλιστικό περιβάλλον εκπαίδευσης συμβάλλει στη βελτίωση της ασφάλειας και των αποτελεσμάτων των ασθενών μειώνοντας την καμπύλη μάθησης που σχετίζεται με τις λαπαροσκοπικές διαδικασίες[13].

2.3 AccuVein AV400

Το AccuVein AV400 δεν χρησιμοποιείται κυρίως για προεγχειρητική προσομοίωση. Είναι μια ιατρική συσκευή που χρησιμοποιεί τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας (AR) για να βοηθήσει τους επαγγελματίες υγείας στον εντοπισμό και την οπτικοποίηση των φλεβών για την ενδοφλέβια (IV) τοποθέτηση καθετήρα[16].

Το AccuVein AV400 αποτελείται από μια φορητή συσκευή που προβάλλει ένα μοτίβο εγγύς υπέρυθρου φωτός στο δέρμα του ασθενούς. Αυτό το φως απορροφάται από το αποξυγονωμένο αίμα, ενώ ανακλάται από τους περιβάλλοντες ιστούς. Η συσκευή συλλαμβάνει το ανακλώμενο φως και το επεξεργάζεται για να δημιουργήσει μια εικόνα σε πραγματικό χρόνο των φλεβών κάτω από το δέρμα. Η εικόνα που προκύπτει εμφανίζεται στη συνέχεια στην οθόνη της συσκευής, παρέχοντας έναν οπτικό χάρτη των φλεβών του ασθενούς.

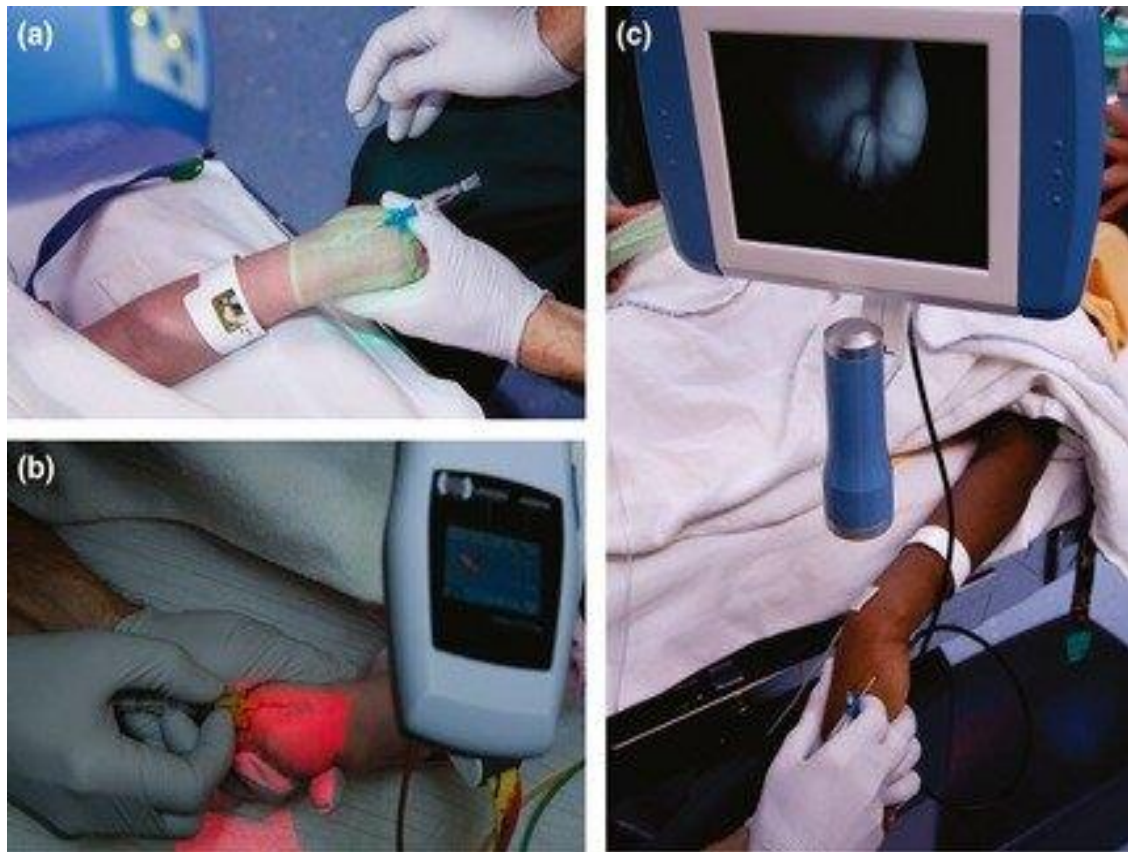


Εικόνα 2.3.1 - The AccuVein AV400 device uses red and infrared reflection to detect the haemoglobin in the vessels

Η συσκευή βοηθά τους επαγγελματίες υγείας, όπως νοσηλευτές ή φλεβοτόμους, να εντοπίσουν τη βέλτιστη θέση εισαγωγής για έναν IV καθετήρα. Εμφανίζοντας τις φλέβες σε πραγματικό χρόνο, το AccuVein AV400 επιτρέπει στους επαγγελματίες

υγείας να εντοπίσουν και να αξιολογήσουν το βάθος, το μέγεθος και την τροχιά των φλεβών πριν την εισαγωγή της βελόνας. Αυτό ενισχύει το ποσοστό επιτυχίας της φλεβοκέντησης, μειώνει τη δυσφορία του ασθενούς και ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο επιπλοκών που σχετίζονται με την εισαγωγή πολλαπλών βελόνων.

Ενώ το AccuVein AV400 δεν έχει σχεδιαστεί κυρίως για προεγχειρητική χειρουργική προσομοίωση, μπορεί να βοηθήσει στην προεγχειρητική διαδικασία προετοιμασίας βοηθώντας στον εντοπισμό κατάλληλων φλεβών για IV πρόσβαση. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου οι ασθενείς έχουν δύσκολη φλεβική πρόσβαση λόγω παραγόντων όπως η παχυσαρκία, η σκούρα μελάγχρωση του δέρματος ή η δύσκολη αγγειακή ανατομία[17].



Εικόνα 2.3.2 - (a) VeinViewer in use, using reflection of near-infrared light, projecting an image of vessels in green on the skin. (b) AccuVein in use, using reflection of near-infrared laser light, projecting a red image with vessels in black on the skin. (c) VascuLuminator, using transillumination of near-infrared light, projecting an image of vessels in black on the display shown. The near-infrared light source (light emitting diode) is placed underneath the hand.

Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και άλλες αποκλειστικές πλατφόρμες και συστήματα ειδικά σχεδιασμένα για προεγχειρητική χειρουργική προσομοίωση, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, όπως οι χειρουργικοί προσομοιωτές εικονικής πραγματικότητας (VR) ή επαυξημένης πραγματικότητας (AR). Αυτά τα συστήματα παρέχουν ολοκληρωμένα περιβάλλοντα εκπαίδευσης για τους χειρουργούς ώστε να εξασκήσουν τις δεξιότητες και τις τεχνικές τους πριν πραγματοποιήσουν πραγματικές χειρουργικές επεμβάσεις.

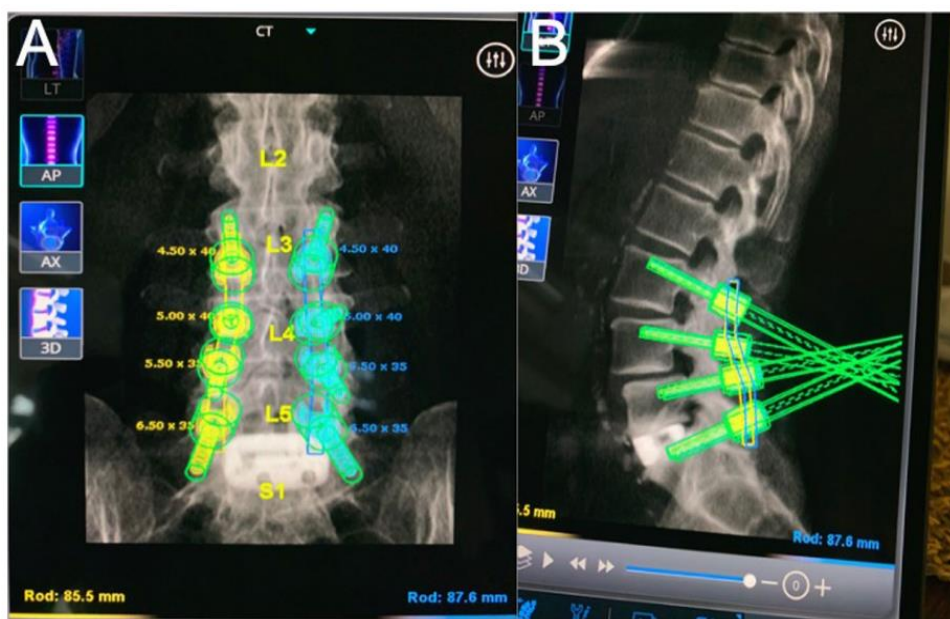
2.4 Mazor X Stealth Edition (MXSE) System

Η Mazor Robotics ανέπτυξε από το 2001 ένα ρομπότ που τοποθετούνταν στη σπονδυλική στήλη και μπορούσε να υποστηρίξει την τοποθέτηση χειρουργικών βιδών. Το 2004, η πρώτη γενιά αυτής της τεχνολογίας, με την ονομασία Spine Assist, έλαβε έγκριση από τον FDA για κλινική χρήση. Αυτό το χειρουργικό ρομπότ υποβοήθησης ήταν μικρό και τοποθετούνταν στη σπονδυλική στήλη με έναν προσαρτημένο βραχίονα που είχε έξι βαθμούς ελευθερίας, ο οποίος καθοδηγούσε την πορεία της τοποθέτησης βιδών, και κατ'επέκταση όλης της εργαλειοθήτησης. Το Mazor Robotics κυκλοφόρησε τη δεύτερη γενιά, με την ονομασία Renaissance, το 2011 και ακολούθησε με την κυκλοφορία της τρίτης γενιάς, το Mazor X, το 2016. Η πιο πρόσφατη έκδοση χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τον Ιανουάριο του 2019 και συνδυάζει την πλοήγηση και τη ρομποτική σε μια μόνο πλατφόρμα που ονομάζεται Mazor X Stealth Edition (MXSE). Τα ρομποτικά συστήματα της Mazor είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα σπονδυλικά ρομπότ στις Ηνωμένες Πολιτείες και παγκοσμίως. Σύμφωνα με δεδομένα μέχρι το 2018, αυτά τα ρομποτικά συστήματα χρησιμοποιούνταν σε περισσότερα από 250 κέντρα σε 40 χώρες παγκοσμίως[18].

Η χρήση του Mazor X ως σύστημα ρομποτικής υποστήριξης αποτελεί ένα παράδειγμα λήψης αποφάσεων που υποστηρίζεται από το σύστημα, στο πλαίσιο της χειρουργικής ρομποτικής. Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται τόσο στον

σχεδιασμό όσο και στην καθοδήγηση του χειρουργού κατά την τοποθέτηση των ορθοπεδικών βιδών. Η σύνδεση του συστήματος με την ανθρώπινη ανατομία γίνεται μέσω ενός προσαρτημένου βραχίονα με 6 βαθμούς ελευθερίας, ο οποίος προσαρμόζεται στην πλάτη του ασθενούς και παρέχει την ακριβή πορεία για την τοποθέτηση των βιδών και είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να παρέχει στον χειρουργό μεγάλη ευελιξία κατά την επέμβαση. Η κίνηση του βραχίονα μπορεί να ρυθμιστεί με ακρίβεια και να περιοριστεί στην επιθυμητή τροχιά. Επιπλέον, το σύστημα παρέχει αντίσταση στις κινήσεις του χειρουργού, προστατεύοντας έτσι από πιθανούς ανεπιθύμητους κραδασμούς και κινήσεις[18].

