

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή: Θετικών και
Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:
Εφαρμοσμένη Πληροφορική της Υγείας & Τηλεϊατρική

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Τηλεϊατρική Και Εφαρμογές Ρομποτικής Χειρουργικής
Με Την Χρήση Υπολογιστικής Όρασης [Ερευνητική]

Άντρια Αδάμου

Επιβλέπων Καθηγητής
Θεοδόσιος Γούδας

Δεκέμβριος 2019

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή: Θετικών και
Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών:
Εφαρμοσμένη Πληροφορική της Υγείας & Τηλεϊατρική

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τηλεϊατρική Και Εφαρμογές Ρομποτικής Χειρουργικής
Με Την Χρήση Υπολογιστικής Όρασης [Ερευνητική]

Άντρια Αδάμου

Επιβλέπων Καθηγητής
Θεοδόσιος Γούδας

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στην Εφαρμοσμένη Πληροφορική της Υγείας & Τηλεϊατρική από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Δεκέμβριος 2019

ΛΕΥΚΗ ΣΕΛΙΔΑ

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιήθηκε με σκοπό την διερεύνηση εφαρμογών ρομποτικής χειρουργικής, οι οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα για την εξ αποστάσεως διεξαγωγή χειρουργικών επεμβάσεων. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε έρευνα και για συστήματα εικονικής πραγματικότητας τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας.

Αρχικά, καταγράφεται μία εισαγωγή για τις προκλήσεις που αντιμετωπίζονται έτσι ώστε να βελτιωθούν οι ιατρικές υπηρεσίες για την καλύτερη ποιότητα ζωής. Έπειτα, παρουσιάζεται η έννοια της ρομποτικής χειρουργικής και του ρομπότ και παρουσιάζεται μία ιστορική αναδρομή στην ρομποτική χειρουργική. Επίσης, αναφέρεται ο σκοπός και η αναγκαιότητα της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής καθώς και η δομή της.

Στην συνέχεια, γίνεται μία εκτενείς βιβλιογραφική επισκόπηση στις διάφορες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί που αφορούν ρομποτικές εφαρμογές οι οποίες υλοποιούνται στην τηλεχειρουργική, την καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων και την βέλτιστη απεικόνιση τμημάτων του σώματος για την χειρουργική επέμβαση με καθοδήγηση εικόνας.

Ακολούθως, αναλύεται το υλικό και το λογισμικό για την ανάπτυξη και σωστή λειτουργία ρομποτικών συστημάτων για τηλεχειρουργικές επεμβάσεις. Πιο συγκεκριμένα, δίνονται ορισμοί του υλικού και του λογισμικού ενός συστήματος και παρουσιάζονται τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν στις έρευνες του δεύτερου κεφαλαίου.

Μεταγενέστερα, πραγματοποιείται σύγκριση των βασικότερων ερευνών ανάλογα με το κόστος εφαρμογής και υλοποίησής τους, τα θετικά αποτελέσματα που προσφέρουν, την αποδοτικότητα τους κ.α. Επιπλέον, γίνεται μια SWOT ανάλυση των ερευνών.

Τέλος, γίνεται σχολιασμός των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την σύγκριση των ερευνών και από την βιβλιογραφική επισκόπηση που πραγματοποιήθηκαν.

Summary

The current postgraduate thesis is conducted in order to explore the applications of robotic surgery, which are being used nowadays for remote surgery. More specifically, a research on virtual reality systems, which are used to train health professionals is conducted.

Initially, an introduction about the challenges that are faced, in order to improve medical services for a better quality of life is recorded. Afterwards, the concept of robotic surgery and that of robots is presented, as well as a historical overview of robotic surgery. The purpose and the importance of this postgraduate thesis as well as its structure are also mentioned.

Moreover, an extensive bibliographical overview of the various researches carried out on robotic applications implemented in telesurgery, as well as data transmission, and optimized visualization of body parts for image-guided surgery are provided.

Furthermore, the hardware and software for the development and proper operation of telesurgery operations systems are analysed. More particularly, definitions of a system's hardware and software are given, and also the systems which have been used in the second chapter's researches are presented.

In addition, the main researches are compared according to their cost, their positive results, their efficiency and more. Also, a SWOT analysis of the surveys is carried out.

Finally, the conclusions drawn from the comparison of the research and literature review are commented on.

Ευχαριστίες

Με την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή σηματοδοτείτε το τέλος των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου. Σε αυτό το σημείο θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους με βοήθησαν και με στήριξαν στο να επιτύχω την ολοκλήρωση της διατριβής μου εργασίας και να φτάσω ένα βήμα πιο κοντά στην απόκτηση του μεταπτυχιακού μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της μεταπτυχιακής μου διατριβής κύριο Δρ. Θεοδόσιο Γούδα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου το θέμα αυτό. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την βοήθεια του, τις συμβουλές του και την καθοδήγηση του που μου πρόσφερε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλη την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση, την στήριξη τους και την παρότρυνση τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου για την στήριξη και την βοήθεια που μου παρείχαν σε αυτό το σημαντικό κομμάτι της ζωής μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	iii
Summary.....	iv
Ευχαριστίες.....	v
Κεφάλαιο 1	1
Εισαγωγή.....	1
1.1. Ρομπότ και χειρουργική ρομποτική	1
1.2. Σκοπός και Σημασία της Έρευνας	3
1.3. Έννοια του ρομπότ.....	3
1.4. Πλεονεκτήματα της Ρομποτικής Χειρουργικής.....	5
1.5. Μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής	6
1.6. Ιστορική Αναδρομή της ρομποτικής χειρουργικής.....	7
1.7. Δομή της εργασίας.....	12
Κεφάλαιο 2	14
Βιβλιογραφική Επισκόπηση.....	14
2.1. Εισαγωγή της ρομποτικής στην ιατρική – Ελάχιστα επεμβατική χειρουργική.....	14
2.2.1. Χειρουργική επέμβαση υποβοηθούμενη από υπολογιστική χειρουργική	16
2.2.2. Ρομποτική Χειρουργική	16
2.2.2.1. Πρόσφατη έρευνα ανάπτυξης ενός ρομπότ στην ελάχιστα επεμβατική χειρουργική MIS.....	18
2.2.3. Τηλεχειρουργική με την χρήση ρομπότ	19
2.2.3.1. Πρόσφατες έρευνες τηλεχειρουργικής με την χρήση ρομπότ.....	21
2.2.3.2. Πρόσφατες έρευνες οι οποίες μελετούν την επίδραση της καθυστερήσης κατά την επέμβαση στην τηλεχειρουργική	32
2.2.3.3. Πρόσφατες έρευνες για την βέλτιστη απεικόνιση τμημάτων του σώματος για την χειρουργική επέμβαση με καθοδήγηση εικόνας	36
2.2.4. Χειρουργική Προσομοίωση, Εικονική (Virtual Reality) και επαυξημένη (Augmented Reality) Πραγματικότητα.....	50
2.2.4.1. Πρόσφατες έρευνες συστημάτων τηλεχειρουργικής με την χρήση εικονικής (VR) και επαυξημένης (AR) πραγματικότητας	53
2.2. Καινοτομία.....	61

Κεφάλαιο 3	62
Υλικό και Λογισμικό για την ανάπτυξη ρομποτικών συστημάτων	62
3.1. Υλικό (Hardware)	62
3.1.1. Οργάνωση και Λειτουργία ενός ρομποτικού συστήματος	62
3.1.1.1. Μηχανικό Μέρος Ρομποτικού Συστήματος	63
3.1.1.2. Ελεγκτής του ρομποτικού συστήματος	64
3.1.1.3. Βαθμός ελευθερίας του ρομπότ (Degree Of Freedom – DOF)	65
3.1.2. Χειρουργικό Ρομπότ	65
3.1.2.1. Οθόνες για την καθοδήγηση της χειρουργικής επέμβασης	67
3.1.2.2. Απτικές συσκευές	68
3.1.3. Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών στην Τηλεϊατρική	69
3.1.4. Δίκτυα υλοποίησης εφαρμογών τηλεχειρουργικής	73
3.1.4.1. Κανάλια επικοινωνίας μεταγωγής κυκλώματος	73
3.1.4.2. Κανάλια επικοινωνίας μεταγωγής πακέτου	74
3.1.5. Εικονική Πραγματικότητα – Υλικό	75
3.2. Λογισμικό (Software)	79
3.2.1. Τεχνικές Υπολογιστικής Όρασης	79
3.2.1.1. Προεπεξεργασία της εικόνας	80
3.2.1.2. Εξαγωγή χαρακτηριστικών	81
3.2.1.3. Εντοπισμός και κατάτμηση	82
3.2.1.4. Επεξεργασία ψηλού επιπέδου	82
3.2.1.5. Λήψη αποφάσεων	82
3.2.2. Λογισμικό Εικονικής Πραγματικότητας	83
3.2.2.1. Ανίχνευση της κίνησης του ματιού (Eye Tracking)	84
3.2.2.2. Position Tracking	85
3.2.2.3. Αναγνώριση Χειρονομιών	86
3.2.2.4. Απτική Αντίληψη (Haptics)	87
3.2.3. Λογισμικό συμπίεσης Δεδομένων	88
3.2.3.1. Συμπίεση στατικής εικόνας JPEG (Joint Photographic Expert Group)	88
3.2.3.2. Συμπίεση Video	89
3.2.4. Πρότυπο TCP/ IP	90
3.3. Διάγραμμα δεδομένων αλληλεπίδρασης χειρουργού – ρομπότ κατά την διάρκεια διαδικασίας της τηλεχειρουργικής με την χρήση ρομπότ	92

Κεφάλαιο 4	94
Σύγκριση και Αξιολόγηση ερευνών και Ερευνητικά αποτελέσματα (Case studies)	94
4.1. Σύγκριση των ερευνών εικονικής (VR) και επαυξημένης πραγματικότητας (AR).....	94
4.2. Σύγκριση των ερευνών που μελετούν την επίδραση της καθυστέρησης κατά την επέμβαση στην τηλεχειρουργική	104
4.3. Σύγκριση των ερευνών που αναπτύσσουν εφαρμογές τηλεχειρουργικής με την χρήση ρομπότ	112
4.4. Σύγκριση των ερευνών που αναπτύσσουν τεχνικές για την καλύτερη απεικόνιση τμημάτων του σώματος για χειρουργική με καθοδήγηση εικόνας	127
Κεφάλαιο 5	140
Επίλογος – Συμπεράσματα	140
Βιβλιογραφία.....	143
Παράρτημα Α.....	149
Α.1. Ευρετήριο Εικόνων	149
Α.1. Ευρετήριο Πινάκων.....	150

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1. Ρομπότ και χειρουργική ρομποτική

Με βάση τον Αμερικάνο ψυχολόγο Rollo May,

«Με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχουμε την δυνατότητα να διευθετούμε τον κόσμο κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να γευόμαστε την εμπειρία του»

Στις μέρες μας, πολλοί παράγοντες και κοινωνικές προκλήσεις απαιτούν τη συνεχή βελτίωση των ιατρικών υπηρεσιών και των τεχνολογιών για την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των ασθενών.

Η βελτίωση των ιατρικών τεχνολογιών πηγάζει από τις δύο παραμέτρους πιο κάτω:

- Την βελτίωση τεχνολογιών που έχουν ήδη εφαρμοστεί, με βάση τη χρήση πιο εξελιγμένων εργαλείων, τεχνικών συσκευών ή / και τεχνολογιών πληροφορικής.
- Την εφαρμογή νέων τεχνολογιών, οι οποίες εφαρμόζουν νέες αρχές και νέες μεθόδους.

Ένα από τα φωτεινότερα παραδείγματα μιας τέτοιας εξέλιξης στις ιατρικές τεχνολογίες είναι η χειρουργική επέμβαση με την χρήση ρομπότ. Διασχίζοντας έντονα την τελευταία δεκαετία, όχι μόνο αποδείχθηκε σπουδαία εξέλιξη, αλλά σε ορισμένες ειδικότητες (ουρολογία, γυναικολογία) έχει ήδη αντικαταστήσει τις παραδοσιακές μεθόδους χειρουργικής θεραπείας και, εξίσου σημαντικό, έχει θέσει τα θεμέλια για βελτίωση του οργανισμού της υγειονομικής περίθαλψης (Sheptunov and Nakhushev and Yakhutlov and Glashev and Pushkar and Kim, 2017).

Η ρομποτική χειρουργική είναι το αποτέλεσμα της ένωσης ελάχιστα επεμβατικών χειρουργικών τεχνικών με τεχνολογίες τηλεργασίας, επιτρέποντας στον χειρουργό να ασκεί επιδέξιό χειρισμό εργαλείων στο σώμα του ασθενούς μέσω μικρών ανοιγμάτων. Αυτή η προσέγγιση συνδυάζει τα ιατρικά οφέλη της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής,

δηλαδή λιγότερο τραυματικές επεμβάσεις, χαμηλότερη απώλεια αίματος και γρηγορότερο χρόνο αποκατάστασης, με την επιδεξιότητα των ρομποτικών βραχιόνων και την τρισδιάστατη εικόνα (Fiorini, 2009) (Tamás Haidegger and Sándor and Benyó, 2011).

Η συνολική ποσότητα των χειρουργικών ρομπότ στον κόσμο υπερβαίνει τα 4.000, εκ των οποίων περίπου 3000 χρησιμοποιείται στα αμερικάνικα υποστατικά υγείας. Το 2015, χρησιμοποιώντας χειρουργικά ρομπότ, πραγματοποιήθηκαν 652000 εγχειρήσεις (14% περισσότερες από ό, τι το 2014). Σύμφωνα με τους ειδικούς της ιατρικής, περίπου 4 000 000 χειρουργικές επεμβάσεις στον κόσμο μπορούν να πραγματοποιηθούν αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας ένα χειρουργικό ρομπότ. Επίσης, η παγκόσμια αγορά ρομποτικής υποβοηθούμενης χειρουργικής επέμβασης υπολογίστηκε σε 4 δισεκατομμύρια δολάρια το 2015, με αναμενόμενη αύξηση 20,03% ετησίως για τα επόμενα 8 χρόνια (Sheptunov and Nakhushev and Yakhutlov and Glashev and Pushkar and Kim, 2017) (Fiorini, 2009).

Παρά τα σημαντικά επιτεύγματα που έχουν αποδειχθεί μέχρι στιγμής, η ρομποτική χειρουργική εξακολουθεί να είναι στα αρχικά στάδια της ζωής της και πολλές νέες τεχνολογικές εξελίξεις και ιατρικές εφαρμογές είναι δυνατές. Η ιατρική κοινότητα έχει αναγνωρίσει τα οφέλη από τη χρήση ρομποτικών τεχνολογιών στη χειρουργική επέμβαση και ζητά νέα εργαλεία που θα επιτρέπουν στους χειρουργούς να αυξήσουν την ασφάλεια των ασθενών, να βελτιώσουν το αποτέλεσμα των τρεχουσών διαδικασιών και να εκτελέσουν παρεμβάσεις που δεν είναι ακόμη δυνατές. Εν κατακλείδι, η ρομποτική χειρουργική είναι η πιο ελπιδοφόρα εφαρμογή τηλεχειρουργικών τεχνολογιών (Fiorini, 2009).

Στην ιδανική περίπτωση, δεν είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς ένα περιβάλλον όπου οι γιατροί και οι ασθενείς συνδέονται μέσω του δικτύου επικοινωνίας, που επιτρέπει στους χειρουργούς να συνεργαστούν από μακρινές περιοχές για να παρέχουν φροντίδα σε έναν ασθενή με σπάνια ασθένεια σε ένα απομακρυσμένο μέρος του κόσμου. Ο ρόλος της ρομποτικής στο κίνημα της χειρουργικής επέμβασης παρουσιάζει την ευκαιρία για τη διεθνή ανταλλαγή νέων χειρουργικών τεχνικών. Γενικά, η εξελισσόμενη ρομποτική και σωματική τεχνολογία μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω τα αποτελέσματα των ασθενών, παρουσιάζοντας νέες επιλογές σε παγκόσμια κλίμακα. Προσοχή πρέπει να δοθεί στην αξιολόγηση των οικονομικών και δεοντολογικών ζητημάτων αλλά πρέπει επίσης να διεξαχθούν κατάλληλες μελέτες για τον προσδιορισμό του ακριβούς ρόλου της

τεχνολογίας της τηλεχειρουργικής της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής (Senapati and Advincula, 2005) (D'Auria and Persia, 2017).

1.2. Σκοπός και Σημασία της Έρευνας

Η ρομποτική χειρουργική αποτελεί εξέλιξη της ενδοσκοπικής χειρουργικής. Είναι μια επεμβατική και ελάχιστα τραυματική χειρουργική μέθοδος που θέτει στην διάθεση του χειρουργού εξαιρετικά λεπτά και εύκαμπτα εργαλεία που εκτελούν τις χειρουργικές κινήσεις με πρωτοποριακή ακρίβεια (υπολογιστική όραση) μέσα από μικροσκοπικές τομές στο δέρμα του ασθενή.

Στόχος λοιπόν της διατριβής είναι θα ερευνηθούν οι σύγχρονες μέθοδοι και τα εργαλεία που χρησιμοποιούν για την πραγματοποίηση των χειρουργείων με την χρήση ρομπότ. Επίσης, θα γίνει μελέτη της χρήσης τεχνολογικών ρομποτικών συστημάτων, κατάλληλων για εφαρμογή στην ιατρική πρακτική σε χειρουργικές επεμβάσεις.

Με την έρευνα αυτή θα προκύψουν πολλές εφαρμογές οι οποίες βοηθούν τους χειρουργούς να εκτελέσουν με μεγαλύτερη ευκολία μια χειρουργική επέμβαση. Με αυτό τον τρόπο ο χειρουργός χρησιμοποιώντας ρομποτική χειρουργική θα μπορεί να φτάσει στο μέγιστο των δυνατοτήτων του. Έτσι, δεν θα επιβαρύνεται ο ασθενής και θα γίνονται λιγότερα λάθη στις χειρουργικές επεμβάσεις. Επίσης, κάποιες από τις μεθόδους που θα αναφερθούν μπορούν να χρησιμοποιούνται εξ αποστάσεως έτσι ώστε να μην μετακινείται ο ασθενής και να ταλαιπωρείται.

1.3. Έννοια του ρομπότ

Η έννοια του ρομπότ γεννήθηκε τον 20^ο αιώνα και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1921 σε ένα θεατρικό έργο το Rossumovi Universalni Roboti (Rossum's Universal Robots ή R.U.R.). Ο συγγραφέας του θεατρικού έργου ήταν ο Τσέχος Karel Capek. Η λέξη ρομπότ προήλθε από την τσέχικη λέξη *robot* που σημαίνει «αναγκαστική εργασία». Τα ρομπότ αποτελούσαν για περίπου 75 χρόνια μέρος της επιστημονικής φαντασίας των ανθρώπων. Οι περιγραφές που έδιναν στα ρομπότ παλαιότερα, έδειχναν ότι δεν φαντάζονταν πόσες εργασίες μπορεί να κάνει. Για παράδειγμα, πίστευαν ότι είναι μια χαζή μηχανή ικανή να εκτελέσει απλές και μονότονες εργασίες. Το ίδιο πίστευαν και για τα ανθρωπόμορφα ρομπότ που περιγράφονται στα κλασικά βιβλία επιστημονικής

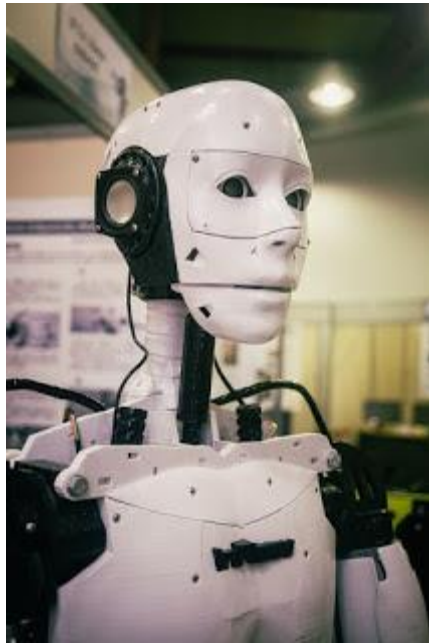
φαντασίας του Isaac Asimov (1938-1942) και για τα γνωστά σε αρκετούς R2D2 και C3PO από την κινηματογραφική επιτυχία στα τέλη της δεκαετίας του '70, Star Wars. Ένα σημαντικό μέρος της δημοτικότητας που απέκτησαν τα ρομπότ αποδίδεται στον Isaac Asimov για τον λόγο ότι διατύπωσε τρεις περίφημους ηθικούς νόμους στις αρχές της δεκαετίας του '50 οι οποίοι καθόριζαν την συμπεριφορά τους. Ο πρώτος ηθικός νόμος που διατύπωσε ήταν ότι ένα ρομπότ δεν μπορεί να κάνει κακό σε ένα άνθρωπο. Επιπλέον, ένα ρομπότ επιβάλλετε να υπακούει τις οδηγίες των ανθρώπων εκτός αν αυτές έρχονται σε αντιπαράθεση με τον νόμο. Τέλος, ο τελευταίος νόμος έλεγε ότι ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ύπαρξη του (Αλεξανδροπούλου, 2016) (Αγγελόπουλος, 2009) (Konács and Haidegger and Rudas, 2013).

Αργότερα, τα ρομπότ άρχισαν να ξεφεύγουν από την ανθρώπινη φαντασία και να αποτελούν σταδιακά μέρος της πραγματικότητας. Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται αρκετά τα ρομπότ με την μορφή προγραμματιζόμενων μηχανισμών σε πληθώρα επιστημονικές εφαρμογές ως υποκατάστατα της ανθρώπινης ύπαρξης. Συχνά χρησιμοποιούνται για συγκεκριμένες εργασίες οι οποίες απαιτούν ψηλή ακρίβεια. Κυρίως χρησιμοποιούνται για εκτέλεση λεπτών χειρωνακτικών εργασιών σε επικίνδυνα αντικείμενα, για πολύ λεπτές χειρουργικές επεμβάσεις στα υποστατικά υγείας υποστηρίζοντας και βοηθώντας τον χειρουργό, για την συναρμολόγηση αυτοκινήτων, για την εξερεύνηση του διαστήματος και για πολλές άλλες εργασίες.

Τα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα έχουν καταφέρει να κερδίσουν υψηλή αναγνωρισιμότητα εξαιτίας της λειτουργικότητας τους και της βοήθειας που προσφέρουν. Παρόλο που τα σημερινά ρομπότ εξακολουθούν να είναι μηχανές χωρίς τεχνική νοημοσύνη καταβάλλονται μεγάλες προσπάθειες να επεκταθεί η χρησιμότητα τους.

Σύμφωνα με τον πρώτο ορισμό ο οποίος δημοσιεύθηκε από το Ινστιτούτο Ρομποτικής του Πανεπιστημίου Carnegie Mellon στις Η.Π.Α. :

«Ρομπότ είναι ένας επαναπρογραμματιζόμενος χειριστής πολλαπλών λειτουργιών ειδικά σχεδιασμένος για να κινεί υλικά, εργαλεία ή εξειδικευμένες συσκευές μέσω προγραμματισμένων κινήσεων για την επίτευξη πολλών εργασιών» (Αλεξανδροπούλου, 2016) (Αγγελόπουλος, 2009) (Nosrati and Abugharbieh and Peyrat and Abinahed and Al-Alao and Al-Ansari and Hamarneh, 2015).



Εικόνα 1. Ρομπότ ως μέρος της επιστημονικής φαντασίας

1.4. Πλεονεκτήματα της Ρομποτικής Χειρουργικής

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν με την εφαρμογή της ρομποτικής χειρουργικής ποικίλουν. Με την εφαρμογή της ρομποτικής στα χειρουργεία μεταλλάχθηκαν οι δύσκολες περιπτώσεις ανοιχτών επεμβάσεων σε εγχειρίσεις ρουτίνας. Η ρομποτική χειρουργική αποτελεί το μέλλον της χειρουργικής αφού δίνει λύσεις στους περιορισμούς της λαπαροσκοπικής μεθόδου. Ταυτόχρονα βοηθά σε πολύ μεγάλο βαθμό τους χειρουργούς κατά την διάρκεια μιας χειρουργικής επέμβασης.

Η νέα αυτή τεχνολογία παρέχει πολύ μεγάλη άνεση στον χειρουργό κατά την χειρουργική επέμβαση γιατί έχει την δυνατότητα να χειρουργεί καθισμένος, μέσα σε ένα προσεχτικά σχεδιασμένο και εργονομικά άριστο περιβάλλον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην κουράζεται ο χειρουργός σε ιδιαίτερα πολύπλοκες και πολύωρες χειρουργικές επεμβάσεις.

Επιπλέον, με την χρήση ρομπότ ο συντονισμός μεταξύ των ματιών και των χεριών του χειρουργού βελτιώνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Τα χειρουργικά εργαλεία που είναι διαθέσιμα μπορούν να εκτελέσουν όλες τις κινήσεις που πραγματοποιεί το ανθρώπινο χέρι με πολύ μεγάλη ακρίβεια ενώ μπορούν να περιστρέφονται 360ο μέσα στο χειρουργικό πεδίο.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της ρομποτικής χειρουργικής είναι ότι παρέχει έγχρωμη, τρισδιάστατη εικόνα του χειρουργικού πεδίου με πολύ μεγάλη μεγέθυνση δίνοντας έτσι την αίσθηση στον χειρουργό ότι τα μάτια και τα χέρια του βρίσκονται ακριβώς πάνω και μέσα στον ασθενή έχοντας τον απόλυτο έλεγχο της κατάστασης. Έτσι, ο χειρουργός αποκτά αντίληψη του βάθους του χειρουργικού πεδίου βλέποντας άριστα σε σημεία που δεν υπήρχε οπτική πρόσβαση χειρουργώντας έτσι, με ασφάλεια και ακρίβεια.

Τα ρομποτικά συστήματα δίνουν επίσης στον χειρουργό, την δυνατότητα να προγραμματίσουν την επέμβαση στον υπολογιστή με την χρήση εικόνων από τομογραφίες των εσωτερικών οργάνων του ασθενή.

Η ρομποτική χειρουργική εφαρμόζεται σε πολλές ειδικότητες της χειρουργικής όπως γενική χειρουργική, ουρολογία, γυναικολογία, καρδιοχειρουργική, θωρακοχειρουργική, αγγειοχειρουργική, παιδιατρική, ορθοπαιδική, ογκολογία και νευροχειρουργική, πολλαπλασιάζοντας έτσι σημαντικά τα πλεονεκτήματα της.

Εκτός από τα πολλά οφέλη που προσφέρει η ρομποτική τεχνολογία στους χειρουργούς, εξασφαλίζει και απίστευτα οφέλη στους ασθενείς. Κάποια οφέλη που προκύπτουν για τους ασθενείς με την χρήση της είναι ότι μειώνεται η απώλεια αίματος, ελαττώνεται ο μετεγχειρητικός πόνος, ελαχιστοποιούνται τυχόν επιπλοκές κατά την διάρκεια του χειρουργείου, εξασφαλίζεται μικρότερος χρόνος ανάρρωσης και μειώνεται σημαντικά το κόστος για τον ασθενή (Αγγελόπουλος, 2009) (Κατσαμάγκου, 2012) (Γκιόκας, 2016) (Αλεξανδροπούλου, 2016) (Fujii and Salerno and Sriskandarajah and Kwok and Shetty and Yang, 2013).

1.5. Μειονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής

Παρόλο που η ρομποτική χειρουργική παρουσιάζει ραγδαία εξέλιξη τα τελευταία χρόνια και παρέχει πολλά οφέλη στους χειρουργούς και τους ασθενείς, δεν έχουν ακόμα ξεπεραστεί κάποιοι σημαντικοί περιορισμοί για την περαιτέρω χρήση της. Το βασικότερο μειονέκτημα της είναι το αρκετά μεγάλο κόστος που χρειάζεται για να αναπτυχθεί και να εφαρμοστεί (Morris, 2005).

Ένα άλλο μειονέκτημα της ρομποτικής χειρουργικής είναι ο μεγάλος όγκος των συστημάτων της. Το σώμα του ρομπότ με τους βραχίονες και η κεντρική κονσόλα του χειρουργού καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο μέσα στην χειρουργική αίθουσα.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της ρομποτικής χειρουργικής είναι η έλλειψη συμβατού εξοπλισμού. Η έλλειψη κάποιων συμβατών με το ρομπότ χειρουργικών οργάνων αυξάνει την χρήση βοηθητικού προσωπικού δίπλα στο χειρουργικό τραπέζι. Επίσης, ένα μεγάλο μείζον πρόβλημα που προκύπτει για τους χειρουργούς είναι η έλλειψη της αίσθησης της αφής (Morris, 2005).

Είναι γεγονός ότι η ρομποτική χειρουργική αποτελεί λύση για πολλά προβλήματα χάρις της αποτελεσματικότητάς της. Με την πάροδο του χρόνου αναμένεται να ξεπεραστούν τα περισσότερα μειονεκτήματα της λόγω των μελλοντικών επανασχεδιασμών και των τεχνολογικών βελτιώσεων (Αγγελόπουλος, 2009) (Κατσαμάγκου, 2012) (Γκιόκας, 2016) (Αλεξανδροπούλου, 2016).

1.6. Ιστορική Αναδρομή της ρομποτικής χειρουργικής

Η ρομποτική χειρουργική έκανε την εμφάνισή της επίσημα το 1965 από τον Kwoh με την χρήση του ρομπότ Puma 560. Χρησιμοποίησε το ρομπότ αυτό για την καθοδήγηση μίας βελόνας με πολύ μεγάλη ακρίβεια κατά την διάρκεια μιας νευροχειρουργικής βιοψίας με την καθοδήγηση της αξονικής τομογραφίας (computed tomography –CT). Το 1968 ο Davies και η ομάδα του χρησιμοποίησε το ρομπότ Puma 560 για διουρηθρική προστατεκτομή. Το σύστημα αυτό οδήγησε στην κατασκευή του PROBOT (Γκιόκας, 2016).



Εικόνα 2. Το πρώτο ρομπότ Puma 560

Από τα μέσα έως τα τέλη της δεκαετίας του '80 πρωτοεμφανίστηκαν πολλές ιδέες για την εφαρμογή και χρήση της ρομποτικής τεχνολογίας στο πεδίο των χειρουργικών επεμβάσεων. Οι ιδέες και οι μελέτες αυτές για το ξεκίνημα της νέας ρομποτικής τεχνολογίας αφορούσαν τον Dr. Scott Fisher ο οποίος ήταν ερευνητής στο κέντρο ερευνών Ames της NASA και τον Joseph Rosen πλαστικό χειρουργό του πανεπιστημίου Stanford. Εκείνη την εποχή, η ομάδα του κέντρου ερευνών Ames δούλευε σε εφαρμογές που είχαν να κάνουν με εικονική πραγματικότητα (virtual reality). Την δουλειά αυτή καθοδηγούσαν ο Dr. Michael McGreevy και ο Steve Ellis. Ήταν μια ομαδική προσπάθεια για την διερεύνηση ενός τρόπου επίδειξης του τεράστιου όγκου δεδομένων τα οποία είχαν συλλεγεί από τις αποστολές διερεύνησης της NASA.

Στην συνέχεια, ο Dr. Scott Fisher και ο Joseph Rosen ολοκλήρωσαν και εφάρμοσαν τις νέες ιδέες που σχετίζονταν με την εικονική πραγματικότητα στην ρομποτική χειρουργική. Ως πρώτο τους εγχείρημα έφτιαξαν την λεγόμενη *χειρουργική επέμβαση με τηλεπαρουσία (telepresence surgery)*. Για να πετύχουν την χειρουργική επέμβαση χρησιμοποίησαν το DataGlove ως μέθοδο μετατόπισης των ρομποτικών βραχιόνων εξ αποστάσεως. Σημαντικό ρόλο έπαιξε και η έλλειψη πείρας στον τομέα της ρομποτικής χειρουργικής από την ερευνητική ομάδα του Ames. Έτσι, ο Dr. Scott Fisher και ο Joseph Rosen απευθύνθηκαν στον Dr. Phil Green ο οποίος ήταν επικεφαλής του τμήματος εμβιομηχανικής στο Ινστιτούτο Ερευνών του Stanford και εργαζόταν με άλλους ειδικούς πάνω στην τεχνολογία του ανθρώπινου interface και στον τομέα της εικονικής πραγματικότητας. Επομένως, με την συνεργασία αυτή αναπτύχθηκε ένας εξαιρετικά επιδέξιος τηλεχειριστής (telem manipulator). Στόχος του ήταν η παροχή βοήθειας στις χειρουργικές επεμβάσεις αναστόμωσης αγγείων και νεύρων του χεριού. Ο σχεδιασμός interface ο οποίος αναπτύχθηκε έδινε στον χειρουργό την αίσθηση ότι δρούσε άμεσα πάνω σε ένα αντικείμενο το οποίο βρισκόταν μπροστά στα μάτια του, αλλά στην πραγματικότητα βρισκόταν στην άλλη πλευρά του δωματίου.

Κατά την διάρκεια του 1988 και του 1989 αναπτυσσόταν παράλληλα η επαναστατική μέθοδος της λαπαροσκοπικής χολοκυστεκτομής. Η μέθοδος αυτή αποτέλεσε μια καινούρια προσέγγιση στην ήδη υπάρχουσα για πάνω από ένα αιώνα μέθοδο, για την θεραπεία της χολολιθίασης. Ο Jacques Ferrisat, MD του πανεπιστημίου Bordeaux στην Γαλλία, παρουσίασε ένα βίντεο από μια επέμβαση λαπαροσκοπικής χολοκυστεκτομής στην ετήσια συνεδρίαση της SAGES (Society of American Gastrointestinal Endoscopic Surgeons). Η εφεύρεση της βιντεοκάμερας το 1986 διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην

λαπαροσκόπηση της χειρουργικής ομάδας ως σύνολο και όχι από τα χέρια του ενός χειρουργού όπως πριν. Ένα χρόνο μετά ολοκληρώθηκε η πρώτη λαπαροσκοπική χολοκυστεκτομή κατά την διάρκεια γυναικολογικής επέμβασης από τον Ph. Mouret. Η επίδραση της λαπαροσκόπησης στις χειρουργικές εγχειρίσεις ήταν αρκετά σημαντική. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην έκρηξη των επεμβάσεων χολοκυστεκτομής με την μέθοδο της λαπαροσκοπικής χειρουργικής σε όλη την Δυτική Ευρώπη και την Αμερική. Έτσι, με την πρόοδο του τομέα των ενδοσκοπήσεων και των ιατρικών μηχανημάτων, πολλές επεμβάσεις εκτελούνται με την μέθοδο της λαπαροσκοπικής χειρουργικής.

Την δεκαετία του '90, ο Dr. Har Paul, DVM και ο William Barger, MD συνεργάστηκαν με τον Russell Taylor ο οποίος ήταν ερευνητής του κέντρου T. J. Watson της IBM για την ανάπτυξη ενός ρομποτικού συστήματος το οποίο θα ήταν βασισμένο στον βραχίονα Puma για την χειρουργική επέμβαση αντικατάστασης ισχίων. Με την συνεργασία αυτή προέκυψε η συσκευή η οποία ονομάστηκε ROBODOC και μετά από αρκετές κλινικές δοκιμές έγινε εμπορικό προϊόν. Η συσκευή αυτή παρείχε μεγαλύτερη ακρίβεια από την χειροκίνητη συσκευή (96% έναντι 75%). Μετέπειτα, αναπτύχθηκαν και άλλα συστήματα για την αντικατάσταση γόνατος και ισχίων.

Κατά την διάρκεια της ίδιας περιόδου στην Ευρώπη δύο ομάδες συνέχιζαν στην ανάπτυξη χειρουργικών ρομποτικών συστημάτων. Ο Sir John Wickham, MD ο οποίος ήταν ουρολόγος και ο Brian Davies, PhD του Guy's Hospital του Λονδίνου ανέπτυξαν ένα σύστημα για την παροχή βοήθειας σε επεμβάσεις διουρηθρικής προστατεκτομής. Το σύστημα αυτό ονομάστηκε Probot και χρησιμοποιούσε ένα ρομποτικό βραχίονα παρόμοιο με το Puma και το Robodoc. Επιπλέον, το σύστημα περιείχε ένα μεταλλικό δαχτυλίδι μέσω του οποίου διερχόταν το όργανο οπισθοτομίας. Με αυτό το δαχτυλίδι αποτρεπόταν η κίνηση του ρομποτικού βραχίονα έξω από την περιοχή του προστάτη, με αποτέλεσμα την επίτευξη της ασφάλειας του ασθενή.

Επιπρόσθετα, μια ακόμα προσπάθεια στην Ευρώπη ήταν η συνεργασία του Hermann Rinnsland, PhD από το κέντρο ερευνών της Καρλσρούης με τον Gerhard Buess, MD του πανεπιστημίου του Tubingen της Γερμανίας. Από την συνεργασία αυτή δημιουργήθηκε το σύστημα ARTEMIS (Advanced Robot and Telemanipulator System for Minimally Invasive Surgery). Αυτό το σύστημα αποδείχθηκε αρκετά επιδέξιο και αποδοτικό.

Όλα τα συστήματα αυτά αποτελούσαν την αιχμή του δόρατος στην ρομποτική χειρουργική μέχρι το 1993. Τα επόμενα έτη, μέχρι και το 1999 οι στρατιωτικοί της

Υπηρεσίας Προηγούμενων Προγραμμάτων Έρευνας για την Άμυνα των Η.Π.Α. (DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency) έδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον για το σύστημα χειρουργικής με τηλεπαρουσία που ανέπτυξαν ο Fisher και ο Rosen. Τον Ιούλιο του 1992 ξεκίνησαν ένα πρόγραμμα προηγμένων βιοϊατρικών τεχνολογιών με χρήση αισθητήρων, τηλεϊατρικής, ρομποτικής και εικονικής πραγματικότητας.

Τα επόμενα επτά έτη (1993-1999) χρηματοδοτήθηκαν προγράμματα πάνω στην χειρουργική με τηλεπαρουσία και τη ρομποτική χειρουργική. Πρώτος στόχος ήταν η εφαρμογή της μεθόδου των Fisher και Rosen στο πεδίο μάχης. Με λίγα λόγια, να υπάρχει δυνατότητα παροχής χειρουργική φροντίδας στους στρατιώτες εξ αποστάσεως (MASH – Mobile Advanced Surgical Hospital) με ένα κινούμενο όχημα στο οποίο θα υπάρχουν οι ρομποτικοί βραχίονες. Το κινούμενο αυτό όχημα ονομάστηκε MEDFAST (Medical Forward Advanced Surgical Treatment). Για παράδειγμα, αν χρειαζόταν επείγον χειρουργική περίθαλψη ένας στρατιώτης, ο νοσοκόμος θα τον τοποθετούσε στο MEDFAST και ο χειρουργός θα μπορούσε από την τηλεχειρουργική μονάδα πίσω στο MASH να κάνει τις κατάλληλες χειρουργικές ενέργειες ώστε να τον περιθάλψει. Με αυτό τον τρόπο θα παρέχεται άμεση και ποιοτικότερη περίθαλψη στους στρατιώτες. Μετά από μια δοκιμή του συστήματος αυτού υπό την διεύθυνση του SRI αποδείχθηκε ότι μία τέτοια χειρουργική επέμβαση θα μπορούσε να γίνει με επιτυχία από 5 χιλιόμετρα μακριά, με την βοήθεια μικροκυματικής ζεύξης ανάμεσα της μονάδας MASH και του MEDFAST.

Πολλές ρομποτικές χειρουργικές εφαρμογές αναπτύσσονταν κατά την διάρκεια της ίδιας περιόδου από την DARPA. Δυσκολία σε αυτή την προσπάθεια εμφανίστηκε στην επίλυση τεχνικών θεμάτων όπως η καθυστέρηση του ηλεκτρονικού σήματος και η αίσθηση της αφής. Με την πάροδο του χρόνου προτάθηκαν πολλές προτάσεις για την βελτίωση της καθυστέρησης του χρόνου ανατροφοδότησης. Οι ερευνητές Kenneth Salisbury, PhD, Mark Raibert, PhD και Robert Playter, PhD εργαζόνταν υπό την καθοδήγηση του Rodney Brooks, PhD πάνω σε ένα σύστημα απτικής (αίσθηση της αφής). Η προσπάθεια αυτή κατέληξε στην δημιουργία ενός συστήματος ανατροφοδότησης δύναμης το οποίο ήταν αρκετά ακριβές. Το σύστημα αυτό ήταν εμπορικό και ονομάστηκε The Phantom. Τελικά, καθιερώθηκε ως βιομηχανικό πρότυπο για την παροχή αίσθησης της αφής σε εικονικά περιβάλλοντα (Αγγελόπουλος, 2009).

Παράλληλα, η Computer Motion, Inc. στην Καλιφόρνια ανέπτυξε το ρομπότ AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning). Το ρομπότ αυτό ήταν ένας βραχίονας που κρατούσε την ενδοσκοπική κάμερα και την μετακινούσε ανάλογα με τις

φωνητικές εντολές του χειρουργού. Μετά από την εμφάνιση του AESOP η Integrated Surgical Systems αγόρασε τα δικαιώματα του SRI Green Telepresence Surgery system. Έτσι το σύστημα υποβλήθηκε σε προσεκτικό επανασχεδιασμό και παρουσιάστηκε ως **Da Vinci Surgical System** το 1995. Από το 2000 χρησιμοποιείται σε πολλά νοσοκομεία παγκοσμίως και αποτελεί το πρώτο σύστημα ρομποτικής χειρουργικής που πραγματοποιεί επεμβάσεις με την ελάχιστη δυνατή επέμβαση στον οργανισμό του ασθενούς. Είναι το πρώτο σύστημα ρομποτικής χειρουργικής το οποίο εγκρίθηκε από τον Αμερικανικό Οργανισμό Φαρμάκων και Τροφών (Food and Drug Administration , FDA) για την πραγματοποίηση επεμβάσεων το 1997. Το σύστημα **Da Vinci** μπορούσε να χρησιμοποιήσει εργαλεία με ένα επιπρόσθετο βαθμό ελευθερίας. Η πρώτη χειρουργική επέμβαση πραγματοποιήθηκε το 1997 στις Βρυξέλλες από τους Jacques Himpen, MD και Guy Cardier, MD.

Το σύστημα **Da Vinci** συνδυάζει τις λεπτές δεξιότητες του χειρουργού με τη ρομποτική τεχνολογία η οποία ενισχύεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το σύστημα χειριζόταν από απομακρυσμένη κονσόλα και είχε τρισδιάστατη εικόνα με μεγέθυνση έως και 15 φορές. Αποτελείται από την εργονομικά σχεδιασμένη κονσόλα χειρισμού του χειρουργού, τον χειρουργικό πύργο που βρίσκεται δίπλα στον ασθενή, το σύστημα τρισδιάστατης απεικόνισης (3D) και την ολοκληρωμένη σειρά πρωτοποριακών, αποσπώμενων χειρουργικών εργαλείων EndoWrist. Επίσης, το σύστημα χρησιμοποιεί στερεοσκοπικές εικόνες οι οποίες εμφανίζονται ακριβώς πάνω από τα χέρια του χειρουργού, έτσι έδινε την αίσθηση στον χειρουργό ότι βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον ασθενή.