Ο σχεδιασμός της επέμβασης είναι ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ρομποτικής υποβοήθησης στη χειρουργική της σπονδυλικής στήλης. Το σύστημα επιτρέπει στον χειρουργό να σχεδιάσει εκ των προτέρων την πλοήγηση βάσει εικόνων CT, με προηγμένες τεχνικές μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης. Με τη χρήση λογισμικού για τον προεγχειρητικό σχεδιασμό βασισμένο σε απεικονιστικές μεθόδους, οι χειρουργοί μπορούν να προγραμματίσουν την τροχιά, τη διάμετρο και το μήκος των βιδών. Αυτή η προετοιμασία αποσκοπεί στη βέλτιστη τοποθέτηση των βιδών, ώστε να μειωθεί το μέγεθος της τομής του δέρματος και της διόγκωσης και να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή επεμβατικότητα, ενισχύοντας την αποδοτικότητα της διαδικασίας[19].



Εικόνα 2.4.2 - Position of medical screws as proposed by the MXSE system [18]

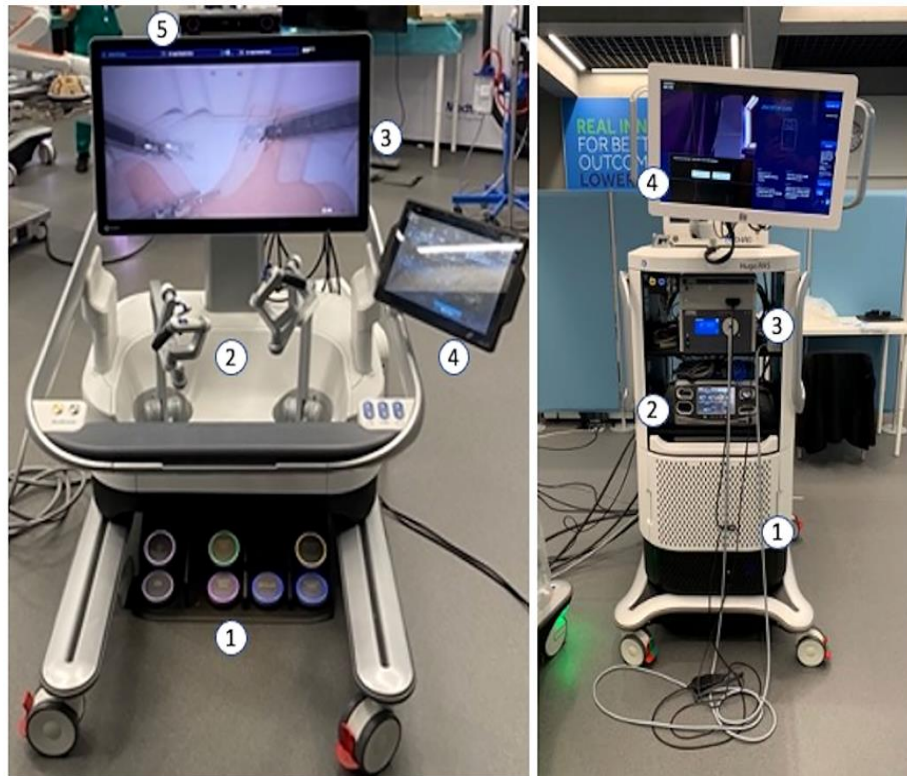
Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, ο χειρουργός ακολουθεί την προγραμματισμένη τροχιά και τοποθετεί τις βίδες μέσω του ρομποτικού βραχίονα. Η πλοήγηση και ο έλεγχος της διαδικασίας γίνονται με τη βοήθεια εικόνων υπερηχογραφίας ή ακτινογραφίας που παρέχουν συνεχή οπτική ανατροφοδότηση μέσω οθόνης και οδηγίες για την τοποθέτηση των βιδών με υψηλή ακρίβεια και ασφάλεια[19].

Στο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων Mazor X, ο χειρουργός εισάγει δεδομένα όπως ακτινογραφίες, απεικονίσεις μαγνητικής τομογραφίας (MRI) και άλλες εικόνες ανατομίας του ασθενούς. Αυτές οι εικόνες μπορούν να περιλαμβάνουν ανατομικά σημεία, όπως οστά, μυϊκούς ιστούς και νεύρα, και με τη βοήθεια του συστήματος Mazor X προεπεξεργάζονται για να αποκτήσουν υψηλότερη ευκρίνεια (μείωση θορύβου) και να είναι πιο ευανάγνωστες για τον χειρουργό. Ως αποτέλεσμα, παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ανατομία του ασθενούς, όπως η θέση και η μορφολογία των οστών, οι διαστάσεις και οι γωνίες των δομών, καθώς και η παθολογία ή οποιεσδήποτε ανωμαλίες παρατηρούνται. Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν τον χειρουργό να αξιολογήσει την κατάσταση του ασθενούς και να καθορίσει τον καλύτερο τρόπο για την εκτέλεση της χειρουργικής επέμβασης.

2.5 HUGO Robotic-Assisted Surgery System

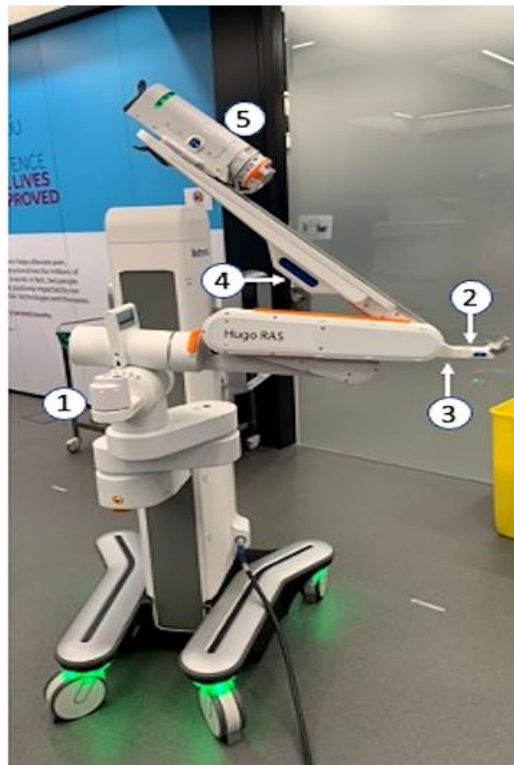
Το HUGO RAS είναι ένα προηγμένο ρομποτικό σύστημα που παρέχει υποστήριξη αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική, κυρίως για επεμβάσεις στην πυελική - κοιλιακή χώρα. Αυτό το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να βοηθήσει τους χειρουργούς να προετοιμάζουν, να προγραμματίζουν και να εκτελούν επεμβάσεις με ακρίβεια και αποδοτικότητα. Αποτελείται από μια ανοικτή χειρουργική κονσόλα, μια HD-3D παθητική οθόνη, έναν πύργο συστήματος και τέσσερα καρότσια ρομποτικών βραχιόνων. Κάθε ρομποτικός βραχίονας είναι εξοπλισμένος με πολλές αρθρώσεις και

μπορεί να κινηθεί ανεξάρτητα, παρέχοντας έτσι ένα ευρύ φάσμα προσαρμοστικότητας και ευελιξίας[20].



Εικόνα 2.5.1 – 1: Pedal unit; 2: Pistol Grip Manipulators; 3: 3D–HD monitor; 4: Surgeon Interactive Display; 5: Head Tracking System. [20]

Εικόνα 2.5.2 – 1: Computers and power management; 2: Electrosurgical generator; 3: Vision System; 4: 2D Touchscreen Monitor. [20]



Εικόνα 2.5.3 – 1: Laser Alignment Unit; 2: Position Button; 3: Tilt Button; 4: Elbow Button; 5: Fulcrum Handle; 6: Instrument Drive Unit. [20]

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος είναι η δυνατότητα προγραμματισμού και προετοιμασίας των επεμβάσεων πριν από την πραγματική εκτέλεσή τους. Ο χειρουργός μπορεί να εισάγει τα δεδομένα του ασθενούς, να διαγνώσει την πάθηση, να σχεδιάσει την κατάλληλη προσέγγιση και στρατηγική για την επέμβαση και να αξιολογήσει διάφορα πιθανά σενάρια. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν τα προηγούμενα ιατρικά ιστορικά του ασθενούς, την περιγραφή της κατάστασης του ασθενούς, τα αποτελέσματα εξετάσεων και εικόνων (όπως ακτινογραφίες, αξονική τομογραφία, μαγνητική τομογραφία), και οποιεσδήποτε άλλες πληροφορίες που μπορούν να επηρεάσουν τη διαδικασία της επέμβασης. Το σύστημα μπορεί να προσομοιώσει την επέμβαση, δίνοντας έτσι οδηγίες για την κατάλληλη τοποθέτηση των ρομποτικών βραχιόνων και των εργαλείων[20].

Τα δεδομένα που εισάγονται στο σύστημα HUGO RAS συνήθως απαιτούν προεπεξεργασία προτού χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη της χειρουργικής επέμβασης. Σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα περιλαμβάνουν εικόνες, μπορεί να εφαρμοστούν τεχνικές φιλτραρίσματος και επεξεργασίας για τη βελτίωση της

ποιότητας της εικόνας, τη μείωση του θορύβου και την επισήμανση σημαντικών χαρακτηριστικών. Επίσης, ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων, μπορεί να πραγματοποιηθεί εξαγωγή σημαντικών χαρακτηριστικών από τα δεδομένα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την εξαγωγή γεωμετρικών παραμέτρων, την ανίχνευση ανωμαλιών ή παθήσεων, και την καταγραφή χαρακτηριστικών που είναι σημαντικά για τη συγκεκριμένη χειρουργική επέμβαση. Τέλος, τα δεδομένα μπορούν να υποβληθούν σε ανάλυση για την αναγνώριση προτύπων, την κατηγοριοποίηση ή την πρόβλεψη αποτελεσμάτων. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τον χειρουργό στη λήψη αποφάσεων και την αξιολόγηση των εναλλακτικών επιλογών κατά τη διάρκεια της χειρουργικής διαδικασίας.

Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, το σύστημα μπορεί να προσφέρει πρακτική υποστήριξη στον χειρουργό. Μέσω της ανάλυσης πραγματικού χρόνου των δεδομένων από τις ειδικές κάμερες και αισθητήρες και των προηγμένων αλγορίθμων και της τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται, το σύστημα μπορεί να δίνει οδηγίες για τη βέλτιστη κίνηση των βραχιόνων, την αποφυγή εμποδίων και την αυτόματη ρύθμιση της τάσης των εργαλείων. Αυτό βοηθά τον χειρουργό να επιτύχει μεγαλύτερη ακρίβεια και αποδοτικότητα στην επέμβαση., το σύστημα είναι σε θέση να αναλύει δεδομένα και να παρέχει συγκεκριμένες πληροφορίες και συμβουλές στον χειρουργό[21].