Εικόνα 3. Το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα Da Vinci

Στην πάροδο ενός χρόνου η Computer Motion άρχισε να αναπτύσσει το ρομπότ Zeus. Το ρομπότ αυτό ήταν πολύ παρόμοιο με το σύστημα **Da Vinci** στο ότι ο χειρουργός χρησιμοποιούσε ένα σύστημα τηλεχειριστηρίων για την εκτέλεση της χειρουργικής επέμβασης τα οποία βρίσκονται σε ένα σταθμό εργασίας. Παρόλα αυτά και τα δύο συστήματα διακρίνονται για την εργονομική τους σχεδίαση γιατί, τα όργανα ελέγχου βρίσκονται σε βολική θέση μπροστά από την καρέκλα του χειρουργού ενώ οι λαβές των οργάνων σε τέτοια θέση άξονα ώστε να επιτυγχάνεται ο καλύτερος συντονισμός μεταξύ των χεριών και των ματιών (Αλεξανδροπούλου, 2016) (Johnston and Riofrio and Gettens, 2014) (Mylonas and Vitiello and Cundy and Darzi and Yang, 2014) (Vaucher and Bleuler, 2013).

1.7. Δομή της εργασίας

Συνοψίζοντας στο κεφάλαιο αυτό καταγράφηκε μια γενική εισαγωγή σχετικά με το θέμα, η έννοια του ρομπότ και μια ιστορική αναδρομή της ρομποτικής χειρουργικής. Επίσης, αναφέρθηκε ο στόχος και ο σκοπός της εργασίας αυτής. Στα επόμενα κεφάλαια θα ακολουθήσουν τα εξής:

Κεφάλαιο 2:

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική επισκόπηση των ήδη υπάρχον εφαρμογών της ρομποτικής χειρουργικής, της τηλεχειρουργικής και των εφαρμογών που χρησιμοποιούν υπολογιστική όραση.

Κεφάλαιο 3:

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό και το υλικό που χρειάζεται για να υποστηριχθούν τέτοια συστήματα ρομποτικής χειρουργικής.

Κεφάλαιο 4:

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση και σύγκριση των συστημάτων τα οποία προαναφέρθηκαν. Η σύγκριση γίνεται μεταξύ ερευνών με παρόμοιο θέμα ανάλογα με το κόστος υλοποίησης και λειτουργίας τους, την αποδοτικότητα τους, την καθυστέρηση στην μετάδοση των δεδομένων, την χρησιμότητα τους κ.τ.λ. Επιπλέον, πραγματοποιείται για όλες τις έρευνες που συγκρίνονται SWOT ανάλυση.

Κεφάλαιο 5:

Τέλος, στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, καταγράφονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη του θέματος καθώς και της βιβλιογραφικής επισκόπησης. Τα συμπεράσματα προκύπτουν από την σύγκριση των ερευνών του 4^{ου} κεφαλαίου.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Κατά την βιβλιογραφική επισκόπηση πραγματοποιήθηκε μία εκτενής μελέτη σε υπάρχουσες έρευνες. Με λίγα λόγια, μελετήθηκαν άρθρα που ασχολούνται με ρομποτικές εφαρμογές οι οποίες υλοποιούνται στην τηλεχειρουργική, άρθρα τα οποία μελετούν την καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων και άρθρα τα οποία ερευνούν την βέλτιστη απεικόνιση τμημάτων του σώματος για την χειρουργική επέμβαση με καθοδήγηση εικόνας.

2.1. Εισαγωγή της ρομποτικής στην ιατρική – Ελάχιστα επεμβατική χειρουργική

Παλαιότερα οι χειρουργοί άρχισαν να εφαρμόζουν μία νέα προσέγγιση στον χώρο των χειρουργικών επεμβάσεων για να βοηθήσουν τους ασθενείς να αναρρώνουν ευκολότερα. Σήμερα η προσέγγιση αυτή είναι γνωστή ως **ελάχιστα επεμβατική χειρουργική (minimally invasive surgery – MIS)**. Στόχος της νέας αυτής προσέγγισης ήταν η εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων με όσο πιο ελάχιστο τραύμα ήταν δυνατό και με μικρό χρόνο ανάρρωσης των ασθενών. Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε χρησιμοποιώντας μικροσκοπικές κάμερες προσαρμοσμένες σε όργανα τα οποία ονομάζονταν ενδοσκόπια ή λαπαροσκόπια. Τα όργανα αυτά εισέρχονταν μέσα από μικρές τομές περίπου 1cm και καθοδηγούνταν μέσα στο σώμα των ασθενών με την βοήθεια μιας οθόνης με βίντεο (Αγγελόπουλος, 2009) (Morris, 2005).

Η μέθοδος αυτή είχε τεράστια επιτυχία και μεγάλο αντίκτυπο στις χειρουργικές επεμβάσεις. Έτσι, δημιουργήθηκε μια καινούργια ειδικότητα στην σύγχρονη ιατρική η λαπαροσκοπική χειρουργική με την οποία οι κοιλιοτομές αποτέλεσαν παρελθόν. Ο

χειρουργός χρησιμοποιώντας την μέθοδο αυτή, καλείται να εκτελέσει χειρουργικές επεμβάσεις με καθοδήγηση βίντεο χωρίς να έχει άμεση επαφή με το ασθενή (Γκιόκας, 2016).

Στις λαπαροσκοπικές επεμβάσεις τον έλεγχο του χειρουργικού πεδίου τον κατέχει αυτός που χειρίζεται το λαπαροσκόπιο. Πολλοί χειρουργοί επιλέγουν να το χειρίζονται οι ίδιοι έτσι ώστε να έχουν τον πλήρη έλεγχο του οπτικού πεδίου. Πολύ σημαντικό ρόλο στην επιτυχία της επέμβασης διαδραματίζει η ποιότητα της εικόνας και η αποφυγή άσκοπων κινήσεων από τον χειρουργό. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο αυτή βελτιώθηκαν σε πολύ μεγάλο βαθμό οι συνθήκες νοσηλείας των ασθενών γιατί εξαλείφθηκαν οι μολύνσεις και οι επιπλοκές, μειώθηκε ο πόνος των ασθενών μετά το χειρουργείο και η απώλεια αίματος. Επομένως, ο ασθενής αναρρώνει πολύ πιο σύντομα και επιβαρύνεται με αρκετά μικρότερο κόστος (Αγγελόπουλος, 2009) (Γκιόκας, 2016).

Η λαπαροσκοπική χειρουργική αποτέλεσε μία μεγάλη τεχνολογική και ιατρική καινοτομία η οποία όμως είχε εμπόδια για την περαιτέρω ανάπτυξη της. Σημαντικά εμπόδια αποτελούν ο μικρός χώρος εργασίας, το περιορισμένο οπτικό πεδίο και η υποβάθμιση των φυσικών αισθήσεων του χειρουργού. Όλες οι μελέτες οι οποίες διεξήχθησαν για την μέθοδο αυτή συνέκλιναν στο συμπέρασμα ότι η προχωρημένη λαπαροσκοπική χειρουργική χρειάζεται μακροχρόνια εκπαίδευση και ιδιαίτερη χειρουργική ακρίβεια και επιδεξιότητα στον χειρισμό των ιστών του σώματος π.χ. τομές (Γκιόκας, 2016) (Morris, 2005).

Για να ξεπεραστούν τα προβλήματα τα οποία προκύπταν από την χρήση της λαπαροσκοπικής χειρουργικής προτάθηκαν δύο λύσεις. Μία εκ των δύο ήταν να βοηθήσει τεχνολογικά ο χειρουργός για να βελτιώσει τις ικανότητες του και η δεύτερη λύση ήταν να αντικατασταθεί ο χειρουργός από κάποια αυτόματη μηχανή απαλλαγμένη από ανθρώπινες αδυναμίες. Η έρευνα και για τις δύο λύσεις συνεχίζεται μέχρι και σήμερα (Κατσαμάγκου, 2012) (Γκιόκας, 2016).

2.2.1. Χειρουργική επέμβαση υποβοηθούμενη από υπολογιστική χειρουργική

Σήμερα, πολλές χειρουργικές επεμβάσεις γίνονται με την βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών. Στην φιλοσοφία αυτής της τεχνολογίας ο χειρουργός παραμένει το κεντρικό πρόσωπο.

Ο κύριος σκοπός της υποβοηθούμενης από ηλεκτρονικό υπολογιστή χειρουργικής (computer – assisted surgery – CAS) είναι η ποιοτική αναβάθμιση των αισθήσεων και των ικανοτήτων του χειρουργού (3D όραση, αφή και 3D διαγνωστικά) έτσι ώστε να βελτιωθεί η απόδοση του κατά την διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης. Ο χειρουργός ενισχύεται στο χειρουργικό πεδίο με τρισδιάστατα διαγνωστικά και απεικονιστικά μηχανήματα, με τεχνητές αισθήσεις και με τρισδιάστατη όραση και αφή. Εκτός από το χειρουργείο η τεχνολογία computer assisted surgery – CAS χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ιατρικής απεικόνισης, στην εκπαίδευση και στον σχεδιασμό χειρουργικών επεμβάσεων (Γκιόκας, 2016) (Αγγελόπουλος, 2009).

2.2.2. Ρομποτική Χειρουργική

Η ρομποτική χειρουργική είναι η εξέλιξη της ενδοσκοπικής χειρουργικής. Η ενδοσκοπική χειρουργική είναι μια ελάχιστα επεμβατική και ελάχιστα τραυματική χειρουργική μέθοδος που θέτει στην διάθεση του χειρουργού εξαιρετικά λεπτά και εύκαμπτα εργαλεία τα οποία εκτελούν τις χειρουργικές κινήσεις με πρωτοποριακή ακρίβεια, μέσα από μικροσκοπικές τομές στο δέρμα του ασθενούς (Κατσαμάγκου, 2012) (Kovács and Haidegger and Rudas, 2013).

Η ρομποτική χειρουργική εφαρμόζεται σε πολλαπλές ειδικότητες της χειρουργικής όπως στην γενική χειρουργική, στην καρδιοχειρουργική και θωρακοχειρουργική, στην παιδιατρική χειρουργική, στην ουρολογία, στην γυναικολογική χειρουργική και σε πολλές άλλες ειδικότητες. Σήμερα, οι πιο συνηθισμένες λαπαροσκοπικές επεμβάσεις γίνονται ρομποτικά πολλαπλασιάζοντας έτσι τα πλεονεκτήματα για τον ασθενή (Αγγελόπουλος, 2009) (Κατσαμάγκου, 2012) (Morris, 2005).

Η μέθοδος αυτή ενσωματώνει πολλές από τις εφαρμογές της υποβοηθούμενης από υπολογιστικής χειρουργικής. Παρόλα αυτά στην ρομποτική χειρουργική ο ρόλος του χειρουργού υποβαθμίζεται. Ανάλογα με τον βαθμό εμπλοκής του χειρουργού στην χειρουργική επέμβαση τα χειρουργικά συστήματα ταξινομούνται στις πιο κάτω κατηγορίες:

1. **Συστήματα ελεγχόμενα από επόπτη (Supervisory – controlled systems):** στα συστήματα αυτά η χειρουργική διαδικασία είναι καθορισμένη από πριν. Την καθορίζει ο χειρουργός προγραμματίζοντας τις κινήσεις τις οποίες καλείται το ρομπότ να εκτελέσει. Το ρομπότ εκτελεί αυτόματα τις καθορισμένες κινήσεις. Ο ρόλος του χειρουργού κατά την διάρκεια της επέμβασης περιορίζεται στην γενική επίβλεψη της επέμβασης για την αποφυγή οποιονδήποτε σφαλμάτων.
2. **Συστήματα μοιραζόμενου ελέγχου (Shared – control systems):** στα συγκεκριμένα συστήματα απαιτείται μεγαλύτερη συμμετοχή του χειρουργού κατά της διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης. Με λίγα λόγια χρησιμοποιεί την τεχνολογία της υποβοηθούμενης από υπολογιστή χειρουργικής (CAS). Η χειρουργική επέμβαση εκτελείται κατά κύριο λόγο από τον χειρουργό. Ο ρόλος του ρομπότ περιορίζεται στην παροχή βοήθειας στον χειρουργό έτσι ώστε οι κινήσεις του να είναι πιο ακριβείς.
3. **Συστήματα τηλεχειρουργικής (Telesurgical systems):** στα συστήματα αυτά οι επεμβάσεις εκτελούνται εξ αποστάσεως χρησιμοποιώντας τους εξελιγμένους αισθητήρες του συστήματος και την ανατροφοδότηση εικόνας από το χειρουργικό πεδίο σε πραγματικό χρόνο. Οι επεμβάσεις από απόσταση πραγματοποιούνται με την χρήση ενός χειριστηρίου ελέγχου με ανατροφοδότηση δύναμης. Δηλαδή, ο χειρουργός εκτελεί κινήσεις τις οποίες αντιγράφει και αναπαράγει το ρομποτικό σύστημα. Αυτή η τεχνολογία έχει σημειώσει ήδη αρκετές εφαρμογές με κυριότερο εκπρόσωπο το χειρουργικό σύστημα da Vinci (Αγγελόπουλος, 2009) (Κατσαμάγκου, 2012) (Γκιόκας, 2016) (Αλεξανδροπούλου, 2016) (Kovács and Haidegger and Rudas, 2013).

2.2.2.1. Πρόσφατη έρευνα ανάπτυξης ενός ρομπότ στην ελάχιστα επεμβατική χειρουργική MIS

Στο άρθρο τους οι Wang, Liu, Ma, Cheng, Liu, Kim, Deguet, Reiter, Kazanzides και Taylor παρουσιάζουν την ανάπτυξη μιας μεθόδου για τη βαθμονόμηση δύο βραχιόνων ρομπότ με βάση το κέντρο της κίνησης στην ελάχιστα επεμβατική χειρουργική MIS όπου ο ένας βραχίονας συγκρατεί ένα ενδοσκόπιο (μονοφθαλμική κάμερα) και ο άλλος κρατάει ένα χειρουργικό εργαλείο. Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί εξωτερικούς αισθητήρες παρακολούθησης και χρησιμοποιεί απευθείας εικόνες οι οποίες λαμβάνονται από την ενδοσκοπική κάμερα. Επωφελούμενοι από τους περιορισμούς κίνησης που επιβάλλει η κινηματική των ρομποτικών χειρουργικών εργαλείων και των φωτογραφικών μηχανών, βρήκαν μοναδικές σχέσεις μεταξύ του ενδοσκοπίου και του χειρουργικού εργαλείου χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία προβολής της κάμερας χωρίς τις γεωμετρικές πληροφορίες του εργαλείου. Η ανίχνευση κεντρικής γραμμής αποτελεί τη βάση για την παραπάνω διαδικασία βαθμονόμησης. Έτσι, παρουσίασαν έναν προσαρμοσμένο αλγόριθμο όρασης ανίχνευσης κεντρικής γραμμής του χειρουργικού εργαλείου ειδικά για τη μέθοδο βαθμονόμησης. Όλες αυτές οι τεχνικές συμβάλλουν σε ένα ισχυρό σύστημα βαθμονόμησης των βραχιόνων ρομπότ που έχει αποδείξει την αποτελεσματικότητά του τόσο σε αριθμητικές προσομοιώσεις όσο και σε προσομοιωμένα σενάρια MIS. Οι προσομοιώσεις που διεξήγαγαν χρησιμοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού MATLAB. Επιπλέον, χρησιμοποίησαν την απεικόνιση του ρομπότ στο Rviz. Χρησιμοποίησαν τα κινηματικά μοντέλα του Manipulator Camera Endoscope (ECM) και του Manipulator Side Patient (PSM) της πρώτης γενιάς χειρουργικού συστήματος da Vinci (Intuitive Surgical Inc.) για την προσομοίωση του Robot 1 και του Robot 2, αντίστοιχα. Κατασκεύασαν μοντέλα κινηματικής ρομπότ στην MATLAB. Τα μοντέλα αυτά στην MATLAB ήταν για τη δημιουργία συνθετικών δεδομένων. Μετά τα πειράματα διαπίστωσαν ότι τα σφάλματα προέρχονται κυρίως από τις ακόλουθες παραμέτρους: εσφαλμένη βαθμονόμηση εσωτερικής κάμερας, κινηματική προς τα εμπρός του ρομπότ, βαθμονόμηση χειρο-οφθαλμού και εξαγωγή κεντρικής γραμμής. Επιπλέον, τα σφάλματα στην εσωτερική βαθμονόμηση της κάμερας και στην εξαγωγή της κεντρικής γραμμής συμβάλλουν επίσης στην ανακρίβεια των αποτελεσμάτων βαθμονόμησης. Όλα αυτά τα σφάλματα συμβάλλουν στο συνολικό σφάλμα στα πειραματικά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, ο αλγόριθμος αποφέρει καλά αποτελέσματα στα πειράματα. Συγκεκριμένα, το μέσο σφάλμα (7,84%, 16,08 mm) είναι μικρότερο από αυτό (17,30%, 35,48 mm) που

υπολογίζεται από την κινηματική των αρθρώσεων (Wang and Liu and Ma and Cheng and Liu and Kim and Deguet and Reiter and Kazanzides and Taylor, 2018).

2.2.3. Τηλεχειρουργική με την χρήση ρομπότ

Την έναρξη της τεχνολογίας τηλεχειρουργικής σηματοδότησε η ανάπτυξη της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής (MIS). Με την τεχνολογία αυτή ο χειρουργός αντί να χρησιμοποιεί απευθείας οπτική επαφή με το χειρουργικό πεδίο εκτελεί την χειρουργική επέμβαση με την χρήση οθόνης βίντεο και με χειρουργικά εργαλεία. Με λίγα λόγια εξαλείφεται η αίσθηση της αφής και ο φυσικός συντονισμός της όρασης και των χεριών. Ο χειρουργός δεν έχει άμεση επαφή με το χειρουργικό πεδίο και η επικοινωνία τους παύει να στηρίζεται στις φυσικές του αισθήσεις όμως νιώθει σαν να είναι παρών στην χειρουργική επέμβαση. Η επικοινωνία αυτή αντικαταστάθηκε από το ψηφιακό κανάλι της λαπαροσκοπικής κάμερας η οποία παρέχει την απαιτούμενη πληροφορία και την δυνατότητα χειρισμού των χειρουργικών κινήσεων (Senapati and Advincula, 2005).

Με την χειρουργική επέμβαση εξ αποστάσεως το δύσκολο μέρος για τον χειρουργό είναι η θέση την οποία καλείται να χειρουργήσει ένα ασθενή. Σε αντίθεση με την κλασική χειρουργική η οποία έρχεται σε επαφή ο χειρουργός με τον ασθενή έτσι, το μάτι, το χέρι και το όργανο του χειρουργικού πεδίου παραμένουν πάντα στον ίδιο άξονα. Στην επεμβατική μέθοδο ο άξονας αυτός αλλάζει και συχνά απουσιάζει εντελώς. Αυτό αποτελεί και την σημαντικότερη δυσκολία στην εδραίωση της επεμβατικής χειρουργικής. Παρόλα αυτά το εμπόδιο αυτό ξεπεράστηκε με την εφαρμογή της τηλεχειρουργικής στην οποία ο χειρουργός μπορεί να εκτελέσει επεμβάσεις χωρίς να έχει άμεση οπτική επαφή με το χειρουργικό πεδίο.

Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα τηλεχειρουργικής ο χειρουργός βρίσκεται σε μια ειδική κονσόλα και λαμβάνει διαισθητικές πληροφορίες όπως εικόνα, ήχο, αίσθηση της αφής κ.α. Με αυτόν τον τρόπο νιώθει ότι βρίσκεται στην ίδια αίθουσα με τον ασθενή που χειρουργεί όμως μεσολαβούν ανάμεσα τους χιλιόμετρα. Για να μπορούν να επικοινωνήσουν χρησιμοποιείται ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο. Στην πλευρά του ασθενή βρίσκονται οι ρομποτικοί βραχίονες οι οποίοι εκτελούν την χειρουργική επέμβαση με βάση τις εντολές και τον έλεγχο του χειρουργού.

Τα τελευταία χρόνια η τηλεχειρουργική είναι ένας τομέας ο οποίος παρουσίασε ραγδαία εξέλιξη και κέντρισε αρκετό ενδιαφέρον. Με την βοήθεια της τηλεχειρουργικής μπορούν

εύκολα να μεταδίδονται εξειδικευμένες τεχνικές και γνώσεις διευκολύνοντας τους χειρουργούς και κάνοντας αποτελεσματικότερο και αποδοτικότερο το έργο τους.

Η Τηλεχειρουργική περιλαμβάνει την μετάδοση εικόνας και ήχου που επιτρέπει την επικοινωνία ανάμεσα στους χειρουργούς που έχουν μικρή εμπειρία στα χειρουργεία και των χειρουργών με μεγάλη εμπειρία σε απομακρυσμένες περιοχές. Η χρήση των ρομποτικών συσκευών επιτρέπει στους χειρουργούς που βρίσκονται σε απόσταση να συμμετέχουν ενεργά στην χειρουργική διαδικασία. Για να γίνουν όλα αυτά εφικτά είναι απαραίτητη η χρήση τηλεπικοινωνιακής υποδομής, εξειδικευμένου λογισμικού και υλικού έτσι ώστε να είναι εφικτή η προσομοίωση της κατάστασης που επικρατεί στο χειρουργείο. Για τον στόχο αυτό είναι η απαραίτητη η χρήση των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας (virtual reality) τα οποία επιτρέπουν στους χειρουργούς που βρίσκονται σε απόσταση να έχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της χειρουργικής διαδικασίας.

Η δυνατότητα χειρουργικής παρουσίας στο μέτωπο πολεμικών επιχειρήσεων, σε γεωγραφικά απομονωμένες περιοχές ή ακόμα και στο διάστημα είναι πραγματικά ελκυστική. Οι πρώτες εγχειρήσεις που πραγματοποιήθηκαν υπό την καθοδήγηση χειρουργού που βρισκόταν σε απόσταση από τον ασθενή και την χειρουργική αίθουσα (telementoring) έγιναν το 1999 στην Σιγκαπούρη σε σύνδεση με το νοσοκομείο John Hopkins στη Βαλτιμόρη των Η.Π.Α. Η καθοδήγηση αυτή βασίστηκε σε μία πλατφόρμα τηλεσυνδιάσκεψης που περιλάμβανε ήχο και βίντεο σε πραγματικό χρόνο και έλεγχο ενός ρομποτικού βραχίονα AESOP 1000TS από απόσταση (Αγγελόπουλος, 2009) (Κατσαμάγκου, 2012) (Γκιόκας, 2016) (Αλεξανδροπούλου, 2016) (Morris, 2005).

Η τηλεχειρουργική επέμβαση ξεχωρίζει ως ένας τρόπος παροχής χειρουργικής φροντίδας σε ασθενείς που δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε χειρουργό. Ωστόσο, το κόστος είναι απαγορευτικό για την εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας σε περιοχές που δεν εξυπηρετούνται καλύτερα που την χρειάζονται περισσότερο. Τα θέματα του κόστους, των τεχνικών μειονεκτημάτων και της κλινικής αποτελεσματικότητας πρέπει να επιλυθούν πριν οι ρομποτικές διαδικασίες μπορέσουν να γίνουν συνήθεις, καθημερινές χειρουργικές επεμβάσεις (Morris, 2005) (Eadie and Seifalian and Davidson, 2003) (Taylor and Mencias and Fichtinger and Fiorini and Dario, 2016).

2.2.3.1. Πρόσφατες έρευνες τηλεχειρουργικής με την χρήση ρομπότ

Στο άρθρο τους (Su and Shang and Li and Patel and Fischer, 2017) οι Hao Su, Weijian Shang, Gang Li, Niravkumar Patel και Gregory S. Fischer παρουσιάζουν ένα σύστημα τηλεχειρισμού με μαγνητική τομογραφία. Εμπνεύστηκαν διότι κατά την τελευταία δεκαετία παρατηρήθηκε επέκταση της ρομποτικής με την χρήση της μαγνητικής τομογραφίας (MRI) και αρκετά πρωτότυπα έχουν αναπτυχθεί για διαφορετικές επεμβατικές διαδικασίες, συμπεριλαμβανομένου του νευροχειρουργικού ρομπότ που ενεργοποιείται από τη μνήμη από τους Ho et al. Επίσης, το πιεζοηλεκτρικά ενεργοποιημένο νευροχειρουργικό ρομπότ από τους Su et al., το πνευματικό ρομπότ για την αντικατάσταση της αορτικής βαλβίδας από τους Li et al., το ρομπότ με πνευματικά ενεργοποιημένο ομόκεντρο σωλήνα από τους Comber et al. και ο νέος ενεργοποιητής με μαγνητική τομογραφία για βιοψία ιστού από τον Dupont et al. Ορισμένα ρομποτικά συστήματα καθοδηγούμενα με μαγνητική τομογραφία έχουν προχωρήσει μέσω κλινικών δοκιμών σε ζώα ή ανθρώπους όπως. Παρόλα αυτά, το κόστος της μαγνητικής τομογραφίας είναι τεράστιο και προκύπτει από την διάρκεια απεικόνισης. Μια διαδικασία με μαγνητική τομογραφία είναι χρονοβόρα επειδή απαιτεί τυπικά απεικόνιση του ασθενούς μέσα στην οπή MRI, ακολουθούμενη από ευθυγράμμιση και τοποθέτηση των επεμβατικών εργαλείων έξω από την οπή και τελικά μετακίνηση του ασθενούς στην οπή για επιβεβαίωση. Μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος είναι η χρήση ενός τηλεχειριζόμενου συστήματος. Παρά τα πλεονεκτήματά του, το ρομποτικό σύστημα για παρεμβάσεις με μαγνητική τομογραφία είναι τεχνικά δύσκολο, διότι απαιτεί τον σχολαστικό σχεδιασμό των συμβατών με MRI ρομποτικών συστημάτων master / slave και ένα απτικό περιβάλλον χρήστη. Σε ένα χειρουργικό ρομποτικό σύστημα, ο χειρουργός δεν θα χειρίζεται άμεσα τα επεμβατικά εργαλεία (π.χ. βελόνες, λαβίδες κλπ.) αλλά πρέπει να λαμβάνει ανατροφοδότηση της δύναμης του και αίσθηση της αφής. Αρκετές ομάδες ανέφεραν την ανάπτυξη συστημάτων master- slave συμβατών με MRI. Οι Kokes et al. αξιολόγησαν ένα τηλεχειριζόμενο ρομπότ οδηγού υδραυλικής βελόνας με μια απτική διεπαφή βασισμένη στον κινητήρα DC (PHANTOM OMNI, Geomagic Inc., USA) που δεν είναι συμβατή με μαγνητική τομογραφία και πρέπει να βρίσκεται εκτός του θαλάμου μαγνητικής τομογραφίας. Για να βελτιωθεί η υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας, η ίδια ομάδα ανέπτυξε ένα ρομπότ βιοψίας στήθους 4 βαθμών ελευθερίας (DOF) που αποτελείται από έναν παράλληλο μηχανισμό (3 DOF) που ενεργοποιείται με πνευματική κίνηση, έναν οδηγό βελονών με πιεζοηλεκτρικούς ελέγχους (1 DOF) αισθητήρα οπτικών ινών με βάση.

Εν τούτοις, η απόδοση της ανίχνευσης θέσης της πνευματικής ενεργοποίησης είναι τυπικά μέτρια λόγω της μη γραμμικής τριβής μέσα στους πνευματικούς κυλίνδρους και της μη γραμμικής δυναμικής που προκαλείται από τον μακρύ πεπιεσμένο σωλήνα. Ο Seifabadi αξιολόγησε την ακρίβεια εντοπισμού θέσης ενός τηλεχειριζόμενου ρομπότ εισαγωγής βελόνας χωρίς απτική ανάδραση, ενώ οι Tse et al. ανέπτυξαν ένα απτικό σύστημα με πιεζοηλεκτρικούς κινητήρες και πρότειναν τον έλεγχο της δύναμης εισόδου σε νευρωνικά δίκτυα. Στο συγκεκριμένο άρθρο οι αρθρογράφοι ανέπτυξαν ένα ρομπότ συμβατό με την μαγνητική τομογραφία. Πρώτον, με την εμπειρία τους στην πιεζοηλεκτρική ενεργοποίηση συμβατή με μαγνητική τομογραφία που ελαχιστοποιεί τη μείωση του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR), ανέπτυξαν έναν αισθητήρα υψηλής ευαισθησίας που βασίζεται σε Interferometry Fabry-Perot (FPI) για την ανίχνευση δυνάμεων εισαγωγής βελόνας (1-DOF αξονική δύναμη). Δεύτερον, δημιούργησαν μια πνευματική απτική συσκευή με ανίχνευση δύναμης μετρητή τάσης για διαισθητικό έλεγχο της περιστροφής και εισαγωγής της βελόνας. Τρίτον, παρουσίασαν μια μέθοδο διμερούς ελέγχου τηλεχειρισμού με βάση τον έλεγχο αντίστασης επιδεικνύοντας έτσι, τις δυνατότητες εντοπισμού της θέσης και των δυνατοτήτων εντοπισμού των δυνάμεων. Επιπρόσθετα, ανέπτυξαν ένα 6-DOF πλήρως ενεργοποιημένο ρομπότ τοποθέτησης βελόνων. Αποτελούν την πρώτη ομάδα που αναπτύσσει έναν αισθητήρα FPI (αισθητήρας οπτικών ινών Fabry-Perot για την ανίχνευση δυνάμεων εισαγωγής) με την χρήση ρομπότ και με καθοδήγηση μαγνητικής τομογραφίας. Αυτή η προσέγγιση επιλέχθηκε επειδή ο FPI προσφέρει υψηλή ευαισθησία (ανάλυση 0: 01% της πλήρους κλίμακας) και η ρύθμιση του σήματος (μέτρηση τάσης) είναι πολύ απλούστερη από αυτή των αισθητήρων πλέγματος ινών. Σημαντικός κρίνεται και ο έλεγχος της δύναμης και της θέσης του συστήματος για την απόδοση της παρακολούθησης του συστήματος της τηλεχειρουργικής. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την λειτουργία του συστήματος αυτού ήταν ότι ήταν συμβατό το MRI του τηλεχειρουργικού συστήματος με την μαγνητική τομογραφία. Επίσης, έγινε εφικτή η εισαγωγή βελόνων χρησιμοποιώντας την απτική συσκευή. Τέλος, το σφάλμα μεταξύ των θέσεων master και slave ήταν 0,11 mm και μέγιστη ταχύτητα παρακολούθησης του συστήματος κατά τη διάρκεια της δοκιμής ήταν 7,62 mm/s.

Σε ένα άλλο άρθρο οι συγγραφείς παρουσιάζουν ένα ρομπότ τηλεχειρισμού με βάση την τεχνολογία 5G tactile Internet και της τεχνητής νοημοσύνης (Miao and Jiang and Peng and

Hossain and Muhammad, 2018). Χρησιμοποιώντας το ρομπότ της τηλεχειρουργικής, ένας χειρουργός μπορεί να χειριστεί το μηχάνημα και να εκτελέσει χειρουργική επέμβαση μακριά από το χειρουργικό τραπέζι. Τα δίκτυα 5G μπορούν να υποστηρίξουν την τεράστια ροή δεδομένων και μπορούν να παραδώσουν την υπηρεσία δικτύωσης με το κόστος πολύ κάτω. Το σύστημα 5G, βασισμένο στην τεχνολογία 5G και στην τεχνολογία AI (Artificial Intelligence – τεχνητή νοημοσύνη), καλύπτει μια σειρά ανθρώπινων αισθήσεων, όπως η απτική, η συγκίνηση, η όραση και η ακρόαση. Η έρευνα σχετικά με την ανθρώπινη ικανότητα απόκτησης των πληροφοριών δείχνει ότι η δύναμη ή η απτική αίσθηση είναι η κύρια αίσθηση εκτός από την οπτική αίσθηση και την ακουστική αίσθηση. Για να επιτευχθούν οι παραπάνω απαιτήσεις, απαιτείται να σχεδιαστεί το δίκτυο 5G και ο νέος τρόπος επικοινωνίας, να καθοριστεί η δομή του οργάνου και ο έλεγχος της ροής πληροφοριών ενός ρομπότ τηλεχειρισμού και να βελτιστοποιηθεί η απόδοση αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής. Επιπλέον, οι στόχοι αυτοί μπορούν να υλοποιηθούν με τεχνολογίες όπως η εικονικοποίηση υλικού, το δίκτυο που καθορίζεται από το λογισμικό, η μηχανική μάθηση, η βαθιά εκμάθηση, η αντίληψη του IoT (Internet of Things) (οπτικοακουστικός, αφής και υπέρυθρος) χρήση υπολογιστή. Στο παρόν έγγραφο οι αρθρογράφοι εισάγουν την βασική ιδέα ενός 5G tactile network. Επιπλέον, παρουσιάζουν την ροή των δεδομένων αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής στην τηλεχειρουργική και παρέχεται η δομή του συστήματος της τηλεχειρουργικής βασισμένη σε ένα απλό δίκτυο 5G. Η λογική της αλληλεπίδρασης περιλαμβάνει συλλογή και επεξεργασία δεδομένων διπλής μετάδοσης και μετάδοση δεδομένων μέσω του Διαδικτύου. Η επικοινωνία δεδομένων από άκρο σε άκρο πρέπει να λαμβάνει υπόψη την καθυστέρηση. Οι απαιτήσεις επικοινωνίας του ρομπότ για τη μετάδοση δεδομένων πολλαπλών μεταφορών μέσω του 5G tactile Internet στην τηλεχειρουργική ποικίλουν. Οι σημαντικότερες είναι η υψηλή αξιοπιστία, η χαμηλή καθυστέρηση και ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων. Επίσης, οι διάφοροι φυσιολογικοί δείκτες των ασθενών συλλέγονται μέσω αισθητήρων και τα δεδομένα που συλλέγονται από τα χειρουργικά ρομπότ, όπως: η θερμοκρασία, ο ρυθμός αναπνοής, η αρτηριακή πίεση, το ΗΚΓ βοηθούν στην επιτυχία της χειρουργικής επέμβασης. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στον γιατρό έτσι ώστε να μπορεί να γνωρίζει τα δεδομένα του ασθενούς σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα το οποίο προτείνουν περιλαμβάνει το χειρουργικό ρομπότ το οποίο είναι εξοπλισμένο με τον αισθητήρα της αφής, την απτική ανάδραση και την δημιουργία ανατροφοδότησης δύναμης που είναι το κλειδί της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης στην εικονική πραγματικότητα. Επιπρόσθετα, παρουσίασαν ένα διάγραμμα ροής δεδομένων

αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της τηλεχειρουργικής. Το διάγραμμα αυτό δείχνει ότι τα δεδομένα που συλλέγονται πριν από τη χειρουργική επέμβαση προεπεξεργάζονται από το υποσύστημα προεπεξεργασίας ιατρικών δεδομένων. Τα δεδομένα μάζας που συλλέγονται από τους διάφορους αισθητήρες πρέπει να προεπεξεργαστούν με τον αλγόριθμο μηχανικής μάθησης για να βοηθήσει τους γιατρούς στη στρατηγική σχεδιασμού της τηλεχειρουργικής. Το υποσύστημα μετάδοσης δεδομένων είναι βασισμένο σε ένα απλό δίκτυο 5G παρέχει επικοινωνία υψηλής ποιότητας και αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής στον χειρουργό. Σε αυτή τη διαδικασία, ο κύριος ελεγκτής εκτελεί τη διόρθωση σφάλματος σύμφωνα με τις πληροφορίες αφής που συλλέγονται από ένα χειρουργικό ρομπότ και μεταδίδει διορθωτικό σήμα στη μονάδα πολλαπλών ενσωματωμένων μικροελεγκτών (Multi-EMCU). Στη συνέχεια, το πολυ-EMCU μετατρέπει το σήμα ελέγχου στη δύναμη ανάδρασης χρησιμοποιώντας την απτική συσκευή και την μεταδίδει στο μηχανικό βραχίονα ενός χειρουργικού ρομπότ (εξοπλισμένου με τα χειρουργικά εργαλεία). Κατά τη διάρκεια της ανταλλαγής πληροφοριών ο αισθητήρας μπορεί να αντιληφθεί και να πάρει τη θέση των λειτουργικών οργάνων. Οι οπτικές εικόνες και η απτική δυναμική σχηματίζονται με τον υπολογισμό και οι πληροφορίες τελικά επιστρέφονται στον κύριο ελεγκτή. Ο γιατρός μπορεί να δει τη θέση και το περιβάλλον του χειρουργικού ρομπότ μέσω της οθόνης και ταυτόχρονα μπορεί επίσης να αισθανθεί τη δύναμη λειτουργίας του χειρουργικού οργάνου. Αυτό εξασφαλίζει ότι η δύναμη ανάδρασης που αισθάνεται ο γιατρός μέσω της συσκευής αφής ανάδρασης είναι συνεπής με την απομακρυσμένη χειρουργική σκηνή που παρατηρείται μέσω της οθόνης προκειμένου να επιτευχθεί οπτική επαφή με υψηλή ανάλυση στο περιβάλλον επαυξημένης πραγματικότητας. Τέλος, για να βελτιστοποιηθεί η διαδραστική εμπειρία ανθρώπου-μηχανής, το παρόν έγγραφο προτείνει βελτιστοποίηση αλληλεπίδρασης ανθρώπου μηχανής με την ενσωμάτωση του Edge – Cloud για την μείωση της καθυστέρηση κατά την διάρκεια της τηλεχειρουργικής, την υιοθέτηση της φέτας δικτύου (Network Slice) για τις απαιτήσεις επικοινωνίας και την δημιουργία του ρομπότ Edge-AI με τεχνητή νοημοσύνη το οποίο είναι ικανό να προβλέπει καταστάσεις στην χειρουργική επέμβαση.

Επιπρόσθετα, σε ένα άλλο άρθρο οι ερευνητές σχεδίασαν ένα ρομποτικό σύστημα που αποτελείται από ένα μικροσκοπικό χειρουργικό ρομπότ, ένα σύστημα με ψηλή ποιότητα όρασης, ένα λογισμικό διεπαφής χρήστη, απτικούς ελεγκτές για δυνατότητες

τηλεχειρουργικής. Αυτή η μελέτη επικεντρώνεται στον ασύρματο έλεγχο του ρομπότ. Στο μέλλον, με τη χρήση υφιστάμενων πρωτοκόλλων επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας, οι χειρουργοί που βρίσκονται οπουδήποτε θα είναι σε θέση να βοηθήσουν εξ αποστάσεως σε πολύπλοκες διαδικασίες σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Το ασύρματο ρομποτικό σύστημα που παρουσιάζεται στο άρθρο σε συνδυασμό με την διαθέσιμη τεχνολογία βίντεο, θα μπορούσε να επεκτείνει τις δυνατότητες των σημερινών πρωτοκόλλων σε ένα πολεμικό μέτωπο. Η μικροσκοπική χειρουργική πλατφόρμα που δημιουργήθηκε αποτελείται από ένα ρομπότ δύο χειριστηρίων, με κιβώτιο ταχυτήτων, πολλαπλών λειτουργιών και μια απομακρυσμένη χειρουργική διεπαφή. Το χειρουργικό ρομπότ είναι συνήθως συνδεδεμένο στον υπολογιστή ελέγχου μέσω απευθείας σύνδεσης USB. Το βίντεο μεταδόθηκε σε ένα ειδικό σύνολο ραδιοφώνων. Το μικροσκοπικό ρομπότ αποτελείται από δύο βραχίονες που αποτελούνται από έναν ώμο, αγκώνα και καρπό. Επιπλέον, το υπάρχον λογισμικό υπολογιστή δοκιμάστηκε ενώ επικοινωνούσε με το ρομπότ σε διάφορες ταχύτητες. Οι ταχύτητες των πομποδεκτών USB-RF καθώς και οι πίνακες ελέγχου ρομπότ ποικίλουν. Ο εγγεγραμμένος χρόνος βασίζεται στην ποιότητα της ασύρματης σύνδεσης. Οι ενσύρματες συνδέσεις χρονομετρήθηκαν και έδειξαν ότι χρειάζονται 20 χιλιοστά του δευτερολέπτου για κάθε μετάδοση μαζί με την επιστροφή των δεδομένων. Η ασύρματη ρύθμιση που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την έρευνα κυμαινόταν από 78 χιλιοστά του δευτερολέπτου ανά επιτυχή μετάδοση του μηνύματος με ρυθμό μετάδοσης 38,400 έως 233 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Το πείραμα που εκτέλεσαν χρησιμοποιούσε έναν υπολογιστή Raspberry Pi Linux για να χειριστεί τα μηνύματα μεταξύ του ρομπότ και του χειρουργού. Η επιβάρυνση και η αργή ταχύτητα αυτού του υπολογιστή λήφθηκαν υπόψη. Ο ίδιος κώδικας εκτελέστηκε σε μια πιο ισχυρή επιφάνεια εργασίας που εκτελεί Windows 7 με επεξεργαστή Intel Core i7-2600K CPU σε μνήμη RAM 3,4 GHz και 8 GB. Αυτός ο υπολογιστής παρουσίασε περίπου 15% βελτίωση στη δοκιμασία των 1.000 μηνυμάτων. Αποδείχθηκε ότι το κύριο λογισμικό ελέγχου ρομπότ είναι αρκετά αποτελεσματικό για ενσύρματη και ασύρματη επικοινωνία. Για την ομαλότερη ρύθμιση του ρομπότ θα μπορούσε να εφαρμοστεί μια λειτουργία προσωρινής αποθήκευσης εντολών, αλλά αυτός ο ομαλότερος έλεγχος λειτουργούσε εις βάρος του χρόνου απόκρισης. Η εισαγωγή ενός ραδιοδικτύου στο τρέχον ρομποτικό μας σύστημα μπορεί να βελτιώσει την ικανότητα των στρατιωτικών να λαμβάνουν απομακρυσμένη χειρουργική περίθαλψη. Η τρέχουσα τεχνολογία είναι ικανή για την ανάπτυξη τηλεχειρουργικής. Ωστόσο, τα πιο ισχυρά συστήματα είναι μεγάλα και δαπανηρά στην ανάπτυξη τους για τηλεχειρουργική. Μικρότερα ρομπότ έχουν αναπτυχθεί, αλλά όχι με

ικανοποιητική τηλεχειρουργία. Το σύστημα που επισημάνθηκε είναι ικανό και για τα δύο. Ο ασύρματος έλεγχος του ρομπότ αποτελεί ένα πρώτο βήμα για την κατασκευή ενός κινητού χειρουργικού συστήματος. Είναι αρκετά μικρό και απλό ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί σε μια ευρεία ποικιλία επειγουσών περιπτώσεων έτσι ώστε να βοηθήσει τον χειρουργό να έχει έλεγχο σε απομακρυσμένες περιοχές. Το ρομποτικό σύστημα απαιτεί ελάχιστη ιατρική εκπαίδευση, συμπεριλαμβανομένης της χορήγησης αναισθησίας και της τομής. Η ελάχιστη εκπαίδευση καθιστά ευκολότερη την ανάπτυξη του συστήματος. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν δείχνουν ότι ο ασύρματος έλεγχος είναι δυνατός, αλλά το σύστημα περιορίζεται από το υλικό. Η περαιτέρω ανάπτυξη μπορεί να μετριάσει αυτά τα ζητήματα. Συμπερασματικά, οι ερευνητές μπόρεσαν να ελέγξουν το χειρουργικό ρομπότ μέσω ασύρματου δικτύου, επιδεικνύοντας την ικανότητα ανάπτυξης πλατφόρμας για τηλεχειρουργική. Αυτή η τεχνολογία παρέχει μια βιώσιμη λύση στην έλλειψη άμεσης χειρουργικής φροντίδας σε απομακρυσμένες ή απρόσιτες περιοχές και μπορεί να έχει επαναστατική επίδραση στην απομακρυσμένη χειρουργική φροντίδα (Reichenbach and Frederick and Cubrich and Bircher and Bills and Morien and Farritor and Oleynikov, 2017).

Οι Tian και Juan στο άρθρο τους προτείνουν ένα αλγόριθμο για την αναγνώριση των χειρουργικών εργαλείων, τον ακριβή εντοπισμό τους και τον κατάλληλο χειρισμό τους από ένα ρομπότ. Η έρευνα τους βασίζεται σε ένα συγκεκριμένο τύπο βοηθητικού ρομπότ το σύστημα νοσοκόμων (RSN). Το σύστημα αυτό αντικαθιστά τον νοσοκόμο έτσι ώστε να μπορούν να αντιμετωπιστούν οι ελλείψεις του παραϊατρικού προσωπικού. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος αναγνώρισης βασίζεται σε μια υβριδική διαδικασία κατακερματισμού του εργαλείου, αντιδραστικής πρόσκρουσης και, τέλος, της αναγνώρισης του εργαλείου. Ειδικότερα, το παρόν έγγραφο παρουσιάζει τα ακόλουθα: 1) προτείνει έναν καινοτόμο αλγόριθμο κατακερματισμού, 2) αναπτύσσει ένα πρωτόκολλο αντιδραστικής σύλληψης με βάση τη δύναμη για να καταστεί δυνατή η αξιόπιστη εύρεση των εργαλείων και 3) περιγράφει έναν αλγόριθμο αναγνώρισης των χειρουργικών εργαλείων. Ο σχεδιασμός και η ενσωμάτωση αυτών των στοιχείων είναι το κλειδί για την επιτυχή εισαγωγή του RSN. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι η τμηματοποίηση της εικόνας βασισμένη στην ταξινόμηση (χρώματα και υφή εργαλείων), ο διαχωρισμός του προσκηνίου (χειρουργικά εργαλεία) από το φόντο και η κατάτμηση για την εύρεση των ακρών των εργαλείων και του περιγράμματος έτσι ώστε να

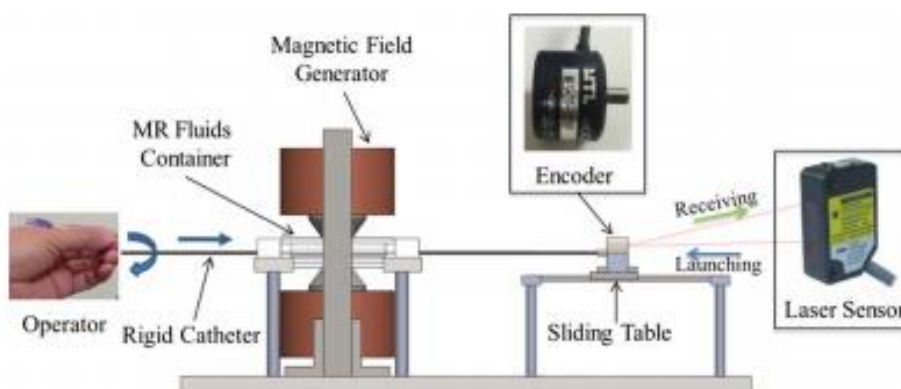
εντοπιστούν. Ο προσανατολισμός του εργαλείου καθορίστηκε από την τιμή της ανατροφοδότησης της δύναμης στον τελικό τελεστή του ρομπότ όταν έρχεται σε επαφή με το εργαλείο. Μόλις καθοριστεί ο προσανατολισμός, τα όργανα συλλέγονται από το ρομπότ σε κατακόρυφη κατεύθυνση. Ένας ειδικός τελεστής τερματισμού αναπτύχθηκε με έναν ενσωματωμένο ηλεκτρομαγνήτη για την προσέλκυση μεταλλικών οργάνων. Τέσσερις αισθητήρες δυνάμεων συναρμολογήθηκαν μεταξύ της λαβής ηλεκτρομαγνήτη και του καρπού του ρομπότ, σχηματίζοντας ένα σχήμα σταυρού για να είναι δυνατό να αποκτηθούν πληροφορίες δύναμης. Για να βελτιωθεί η ακρίβεια των μετρήσεων δύναμης και να αντισταθμιστούν οι πιθανές ανισοροπίες τοποθέτησης των τεσσάρων ανιχνευτών δύναμης, πραγματοποιήθηκε μια διαδικασία βαθμονόμησης πριν από την ανάπτυξη. Για να αναγνωριστούν τα εργαλεία γίνεται κωδικοποίηση των χαρακτηριστικών τους και στην συνέχεια ταξινομούνται. Για να γίνει εξαγωγή των χαρακτηριστικών των εργαλείων χρησιμοποιήσαν τρεις μεθόδους: το ιστόγραμμα της εικόνας, τον αλγόριθμο του Fourier και τα σημεία ενδιαφέροντος της εικόνας ROI που στην προκειμένη περίπτωση είναι τα εργαλεία. Τέλος, διεξήγαγαν πειράματα για να εξακριβώσουν τα αποτελέσματα του αλγορίθμου. Αξιολόγησαν τον αλγόριθμο τμηματοποίησης για την διάκριση των χειρουργικών εργαλείων. Εκτίμησαν επίσης, την μέθοδο πιασίματος και την μέθοδο αναγνώρισης των χειρουργικών εργαλείων. Το προτεινόμενο πρωτόκολλο σύλληψης με βάση τη δύναμη επέτυχε ένα μέσο ποσοστό επιτυχίας ανάληψης 92% με διάφορες διατάξεις οργάνων. Η αναγνώριση οργάνων αποδείχθηκε ότι μπορεί να επιτύχει ακρίβεια αναγνώρισης 94,8. Τα πειραματικά αποτελέσματα απέδειξαν τη σκοπιμότητα και την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου συστήματος RSN (Tian And Juan, 2017).

Στο άρθρο τους οι Stern, Younge, Gere και Niemeyer παρουσιάζουν μια εφεύρεση η οποία περιλαμβάνει βελτιωμένες ρομποτικές, τηλεχειριζόμενες, και τηλεχειρουργικές συσκευές, συστήματα και μεθόδους. Οι υλοποιήσεις της εφεύρεσης μπορεί να είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για ελάχιστα επεμβατικές ή ανοικτές ρομποτικές χειρουργικές διαδικασίες χρησιμοποιώντας ένα χειρουργικό σύστημα master/slave. Στο άρθρο τους περιγράφουν ένα χειρουργικό ρομποτικό σύστημα που περιλαμβάνει μια διάταξη σύλληψης εικόνας που έχει μεταβλητή εστίαση στο χειρουργικό πεδίο. Ένας ρομποτικός σύνδεσμος εκτείνεται κινητά από τη βάση στη συσκευή λήψης εικόνας και ένας ενεργοποιητής συνδέεται με τη μεταβλητή εστίαση της συσκευής σύλληψης εικόνας.

Παράλληλα, ένας επεξεργαστής συνδέει το ρομπότ με τον ενεργοποιητή. Ο επεξεργαστής μεταδίδει ένα σήμα εντολής στον ενεργοποιητή όταν υπάρξει μια κίνηση από το ρομπότ, έτσι ώστε μια μεταβολή στη μεταβλητή εστίαση να αντισταθμίζει την κίνηση της συσκευής σύλληψης εικόνας. Ειδικότερα, αναλύουν ένα χειρουργικό σύστημα που έχει μία κάμερα ή άλλη διάταξη σύλληψης εικόνας για να παρέχει μια εικόνα της χειρουργικής θέσης για προβολή από τον χειρουργό. Με την ενσωμάτωση ενός κωδικοποιητή ή άλλου αισθητήρα συνδεδεμένου με τον μηχανισμό εστίασης της κάμερας, μπορούν να παρέχονται πληροφορίες που είναι χρήσιμες με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Για γίνει εφικτό αυτό χρησιμοποιείται μία συσκευή σύλληψης εικόνας η οποία αποκτά τρισδιάστατες εικόνες του εσωτερικού ιστού του ασθενή και εμφανίζει μια εικόνα του ιστού στον χειριστή του συστήματος σε μια συσκευή προβολής (οθόνη). Η ρομποτική αυτόματη εστίαση μπορεί να εφαρμοστεί σε μια ποικιλία διαφορετικών μεθόδων και συστημάτων. Σε πολλές εφαρμογές, ο συνδυασμός κάμερας / ενδοσκοπίου αρχικά θα ρυθμιστεί ώστε να εστιάζεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χειρουργικού πεδίου. Αυτό το αρχικό σημείο εστίασης μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα, ενώ κρατά την κάμερα / ενδοσκόπιο ουσιαστικά ακίνητη σε σχέση με τη χειρουργική περιοχή, ο χειρουργός μπορεί χειροκίνητα να εισάγει εντολές εστίασης έτσι ώστε η κάμερα να επικεντρώνεται σε μια επιθυμητή θέση. Η επιθυμητή θέση μπορεί να περιλαμβάνει την άκρη ενός ρομποτικού εργαλείου, οργάνου ή ανιχνευτή στη χειρουργική θέση, ένα τμήμα της ίδιας της χειρουργικής θέσης, ένα στεφανιαίο αγγείο κατά τη διάρκεια μιας αναστομωτικής διαδικασίας ή μια καρδιακή βαλβίδα κατά τη διάρκεια διαδικασίας επισκευής ή αντικατάστασης βαλβίδας. Για να γίνει η αυτόματη εστίαση ο επεξεργαστής συστήματος περιλαμβάνει έναν ανιχνευτή για να ανιχνεύσει τότε ένα όργανο τοποθετείται εντός του χειρουργικού πεδίου. Μόλις ο ανιχνευτής προσδιορίσει ότι υπήρχε ένας κατάλληλος στόχος εντός του πεδίου, το ενδοσκόπιο / η κάμερα θα μπορούσε να εστιάσει αυτόματα χωρίς να χρειάζεται να του δοθεί εντολή από τον χειρουργό (Stern and Younge and Gere and Niemeyer, 2017).

Στο άρθρο τους οι Song, Guo, Yin, Zhang, Yu Wang, Hirata και Ishihara προτείνουν ένα νέο σχεδιασμό μιας απτικής διεπαφής βασισμένη στα ρευστά MR για ενδοαγγειακή τηλεχειρουργική. Τα ρευστά MR είναι ελεγχόμενα ρευστά και είναι ικανά να αλλάζουν τη ρεολογική τους συμπεριφορά όταν εφαρμόζεται ένας εξωτερικός μαγνητικός χώρος. Το ιξώδες των ρευστών MR είναι ανάλογο με μια εξωτερική ηλεκτρομαγνητική ισχύ. Αυτά

τα χαρακτηριστικά έχουν παρακινήσει στον σχεδιασμό των απτικών συσκευών με βάση τα ρευστά MR. Η δομή της απτικής διασύνδεσης παρουσιάζεται στην εικόνα 1.8. Ο άκαμπτος καθετήρας διέρχεται από τα ρευστά MR και είναι ομοαξονικός με το δοχείο των ρευστών MR. Το ιξώδες των ρευστών MR μπορεί να ελέγχεται με ενεργοποίηση των ηλεκτρομαγνητικών σπειρών. Στη συνέχεια, η δύναμη αντίστασης της εισαγωγής του καθετήρα μπορεί να μεταβληθεί. Η ακτινική κίνηση μετρείται με έναν κωδικοποιητή και ο περιστρεφόμενος άξονάς του συνδέεται με το άλλο άκρο αυτού του άκαμπτου καθετήρα. Η μέτρηση της αξονικής θέσης επιτυγχάνεται με τον αισθητήρα λέιζερ. Ο κωδικοποιητής τοποθετείται στο συρόμενο τραπέζι πάνω από τον οδηγό και μετακινείται μαζί με τον καθετήρα. Τα ρευστά των MR εκμεταλλεύτηκαν για να παρέχουν απτική αίσθηση (κιναισθητική αίσθηση) στον χειριστή κατά τη διάρκεια της επεμβατικής χειρουργικής επέμβασης στον καθετήρα. Ο χειριστής χειρίζεται έναν πραγματικό άκαμπτο καθετήρα και όχι χειροκίνητο χειριστήριο ή χειριστήριο. Η απτική δύναμη δημιουργείται με την εισαγωγή του άκαμπτου καθετήρα μέσω των ρευστών MR. Σε αυτή τη μελέτη, η ελεγχόμενη δύναμη παράγεται όταν η κύρια πλευρά λάβει το προειδοποιητικό σήμα ανάδρασης από την υποτελούμενη πλευρά. Στο σύστημα πλοήγησης απομακρυσμένου καθετήρα, το προειδοποιητικό σήμα αποστέλλεται όταν το άκρο του καθετήρα έχει σύγκρουση με τον εσωτερικό αγγειακό τοίχο. Αυτή η δύναμη πρόσκρουσης συλλαμβάνεται από τον χειριστή του καθετήρα ή από τον αισθητήρα δύναμης του άκρου του καθετήρα. Η αναδημιουργηθείσα δύναμη πρέπει να δημιουργηθεί ταχέως στην κύρια θέση, όταν συμβαίνει ο πραγματικός κίνδυνος, και η αντίδραση πρέπει να είναι σε σύντομο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 4. Δομή της απτικής διασύνδεσης

Για να αξιολογηθεί η απόδοση της προτεινόμενης απτικής διεπαφής στην τηλεχειρουργική του καθετηριασμού χρησιμοποιήθηκε ο προσομοιωτής εικονικής πραγματικότητας (VR) για να εκτελέσει τις εντολές ελέγχου από την απτική διεπαφή. Επίσης, παρέχεται ένα σύστημα χειρισμού master-slave. Η κύρια απτική διεπαφή βρίσκεται σε μια κονσόλα. Ταυτόχρονα, η πλατφόρμα VR στέλνει διαφορετικά προειδοποιητικά σήματα στην απτική διεπαφή όταν η άκρη του εικονικού καθετήρα συναντά την "επικίνδυνη περιοχή" ή τον αγγειακό τοίχο. Το ιξώδες των ρευστών MR αλλάζει ώστε να μετριοούνται διαφορετικά επίπεδα δυνάμεων αντίστασης μέσω του καθετήρα, τα οποία μπορούν να αντιληφθούν οι χειριστές. Στα πειράματα για την αξιολόγηση πραγματοποιήθηκαν δύο τρόποι. Το σύστημα αξιολογήθηκε με 3 μέτρα απόδοσης, τα οποία περιγράφουν τους χρόνους ολοκλήρωσης εργασιών, το χρονικό ποσοστό του άκρου του καθετήρα που δαπανάται σε ασφαλή περιοχή και τον αριθμό της σύγκρουσης. Σύμφωνα με τα μέτρα απόδοσης, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μετά την παροχή της απτικής ανατροφοδότησης τα άτομα χρειάζονται μικρότερο χρόνο και πληρούν μικρότερο αριθμό συγκρούσεων για να διεξάγουν την εργασία και επίσης το χρονικό ποσοστό της άκρης του καθετήρα που δαπανάται σε ασφαλή περιοχή αυξήθηκε. Η κύρια εφαρμογή αυτού του εγγράφου είναι να αποφεύγεται η σύγκρουση του άκρου του καθετήρα και του τοιχώματος του αγγείου. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν την ελάχιστη απόσταση του άκρου του καθετήρα και του αγγειακού τοιχώματος για να επαναλάβουν αυτή τη δυναμική αλληλεπίδραση στον προσομοιωτή VR (Song and Guo and Yin and Zhang and Yu Wang and Hirata and Ishihara, 2017).

Τέλος σε ένα πρόσφατο άρθρο διερευνάτε για πρώτη φορά η ιδέα του τηλεχειρισμού των χειρουργικών εργαλείων σε μεγάλες αποστάσεις για τη χειρουργική επέμβαση του κρανίου, με κινήσεις εργαλείων και ενδοσκοπικό βίντεο που μεταδίδονται μέσω του Διαδικτύου. Ειδικότερα, στόχος ήταν να εξεταστεί εάν η απόσταση και η μετάδοση στο Διαδίκτυο από τις εντολές του χειρουργού θα επηρέαζαν σημαντικά την ικανότητα του χειρουργού να απομακρύνει τους όγκους της υπόφυσης χρησιμοποιώντας το ρομπότ ομόκεντρου σωλήνα. Ο χειρουργός χειρίστηκε μια κύρια διεπαφή για να ελέγξει τους χειριστές ομόκεντρου σωλήνα υπό ενδοσκοπική απεικόνιση. Οι κινήσεις του χειρουργού χαρτογραφήθηκαν σε κινήσεις ρομπότ χρησιμοποιώντας ένα αλγόριθμο. Το ρομπότ τοποθετήθηκε τοπικά (δηλαδή στο ίδιο δωμάτιο με το χειρουργό) στην πρώτη δοκιμή και απομακρυσμένα (περίπου 800 χλμ. Μακριά) στην δεύτερη δοκιμή χρησιμοποιώντας

τον ίδιο τύπο σύνδεσης (1 GB / s). Έτσι, η μόνη διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων είναι η παρουσία της σύνδεσης στο Διαδίκτυο στο απομακρυσμένο πείραμα, που εισάγει κάποια λανθάνουσα κατάσταση. Σε κάθε περίπτωση, τοποθετήθηκε ένας φανταστικός όγκος στο κρανίο. Κατά τη διάρκεια του απομακρυσμένου πειράματος, ο χειρουργός βρισκόταν στο Πανεπιστήμιο Vanderbilt (Nashville, Tennessee) και το ρομπότ βρισκόταν στο Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας στο Chapel Hill (Chapel Hill, Βόρεια Καρολίνα). Χρησιμοποίησαν έναν υπολογιστή για να καταγράψουν το βίντεο ενδοσκοπίου με αποτέλεσμα να στείλουν αυτό το βίντεο στον χειρουργό χρησιμοποιώντας το δωρεάν λογισμικό Skype, το οποίο είναι διαθέσιμο στο κοινό και το οποίο έχει σχεδιαστεί για τηλεδιάσκεψη με χαμηλή καθυστέρηση. Για να διερευνηθεί η ποιότητα της σύνδεσης, χρησιμοποίησαν την μέτρηση της λανθάνουσας κατάστασης δηλαδή την διάρκεια που ένα πακέτο χρειάζεται για να ταξιδέψει από εκεί που προέρχεται στον προορισμό του. Αν η καθυστέρηση γίνει μεγάλη, το ρομπότ θα κινηθεί αργά και η υπερβολική καθυστέρηση θα επηρεάσει τη χειρουργική απόδοση. Μία άλλη μέτρηση που χρησιμοποιήθηκε ήταν το IAT (χρόνος διαμετακομίσεως). Το IAT ορίζεται ως ο χρόνος μεταξύ της παραλαβής 2 διαδοχικών πακέτων στον υπολογιστή χειρουργού, ο οποίος μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την συμφόρηση του δικτύου. Μεγάλες παραλλαγές στο IAT θα μειώσουν την απαλότητα της αντίδρασης του ρομπότ στις εντολές του χειρουργού. Ο χειρουργός πραγματοποίησε ένα πείραμα φανταστικής εκτομής σε 20 λεπτά και στην τοπική περίπτωση (όπου το ρομπότ βρισκόταν στον ίδιο χώρο με τον χειρουργό) και στην απομακρυσμένη περίπτωση (όπου το ρομπότ βρισκόταν 800 χιλιόμετρα μακρινό). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου των 20 λεπτών, περίπου 120.000 πακέτα μεταφέρθηκαν και αναλύθηκαν για τον προσδιορισμό της καθυστέρησης και της IAT. Όπως θα περίμενε κανείς, ο μέσος όρος IAT και στα δύο πειράματα ήταν κοντά στα 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου, με μεγαλύτερες μέγιστες και ελάχιστες τιμές στο απομακρυσμένο πείραμα ως αποτέλεσμα της συμφόρησης του Διαδικτύου. Επίσης, το σήμα ελέγχου του χειρουργού είχε μέση λανθάνουσα κατάσταση 10,37 χιλιοστοδευτερόλεπτα. Στα πειράματά αυτά αποδείχθηκε ότι οι τυποποιημένες αποκλίσεις απεικονίζουν ότι υπάρχουν περισσότερες παραλλαγές στον λανθάνοντα χρόνο του σήματος ελέγχου και στο IAT στην απομακρυσμένη περίπτωση από ό, τι στην τοπική. Ωστόσο, αυτές οι μεταβολές ήταν αρκετά χαμηλές ώστε δεν επηρέασαν την αντίληψη του χειρουργού για τη λειτουργία του απομακρυσμένου συστήματος σε σύγκριση με την τοπική λειτουργία του ίδιου συστήματος. Σημείωσε ότι δεν παρατήρησε καμία διακριτή διαφορά στην απόδοση

του συστήματος και έπρεπε να θυμάται ότι ο ρομπότ ήταν εκατοντάδες μίλια μακριά από αυτόν, επειδή η εμπειρία γι 'αυτόν ήταν η ίδια τοπικά ή απομακρυσμένα. Σημείωσε ότι δεν αντιμετώπισε καμία δυσκολία στην ομαλότητα του ελέγχου ή στο συντονισμό του χεριού-ματιού σε κάθε περίπτωση. Επομένως, αποδείχθηκε ότι είναι δυνατόν να επιτευχθεί χαμηλή η λανθάνουσα κατάσταση και χαμηλή η IAT με αυτό το χειρουργικό ρομπότ. Έτσι, συνοπτικά, αποδείξαν ότι τα κρίσιμα συστατικά που απαιτούνται για ένα σύστημα τηλεχειρουργικής για τη χειρουργική επέμβαση του κρανίου ήταν αποτελεσματικά και προσβλέπουν σε ένα μέλλον στο οποίο τα ρομπότ ομόκεντρου σωλήνα θα αναπτύσσονται ευρέως στα νοσοκομεία και θα χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες του κρανίου με απομακρυσμένες εκτελέσεις (Wirz and G. Torres and J. Swaney and Gilbert and Alterovitz and J. Webster and D. Weaver and T. Russell, 2015).

2.2.3.2. Πρόσφατες έρευνες οι οποίες μελετούν την επίδραση της καθυστέρησης κατά την επέμβαση στην τηλεχειρουργική

Ένα άρθρο μελετάει το εύρος της αποτελεσματικότητας της εργασίας στην τηλεχειρουργική υπολογίζοντας την καθυστέρηση (Maida and Sato and Toma and Maeno, 2016). Σε ένα πείραμα οι Marescaux et al. πραγματοποίησαν με επιτυχία την εξαγωγή της χοληδόχου κύστης εξ αποστάσεως με χειρουργικό ρομπότ στις Ηνωμένες Πολιτείες από τη Γαλλία χρησιμοποιώντας το ρομπότ ZEUS. Παρόλα αυτά η τηλεχειρουργική δεν έχει διαδοθεί ακόμη γιατί τα δεδομένα μετάδοσης παράγουν καθυστέρηση εικόνας στην οθόνη του γιατρού. Σε ένα παράδειγμα τηλε-χειρουργικής επέμβασης μεταξύ Ιαπωνίας και Ταϊλάνδης, τα χειρουργικά ρομπότ που ελέγχονται από τον γιατρό λειτούργησαν με καθυστέρηση 582,4 ms. Η ταχύτητα μετάδοσης στη γραμμή επικοινωνίας ήταν 10,4 Mb/s, ενώ η συνολική απόσταση μετάδοσης ήταν 3700 km. Σε ένα άλλο παράδειγμα τηλεχειρουργικής μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και της Γαλλίας, ο γιατρός λειτούργησε εξ αποστάσεως σε έναν ασθενή με καθυστέρηση 200 ms. Τα χειρουργικά ρομπότ συνδέθηκαν με γραμμή επικοινωνίας με ταχύτητα μετάδοσης 20 Mb/s σε απόσταση 6230 χλμ. Αυτή η καθυστέρηση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των λαθών από τον χειριστή κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης. Επιπρόσθετα, οι χειρουργικές επεμβάσεις διαφέρουν πολύ από τις άλλες μορφές ιατρικής περίθαλψης. Αυτή η καθυστέρηση που παρατηρήθηκε στα πειράματα περιλαμβάνει καθυστερήσεις στη μετάδοση και επεξεργασία ψηφιακού σήματος σε κάμερες και οθόνες. Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα της εργασίας με βάση την

καθυστερήση της εικόνας. Η ομάδα που επιλέχθηκε περιλάμβανε δέκα άτομα μικρής ηλικίας τα οποία τοποθετήθηκαν τυχαία σε ομάδες των τριών. Στο πείραμα, πραγματοποιήθηκε πολλαπλή ανάλυση για να συγκριθεί η διαφορά στην καθυστέρηση μεταξύ των ατόμων. Τα αποτελέσματα τα οποία διεξήχθησαν ήταν ότι με την καθυστέρηση δεν παρατηρήθηκε σημαντικό αντίκτυπο. Επιπλέον, ο χρόνος εργασίας κάθε ομάδας έδειξε σημαντική στατιστική διαφορά όταν το επίπεδο καθυστέρησης ήταν μεγαλύτερο από 8-10 καρέ, ανεξάρτητα από το μέγεθος του δείκτη. Με άλλα λόγια, η μείωση της καθυστέρησης είναι σημαντική όταν ένας χειρουργός πρέπει να κάνει πολύ λεπτή εργασία στην τηλεχειρουργική. Το κατώφλι δυσκολίας για μια εργασία με οπτική καθυστέρηση ποσοτικοποιήθηκε σε ένα μέγεθος περίπου 2 mm.

Σε ένα άλλο άρθρο το οποίο έχει μελετηθεί οι αρθρογράφοι παρουσιάζουν μια ανασκόπηση των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας ιατρικών εικόνων και βίντεο. Οι υπάρχουσες μέθοδοι μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες: μεμονωμένο ερέθισμα (SS) και πολλαπλό ερέθισμα (MS). Στις μεθόδους SS, παρουσιάζεται και βαθμολογείται ένα ερέθισμα. Στις μεθόδους MS, δίνονται δύο ή περισσότερα ερεθίσματα για αναφορά, αλλά σημειώνεται μόνο το ερέθισμα ενδιαφέροντος. Μερικές από τις μεθοδολογίες που παρουσιάζει το άρθρο παρουσιάζονται στην συνέχεια. Αρχικά, οι Kara et al. χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της απόλυτης κατηγορίας (ACR) για να μελετήσουν τις επιδράσεις της γωνιακής ανάλυσης και την αναδημιουργία φωτεινών πεδίων των εικόνων 3D καρδιάς. Οι Kara et al. επέλεξαν μια κλίμακα 10 σημείων για τις εξετάσεις τους και προσέλαβαν 20 παρατηρητές, 8 ήταν ειδικοί ιατρικών και 12 μη ειδήμονες. Οι Platisa et al. διερεύνησαν τις επιπτώσεις του θολώματος, του χρώματος, των παραμέτρων γάμμα, του θορύβου και της συμπίεσης εικόνων σε ψηφιακές εικόνες ζώων. Διεξήγαγαν μια μελέτη αξιολόγησης εικόνων με 6 κτηνιάτρους παθολόγους, 7 κτηνιάτρους και 11 ειδικούς απεικόνισης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο απομάκρυνσης κρυφής αναφοράς (SS-HRR) με μια κλίμακα 6 σημείων. Χρησιμοποιώντας τη μη παραμετρική ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA), παρατηρήθηκε διαφωνία μεταξύ των αξιολογήσεων ποιότητας που έγιναν από διαφορετικές ομάδες εμπειρογνομόνων. Επιπλέον, οι Tulu et al. μελέτησαν τις επιπτώσεις της καθυστέρησης, και απώλειας δεδομένων σε βίντεο οφθαλμολογίας στο πλαίσιο της τηλεϊατρικής χρησιμοποιώντας τη μέθοδο SSCQS (Single Continuous Scale Continuous Scale). Διαπίστωσαν ότι η αντιληπτή ποιότητα δεν εξαρτιόταν μόνο από την

καθυστέρηση, αλλά και από την επιτυχία της μετάδοσης κρίσιμων καρτέ, δηλαδή τα πλαίσια που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση. Ακόμη, η ποιότητα εξαρτήθηκε από τον παρατηρητή ο οποίος κατέχει σημαντικό ρόλο. Συμπερασματικά, η ποιότητα του ιατρικού περιεχομένου μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τα περιβάλλοντα προβολής που έχουν διαφορετικά περιβάλλοντα περιβάλλοντος ή μπορεί επίσης να επηρεαστεί από τις ανθρώπινη μορφή, δηλαδή από οποιεσδήποτε ιδιότητες ή χαρακτηριστικά του ανθρώπινου χρήστη που επηρεάζουν την αντίληψη του για την ποιότητα (Lénêque and Liu and Baraković and Baraković Husić and Martini and Outtas and Zhang and Kumcu and Platisa and Rodrigues and Pinheiro and Skodras, 2018).

Επίσης, στο άρθρο τους οι Lénêque, Zhang, Cavarro-Ménard, Le Callet P. και Liu μελετούν μέσω στατιστικών αναλύσεων την ποιότητα των βίντεο της τηλεχειρουργικής όπως οι προηγούμενοι αρθρογράφοι. Σε αυτή την εργασία, έγιναν οι ακόλουθες ενέργειες για τη μελέτη της αξιολόγησης της ποιότητας βίντεο στην τηλεχειρουργική. Πρώτον, πραγματοποιήθηκαν ημιδομημένες συνεντεύξεις με χειρουργούς από το Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Angers στη Γαλλία, για την απόκτηση αξιόπιστων ποιοτικών δεδομένων για την ποιότητα των βίντεο της τηλεχειρουργικής, των περιβαλλοντικών πτυχών της τηλεχειρουργικής πρακτικής και της συμπεριφοράς αξιολόγησης της ποιότητας των εμπειρογνομόνων. Δεύτερον, αφού λήφθηκαν υπόψη τα αποτελέσματα των συνεντεύξεων, σχεδιάστηκε και διεξήχθη ελεγχόμενο πείραμα, όπου οι χειρουργοί αξιολόγησαν την ποιότητα των βίντεο με ποικίλο περιεχόμενο διαστρεβλωμένο με διάφορα επίπεδα υποβάθμισης. Έπειτα, διεξήχθη μια στατιστική ανάλυση για να δώσει μια εικόνα για την ποιότητα της αντίληψης των βίντεο της τηλεχειρουργικής. Ειδικότερα, εξήχθησαν τέσσερα βίντεο από ανοιχτά και λαπαροσκοπικά πραγματικά χειρουργεία. Η επιλογή αυτών των αποσπασμάτων δικαιολογείται από το μοντέλο που δημιουργήθηκε ως αποτέλεσμα των ημιδομημένων συνεντεύξεων. Ακολουθώντας, διεξήγαγαν το πείραμα οπτικής αντίληψης στους χειρουργούς στους οποίους ζήτησαν να βαθμολογήσουν την ποιότητα βίντεο για κάθε βίντεο. Ζητήθηκε επίσης να αξιολογήσουν άλλες συναφείς πτυχές των βίντεο, δηλαδή την αντίληψη χρώματος, τις λεπτομέρειες, τα άκρα του οπτικού περιεχομένου, και τις υφές αντικειμένων. Και για τις δύο χειρουργικές επεμβάσεις, τα αντικείμενα συμπίεσης έχουν στατιστικά σημαντική επίδραση στην αντιληπτή ποιότητα. Για την ανοικτή χειρουργική επέμβαση, ο τρόπος με τον οποίο αλλάζει η ποιότητα του βίντεο με το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων εξαρτάται από το

περιεχόμενο του βίντεο. Ωστόσο, για τη λαπαροσκοπική χειρουργική επέμβαση, η επίπτωση των διαφορετικών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων σε ποιότητα βίντεο είναι η ίδια για όλες τις βιντεοκλίσεις. Διαπίστωσαν επίσης, ότι τα σφάλματα μετάδοσης (δηλ. Η απώλεια πακέτων) μπορούν να μειώσουν σημαντικά την αντιληπτή ποιότητα βίντεο και για τις δύο χειρουργικές διαδικασίες με παρόμοιο τρόπο. Η ποιότητα των βίντεο για ανοικτή χειρουργική επέμβαση δεν είναι ευαίσθητη στην αλλαγή του ρυθμού καρτέ αλλά για την λαπαροσκοπική χειρουργική, τα βίντεο με χαμηλότερο ρυθμό καρτέ βαθμολογούνται χαμηλότερα σε ποιότητα από τα βίντεο με υψηλότερο ρυθμό καρτέ. Επομένως, η ποιότητα της εικόνας επηρεάζεται από το περιεχόμενο του βίντεο, από τον ρυθμό του καρτέ, από την συμπίεση των δεδομένων και από το ποσοστό σφαλμάτων μετάδοσης (Lénêque and Zhang and Cavaro-Ménard and Le Callet and Liu, 2017).

Μια ακόμη άρθρο στοχεύει στην αξιολόγηση της επίδρασης των διαφορετικών επιπέδων λανθάνοντος χρόνου στις επιδόσεις σε τέσσερα προσομοιωμένα ρομποτικά καθήκοντα. Σκοπός τους ήταν να καθορίσουν τις επιπτώσεις λανθάνουσας κατάστασης στις χειρουργικές επιδόσεις σε έμπειρους χειρουργούς που δεν είναι εξοικειωμένοι με την καθυστέρηση και τη συσκευή προσομοιωτή και να αναλύσουν τις καθυστερήσεις στην τηλεχειρουργική. Έτσι, σχεδίασαν μια προοπτική μελέτη που διεξήχθη στον ρομποτικό χειρουργικό προσομοιωτή dV-Trainer® (Mimic technologies Inc., Seattle, ΗΠΑ). Ο προσομοιωτής dV-Trainer βοήθησε στην εισαγωγή σταθερών για τις καθυστερήσεις στις ασκήσεις μεταξύ αυτών ήταν η χειρονομία στις λαβές και η οπτική ανατροφοδότηση στην κονσόλα. Με βάση τη γνώμη των εμπειρογνομόνων και την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, επέλεξαν τέσσερις ασκήσεις για την δοκιμή οι οποίες διεξάχθηκαν σε μια σειρά: (1) Πλατφόρμα 1 (PB1) – στην πρώτη δοκιμή έπρεπε να τοποθετήσουν και να μεταφέρουν οι συμμετέχοντες δακτυλίους διαδοχικά, (2) Κάμερα στόχευσης (CT2) – οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να χειριστούν την κάμερα για να εστιάσουν και να μεγεθύνουν με ακρίβεια σε ένα στόχο. (3) στην τρίτη άσκηση έπρεπε να περάσουν μια βελόνα στον στόχο και (4) κλήθηκαν να απομονώσουν ένα αιμοφόρο αγγείο. Κάθε συμμετέχων έλαβε έναν μοναδικό αριθμό αναγνώρισης βάσει του οποίου συλλέχθηκαν όλα τα δεδομένα του και στη συνέχεια συμπληρώθηκε ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με τα δημογραφικά δεδομένα (συμπεριλαμβανομένης της χειρουργικής εμπειρίας και των συναφών δραστηριοτήτων). Σε κάθε ένα δόθηκε τυχαία και τυφλά μια καθυστέρηση που κυμαίνεται μεταξύ 100 και 1000 ms με αυξήσεις των 100 ms. Πριν από τις δοκιμές στο

dV-Trainer®, έλαβαν τυπικές οδηγίες σχετικά με τη χρήση του και πέρασαν μια περίοδο εξοικείωσης. Μετά από αυτό, πραγματοποίησαν και τις τέσσερις ασκήσεις χωρίς καθυστέρηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν τις βασικές επιδόσεις τους. Στη συνέχεια, επαναλάμβαναν το ίδιο σύνολο ασκήσεων δύο φορές με την καθορισμένη λανθάνουσα κατάσταση. Οι τιμές των ακόλουθων μετρήσεων καταγράφηκαν αυτόματα μετά από κάθε άσκηση: χρόνος ολοκλήρωσης της άσκησης (σε δευτερόλεπτα), κίνηση οργάνων (σε εκατοστά), κύριο εύρος χώρου εργασίας (σε εκατοστά), υπερβολική δύναμη οργάνου (σε δευτερόλεπτα) (σε εκατοστά), συγκρούσεις οργάνων κ.λπ. Ο χρόνος ολοκλήρωσης των εργασιών είναι το πιο ευαίσθητο και αξιόπιστο μέτρο για την επίπτωση της καθυστέρησης. Επομένως, επιλέχθηκε το μέτρο αυτό για να αντιπροσωπεύει τα αποτελέσματα. Επιπλέον, υπολογίστηκε η μέση βαθμολογία όλων των μετρήσεων σφάλματος προκειμένου να αξιολογηθεί η επίπτωση λανθάνοντος χρόνου στα σφάλματα. Τα δεδομένα αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας το στατιστικό λογισμικό R (γλώσσα προγραμματισμού). Τελικά τα δεδομένα προήλθαν από 37 χειρουργούς. Είκοσι τρία άτομα είχαν ρομποτική εμπειρία, με μέσο όρο 2,7 ετών (που κυμαίνεται από 1 έως 9 έτη). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι επιδόσεις (χρόνος εκτέλεσης, βαθμολογία, σφάλμα) επιδεινώνονται βαθμιαία όσο αυξάνεται η λανθάνουσα κατάσταση. Ο αντίκτυπος της καθυστέρησης σχετίζεται με τη δυσκολία των διαδικασιών, αλλά συνολικά, οι καθυστερήσεις των 100 έως 200 ms δεν έχουν σημαντική επίδραση και μια καθυστέρηση μεγαλύτερη από 500 ms προκαλεί αισθητή αύξηση του χειρουργικού κινδύνου. Παρόλα αυτά οι χειρουργοί έχουν αποδείξει ότι έχουν τις δυνατότητες να προσαρμοστούν στις καθυστερήσεις. Επισημάνθηκε ότι η χειρουργική επέμβαση γίνεται εξαιρετικά δύσκολη και πρέπει να αποφεύγονται οι καθυστερήσεις μεγαλύτερες από 700 ms. Οι χειρουργοί έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται στην λανθάνουσα κατάσταση και μπορούν να εκπαιδευτούν για να βελτιώσουν τις σωματικές τους επιδόσεις χρησιμοποιώντας συσκευές όπως οι προσομοιωτές ρομποτικών συστημάτων (Perez and Xu and Chauhan and Tanaka and Simpson and Abdul-Muhsin and Smith, 2016).

2.2.3.3. Πρόσφατες έρευνες για την βέλτιστη απεικόνιση τμημάτων του σώματος για την χειρουργική επέμβαση με καθοδήγηση εικόνας

Στο άρθρο τους (Suárez and Cifuentes and Suárez and Salinas, 2015) οι Suárez B. Marco, Cifuentes G. Carlos, Suárez B. Juan και Salinas V. Kathleen παρουσιάζουν ένα μοντέλο πολλαπλής ταξινόμησης ιστού εγκεφάλου σε απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (MRI).