Το σύστημα επιτρέπει στον χειρουργό να λειτουργεί από τη χειρουργική κονσόλα, η οποία περιλαμβάνει μια παθητική HD-3D οθόνη και πολλαπλές λειτουργίες ελέγχου. Οι χειρουργικοί βραχίονες ελέγχονται από τον χειρουργό μέσω ειδικών χειριστηρίων, ενώ η κίνηση των βραχιόνων εντοπίζεται από ένα σύστημα ανίχνευσης κεφαλής που συνδέεται με την οθόνη. Η χειρουργική κονσόλα επιτρέπει επίσης την ανάθεση των εργαλείων στα δεξί/αριστερά χέρια, την κλιμάκωση της κίνησης, καθώς και την επιλογή οπτικών φίλτρων και περιστροφής της κάμερας[21].

Οι δυνατότητες υποστήριξης αποφάσεων του συστήματος HUGO RAS είναι δυνατές χάρη στους προηγμένους αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να ερμηνεύουν τα δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης και να παράγουν πολύτιμες γνώσεις και συστάσεις για τον χειρουργό. Για παράδειγμα, με βάση την ανάλυση των ανατομικών δεδομένων και της θέσης των εργαλείων, το σύστημα μπορεί να προτείνει βέλτιστες πορείες και γωνίες

για τους ρομποτικούς βραχίονες, προκειμένου να πλοηγηθούν και να εκτελέσουν χειρουργικές εργασίες.

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα, τέλος, του συστήματος HUGO RAS είναι η επικοινωνία και η συνεργασία μεταξύ του χειρουργού και του ρομποτικού συστήματος. Ο χειρουργός μπορεί να επιλέξει να ακολουθήσει τις συστάσεις του συστήματος ή να προβεί σε διορθώσεις και προσαρμογές κατά τη διάρκεια της επέμβασης, ανάλογα με την κλινική κρίση, τις γνώσεις και την εμπειρία του. Αυτή η συνεργασία μπορεί να ενισχύσει την ασφάλεια, την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της ρομποτικής επέμβασης.

2.6 Mako Robotic-Arm Assisted Surgery

Το MAKO Robotic-Arm Assisted Surgery αποτελεί μία υψηλής τεχνολογίας ρομποτική πλατφόρμα που χρησιμοποιείται στην ορθοπαιδική και πιο συγκεκριμένα στην προσθετική χειρουργική, ειδικότερα για την αρθροπλαστική (μερική ή ολική) του γόνατος και ισχίου. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται τόσο στο προεγχειρητικό στάδιο, όσο και για ενδοεγχειρητική καθοδήγηση. Πρόκειται για μία επεμβατική τεχνική που χρησιμοποιεί έναν ρομποτικό βραχίονα για να υποστηρίξει τους χειρουργούς κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων, παρέχοντας καθοδήγηση και ακριβείς χειρουργικές ενέργειες συγκριτικά με τις παραδοσιακές τεχνικές, μειώνοντας έτσι τις αρνητικές παρενέργειες ενός χειρουργείου[22].

Το σύστημα MAKO αποτελείται από ένα λογισμικό εικονικού σχεδιασμού 3D, από τον ρομποτικό βραχίονα, την μονάδα, μια υπέρυθρη κάμερα και εξειδικευμένα χειρουργικά εργαλεία. Ο ρομποτικός βραχίονας χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση της διαδικασίας τομών των οστών εντός ενός “κλουβιού” που διαθέτει, με τη χρήση ενός χειρουργικού εργαλείου κοπής. Αυτός ο βραχίονας δίνει κίνηση σε έξι βαθμούς ελευθερίας. Η μονάδα καθοδήγησης λειτουργεί ως μια υπολογιστική πλατφόρμα για τον χειρουργό, διορθώνοντας και στέλνοντας εντολές στα υπόλοιπα στοιχεία του

συστήματος. Μια υπέρυθη κάμερα παρακολουθεί τη θέση των εργαλείων που είναι εξοπλισμένα με ανακλαστήρες, παρέχοντας το επιθυμητό και ρυθμιζόμενο ύψος, γωνία και περιστροφή. Η κάμερα τοποθετείται σε μια κινητή στήριξη με ένα βραχίονα και μια βάση που περιλαμβάνει μια οθόνη για τη διευκόλυνση και την παρακολούθηση του χειρουργού[23].



Εικόνα 2.6.1 - MAKO Robotic-Arm System

Το MAKO Robotic-Arm χρησιμοποιεί δεδομένα όπως το ιστορικό του ασθενούς και αξονικές τομογραφίες για προεπεξεργασία. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, λαμβάνει εικόνες υψηλής ευκρίνειας από την περιοχή κίνησής του και συλλέγει δεδομένα από αισθητήρες του ρομποτικού βραχίονα. Επιπλέον, χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα της προεγχειρητικής διαδικασίας ως δεδομένα για την καθοδήγηση της επέμβασης[23].

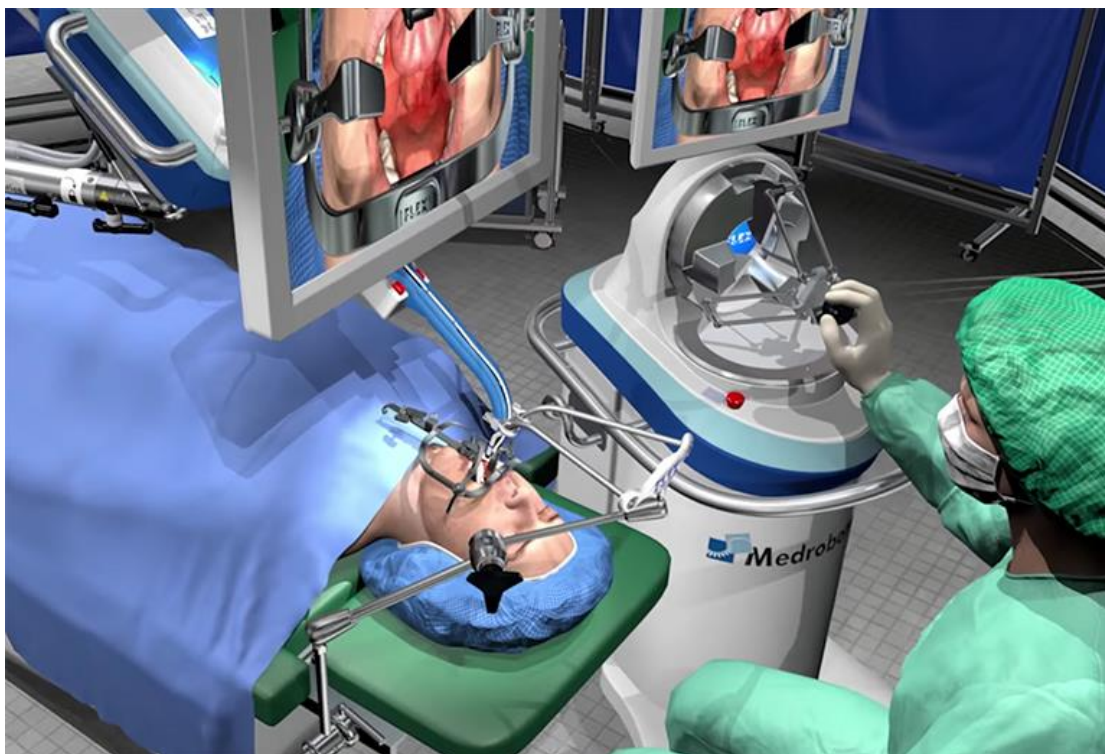
Όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος MAKO, αξίζει να σημειωθεί ότι προεγχειρητικά χρησιμοποιεί το υπολογιστικό σύστημα το οποίο δημιουργεί ένα λεπτομερές, τρισδιάστατο, εικονικό μοντέλο της τραυματισμένης περιοχής, το οποίο εξάγεται από τα αποτελέσματα αξονικών τομογραφιών (CT scans) του ασθενή που πραγματοποιούνται πριν το χειρουργείο, το οποίο είναι εξατομικευμένο βοηθώντας τον χειρουργό να αναλύσει τη συγκεκριμένη αρθρωτική ή οστική δομή. Το

σύστημα MAKO χρησιμοποιεί την τεχνική του προγραμματισμού του προσθετικού στοιχείου στα αποτελέσματα της τομογραφίας για να βοηθήσει στη διατήρηση των μαλακών ιστών, όπως του οστού και του χόνδρου, και να εξασφαλίσει την βέλτιστη ευθυγράμμιση των προσθετικών στοιχείων, έχοντας ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του εμφυτεύματος στο προεγχειρητικό στάδιο[23].

Ο χειρουργός, με την υποστήριξη του λογισμικού MAKO, προετοιμάζει την περιοχή για την ενσωμάτωση του αρθροπλαστικού εμφυτεύματος με βάση το ακριβές μοντέλο που έχει προγραμματιστεί. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης, ο χειρουργός ελέγχει το ρομποτικό βραχίονα MAKO, ο οποίος καθοδηγείται από το προγενές σχέδιο που δημιουργήθηκε στο λογισμικό. Το σύστημα MAKO παρέχει εικόνες πραγματικού χρόνου και ανατροφοδότηση στον χειρουργό. Η κάμερα υψηλής ανάλυσης και οι αισθητήρες παρακολουθούν συνεχώς την ανατομία του ασθενούς και μεταφέρουν τα δεδομένα στη μονάδα του χειρουργού, όσον αφορά τη θέση και τον προσανατολισμό. Αυτή η απτική ανατροφοδότηση βοηθά τον χειρουργό να αξιολογήσει την κατάσταση του ιστού και την ανατομία της περιοχής. Βασιζόμενος σε αυτές τις πληροφορίες, ο χειρουργός μπορεί να λαμβάνει αποφάσεις και να προσαρμόζει την προσέγγισή του κατά τη διάρκεια της επέμβασης, ώστε να είναι ακριβής στις ενέργειές του. Επίσης, ο βραχίονας MAKO είναι σχεδιασμένος για να μεταφράζει τις κινήσεις του χειρουργού σε ακριβείς και ελεγχόμενες ενέργειες. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα ενσωματώνει τεχνολογία αφής (haptic), παρέχοντας υψηλής ποιότητας ανατροφοδότηση στα χέρια του χειρουργού, προσομοιώνοντας την αίσθηση της αφής. Επίσης, το σύστημα συγκρίνει την προγραμματισμένη προσέγγιση του χειρουργού με τα πραγματικά δεδομένα του ασθενούς, μετρώντας και αξιολογώντας συνεχώς την πρόοδο της επέμβασης. Εάν υπάρξουν αποκλίσεις από την προγραμματισμένη χειρουργική διαδρομή, το Mako μπορεί να παρέχει ειδοποιήσεις και καθοδήγηση στον χειρουργό, επιτρέποντάς του να λαμβάνει ενημερωμένες αποφάσεις στο σημείο, για να διασφαλίσει βέλτιστα αποτελέσματα.

2.7 Medrobotics Flex Robotic System

Το Medrobotics Flex Robotic System είναι μια ευέλικτη πλατφόρμα ρομποτικής χειρουργικής τελευταίας τεχνολογίας, σχεδιασμένη για να υποστηρίξει τους χειρουργούς στην εκτέλεση ελάχιστα επεμβατικών επεμβάσεων. Χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα της χειρουργικής του κεφαλής και του λαιμού μέσω του στόματος για διάφορες παθήσεις, όπως έλκοι και καρκινώματα στον φάρυγγα, τον υποφάρυγγα και τον λάρυγγα. Το σύστημα συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της ρομποτικής τεχνολογίας με την ευελιξία της παραδοσιακής ενδοσκόπησης, προσφέροντας ακριβή και αποδοτική πρόσβαση σε πολύπλοκες ανατομικές δομές[24].