Η ταξινόμηση ιστών εγκεφάλου χρησιμοποιείται στην κλινική έρευνα και τις μελέτες στο νευρολογικό πεδίο για την παρακολούθηση και τον προσδιορισμό παθήσεων όπως εγκεφαλοαγγειακά ατυχήματα, εγκεφαλικό οίδημα, όγκους και εκφυλιστικές νόσους όπως η νόσος του Πάρκινσον ή η νόσος του Alzheimer. Υπάρχουν επίσης εφαρμογές αυτής της μεθόδου στον τομέα της νευροχειρουργικής, τόσο συμβατικών όσο και εξ αποστάσεως χειρισμών από ρομπότ. Για παράδειγμα, το NeuroArm και το Hexarod τα οποία είναι συμβατά με τη μαγνητική τομογραφία. Τα συστήματα αυτά χρειάζονται αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τη γενική ανατομία του ασθενούς, οποιαδήποτε ένδειξη για σαφείς παθολογίες, γεωμετρικές πληροφορίες για τον προγραμματισμό πριν από τη λειτουργία και δημιουργία εικονικών ανατομικών μοντέλων για πλοήγηση σε συστήματα τηλεχειρουργικής (χειρουργική επέμβαση με απομακρυσμένα ρομπότ). Τα συστήματα τα οποία δοκιμάστηκαν δεν απέδιδαν πολύ ακριβείς εικόνες. Για την επίτευξη της ακρίβειας σε χειρουργικές επεμβάσεις, την προστασία και την αποφυγή βλαβών στο νευροβλαστικό σύστημα και για την βελτίωση κάθε πτυχής της τηλεχειρουργικής χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία τα οποία παρέχει η αυτόματη ταξινόμηση ιστού του εγκεφάλου. Βρέθηκαν διαφορετικές τεχνικές ταξινόμησης εγκεφαλικών ιστών στην ανάλυση και την ψηφιακή επεξεργασία ιατρικών εικόνων, όπως οι K-means Fuzzy C-means (FCM), K-Nearest Neighbor (KNN), Markov Random Fields (MRF), και Partial Volume Estimation (PVE) - Μερική εκτίμηση όγκου (PVE). Αυτές είναι μερικές από τις υπάρχουσες τεχνικές ταξινόμησης. Στο συγκεκριμένο άρθρο αναπτύχθηκε μία άλλη τεχνική ταξινόμησης εγκεφάλου με την βοήθεια του MRI και με βάση τους ταξινομητές SVM. Η ταξινόμηση του εγκεφαλικού ιστού σε MRI προέρχεται από: α) διαφορετικές εντάσεις εικόνας, β) χωρική μοντελοποίηση, ή / και γ) ογκομετρική εκτίμηση. Οι ταξινομητές SVM είναι βασισμένοι στην θεωρία της στατιστικής μάθησης. Σε αυτή την προσπάθεια ταξινόμησης ιστού εγκεφάλου, χρησιμοποιούνται μέθοδοι ταξινόμησης SVM πολλαπλών κατηγοριών (1-versus-1 και 1-versus-r). Τα SVM επιτρέπουν μια βέλτιστη λύση για ένα πρόβλημα ταξινόμησης με μικρό μέγεθος δείγματος, οδηγώντας σε μια παγκόσμια λύση που όχι μόνο ξεπερνά το πρόβλημα των πολλαπλών τοπικών ελαχίστων αλλά και μεταφέρει το πρόβλημα σε ένα υψηλότερο χώρο διαστάσεων και επιτυγχάνει μια μη γραμμική ταξινόμηση. Αυτή η μέθοδος ταξινόμησης αποδείχθηκε ότι λειτουργεί καλύτερα από άλλες παρόμοιες κλασικές μεθόδους. Επιπλέον, οι αρθρογράφοι για την πραγματοποίηση της έρευνας προγραμματίσαν τους αλγόριθμους στην γλώσσα προγραμματισμού Matlab και η βάση των δεδομένων MRI λήφθηκε από τον προσομοιωτή BRAINWEB από το εργαστήριο BIC. Για την επαλήθευση των ταξινομητών

του εγκεφάλου εκτελέστηκαν δοκιμές με χαμηλό επίπεδο θορύβου και ένταση μη ομοιομορφίας. Οι συνθήκες αυτές ισοδυναμούν με τις καλύτερες συνθήκες που επικρατούν στη δημιουργία πραγματικών εικόνων. Οι εικόνες δοκιμής είχαν τις ακόλουθες παραμέτρους: πάχος = 1 mm, θόρυβος 1% και ανομοιομορφία έντασης 20%. Ο αλγόριθμος εκτελείται σε επεξεργαστή DualCore 2,20 GHz με 2 GB μνήμης RAM. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν ότι η συγκεκριμένη ταξινόμηση του εγκεφαλικού ιστού δείχνει υψηλά ποσοστά ακρίβειας και μειωμένους χρόνους εκτέλεσης. Η ποσοτική ανάλυση της συγκεκριμένης ταξινόμησης μέσω του CM (confusion matrix) επιβεβαιώνει την ακρίβεια στην ταξινόμηση των ιστών GM (Gray Matter), WM (White Matter) και CSF (Cerebrospinal Fluid). Παρομοίως, επιτρέπει τον έλεγχο σφαλμάτων. Αυτή η ανάλυση δείχνει επίσης την υπεροχή της μεθόδου 1-v-1 έναντι του 1-v-r σε κάθε κατηγορία εγκατεστημένου ιστού. Τέλος, χρησιμοποιήθηκε η αναζήτηση δικτύου, η οποία δίνει καλύτερα ποσοστά ακρίβειας που είναι επαληθεύσιμα στα αποτελέσματα της αξιολόγησης. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως σε αυτή την εργασία, υπάρχει η δυνατότητα ταξινόμησης εγκεφαλικού ιστού από το MRI.

Ο καρκίνος είναι μια ετερογενής ασθένεια που εμφανίζει ποικίλες γενετικές και φαινοτυπικές παραλλαγές από τα μετασχηματισμένα κύτταρα. Σε αυτό το άρθρο οι αρθρογράφοι σχεδίασαν ένα νανοσκόπιο με τρανζίστορ για την ανίχνευση του μη ρυθμισμένου pH που οδηγεί σε πολλές από τις επεμβατικές ιδιότητες του καρκίνου (Zhao and Huang Shunchun and Ramezani and Lin and Wang and Ma and Zeng and Luo and Esther de Boer and Xie and Thibodeaux and Brekken and Sun and Sumer and Gao, 2016). Ο προκύπτων νανοαισθητήρας (PINS) κωδικοποιημένος με ICG (ινδοκυανίνη) βελτίωσε την ευκρίνεια της απόκρισης του pH ενώ επέτρεψε βαθύτερη διείσδυση φθορισμού στους ιστούς, λόγω του μεγαλύτερου μήκους κύματος της ινδοκυανίνης. Ο PINS μπόρεσε να ανιχνεύσει μια ποικιλία όγκων χρησιμοποιώντας υπάρχουσες κλινικές κάμερες. Η απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο των καθιερωμένων όγκων και των απόκρυφων οζιδίων σε μοντέλα ποντικών είχε ως αποτέλεσμα σημαντικά βελτιωμένα μακροχρόνια επιβίωση μετά από χειρουργική επέμβαση καρκίνου. Η ικανότητα των νανοσωματιδίων τρανζίστορ pH να μετασχηματίζουν το pH από ένα αναλογικό βιολογικό σήμα σε μια διακριτή εκθετικά ενισχυμένη έξοδο μεταβάλλει ριζικά το τρέχον πρότυπο απεικόνισης για τη διάγνωση, την παρακολούθηση και τη θεραπεία του καρκίνου. Επιπλέον, ο PINS μπόρεσε να οριοθετήσει τα περιθώρια του όγκου. Λόγω του περιορισμού της διείσδυσης

του φωτός στους ιστούς, τα PINS θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην απεικόνιση επιφανειακών όγκων, όπως ο καρκίνος του δέρματος. Ακόμη, αποδείξαν ότι η χειρουργική επέμβαση από το PINS με βάση την ακτινοβολία βελτιώνει σημαντικά την επιβίωση. Για την διαπίστωση όλων αυτών εκτέλεσαν, σε πραγματικό χρόνο χειρουργική επέμβαση με τη χρήση της κάμερας SPY σε ποντίκια που φέρουν HN5 καρκίνο του εγκεφάλου και του αυχένα. Το PINS τοποθετήθηκε ενδοφλεβίως 12-24 ώρες πριν από τη χειρουργική επέμβαση. Μετά την εκτομή του πρωτεύοντος όγκου, ο υπολειμματικός όγκος ήταν σαφώς ορατός χρησιμοποιώντας την κάμερα SPY και βοήθησε σε πολύ μεγάλο βαθμό την χειρουργική επέμβαση. Η ακρίβεια αξιολόγησης των PINS επικυρώθηκε και στα 27 δείγματα ιστών με ιστολογική ερμηνεία. Τα αποτελέσματα μακροχρόνιας χειρουργικής επιβίωσης έδειξαν βελτιωμένο τοπικό έλεγχο και συνολική επιβίωση σε χειρουργική επέμβαση λευκού φωτός (WLS).

Στις μέρες μας, η παλμική και οπτική επιθεώρηση, σε συνδυασμό με την εμπειρία και την κρίση του χειρουργού, αποτελούν τις μόνες διαθέσιμες «λεπτομέρειες» για την καθοδήγηση της εκτομής. Έχουν γίνει προσπάθειες για να βοηθηθούν οι χειρουργοί στη διαδικασία καθορισμού του ιστού που πρέπει να αποκοπεί κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης καρκίνου. Οι σημερινές κλινικές τεχνικές περιλαμβάνουν υπερηχογραφία, ακτινογραφία δειγμάτων, ενδοεγχειρητική ιστολογία και κυτταρολογικές τεχνικές. Παρόλο που όλες αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται σε διαφορετικούς βαθμούς στην χειρουργική επέμβαση καρκίνου, κανένας δεν έχει λύσει αρκετά το πρόβλημα του ακριβούς εντοπισμού του όγκου, λόγω περιορισμών στην ευαισθησία, την εξειδίκευση, την ακρίβεια ή το κόστος. Σε αυτό το άρθρο παρουσιάζεται η ακτινοβολία Cerenkov (CLI) για την καλύτερη απεικόνιση των όγκων και περιγράφεται μια επισκόπηση της χρήσης CLI για χειρουργικές επεμβάσεις του καρκίνου καθοδηγούμενες από εικόνα. Η απεικόνιση φωταύγειας Cerenkov (CLI) είναι μια νέα μορφή απεικόνισης που έχει μεγάλες δυνατότητες χειρουργικής επέμβασης και ακριβή καθορισμό των χειρουργικών περιθωρίων. Το CLI βασίζεται στην ανίχνευση φωτονίων Cerenkov που εκπέμπονται από παράγοντες απεικόνισης τομογραφίας εκπομπής ποζιτρονίων (PET). Τα φωτόνια Cerenkov εκπέμπονται από φορτισμένο σωματίδιο (ποζιτρόνιο ή ηλεκτρόνιο) όταν διέρχονται μέσω διηλεκτρικού μέσου με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός σε αυτό το μέσο. Με την ανίχνευση των οπτικών φωτονίων από τους ιχνηθέτες απεικόνισης PET, ο CLI συνδυάζει οπτική και

μοριακή απεικόνιση. Η Ακτινοβολία Cherenkov εμφανίζεται όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται μέσα στην ύλη πιο γρήγορα από το φως. Αυτό το φαινόμενο είναι το οπτικό ισοδύναμο του ακουστικού κρότου που δημιουργείται, για παράδειγμα, όταν ένα αεροπλάνο κινείται πιο γρήγορα από την ταχύτητα του ήχου. Δηλαδή, η ακτινοβολία Cherenkov είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (π.χ. φως), που εκπέμπεται όταν ένα ηλεκτρικά φορτισμένο σωματίδιο περνά μέσα από ένα διηλεκτρικό μέσο με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα φάσης του φωτός στο συγκεκριμένο μέσο. Οι εικόνες CLI μπορούν να αποκτηθούν ανιχνεύοντας το φως Cherenkov από τους ιχνηθέτες PET χρησιμοποιώντας οπτικές κάμερες εξαιρετικά υψηλής ευαισθησίας. Το CLI και το PET συσχετίζονται άμεσα λόγω και των δύο τεχνικών μέτρησης των φωτονίων που παράγονται από ραδιοφαρμακευτικά προϊόντα που εκπέμπουν ποζιτρόνια. Είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την καθοδήγηση της χειρουργικής εκτομής για τον λόγο ότι οι εικόνες CLI μπορούν να αποκτηθούν με κλινικώς εγκεκριμένα ραδιοφαρμακευτικά φάρμακα που έχουν εγκριθεί κλινικά και έχουν χρησιμοποιηθεί για περισσότερες από δύο δεκαετίες στη μοριακή ιατρική απεικόνιση. Αυτό παρέχει μεγάλη δυνατότητα για γρήγορη μετάφραση του CLI στην κλινική πρακτική. Οι δημοσιευμένες μελέτες δείχνουν την ικανότητα να εκτελούν CLI-guided χειρουργική εκτομή όγκων χρησιμοποιώντας μια ποικιλία ραδιοφαρμακευτικών και διαφορετικών εφαρμογών CLI, συμπεριλαμβανομένων των τυπικών συστημάτων IVIS οπτικής απεικόνισης, custombuild συστήματα ενδοσκοπίων με εύκαμπτες ίνες και κλινικά εγκεκριμένα άκαμπτα συστήματα λαπαροσκοπίου και ευέλικτου ενδοσκοπίου που συνδέονται με κάμερες EMCCD. Μια άλλη ενδιαφέρουσα εφαρμογή του CLI, έχει δημοσιευθεί από τους Spinelli et al. Έγινε απεικόνιση του θυρεοειδούς αδένος ενός ασθενούς που υποβλήθηκε σε θεραπεία για υπερθυρεοειδισμό ο οποίος έλαβε 550 MBq ιωδίου. Χρησιμοποιώντας μια κάμερα EMCCD τοποθετημένη σε ένα δωμάτιο, η πρόσληψη ιχνηθέτη στον θυρεοειδή θα μπορούσε να απεικονιστεί με χρόνο έκθεσης 2 λεπτών. Στο Guy's Hospital (Λονδίνο, Ηνωμένο Βασίλειο), μια πιλοτική μελέτη πρώτης σε γυναίκα αξιολογεί την ενδοεγχειρητική CLI για τη μέτρηση των περιθωρίων της εκτομής του όγκου και της κατάστασης των λεμφογαγγλίων σε 30 ασθενείς που υποβάλλονται σε χειρουργική επέμβαση στήθους. Οι ασθενείς λαμβάνουν ενδοφλέβια ένεση και τα δείγματα με εκτεταμένη τοπική εκτομή (WLE) απεικονίστηκαν εντός 1-3 ωρών μετά την ένεση χρησιμοποιώντας μια ερευνητική ενδοεγχειρητική κάμερα δειγμάτων CLI. Μια άλλη μελέτη CLI που διεξάγεται επί του παρόντος στο νοσοκομείο του Guy και στο University College του Λονδίνου επικεντρώνεται στην αξιολόγηση του περιθωρίου όγκου στον

καρκίνο του προστάτη. Τα αρχικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η ενδοεγχειρητική είναι μια εφικτή και χαμηλού κινδύνου διαδικασία. Μια άλλη ενδιαφέρουσα εφαρμογή του CLI που αξιολογείται επί του παρόντος είναι η μη επεμβατική ανίχνευση της κομβικής νόσου σε προεγχειρητική κλινική κατάσταση. Σε αυτή την μελέτη, περιλαμβάνονται ασθενείς με λέμφωμα, λευχαιμία και μεταστατική λεμφαδενοπάθεια. Η απεικόνιση CLI εκτελείται αμέσως μετά τη σάρωση PET σε σκοτεινό δωμάτιο με μια ευαίσθητη κάμερα. Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα αυτής της μελέτης από τέσσερις ασθενείς (δύο λέμφωμα, ένας καρκίνος του πνεύμονα και ένας καρκίνος του μαστού) έδειξαν ότι οι μεταστατικοί λεμφαδένες στον αυχένα ή στον άξονά τους, που βρίσκονται κάτω από $1,6 \pm 0,5$ cm κάτω από το δέρμα, είχαν στατιστικά σημαντικό υψηλότερο σήμα Cerenkov. Συμπερασματικά, το CLI είναι μια τεχνολογία οπτικής απεικόνισης ταχείας ανάπτυξης. Λόγω της μεγάλης ευκρίνειας, και της ευρείας εφαρμογής του σε μια σειρά καρκίνων και τον εξοπλισμό απεικόνισης μικρού μεγέθους, το CLI παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στον τομέα της χειρουργικής καθοδήγησης με εικόνα. Οι προκλινικές μελέτες έχουν δείξει ότι η CLI μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την καθοδήγηση της χειρουργικής εκτομής των όγκων, καθώς και για την ανίχνευση καρκινικών βλαβών με τη χρήση ενδοσκοπίας φωταύγειας Cerenkov (Grootendorst and Cariati and Kothari and Tuch and Purushotham, 2016).

Σε ένα άλλο άρθρο οι ερευνητές με την χρήση εκφυλισμένων χοίρειων σπονδύλων αξιολογούν το σφάλμα εγγραφής στόχου (TRE) δηλαδή, την ακρίβεια ενός συστήματος καθοδήγησης εικόνας στην σπονδυλική χειρουργική με την χρήση αξονικής απεικόνισης – CT και ενδοεγχειρητικής διαδικασίας stereovision (iSV). Η ενδοεγχειρητική διαδικασία χρησιμοποιεί ψηφιοποιημένες εικόνες που λαμβάνονται μετά από χειρουργική έκθεση και ο χειριστής μπορεί να συν-εγγραφεί ταχέως στη σπονδυλική στήλη με προεγχειρητική απεικόνιση. Δύο χωριστές συνθήκες εξετάζονται ανεξάρτητα: μια εξιδανικευμένη έκθεση της οσφυϊκής σπονδυλικής στήλης, στην οποία ο μαλακός ιστός έχει αφαιρεθεί στο μέγιστο και ένα πιο ρεαλιστικό σενάριο στο οποίο η αφαίρεση των μαλακών μορίων ισούται με εκείνη της τυπικής ραχιαίας λειτουργικής έκθεσης που εκτελείται για τη χειρουργική σύντηξης. Επισημαίνεται επίσης η επίδραση της απομάκρυνσης των οστών μέσω της εκτομής. Η μέση TRE για μέγιστη αφαίρεση μαλακού ιστού ήταν 2.0961 ± 0.5027 mm. Η μέση TRE για περιορισμένη αφαίρεση μαλακών μορίων ήταν $2,5202 \pm 0,1622$ mm. Άρα, το TRE ήταν μικρότερο από 3 mm σε όλες τις

περιπτώσεις. Επιπλέον, διεξήχθησαν δύο διαφορετικές καταχωρίσεις για κάθε δείγμα postlaminectomy, 1 καταχώριση με CT που ελήφθη πριν από τη λαμινοεκτομή και άλλη εγγραφή με CT που αποκτήθηκε μετά από λαμινοεκτομή. Το TRE ήταν μικρότερο από 3 mm σε όλες τις περιπτώσεις, ανεξάρτητα από την ποσότητα οστού που αφαιρέθηκε. Η διάρκεια της διαδικασίας εγγραφής κυμάνθηκε μεταξύ 4 και 6 λεπτών. Αυτό τυπικά περιλάμβανε λιγότερο από 30 δευτερόλεπτα για τον υπολογισμό καταχώρησης και 3 έως 5 λεπτά για υπολογισμούς διόρθωσης, ανάλογα με τον αριθμό των σπονδύλων που καταχωρήθηκαν. Το Stereovision προσφέρει ένα πιθανώς ελπιδοφόρο μέσο για την εγγραφή ενός ανοικτού, ραχιαίου χειρουργικού πεδίου στη σπονδυλική στήλη. Σε αυτήν την πειραματικά ελεγχόμενη μελέτη, η συνολική μέση ακρίβεια ήταν 2,21 mm. Έχει ληφθεί TRE μικρότερο από 3 mm σε όλα τα δείγματα, ακόμη και όταν η οστέινα ανατομία ήταν μερικώς συγκεχυμένη από μαλακό ιστό ή όταν είχε εκτελεστεί μερική μελαμινομετρία μέσης γραμμής. Παρατηρήθηκαν περιορισμένες μειώσεις στην ακρίβεια με μείωση του οπτικού πεδίου. Ο βαθμός στον οποίο οι επιδόσεις εγγραφής που παρατηρούνται σε αυτή τη μελέτη μεταφράζεται σε χειρουργικές επεμβάσεις της ανθρώπινης σπονδυλικής στήλης, παραμένει εμφανής, καθώς οι κλινικές περιπτώσεις θα εισαγάγουν άλλους παράγοντες που ενδέχεται να υποβαθμίσουν την ακρίβεια καταγραφής. Εξακολουθούν επίσης να υπάρχουν τεχνικές προκλήσεις, όπως αυξημένη αυτοματοποίηση και μέθοδοι αντιστάθμισης της διατομεακής κίνησης των σπονδύλων (Evans and Olson and Cai and Fan and Paulsen and Roberts and Ji and Lollis, 2018).

Η ανάπτυξη νέων παραγόντων εκπομπής NIR-II για βιοϊατρικές εφαρμογές έχει μεγάλη σημασία και προωθεί άμεσα το πεδίο της βιοϊατρικής. Μέχρι στιγμής έχουν χρησιμοποιηθεί ενεργά οργανικά και ανόργανα υλικά όπως μικρά μόρια, συζευγμένα πολυμερή, νανοσωλήνες άνθρακα, κβαντικές κουκίδες (QDs), και νανοσωματίδια για την απεικόνιση φθορισμού NIR-II. Ωστόσο, οι εκθέσεις των φθοροφόρων NIR-II εξακολουθούν να σπανίζουν και οι πυρήνες φθορισμού μικρού-μορίου είναι σχετικά περιορισμένες. Ως εκ τούτου, προ τρέπεται να επεκταθεί η βιβλιοθήκη μικρών μορίων NIR-II φθοροφόρα, τα οποία θα προωθήσουν σημαντικά την ευρεία χρήση της απεικόνισης NIR-II (οπτική απεικόνιση με βάση το φθορισμό). Σε αυτό το άρθρο αναφέρετε μια νέα απεικόνιση NIR-II μικρού μορίου H1 με βελτιωμένο συνθετικό πρωτόκολλο και χαρακτηριστικά φθορισμού. Σε μεγαλύτερα μήκη κύματος εκπομπής φθορισμού στην περιοχή NIR-II, το αυξημένο εύρος ζώνης των μοριακών φθοροφόρων

δίνει γενικά τη δυνατότητα να μειωθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της συζευγμένης ραχοκοκαλιάς και άλλων μορίων, προκαλώντας υψηλή κβαντική απόδοση φθορισμού (QY). Οι τρεις τύποι ανιχνευτών NIR-II (SXH , SDH και H1 NPs) παρασκευάστηκαν εύκολα σύμφωνα με το H1 και έδειξαν διαφορετικές βιοϊατρικές εφαρμογές όπως παθητική/ενεργή απεικόνιση με στόχευση όγκων, απεικόνιση υψηλής διακριτικής ικανότητας αιμοφόρων αγγείων σε όγκους και ολόκληρο το σώμα και χειρουργική επέμβαση λεμφικού κόμβου καθοδηγούμενου από εικόνα στην περιοχή απεικόνισης NIR-II. Η νέα οργανική ένωση φθορισμού H1 παρέχει πρωτοφανείς ευκαιρίες για την κατασκευή μιας ποικιλίας ανιχνευτών NIR-II για *in vivo* (πειράματα που πραγματοποιούνται σε ιστούς ενός ζώντος οργανισμού) μοριακή απεικόνιση. Διάφορες βιοϊατρικές εφαρμογές όπως η απεικόνιση αιμοφόρων αγγείων υψηλής ευκρίνειας σε όγκους και ολόκληρο το σώμα των ποντικών που χρησιμοποιούν H1 πραγματοποιήθηκαν επίσης μέσω ενός παθητικού στοχοθετημένου καθετήρα (Sun and Ding and Zeng and Xiao and Wu and Zhou and Ding and Qu and Hou and Er-bu and Zhang and Cheng and Hong, 2017).

Λόγω των τεσσάρων βασικών φυσικών αρχών, ο φθορισμός (NIR) έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στην χειρουργική επέμβαση. Για την αξιοποίηση της ικανότητας διπλού NIR καναλιού του χειρουργικού συστήματος FLARE, τα άρθρο αυτό αναπτύσσει μια οικογένεια νέων φθοριοφόρων φθοριόντων (fluorinated fluorides) NIR, τα οποία φθορίζουν με ≈ 700 nm (μονάδα μέτρησης ραδιενεργών ουσιών), και έχουν φυσικοχημικές, οπτικές και φυσιολογικές ιδιότητες. Η σειρά ZW700-1 των φθορισμοφόρων NIR που περιγράφονται σε αυτή τη μελέτη έχει πολλά βασικά χαρακτηριστικά σχεδιασμένα στις χημικές δομές τους. Πρώτον, η διέγερση και η εκπομπή αυτών των ινδοκυανινών πενταμεθίνης ρυθμίστηκαν στο κανάλι των 700 nm του συστήματος απεικόνισης FLARE για να επιτραπεί η απεικόνιση φθορισμού διπλού καναλιού NIR όταν χρησιμοποιείται με το κανάλι των 800 nm και προηγουμένως ανεπτυγμένες ινδοκυανίνες επταμεθίνης. Έτσι, δύο ανεξάρτητοι στόχοι μπορούν τώρα να απεικονιστούν ταυτόχρονα και σε πραγματικό χρόνο. Παρόλο που τα φθορισμοφόρα NIR των 800 nm έχουν θεωρητικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα φθορισμοφόρα NIR των 700 nm όταν εξετάζονται τα συνδυασμένα αποτελέσματα του συντελεστή απόσβεσης, του αυτοφθορισμού του ιστού και της εξασθένησης του ιστού, μεγάλο μέρος αυτού του πλεονεκτήματος εξουδετερώνεται από το υψηλό QY (ρυθμό ανάπτυξης) των

φθοριοφόρων NIR των 700 nm και το γεγονός ότι σχεδόν όλες οι κάμερες CCD με βάση το πυρίτιο είναι 2 φορές λιγότερο ευαίσθητες στα 800 nm από τα 700 nm. Δεύτερο, μεγιστοποιήθηκαν οι συντελεστές απόσβεσης και οι κβαντικές αποδόσεις της σειράς ZW700-1, με αποτέλεσμα το υψηλότερο δυνατό σήμα φθορισμού. Τρίτο, τα μόρια ZW700-1 κατασκευάστηκαν για υψηλή σταθερότητα. Επίσης, τα ισχυρά επιφανειακά φορτία έχουν κατανεμηθεί ομοιόμορφα και εναλλάσσονται πάνω από τον μοριακό όγκο, με αποτέλεσμα ένα γεωμετρικά ισορροπημένο μόριο με μηδενικό καθαρό φορτίο. Για απεικονίσεις που καλύπτουν μικρά μόρια της οικογένειας ZW700-1 οι συντελεστές απόσβεσης και οι κβαντικές αποδόσεις μεγιστοποιήθηκαν, με αποτέλεσμα το υψηλότερο δυνατό σήμα φθορισμού in vivo. Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό που έχει σχεδιαστεί σε αυτά τα μόρια είναι η αποτελεσματική εξάλειψη στα ούρα μέσα σε λίγες ώρες μετά την ενδοφλέβια ένεση. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η σειρά ZW700-1 διαφέρει σημαντικά από τα διαθέσιμα σήμερα φθορισμοφόρα NIR των 700 nm, τα οποία έχουν είτε ισχυρά επιφανειακά φορτία (αρνητικά ή θετικά), μέτριο συντελεστή απόσβεσης ή κβαντική απόδοση και σχετικά υψηλή απορρόφηση ιστού μετά από ενδοφλέβια ένεση. Λόγω της σχετικής ευκολίας της σύνθεσης, της εφικτής καθαρότητας και της σταθερότητας στον στόχο, πιστεύετε ότι η οικογένεια ZW700-1 των φθοριοφόρων φθοριονικών NIR έχει υψηλή πιθανότητα κλινικής μετάφρασης. Αν και η επιλογή της οποίας θα μεταφραστεί θα απαιτήσει λεπτομερέστερη ανάλυση συνθετικών μονοπατιών συμβατών με τα ZW700-1 φθοροφόρα θα μπορούσαν κάποια μέρα να χρησιμοποιηθούν κλινικά για την επισήμανση των ουρητήρων για να βοηθήσουν στην αποφυγή βλάβης κατά τη διάρκεια των κοιλιακών διαδικασιών, για την εκτέλεση αγγειογραφίας φθορισμού NIR σχεδόν οποιουδήποτε ιστού ή οργάνου ή για σύζευξη σε προσδέματα στόχευσης όπως αντισώματα και μικρά μόρια. Μελέτησαν ακόμη τη χρησιμότητα των φθορισμοφόρων ZW700-1 για ταυτόχρονη απεικόνιση NIR διπλού καναλιού χρησιμοποιώντας ZW700-1a (για την απεικόνιση του ουροποιητικού συστήματος) και ICG (για την απεικόνιση του ηπατοκυτταρικού συστήματος) με έγχυση και των δύο παραγόντων μαζί και ενδοφλέβια σε αρουραίο Sprague-Dawley. Όπως φάνηκε για το χρονικό σημείο 1 ώρας, καθώς το ZW700-1a διηθήθηκε από τον νεφρό και προχώρησε προς τα κάτω στους ουρητήρες στην κύστη, επισήμανε ολόκληρη την ουροδόχο διαδρομή χρησιμοποιώντας το κανάλι φθορισμού των 700 nm FLARE. Το ICG, το οποίο εξάγεται από το αίμα από το ήπαρ και εκκρίνεται σε χολή για εξάλειψη σε κόπρανα, επέτρεψε την απεικόνιση ολόκληρου του ηπατοκυτταρικού συστήματος χρησιμοποιώντας το 800-nm κανάλι φθορισμού FLARE. Και τα δύο φυσιολογικά συστήματα θα μπορούσαν να απεικονιστούν

ταυτόχρονα και σε πραγματικό χρόνο. Έπειτα, μελέτησαν τη χειρουργική επέμβαση καρκίνου με διπλό κανάλι, καθοδηγούμενη από την εικόνα, στοχεύοντας τον ιστό του. Αποδείχθηκε ότι το φθόριο συσσωρεύτηκε στη θέση του όγκου για 4 ώρες και παρείχε συνεχή προβολή του αγγειακού συστήματος κατά την ίδια χρονική περίοδο. Επομένως, τα νέα φθορισμοφόρα φθοριοφόρα NIR των 700 nm αποτελούν το θεμέλιο της χειρουργικής επέμβασης με οδηγό εικόνας διπλού NIR. Αυτό, με τη σειρά του, θα επιτρέψει, για πρώτη φορά, να πραγματοποιηθούν πολύπλοκες χειρουργικές επεμβάσεις υπό οπτική καθοδήγηση σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες θα βελτιώσουν τα αποτελέσματα των ασθενών και θα ελαχιστοποιούν τη νοσηρότητα (Hyun and Henary and Gao and Narayana and A. Owens and Heon Lee and Park and Wada and Ashitate and V. Frangioni and Soo Choi, 2016).

Ενώ ο τομέας της ιατρικής ογκολογίας έχει ενσωματώσει πρόσφατα μοριακά ευρήματα, οι τρέχουσες τεχνικές χειρουργικής εκτομής χρησιμοποιούν ψηλάφηση και λεπτές οπτικές αλλαγές για να κρίνουν τα όρια μεταξύ φυσιολογικού και καρκινικού ιστού. Ένας αριθμός ειδικών για τον καρκίνο τρόπων απεικόνισης έχουν πρόσφατα αναπτυχθεί και δοκιμαστεί στο προκλινικό και κλινικό περιβάλλον για να βελτιώσουν την ενδοεγχειρητική ταυτοποίηση του καρκίνου σε πραγματικό χρόνο. Η ανάπτυξη ενδοεγχειρητικής ογκολογικής απεικόνισης για τις τελευταίες δεκαετίες έχει προσαρμόσει τις συμβατικές τεχνικές απεικόνισης στο χειρουργείο. Αυτές οι τεχνικές, οι οποίες περιλαμβάνουν υπερηχογράφημα, CT και MRI απεικόνιση. Η μαγνητική τομογραφία για τη χειρουργική επέμβαση του γλοιοβλαστώματος είναι ένα μοντέλο επιτυχούς προσαρμογής της απεικόνισης του καρκίνου μέσω μιας σειράς κλινικών δοκιμών. Παρόλα αυτά πιο κατάλληλη για το ενδοεγχειρητικό περιβάλλον είναι η χρήση τεχνικών οπτικής απεικόνισης χρησιμοποιώντας έναν φθορίζοντα παράγοντα αντίθεσης. Αυτό το άρθρο εξετάζει τη χρήση συμβατικών ανατομικών τεχνικών και την πρόσφατη έκρηξη οπτικών παραγόντων, των ανιχνευτών μοριακής απεικόνισης και των συσκευών απεικόνισης φθορισμού που αναπτύσσονται για να καλύψουν την ανάγκη για ακριβή ανιχνεύσιμη νεοπλασία. Επίσης, αναφέρονται χειρουργικές τεχνικές που βασίζονται στην εικόνα σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες βρίσκονται σήμερα σε κλινικές δοκιμές σε προχωρημένο στάδιο και υποσχόμενες στρατηγικές απεικόνισης. Αρχικά, σημαντική κρίνεται η επίτευξη σαφών ογκολογικών περιθωρίων για μια χειρουργική προσέγγιση, καθώς η υπολειμματική ασθένεια συνδέεται με την κακή επιβίωση και την

ανάγκη για χημειοθεραπεία και ακτινοθεραπεία. Το εύρος των τεχνικών που αναπτύχθηκαν για την αξιολόγηση του καθορισμού του περιθωρίου κάνουν λόγο για κλινική ζήτηση βελτιωμένων στρατηγικών. Για να καλυφθεί αυτή η ανάγκη, θα απαιτηθεί μια προσέγγιση συνεργασίας μεταξύ ειδικοτήτων (χειρουργοί, παθολογία και ακτινολογία) για την επιτυχή έυρεση αρνητικών περιθωρίων (όγκος) και την ταυτοποίηση του καρκίνου με βεβαιότητα στο χειρουργείο. Το γλοιοβλάστωμα (GBM) είναι μια ετερογενής, πολύπλοκη και σοβαρή ασθένεια με θανατηφόρο αποτέλεσμα. Έγιναν εκτομές GBM υπό την καθοδήγηση της απεικόνισης NIR-II. Στις εικόνες φωτεινού πεδίου, κανένα GBM δεν μπορούσε να αναγνωριστεί με σαφήνεια μέσω της μεσαίας τομής στο τριχωτό της κεφαλής. Αντιθέτως, όταν απεικονίσθηκε με NIR-II, ο όγκος ήταν ορατός με καθαρή οριοθέτηση με $TBR = 2.1$ μεταξύ του κεντρικού όγκου και του παρακείμενου ιστού. Μία στρατηγική για απεικόνιση ιστών είναι η οπτική απεικόνιση. Η οπτική απεικόνιση αξιοποιεί το φως που εκπέμπεται από μια φωτεινή πηγή (λέιζερ) για να απεικονίσει μοναδικές ιδιότητες ιστού. Η οπτική απεικόνιση χρησιμοποιεί τις φυσικές ιδιότητες των ιστών. Τα πλεονεκτήματα της έναντι των συμβατικών μεθόδων (MRI, CT, υπέρηχος) είναι πολυάριθμα. Για παράδειγμα, επιτρέπει την ανάδραση σε πραγματικό χρόνο με περιορισμένη διακοπή της ροής εργασίας. Επιπλέον, η οπτική απεικόνιση παρέχει ευρεία απεικόνιση του χειρουργικού περιβλήματος πληγής. Όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με έναν οπτικό παράγοντα αντίθεσης, η οπτική απεικόνιση επιτρέπει την ανίχνευση του καρκίνου. Έπειτα, κλινικές μελέτες που χρησιμοποιούν αυτοφθορισμό σε συνδυασμό με συμβατική ενδοσκόπηση λευκού φωτός εφαρμόστηκαν επιτυχώς σε χειρουργικές εφαρμογές ανοιχτού πεδίου και ενδοσκοπική απεικόνιση. Η χρήση του 5-αμινολεβουλινικού οξέος (5-ALA) σε χειρουργική επέμβαση κακοήθους όγκου ήταν μία από τις πρώτες έρευνες που επιβεβαίωσαν ότι η χειρουργική επέμβαση με φθορισμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση των χειρουργικών εκτιμήσεων. Μια τυχαίοποιημένη κλινική δοκιμή με 322 ασθενείς έδειξε ότι η πλήρης εκτομή επιτυγχάνεται σε ένα σημαντικά υψηλότερο ποσοστό ασθενών με 5-ALA σε σύγκριση με το λευκό φως. Η επιβίωση ήταν σημαντικά καλύτερη σε ασθενείς που υποβλήθηκαν σε φθορίζουσα καθοδηγούμενη εκτομή. Σε άλλη μελέτη, το 95% των βιοψιών του όγκου ήταν θετικό για φθορισμό σε ασθενείς που υποβλήθηκαν σε 5-ALA καθοδηγούμενη εκτομή. Ωστόσο, σε μη φθορίζοντα δείγματα, το 74% ήταν θετικό για κύτταρα όγκου. Σε σύγκριση με το ορατό φως, η απεικόνιση φθορίζόντων ανιχνευτών με υπέρυθρη ακτινοβολία (NIR, 700-900 nm) έχει σημαντικά ανώτερη διείσδυση ιστού. Κεντρικό ρόλο στην ακριβή ταυτοποίηση του καρκίνου με φθορισμό σε πραγματικό

χρόνο είναι η μεγιστοποίηση του επιθυμητού σήματος. Ενώ η περιορισμένη διείσδυση ιστού αυτών των ανιχνευτών δεν είναι κατάλληλη για απεικόνιση ολόκληρου του σώματος καθιστά τους ανιχνευτές NIR μοναδικά κατάλληλους για ενδοεγχειρητική απεικόνιση. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να είναι δύσκολη δεδομένου ότι το φως NIR δεν μπορεί να οπτικοποιηθεί με γυμνό μάτι και συνεπώς απαιτεί κάμερες (CCD) που μπορούν να συλλάβουν τα εισερχόμενα φωτόνια σε φορτία ηλεκτρονίων που μετατρέπονται σε μια εικόνα που μπορεί να προβληθεί σε μια οθόνη. Τα διαθέσιμα συστήματα κάμερας NIR που έχουν εγκριθεί από την FDA για ενδοεγχειρητική χρήση είτε ενσωματώνονται στο υπάρχον λειτουργικό υλικό είτε είναι συσκευές ελεύθερης διαρκούς λειτουργίας ειδικά σχεδιασμένες για απεικόνιση NIR. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για χειρουργική καθοδήγηση έχουν σχεδιαστεί για να απεικονίζουν το πράσινο ινδοκυανίνης (ICG) επειδή παραμένει ο μόνος διαθέσιμος παράγοντας απεικόνισης NIR. Η ICG έχει αποδειχθεί ευρέως ότι είναι αποτελεσματική στη μέτρηση της ροής αίματος και της διάχυσης της στους ιστούς. Εν κατακλείδι, η ενδοεγχειρητική ανίχνευση καρκίνου, με σύγχρονη εκτομή, είναι πιθανό να βελτιώσει σημαντικά τα χειρουργικά αποτελέσματα κατά την επόμενη δεκαετία. Συμβατικές στρατηγικές ανατομικής απεικόνισης προσαρμοσμένες για τον χειρουργείο, μαζί με τεχνικές οπτικής απεικόνισης έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία σε ανθρώπους και έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνουν τα ογκολογικά και λειτουργικά αποτελέσματα (Rosenthal and Warram and Bland and Kurt R Zinn, 2016) (Kurbegovic and Juhl and Chen and Qu and Ding and Maja Leth and Tadeusz Drzewiecki and Kjaer and Cheng, 2018).

Ένα άρθρο το οποίο αναλύθηκε ερευνά τα γονίδια EphA2 και EphB4, τα οποία βρίσκονται σε μεγάλο βαθμό σε διάφορους τύπους όγκων συμπεριλαμβανομένου του καρκίνου του μαστού, του πνεύμονα, του εγκεφάλου και του προστάτη. Οι EphA2 και EphB4 είναι γνωστό ότι είναι ρυθμισμένες προς τα πάνω, ιδιαίτερα στα πρώιμα στάδια του ορθολογικού καρκίνου. Σε αυτά τα πρώιμα στάδια, η χειρουργική επέμβαση χωρίς πρόσθετη συστηματική θεραπεία είναι η κύρια μέθοδος θεραπείας, η οποία καθιστά απαραίτητη την ακριβή αναγνώριση και απομάκρυνση του όγκου. Το εάν ένας πρωτεϊνικός στόχος όπως το EphA2 ή το EphB4 είναι κατάλληλος για ογκολογική χειρουργική με καθοδήγηση εικόνας (IGOS) καθορίζεται από το πρότυπο έκφρασής του στον όγκο σε σύγκριση με τον περιβάλλοντα φυσιολογικό ιστό. Σε αυτό το άρθρο, οι EphA2 και EphB4 αξιολογούνται ως στόχοι για την επίτευξη IGOS (χειρουργική επέμβαση

με βάση την εικόνα) καρκίνου του παχέος εντέρου με ανοσοϊστοχημική (IHC) χρώση μιας μικροσυστοιχίας ιστού (TMA) που αποτελείται από ζεύγη όγκων και φυσιολογικού ιστού. Ένα σύνολο 168 όγκων κανονικών ζευγών ήταν κατάλληλα για αξιολόγηση τόσο των Epha2 όσο και του Epha4. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της χρώσης(επεξεργασία ιστού για την διάκριση δομών) των 168 όγκων κανονικών ζευγών. Η αξιολόγηση έδειξε στατιστική σημαντική ρύθμιση προς τα πάνω στον ιστό όγκου σε σύγκριση με τον φυσιολογικό ιστό τόσο για την Epha2 όσο και για την Epha4 στην πλειονότητα των ασθενών. Και οι δύο υποδοχείς Epha ανιχνεύθηκαν σε όγκους διαφόρων σταδίων και βαθμών και σε περιοχές όγκων που ήταν κατάλληλες για απεικόνιση. Επομένως, οι υποδοχείς Epha φαίνεται να είναι έγκυροι υποψήφιοι στόχοι για IGOS (χειρουργική απεικόνιση) καρκίνου. Εν τούτοις, η τιμή του Epha2 ως κλινικά χρησιμοποιήσιμο στόχο είναι προβληματική λόγω της παρουσίας υψηλής χρώσης Epha2 σε μερικούς από τους φυσιολογικούς ιστούς. Αυτό το φαινόμενο είναι λιγότερο εμφανές για το Epha4, καθιστώντας αυτόν τον υποδοχέα τον καλύτερο υποψήφιο στόχο για το IGOS. Η υπερέκφραση στα πρώιμα στάδια του καρκίνου είναι ιδιαίτερα πλεονεκτική για την απεικόνιση κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης, δεδομένης της αυξημένης δυσκολίας στην μορφολογική διάκριση του φυσιολογικού και του όγκου ιστού και του γεγονότος ότι για τους πρώιμους όγκους, η χειρουργική επέμβαση συχνά δεν συνοδεύεται από χημειοθεραπεία. Πολλαπλές δημοσιεύσεις έχουν δείξει ότι η υπερέκφραση του Epha2 συσχετίζεται έντονα με την πρόοδο του όγκου. Κατά συνέπεια, τα υψηλά επίπεδα του Epha2 σχετίζονται με την επιβίωση του ασθενούς. Η υψηλή έκφραση Epha4 έχει επίσης συσχετιστεί με την κακή επιβίωση των ασθενών. Συμπερασματικά, τόσο το Epha2 όσο και το Epha4 δείχνουν δυναμικό παρόν και έχουν ως στόχο την χειρουργική επέμβαση καρκίνου. Το Epha4 φαίνεται να έχει τα καλύτερα χαρακτηριστικά σε σχέση με την κατανομή όγκου / φυσιολογικού βλεννογόνου, όπως φάνηκε στην σχετικά μεγάλη ομάδα 168 ασθενών που επιλέχθηκαν (Stammes and Prevo and Horst and Groot and Van de Velde and B. Chan and De Geus-Oei and J. K. Kuppen and L. Vahrmeijer and B. Pasquale and F. M. Sier, 2017).

Το παγκρεατικό αδενοκαρκίνωμα αποτελεί στις μέρες μας την τέταρτη κύρια αιτία θανάτου που σχετίζεται με τον καρκίνο. Υπάρχει σήμερα, μία αδυναμία ανίχνευσης της πραγματικής οριοθέτησης της έκτασης του όγκου κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης, η οποία περιπλέκεται περαιτέρω από την περίπλοκη ανατομία του

παγκρέατος. Η ενδοεγχειρητική απεικόνιση ειδικά για τον όγκο προσφέρει την ευκαιρία να βελτιωθεί σημαντικά η τρέχουσα πρακτική, αυξάνοντας την ικανότητα απόκτησης αρνητικών περιθωρίων εκτομής και απεικόνισης της υπολειμματικής νόσου κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης στο πάγκρεας. Ως εκ τούτου, ο σκοπός αυτού του άρθρου ήταν να διερευνήσει την καταλληλότητα της ιντεγκρίνης, του υποδοχέα ηπατοκυττάρων αυξητικού παράγοντα (cMet), του EGFR, του επιθηλιακού μορίου κυτταρικής προσκόλλησης (EPCAM), του HER2, του uPAR, και του VEGFR2 ως μοριακούς στόχους για καρκινικά στοχευμένα απεικόνιση ασθενών με παγκρεατικό αδενοκαρκίνωμα. Στόχος επίσης, αυτής της μελέτης ήταν να εκτιμηθεί η ικανότητα αυτών των δεικτών να διακρίνουν μεταξύ του φυσιολογικού παγκρεατικού ιστού και του αδενοκαρκινώματος εκτελώντας ανοσοϊστοχημεία (διαδικασία της επιλεκτικής απεικονίσεως αντιγόνων (π.χ. πρωτεϊνών) στα κύτταρα τμήματος ενός ιστού) σε χειρουργικό δείγμα αυτών των κακοηθειών. Επιπλέον, αυτοί οι βιοδείκτες κρίθηκαν βάσει των κριτηρίων επιλογής στόχων (TASC). Επιλέχθηκαν 137 ασθενείς με παγκρεατικό αδενοκαρκίνωμα του παγκρέατος και 28 ασθενείς με αδενοκαρκίνωμα periampullary οι οποίοι υποβλήθηκαν σε χειρουργική επέμβαση στο πάγκρεας στο ιατρικό κέντρο του Leiden University (LUMC). Η μέση ηλικία ήταν 66 ετών και κυμαινόταν μεταξύ 38 και 84 ετών. Η συμμετοχή των περιφερειακών λεμφαδένων βρέθηκε στο 69,7% των ασθενών. Η πλειοψηφία των ασθενών δεν έλαβαν θεραπεία μετά τη χειρουργική επέμβαση. Οι ασθενείς που διαγνώστηκαν με αδενοκαρκίνωμα που προέρχονταν από το πάγκρεας, είχαν συχνότερα επεισόδια λεμφαδένων και θετικά χειρουργικά περιθώρια, σε σύγκριση με τους ασθενείς που είχαν διαγνωσθεί με περινοαγγειακό αδενοκαρκίνωμα οι οποίοι παρουσίασαν αγγειακή εισβολή, περιφερική εισβολή και έλαβαν συχνότερα εντατική θεραπεία. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι η ιντεγκρίνης το CEA, το EGFR και το uPAR ρυθμίζονται σημαντικά προς τα πάνω στο παγκρεατικό αδενοκαρκίνωμα σε σύγκριση με τον υγιή παγκρεατικό ιστό και υποδεικνύουν ότι αυτοί οι βιοδείκτες αποτελούν πολλά υποσχόμενους στόχους για ανάπτυξη όγκου ειδικού παράγοντα αντίθεσης. Επιπλέον, η βαθμολογία TASC επιβεβαίωσε το δυναμικό της ιντεγκρίνης, του CEA, του EGFR, και του uPAR ως κατάλληλοι στόχοι για την απεικόνιση όγκου. Συμπερασματικά, η ενδοεγχειρητική απεικόνιση του παγκρεατικού αδενοκαρκινώματος έχει ως στόχο την δυνατότητα να βελτιώσει την παγκρεατική χειρουργική. Ωστόσο, η κλινική εφαρμογή αυτής της νέας τεχνικής σταματάει επί του παρόντος λόγω της έλλειψης κλινικά εγκεκριμένων παραγόντων αντίθεσης όγκου. Ως εκ τούτου, η παρούσα μελέτη επεδίωξε να

προετοιμάσει το έδαφος για τη μελλοντική ανάπτυξη ειδικών για τον όγκο παραγόντων αντίθεσης και της διαδοχικής καθοδηγούμενης από την εικόνα εκτομής παγκρεατικού αδενοκαρκινώματος, με διερεύνηση των πλέον κατάλληλων μοριακών στόχων για απεικόνιση ειδικού όγκου. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δείχνουν ότι μια διπλή στόχευση ιχνηθέτη που απευθύνονται τόσο ιντεγκρίνης και CEA θα είναι σε θέση να ανιχνεύσει κύτταρα όγκου σε 99% του συνόλου των ασθενών με καρκίνο του παγκρέατος (W. L. de Geus and Boogerd and Swijnenburg and Mieog and Tummers and Prevo and Sier and Morreau and Bonsing and J. H. van de Velde and Vahrmeijer and Kuppen, 2016).

2.2.4. Χειρουργική Προσομοίωση, Εικονική (Virtual Reality) και επαυξημένη (Augmented Reality) Πραγματικότητα

Οι νέες τεχνολογίες, όπως η εικονική πραγματικότητα, τα haptics και η τηλεμεταφορά, μπορούν να ενωθούν με τα χειρουργικά ρομπότ για να δημιουργήσουν ένα νέο μέσο για την απόκτηση και αξιολόγηση των χειρουργικών δεξιοτήτων μέσω προσομοίωσης όλων των λειτουργιών που μπορούν να γίνουν μέσω του ρομπότ (Morris, 2005).

Με την χρήση της προσομοίωση μιας χειρουργικής επέμβασης σε ένα τρισδιάστατο διαδραστικό περιβάλλον, οι χειρουργοί έχουν την δυνατότητα να εξασκούνται πολλές φορές έτσι ώστε να τελειοποιήσουν την τεχνική τους σε ένα ασφαλές περιβάλλον χειριζόμενοι τρισδιάστατα μοντέλα και να μελετούν τις δομές από πολλές προοπτικές.

Ιδιαίτερη σημασία σε πληθώρα επιστημονικά και τεχνολογικά πεδία έχει αποκτήσει η προσομοίωση και η δημιουργία μοντέλων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο υπολογισμός της συμπεριφοράς των υπολογιστικών μοντέλων αντικαθιστά με γρήγορο ρυθμό τα πειράματα που γίνονται σε αντικείμενα και καθίσταται ένα απαραίτητο εργαλείο για την ανάπτυξη νέων προϊόντων και διαδικασιών.

Η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα έχει ως στόχο να παρουσιάσει εικονικά αντικείμενα σε όλες τις ανθρώπινες αισθήσεις με ένα τρόπο ταυτόσημο με τον φυσικό. Η ιατρική αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πεδία εφαρμογής της εικονικής πραγματικότητας. Η εφαρμογή της στην ιατρική ξεκίνησε από την ανάγκη του ιατρικού προσωπικού να απεικονίζει με ρεαλιστικό τρόπο ένα πολύπλοκο όγκο ιατρικών δεδομένων που παράγονται κατά τις χειρουργικές επεμβάσεις ή κατά την ιατρική εκπαίδευση.

Η επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται στις κινητές συσκευές. Η τεχνολογία Augmented Reality επιτρέπει την ζωντανή προβολή ενός φυσικού περιβάλλοντος του οποίου όμως η πραγματικότητα είναι επαυξημένη με την προβολή πληροφοριών αλλά και εικονικών προσώπων ή χώρων σχεδιασμένων μέσα έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η εικονική πραγματικότητα είναι μια τεχνολογία με την οποία επιτυγχάνεται η διεπαφή του χρήστη με ένα υπολογιστικό σύστημα. Η διεπαφή αυτή διαφέρει από την κλασική η οποία είναι μέσω ενός πληκτρολογίου και ενός ποντικιού. Στην εικονική πραγματικότητα ο χρήστης πρέπει να αλληλοεπιδράσει με ένα σύστημα ηλεκτρονικών υπολογιστών εκτελώντας κινήσεις ίδιες με αυτές που εκτελεί στο πραγματικό του περιβάλλον. Ουσιαστικά η μεγάλη συνεισφορά της εικονικής πραγματικότητας είναι ότι μιμείται την πραγματικότητα παρέχοντας τρισδιάστατη απεικόνιση. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης έχει την αίσθηση ότι εκτελεί κινήσεις στο πραγματικό του περιβάλλον.

Ένας πιο πρόσφατος ορισμός της VR προτάθηκε από την LaValle: "Η πρόκληση στοχοθετημένης συμπεριφοράς σε έναν οργανισμό με τη χρήση τεχνητής αισθητικής διέγερσης, ενώ ο οργανισμός έχει μικρή ή καθόλου επίγνωση της παρεμβολής". Ο ορισμός αυτός διευρύνει το πεδίο εφαρμογής σε ένα πολύ ευρύτερο πεδίο, έτσι ώστε να μπορεί να δει την εφαρμογή της VR ως ευρύ ένα περιβάλλον προσομοίωσης, όχι μόνο για τον άνθρωπο, αλλά γενικά για όλα τα άλλα (Hamacher and Su Jin and Tae Cho and Pardeshi and Hyun Lee and Jong Eun and Keun Whangbo, 2016).

Η ιστορία της VR μπορεί να ανιχνευθεί από τα πρώτα χρόνια του 20ού αιώνα, όταν οι πρώτοι μηχανικοί προσομοιωτές χρησιμοποιήθηκαν το 1909 για την εκπαίδευση των πιλότων αεροσκαφών. Η Sensorama, ένας από τους πρώτους προσομοιωτές multisense, εισήχθη στην αγορά το 1960. Διαφημίστηκε ότι παρέχει στον χρήστη μια πλήρη εμπειρία που περιλαμβάνει στερεοφωνικό ήχο, κίνηση, δονήσεις, άνεμο, οσμή και τρισδιάστατες (3D) εικόνες σε έναν εικονικό κινητήρα βόλτα με ποδήλατο στη Νέα Υόρκη. Οι πρώτοι ιχνηλάτες και οι απτικές συσκευές, όπως το γάντι δεδομένων, χρονολογούνται από το 1970. Η πρώτη από τις πρώτες οθόνες (HMDs) αναπτύχθηκε από τον Callahan το 1983 και θεωρήθηκε μια σημαντική ανακάλυψη. Οι εμπορικές συσκευές έγιναν διαθέσιμες λίγο αργότερα. Τα HMD με μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό εξειδίκευσης έφεραν μικροσκοπικά μόνιτορ κανονικής ευκρίνειας ακριβώς μπροστά από τα μάτια των χρηστών, σε συνδυασμό με μια στερεοφωνική εμπειρία ήχου (Hamacher and Su Jin and Tae Cho and Pardeshi and Hyun Lee and Jong Eun and Keun Whangbo, 2016).

Στην εξέλιξη της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας έχει συμβάλει σε πολύ μεγάλο βαθμό η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των γραφικών (GUIs – Graphical User Interfaces). Με την χρήση των εξελιγμένων γραφικών ο χρήστης ξεπερνά το νοητό όριο της οθόνης και βιώνει την ψευδαίσθηση ότι αλληλεπιδρά με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του τεχνητού αυτού περιβάλλοντος. Εκτός από τα γραφικά η τεχνολογία αυτή επιτυγχάνεται με την τροφοδότηση των αισθητήριων οργάνων του χρήστη με οπτικές, ακουστικές και απτικές πληροφορίες με την χρήση ανάλογων συσκευών. Με την χρήση των δεδομένων αυτών ο χρήστης έχει την αίσθηση ότι το τεχνητό αυτό περιβάλλον αποτελεί μέρος του πραγματικού κόσμου.

Δύο ακόμη βασικά στοιχεία για την επίτευξη της εικονικής πραγματικότητας είναι η χρήση κατάλληλων αλγορίθμων για τον υπολογισμό του οπτικού αποτελέσματος της εικονικής σκηνής και η χρήση κατάλληλων συσκευών για την παρουσίαση του αποτελέσματος αυτού στον χρήστη σε οθόνες γραφικών. Επομένως, η ανάπτυξη ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας αποτελεί τον συνδυασμό υλικού και λογισμικού. Το μέρος του υλικού αποτελείται από κατάλληλες συσκευές οι οποίες λαμβάνουν τις κινήσεις του χρήστη. Το λογισμικό είναι υπεύθυνο για την διαχείριση του υλικού έτσι ώστε να δημιουργούν τον εικονικό κόσμο.

Μία σημαντική πηγή πληροφορίας κατά την αλληλεπίδραση του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον είναι η αίσθηση της αφής και της δύναμης. Μία συσκευή ανατροφοδότησης δύναμης (force feedback device) είναι υπεύθυνη να εξασκεί μία δύναμη στον χρήστη ο οποίος κρατάει την συσκευή δίνοντας του έτσι την αίσθηση του αποτελέσματος των ενεργειών του πάνω στους ιστούς. Η ανατροφοδότηση δύναμής γίνεται εφικτή κυρίως με «αντίστροφες» ρομποτικές μονάδες, οι ηλεκτρικοί κινητήρες των οποίων δεν παράγουν ενεργές κινήσεις άλλα δρουν αντίθετα στις κινήσεις του χειρουργού. Οι πιο γνωστές συσκευές απτικής ανατροφοδότησης είναι τα συστήματα PHANTOM τα οποία δημιούργησαν ο Dr. Kenneth Salisbury και ο Thomas Massie την δεκαετία του 1990.

Στις ρομποτικές χειρουργικές επεμβάσεις η ανάδραση της δύναμης έχει μεγάλη σημασία. Για παράδειγμα, αν ένα χειρουργικό εργαλείο αγγίζει ένα ιστό στο σώμα του ασθενή ο χειρουργός πρέπει να λάβει στα χέρια του την αίσθηση της αντίστασης του συγκεκριμένου ιστού. Αν δεν λάβει την συγκεκριμένη αντίσταση ο χειρουργός θα καταστρέψει τον ιστό πιέζοντας με τον ρομποτικό βραχίονα χωρίς να γνωρίζει το μέγεθος της πίεσης που ασκεί.

Με την χρήση της απτικής ανάδρασης οι χειρουργεί είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό πιο ακριβείς και εξασκούν μεγαλύτερες δυνάμεις τάσεων με την χρήση του ρομποτικού βραχίονα κατά την εκτέλεση λεπτών συρραφών των πληγών του ασθενή χωρίς να προκαλούν θραύση των κόμπων κατά το δέσιμό τους. Επιπρόσθετα, μειώνονται αρκετά τα χειρουργικά σφάλματα και αυξάνεται η ασφάλεια του ασθενή. Συνεπώς, η απόδοση της απτικής ανάδρασης στα σύγχρονα ρομποτικά χειρουργικά συστήματα θα συμβάλει σημαντικά στην ασφαλή εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων.

Εν κατακλείδι, σήμερα με την ραγδαία εξέλιξη της η εικονική πραγματικότητα εφαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα των ιατρικών περιοχών ενδιαφέροντος τόσο ως ένα εργαλείο προσομοίωσης (χειρουργική), όσο και ως εργαλείο αλληλεπίδρασης (Αγγελόπουλος, 2009) (Κατσαμάγκου, 2012) (Γκιόκας, 2016) (Fiorini, 2009).



Εικόνα 5. Ιατρική εκπαίδευση σε χειρουργείο εικονικής πραγματικότητας

2.2.4.1. Πρόσφατες έρευνες συστημάτων τηλεχειρουργικής με την χρήση εικονικής (VR) και επαυξημένης (AR) πραγματικότητας

Στο άρθρο τους οι Christopher Davis και Can D. Pindrik και G.Rocque και M.Johnston περιγράφουν την απόδοση, την χρησιμότητα και την σκοπιμότητα της εφαρμογής του VIPAR (εργαλείο εικονικής πραγματικότητας) ως εργαλείου για την παγκόσμια χειρουργική εκπαίδευση και την τηλε-συνεργασία μεταξύ νευροχειρουργών. Οι δοκιμές διεξήχθησαν ανάμεσα στις Ηνωμένες Πολιτείες και το Βιετνάμ. Το σύστημα VIPAR το

οποίο δοκιμάστηκε αποτελείται από έναν τοπικό σταθμό και έναν απομακρυσμένο σταθμό συνδεδεμένο μέσω τοπικής ασύρματης ή κινητής τηλεφωνίας 3G, παρέχοντας παγκόσμια διασύνδεση από σημείο σε σημείο. Τοπικοί και απομακρυσμένοι σταθμοί ιδρύθηκαν στο Νοσοκομείο Παιδιών και το Παιδικό Κέντρο της Αλαμπάμα, αντίστοιχα. Τόσο οι τοπικοί όσο και οι απομακρυσμένοι χειρουργοί βλέπουν μια σύνθετη εικόνα των ροών βίντεο σε κάθε σταθμό, επιτρέποντας την οπτική επίδειξη και την τηλεργασία. Το ιδιόκτητο λογισμικό εκτελεί βαθμονομήσεις σε πραγματικό χρόνο για να ταιριάζει χωρικά με τις τοπικές και απομακρυσμένες οπτικές ροές και χρησιμοποιεί μια λειτουργία συγχώνευσης για την επικάλυψη των δύο εικόνων. Ο τοπικός σταθμός κατασκευάστηκε στο χειρουργείο της νευροχειρουργικής στο Παιδικό Νοσοκομείο στην πόλη Χο Τσι Μιν στο Βιετνάμ με τη χρήση iPad Air 2 και τοπικής σύνδεσης στο διαδίκτυο. Η σύνδεση μεταξύ σταθμών χρησιμοποιεί εμπορικούς κωδικοποιητές. Ακολούθως, μετά την διασύνδεση των σταθμών διεξήγαγαν δοκιμές του συστήματος για την εξακρίβωση της αποτελεσματικότητας του. Μία δοκιμή ήταν η διεξαγωγή ETV/CPC (ελάχιστη επεμβατική διαδικασία που δημιουργεί ένα άνοιγμα της τρίτης κοιλίας στον εγκέφαλο) σε αγόρι ηλικίας 7 μηνών με παραλλαγή δυσμορφίας Dandy-Walker. Χρησιμοποιήθηκε ένα εύκαμπτο ενδοσκοπιο STORZ 2,2 mm, μια ψηφιακή οθόνη υψηλής ευκρίνειας 26 ιντσών. Κατά την διάρκεια της δοκιμής παρουσιάστηκε διακοπή της κλήσης και χρειάστηκε λιγότερο από 1 λεπτό για να διορθωθεί το πρόβλημα. Επίσης, παρουσιάστηκαν σε αρκετά δευτερόλεπτα, επεισόδια αξιοσημείωτης καθυστέρησης βίντεο. Παρόλα αυτά δεν εντοπίστηκε καθυστέρηση ήχου και έχει παρατηρηθεί άριστη καταγραφή. Το VIPAR χρησιμοποιήθηκε συνολικά για 2 ώρες και 11 λεπτά. Μία άλλη δοκιμή ήταν η διεξαγωγή ETV/CPC. Πραγματοποιήθηκε σε αγόρι ηλικίας 2 ετών. Κατά την διάρκεια της δοκιμής, δεν εμφανίστηκαν επεισόδια διακοπής κλήσης, ήχου ή ανιχνεύσιμης καθυστέρησης βίντεο στα 40 λεπτά καταγραφής. Παρόμοια, δεκαπέντε ενδοσκοπικές τρίτης κοιλιακής κοιλότητας έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση του VIPAR μεταξύ του Βιετνάμ και των Ηνωμένων Πολιτειών, χωρίς να υπάρξουν σημαντικές επιπλοκές στους ασθενείς. Τα αποτελέσματα των δοκιμών ήταν ότι δεν υπήρξε ηχητική καθυστέρηση σε κανένα σταθμό. Παρόλα αυτά παρατηρήθηκε καθυστέρηση στην μετάδοση βίντεο. Η λανθάνουσα διάρκεια βίντεο που καταγράφηκε από τον τοπικό στον απομακρυσμένο σταθμό ήταν κατά μέσο όρο 237 χιλιοστά του δευτερολέπτου σε σχέση με το ηχητικό σήμα (εύρος, 93 391 χιλιοστά του δευτερολέπτου). Η VIPAR επέτρεψε στους χειρουργούς να συμμετάσχουν σε σύνθετη οπτική και προφορική επικοινωνία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Έπειτα, κάθε συμμετέχοντας στις δοκιμές επισήμανε

ότι οι διαφορές από την απουσία στο χειρουργείο ήταν μηδαμινές και ότι ήταν εξαιρετική η ανάλυση εικόνας με αποτέλεσμα να επιτρέπει στον απομακρυσμένο νευροχειρουργό να απεικονίσει όλη την κρίσιμη ανατομία. Σε μια κλίμακα Likert 5 σημείων, όπου το 1 δείχνει έντονα διαφωνία και 5 δείχνει ότι συμφωνεί έντονα, κάθε χειρουργός συμφώνησε έντονα ότι το VIPAR ήταν χρήσιμο συνολικά (5) και οδήγησε σε μια πιο αποτελεσματική διαδικασία (5). Κάθε χειρουργός συμφώνησε επίσης ότι το VIPAR άλλαξε την πορεία της διαδικασίας (4) και οδήγησε σε ασφαλέστερη διαδικασία (4) και διαφώνησε με τη δήλωση: «Η VIPAR είχε ως αποτέλεσμα αυξημένη κόπωση». Άρα, η παροχή της δυνατότητας στους απομακρυσμένους εμπειρογνώμονες να καθοδηγούν τους χειρουργούς έχει μεγάλες δυνατότητες για παγκόσμια χειρουργική εκπαίδευση και ανάπτυξη ικανοτήτων. Το VIPAR είναι ένα παράδειγμα εξελισσόμενης διαδραστικής τεχνολογίας που επιτρέπει την παγκόσμια χειρουργική τηλε-συνεργασία και εκπαίδευση σε πραγματικό χρόνο μέσω εμπορικά διαθέσιμων και ανέξοδων πλατφορμών. Η χρήση μιας τέτοιας τεχνολογίας μπορεί να αυξήσει την ασφάλεια της χειρουργικής παρέμβασης και έχει μεγάλες δυνατότητες για εκπαίδευση, έρευνα, αξιολόγηση των χειρουργικών ικανοτήτων (Christopher Davis And Can and Pindrik and G.Rocque and M. Johnston, 2016).

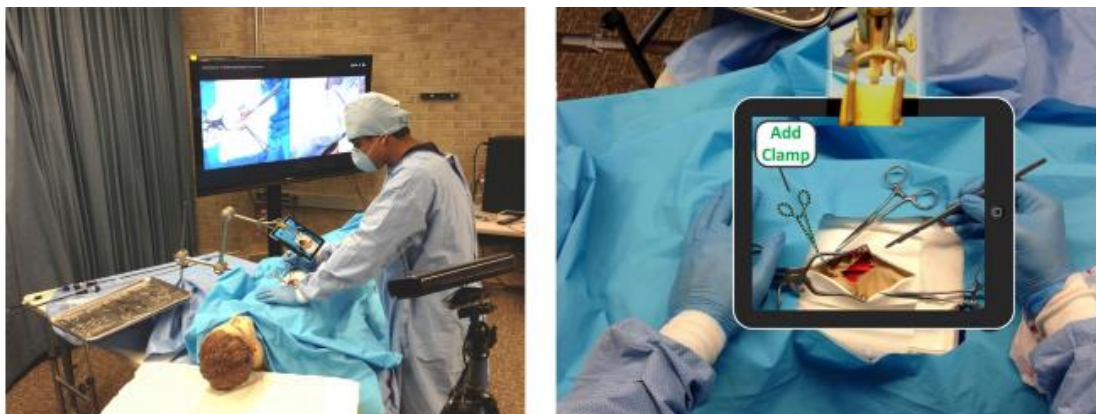
Στο άρθρο τους οι Hamacher, Su Jin, Tae Cho, Pardeshi, Hyun Lee, Jong Eun και Keun Whangbo μελέτησαν τις εξελίξεις στην εικονική (VR – Virtual Reality) και επαυξημένη (AR - Augmented reality) πραγματικότητα. Με λίγα λόγια περιγράφουν τεχνολογίες οι οποίες είναι διαθέσιμες στις μέρες μας στον ιατρικό τομέα και ειδικότερα στην ουρολογία. Ειδικότερα, το άρθρο παρουσιάζει μια επισκόπηση των σημαντικών εξελίξεων που σημειώθηκαν στην ιατρική και στην ουρολογία χρησιμοποιώντας AR ή VR. Μία πρώτη εξέλιξη στην ψυχοθεραπεία είναι η πλατφόρμα ανοικτού κώδικα NeuroVR η οποία έχει σχεδιαστεί για να ικανοποιεί τις συγκεκριμένες απαιτήσεις μιας κλινικής ή πειραματικής ρύθμισης. Η πλατφόρμα NeuroVR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει διαφορετικά περιβάλλοντα, όπως σαλόνι, σούπερ μάρκετ κ.τ.λ. με στόχο την αποκατάσταση της συμπεριφοράς των ασθενών που πάσχουν από διάφορες φοβίες, όπως ο φόβος της πτήσης, αγοραφοβία και διατροφικές διαταραχές. Ένα από τα βασικά συμπεράσματα είναι ότι οι εμπειρίες που έγιναν στον εικονικό κόσμο μπορεί να τροποποιήσουν τη συμπεριφορά του ασθενούς στον πραγματικό κόσμο. Επίσης, το 2005, οι Juan et al. διεξήγαγαν έρευνα για τη μελέτη της φοβίας αράχνων και κατσαρίδων. Η

χρήση του AR για τη θεραπεία γενικά αύξησε την αποδοχή των ασθενών, επειδή αντί να εκτίθενται στο ζώο στην πραγματικότητα, χρησιμοποιούσαν μόνο μια προσομοίωση. Το σύστημα AR επέτρεψε μια συγκεκριμένη κατάσταση που θα βοηθούσε τον ασθενή να εξοικειωθεί, π.χ. μια αράχνη, ή η προσομοίωση της τοποθέτησης μιας νεκρής κατσαρίδας σε ένα κουτί. Ο ασθενής στο σύστημα αυτό μπορούσε να δει και να χρησιμοποιήσει τα χέρια του για τις αλληλεπιδράσεις. Ο ερευνητής κατάληξε στο συμπέρασμα ότι η AR είναι χρήσιμο θεραπευτικό εργαλείο για πολλές άλλες ψυχολογικές διαταραχές. Έπειτα το 2013, ξεκίνησε το έργο MEVIS από το ερευνητικό ίδρυμα Fraunhofer. Το έργο αφορούσε τη χρήση μιας εφαρμογής AR με βάση το iPad για την υποστήριξη των λειτουργιών του ήπατος (συκώτι). Κατά την διάρκεια μιας χειρουργικής επέμβασης οι γιατροί πρέπει να γνωρίζουν όσο το δυνατόν ακριβέστερα για τα αιμοφόρα αγγεία που βρίσκονται μέσα στο συκώτι. Έτσι, η εφαρμογή AR υποστηρίζει τον χειρουργό χρησιμοποιώντας 3D εικόνες ακτίνων X. Επιπλέον, και στον τομέα της ορθοπαιδικής έχουν διεξαχθεί διάφορες μελέτες έρευνας για την αποκατάσταση των εγκεφαλικών επεισοδίων. Μια προσέγγιση η οποία αναπτύχθηκε ήταν με ένα παιχνίδι όπου ο ασθενής έπρεπε να εκτελέσει εργασίες που κατευθύνονται από μια εφαρμογή και τα αποτελέσματα μετριοούνται με ένα εικονικό γάντι ελεγκτή παιχνιδιών. Η τρέχουσα έρευνα 46 ασθενών κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αποκατάσταση με βάση την VR σε συνδυασμό με την τυποποιημένη επαγγελματική θεραπεία μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική από την κλασική θεραπεία. Επιπλέον, το ζήτημα της εφαρμογής VR στο πεδίο της ουρολογίας συζητήθηκε από τους Shah et al. το 2001. Ένας από τους κύριους στόχους της χρήσης προσομοιωτών είναι η μείωση του χρόνου που απαιτείται για την κατάρτιση. Στόχος αποτελεί και η παροχή της δυνατότητας στους γιατρούς ή στους χειρουργούς να αποκτήσουν εμπειρία και να βελτιώσουν τις επιδόσεις τους έξω από το περιβάλλον του χειρουργείου. Η διδασκαλία της ανατομίας στον τομέα της ουρολογίας μπορεί να αποτελέσει κεντρική εφαρμογή του VR. Το 2006 οι Κορεάτες ερευνητές δημιούργησαν τον "ορατό κορεατικό άνθρωπο" για την ανατομία. Στο πλαίσιο αυτού του έργου, οι προπαρασκευασμένες εικόνες κατατμήθηκαν περαιτέρω χρησιμοποιώντας το λογισμικό SURFdriver, για να επιτρέψουν στις δομές των ουρητήρων, της ουροδόχου κύστης (εσωτερικά όρια), της ουρήθρας, των όρχεων, των σπερματικών κυστιδίων, του προστάτη και της αρτηρία να καθοριστούν. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για να μοντελοποιήσουν κάθε ανατομική δομή σε ένα ξεχωριστό αντικείμενο 3D. Το αποτέλεσμα είναι ένα διαδραστικό 3D μοντέλο το οποίο μπορεί να βοηθήσει τους φοιτητές της ιατρικής με τη μελέτη της ανατομίας. Αυτό το μοντέλο αναμένεται επίσης να βοηθήσει τους ουρολόγους στη

διαδικασία εξήγησης ασθενειών σε ασθενείς. Οι 3D εικόνες αυτού του μοντέλου διατίθενται ελεύθερα από τους ερευνητές. Παράλληλα, η χρήση του VR στον προεγχειρητικό προγραμματισμό έχει ερευνηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Φαίνεται ότι ο σχεδιασμός έχει γίνει ένα κεντρικό πεδίο εφαρμογής για την τεχνολογία αυτή. Έχουν αναφερθεί αναφορές σε διάφορους τομείς ενδοσκοπικής χειρουργικής. Οι ερευνητές σημείωσαν ότι προσφέρει επιπλέον εργαλεία για τους χειρουργούς και βοηθά στη βελτιστοποίηση των χειρουργικών επεμβάσεων και στη μεγιστοποίηση της λειτουργικής συντήρησης. Η μελέτη του Hughes-Hallett et al. δείχνει ότι η χειρουργική επέμβαση υφίσταται μια σημαντική αλλαγή με μια κίνηση προς την ελάχιστη επεμβατική χειρουργική (MIS) να γίνει ένα νέο πρότυπο περίθαλψης. Η προτεινόμενη 3D χειρουργική επέμβαση με βάση την εικόνα βασίζεται σε 2 φάσεις: στον σχεδιασμό και την εκτέλεση. Αν και η πρώτη φάση απαιτεί μεγάλη ποσότητα ανατομικών δεδομένων, η δεύτερη απαιτεί μόνο ένα υποσύνολο αυτών των πληροφοριών, αλλά με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα τρισδιάστατα μοντέλα που απαιτούνται κατά τη φάση προγραμματισμού εμφανίζονται στον χειρουργό τόσο σε tablet όσο και σε κονσόλα daVinci. Η παρακολούθηση των οργάνων έχει επίσης βελτιωθεί. Κατά τη διάρκεια της φάσης εκτέλεσης, ο οπτικά καταχωρημένος ενδοεγχειρητικός υπερηχογράφος χρησιμοποιείται για καθοδήγηση υψηλής ακρίβειας και για τη δημιουργία ανεξάρτητων 3D εικόνων. Μια μελέτη του ίδιου συγγραφέα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το δισκίο μπορεί να είναι μια συσκευή "χαμηλού φραγμού εισόδου" με επαρκή ακρίβεια και ελάχιστη επίδραση στη χειρουργική ροή εργασίας. Η πρώτη περίπτωση της τηλεχειρουργικής πραγματοποιήθηκε το 2001 από τη Marescaux στη Νέα Υόρκη που λειτουργεί εξ αποστάσεως σε ασθενή που βρίσκεται σε νοσοκομείο στη Γαλλία. Ένα από τα μειονεκτήματα είναι η απαίτηση ειδικών δικτύων επικοινωνίας έτσι ώστε ένας χειρουργός που εκτελεί μια ενέργεια το αποτέλεσμα να γίνεται ορατό άμεσα. Αυτό μπορεί σήμερα να επιτευχθεί μόνο με ιδιωτικά δίκτυα. Η έρευνα με τη χρήση του δημόσιου διαδικτύου και η εξασφάλιση υψηλής αξιοπιστίας καθώς και η χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση πραγματοποιήθηκαν από τους Obenshain και Tantilillo χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο επικάλυψης LTN και ένα ρομπότ da Vinci ως τηλεσκοπική συσκευή. Η πρόοδος των τεχνολογιών συμπίεσης εικόνων και των δυνατοτήτων του δικτύου αναμένεται να ανοίξει το πεδίο αυτό σε ευρύτερες εφαρμογές. Συμπερασματικά, η AR και η VR έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τον κίνδυνο μέσω βελτιωμένου σχεδιασμού, να στηρίξουν τους επαγγελματίες υγείας και να μειώσουν το χρόνο που δαπανάται στο χειρουργείο. Παρόλο που οι περισσότερες μελέτες και έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι όλες οι

τεχνολογίες χρειάζονται περαιτέρω βελτιώσεις σε πολλά επίπεδα, έχουν την δυνατότητα να αυξήσουν περαιτέρω την αποτελεσματικότητα της υγειονομικής περίθαλψης και να προσφέρουν βελτιωμένες ιατρικές υπηρεσίες στους ασθενείς στο μέλλον (Hamacher and Su Jin and Tae Cho and Pardeshi and Hyun Lee and Jong Eun and Keun Whangbo, 2016).

Ακόμη, στο πρόσφατο άρθρο των Andersen, Popescu, Cabrera, Shanghavi, Gomez, Marley, Mullis και Wachs παρουσιάζεται μια νέα προσέγγιση στη χειρουργική (telementoring) όπου οι σχολιασμοί της χειρουργικής επέμβασης τοποθετούνται πάνω στο χειρουργικό πεδίο χρησιμοποιώντας μια διαφανή οθόνη επαυξημένης πραγματικότητας (AR). Ο ασκούμενος χειρουργός βλέπει το σημειωμένο χειρουργικό πεδίο μέσω μιας οθόνης που έχει αναρτηθεί στο οπτικό του πεδίο. Η οθόνη είναι διαφανής, εκτός από τα εικονοστοιχεία όπου εμφανίζονται οι σχολιασμοί που δημιουργούνται από τον χειρουργό. Στην εικόνα 1.9. δεξιά, ο σχολιασμός δείχνει την ακριβή τοποθέτηση ενός πρόσθετου χειρουργικού εργαλείου. Η διαφανής οθόνη επιτρέπει στον εκπαιδευόμενο να δει τα χέρια του, τα χειρουργικά εργαλεία και το χειρουργικό πεδίο. Το τμήμα του χειρουργικού πεδίου που βλέπει ο εκπαιδευόμενος μέσω της οθόνης ευθυγραμμίζεται με την περιβάλλουσα περιοχή του χειρουργικού πεδίου.



Εικόνα 6. Συνολική εικόνα του συστήματος

Δηλαδή, η διαφανής οθόνη ενσωματώνει σχολιασμούς στο χειρουργικό πεδίο, οπότε ο εκπαιδευόμενος μπορεί να επωφεληθεί από τους σχολιασμούς χωρίς την μετατόπιση της εστίασης. Η ευθυγράμμιση μεταξύ των σχολιασμένων και των περιφερειακών περιοχών του χειρουργικού πεδίου διατηρεί το φυσικό συντονισμό των χεριών και των ματιών στον οποίο βασίζονται οι χειρουργοί. Η διαφανής απεικόνιση στον εκπαιδευόμενο

προσομοιώνεται χρησιμοποιώντας ένα tablet που εμφανίζει την ροή βίντεο που αποκτάται από την κάμερα που βλέπει προς τα πίσω. Η ροή βίντεο αποστέλλεται ασύρματα στον ιστότοπο του χειρουργού και εμφανίζεται στο tablet του. Χρησιμοποιώντας τη διεπαφή χρήστη με το άγγιγμα του tablet, ο χειρουργός προσθέτει σχολιασμούς με κείμενο σε ένα πλαίσιο της ροής βίντεο. Οι σχολιασμοί αποστέλλονται πίσω στον ιστότοπο του εκπαιδευόμενου, και εμφανίζονται στο tablet. Με αυτό τον τρόπο παρέχουν καθοδήγηση στον εκπαιδευόμενο. Ο χειρουργός δημιουργεί σημειώσεις, θέσεις, προσανατολισμούς και μεγέθη μέσω της διεπαφής χρήστη του tablet. Οι σχολιασμοί δημιουργούνται επιλέγοντας κουμπιά με εικονίδια. Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες σχολιασμού: σχήματα σχεδίασης, χειρουργικά εργαλεία, ετικέτες κειμένου και εικονίδια χειρονομίας. Ακολούθως εφάρμοσαν το πρωτότυπο του συστήματος χρησιμοποιώντας δύο tablet Samsung Galaxy Tab Pro 12,2 ιντσών, ένα για τον εκπαιδευόμενο και ένα για τον χειρουργό. Στα πειράματα που διεξήχθησαν ο χειρουργός βρισκόταν σε ένα δωμάτιο δίπλα στον χώρο των εκπαιδευομένων. Η απόσταση ήταν αρκετά μικρή έτσι ώστε τα tablet να μπορούν να επικοινωνούν μέσω ενός ad-hoc δικτύου Wi-Fi Direct. Για τα σενάρια όπου ο χειρουργός διαχωρίζεται από τον εκπαιδευόμενο σε σημαντική γεωγραφική απόσταση, η επικοινωνία θα υλοποιηθεί μέσω του Wi-Fi και του Διαδικτύου, με μικρή μόνο τροποποίηση στην εφαρμογή λογισμικού συστημάτων. Το τρέχον σύστημα δεν επιτυγχάνει τέλεια οπτική συνέχεια μεταξύ των τμημάτων του χειρουργικού πεδίου που βλέπουν μέσω της οθόνης και των τμημάτων που βλέπουν απευθείας. Το βίντεο εμφανίζεται όπως είναι, από την οπτική γωνία της βιντεοκάμερας του εκπαιδευόμενου. Για μια καλύτερη προσομοίωση της διαφάνειας, το βίντεο πρέπει να αναπαράγεται στην οπτική γωνία του εκπαιδευόμενου. Η διαδικασία απαιτεί την επίλυση των ακόλουθων δευτερευόντων προβλημάτων: (1) παρακολούθηση της κεφαλής του ασκούμενου, (2) γνώση της γεωμετρίας του χειρουργικού πεδίου, και (3) καταγραφή των πληροφοριών χρώματος που λείπουν από το τρέχον πλαίσιο. Οι πιθανές λύσεις για το πρώτο πρόβλημα είναι η χρήση της μπροστινής βιντεοκάμερας στο tablet του εκπαιδευόμενου, χρησιμοποιώντας ένα εξωτερικό σύστημα παρακολούθησης ή χρησιμοποιώντας ένα tablet επόμενης γενιάς που έχει ενσωματωμένη δυνατότητα εντοπισμού κεφαλής χρηστών. Μια τέτοια δυνατότητα είναι ήδη διαθέσιμη στο smartphone "Fire Phone" του Amazon, το οποίο διαθέτει τέσσερις κάμερες που βλέπουν προς τα εμπρός. Πιθανές λύσεις για το δεύτερο πρόβλημα περιλαμβάνουν η απόκτηση εξωτερικού βάθους χρησιμοποιώντας ξεχωριστή κάμερα βάθους ή η απόκτηση βάθους του χειρουργικού πεδίου με τη σύνδεση κάμερας βάθους στο tablet του εκπαιδευόμενου,

όπως ο αισθητήρας δομής. Το τρίτο πρόβλημα μπορεί να λυθεί συμπληρώνοντας τα δείγματα χρωμάτων που χρειάζονται. Επομένως, η προσέγγιση αυτή είναι πολύ υποσχόμενη για το μέλλον της τηλεχειρουργικής (Andersen and Popescu and Cabrera and Shanghavi and Gomez and Marley and Mullis and Wachs, 2016).

Η ανακριβής τοποθέτηση του όγκου στο συκώτι μπορεί να οδηγήσει στην εκτομή μιας υπερβολικής ποσότητας κανονικού παρεγχύματος σε μια προσπάθεια να επιτευχθεί πλήρης εκτομή. Με αφορμή αυτό οι Pessaux, Diana, Soler, Piardi, Mutter και Marescaux στο άρθρο τους περιγράφουν ένα πείραμα χρησιμοποιώντας επαυξημένη πραγματικότητα – AR για τον έλεγχο των διαταραχών του ήπατος και τον ακριβή εντοπισμό τους. Χρησιμοποίησαν το AR γιατί επιτρέπει τον ακριβή εντοπισμό της θέσης της βλάβης σε πραγματικό χρόνο και την εξακρίβωση της έκτασης της εκτομής. Στο πείραμα αυτό συμμετείχαν τρεις ασθενείς δύο άντρες και τρεις γυναίκες. Οι ασθενείς αυτοί υποβλήθηκαν σε επέμβαση ήπατος για καλοήγη όγκο, ηπατοκυτταρικό καρκίνωμα και μεταστάσεις ορθοκολικού ήπατος. Αρχικά, δημιούργησαν ένα τρισδιάστατο εικονικό μοντέλο κοιλιακής κοιλότητας του ασθενή για να υπάρχει δυνατότητα να δείχνει τις διαταραχές ή την αλλοίωση του ήπατος. Το μοντέλο αυτό υποβλήθηκε σε επεξεργασία με την εφαρμογή VR-RENDER και τον Εικονικό Χειρουργικό Σχεδιασμό (VSP®, IRCAD), για να περιγράψει τα επίπεδα χειρουργικής εκτομής, συμπεριλαμβανομένου του εκλεκτικού συνδέσμου των αγγειακών δομών. Στην συνέχεια, διαπιστώθηκε ότι η γραμμή εκτομής (κουκκίδες που έγιναν στην επιφάνεια του ήπατος) μετά την ενδοεγχειρητική λαπαροσκοπική αξιολόγηση υπερήχων αντιστοιχούσε στην προγραμματισμένη προεγχειρητική εκτομή που έγινε στο εικονικό μοντέλο. Η επαυξημένη πραγματικότητα – AR επέτρεψε τη σωστή ανατομή του όγκου με ακριβή και ασφαλή αναγνώριση όλων των κύριων αγγειακών δομών. Αποδείχθηκε ότι ο χρόνος που απαιτείται για την επίτευξη του AR (λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο που χρειάστηκε για να συνδεθούν οι ρομποτικοί έξοδοι στην θέση του τηλεχειριστηρίου) ήταν 8 λεπτά. Οι εγγραφές του εικονικού μοντέλου σε εικόνες σε πραγματικό χρόνο χρειάστηκαν μόνο λίγα δευτερόλεπτα. Στο τέλος της διαδικασίας, το υπόλοιπο ήπαρ αγγειοποιήθηκε ορθά. Δεν υπήρξε περιεγχειρητική μετάγγιση. Η μετεγχειρητική περίοδος ήταν αβέβαιη με μια μέση παραμονή στο νοσοκομείο 6 ημερών. Συμπερασματικά, ολοκληρώθηκε επιτυχώς μια ολοκληρωτικά ρομποτική διαδικασία με αυξημένη πλοήγηση στην πραγματικότητα. Αυτό αποτελεί ένα ακόμη βήμα προς την αυτοματοποίηση της χειρουργικής διαδικασίας,

η οποία θα απαιτούσε την ενσωμάτωση μιας ρομποτικής πλατφόρμας που ελέγχεται μέσω αλγορίθμων που εφαρμόζουν τα χειρουργικά βήματα, ένα ανατομικό εικονικό μοντέλο ειδικά για τον ασθενή, και την πρόβλεψη κίνησης οργάνων (Pessaux and Diana and Soler and Piardi and Mutter and Marescaux, 2015).