Εικόνα 2.7.1 - Flex Robotic System

Το σύστημα αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία: το Flex Cart, που περιλαμβάνει τη Flex Base και τη Flex Scope, το Flex Console, που αναλαμβάνει τον έλεγχο της ρομποτικής σκοπευτικής συσκευής, και τα Flex Instruments. Στην κονσόλα ελέγχου παρέχεται υψηλής ευκρίνειας 3D οπτικοποίηση του επεμβατικού πεδίου,

επιτρέποντας στον χειρουργό να έχει λεπτομερή οπτική και να χειρίζεται τον ρομποτικό βραχίονα με ακρίβεια. Ο ρομποτικός βραχίονας φέρει ένα ευέλικτο ενδοσκόπιο που εισέρχεται στο σώμα του ασθενή και διαθέτει μια ψηφιακή κάμερα υψηλής ευκρίνειας (HD), παρέχοντας στον χειρουργό μια καθαρή οπτική του χειρουργικού πεδίου. Επιπλέον, ο βραχίονας μπορεί να κρατήσει και να χειρίζεται διάφορα χειρουργικά εργαλεία για την εκτέλεση διαφόρων εργασιών κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Αυτά τα όργανα παρέχουν αισθητική ανατροφοδότηση και επιτρέπουν τον άμεσο έλεγχο των τελικών εφαρμογών[24].



Εικόνα 2.7.2 - Surgical setting. the surgeon is visualizing the motion of the instruments using the monitor [24]

Το Medrobotics Flex Robotic System χρησιμοποιεί δεδομένα όπως 3D εικόνες υψηλής ευκρίνειας καθώς και ακουστικά και ηλεκτρομαγνητικά δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες του. Το Σύστημα Flex Robotic διακρίνεται από την εξαιρετική του ευελιξία, η οποία επιτυγχάνεται μέσω του αρθρωτού ρομποτικού βραχίονα. Ο βραχίονας διαθέτει πολλαπλές αρθρώσεις και μπορεί να κάμψει και να περιστραφεί, επιτρέποντας την οδήγησή του μέσα από πολύπλοκες ανατομικές δομές. Αυτό βελτιώνει σημαντικά την επιδεξιότητα και τον έλεγχο του χειρουργού κατά τη διάρκεια της επέμβασης, μειώνοντας τον κίνδυνο επιπλοκών και επιτυγχάνοντας βελτιωμένα αποτελέσματα για τον ασθενή. Επιπλέον, παρέχει ευέλικτη πρόσβαση και

οπτικοποίηση ανατομικών περιοχών που είναι δύσκολο να απεικονιστούν με την ακαμψία των παραδοσιακών ενδοσκοπίων και λαρυγγοσκοπίων. Με τη χρήση γωνιακών ενδοσκοπίων 3D-HD και ρομποτικών βραχιόνων, επιτυγχάνεται βελτιωμένη οπτικοποίηση και αξιολόγηση του χειρουργικού πεδίου.

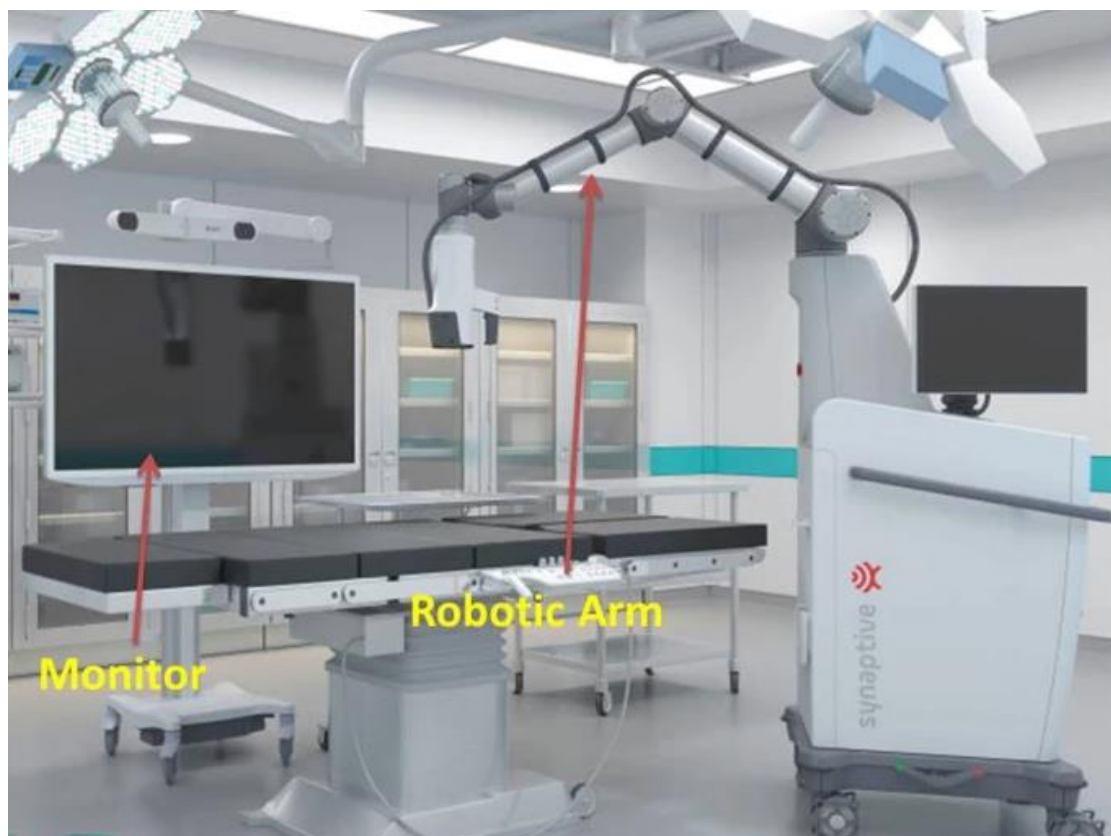
Το Medrobotics Flex Robotic System αναγνωρίζεται ως ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική λόγω των εντυπωσιακών του δυνατοτήτων. Καταρχάς, παρέχει στον χειρουργό υψηλής ευκρίνειας οπτική παρακολούθηση, επιτρέποντάς του να έχει λεπτομερή εικόνα της επεμβατικής περιοχής και να λαμβάνει ενημερωμένες αποφάσεις κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Επιπλέον, οι ευέλικτοι και αρθρωτοί βραχίονες του συστήματος Flex επιτρέπουν τον ακριβή χειρισμό και την πρόσβαση σε δύσβατες περιοχές με προβληματική ανατομία. Οι χειρουργοί έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη θέση και την κίνηση των οργάνων, βελτιώνοντας έτσι τα χειρουργικά αποτελέσματα. Επιπλέον, το Flex System παρέχει ανάλυση και ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους χειρουργούς να αξιολογούν την αντίδραση των ιστών και να λαμβάνουν αποφάσεις ανάλογα[25].

2.8 Synaptive Modus V System

Το σύστημα Synaptive Modus V αποτελεί ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική. Πιο συγκεκριμένα, είναι ένα ψηφιακό 2-διάστατο εξοσκοπικό σύστημα που χρησιμοποιείται σε νευροχειρουργικές επεμβάσεις εγκεφάλου και νωτιαίου μυελού (σπονδυλική στήλη). Όσον αφορά τις ορθοπεδικές επεμβάσεις, το σύστημα Synaptive Modus V μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες διαδικασίες όπως αντεριωρραχιαία δισκεκτομή και συνδεσμός, λαμινεκτομή, απομάκρυνση οσφυϊκού δίσκου και απομάκρυνση όγκου. Αντίθετα όσον αφορά τις κρανιογεφαλικές επεμβάσεις που χρησιμοποιείται είναι το μενιγγιομά της βάσης του κρανίου, το μενιγγιομά του οσφρητικού κόγχου, το μενιγγιομά της τεντωτήριου κογχοειδούς. Αυτό το σύστημα συνδυάζει οπτικοποίηση και βελτιωμένη ποιότητα

εικόνας προκειμένου να προσφέρει καλύτερη άνεση για τον χειρουργό κατά τη διάρκεια πολύπλοκων επεμβάσεων[26].

Το σύστημα Synaptive Modus V περιλαμβάνει ένα ρομποτικά ελεγχόμενο ψηφιακό εξοσκόπιο με μια σειρά προηγμένων λειτουργιών (ρομποτικός βραχίονας). Περιλαμβάνει ένα παρακολουθούμενο χειρουργικό όργανο το οποίο επιτρέπει την κίνηση της κάμερας χωρίς τη χρήση των χεριών του χειρουργού και τον έλεγχο της οπτικής εστίασης το οποίο ελέγχεται από τον χειρουργό από μια κονσόλα. Το σύστημα προσφέρει μια καθαρή προβολή με ζουμ $\times 12.5$, υψηλή ανάλυση και εργασιακή "απόσταση" έως 65 cm. Επίσης, ενσωματώνει βελτιωμένες πηγές φωτός LED και οθόνη (Monitor) ψηφιακής ιατρικής ποιότητας 4K για βέλτιστη οπτικοποίηση, παρέχοντας έτσι λεπτομέρειες της χειρουργική περιοχής.

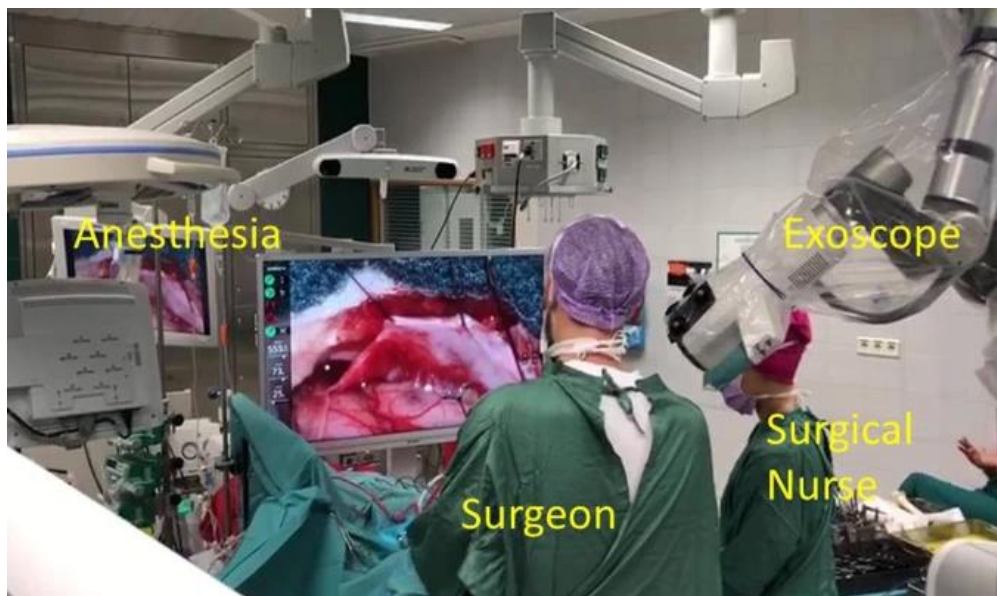


Εικόνα 2.8.1 - Synaptive Modus V exoscope system [26]

Το Synaptive Modus V system λαμβάνει εικόνες υψηλής ανάλυσης από την κάμερα και το σύστημα εικόνας του. Επίσης, δέχεται προ-επεξεργασμένα δεδομένα από μαγνητική τομογραφία (MRI) και αξονική τομογραφία (CT), καθώς και δεδομένα

από αισθητήρες που μετρούν την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια της επέμβασης.