2.2. Καινοτομία

Στην συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκαν εις βάθος αρκετά άρθρα τα οποία αφορούν εφαρμογές τηλεϊατρικής με την χρήση ρομπότ οι οποίες αναπτύχθηκαν, έρευνες οι οποίες έχουν γίνει για την μελέτη της καθυστέρησης της μεταφοράς ιατρικών δεδομένων και εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας οι οποίες αναπτύχθηκαν για την αύξηση της αποτελεσματικότητας των εξ αποστάσεως χειρουργείων.

Ζώντας στον 21^ο αιώνα και λαμβάνοντας υπόψη την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι σημαντική η δυνατότητα του εξ αποστάσεως χειρουργείου με την βοήθεια των ρομπότ και της υπολογιστικής όρασης. Αρχικά, κρίνεται αναγκαίο γιατί θα μπορούν όλοι οι ασθενείς και αυτοί που ζουν σε απομακρυσμένες περιοχές, να λαμβάνουν υγειονομική περίθαλψη με αρκετά χαμηλό κόστος. Εκτός από τους ασθενείς χρήσιμη τεχνολογία κρίνεται και για τους επαγγελματίες υγείας οι οποίοι θα μπορούν να μεταφέρουν τις γνώσεις τους πολύ πιο εύκολα. Επίσης, χρησιμοποιώντας τα ρομπότ θα μειωθούν τα λάθη των γιατρών και θα αυξηθεί η ασφάλεια των ασθενών. Επομένως, κρίνεται αναγκαία η μελέτη και η σύγκριση των διαφόρων μεθόδων, η οποία έχει ως σκοπό την ανάδειξη των καλύτερων από αυτών.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκτός από την βιβλιογραφία, πραγματοποιείται σύγκριση των ερευνών μέσω κάποιων χαρακτηριστικών τους όπως αποτελεσματικότητα, χρησιμότητα, καθυστέρηση στην μετάδοση δεδομένων, κόστος και άλλα με την μορφή κλάσματος.

Επιπρόσθετα, για όλες τις έρευνες που συγκρίθηκαν παρουσιάζεται μία SWOT ανάλυση, στην οποία μελετώνται τα δυνατά τους σημεία, οι αδυναμίες τους καθώς και οι ευκαιρίες που προκύπτουν από αυτές, αλλά και οι απειλές που μπορεί να εμφανιστούν.

Κεφάλαιο 3

Υλικό και Λογισμικό για την ανάπτυξη ρομποτικών συστημάτων

Το λογισμικό και το υλικό αποτελούν σημαντικό κομμάτι για την υποστήριξη των ρομποτικών συστημάτων καθώς και για την σωστή λειτουργία των συσκευών για ένα επιτυχή αποτέλεσμα. Λέγοντας υλικό εννοούμε τα φυσικά εξαρτήματα του ρομποτικού συστήματος (π.χ. ψηφιακή κάμερα), ενώ με τον όρο λογισμικό εννοούμε την συλλογή των προγραμμάτων, διαδικασιών και αλγορίθμων τα οποία εκτελούν εργασίες. Συμπερασματικά, ο καλύτερος συνδυασμός υλικού και λογισμικού μπορεί να οδηγήσει στην καλύτερη δυνατή απόδοση των συστημάτων με αποτέλεσμα την επιτυχία της χειρουργικής επέμβασης εξ αποστάσεως.

3.1. Υλικό (Hardware)

Το υλικό ορίζεται ως το σύνολο όλων των φυσικών εξαρτημάτων ενός υπολογιστή. Στην προκειμένη περίπτωση το υλικό είναι όλες οι συσκευές και οι αισθητήρες του ρομποτικού συστήματος. Στην συνέχεια, αναλύεται το υλικό το οποίο χρειάζεται για ένα πλήρες ρομποτικό σύστημα.

3.1.1. Οργάνωση και Λειτουργία ενός ρομποτικού συστήματος

Ένα ρομποτικό σύστημα απαρτίζεται κυρίως από το μηχανικό μέρος και τον ελεγκτή του. Πιο κάτω περιγράφονται και αναλύονται τα δύο μέρη του ρομποτικού συστήματος καθώς ορίζεται και ο βαθμός ελευθερίας που χρειάζεται να έχει ένα ρομπότ.

3.1.1.1. Μηχανικό Μέρος Ρομποτικού Συστήματος

Το μηχανικό μέρος ενός ρομποτικού συστήματος περιλαμβάνει το σύνολο των βραχιόνων του. Ανάλογα με την εργασία για την οποία έχει σχεδιαστεί ένα ρομπότ μπορεί να περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους βραχίονες. Κάθε ένας βραχίονας που διαθέτει αποτελείται από τα πιο κάτω μέρη:

- **Βάση:** η βάση είναι στερεωμένη στο περιβάλλον εργασίας του ρομπότ. Σε αυτή συνδέεται μια αλυσίδα συνδέσμων και αρθρώσεων η οποία καταλήγει στο εργαλείο δράσης.
- **Αρθρώσεις:** Είναι μηχανισμοί με τους οποίους επιτρέπεται η κίνηση μεταξύ των συνδέσμων. Χωρίζονται σε γραμμικές οι οποίες επιτρέπουν την κίνηση κατά μήκος ενός άξονα, σε περιστροφικές που επιτρέπουν την κίνηση γύρω από τον άξονά τους και σφαιρικές που επιτρέπουν σφαιρική περιστροφική κίνηση ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς συνδέσμους.
- **Συνδέσμους:** Είναι στερεά, μεταλλικά σώματα τα οποία συγκροτούν τον σκελετό του ρομποτικού συστήματος.
- **Κινητήρες:** Ο κινητήρας ενδέχεται να είναι ηλεκτρικός (σερβοκινητήρες ή βηματικοί κινητήρες), υδραυλικός ή πνευματικός (αεροσυμπιεστές) ή πιεζοηλεκτρικός. Επίσης, σε κάθε άρθρωση χρειάζεται να υπάρχει ένας κινητήρας.
- **Αισθητήρια:** Οι αισθητήρες παρέχουν στο ρομπότ πληροφορίες σχετικά με το εξωτερικό περιβάλλον. Ειδικότερα, χρησιμοποιούνται για να ελέγχεται η θέση του ρομπότ, για να λαμβάνονται πληροφορίες για την ταχύτητα και την θέση κάθε άρθρωσης ξεχωριστά. Για να συλλεχθούν οι πληροφορίες αυτές είναι απαραίτητη η χρήση διαφόρων αισθητήρων π.χ. κωδικοποιητές θέσης (encoders). Υπάρχουν διάφορα είδη αισθητήρων όπως οι οπτικοί οι οποίοι περιλαμβάνουν την εκτίμηση απόστασης με LASER (laser range scanners), τους μονοφθαλμικής/στερεοσκοπικής όρασης και οι αισθητήρες φωτός, οι ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες, οι μηχανικοί οι οποίοι εντοπίζουν την θέση, την επιτάχυνση, την κίνηση και τον προσανατολισμό και οι ακουστικοί αισθητήρες οι οποίοι είναι συνήθως αισθητήρες υπερήχων για την εκτίμηση της απόστασης (Φουρλάς, 2008).
- **Εργαλείο Δράσης:** Κάθε βραχίονας του ρομπότ έχει προσαρμοσμένο στο τελικό του άκρο ένα μηχανικό εξάρτημα το οποίο είναι κατάλληλα σχεδιασμένο για την εκτέλεση της εργασίας για την οποία έχει σχεδιαστεί το ρομπότ. Έτσι, ένα

εργαλείο δράσης σε κάθε ρομπότ είναι διαφορετικό και ποικίλει ανάλογα με την περίπτωση. Για παράδειγμα θα μπορούσε να είναι ένα λεπτό χειρουργικό εργαλείο (Αλεξανδροπούλου, 2016) (Αγγελόπουλος, 2009).

Ειδικότερα, ο ρομποτικός βραχίονας αποτελείται από μια σειρά διαδοχικών στερεών σωμάτων που είναι οι σύνδεσμοι (links). Οι σύνδεσμοι συνδέονται ανά δύο ανάμεσα τους μέσω αρθρώσεων (joints) σχηματίζοντας μία κινηματική αλυσίδα. Οι αρθρώσεις ελέγχουν τις κινήσεις των συνδέσμων. Η ομάδα των αρθρώσεων που ελέγχει την κίνηση του εργαλείου ονομάζεται "καρπός". Στο τέλος του καρπού υπάρχει ένα εργαλείο το οποίο είναι κατάλληλο για την χειρουργική επέμβαση την οποία θα διεξαχθεί. 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. Η κίνηση του τελικού στοιχείου δράσης ρυθμίζεται ελέγχοντας τη θέση και την ταχύτητα των αξόνων κίνησης του ρομπότ (Φουρλάς, 2008).

3.1.1.2. Ελεγκτής του ρομποτικού συστήματος

Ο ελεγκτής του ρομποτικού συστήματος μας δίνει την δυνατότητα να προγραμματίσουμε το ρομπότ. Επίσης, είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο της κίνησης του ρομπότ καθόλη την διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας του. Ο ελεγκτής αποτελείται από:

- Ηλεκτρονικά (Hardware): στην πιο συνηθισμένη περίπτωση περιλαμβάνουν ένα υπολογιστή. Στον υπολογιστή αποθηκεύεται το πρόγραμμα το οποίο θα εκτελεστεί, τα ηλεκτρονικά επικοινωνίας ανάμεσα του ελεγκτή, του μηχανικού μέρους και του εξωτερικού περιβάλλοντος (interface) του ρομποτικού συστήματος και τους ενισχυτές ισχύος οι οποίοι ενισχύουν τα σήματα ελέγχου στο επίπεδο που απαιτείται ώστε οι κινητήρες να κινούν τις αρθρώσεις.
- Λογισμικό (Software): Κυρίως είναι υπεύθυνο για την δημιουργία των κατάλληλων σημάτων ελέγχου, βάση κάποιου αλγορίθμου λαμβάνοντας υπόψη διάφορες μεταβλητές όπως το φορτίο, την θέση και την ταχύτητα του ρομπότ. Επιπλέον, αποτελείται από διάφορα βοηθητικά προγράμματα για τον προγραμματισμό του ρομπότ, την ενημέρωση του χρήστη με διαγνωστικά μηνύματα και τον έλεγχο της λειτουργίας του ρομπότ (Αλεξανδροπούλου, 2016) (Αγγελόπουλος, 2009).

3.1.1.3. Βαθμός ελευθερίας του ρομπότ (Degree Of Freedom – DOF)

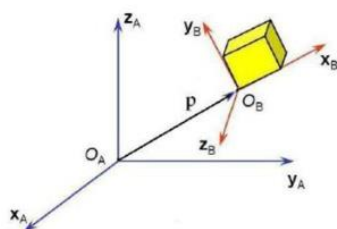
Ο βαθμός ελευθερίας του ρομπότ (Degree Of Freedom – DOF) ονομάζεται ο αριθμός των ανεξάρτητων παραμέτρων οι οποίες προσδιορίζουν την θέση ενός σώματος στον χώρο. Οι βαθμοί ελευθερίας αποτελούν το βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος κάθε ρομποτικού βραχίονα και κατ' επέκταση του ρομποτικού συστήματος. Γενικότερα, οι βαθμοί ελευθερίας βεβαιώνουν κατά πόσο ευκίνητο είναι ένα ρομπότ στο χώρο. Επιπλέον, κάθε ανεξάρτητη κινούμενη άρθρωση προσθέτει ένα βαθμό ελευθερίας στο ρομπότ. Ο ανθρώπινος βραχίονας υπολογίζεται ότι διαθέτει επτά βαθμούς ελευθερίας.

Για να περιγράψουμε την θέση ενός στερεού σώματος στο χώρο με ακρίβεια είναι απαραίτητη η χρήση έξι μεταβλητών, τρεις για την θέση του και τρεις για τον προσανατολισμό του. Άρα, για την κίνηση ενός ρομπότ οπουδήποτε μέσα στον χώρο και με οποιοδήποτε προσανατολισμό είναι αναγκαστικό να διαθέτει έξι βαθμούς ελευθερίας. Συνεπώς, όσους βαθμούς ελευθερίας διαθέτει ένα ρομπότ γίνεται πιο ευέλικτο στον χώρο όμως ο αλγόριθμος ελέγχου του γίνεται πιο περίπλοκος (Αλεξανδροπούλου, 2016) (Αγγελόπουλος, 2009).

Βαθμοί ελευθερίας

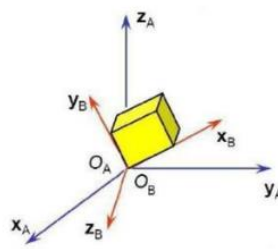
Περιγραφή αντικειμένου στο χώρο

Περιγραφή θέσης



3 βαθμοί ελευθερίας

Περιγραφή προσανατολισμού



3 βαθμοί ελευθερίας

Συνολικά απαιτούνται 6 βαθμοί ελευθερίας

Εικόνα 7. Βαθμοί ελευθερίας των ρομπότ

3.1.2. Χειρουργικό Ρομπότ

Ένα χειρουργικό ρομπότ αποτελείται από τα μέρη που αναφέρθηκαν προηγουμένως και είναι μια αυτοτροφοδοτούμενη ηλεκτρονική συσκευή που μπορεί να προγραμματιστεί για να βοηθήσει στην τοποθέτηση και χειρισμό χειρουργικών εργαλείων, επιτρέποντας

στον χειρουργό να εκτελεί πιο περίπλοκα καθήκοντα. Το ρομπότ της τηλεχειρουργικής ενσωματώνει πολλά σύγχρονα μέσα υψηλής τεχνολογίας όπως ψηφιακές κάμερες. Χρησιμοποιώντας το ρομπότ της τηλεχειρουργικής, ένας χειρουργός μπορεί να χειριστεί το μηχάνημα και να εκτελέσει χειρουργική επέμβαση μακριά από το χειρουργικό τραπέζι. Ειδικότερα, το ρομπότ είναι μια κατασκευή που μπορεί να εκτελεί κινήσεις αλληλοεπιδρώντας με το περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο. Τα ρομπότ είναι εφοδιασμένα με αισθητήρες οι οποίοι συλλέγουν τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την θέση του και την κατάσταση του περιβάλλοντος χώρου έτσι ώστε να μπορεί εύκολα με την συμβολή του ηλεκτρονικού υπολογιστή να καθορίζει τις νέες του κινήσεις. Με αυτό τον τρόπο, με τον κατάλληλο εφοδιασμό και την εγκατάσταση κατάλληλου λογισμικού τα ρομπότ έχουν την δυνατότητα να εκτελέσουν ποικίλες χειρουργικές επεμβάσεις (Morris, 2005).

Τα χειρουργικά ρομπότ απαρτίζονται από μία ελεγχόμενη και αυτοτροφοδοτούμενη συσκευή η οποία είναι κατάλληλα προγραμματισμένη για να συμβάλλει στην εστίαση και τον χειρισμό των χειρουργικών οργάνων βοηθώντας έτσι τον χειρουργό να εκτελεί πολύπλοκες και λεπτές χειρουργικές επεμβάσεις. Ήδη στις μέρες μας η πρώτη γενιά των χειρουργικών ρομπότ χρησιμοποιείται σε πολλά νοσοκομεία παγκόσμια. Τα ρομπότ αυτά που χρησιμοποιούνται σήμερα δεν μπορούν να εκτελέσουν επεμβάσεις εξ ολοκλήρου μόνα τους αλλά βοηθούν σε πολύ μεγάλο βαθμό τον χειρουργό να εκτελέσει καλύτερα την δουλειά του με αποτέλεσμα να μην επιβαρύνεται η υγεία των ασθενών. Τα ρομποτικά συστήματα αποτελούν επέκταση του χειρουργού και καθοδηγούνται απόλυτα από αυτούς, δεν δρουν ανεξάρτητα και δεν τους αντικαθιστούν. Με λίγα λόγια τα ρομπότ και οι χειρουργοί έχουν σχέση τύπου αφέντη – σκλάβου (master – slave) (Αγγελόπουλος, 2009) (Morris, 2005).

Κάθε σύστημα master – slave απαρτίζεται από δύο μέρη την κονσόλα του χειρουργού και τους ρομποτικούς βραχίονες. Τα δύο μέρη αυτά συνδέονται ανάμεσα τους με καλώδια και με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η κονσόλα ουσιαστικά αποτελεί την διασύνδεση του χειρουργού με το ρομπότ. Επίσης, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής συμβάλλει στην ανάκτηση χρήσιμων πληροφοριών βοηθώντας τον χειρουργό και ευκολύνοντας σημαντικά το έργο του. Με την δυνατότητα χρήσης της ψηφιακής ανάλυσης το ρομποτικό σύστημα προσφέρει ακριβής τρισδιάστατη και μεγενθυμένη εικόνα στον χειρουργό με αποτέλεσμα αυξάνεται το όφελος του ασθενή που χειρουργείται.

Ο χειρουργός δίνει εντολές στο ρομποτικό σύστημα μέσω των μοχλών. Οι εντολές αυτές μεταφέρονται ψηφιακά, ταυτόχρονα και με καταπληκτική ακρίβεια στους αρθρωτούς χειρουργικούς βραχίονες του ρομπότ οι οποίοι εκτελούν τις κινήσεις στο πεδίο της επέμβασης. Οι κινήσεις των βραχιόνων του ρομπότ ελέγχονται πλήρως από τον χειρουργό ο οποίος είναι ειδικά εκπαιδευμένος στην χρήση των ρομποτικών συστημάτων (Αγγελόπουλος, 2009) (Κατσαμάγκου, 2012).

Ειδικότερα, ένας γιατρός δεν αγγίζει τον ασθενή άμεσα κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης που εκτελείται από ένα ρομπότ μέσω εξαιρετικά αξιόπιστων επικοινωνιών χαμηλής λανθάνουσας κατάστασης. Μόλις καθοριστεί η θέση τομής, ο μηχανικός βραχίονας που είναι εφοδιασμένος με την κάμερα και άλλα χειρουργικά εργαλεία εκτελεί τις ενέργειες κοπής, διακοπής αιμορραγίας και ράμματος. Ο χειρουργός διαχειρίζεται τη λειτουργία χρησιμοποιώντας την κονσόλα καθοδηγώντας το έργο του μηχανικού βραχίονα στο εσωτερικό του χειρουργείου και παρακολουθεί την εργασία σε μια οθόνη κονσόλας. Η κονσόλα που χρησιμοποιεί ο γιατρός αντιπροσωπεύει τη διεπαφή διαδραστικού συστήματος ανθρώπου-μηχανής και αποτελείται από μια απτική συσκευή που περιλαμβάνει την είσοδο ελέγχου θέσης, τη μονάδα απεικόνισης βίντεο και το ακουστικό (για ανατροφοδότηση βίντεο και φωνής) και την έξοδο αφής ανάδρασης. Το χειρουργικό ρομπότ είναι εξοπλισμένο με την κάμερα 3D, το μικρόφωνο και τους πολλαπλούς αισθητήρες δύναμης και αφής. Επιπλέον, η κονσόλα και το ρομπότ συνδέονται με ένα αξιόπιστο δίκτυο επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας.

3.1.2.1. Οθόνες για την καθοδήγηση της χειρουργικής επέμβασης

Στην τηλεχειρουργική σημαντικό κομμάτι αποτελούν οι εικόνες και το βίντεο. Για να τα έχουν στην διάθεση τους οι χειρουργοί κρίνεται επιτακτική ανάγκη η χρήση οθονών. Υπάρχουν δύο είδη οθονών οι αναλογικές οθόνες ή οθόνες καθοδικού σωλήνα και οι οθόνες υγρών κρυστάλλων για την απεικόνιση των εικόνων και βίντεο κατά την διάρκεια μιας χειρουργικής επέμβασης:

- **Οθόνες καθοδικού σωλήνα:** Αποτελούνται από ένα καθοδικό σωλήνα που στέλνει δέσμες ηλεκτρονίων στο πίσω μέρος της οθόνης. Το πίσω μέρος της οθόνης είναι καλυμμένο με μια φωσφορίζουσα ουσία η οποία μόλις πέσουν οι δέσμες ηλεκτρονίων πάνω της λάμπει και έτσι εμφανίζεται στην οθόνη μια φωτεινή κουκίδα που ονομάζεται εικονοστοιχείο. Πολλά εικονοστοιχεία μαζί

δημιουργούν την εικόνα και το βίντεο. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται ευκρινέστατες εικόνες.

- **Οθόνες υγρών κρυστάλλων:** Οι οθόνες υγρών κρυστάλλων είναι επίπεδες γιατί δεν υπάρχει καθοδικός σωλήνας. Αποτελούνται από έναν συνδυασμό δύο φίλτρων πόλωσης και από τους υγρούς κρυστάλλους. Οι υγροί κρύσταλλοι ελέγχονται από ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο αλλάζει ή όχι την πόλωση του φωτός. Για το φως στην αρχή είχαμε λάμπες φθορισμού. Τώρα υπάρχουν οθόνες υγρών κρυστάλλων με LED. Η οθόνες αυτές χρησιμοποιούνται σήμερα στους υπολογιστές. Οι εικόνες σε αυτές τις οθόνες δεν τρεμοπαίζουν καθόλου γι' αυτό είναι κατάλληλες για την τηλεϊατρική. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας υγρών κρυστάλλων έχουν δημιουργηθεί αρκετές χειρουργικές οθόνες που είναι κατάλληλες για το περιβάλλον ενός χειρουργείου.

Επομένως οι οθόνες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι για την επιτυχία μιας χειρουργικής επέμβασης από απόσταση (Κούτη, 2014).

3.1.2.2. Απτικές συσκευές

Η αίσθηση της αφής είναι μία από τις πέντε ανθρώπινες αισθήσεις και κατέχει σημαντικό ρόλο κατά την διάρκεια ενός χειρουργείου. Η αίσθηση της αίσθησης αναφέρεται στο αίσθημα που δημιουργείται όταν το χέρι ενός χειρουργού έρχεται σε επαφή με τον ασθενή. Οι τύποι της απτικής αντίληψης περιλαμβάνουν την έννοια της δύναμης (moment of force), την αίσθηση πίεσης, την αίσθηση της αφής κλπ. Την αίσθηση της αφής είναι ικανές να προσφέρουν και να συμβάλουν σε μεγάλο βαθμό στην τηλεχειρουργική, οι απτικές συσκευές.

Οι απτικές συσκευές επιτρέπουν την επικοινωνία ανθρώπου μηχανής μέσω της αφής ανάλογα με τις κινήσεις του χρήστη. Μπορεί κανείς να τις θεωρήσει ως απτικές οθόνες που «δείχνουν» στο χρήστη απτική πληροφορία. Η θεμελιώδης διαφορά τους είναι ότι ενώ οι οθόνες είναι συνήθως ένα παθητικό μέσο προβολής (δεν αλλάζει ανάλογα με τις δράσεις του χρήστη) οι απτικές συσκευές στην πλειοψηφία τους αντιδρούν στις κινήσεις του χρήστη, ο οποίος τις μετακινεί στο χώρο για να αισθανθεί μία δύναμη. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται ένα απλό διάγραμμα εισόδου-εξόδου μίας τυπικής απτικής συσκευής.



Εικόνα 8. Είσοδος και έξοδος μιας απτικής συσκευής

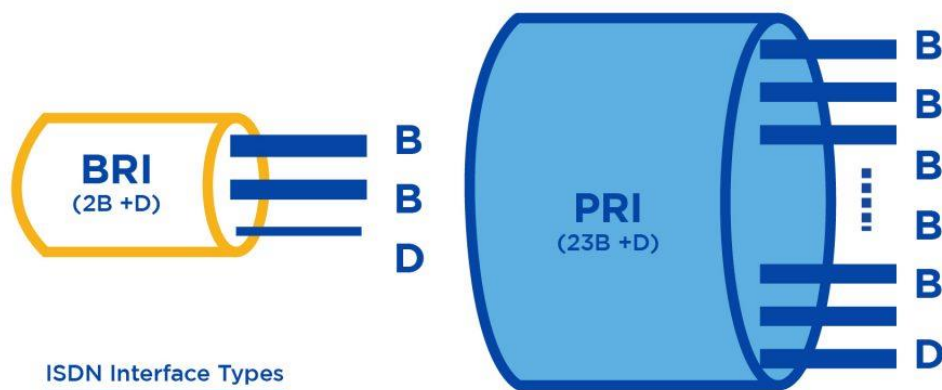
Η απτική συσκευή δίνει στο σύστημα πληροφορία σχετικά με τη θέση της (και σε κάποιες περιπτώσεις και σχετικά με τον προσανατολισμό της) ενώ το σύστημα τη χρησιμοποιεί για να «δείξει» μία δύναμη στο χρήστη.

Συμπερασματικά, χρησιμοποιώντας τις συσκευές αυτές ο χειρουργός βρίσκεται σε θέση να καταλάβει πόση δύναμη ασκεί στον ασθενή έτσι ώστε να μην του δημιουργήσει περαιτέρω προβλήματα.

3.1.3. Τεχνολογίες Τηλεπικοινωνιών στην Τηλεϊατρική

Με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας νέα συστήματα και υπηρεσίες προσφέρονται για την διεκπεραίωση χειρουργείων από απόσταση μεταδίδοντας τις κατάλληλες πληροφορίες.

Αρχικά, υπάρχει το δίκτυο ISDN (Integrated Services Digital Network) το οποίο συμβάλει στην επιτυχή αποστολή εικόνων, βίντεο και επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο. Το δίκτυο αυτό είναι ένα πλήρες ψηφιακό δίκτυο. Η φωνή και τα δεδομένα (data) μεταφέρονται μαζί στο κανάλι B (bearer channel) που έχει εύρος ζώνης (bandwidth) 64 Kbit/s. Υπάρχει και ένα άλλο κανάλι D που χρησιμοποιείται για σηματοδότηση και έχει εύρος ζώνης 16Kbit/s ή 64 Kbit/s.



Εικόνα 9. Δίκτυο ISDN

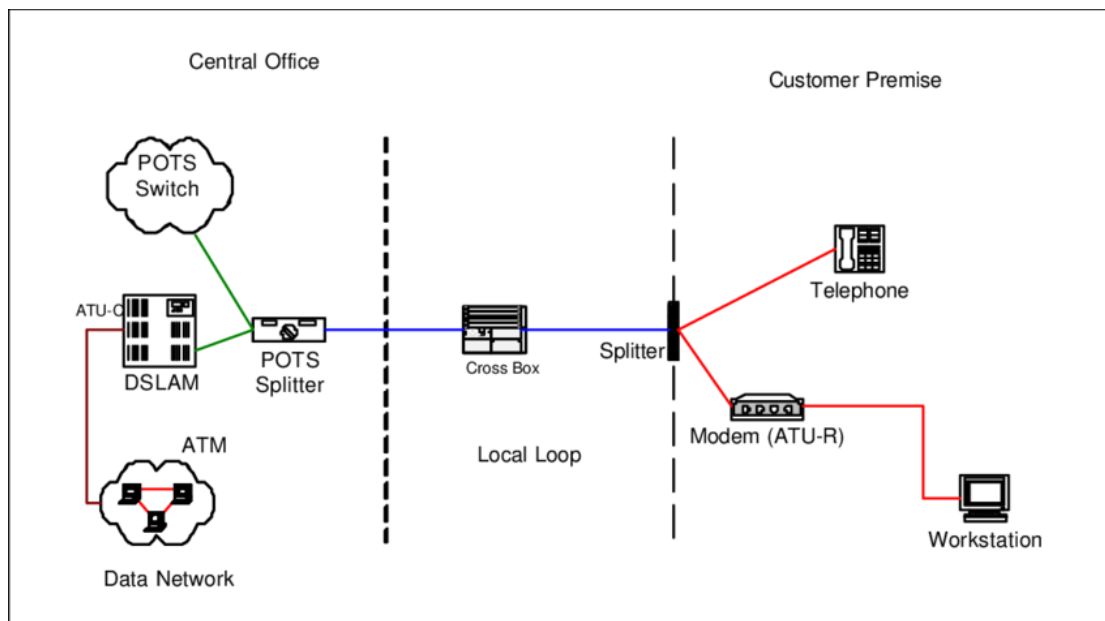
Ένα δίκτυο ISDN περιλαμβάνει δύο προσβάσεις, την Βασική Πρόσβαση και την Πρωτεύουσα Πρόσβαση. Η Βασική Πρόσβαση του ISDN αποτελείται από δύο κανάλια B των 64Kbit/s, (για τηλεφωνία, δεδομένα, fax και οπτική τηλεφωνία) και ένα κανάλι D των 16Kbit/s, οπότε το σύνολο είναι 144Kbit/s. Με την πρόσβαση αυτή υπάρχει η δυνατότητα να υπάρχουν δύο γραμμές ταυτόχρονης επικοινωνίας, να υπάρχει διασύνδεση με άλλο δίκτυο και να υπάρχει οπτική επικοινωνία των δύο πλευρών. Η Πρωτεύουσα πρόσβαση προσφέρει 30 κανάλια B και 1 κανάλι D των 64Kbit/s, οπότε η ταχύτητα μετάδοσης φτάνει τα 1984 Kbit/s.

Μία άλλη διαθέσιμη τεχνολογία είναι η ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line). Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι προσφέρει μεγάλες ταχύτητες πρόσβασης στο διαδίκτυο ή σε οποιοδήποτε άλλο δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων τεχνικών διαμόρφωσης του σήματος (modulation).

Οι υπηρεσίες που προσφέρονται από το ADSL είναι:

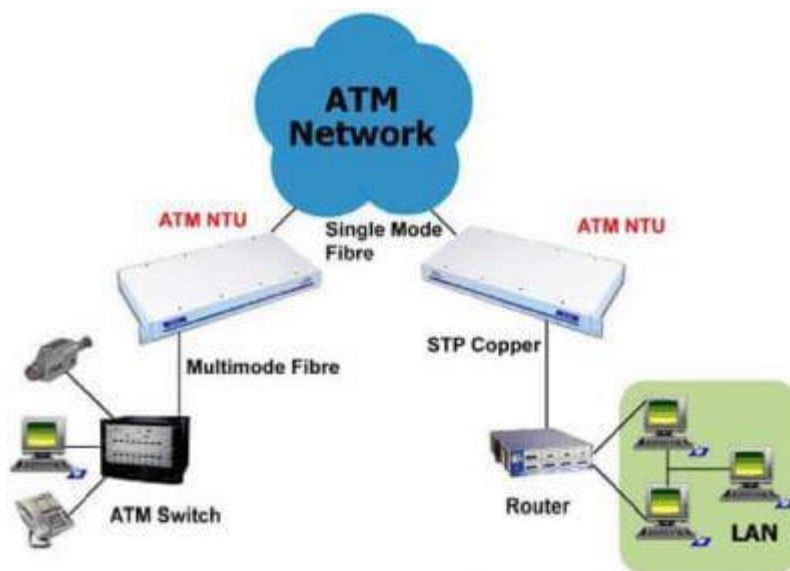
- Πρόσβαση στο διαδίκτυο
- Μετάδοση Βίντεο
- Πρόσβαση από απόσταση σε τοπικό δίκτυο (LAN)
- Υπηρεσίες πολυμέσων

Για να λειτουργήσει το ADSL χρειάζεται ένα modem και ένα φίλτρο ή διαχωριστή (splitter). Το modem συνδέει τον Η/Υ ή το LAN μέσω της τηλεφωνικής γραμμής με το δίκτυο του παροχέα τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Οι splitters (διαχωριστές) διαχωρίζουν τη φωνή από τα δεδομένα, επιτρέποντας τη ταυτόχρονη μετάδοση τους πάνω από την ίδια τηλεφωνική γραμμή.



Εικόνα 10. Δίκτυο ADSL

Επιπλέον, διαθέσιμο είναι και το ATM (Asynchronous Transfer Mode). Στο ATM όπως ακριβώς και στο TCP/IP που χρησιμοποιείται ευρέως στο διαδίκτυο αναφερόμαστε σε πακέτα. Το ATM επιτρέπει τη πολυπλεξία (multiplexing) πολλών διαφορετικών συνδέσεων και χρηστών από το ίδιο καλώδιο. Προκειμένου να ταξιδέψουν τα πακέτα από τον αποστολέα στον παραλήπτη χρησιμοποιούνται κάποιες «λογικές συνδέσεις» που λέγονται virtual channels. Μια τέτοια τεχνολογία επιτρέπει τη δημιουργία εξαιρετικά γρήγορων κέντρων μεταγωγής (switches) πακέτων. Κάποιες από τις προσφερόμενες υπηρεσίες είναι μεταφορά βίντεο σε πραγματικό χρόνο (real time video).



Εικόνα 11. ATM Network

Τέλος υπάρχουν οι δορυφορικές επικοινωνίες και ειδικότερα τα δίκτυα VSAT (Very Small Aperture Terminal). Ένα τέτοιο δίκτυο αποτελείται από πολλούς σταθμούς ικανούς για εκπομπή και λήψη, οι οποίοι συνδέονται με έναν hub (καρδιά του δικτύου) μέσω δορυφόρου. Η δορυφορική μετάδοση προσφέρει μεγάλο εύρος ζώνης, και είναι πολύ βολική για εφαρμογές πολυμέσων. Οι τρόποι λειτουργίας τους είναι δύο: ή μόνο λαμβάνουν ή εκπέμπουν και λαμβάνουν δεδομένα. Ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης ένα τέτοιο δίκτυο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη παροχή υπηρεσιών δεδομένων, υψηλής ευκρίνειας ραδιόφωνο και υπηρεσίες βίντεο. Το V-SAT δίνει λύσεις σε εφαρμογές τηλεχειρουργικής. Οι δορυφόροι βοηθούν στην μετάδοση πληροφοριών σε πολύ μεγάλες αποστάσεις (Παπακώστας, 2010).

Εκτός από τις τεχνολογίες μετάδοσης των δεδομένων για να μπορούν να αποδώσουν στο έπακρο το ρομπότ και οι ασητηήρες του καθώς και τα συστήματα και οι εφαρμογές κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη αλγορίθμων οι οποίοι θα βοηθήσουν στην λειτουργία τους. Δηλαδή, οι αλγόριθμοι χρειάζονται για να γίνεται επεξεργασία των παραμέτρων των συσκευών έτσι ώστε να βγάλουν κάποιο βοηθητικό μήνυμα όταν προκύψει κάποια επιπλοκή στην χειρουργική επέμβαση. Τέλος, για να είναι αποτελεσματικό και αποδοτικό όλο το σύστημα είναι ανάγκη να σχεδιαστούν συστήματα φιλικά προς τον χειρουργό για να μπορεί να τα κατανοήσει και να τα χρησιμοποιήσει εύκολα.

3.1.4. Δίκτυα υλοποίησης εφαρμογών τηλεχειρουργικής

Υπάρχουν διάφορα είδη καναλιών επικοινωνίας ικανά να μεταφέρουν τα δεδομένα που απαιτούνται για μια τηλεχειρουργική επέμβαση. Τα κανάλια αυτά ταξινομούνται σε μεταγωγής κυκλώματος και σε μεταγωγής πακέτου.

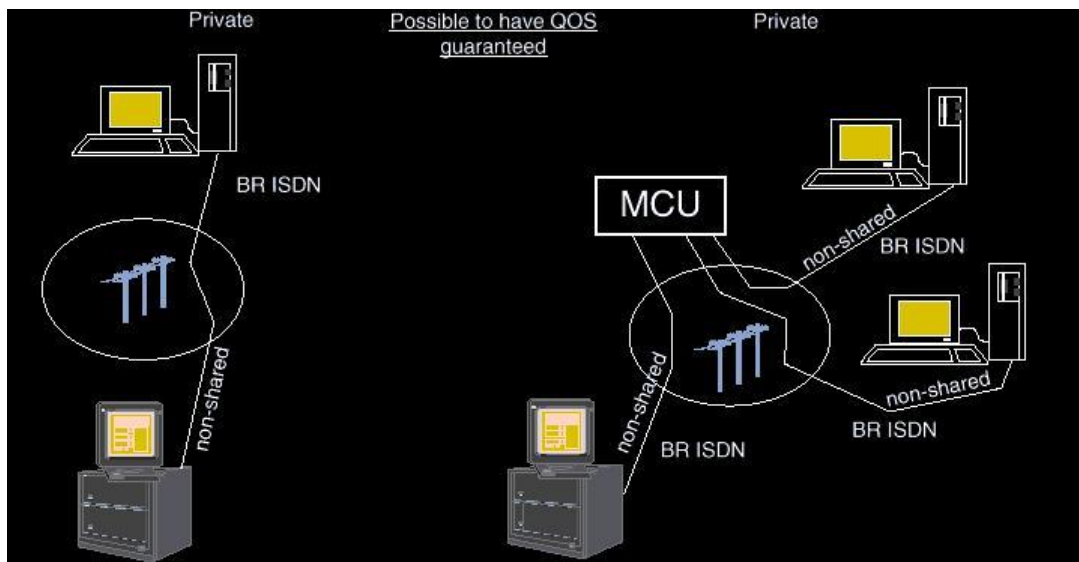
Υπάρχει μεγάλη ποικιλία σημάτων που πρέπει να μεταφερθούν κατά την διάρκεια μιας τηλεχειρουργικής επέμβασης. Μερικά δεδομένα είναι ιδιαίτερα απαιτητικά στην πιστότητα της μετάδοσης τους, ενώ άλλα στην καθυστέρηση με την οποία θα μεταδοθούν. Βέβαια όμως στην τηλεχειρουργική απαιτείται η μετάδοση να χαρακτηρίζεται με αξιοπιστία και μικρό χρόνο καθυστέρησης.

3.1.4.1. Κανάλια επικοινωνίας μεταγωγής κυκλώματος

Η επικοινωνία μεταγωγής κυκλώματος αποτελεί μια μέθοδο μετάδοσης δεδομένων και πληροφοριών κατά την οποία εγκαθίσταται ένα κύκλωμα ανάμεσα πομπού και δέκτη, το οποίο διατηρείται ανοικτό καθ' όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας. Ένα μεμονωμένο μέρος του εύρους του καναλιού αφιερώνεται στην διαδικασία της επικοινωνίας και χρησιμοποιείται μόνο για αποκλειστική χρήση της συγκεκριμένης εργασίας. Το κανάλι ελευθερώνεται όταν ολοκληρωθεί η εργασία και μπορεί ξανά να καταληφθεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο από άλλες εργασίες.

Τα πλεονεκτήματα χρήσης της μεταγωγής κυκλώματος για τηλεχειρουργικές εφαρμογές ποικίλουν. αρχικά είναι γνωστός από πριν ο ρυθμός μετάδοσης και το εύρος του καναλιού. Επομένως, μπορεί να γίνει πρόβλεψη με αρκετά μεγάλη ακρίβεια, των χρονικών καθυστερήσεων άφιξης των δεδομένων στο δέκτη. Επίσης, τα κυκλώματα αυτά είναι ικανά να πιστοποιήσουν την ποιότητα της υπηρεσίας που μπορούν να προσφέρουν (Quality Of Service - QOS).

Εκτός από πλεονεκτήματα, το βασικό μειονέκτημα της μεταγωγής του κυκλώματος είναι ότι προσφέρει επικοινωνία μόνο μεταξύ δύο σημείων (point-to-point), ενώ για την συμμετοχή περισσότερων απαιτείται η χρήση μονάδων πολλαπλών σημείων (multi-point) που είναι ιδιαίτερα ακριβές. Έπειτα, σε πολλά διαστήματα το κανάλι παραμένει ανενεργό και αναξιοποίητο (Παρασκευοπούλου, 2010).



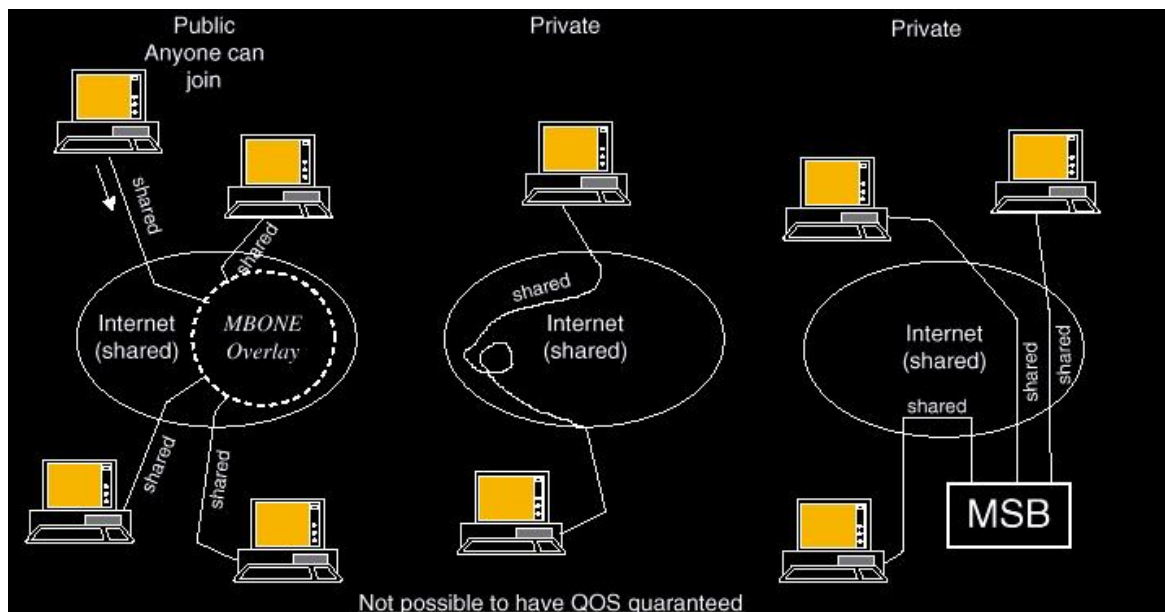
Εικόνα 12. Επικοινωνία δύο σημείων (Παρασκευοπούλου, 2010)

3.1.4.2. Κανάλια επικοινωνίας μεταγωγής πακέτου

Η μεταγωγή πακέτου αποτελεί μια μέθοδο επικοινωνίας κατά την οποία η μετάδοση των δεδομένων πραγματοποιείται με πακέτα. Κάθε πακέτο έχει ένα αναγνωριστικό προέλευσης, την σειρά εκπομπής του καθώς και του προορισμού του. Τα πακέτα αυτά αποστέλλονται στον δέκτη, ανεξάρτητα το ένα από το άλλο μέσω ενός δικτύου. Ανάλογα, με τις συνθήκες του δικτύου κάθε πακέτο μπορεί να επιλέξει διαφορετικό δρόμο για να φτάσει στον προορισμό του. Είναι πιθανό όμως, τα πακέτα να φτάσουν στον δέκτη σε διάφορες χρονικές στιγμές και με διαφορετική σειρά από αυτή της αποστολής τους. Η διαφορά με την μεταγωγή κυκλώματος είναι ότι δεν υπάρχει αφιερωμένο εύρος καναλιού στην επικοινωνία. Το συνολικό εύρος μοιράζεται στον οποιονδήποτε χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο δίκτυο.

Ένα βασικό πλεονέκτημα της μεταγωγής πακέτου σε εφαρμογές τηλεχειρουργικής είναι η ευκολία με την οποία μπορούν να δημιουργηθούν συνδέσεις πολλαπλών σημείων χωρίς την χρήση ειδικού υλικού υπολογιστή. Το πλεονέκτημα αυτό είναι δυνατό να αποδειχθεί αρκετά χρήσιμο σε νοσοκομεία που δεν είναι κατάλληλα εξοπλισμένα.

Παρόλο που το πλεονέκτημα του είναι πολύ βασικό, η μεταγωγή μέσω πακέτου κατέχει και ένα σοβαρό μειονέκτημα στην τηλεχειρουργική. Το μειονέκτημα αυτό αποτελεί την αδυναμία πρόβλεψης του χρόνου παράδοσης των δεδομένων (πακέτων) στον δέκτη, έτσι ώστε να προκαλέσει προβλήματα καθυστέρησης. Έπειτα, δεν είναι δυνατή η εγγύηση της υπηρεσίας που μπορεί να προσφέρει η μεταγωγή πακέτου (Παρασκευοπούλου, 2010).



Εικόνα 13. Κανάλια επικοινωνίας μεταγωγής πακέτου (Παρασκευοπούλου, 2010)

3.1.5. Εικονική Πραγματικότητα – Υλικό

Η υλοποίηση των εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά κάθε συστήματος. Σύμφωνα με αυτά, αναγνωρίζουμε τα **παθητικά συστήματα** στα οποία ο χρήστης μετακινείται στο εσωτερικό ενός εικονικού κόσμου χωρίς τη δυνατότητα άσκησης ελέγχου και τα **ενεργητικά συστήματα** στα οποία ο χρήστης ασκεί ένα επίπεδο ελέγχου.

Η συνολική εμπειρία που αποκομίζει ο τελικός χρήστης από ένα σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας καθορίζεται από κοινού βάσει των δυνατοτήτων και του υλικού αλλά και του λογισμικού (Τζαγκαράκη, 2017).



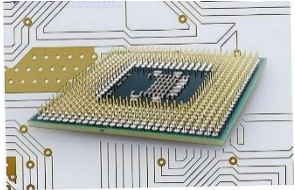
Σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας, ο χρήστης χρησιμοποιεί ειδικό εξοπλισμό όπως είναι τα κράνη εικονικής πραγματικότητας (Head Mounted Displays-HMD), τα ακουστικά για ηχητική απομόνωση από τον περιβάλλοντα χώρο, τα γάντια (Data Gloves), ή ακόμη και ολόκληρες φόρμες (Body Suits) (Τζαγκαράκη, 2017).

Χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους πλοήγησης ο χρήστης μετακινείται στον τρισδιάστατο χώρο (3D navigation). Αυτές οι μέθοδοι συνδυάζουν απλές κινήσεις ειδικού χειριστηρίου (joystick), ποντικιού, χρήση του πληκτρολογίου, μέχρι αναγνώριση κινήσεων και στάσεων σώματος (gesture recognition). Έπειτα, έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές οι οποίες βασίζονται στην αναγνώριση της κόρης των ματιών (eye-tracking) για να ανιχνεύσουν πού κοιτάει ο χρήστης (Ζαφειρομητσου και Τρίχωνα, 2007).

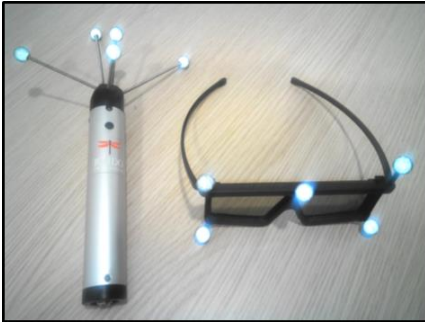
Στο υλικό ενός τέτοιου συστήματος συγκαταλέγονται και συσκευές όπως είναι οι webcams, οι αισθητήρες RGB-D όπως το Kinect της Microsoft και το Wii της Nintendo. Επίσης η εικονική πραγματικότητα κάνει χρήση και άλλων συσκευών που έχουν να κάνουν με την αφή. Οι συσκευές αυτές λέγονται απτικές συσκευές και προσφέρουν μια επιπλέον πηγή εισόδου για το σύστημα εικονικής πραγματικότητας (Τζαγκαράκη, 2017).

Χρησιμοποιώντας τις τεχνικές αυτές επιτυγχάνεται η μετακίνηση της εικονικής κάμερας (viewpoint) μέσα στο περιβάλλον της εικονικής πραγματικότητας. Το σύστημα προβολής (οθόνη, HMD, Cave) αναπροσαρμόζεται αυτόματα στις κινήσεις που εκτελεί ο χρήστης με το σώμα του, τις κινήσεις του κεφαλιού ή του ενεργού γαντιού που χρησιμοποιεί. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι βασικότερες συσκευές εικονικής πραγματικότητας:

Όνομα συσκευής	Περιγραφή
<p>Γάντι εισαγωγής της πληροφορίας κίνησης (Data Glove)</p>	<div data-bbox="571 1245 1019 1547" data-label="Image"> </div> <p>Το γάντι αυτό είναι εξοπλισμένο με απτικούς αισθητήρες και αισθητήρες ανίχνευσης της θέσης με αποτέλεσμα, να προσφέρει την δυνατότητα χειρισμού εικονικών αντικειμένων (π.χ. νυστέρι) και συσκευών. Η αντίληψη της θέσης είναι πολύ σημαντική για να μπορεί ο χρήστης να υπολογίζει την απόσταση που πρέπει να διανύσει για να φτάσει στον στόχο του.</p>

<p>Καταγραφέας Οφθαλμοκινήσεων (Eye Tracker)</p>	<p>Με την συσκευή αυτή καταγράφεται το βλέμμα του χρήστη. Δηλαδή, έχει την δυνατότητα να παρακολουθήσει που κοιτάει, ποιο είναι το αντικείμενο ενδιαφέροντος κάθε χρονική στιγμή και πώς το οπτικό ενδιαφέρον μοιράζεται στην επιφάνεια της προβολής. Η τεχνική eye tracking μετράει τη σχετική θέση της κόρης του ματιού σε σχέση με τη θέση του κεφαλιού. Η μέτρηση γίνεται χωρίς επαφή της συσκευής με το μάτι (μη-επεμβατικές οπτικές μέθοδοι) με ικανοποιητική ακρίβεια.</p> 
<p>Οθόνες προσαρμογής στο κεφάλι (Head Mounted Display - HMD)</p>	 <p>Οι οθόνες προσαρμογής τοποθετούνται στο κεφάλι και περιλαμβάνουν LCD οθόνες για κάθε μάτι. Οι οθόνες αυτές προβάλλουν εικόνες στον παρατηρητή με στερεοσκοπικό τρόπο. Επικοινωνούν ενσύρματα ή ασύρματα με μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Επίσης, περιλαμβάνει γυροσκοπικό μηχανισμό ο οποίος ανιχνεύει τον προσανατολισμό του κεφαλιού. Τέλος, διαθέτουν ακουστικά και μικτόφωνο.</p>
<p>Κεντρική Μονάδα επεξεργασίας (ΚΜΕ - CPU)</p>	<p>Αναμενόμενη είναι και η ύπαρξη κεντρικής μονάδας επεξεργασίας η οποία θα επεξεργάζεται την είσοδο από τους αισθητήρες (ψηφιοποιημένο σήμα) και θα αναπαράγει την εμπειρία εξομοίωσης συνυπολογίζοντας ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων. Στη μνήμη του συστήματος βρίσκεται αποθηκευμένη</p> 

	<p>η αρχιτεκτονική του εικονικού κόσμου, η τεχνητή ευφυΐα του συστήματος και ο έλεγχος.</p>
<p>Οθόνη</p>	<p>Πολλές εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας χρησιμοποιούν οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών ως μέσο επαφής με τον εικονικό κόσμο. Όταν ο τύπος της οθόνης υποστηρίζει στερεοσκοπική προβολή (3DTV), το περιεχόμενο του εικονικού κόσμου προβάλλεται μέσα από στερεοσκοπικά γυαλιά.</p> 
<p>Φόρμα εικονικής πραγματικότητας (Data Suit)</p>	 <p>Οι φόρμες αυτές εφαρμόζονται πάνω σε όλο το σώμα του χρήστη του συστήματος. Είναι εξοπλισμένες με με κατευθυντικούς αισθητήρες για να μεταφέρουν στην κεντρική μονάδα τη στάση του σώματος και τις κινήσεις του χρήστη. Τα ηλεκτρικά σήματα των αισθητήρων μετατρέπονται σε ψηφιακά και οδηγούν τις κινήσεις του στο σύστημα προβολής.</p>

<p>3D Glasses και συσκευές κατάδειξης με οπτικούς δείκτες (Optical Markers)</p>	<p>Υπάρχουν συσκευές που ενισχύονται με οπτικούς δείκτες, έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να εντοπίζονται από ένα σύστημα από κάμερες. Οι οπτικοί δείκτες όταν τοποθετούνται πάνω σε γυαλιά 3D, τότε μπορούν να εντοπίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό αυτού που τα φοράει. Αντίστοιχα, διάφορα αξεσουάρ, όπως συσκευές κατάδειξης, μπορούν να κινούν την κάμερα (viewport) για να εξετάζουν ένα εικονικό αντικείμενο από διαφορετικές οπτικές γωνίες (Τζαγκαράκη, 2017).</p> 
--	---

Πίνακας 1. Οι βασικότερες συσκευές εικονικής πραγματικότητας

3.2. Λογισμικό (Software)

Με τον όρο λογισμικό υπολογιστών ή λογισμικό ορίζουμε την συλλογή από προγράμματα υπολογιστών, διαδικασίες και οδηγίες χρήσης που εκτελούν ορισμένες εργασίες σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Με λίγα λόγια το λογισμικό χειρίζεται το υλικό για να εκτελεστούν οι εργασίες που επιθυμούμε. Όλες οι συσκευές, το ρομπότ και οι αισθητήρες για να μπορούν να λειτουργήσουν σωστά και αποτελεσματικά χρειάζονται κάποια πρωτόκολλα και κάποιες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών.

3.2.1. Τεχνικές Υπολογιστικής Όρασης

Η υποβοηθούμενη από υπολογιστή χειρουργική επέμβαση (CAS) ενσωματώνει τεχνολογία επεξεργασίας εικόνας, τεχνολογία υπολογιστών, τεχνολογία ρομπότ και τεχνολογία κλινικής θεραπείας. Το σύστημα CAS βελτιώνει τη χειρουργική ακρίβεια, μειώνει τη χειρουργική επέμβαση και υπερνικά πολλά μειονεκτήματα των παραδοσιακών χειρουργικών επεμβάσεων. Με βάση την καθοδήγηση της εικόνας, οι γιατροί και τα χειρουργικά ρομπότ μπορούν να προσδιορίσουν με ακρίβεια την στοχευόμενη αλλοίωση και να εκτελέσουν με ακρίβεια την χειρουργική επέμβαση.

Η καθοδήγηση βάση της επεξεργασίας εικόνας χρησιμοποιείται στην CAS με τους ακόλουθους τρόπους. Πρώτον, με την ανάλυση και την αναδημιουργία εικόνων 2D εγκάρσιας τομής, μπορεί να αποφασιστεί η βέλτιστη διαδρομή του χειρουργικού οργάνου ώστε να αποφευχθεί η βλάβη στον κρίσιμο ιστό. Δεύτερον, ο συνδυασμός εικόνων αποκτάται με διάφορες μεθόδους εγγραφής εικόνας και σύντηξης για την παροχή επαρκών πληροφοριών στους χειρουργούς. Τρίτον, η μέθοδος παρακολούθησης βάση της εικόνας χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των θέσεων των ανατομικών δομών και των χειρουργικών εργαλείων. Τέλος, η διαισθητική μέθοδος οπτικής απεικόνισης είναι απαραίτητη για τους χειρουργούς να παρατηρούν επακριβώς τις βλάβες και τις ανατομικές δομές (Chen and Liu and Liao, 2018).

Χρησιμοποιώντας την κάμερα ο χειρουργός ως «μάτια», η υπολογιστική όραση προσομοιώνεται με τεχνικές επεξεργασίας εικόνων, μέσα από την επεξεργασία των καρτέ του βίντεο. Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο θα αναφερθούν οι τεχνικές αυτές και θα περιγραφεί η διαδικασία για τον εντοπισμό αντικειμένων από εικόνες.

Διαδικασία εντοπισμού αντικειμένων

Είναι γεγονός ότι μία ψηφιακή εικόνα είναι δυνατό να παραχθεί από διάφορες συσκευές. Έτσι υπάρχουν εικόνες από κάμερες, τομογράφους, υπερήχους κ.τ.λ. οι οποίες παρέχουν διαφορετικές πληροφορίες προς επεξεργασία. Οι εικόνες είναι είτε δυσδιάστατες είτε τρισδιάστατες. Μετά την σύλληψη και της ανάκτησης της εικόνας από την συσκευή, για την αναγνώριση αντικειμένων ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Προεπεξεργασία της εικόνας
2. Εξαγωγή χαρακτηριστικών
3. Εντοπισμός και κατάτμηση
4. Επεξεργασία ψηλού επιπέδου
5. Λήψη αποφάσεων (Καζλάροφ, 2016)

3.2.1.1. Προεπεξεργασία της εικόνας

Για να είναι δυνατή η εξαγωγή απαιτούμενων δεδομένων από την εικόνα κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή της προεπεξεργασίας. Κάποιες μορφές προεπεξεργασίας είναι η μείωση του «θορύβου» της εικόνας για να είναι πιο ξεκάθαρη, η αύξηση της αντίθεσης

για να ξεχωρίζουν τα διαφορετικά αντικείμενα και η κλιμάκωση των διαστάσεων της εικόνας για την εστίαση σε συγκεκριμένα σημεία της.

Οι μέθοδοι μείωσης θορύβου της εικόνας ποικίλουν. Κάποιες από τις διαδεδομένες είναι το φίλτρο του Gauss (Gauss blur), το φίλτρο διαμέσου (Median filter) και το διμερές φίλτρο (Bilateral filter). Το φίλτρο του Gauss αποφέρει μια ελαφριά αλλοίωση της εικόνας κάνοντας χρήση της συνάρτησης του Gauss (κανονικής κατανομής) για την επεξεργασία των pixel της εικόνας. Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιείται για την βελτίωση αλγορίθμων ανίχνευσης ακμών. Το φίλτρο διαμέσου κάνει χρήση γειτονικών pixel για να αποφασίσει την αλλαγή του κάθε pixel. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται όταν είναι αναγκαία η ανίχνευση των ακμών. Επίσης, το διμερές φίλτρο κάνει και αυτό χρήση των γειτονικών pixel. Και η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των ακμών αλλά επίσης και για την διατήρησή τους.

Συγκρίνοντας την απόδοση των τριών αυτών μεθόδων, πιο αποδοτικό είναι το φίλτρο του Gauss το οποίο είναι το πιο γρήγορο κατά την εφαρμογή του και είναι καλό για ποικίλες εφαρμογές.

Εκτός από την μείωση θορύβου στις εικόνες των βίντεο, σημαντική αποδεικνύεται και η αύξηση της αντίθεσης. Η μέθοδος για να γίνει αυτό εφικτό είναι η εξισορρόπηση του ιστογράμματος (Histogram equalization). Η μέθοδος αυτή είναι απλή και αποτελεσματική. Η συγκεκριμένη τεχνική διανέμει τις εντάσεις στο ιστόγραμμα με σκοπό περιοχές με μικρή αντίθεση να κερδίζουν μια ψηλή θέση με αποτέλεσμα, επιλέγονται οι εντάσεις με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αναπόφευκτη αύξηση της φωτεινότητας της εικόνας (Καζλάροφ, 2016) (Chen and Liu and Liao, 2018).

3.2.1.2. Εξαγωγή χαρακτηριστικών

Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό χαρακτηριστικών της εικόνας και έχει ως στόχο τον διαχωρισμό των αντικειμένων μεταξύ τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν τις γραμμές, τις γωνιές και σημεία τα οποία ξεχωρίζουν.

Μια τεχνική για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών είναι το φίλτρο Laplace. Για να εντοπιστούν οι ακμές χρειάζεται η δεύτερη παράγωγος της συνάρτησης της εικόνας. Η παράγωγος αυτή όμως είναι σε μεγάλο βαθμό ευαίσθητη στον θόρυβο, έτσι ώστε να

απαιτείται πρώτα η χρήση του φίλτρου του Gauss για την αφαίρεσή του. Ο συνδυασμός των δύο αυτών φίλτρων ονομάστηκε Laplacian of Gaussian (LoG). Ο συνδυασμός των μεθόδων αυτών χρησιμοποιείται και για τον εντοπισμό σημείων και περιοχών που ξεχωρίζουν (blobs), εντοπίζοντας περιοχές που εμφανίζουν μεγάλη διαφορά στις χρωματικές εντάσεις από την συγκεκριμένη.

Όσο αφορά τον εντοπισμό των γωνιών ιδιαίτερα διαδεδομένη είναι η μέθοδος Harris Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί έναν “ανιχνευτή” γωνιών ο οποίος αναγνωρίζει μια περιοχή ως γωνία. Μετακινώντας τον ανιχνευτή γύρω από αυτήν, υπάρχει μεγάλη διαφορά στο μοτίβο που εμφανίζεται στον “ανιχνευτή” ως προς τις χρωματικές εντάσεις, σε αντίθεση με την περίπτωση που συναντάει ευθεία. Με τον συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων είναι δυνατό να εντοπιστούν και περισσότερο περίπλοκες δομές, όπως κίνηση και σχήμα (Καζλάροφ, 2016) (Chen and Liu and Liao, 2018).

3.2.1.3. Εντοπισμός και κατάτμηση

Στο βήμα αυτό πραγματοποιείται μια διαλογή των περιοχών οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για περισσότερη επεξεργασία. Ως τέτοιες περιοχές μπορεί να θεωρηθούν κάποια σημεία ενδιαφέροντος. Επιπλέον, κατάτμηση της εικόνας μπορεί να γίνει για να αφαιρεθούν οι περιοχές με λιγότερο ενδιαφέρον από το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας (Καζλάροφ, 2016) (Chen and Liu and Liao, 2018).

3.2.1.4. Επεξεργασία ψηλού επιπέδου

Για αυτό το στάδιο της επεξεργασίας η είσοδος είναι ένα σύνολο πληροφοριών το οποίο περιλαμβάνει τα σημεία προς αναγνώριση με σκοπό την επαλήθευσή τους. Στην περίπτωση μας δηλαδή, θα μπορούσε να εντοπιστεί ένα όργανο του ασθενή ή ένα χειρουργικό εργαλείο (Καζλάροφ, 2016).

3.2.1.5. Λήψη αποφάσεων

Στην λήψη αποφάσεων ο χειρουργός ανάλογα με την χειρουργική επέμβαση η οποία βρίσκεται σε εξέλιξη και το αντικείμενο το οποίο έχει εντοπιστεί παίρνει την κατάλληλη απόφαση για το πώς θα προχωρήσει. Με αυτό τον τρόπο είναι κατά μεγάλο βαθμό

ακριβής στις κινήσεις του έτσι ώστε μειώνονται τα λάθη και ο ασθενής είναι πιο ασφαλής (Καζλάροφ, 2016).

3.2.2. Λογισμικό Εικονικής Πραγματικότητας

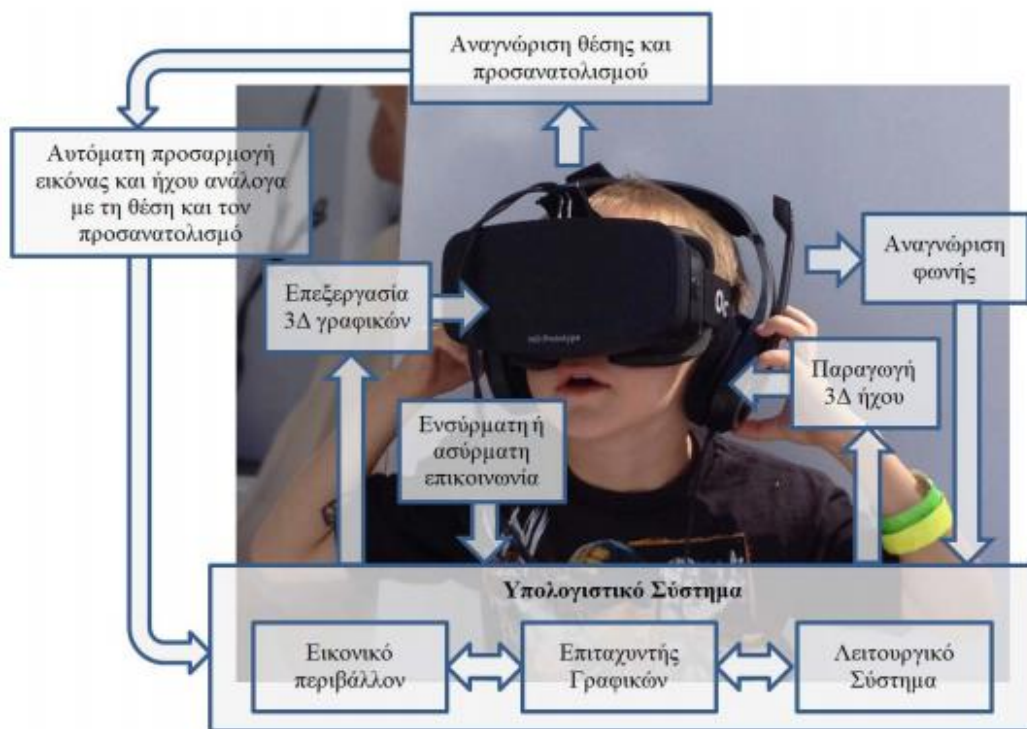
Με την βοήθεια του λογισμικού γίνεται σωστή διαχείριση και των έλεγχου του υλικού και δημιουργείται η τελική εμπειρία στον χρήστη. Κάθε υλοποίηση περιλαμβάνει μία συλλογή προγραμμάτων, πρωτοκόλλων και κανόνων τα οποία διέπουν την λειτουργία της. Το λογισμικό χωρίζεται σε λογισμικό δημιουργίας περιεχομένου, λογισμικό συστήματος και λογισμικό χαμηλού επιπέδου.

Στο λογισμικό δημιουργίας περιεχομένου συγκαταλέγονται εργαλεία τρισδιάστατου σχεδιασμού μοντέλων. Ο στόχος τους είναι να παρέχουν εργαλεία σχεδιασμού 3D μοντέλων με πολλές δυνατότητες μορφοποίησης όγκων και επιφανειών. Είναι πολύπλοκα περιβάλλοντα εργασίας και απαιτούν πολυετή εκμάθηση για την σωστή χρήση τους. Επίσης, χρησιμοποιούνται εργαλεία δημιουργίας σκελετικής κίνησης (bone animation) ή δυναμικής συμπεριφοράς των επιφανειών και των υφών τους, μοντελοποίησης του μακρινού περιβάλλοντος (skycubes) και διαφόρων εφέ όπως η δημιουργία συστημάτων σωματιδίων (particles). Τέλος, παρέχουν εργαλεία επεξεργασίας ήχου για το ακουστικό μέρος της εμπειρίας του χρήστη.

Το λογισμικό συστήματος είναι το λογισμικό το οποίο που εμπλέκεται στην αναπαραγωγή της επιθυμητής συμπεριφοράς του συστήματος εικονικής πραγματικότητας. Περιλαμβάνει δηλαδή, διεπαφές χρήστη (interfaces) και το λογισμικό της γραφικής απόδοσης (Rendering Engine), σύνθεσης και ελέγχου όλης της σκηνής.

Το λογισμικό ολοκληρώνεται με το λογισμικό χαμηλού επιπέδου των διασυνδεδεμένων συσκευών (Firmware). Με λίγα λόγια είναι το λογισμικό σύλληψης και επεξεργασίας των ενεργειών του χρήστη. Η παραμετροποίηση των συσκευών γίνεται με προγραμματιστικά εργαλεία που προσφέρουν οι εταιρίες κατασκευής του υλικού.

Επομένως, το υλικό και το λογισμικό μαζί υλοποιούν ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας (Τζαγκαράκη, 2017) (Ζαφειρομητσου και Τρίχωνα, 2007).



Εικόνα 14. Γενικό Διάγραμμα χρήσης της εικονικής πραγματικότητας

Μέθοδοι Ανίχνευσης Θέσης και Προσανατολισμού

Οι συσκευές οι οποίες αναλύθηκαν κάνουν χρήση διαφόρων τεχνικών για την ανίχνευση των σημάτων εισόδου. Ακολουθούς θα αναφερθούν κάποιες από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές ανίχνευσης της κίνησης των ματιών, του κεφαλιού, ολόκληρου του σώματος, των χειρονομιών και της απτικής πληροφορίας.

3.2.2.1. Ανίχνευση της κίνησης του ματιού (Eye Tracking)

Η ανίχνευση της κίνησης του ματιού είναι η διαδικασία του ελέγχου της κατεύθυνσης που κοιτάει ο χρήστης και της κίνησης του ματιού του. Για την ανίχνευση αυτή ως σημείο αναφοράς λαμβάνεται η θέση του κεφαλιού. Η τεχνική αυτή μπορεί να γίνει επιτυχής με τρεις τρόπους:

1. Μέτρηση της θέσης και της κίνησης χωρίς άμεση επαφή με τα μάτια. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία ανακλάται από το μάτι και ανιχνεύεται από μια κάμερα ή άλλους οπτικούς αισθητήρες. Έπειτα, από τη μελέτη των μεταβολών της ανάκλασης του υπέρυθρου φωτός

προκύπτει η περιστροφή του ματιού. Οι ανιχνευτές με επιτήρηση βίντεο χρησιμοποιούν τις εικόνες από την αντανάκλαση του κερατοειδούς και το κέντρο της κόρης του ματιού.

2. Μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια γύρω από τα μάτια. Με την τεχνική αυτή παράγεται ηλεκτρικό πεδίο από ένα δίπολο. Το δίπολο αυτό έχει τον θετικό του πόλο στον κερατοειδή και τον αρνητικό του στον αμφιβληστροειδή. Γίνεται τοποθέτηση δύο ζευγαριών ηλεκτροδίων στο δέρμα γύρω από τα μάτια και έτσι προκύπτει το Ηλεκτροφθαλμογράφημα. Όταν τα μάτια μετακινηθούν από το κέντρο προς άλλη κατεύθυνση τότε ο αμφιβληστροειδής χιτώνας πλησιάζει το ένα ηλεκτρόδιο, ενώ ο κερατοειδής πλησιάζει το αντιδιαμετρικό ηλεκτρόδιο. Αυτή η αλλαγή στον προσανατολισμό του διπόλου αφήνει το αποτύπωμά της στο Ηλεκτροφθαλμογράφημα και έτσι ανιχνεύετε η κίνηση. Σημαντικό είναι ότι με την ηλεκτρική δραστηριότητα του ματιού μπορεί να ανιχνευθεί η κίνηση του ματιού ακόμη και στο σκοτάδι με τα μάτια κλειστά.
3. Μέτρηση της θέσης και της κίνησης ενός αντικειμένου το οποίο έρχεται σε επαφή με το μάτι π.χ. φακοί επαφής. Η τεχνική αυτή κάνει χρήση μαγνητικών αισθητήρων για την καταγραφή της θέσης του ματιού σε κάθε χρονική στιγμή υπό την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει ολίσθηση του φακού πάνω στο μάτι. Η τεχνική αυτή επιτρέπει την ανίχνευση της κάθετης, οριζόντιας κίνησης και της συστροφής του ματιού (Τζαγκαράκη, 2017) (Ζαφειρομητσου και Τρίχωνα, 2007).

3.2.2.2. Position Tracking

Η τεχνική αυτή καθορίζει τον προσανατολισμό του σώματος ή κάποιου μέλους του (κεφάλι, άκρα). Ο καθορισμός της θέσης του σώματος προϋποθέτει κινήσεις που γίνονται σε χαμηλότερη συχνότητα σε σχέση με την συχνότητα δειγματοληψίας της κάμερας. Η καταγραφή του προσανατολισμού του κεφαλιού και των κινήσεων του μπορεί να γίνει με υψηλή ευαισθησία. Η ανίχνευση αναφέρεται σε όλες στις πιθανές κινήσεις του κεφαλιού, δηλαδή σε 6 βαθμούς ελευθερίας (Degrees of Freedom-DOF). Η κάμερα τοποθετείται μπροστά από τον χρήστη πάνω στην οθόνη του υπολογιστή.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην μελέτη συνεχόμενων καρτέ του βίντεο με αποτέλεσμα να προσδιορίζεται η θέση και το περίγραμμα των αντικειμένων τα οποία παρακολουθούνται. Η εσωτερική αναπαράσταση του κεφαλιού προσεγγίζεται με ένα δισδιάστατο σχήμα όπως η έλλειψη πάνω στις εικόνες-καρτέ του βίντεο. Επίσης, η θέση του κεφαλιού φανερώνεται με την ανάλυση του ιστογράμματος της κάθε εικόνας. Αυτή είναι μια σύντομη τεχνική η οποία δεν μπορεί να ανιχνεύσει τον προσανατολισμό. Άλλες μέθοδοι χρησιμοποιούν ένα 3D μοντέλο του κεφαλιού ως στερεό σώμα και τις αποστάσεις ανάμεσα των 3D χαρακτηριστικών του κεφαλιού προκειμένου να εκτιμήσουν τη στάση του στο χώρο (Τζαγκαράκη, 2017) (Ζαφειρομητσου και Τρίχωνα, 2007).

3.2.2.3. Αναγνώριση Χειρονομιών

Η αλγοριθμική ανίχνευση των χειρονομιών ονομάζεται Gesture Recognition. Οι χειρονομίες οι οποίες ανιχνεύονται είναι οι κινήσεις του σώματος. Συνήθως, οι χειρονομίες αναφέρονται στα άνω άκρα και στο πρόσωπο. Οι τεχνικές Gesture Recognition ανιχνεύουν εκφράσεις του προσώπου και έτσι χρησιμεύουν στον καθορισμό της συναισθηματικής κατάστασης του χρήστη. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μια πιο φυσική αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και του υπολογιστή.

Για την επίτευξη της αναγνώρισης της κίνησης χρησιμοποιείται μία κάμερα και τεχνικές μηχανικής όρασης. Για τον καθορισμό όμως των θέσεων και των κινήσεων των χεριών ή του σώματος, χρησιμοποιούνται κάμερες βάθους. Εναλλακτικά, χρησιμοποιείται ένα ζεύγος από στερεοσκοπικές κάμερες για τις οποίες είναι γνωστή η απόσταση που τις χωρίζει και ο προσανατολισμός τους. Και στις δύο περιπτώσεις προκύπτει ένα σκελετικό μοντέλο το οποίο περιγράφει τις κινήσεις του σώματος και των χεριών.

Βέβαια η λεπτομερής μοντελοποίηση καταναλώνει σημαντικό ποσοστό πόρων του συστήματος, αντί για τα μέλη του σώματος γίνεται χρήση στερεών σχημάτων που αντικαθιστούν κάθε μέλος του ανθρώπινου σώματος. Για παράδειγμα, το χέρι από τον ώμο μέχρι τον αγκώνα και από τον αγκώνα μέχρι τον καρπό μπορεί να αντικατασταθεί με ένα κύλινδρο. Έτσι ώστε, όταν ο χρήστης μετακινεί το χέρι του μπροστά στην κάμερα, ένα μοντέλο δύο κυλίνδρων αναπαράγει τις κινήσεις του χεριού. Εκτός από αυτές τις τεχνικές υπάρχουν και οι τεχνικές για τις συμβατικές συσκευές εισόδου όπως είναι το

ποντίκι. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση χειρονομιών που πραγματοποιούνται με τον κέρσορα σε μια οθόνη (mouse gesture recognition).

Γενικά, οι χειρονομίες αποτελούνται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει όλες τις χειρονομίες που διαχειρίζονται με άμεσο τρόπο ένα αντικείμενο ή μια κατάσταση. Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται οι χειρονομίες που ενεργοποιούν μια εντολή η οποία έχει καθοριστεί μετά την ολοκλήρωσή τους (Τζαγκαράκη, 2017) (Ζαφειρομητσου και Τρίχωνα, 2007).

3.2.2.4. Απτική Αντίληψη (Haptics)

Η απτική επικοινωνία αποτελεί την αίσθηση της αφής και της εξομοίωσης των δυνάμεων και των κινήσεων που ασκούνται σε διάφορα αντικείμενα. Η μεταφορά της απτικής πληροφορίας από και προς τη μηχανή εξομοίωσης του εικονικού κόσμου πραγματοποιείται με απτικούς αισθητήρες (tactile sensors) και τα γάντια της εικονικής πραγματικότητας.

Η απτική απόδοση (haptic rendering) αποτελεί την διαδικασία την οποία γίνεται σύνθεση των επιθυμητών και απαραίτητων ερεθισμάτων προς τον χρήστη για να του μεταδοθούν οι φυσικές ιδιότητες ενός εικονικού αντικειμένου (σχήμα, ελαστικότητα, μάζα, κ.α.). Οι απτικές συσκευές (Haptic Devices) λειτουργούν παράλληλα ως συσκευές εισόδου και εξόδου και αντιδρούν στις κινήσεις του χρήστη όταν αυτός τις διαχειρίζεται μετακινώντας τον ακροδέκτη τους στο χώρο για να αισθανθεί τελικά μία δύναμη αντίστασης. Υπάρχουν δύο κατηγορίες απτικών συσκευών. Οι συσκευές μονού σημείου αλληλεπίδρασης και οι συσκευές πολλαπλών σημείων αλληλεπίδρασης.

Οι συσκευές μονού σημείου αλληλεπίδρασης αποτελούνται από ένα ακροδέκτη σε σχήμα ράβδου ή μπίλιας, την οποία χειρίζεται ο χρήστης σαν στυλό. Η αλληλεπίδραση στηρίζεται στην υπόθεση ότι υπάρχει ένα αντίγραφο του ακροδέκτη μέσα στο εικονικό περιβάλλον το οποίο κινείται ανάλογα με τις κινήσεις του χρήστη.

Αντίθετα, οι συσκευές πολλαπλών σημείων αλληλεπίδρασης στηρίζονται σε πολλές μονάδες απτικής ανάδρασης, οι οποίες τοποθετούνται ως εξωσκελετικό σύστημα στο χέρι και στα δάκτυλα του χρήστη. Στις περισσότερες συσκευές, μπορεί να ασκηθεί δύναμη σε συγκεκριμένη κατεύθυνση σε κάθε δάκτυλο του χεριού. Η χρήση εξωσκελετικών συσκευών μπορεί να συνδυαστεί με τα γάντια (datagloves) για να

παρέχει στο σύστημα πληροφορία σχετικά με την ακριβή θέση και προσανατολισμό όλων των δακτύλων του χεριού.

Επιπλέον, η απτική ανάδραση μπορεί να ανιχνεύσει την σύγκρουση των αντικειμένων στον εικονικό κόσμο, να υπολογίσει την δύναμη που ασκεί ο χρήστης σε ένα εικονικό αντικείμενο και να ελέγξει την δύναμη του χρήστη (Τζαγκαράκη, 2017) (Ζαφειρομητσου και Τρίχωνα, 2007).

3.2.3. Λογισμικό συμπίεσης Δεδομένων

Κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη συστημάτων τα οποία έχουν την δυνατότητα συμπίεσης δεδομένων όπως εικόνας, βίντεο και ήχου προκειμένου η μετάδοση τους να γίνεται ταχύτερα και πιο αποτελεσματικά. Επίσης, είναι απαραίτητη η συμπίεση για την μείωση του μεγέθους των δεδομένων αυτών ούτως ώστε να μειωθούν και οι απαιτήσεις αποθήκευσης τους.

Η συμπίεση δεδομένων μπορεί να είναι χωρίς απώλειες (lossless) ή με απώλειες (lossy), κάθε μια από τις οποίες έχει ορισμένα πλεονεκτήματα. Το πλεονέκτημα της συμπίεσης χωρίς απώλειες είναι ότι η αρχική εικόνα μπορεί να επανακτηθεί. Επομένως, δεν θα υπάρχουν ισχυρισμοί ότι χάθηκαν σημαντικές πληροφορίες σαν αποτέλεσμα της διαδικασίας συμπίεσης, πράγμα το οποίο είναι κρίσιμο σε περιπτώσεις κρίσιμων περιστατικών. Το πλεονέκτημα της συμπίεσης με απώλειες είναι το γεγονός ότι μπορούν να επιτευχθούν υψηλότεροι βαθμοί συμπίεσης (Κούτη, 2014) (Δημούλα και Τσιούνη, 2015).

3.2.3.1. Συμπίεση στατικής εικόνας JPEG (Joint Photographic Expert Group)

Για την συμπίεση στατικής εικόνας JPEG (Joint Photographic Expert Group) υπάρχουν πέντε στάδια για να γίνει η κωδικοποίηση:

1. Image
2. Block preparation
3. Forward DCT
4. Quantization
5. Entropy encoding
6. Frame building

Σύμφωνα με την κωδικοποίηση αυτή η αρχική εικόνα χωρίζεται σε blocks. Στην περίπτωση της έγχρωμης εικόνας τα blocks εφαρμόζονται και στους τρεις πίνακες των χρωμάτων (RGB – Red, Green, Blue). Στην συνέχεια μετασχηματίζεται το κάθε block με τον μετασχηματισμό DCT. Στο στάδιο του quantization αποκόπτουμε συχνότητες από τους μετασχηματισμένους πίνακες οι οποίες δεν είναι ορατές από το ανθρώπινο μάτι. Στα δεδομένα που προκύπτουν εφαρμόζεται εντροπική κωδικοποίηση και τέλος κατασκευάζονται τα frames τα οποία θα αποσταλούν. Στην αποκωδικοποίηση εφαρμόζεται η αντίστροφη ακριβώς διαδικασία (Δημούλα και Τσιούνη, 2015).

3.2.3.2. Συμπύεση Video

Το video μαζί με τον ήχο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα πλήθος εφαρμογών που αφορούν την τηλεϊατρική. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν το video conferencing, η αποστολή video ιατρικής εικόνας διαμέσω δικτύου. Η video εικόνα συνήθως λαμβάνεται σε αναλογική μορφή και στην συνέχεια ψηφιοποιείται. Η μορφή που θα γίνει η ψηφιοποίηση καθώς και η συχνότητα αλλαγής των στιγμιότυπων (frames) καθορίζουν και την ποιότητα της ψηφιακής πλέον εικόνας.

Μία μορφή κωδικοποίησης ήχου είναι η MPEG (Motion Pictures Experts Group). Οι δύο μορφές οι οποίες χρησιμοποιούνται στην τηλεϊατρική είναι:

1. MPEG1: η μορφή αυτή μπορεί να φτάσει σε ανάλυση 352 X 288 pixels. Είναι κατάλληλο για αποθήκευση ήχου ποιότητας και εικόνας σε ψηφιακή μορφή. Η ταχύτητα με την οποία μπορούμε να αποσυμπιέσουμε στη συνέχεια την κωδικοποιημένη πληροφορία φτάνει τα 1.5 Mbps, ταχύτητα όχι και τόσο ικανοποιητική.
2. MPEG2: Η μορφή αυτή είναι κατάλληλη για κωδικοποίηση και μεταφορά ποιότητας studio ήχου και εικόνας. Η μορφή αυτή καλύπτει 4 μορφές ανάλυσης: Low: Καλύπτει ανάλυση 352x288 pixels, Main: Η ανάλυση που καλύπτει είναι τα 720x576 pixels, High 1440: Καλύπτει ανάλυση 1440x1152 pixels και High: Καλύπτει ανάλυση 1920x1152 pixels (Δημούλα και Τσιούνη, 2015).

3.2.4. Πρότυπο TCP/ IP

Το πρότυπο TCP/IP περιλαμβάνεται από διαφορετικά πρωτόκολλα τα οποία παρέχουν στις εφαρμογές πρόσβαση στο δίκτυο και στις υπηρεσίες. Επίσης, εξασφαλίζει την τυποποιημένη και αμοιβαία αντιληπτή μέθοδο αναπαράστασης δεδομένων.

Το πρότυπο αυτό είναι ένα πρότυπο δικτύωσης. Μερικά από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του είναι ότι είναι ανθεκτικό, επιτρέπει την επικοινωνία ανάμεσα σε διαφορετικά συστήματα και είναι διαθέσιμο για μια μεγάλη ποικιλία υπολογιστικών περιβαλλόντων. Επιπρόσθετα έχει την δυνατότητα να παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο (Δημούλα και Τσιούνη, 2015).