Το σύστημα εκτός από τα συστήματα εικόνας και τα ρομποτικά στοιχεία, περιλαμβάνει επίσης μια λειτουργία, η οποία παρέχει πραγματικού χρόνου ανατροφοδότηση σχετικά με πληροφορίες παρακολούθησης, οπτικές παραμέτρους και ρυθμίσεις του συστήματος στους χειρουργούς κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Με άλλα λόγια, συλλέγει και αναλύει δεδομένα από διάφορες πηγές, όπως προεγχειρητικές εικόνες και συστήματα επεξεργασίας κατά τη διάρκεια της επέμβασης, για να παρέχει στους χειρουργούς πολύτιμες πληροφορίες και να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης. Διαθέτει ακόμη ένα σύστημα χειρουργικής πλοήγησης που βοηθά τους χειρουργούς να παρακολουθούν τα εργαλεία τους και να πλοηγηθούν μέσα από περίπλοκες δομές του εγκεφάλου του ασθενούς σε πραγματικό χρόνο[26].



Εικόνα 2.8.2 - Intraoperative setup for spine surgery [26]

Το σύστημα Synaptive Modus V λογίζεται ως ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική, καθώς παρέχει στους χειρουργούς βελτιωμένη οπτικοποίηση, ώστε να πληγηθούν σε κρίσιμες δομές εντός του ασθενή αλλά και απτική, άμεση ανατροφοδότηση με σημαντικές πληροφορίες, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στον χειρουργό να λάβει σε real time σημαντικές αποφάσεις. Οι

δυνατότητες κίνησης της κάμερας χωρίς τη χρήση των χεριών, η ευκρίνεια της εικόνας και οι λειτουργίες επικάλυψης χειρουργικής επιτρέπουν στους χειρουργούς να πραγματοποιούν επεμβάσεις με μεγαλύτερη καθοδήγηση, ακρίβεια και έτσι μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Ο συνδυασμός της ανάλυσης δεδομένων, της πλοήγησης, της εικόνας, των αυτοματοποιημένων εργαλείων και η οπτικοποίηση καθιστάνε τον χειρουργό ικανό να λάβει σημαντικές αποφάσεις, γνωρίζοντας πολλές πτυχές της επέμβασης.

2.9 NAVIO Surgical System

Το χειρουργικό σύστημα NAVIO αντιπροσωπεύει την επόμενη γενιά της ρομποτικής τεχνολογίας στην ορθοπεδική και πιο συγκεκριμένα, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε διαδικασίες ολικής και μερικής αντικατάστασης γόνατος, όπου βοηθά στη βελτίωση της ακρίβειας και της προσαρμοστικότητας. Υποστηρίζει επίσης εμφυτευματικές επαληθευμένες μεθόδους αρθροπλαστικής γόνατος και παρέχει οδηγίες για την τοποθέτηση και την σταθεροποίηση των εμφυτευμάτων. Χρησιμοποιεί φορητά εργαλεία υποβοηθούμενα από ρομποτική τεχνολογία που κινούνται ελεύθερα από τον χειρουργό, αλλά περιορίζουν την κοπή του οστού μέσα στα όρια της οριοθετημένης περιοχής αποκοπής του οστού του ασθενή, όπως και στο σωστό βάθος και προσανατολισμό. Ο χειρουργός με τη χρήση του NAVIO διασφαλίζει ότι η ευθυγράμμιση του γόνατος και η ισορροπία των μαλακών ιστών είναι ακριβείς, βασισμένος βέβαια και στο προεγχειρητικό σχέδιο, αλλά και στην πραγματική πρόοδο της επέμβασης[27].



Εικόνα 2.9.1 - Χειροκίνητο εργαλείο με ρομποτική βοήθεια και το ρομποτικό σύστημα NAVIO.

Το υπολογιστικό σύστημα NAVIO δεν απαιτεί τη χρήση προεγχειρητικών δεδομένων και ολόκληρη η διαδικασία εγγραφής και σχεδιασμού της ανατομίας πραγματοποιείται εντός της επέμβασης. Τοποθετείται κοντά στο τραπέζι λειτουργίας για να επιτρέπει στον χειρουργό να αλληλεπιδρά εύκολα με το σύστημα, διατηρώντας παράλληλα πλήρη έλεγχο της επέμβασης. Ο χειρουργός ελέγχει την οθόνη αφής και χρησιμοποιώντας πεντάλ ελέγχου με το πόδι μπορεί να περιηγηθεί στα διάφορα στάδια της επέμβασης. Το φορητό ρομποτικό εργαλείο NAVIO συναρμολογείται και διαμορφώνεται ανάλογα με τις προτιμήσεις του χειρουργού όσον αφορά τη ρομποτική λειτουργία ελέγχου.

Το συγκεκριμένο σύστημα βασίζεται στην ανεικονική τοποθέτηση ανατομικών σημείων και στον προσδιορισμό επιφάνειας για την κατασκευή εικονικής αναπαράστασης της ανατομίας του ασθενούς. Εγγράφει τις επιφάνειες επαφής και τις ατέλειες για την καλύτερη αξιολόγηση της τοποθέτησης του εμφυτεύματος κατά τον σχεδιασμό. Απεικονίζει γραφικά το μέσο ή/και το πλευρικό τμήμα, ανάλογα την επέμβαση, ώστε να προσδιοριστεί η βαθμίδα χαλάρωσης που υπάρχει στην τρέχουσα δομή μαλακού ιστού, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο στον χειρουργό να σχεδιάσει την καλύτερη προσέγγιση για τις οστικές αφαιρέσεις και τις απελευθερώσεις μαλακού ιστού, με εικονική εφαρμογή ανατομικών ή λειτουργικών αρχών προετοιμασίας των

οστών, πριν γίνουν κοπές. Επιπλέον, το NAVIO, με την ενεργοποίηση της λειτουργίας εικονικής προβολής τομής, δίνει τη δυνατότητα οπτικοποίησης του εμφυτεύματος στην επιφάνεια του οστού[27].

Το NAVIO λαμβάνει δεδομένα που σχετίζονται με την ανατομία του ασθενούς και τη διαδικασία επέμβασης, τα οποία παρέχουν στο σύστημα πληροφορίες για την ακριβή τοποθέτηση και κίνηση των εργαλείων κατά τη χειρουργική επέμβαση. Κατά την προετοιμασία για την επέμβαση, συνήθως υπάρχει μία διαδικασία προεπεξεργασίας των δεδομένων, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει λήψη εικόνων από τον ασθενή, όπως αξονικές ή μαγνητικές τομογραφίες, οι οποίες επεξεργάζονται για να δημιουργηθεί ένας εικονικός χάρτης της ανατομίας του ασθενούς. Επιπρόσθετα, το σύστημα λαμβάνει συνεχώς πληροφορίες από τους αισθητήρες του, οι οποίες συνδυάζονται με τον εικονικό χάρτη και παρέχουν την απαιτούμενη υποστήριξη στον χειρουργό[27].



Εικόνα 2.9.2 - Επιβεβαίωση της κοπής πριν από την εκτέλεση, σύμφωνα με το σχέδιο προσθετικής.

Το NAVIO Surgical System αποτελεί ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική, αφού συνδυάζει την απεικόνιση με τη χρήση προηγμένων τεχνικών όπως η CT και η MRI, δημιουργώντας ένα λεπτομερές προεγχειρητικό σχέδιο και δίνοντας στον χειρουργό την δυνατότητα να αξιολογήσει την ανατομία του ασθενούς, να επιλέξει τον κατάλληλο τύπο εμφυτεύματος και να προγραμματίσει την ιδανική ευθυγράμμιση του γόνατος πριν από την επέμβαση. Κατά τη διάρκεια της

επέμβασης, το NAVIO παρέχει πραγματικού χρόνου καθοδήγηση στον χειρουργό σχετικά με τις κοπές των οστών και την τοποθέτηση του εμφυτεύματος, δίνοντάς του πληροφορίες όπως το βάθος της κοπής και η ακρίβεια ευθυγράμμισης και προσφέροντας πρακτική υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων.

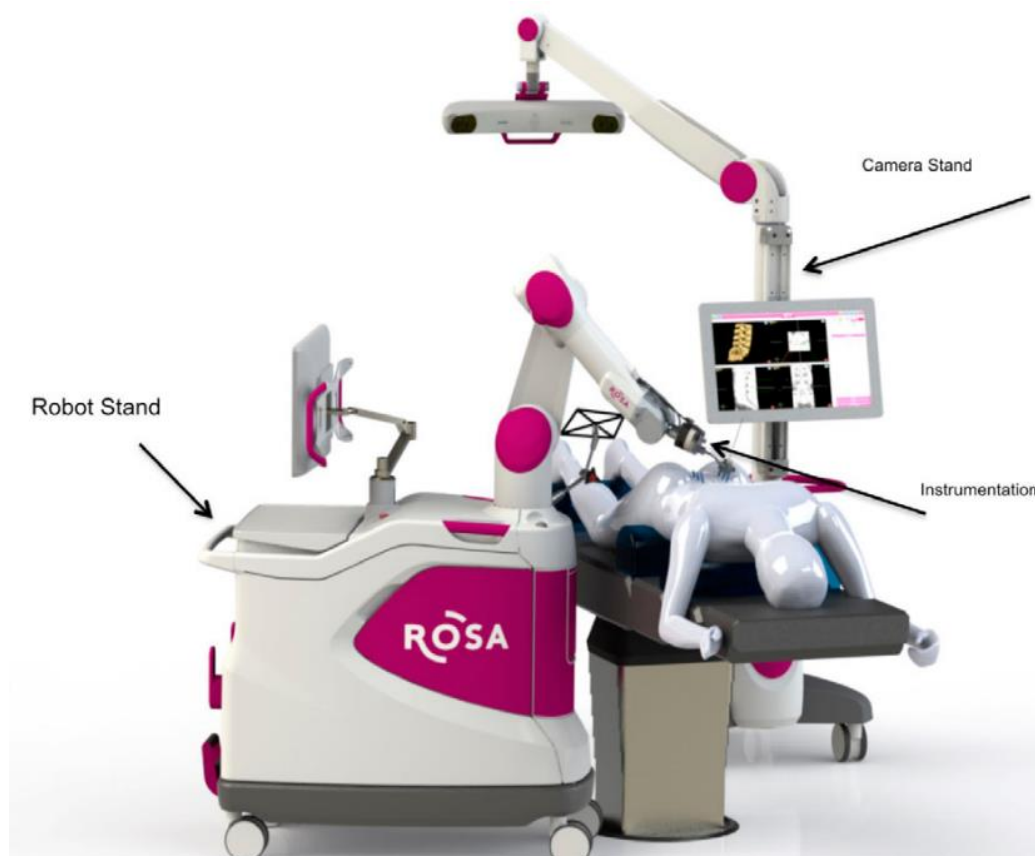
Για την επίτευξη της αυξημένης ακρίβειας κατά την εκτέλεση της επέμβασης, το NAVIO χρησιμοποιεί ρομποτική τεχνολογία. Πιο συγκεκριμένα, την πραγματοποίηση του χειρουργείου με μεγάλη ακρίβεια διασφαλίζουν οι αισθητήρες του συστήματος, καθώς και οι υπολογιστικοί του αλγόριθμοι. Το συγκεκριμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων χρησιμοποιεί αλγορίθμους εικόνας για την ανάλυση και επεξεργασία των απεικονιστικών δεδομένων, αλγορίθμους καταγραφής δεδομένων που παράγονται κατά την επέμβαση, όπως τα μετρήσιμα χαρακτηριστικά της ανατομίας του γόνατος, αλλά και αλγορίθμους αξιολόγησης και ανάδρασης, οι οποίοι αξιολογούν την πρόοδο της επέμβασης και παρέχουν ανάδραση στον χειρουργό.

Τέλος, το NAVIO Surgical System επιτρέπει την εξατομίκευση της επέμβασης βάσει της ανατομίας και των αναγκών του κάθε ασθενούς, επιτρέποντας στον χειρουργό να προσαρμόσει τον προεγχειρητικό σχεδιασμό και την καθοδήγηση της επέμβασης με σκοπό τα βέλτιστα αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη τις μοναδικές ανάγκες του ασθενούς. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά του NAVIO Surgical System συνδυάζονται για να παρέχουν υποστήριξη στον χειρουργό στη λήψη αποφάσεων, βελτιώνοντας την ακρίβεια, την ασφάλεια και την επιτυχία των χειρουργικών επεμβάσεων.

2.10 ROSA Spine Robot

Το ρομπότ ROSA είναι ένα νέο ιατρικό μηχάνημα που σχεδιάστηκε για να βοηθά τον χειρουργό κατά τη διάρκεια επεμβάσεων στην σπονδυλική στήλη με ελάχιστη επεμβατικότητα. Το μηχάνημα αποτελείται από ένα καροτσάκι (που φέρει το ρομποτικό βραχίονα και μία εργαστηριακή στάθμη) και μία οπτική κάμερα πλοήγησης. Χάρη στο ρομποτικό βραχίονα και τις δυνατότητες πλοήγησης, το ρομπότ παρακολουθεί τις κινήσεις της σπονδυλικής στήλης κατά τη διάρκεια ολόκληρης της χειρουργικής διαδικασίας και έχει την ικανότητα της ακριβούς τοποθέτησης βιδών στα πετάλια, επιτρέποντας έτσι την ακριβή και ασφαλή αρθρόδεση για τη θεραπεία της αυταρχικής νόσου των αυχενικών δίσκων, ακριβώς όπως σχεδιάζεται από τον χειρουργό[28].

Το συγκεκριμένο σύστημα λαμβάνει δεδομένα που σχετίζονται με την ανατομία του ασθενούς και την επέμβαση στην σπονδυλική στήλη, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ακριβή καθοδήγηση των εργαλείων και την πραγματοποίηση της επέμβασης. Ειδικότερα, λαμβάνει εικόνες από ενδοσκοπικούς αισθητήρες, οι οποίοι βρίσκονται στον ρομποτικό βραχίονα. Οι εικόνες αυτές παρέχουν ανατομικές πληροφορίες για την τοποθέτηση των εργαλείων και την ανατομία της σπονδυλικής στήλης. Επίσης, τα δεδομένα από τους αισθητήρες κίνησης χρησιμοποιούνται για την ακριβή καθοδήγηση των εργαλείων και την παροχή ακριβών οδηγιών στον χειρουργό. Όσον αφορά την προεπεξεργασία των δεδομένων, συνήθως υπάρχει μία διαδικασία προετοιμασίας πριν από την επέμβαση που περιλαμβάνει την απεικόνιση της σπονδυλικής στήλης με ακτινογραφίες ή άλλες εικόνες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός εικονικού χάρτη της ανατομίας της σπονδυλικής στήλης[28].



Εικόνα 2.10.1 - Το ROSA Spine Robot, όπου φαίνεται ο ρομποτικός βραχίονας και η κάμερα οπτικής πλοήγησης.

Το ROSA Spine Robot παρέχει συστήματα καθοδήγησης και ακρίβειας για την τοποθέτηση εμφυτευμάτων στην σπονδυλική στήλη. Συγκεκριμένα, με τη χρήση εικόνων υψηλής ανάλυσης το ρομποτικό σύστημα παρέχει ακριβείς οδηγίες στον χειρουργό για την σωστή τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Επιπλέον, το ρομπότ διαθέτει αισθητήρες και συστήματα ανίχνευσης που βοηθούν στον εντοπισμό της θέσης και της κίνησης της σπονδυλικής στήλης, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο οδηγίες σχετικά με την ανατομία της σπονδυλικής στήλης κατά την διάρκεια της επέμβασης. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα εξατομίκευσης για κάθε ασθενή, ανάλογα με τις ανάγκες και την ανατομία του, επιτρέποντας την ακριβή και ασφαλή εκτέλεση της επέμβασης[29].

Για την παροχή της ακρίβειας και της υποστήριξης που απαιτούνται για χειρουργικές επεμβάσεις στην σπονδυλική στήλη, το ROSA Spine Robot χρησιμοποιεί πολλούς αλγόριθμους. Αρχικά, χρησιμοποιεί αλγόριθμους οπτικής ανίχνευσης για την ακριβή αναγνώριση της ανατομίας της σπονδυλικής στήλης, οι οποίοι επιτρέπουν στο

σύστημα να αναγνωρίζει τη θέση και την κίνηση των σπονδύλων και των εμφυτευμάτων. Οι αλγόριθμοι σχεδιασμού και καθοδήγησης είναι απαραίτητοι για τη δημιουργία του εικονικού χάρτη της σπονδυλικής στήλης και την οδήγηση των εργαλείων κατά τη διάρκεια της επέμβασης, με σκοπό την ακριβή τοποθέτηση των εμφυτευμάτων και την ακριβή κοπή των οστών. Τέλος, το συγκεκριμένο ρομπότ χρησιμοποιεί αλγορίθμους ανάλυσης δεδομένων για την αξιολόγηση των πληροφοριών που προέρχονται από τους αισθητήρες και την εικόνα, έτσι ώστε να παρέχει σωστές οδηγίες στον χειρουργό[29].



Εικόνα 2.10.2 - Τυπική οργάνωση του χειρουργείου, όπου το ρομπότ τοποθετείται απέναντι από τον χειρουργό και η οπτική κάμερα κοντά στα πόδια του ασθενούς.

Το ROSA Spine Robot είναι και αυτό ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική, διότι παρέχει υψηλή ακρίβεια κατά την εκτέλεση των χειρουργικών επεμβάσεων στην σπονδυλική στήλη, μειώνει τον κίνδυνο σφαλμάτων στην τοποθέτηση εμφυτεύματος και στις χειρουργικές τομές και βελτιώνει τα αποτελέσματα. Χρησιμοποιεί μη επεμβατικές τεχνικές, όπως η απεικόνιση με ραδιογραφία ή υπερήχους, για τη δημιουργία ενός εικονικού χάρτη της ανατομίας της

σπονδυλικής στήλης, ο οποίος παρέχει πληροφορίες για τη διάταξη των οστών και τις ιδιαιτερότητες της σπονδυλικής ανατομίας.

Το συγκεκριμένο ρομπότ λειτουργεί σε συνεργασία με τον χειρουργό, παρέχοντας ακριβείς οδηγίες και υποστήριξη κατά τη διάρκεια της επέμβασης. Ο χειρουργός διατηρεί τον έλεγχο και λαμβάνει αποφάσεις, αλλά επωφελείται από τις πληροφορίες του ρομποτικού συστήματος για τη βέλτιστη εκτέλεση της επέμβασης. Ακόμη, με τη χρήση του ROSA είναι δυνατόν να μειωθεί η ανάγκη για ακτινοβολία, γεγονός που είναι επωφέλές τόσο για τον ασθενή όσο και για τον χειρουργό, αφού μειώνει την έκθεσή τους σε ακτινοβολία. Οι παραπάνω λόγοι αποδεικνύουν ότι το ROSA Spine Robot αποτελεί ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική, προσφέροντας ακρίβεια, αξιοπιστία και εκτελεστική υποστήριξη στους χειρουργούς κατά την εκτέλεση επεμβάσεων στην σπονδυλική στήλη.

3

Αποτελέσματα

Η χρήση των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική έχει οδηγήσει σε αξιοσημείωτα αποτελέσματα και προσφέρει πολλαπλά οφέλη τόσο στους χειρουργούς όσο και στους ασθενείς.

3.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων παρεμφερών συστημάτων

Ένα από τα συστήματα που έχει αποδείξει την αποτελεσματικότητά του είναι το da Vinci Surgical System. Το σύστημα αυτό προσφέρει ενισχυμένη οπτικοποίηση, επιτρέποντας στους χειρουργούς να έχουν μια υψηλής ευκρίνειας, καθαρή, τρισδιάστατη και μεγεθυμένη θέα του χειρουργικού πεδίου. Αυτό βοηθά στην ακριβή αναγνώριση ανατομικών δομών και βελτιώνει την ακρίβεια των επεμβάσεων. Επιπλέον, το da Vinci σύστημα προσφέρει βελτιωμένη ακρίβεια και επιδεξιότητα στο χειρισμό των ρομποτικών εργαλείων, που μιμούνται την κίνηση του ανθρώπινου χεριού, επιτρέποντας πολύπλοκες επεμβάσεις και προσεκτική αντιμετώπιση των ιστών. Επιπλέον, η ελάχιστη επεμβατική φύση του συστήματος οδηγεί σε μικρότερες τομές, μειώνοντας το τραύμα και την αιμορραγία, επιταχύνοντας την ανάρρωση των ασθενών.

Παρόμοια πλεονεκτήματα προσφέρει και το HUGO RAS, καθώς επιτρέπει στους χειρουργούς να πραγματοποιούν ακριβείς κινήσεις και να αποκτούν πρόσβαση σε δύσκολες ανατομικές περιοχές. Ωστόσο, διαφέρει από το Da Vinci λόγω της ενσωμάτωσης της επαυξημένης πραγματικότητας, η οποία παρέχει στους χειρουργούς επιπλέον πληροφορίες και ανατομικά δεδομένα, βελτιώνοντας την ακρίβεια και την καθοδήγηση κατά την επέμβαση.

Συνολικά, το σύστημα da Vinci έχει εδραιωθεί στον χώρο της ρομποτικής χειρουργικής, ενώ, από την άλλη πλευρά, το σύστημα HUGO εισάγει καινοτόμες τεχνολογίες, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα, προσφέροντας νέες δυνατότητες για ακριβείς και ενισχυμένες οπτικές καθοδηγήσεις. Η επιλογή μεταξύ των δύο συστημάτων θα εξαρτηθεί από τις συγκεκριμένες ανάγκες της χειρουργικής επέμβασης και τις προτιμήσεις των χειρουργών και των νοσοκομείων.

Το MAKO Robotic-Arm είναι ένα άλλο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που έχει επιδείξει θετικά αποτελέσματα, κατά κύριο λόγο ίδια με αυτά του NAVIO Surgical System, καθώς και τα δύο χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη επεμβάσεων ορθοπαιδικής χειρουργικής και ειδικότερα στις επεμβάσεις αντικατάστασης γόνατος και ισχίου. Η χρήση τους επιτρέπει αυξημένη ακρίβεια και ευθυγράμμιση των εμφυτευμάτων, προστατεύοντας τους μαλακούς ιστούς και πιθανότατα μειώνοντας τους χρόνους ανάρρωσης των ασθενών. Ο χειρουργός παραμένει πλήρως υπεύθυνος κατά τη διάρκεια της επέμβασης, αλλά η παρουσία του ρομποτικού βραχίονα ή εργαλείου ενισχύει τις δυνατότητές του και βελτιώνει τα χειρουργικά αποτελέσματα. Ωστόσο, οι διαθέσιμες αποδείξεις για την κλινική αποτελεσματικότητα, ασφάλεια και αποδοτικότητα της τεχνολογίας είναι περιορισμένες και απαιτούν περαιτέρω έρευνα και αξιολόγηση της ασφάλειας και της αποδοτικότητάς τους.

Ωστόσο, τα δύο συστήματα παρουσιάζουν ορισμένες διαφορές. Οι αρχικές διαφορές βρίσκονται στον σχεδιασμό και στην αρχιτεκτονική των συστημάτων, αφού το NAVIO βασίζεται σε ένα φορητό ρομποτικό εργαλείο που συνδέεται με τον υπολογιστή, ενώ το MAKO είναι ένας ρομποτικός βραχίονας που λειτουργεί ανεξάρτητα. Όσον αφορά τον τρόπο καθοδήγησης, το NAVIO χρησιμοποιεί ένα φορητό χειρουργικό εργαλείο που καθοδηγεί τον χειρουργό στην εκτέλεση των κοπών των οστών και στην τοποθέτηση των εμφυτευμάτων. Από την άλλη πλευρά, το MAKO είναι ένας μεγάλος σταθερός ρομποτικός βραχίονας που καθοδηγεί τον χειρουργό σε συνεργασία με το χειρουργικό εργαλείο. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι έρευνα πάνω στη σύγκριση των δύο συστημάτων έδειξε πως ο χρόνος λειτουργίας και απώλεια αίματος κατά τη διάρκεια της επέμβασης βρέθηκαν να είναι μικρότεροι στην ρομποτική υποβοήθηση MAKO στην UKA (Unicompartmental Knee Arthroplasty).

Το ROSA Spine Robot, όπως ακριβώς και το Mazor X Stealth Edition System, έχουν επιδείξει υψηλό επίπεδο ακρίβειας κι αξιοπιστίας στην τοποθέτηση εμφυτευμάτων και βιδών στην σπονδυλική στήλη, με ελάχιστα περιστατικά μικρής παραβίασης της σπονδυλικής επιμήκους διαδρομής. Δεν έχουν αναφερθεί σημαντικές επιπλοκές κατά τη χρήση τους, ούτε παρατηρήθηκαν νευρικές βλάβες ή λοιμώξεις στους ασθενείς που υποβλήθηκαν σε επέμβαση με τη χρήση του συγκεκριμένου ρομπότ. Αντιθέτως, οι ασθενείς που χειρουργήθηκαν με τη βοήθεια του ROSA Spine Robot ή του MXSE έχουν εμφανίσει σημαντική βελτίωση της κλινικής τους κατάστασης. Ακόμη, όσον αφορά τις δόσεις ακτινοβολίας, δεν έχουν παρατηρηθεί σημαντικές διαφορές μεταξύ της ρομποτικής επέμβασης και της παραδοσιακής τεχνικής, καθώς οι μετρήσεις έδειξαν ότι οι δόσεις ακτινοβολίας παραμένουν σε ασφαλή επίπεδα για τους ασθενείς. Ακόμα, χρήση τους επιτρέπει την εκτέλεση πιο περίπλοκων και απαιτητικών εργασιών με μεγαλύτερη επιτυχία, διότι αποφεύγονται συνήθη σφάλματα που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα.

Τα παραπάνω γενικά αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι τα εν λόγω συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική προσφέρουν ακρίβεια, ασφάλεια, αποτελεσματικότητα και βελτίωση της κλινικής κατάστασης των ασθενών.

3.2 Αποτελέσματα λοιπών συστημάτων

Η πλατφόρμα εικονικής πραγματικότητας SIMENDO παρουσιάζει θετικά αποτελέσματα στην εκπαίδευση και εκπαιδευτική εμπειρία των χειρουργών. Αρχικά, παρέχει ρεαλιστικές χειρουργικές προσομοιώσεις που αναπαράγουν το εγχειρητικό περιβάλλον και τις διαδικασίες. Οι χειρουργοί μπορούν να εξασκηθούν στις δεξιότητές τους και στις τεχνικές τους σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο εικονικό περιβάλλον, επιτρέποντας επαναλαμβανόμενη εκπαίδευση και ανάπτυξη δεξιοτήτων. Επιπλέον, η πλατφόρμα παρέχει εκπαίδευση με εστίαση σε συγκεκριμένες επεμβάσεις,

προσφέροντας εξοικείωση με πολύπλοκες και σπάνιες εγχειρήσεις. Τέλος, η εμπύθιση του SIMENDO VR προσφέρει μια επικοινωνιακή και διαδραστική εκπαιδευτική εμπειρία. Οι χειρουργοί μπορούν να λαμβάνουν πραγματικού χρόνου ανατροφοδότηση, να παρακολουθούν την πρόοδό τους και να αναγνωρίζουν τις περιοχές που χρειάζονται βελτίωση, ευνοώντας τη συνεχή μάθηση και την ανάπτυξη δεξιοτήτων. Συνολικά, η χρησιμότητα της πλατφόρμας είναι εξαιρετικής σημασίας, αφού βελτιώνει αισθητά την ποιότητα περίθαλψης που παρέχεται στους ασθενείς.

Το σύστημα AccuVein AV400 προσφέρει πλεονεκτήματα τόσο στην προχειρουργική φάση όσο και στην περίθαλψη των ασθενών. Η βελτιωμένη οπτικοποίηση των φλεβών επιτρέπει στους επαγγελματίες υγείας να εντοπίζουν πιο εύκολα τις φλέβες για την πραγματοποίηση διαφόρων ιατρικών διαδικασιών. Μέσω της χρήσης κοντινού υπέρυθρου φωτός, το σύστημα προβάλλει έναν χάρτη των φλεβών απευθείας στο δέρμα του ασθενούς, βελτιώνοντας την οπτικοποίηση και διευκολύνοντας την εύρεσή τους Έτσι, μειώνει τον χρόνο και την προσπάθεια που απαιτούνται για τον εντοπισμό των φλεβών, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα. Μειώνει, ακόμα, την ανάγκη για πολλαπλές εισαγωγές βελόνας και ελαττώνει το άβολο αίσθημα για τον ασθενή, προάγοντας την άνεση και την ασφάλειά του κι αποφεύγοντας ατυχήματα που συχνά προκαλούνται από λανθασμένη διείσδυση των βελονών. Το σύστημα AccuVein AV400 έχει σημειώσει, λοιπόν, εξαιρετική πρόοδο στην περίθαλψη των ασθενών.

Το σύστημα Medrobotics Flex παρουσιάζει εξαιρετική δυναμική στη θεραπεία όγκων στο στόμα και το λαιμό μέσω άμεσης πρόσβασης μέσω του στόματος. Αυτό το σύστημα προσφέρει ελάχιστα επεμβατική προσέγγιση και χρησιμοποιεί μικρές τομές αντί για μεγάλες και ανοιχτές προσεγγίσεις. Αυτό οδηγεί σε μειωμένο τραύμα, μειωμένο πόνο, ταχύτερο χρόνο ανάρρωσης και μικρότερες ουλές για τους ασθενείς. Επιπλέον, το σύστημα αποτελεί ένα σημαντικό άλμα στην ελάχιστα επεμβατική χειρουργική, παρέχοντας βελτιωμένη οπτική ποιότητα και ανατροφοδότηση και βελτιώνοντας την περίθαλψη των ασθενών.

Το σύστημα Synaptive Modus V προσφέρει αυξημένη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα στις επεμβάσεις στη σπονδυλική στήλη και την αφαίρεση εγκεφαλικών όγκων. Παρ'όλο που απαιτεί προσαρμογή λόγω έλλειψης αίσθησης βάθους με την 2-διάστατη κάμερα, η βελτιωμένη οπτική ποιότητα και άνεση που προσφέρει για τον χειρουργό επιτρέπει ακριβείς επεμβάσεις και αποφυγή κρίσιμων δομών, βελτιώνοντας την ασφάλεια και μειώνοντας τον κίνδυνο επιπλοκών. Το σύστημα αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προόδου στη νευροχειρουργική τεχνολογία,, προσφέροντας οφέλη σε όσους χρειάζονται νευροχειρουργική επέμβαση.

4

Μελλοντικές Επεκτάσεις

- Επίλογος

4.1 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Βελτιωμένες τεχνολογίες και συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική ανοίγουν τον δρόμο για μελλοντικές επεκτάσεις στον τομέα. Οι επεκτάσεις αυτές περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης, όπως αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης, η οποία μπορεί να βοηθήσει στην ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων ασθενών, την πρόβλεψη των χειρουργικών αποτελεσμάτων, τη βελτιστοποίηση των χειρουργικών σχεδίων και την παροχή πραγματικού χρόνου ανατροφοδότησης κατά τη διάρκεια των επεμβάσεων, ενισχύοντας έτσι τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική[30].

Η χρήση των τεχνολογιών επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας δίνει τη δυνατότητα αναδιαμόρφωσης της οπτικοποίησης και του σχεδιασμού των χειρουργικών επεμβάσεων, καθώς οι χειρουργοί μπορούν να επωφεληθούν από εμπειρίες απεικόνισης 3D και ενισχυμένης χωρικής αντίληψης, προκειμένου να πραγματοποιούν πιο ακριβείς και αποδοτικές ρομποτικές επεμβάσεις. Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες μπορούν επίσης να φανούν χρήσιμες και στον προεγχειρητικό σχεδιασμό και την προσομοίωση της επέμβασης[31].

Με την αυξανόμενη διαθεσιμότητα δεδομένων των ασθενών, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων αναμένεται να χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνικές ανάλυσης για την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών. Η ανάλυση των δεδομένων και η εξόρυξη

των πληροφοριών, σε συνδυασμό με την προβλεπτική μοντελοποίηση, μπορούν να βοηθήσουν στον εξατομικευμένο συνδυασμό της θεραπείας, την αξιολόγηση του χειρουργικού κινδύνου και την ανάλυση των μετεγχειρητικών αποτελεσμάτων.

Το μέλλον της ρομποτικής χειρουργικής περιλαμβάνει μεγαλύτερη συνεργασία μεταξύ χειρουργών και ρομπότ. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων θα επικεντρωθούν στην ανάπτυξη έξυπνων ρομποτικών βοηθητικών συστημάτων που θα μπορούν να συνεργάζονται ομαλά με τους χειρουργούς παρέχοντας πραγματικού χρόνου καθοδήγηση και αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων εργασιών, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο τη συνολική χειρουργική απόδοση[31].

Εκτός των παραπάνω, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων θα ενσωματώνουν δεδομένα από διάφορες πηγές, όπως ιατρική απεικόνιση, ιατρικές εκθέσεις, γενετικές πληροφορίες και ενδοεπέκταση αισθητήρων. Με τον συνδυασμό πολλαπλών τεχνολογιών, οι χειρουργοί μπορούν να έχουν μία πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της κατάστασης του ασθενούς και να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις κατά τη διάρκεια των ρομποτικών επεμβάσεων.

Σημαντικό ρόλο στην εκπαίδευση των χειρουργών για ρομποτικές επεμβάσεις θα παίζουν ορισμένες πλατφόρμες προσομοίωσης χειρουργικών επεμβάσεων βασισμένες σε εικονική πραγματικότητα. Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων θα ενσωματώσουν προσομοίωση για να βοηθήσουν τους χειρουργούς να εξασκηθούν σε πολύπλοκες επεμβάσεις, να βελτιώσουν τις δεξιότητές τους, αλλά και τα αποτελέσματα των ασθενών.

Τέλος, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων θα μαθαίνουν συνεχώς από τα χειρουργικά δεδομένα και τις εμπειρίες, βελτιώνοντας τους αλγόριθμους τους και αυξάνοντας την ακρίβειά τους με τον χρόνο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβανόμενης μάθησης θα επιτρέψει στα συστήματα να προσαρμοστούν στα ατομικά χαρακτηριστικά των ασθενών και στις χειρουργικές προκλήσεις, βελτιώνοντας την λήψη αποφάσεων[30].

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτές οι τάσεις βασίζονται στις τρέχουσες εξελίξεις και τις προβλέψεις στον τομέα της ρομποτικής χειρουργικής και των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Η πραγματική εφαρμογή και επίδραση αυτών των τάσεων μπορεί να διαφέρει, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και πραγματοποιούνται παραπάνω έρευνες.

4.2 Επίλογος

Συνοψίζοντας, η εργασία μας ασχολήθηκε με τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική και αναδεικνύει τη σημαντικότητα αυτών των τεχνολογιών στη βελτίωση των χειρουργικών επεμβάσεων. Τα συστήματα αυτά έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους και προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως ενισχυμένη ακρίβεια, βελτιωμένη οπτικοποίηση, ευελιξία, μειωμένη επεμβατικότητα, αυξημένη ασφάλεια και ταχύτερη ανάρρωση για τους ασθενείς. Η χρήση τους συμβάλλει σε βελτιωμένα χειρουργικά αποτελέσματα, μείωση των επιπλοκών και βελτίωση της περίθαλψης των ασθενών. Επιπλέον, παρέχουν εκπαιδευτικές δυνατότητες και επιτρέπουν στους χειρουργούς να αποκτήσουν περισσότερη εμπειρία και επιδεξιότητα μέσω ρεαλιστικών προσομοιώσεων και εξατομικευμένης εκπαίδευσης.

Ως εκ τούτου, η έρευνα και η αξιοποίηση των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στη ρομποτική χειρουργική είναι απαραίτητες για την εξέλιξη της ιατρικής πρακτικής. Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα θα οδηγήσει σε περαιτέρω τεχνολογική καινοτομία και βελτιώσεις, με στόχο την παροχή ακόμα πιο αποτελεσματικής, ασφαλούς και ανθρωποκεντρικής περίθαλψης για τους ασθενείς. Η συνεργασία μεταξύ των κλινικών χειρουργών, των ερευνητών και των εταιρειών τεχνολογίας είναι απαραίτητη για τη συνέχιση της ήδη αλματώδους προόδου, την επέκταση σε περισσότερα ερευνητικά πεδία, τη διάνοιξη νέων οριζόντων και τη συνολική πρόοδο της ρομποτικής χειρουργικής.

5

Βιβλιογραφία

- [1] J. J. Xu *et al.*, “Patient-specific three-dimensional printed heart models benefit preoperative planning for complex congenital heart disease,” *World Journal of Pediatrics*, vol. 15, no. 3, pp. 246–254, Jun. 2019, doi: 10.1007/s12519-019-00228-4.
- [2] R. Randell *et al.*, “Impact of Robotic Surgery on Decision Making: Perspectives of Surgical Teams.”
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers., *Proceedings of 2009 4th International Conference on Computer Science & Education : July 25-28, 2009, Nanning, China*. IEEE, 2009.
- [4] B. 'Bethea *et al.*, “Application of Haptic Feedback to Robotic Surgery,” *JOURNAL OF LAPAROENDOSCOPIC & ADVANCED SURGICAL TECHNIQUES*, vol. 14, no. 3, 2004.
- [5] M. Nakao, T. Kuroda, and H. Oyama, “A Haptic Navigation System for Supporting Master-Slave Robotic Surgery. Pervasive Games for Elderly View project Virtual, Augmented, and Mixed Reality in Medicine View project A Haptic Navigation System for Supporting Master-Slave Robotic Surgery,” 2003. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/220984387>
- [6] M. Ferro, D. Brunori, F. Magistri, L. Saiella, M. Selvaggio, and G. A. Fontanelli, “A Portable da Vinci Simulator in Virtual Reality,” in *Proceedings - 3rd IEEE International Conference on Robotic Computing, IRC 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Mar. 2019, pp. 447–448. doi: 10.1109/IRC.2019.00093.

- [7] C. S. Lee, M. T. Khan, R. Patnaik, M. C. Stull, R. W. Krell, and R. B. Laverty, "Model Development of a Novel Robotic Surgery Training Exercise With Electrocautery," *Cureus*, Apr. 2022, doi: 10.7759/cureus.24531.
- [8] L. W. Sun, F. Van Meer, J. Schmid, Y. Bailly, A. A. Thakre, and C. K. Yeung, "Advanced da Vinci surgical system simulator for surgeon training and operation planning," *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, vol. 3, no. 3, pp. 245–251, 2007, doi: 10.1002/rcs.139.
- [9] L.-W. Sun, F. Van Meer, Y. Bailly, and C. K. Yeung, "Design and Development of a Da Vinci Surgical System Simulator," 2007.
- [10] P. Kazanzides, G. Fichtinger, G. D. Hager, A. M. Okamura, L. L. Whitcomb, and R. H. Taylor, "Surgical and interventional robotics - Core concepts, technology, and design," *IEEE Robot Autom Mag*, vol. 15, no. 2, pp. 122–130, Jun. 2008, doi: 10.1109/MRA.2008.926390.
- [11] L. A. Loevner *et al.*, "Transoral robotic surgery in head and neck cancer: What radiologists need to know about the cutting edge," *Radiographics*, vol. 33, no. 6, pp. 1759–1779, Oct. 2013, doi: 10.1148/rg.336135518.
- [12] T. D. Dobbs, O. Cundy, H. Samarendra, K. Khan, and I. S. Whitaker, "A Systematic Review of the Role of Robotics in Plastic and Reconstructive Surgery—From Inception to the Future," *Frontiers in Surgery*, vol. 4, Frontiers Media S.A., Nov. 15, 2017. doi: 10.3389/fsurg.2017.00066.
- [13] E. G. G. Verdaasdonk, L. P. S. Stassen, L. J. Monteny, and J. Dankelman, "Validation of a new basic virtual reality simulator for training of basic endoscopic skills: The SIMENDO," *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, vol. 20, no. 3, pp. 511–518, Mar. 2006, doi: 10.1007/s00464-005-0230-6.
- [14] E. G. G. Verdaasdonk, L. P. S. Stassen, M. P. Schijven, and J. Dankelman, "Construct validity and assessment of the learning curve for the SIMENDO endoscopic simulator," *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*, vol. 21, no. 8, pp. 1406–1412, Aug. 2007, doi: 10.1007/s00464-006-9177-5.

- [15] L. L. M. van der Heijden, M. Reijman, M. C. (Marieke) van der Steen, R. P. A. Janssen, and G. J. M. Tuijthof, “Validation of Simendo Knee Arthroscopy Virtual Reality Simulator,” *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, vol. 35, no. 8, pp. 2385–2390, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.arthro.2019.01.031.
- [16] J. Aulagnier, C. Hoc, E. Mathieu, J. F. Dreyfus, M. Fischler, and M. Le Guen, “Efficacy of Accuvein to facilitate peripheral intravenous placement in adults presenting to an emergency department: A randomized clinical trial,” *Academic Emergency Medicine*, vol. 21, no. 8, pp. 858–863, 2014, doi: 10.1111/acem.12437.
- [17] J. C. De Graaff, N. J. Cuper, R. A. A. Mungra, K. Vlaardingerbroek, S. C. Numan, and C. J. Kalkman, “Near-infrared light to aid peripheral intravenous cannulation in children: A cluster randomised clinical trial of three devices,” *Anaesthesia*, vol. 68, no. 8, pp. 835–845, Aug. 2013, doi: 10.1111/anae.12294.
- [18] J. A. Buza *et al.*, “Robotic-assisted cortical bone trajectory (CBT) screws using the Mazor X Stealth Edition (MXSE) system: workflow and technical tips for safe and efficient use,” *Journal of Robotic Surgery*, vol. 15, no. 1. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 13–23, Feb. 01, 2021. doi: 10.1007/s11701-020-01147-7.
- [19] T. E. O’Connor *et al.*, “Mazor X Stealth Robotic Technology: A Technical Note,” *World Neurosurg*, vol. 145, pp. 435–442, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.wneu.2020.10.010.
- [20] S. Gueli Alletti *et al.*, “Introducing the New Surgical Robot HUGO™ RAS: System Description and Docking Settings for Gynecological Surgery,” *Front Oncol*, vol. 12, Jun. 2022, doi: 10.3389/fonc.2022.898060.
- [21] M. Raffaelli *et al.*, “The new robotic platform Hugo™ RAS for lateral transabdominal adrenalectomy: a first world report of a series of five cases,” *Updates Surg*, vol. 75, no. 1, pp. 217–225, Jan. 2023, doi: 10.1007/s13304-022-01410-6.
- [22] IEEE Industry Applications Society, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Italy Section., Institute of Electrical and Electronics Engineers.

- Region 8., and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE MELECON 2020 : 20th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference : virtual conference : proceedings : June 15-18, 2020*.
- [23] J. Zhang *et al.*, “Robotic arm-assisted versus manual unicompartmental knee arthroplasty,” *Bone Joint J*, vol. 104, no. 5, pp. 541–548, 2022, doi: 10.1302/0301-620X.104B5.
 - [24] S. Mattheis *et al.*, “Flex Robotic System in transoral robotic surgery: The first 40 patients,” *Head Neck*, vol. 39, no. 3, pp. 471–475, Mar. 2017, doi: 10.1002/hed.24611.
 - [25] M. J. Persky, M. Issa, J. R. Bonfili, N. Goyal, D. Goldenberg, and U. Duvvuri, “Transoral surgery using the Flex Robotic System: Initial experience in the United States,” *Head Neck*, vol. 40, no. 11, pp. 2482–2486, Nov. 2018, doi: 10.1002/hed.25375.
 - [26] S. Muhammad, M. Lehecka, and M. Niemelä, “Preliminary experience with a digital robotic exoscope in cranial and spinal surgery: a review of the Synaptive Modus V system,” *Acta Neurochir (Wien)*, vol. 161, no. 10, pp. 2175–2180, Oct. 2019, doi: 10.1007/s00701-019-03953-x.
 - [27] C. Bell *et al.*, “The successful implementation of the Navio robotic technology required 29 cases,” *J Robot Surg*, vol. 16, no. 3, pp. 495–499, Jun. 2022, doi: 10.1007/s11701-021-01254-z.
 - [28] L. Chenin, J. Peltier, and M. Lefranc, “Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with the ROSATM Spine robot and intraoperative flat-panel CT guidance,” *Acta Neurochir (Wien)*, vol. 158, no. 6, pp. 1125–1128, Jun. 2016, doi: 10.1007/s00701-016-2799-z.
 - [29] M. Lefranc and J. Peltier, “Evaluation of the ROSATM Spine robot for minimally invasive surgical procedures,” *Expert Rev Med Devices*, vol. 13, no. 10, pp. 899–906, Oct. 2016, doi: 10.1080/17434440.2016.1236680.
 - [30] S. Beyaz, “A brief history of artificial intelligence and robotic surgery in orthopedics & traumatology and future expectations,” *Jt Dis Relat Surg*, vol. 31, no. 3, pp. 653–655, 2020, doi: 10.5606/ehc.2020.75300.

- [31] U. Kose, O. Deperlioglu, J. Alzubi, and B. Patrut, “Future of medical decision support systems,” in *Studies in Computational Intelligence*, Springer, 2021, pp. 157–171. doi: 10.1007/978-981-15-6325-6_10.