Το **TCP/IP** βασίζεται σε δύο πρωτόκολλα από τα οποία πήρε και το όνομα του:

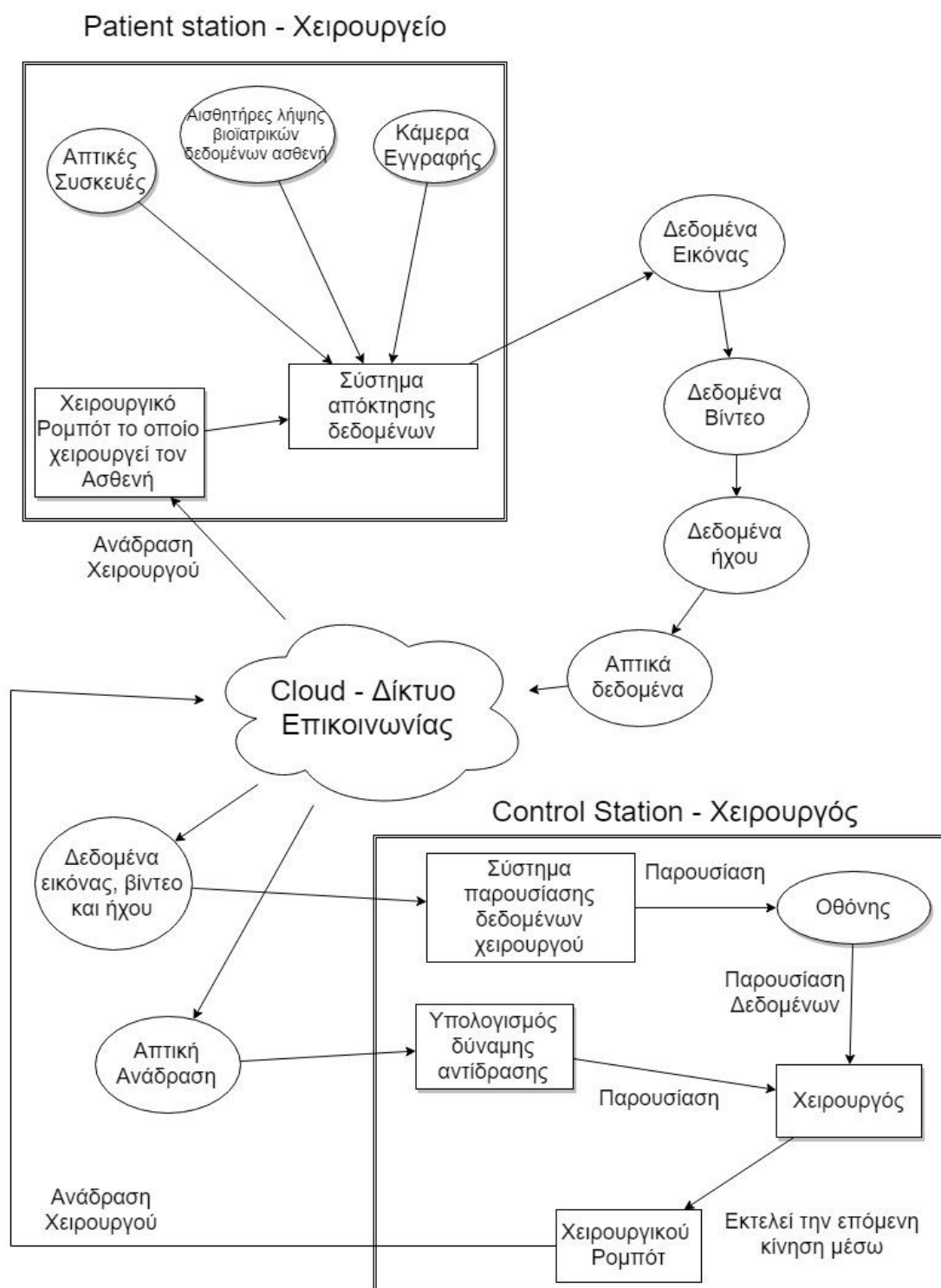
- Στο **TCP**, το πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (Transfer Control Protocol). Το πρωτόκολλο αυτό λειτουργεί στο επίπεδο μεταφοράς και είναι υπεύθυνο για την σωστή παράδοση πληροφοριών.
- Στο **IP**, το πρωτόκολλο Internet (Intermit Protocol), το οποίο λειτουργεί στο επίπεδο διαδικτύωσης και είναι υπεύθυνο για την δρομολόγηση των πακέτων (δεδομένων). Μερικές φορές δρομολογεί δεδομένα μέσω διαφορετικών δικτύων.

Το πρότυπο TCP/IP περιέχει άλλα πρωτόκολλα. Τα πρωτόκολλα είναι τα εξής:

- UDP (User Datagram Protocol – Πρωτόκολλο Αυτοδύναμων Πακέτων Χρήστη). Το πρωτόκολλο αυτό βασίζεται στο IP για την δρομολόγηση πακέτων. Αντίθετα, με το TCP το οποίο είναι ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς με βάση την σύνδεση, το UDP είναι ένα αναξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς χωρίς σύνδεση (connectionless). Το UDP δεν περιλαμβάνει κανένα τρόπο εξασφάλισης της παράδοσης των πακέτων. Δηλαδή, δεν εγκαθιδρύει σύνδεση ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη πριν μεταδώσει τα δεδομένα (πακέτα – datagrams) και δεν περιμένει ούτε και απαιτεί επιβεβαίωση από τον παραλήπτη. Επίσης, επειδή τα αυτόνομα πακέτα που μεταδίδονται μέσω UDP είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, ακόμη και όταν αποτελούν τμήματα της ίδιας μετάδοσης, μπορεί να μη φτάσουν με τη σωστή σειρά. Τα αυτόνομα πακέτα, όπως και τα μέσα μετάδοσης χωρίς επιβεβαίωση, είναι ασυνδεσμικά.
- FTP (File Transport Protocol). Το FTP είναι το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων και χρησιμοποιείται για την μετάδοση αρχείων μεταξύ ηλεκτρονικών υπολογιστών μέσω δικτύου.

- Το TEINET είναι το πρωτόκολλο τερματικών δικτύου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιεί κάποιος όταν θέλει να συνδεθεί (log on) σε κάποιον άλλον υπολογιστή του δικτύου.
- Το SMTP, το Απλό Πρωτόκολλο Μεταφοράς Ταχυδρομείου (Simple Mail Transfer Protocol), το οποίο μεταδίδει ηλεκτρονικό ταχυδρομείο με τη βοήθεια του TCP (Δημούλα και Τσιούνη, 2015).

3.3. Διάγραμμα δεδομένων αλληλεπίδρασης χειρουργού - ρομπότ κατά την διάρκεια διαδικασίας της τηλεχειρουργικής με την χρήση ρομπότ



Εικόνα 15. Διάγραμμα δεδομένων αλληλεπίδρασης χειρουργού - ρομπότ κατά την διάρκεια διαδικασίας της τηλεχειρουργικής με την χρήση ρομπότ

Εξήγηση διαγράμματος:

Στο πιο πάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η ροή των δεδομένων κατά την διάρκεια μιας τηλεχειρουργικής επέμβασης με την χρήση ρομπότ. Τα δεδομένα μεταδίδονται από τον σταθμό (χειρουργείο) το οποίο βρίσκεται ο ασθενής και το ρομπότ στον σταθμό τον οποίο βρίσκεται ο χειρουργός ο οποίος ελέγχει το ρομπότ. Αρχικά στο χειρουργείο το οποίο βρίσκεται ο ασθενής υπάρχουν αισθητήρες οι οποίοι λαμβάνουν τα βιοϊατρικά δεδομένα του ασθενή όπως πίεση, παλμοί, αναπνοή κ.τ.λ. Επίσης, υπάρχει μία κάμερα η οποία εγγράφει όλο το χειρουργικό πεδίο για να μπορεί ο χειρουργός να ελέγχει το ρομπότ όσο καλύτερα είναι δυνατό. Χρήσιμη κρίνεται και η παρουσία απτικών συσκευών στο χειρουργείο για να μπορεί ο χειρουργός να αναγνωρίζει πόση πίεση ασκεί στον ασθενή με την χρήση του ρομπότ. Όλα τα αυτά τα δεδομένα συλλέγονται με την χρήση συστήματος απόκτησης δεδομένων και αποστέλλονται στον χειρουργό με την χρήση ενός δικτύου επικοινωνίας μεταξύ τους (cloud). Ο χειρουργός λαμβάνει δεδομένα εικόνας, βίντεο, ήχου και απτικά δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά με την συμβολή συστήματος παρουσίασης δεδομένων και των οθονών που υπάρχουν παρουσιάζονται στον χειρουργό ο οποίος τα αξιολογεί. Επιπλέον, υπολογίζεται η δύναμη η οποία ασκεί στον ασθενή έτσι ώστε να μπορεί να καταλαβαίνει ο χειρουργός καλύτερα τις κινήσεις που εκτελεί με το ρομπότ και την δύναμη που ασκεί. Τέλος, αφού ο χειρουργός αξιολογήσει όλα τα δεδομένα τα οποία λαμβάνει αποφασίζει τις επόμενες κινήσεις τους και τις εκτελεί. Οι κινήσεις αυτές που πρέπει να εκτελέσει το ρομπότ μεταδίδονται μέσω του δικτύου επικοινωνίας και το ρομπότ εκτελεί τις κινήσεις. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να διεξαχθεί με απόλυτη επιτυχία μία χειρουργική επέμβαση με την χρήση ρομπότ εξ αποστάσεως.

Κεφάλαιο 4

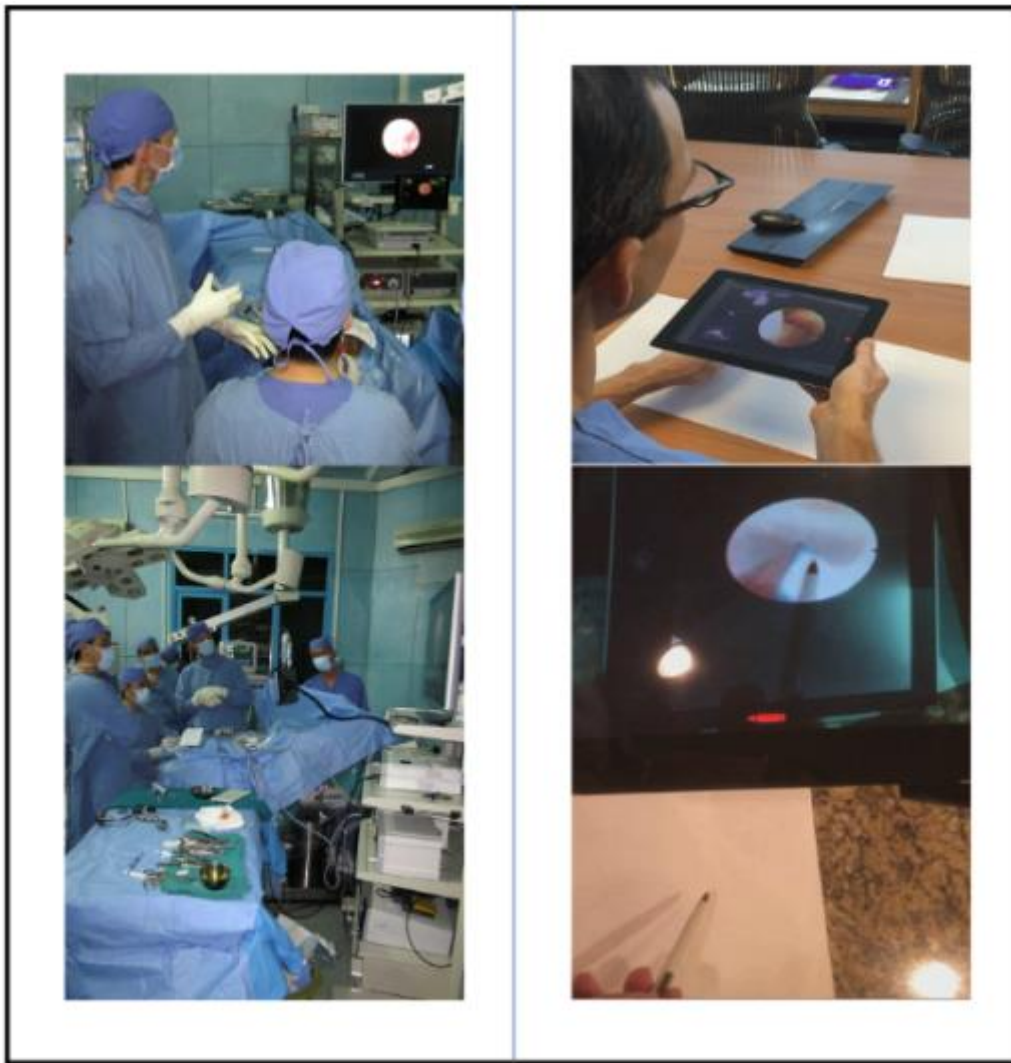
Σύγκριση και Αξιολόγηση ερευνών και Ερευνητικά αποτελέσματα (Case studies)

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει σύγκριση και αξιολόγηση των ερευνών των ρομποτικών εφαρμογών στην τηλεχειρουργική και των ερευνών που μελετούν την καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων ανάλογα με το κόστος εφαρμογής και υλοποίησης τους, τα θετικά αποτελέσματα που προσφέρουν, την αποδοτικότητα τους κ.α. Επιπλέον, γίνεται μια SWOT ανάλυση για σύγκριση των ερευνών μεταξύ τους.

4.1. Σύγκριση των ερευνών εικονικής (VR) και επαυξημένης πραγματικότητας (AR).

Είναι γεγονός ότι με την χρήση της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας και της προσομοίωσης μιας χειρουργικής επέμβασης σε ένα τρισδιάστατο διαδραστικό περιβάλλον, οι χειρουργοί μπορούν να εξασκούνται έτσι ώστε να τελειοποιήσουν την τεχνική τους σε ένα ασφαλές περιβάλλον χειριζόμενοι τρισδιάστατα μοντέλα και να μελετούν τις δομές από πολλές προοπτικές. Με αυτό τον τρόπο οι χειρουργοί αποκοτούν πείρα χωρίς να κινδυνεύει μία ανθρώπινη ζωή (Hamacher and Su Jin and Tae Cho and Pardeshi and Hyun Lee and Jong Eun and Keun Whangbo, 2016).

Η έρευνα των Christopher Davis και Can D. Pindrik και G.Rocque και M.Johnston το 2016 παρουσιάζει την απόδοση, την χρησιμότητα και την σκοπιμότητα της εφαρμογής του VIPAR (εργαλείο εικονικής πραγματικότητας) ως εργαλείου για την παγκόσμια χειρουργική εκπαίδευση και την τηλε-συνεργασία μεταξύ νευροχειρουργών.



Εικόνα 16. Εγκατάσταση τοπικών και απομακρυσμένων σταθμών. Ο τοπικός σταθμός απεικονίζεται στα αριστερά, ενώ ο απομακρυσμένος σταθμός εμφανίζεται στα δεξιά (Christopher Davis And Can and Pindrik and G.Rocque and M. Johnston, 2016)

Χρησιμοποιώντας την εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα και οι Andersen, Popescu, Cabrera, Shanghavi, Gomez, Marley, Mullis και Wachs παρουσίασαν μια νέα προσέγγιση στη χειρουργική (telementoring) όπου οι σχολιασμοί της χειρουργικής επέμβασης τοποθετούνται πάνω στο χειρουργικό πεδίο χρησιμοποιώντας μια διαφανή οθόνη επαυξημένης πραγματικότητας (AR).



Εικόνα 17. Συνολική εικόνα του συστήματος εισάγοντας σχολιασμούς με χρήση διαφανούς οθόνης

Επιπρόσθετα, οι Pessaux, Diana, Soler, Piardi, Mutter και Marescaux στο άρθρο τους περιγράφουν ένα πείραμα χρησιμοποιώντας επαυξημένη πραγματικότητα – AR για τον έλεγχο των διαταραχών του ήπατος και τον ακριβή εντοπισμό τους. Χρησιμοποίησαν το AR γιατί επιτρέπει τον ακριβή εντοπισμό της θέσης της βλάβης σε πραγματικό χρόνο και την εξακρίβωση της έκτασης της εκτομής.

Και οι τρεις αυτές έρευνες κάνουν χρήση της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας με σκοπό την εκπαίδευση και ενημέρωση επαγγελματιών υγείας και την διεξαγωγή χειρουργικών επεμβάσεων με την χρήση ρομπότ. Στην πρώτη έρευνα συμμετείχαν χειρουργοί (ορισμένοι δούλεψαν τοπικά και άλλοι απομακρυσμένα). Στο δεύτερο πείραμα συμμετείχαν έμπειροι χειρουργοί οι οποίοι έδιναν τις οδηγίες μέσω σχολιασμών και εκπαιδευόμενοι χειρουργοί οι οποίοι εκτελούσαν τις οδηγίες αυτές. Τέλος, στην τρίτη έρευνα συμμετείχαν έμπειροι χειρουργοί οι οποίοι γνώριζαν τις διαταραχές του ήπατος.

Όλες κατέληξαν ότι τέτοιου είδους προσομοιώσεις έχουν θετικό αντίκτυπο στους ασθενείς και στους επαγγελματίες υγείας λόγω του ότι εντόπιζαν το πρόβλημα του ασθενή πολύ γρήγορα και οι επαγγελματίες υγείας μπορούσαν να μεταδώσουν πολύ εύκολα τις γνώσεις τους σε κάποιον που δεν κατείχε αρκετές γνώσεις.

Η σύγκριση των τριών αυτών ερευνών πραγματοποιήθηκε μέσω εννέα χαρακτηριστικών των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας τα οποία είναι:

- Η αποτελεσματικότητα
- Η ευκολία στην χρήση
- Η χρησιμότητα
- Η Ακρίβεια
- Η Καθυστέρηση της Μετάδοσης της Εικόνας
- Η Καθυστέρηση της Μετάδοσης του Ήχου
- Η ταχύτητα ασύρματης Αποστολής Δεδομένων
- Ανάλυση Εικόνας
- Το κόστος

Με την μορφή του παρακάτω κλάσματος

$$\frac{\text{Αποτελεσματικότητα} + \text{Ευκολία χρήσης} + \text{Χρησιμότητα} + \text{Ακρίβεια} + \text{Ταχύτητα}}{\text{Δεδομένων} + \text{Ανάλυση Εικόνας}}$$

$$\text{Καθυστέρηση Εικόνας} + \text{Καθυστέρηση Ήχου} + \text{Κόστος}$$

Η αποτελεσματικότητα αφορά στο κατά πόσο τα συστήματα βοήθησαν τους χειρουργούς να δράσουν πιο σωστά. Η ευκολία στην χρήση αφορά στο κατά πόσο τα συστήματα μπόρεσαν να χρησιμοποιηθούν με ευκολία από τους χειρουργούς που συμμετείχαν στην έρευνα. Η παράμετρος της χρησιμότητας αποβλέπει στο κατά πόσο το σύστημα ήταν χρήσιμο δηλαδή βοήθησε στην πιο αποτελεσματική εξαγωγή οποιασδήποτε εργασίας. Επιπλέον, η ακρίβεια αφορά στο κατά πόσο το σύστημα εκτελούσε σωστά τις εντολές των χειρουργών στο χειρουργικό πεδίο. Η ταχύτητα των δεδομένων αφορά την ταχύτητα κατά την οποία το σύστημα μετάδιδε τα δεδομένα ανάμεσα στους δύο σταθμούς (τοπικού και απομακρυσμένου). Επίσης, η ανάλυση της εικόνας αφορά το κατά πόσο το σύστημα έδινε εικόνες και βίντεο με επαρκής ανάλυση έτσι ώστε να μην κάνει λάθη ο χειρουργός. Η καθυστέρηση της εικόνας και του ήχου αποβλέπει την ταχύτητα μετάδοσης της εικόνας και του ήχου σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, το κόστος περιλαμβάνει το συνολικό ποσό που στοιχίζει το σύστημα (υλικό και λογισμικό) κατά την διάρκεια ενός έτους.

	Christopher, Pindrik, Rocque,Johnston, 2016	Andersen, Popescu, Cabrera, Shanghavi, Gomez, Marley, Mullis, Wachs, 2016	Pessaux, Diana, Soler, Piardi, Mutter, Marescaux 2015
Αποτελεσματικότητα %	100%	90%	90%
Ευκολία στην χρήση %	95%	85%	90%
Χρησιμότητα %	100%	80%	100%
Ακρίβεια %	95%	75%	95%
Καθυστέρηση Μετάδοσης Εικόνας (Χιλιοστά του Δευτερολέπτου)	237	-	-
Καθυστέρηση Μετάδοσης Ήχου (Χιλιοστά του Δευτερολέπτου)	75,54	-	-
Ταχύτητα Ασύρματης Αποστολής Mbps	26,39 έως 27,62	-	-
Ανάλυση εικόνας %	98%	-	95%
Υλικά, Κόστος €	13382.71	20500	30000
Σύνολο	0,00237	0,000160	0,000156

Πίνακας 2. Σύγκριση συστημάτων εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας

Από τον πίνακα φαίνεται ότι το πιο αποτελεσματικό σύστημα εικονικής πραγματικότητας είναι εκείνο των Christopher, Pindrik, Rocque, Johnston το 2016 δηλαδή το σύστημα VIPAR. Παρόμοια ήταν ευκολότερο στην χρήση από τα άλλα δύο συστήματα. Επίσης, το σύστημα VIPAR και το σύστημα εντοπισμού διαταραχών του ύπατος φάνηκε στους συμμετέχοντες πολύ χρήσιμο και τα χαρακτήρισαν ακριβής. Η καθυστέρηση εικόνας και ήχου του συστήματος VIPAR ήταν σχετικά πολύ χαμηλή με αποτέλεσμα να υπήρξαν λιγότερα λάθη. Το κόστος μπόρεσε να εκτιμηθεί από τις αναφορές υλικού και λογισμικού τα οποία χρησιμοποιήθηκαν.

Στο σύστημα VIPAR των Christopher, Pindrik, Rocque, Johnston οι συμμετέχοντες (τοπικοί και απομακρυσμένοι χειρουργοί) κλήθηκαν να αξιολογήσουν το σύστημα Linker. Η κλίμακα αυτή έχει την εξής μορφή:

1. Διαφωνώ απόλυτα

2. Διαφωνώ
3. Ούτε συμφωνώ ούτε διαφωνώ
4. Συμφωνώ
5. Συμφωνώ απόλυτα

Κάθε χειρουργός συμφώνησε έντονα ότι το VIPAR ήταν χρήσιμο συνολικά (5) και οδηγούσε σε αποτελεσματικές διαδικασίες (5). Έπειτα, κάθε χειρουργός συμφώνησε ότι το VIPAR άλλαξε την πορεία της διαδικασίας προς το καλύτερο (4) και έτσι οδηγήθηκαν σε ασφαλέστερη διαδικασία από την προηγούμενη (4). Τέλος, διαφώνησαν με το γεγονός ότι «Το VIPAR είχε ως αποτέλεσμα αυξημένη κόπωση» (2). Έτσι, με αυτά τα δεδομένα οδηγήθηκαμε στα αποτελέσματα του πίνακα 1.

Παρακάτω παρουσιάζεται SWOT ανάλυση για την κάθε έρευνα στην οποία μελετώνται τα δυνατά (Strengths) τους σημεία, οι αδυναμίες τους (Weaknesses) καθώς και οι ευκαιρίες τους (Opportunities) που προκύπτουν από αυτές, αλλά και οι απειλές (Threats) που μπορεί να υπάρχουν.

Christopher, Pindrik, Rocque, Johnston (2016)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Δεν χρειάζεται μεγάλο όγκο εξοπλισμού • Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο • Θετική ανατροφοδότηση από τους χειρουργούς που συμμετείχαν σχετικά με την χρήση, την χρησιμότητα και τα αποτελέσματα του συστήματος • Μείωση των επιπλοκών κατά την χειρουργική επέμβαση • Αμελητέα καθυστέρηση μετάδοσης εικόνας και ήχου 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα έρευνας • Ακριβός εξοπλισμός • Δεν διεξάχθηκαν πολλές δοκιμές με ασθενείς

<p>η οποία δεν έγινε αντιληπτή από τους συμμετέχοντες</p> <ul style="list-style-type: none"> • Το σύστημα VIPAR είναι πρακτικό και απλό και παρέχει ένα οπτικό συμπλήρωμα στη λεκτική περιγραφή περίπλοκων χειρουργικών διαδικασιών και τεχνικών 	
<p>Ευκαιρίες (Opportunities)</p>	<p>Απειλές (Threats)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Μπορεί να προσαρμοστεί σε άλλα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα στα οποία είναι δυνατή η εγγραφή και η προβολή βίντεο, όπως το Google Glass ή το iPad. Αυτές οι συσκευές είναι σχετικά φθηνές και μπορεί να αποδειχθούν πολύτιμα εργαλεία για την παγκόσμια νευροχειρουργική εκπαίδευση και την ανάπτυξη ικανοτήτων • Ανάπτυξη φθηνότερων συστημάτων εικονικής πραγματικότητας από εταιρείες και προγραμματιστές του χώρου • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων 	<ul style="list-style-type: none"> • Κακή επιλογή δείγματος • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα

<ul style="list-style-type: none"> • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας 	
---	--

Πίνακας 3. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Christopher, Pindrik, Rocque, Johnston

Andersen, Popescu, Cabrera, Shanghavi, Gomez, Marley, Mullis, Wachs (2016)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο κατά την διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης • Θετική ανατροφοδότηση από τους εκπαιδευόμενους χειρουργούς που συμμετείχαν σχετικά την χρησιμότητα και τα αποτελέσματα του συστήματος • Μείωση των επιπλοκών κατά την χειρουργική επέμβαση λόγω των σχολιασμών σε διαφανή οθόνη πάνω στο χειρουργικό πεδίο ενός πιο έμπειρου χειρουργού 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα έρευνας • Ακριβός εξοπλισμός • Δεν διεξάχθηκαν πολλές δοκιμές με τους εκπαιδευόμενους χειρουργούς • Δεν υπάρχουν πληροφορίες για την ταχύτητα μετάδοσης της εικόνας και του ήχου, την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και την ανάλυση της εικόνας που προσφέρει το σύστημα • Η καθυστέρηση μεταξύ της πραγματικής κίνησης των χεριών και της εμφάνισης της κίνησης των χεριών στο χειρουργικό πεδίο χαρακτηρίστηκε ανησυχητική • Αντιληπτή πολυπλοκότητα της διεπαφής χρήστη του συστήματος καθοδηγητών

Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Ανάπτυξη φθηνότερων συστημάτων εικονικής πραγματικότητας από εταιρείες και προγραμματιστές του χώρου • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας • Βελτίωση της διαφανούς προσέγγισης της απεικόνισης που παρέχεται από το σύστημα, βασιζόμενη σε προηγούμενες εργασίες σε προσομοιωμένες διαφανείς οθόνες • Για την καλύτερη αποδοτικότητα του συστήματος απαιτείται η παρακολούθηση της κεφαλής του ασκούμενου και η γνώση της γεωμετρίας του χειρουργικού πεδίου 	<ul style="list-style-type: none"> • Κακή επιλογή δείγματος • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα

Πίνακας 4. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Andersen, Popescu, Cabrera, Shanghavi, Gomez, Marley, Mullis, Wachs, 2016

Pessaux, Diana, Soler, Piardi, Mutter, Marescaux (2015)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Θετική ανατροφοδότηση από τους χειρουργούς που συμμετείχαν σχετικά την χρησιμότητα και τα αποτελέσματα του συστήματος • Ο χρόνος που απαιτείται για την επίτευξη του AR (λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο που χρειάστηκε για να συνδεθούν οι ρομποτικές έξοδοι στην θέση του τηλεχειριστηρίου) ήταν 8 λεπτά (περιοχή 6-10). Αυτό μας δείχνει ότι το σύστημα ήταν αποτελεσματικό. • Το σύστημα επιτρέπει την ακριβή πραγματοποίηση της θέσης σε πραγματικό χρόνο της βλάβης και την προσαρμογή της έκτασης της εκτομής 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα έρευνας • Δεν διεξάχθηκαν πολλές δοκιμές με τους χειρουργούς • Δεν υπάρχουν πληροφορίες για την ταχύτητα μετάδοσης της εικόνας και του ήχου και την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων • Το σύστημα περιορίζει την ενδοεγχειρητική ακρίβεια AR όταν χειρίζεται κινητές ή παραμορφώσιμες δομές
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Ανάπτυξη φθηνότερων συστημάτων εικονικής πραγματικότητας από εταιρείες και προγραμματιστές του χώρου 	<ul style="list-style-type: none"> • Κακή επιλογή δείγματος • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα

<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας 	
---	--

Πίνακας 5. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Pessaux, Diana, Soler, Piardi, Mutter, Marescaux, 2015

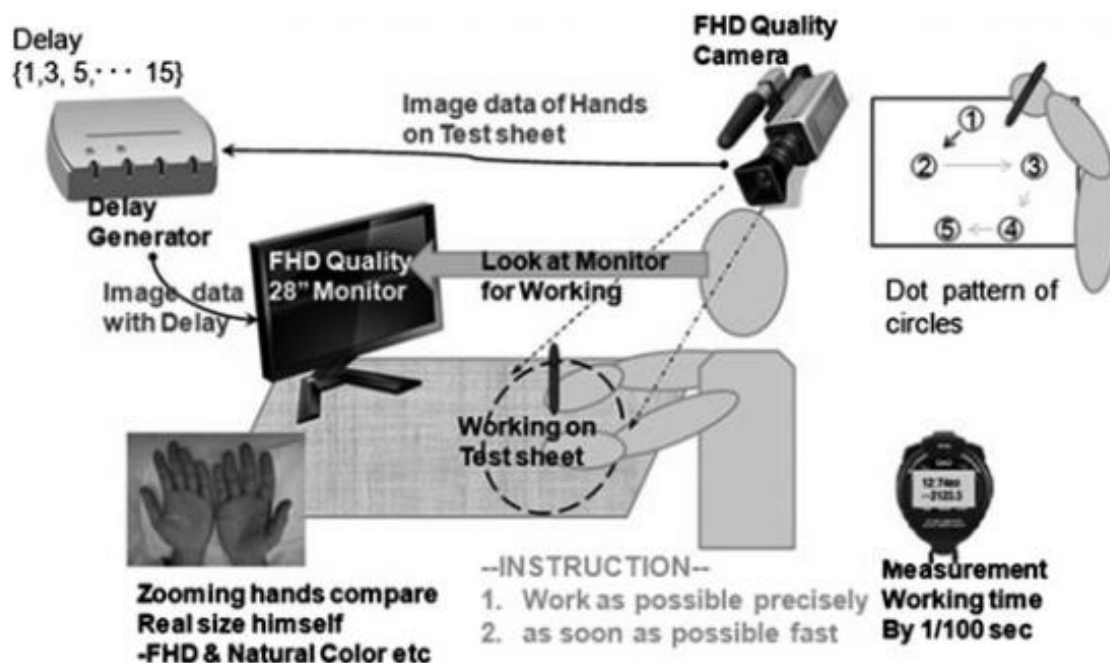
Από τους πιο πάνω πίνακες τις ανάλυσης SWOT που εφαρμόστηκε για την κάθε έρευνα ξεχωριστά προκύπτει ότι και στις τρεις έρευνες οι συμμετέχοντες έδωσαν θετική ανατροφοδότηση για τα συστήματα όσο για την χρησιμότητα τους τόσο και για την αποτελεσματικότητά τους. Επιπλέον, σε όλες τις έρευνες θα μπορούσαν να προσελκύσουν περισσότερους επαγγελματίες υγείας για την διεξαγωγή περισσότερων δοκιμών των συστημάτων. Τέλος, όλες θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους, τους ηθικούς κανόνες που διέπουν την έρευνα τους.

4.2. Σύγκριση των ερευνών που μελετούν την επίδραση της καθυστέρησης κατά την επέμβαση στην τηλεχειρουργική

Είναι αξιοσημείωτο ότι κατά την μεταφορά των δεδομένων στην την διάρκεια της επέμβασης της τηλεχειρουργικής προκύπτουν καθυστερήσεις στην μετάδοση. Η χρονική καθυστέρηση της μετάδοσης είναι σημαντική, λόγω της μεγάλης απόστασης μεταξύ δορυφόρου και επίγειου σταθμού, δυσκολεύοντας τις αμφίδρομες επικοινωνίες πραγματικού χρόνου. Πολλές έρευνες μελετούν το κατά πόσο αυτή η καθυστέρηση στην μετάδοση επηρεάζει στην αποτελεσματικότητα διεξαγωγής της επέμβασης. Επίσης, μετρούν πόση καθυστέρηση προκύπτει από την μετάδοση εικόνας, βίντεο και ήχου.

Η έρευνα των Maida, Sato, Toma, Maeno το 2016 μελετά το εύρος της αποτελεσματικότητας της εργασίας στην τηλεχειρουργική υπολογίζοντας την καθυστέρηση. Μετά την διεξαγωγή πειραμάτων μέτρησαν την καθυστέρηση μετάδοσης

των δεδομένων η οποία μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των λαθών από τον χειριστή κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης. Επομένως, σκοπός αυτής της μελέτης ήταν να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα της εργασίας με βάση την καθυστέρηση της εικόνας (Maida and Sato and Toma and Maeno, 2016).



Εικόνα 18. Μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα μέτρησης της καθυστέρησης της μετάδοσης δεδομένων

Επιπρόσθετα, στην έρευνα τους οι Lénêque, Zhang, Cavarro-Ménard, Le Callet και Liu που διεξήγαγαν το 2017 μελέτησαν μέσω στατιστικών αναλύσεων την ποιότητα των βίντεο της τηλεχειρουργικής. Αρχικά πραγματοποίησαν συνεντεύξεις σε χειρουργούς για την αξιολόγηση της ποιότητας της μετάδοσης των δεδομένων από εμπειρογνώμονες. Στην συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη τους τα αποτελέσματα των συνεντεύξεων σχεδίασαν ένα πείραμα στο οποίο οι χειρουργοί αξιολόγησαν την ποιότητα των βίντεο. Έπειτα, διεξήχθη μια στατιστική ανάλυση για να δώσει μια εικόνα για την ποιότητα της αντίληψης των βίντεο της τηλεχειρουργικής (Lénêque and Zhang and Cavarro-Ménard and Le Callet and Liu, 2017).

Επιπλέον, οι Perez, Xu, Chauhan, Tanaka, Simpson, Abdul-Muhsin και Smith το 2016 στην έρευνα τους αξιολόγησαν την επίδραση των διαφορετικών επιπέδων λανθάνοντος χρόνου στις επιδόσεις των χειρουργών σε τέσσερα προσομοιωμένα ρομποτικά

καθήκοντα. Σκοπός τους ήταν να καθορίσουν τις επιπτώσεις λανθάνουσας κατάστασης στις χειρουργικές επιδόσεις σε έμπειρους χειρουργούς που δεν είναι εξοικειωμένοι με την καθυστέρηση και τη συσκευή προσομοιωτή και να αναλύσουν τις καθυστερήσεις στην τηλεχειρουργική. Έτσι, σχεδίασαν μια προοπτική μελέτη που διεξήχθη στον ρομποτικό χειρουργικό προσομοιωτή dV-Trainer και πραγματοποίησαν δοκιμές και κατέγραψαν την καθυστέρηση σε δευτερόλεπτα (Perez and Xu and Chauhan and Tanaka and Simpson and Abdul-Muhsin and Smith, 2016).

Και οι τρεις έρευνες μελετούν το ποσοστό της καθυστέρησης μετάδοσης των δεδομένων κατά την διάρκεια μιας επέμβασης εξ αποστάσεως. Επίσης, σημειώνουν κατά πόσο επηρεάζει η καθυστέρηση αυτή στην διεξαγωγή της επέμβασης. Και στις τρεις έρευνες συμμετείχαν χειρουργοί και έμπειροι και άπειροι για την αξιολόγηση των εικόνων και των βίντεο.

Όλες οι μελέτες κατέληξαν ότι όσο αυξάνεται η καθυστέρηση στην μετάδοση των δεδομένων οι επιδόσεις (χρόνος εκτέλεσης, βαθμολογία, σφάλμα) επιδεινώνονται βαθμιαία. Επίσης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο αντίκτυπος της καθυστέρησης σχετίζεται με τη δυσκολία των διαδικασιών, αλλά συνολικά, οι καθυστερήσεις των 100 έως 200 ms δεν έχουν σημαντική επίδραση και μια καθυστέρηση μεγαλύτερη από 500 ms προκαλεί αισθητή αύξηση του χειρουργικού κινδύνου. Τέλος, η χειρουργική επέμβαση γίνεται εξαιρετικά δύσκολη και πρέπει να είναι αποφεύγονται σε καθυστερήσεις μεγαλύτερες από 700 ms.

Η σύγκριση των τριών αυτών ερευνών πραγματοποιήθηκε μέσω τεσσάρων χαρακτηριστικών τα οποία είναι:

- Επίδραση της καθυστέρησης στον ασθενή
- Επίδραση της καθυστέρησης στον χρόνο εκτέλεσης των εργασιών
- Η Καθυστέρηση της Μετάδοσης των Δεδομένων
- Η ταχύτητα ασύρματης Αποστολής Δεδομένων

Με την μορφή του παρακάτω κλάσματος

Ταχύτητα Δεδομένων Ασύρματης Αποστολής

Καθυστέρηση Μετάδοσης Δεδομένων + Επίδραση στον ασθενή + Επίδραση στον χρόνο εκτέλεσης των εργασιών

Η επίδραση της καθυστέρησης στον ασθενή αφορά κατά πόσο επηρεάζεται η χειρουργική επέμβαση και στο κατά πόσο ο ασθενής κινδυνεύει όταν αυξάνεται η καθυστέρηση στην μετάδοση. Επιπλέον, η επίδραση της καθυστέρησης στον χρόνο εκτέλεσης των εργασιών αποβλέπει στο κατά πόσο καθυστερούν οι διεργασίες που είναι απαραίτητο να εκτελεστούν, λόγω της χρονικής καθυστέρησης μετάδοσης των δεδομένων. Η καθυστέρηση της μετάδοσης δεδομένων αποβλέπει την ταχύτητα μετάδοσης της εικόνας και του ήχου σε πραγματικό χρόνο. Η ταχύτητα των δεδομένων αφορά την ταχύτητα κατά την οποία το σύστημα μετάδιδε τα δεδομένα ανάμεσα στους δύο σταθμούς (τοπικού και απομακρυσμένου).

	Maida, Toma, Maeno, 2016	Sato, Lénêque, Zhang, Cavarro-Ménard, Le Callet και Liu, 2017	Perez, Xu, Chauhan, Tanaka, Simpson, Abdul-Muhsin και Smith 2016
Καθυστέρηση Μετάδοσης Δεδομένων (Μιλιδευτερόλεπτα - ms)	266-333 ms	450 ms	500ms
Επίδραση καθυστέρησης στον ασθενή %	80%	92%	100%
Επίδραση καθυστέρησης στην ολοκλήρωση εργασιών	85%	90%	100%
Ταχύτητα Ασύρματης Αποστολής Mbps	10,5 Mbps	13 Mbps	14 Mbps
Σύνολο	0,0313	0,0287	0,0278

Πίνακας 6. Σύγκριση ερευνών που μελετούν την καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων

Από τον πίνακα φαίνεται ότι η καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων 500ms επηρέασε σε πολύ πιο μεγάλο βαθμό στην ολοκλήρωση των εργασιών και στην ασφάλεια του ασθενή. Συνολικά, η σταδιακά αυξανόμενη καθυστέρηση έχει αυξανόμενη επίδραση στις επιδόσεις και η επιδείνωση της απόδοσης αρχίζει με συνέπεια στα 300ms. Οι καθυστερήσεις των 100 και 200 ms φάνηκαν να μην έχουν ξεκάθαρη επίδραση από τις πιο πάνω έρευνες. Διεξάχθηκαν πειράματα και με καθυστέρηση 100 ms και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι χειρουργοί είχαν πιο βελτιωμένη απόδοση. Επομένως, οι καθυστερήσεις ίσες ή μεγαλύτερες των 700 ms φαίνεται να είναι δύσκολο να

διαχειριστούν, ειδικά σε σύνθετες εργασίες. Ωστόσο, σε αυτές τις μελέτες, το ποσοστό σφάλματος αυξήθηκε σημαντικά σε καθυστερήσεις μεγαλύτερες των 500 ms, γεγονός που μπορεί να υποδηλώνει την αύξηση του χειρουργικού κινδύνου. Τέλος, ένα άλλο συμπέρασμα που προέκυψε ήταν ότι ο αντίκτυπος της καθυστέρησης σχετίζεται με τη δυσκολία των διαδικασιών που υποβλήθηκαν οι συμμετέχοντες.

Παρακάτω παρουσιάζεται SWOT ανάλυση για την κάθε έρευνα στην οποία μελετώνται τα δυνατά (Strengths) τους σημεία, οι αδυναμίες τους (Weaknesses) καθώς και οι ευκαιρίες τους (Opportunities) που προκύπτουν από αυτές, αλλά και οι απειλές (Threats) που μπορεί να υπάρχουν.

Maida, Sato, Toma και Maeno (2016)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Μελετά την καθυστέρηση στην τηλεχειρουργική έτσι ώστε να αυξηθεί η ασφάλεια των ασθενών • Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 16 δοκιμές με τους συμμετέχοντες • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα συμμετεχόντων • Χρονοβόρα διαδικασία
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Εξέταση των χαρακτηριστικών εργασίας που δείχνουν ότι αντιπροσωπεύουν χειρουργικούς ελιγμούς υπό καθυστέρηση για τον 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Κακή επιλογή δείγματος

<p>προσδιορισμό των σχέσεων μεταξύ της καθυστέρησης και των παραμέτρων του νόμου Fitts.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ανάπτυξη συστημάτων με μικρότερη καθυστέρηση • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας 	
---	--

Πίνακας 7. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Maida, Sato, Toma και Maeno, 2016

Lénéque, Zhang, Cavarro-Ménard, Le Callet και Liu (2017)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Η έρευνα παρέχει νέες ιδέες για την αντίληψη της ποιότητας του βίντεο στο πλαίσιο της τηλεχειρουργικής και τα ευρήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της αντίληψης των επαγγελματιών της τηλεχειρουργικής • Ικανοποιητικό δείγμα συμμετεχόντων • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και 	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές • Ήταν χρονοβόρα η διαδικασία

<p>έδωσαν την συγκατάθεση τους</p> <ul style="list-style-type: none"> • Οι συμμετέχοντες παρακολουθούσαν μόνο την κεντρική περιοχή της εικόνας κατά τη διάρκεια μιας χειρουργικής διαδικασίας • Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα βίντεο είκοσι δευτερολέπτων τα οποία εξήχθησαν από πραγματικές χειρουργικές επεμβάσεις 	
<p>Ευκαιρίες (Opportunities)</p>	<p>Απειλές (Threats)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Ανάπτυξη συστημάτων με μικρότερη καθυστέρηση • Προσθήκη περισσότερων πειραματικών δεδομένων στην αξιολόγηση • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας • Τα ευρήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της αντίληψης των επαγγελματιών της τηλεχειρουργικής 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Διεξαγωγή λίγων δοκιμών

Πίνακας 8. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Lénêque, Zhang, Cavaro-Ménard, Le Callet και Liu, 2017

Perez, Xu, Chauhan, Tanaka, Simpson, Abdul-Muhsin και Smith (2016)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Δοκιμή διαφόρων τιμών καθυστέρησης • Μελέτη που διεξήχθη στον ρομποτικό χειρουργικό προσομοιωτή dV-Trainer®. Ο προσομοιωτής dV-Trainer® επέτρεψε την εισαγωγή σταθερών καθυστερήσεων στις ασκήσεις μεταξύ της χειρονομίας στις λαβές και της οπτικής ανατροφοδότηση στην κονσόλα. • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους. • Τα τελικά αποτελέσματα προέκυψαν από 37 χειρουργούς από τους οποίους οι 23 είχαν ρομποτική εμπειρία 	<ul style="list-style-type: none"> • Διεξάχθηκαν τρεις συνεδρίες – δοκιμές • Χρονοβόρα διαδικασία
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Μικρό δείγμα δοκιμών

<p>περισσότερων επαγγελματιών υγείας</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ανάπτυξη συστημάτων με μικρότερη καθυστέρηση • Τα ευρήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της αντίληψης των επαγγελματιών της τηλεχειρουργικής 	
--	--

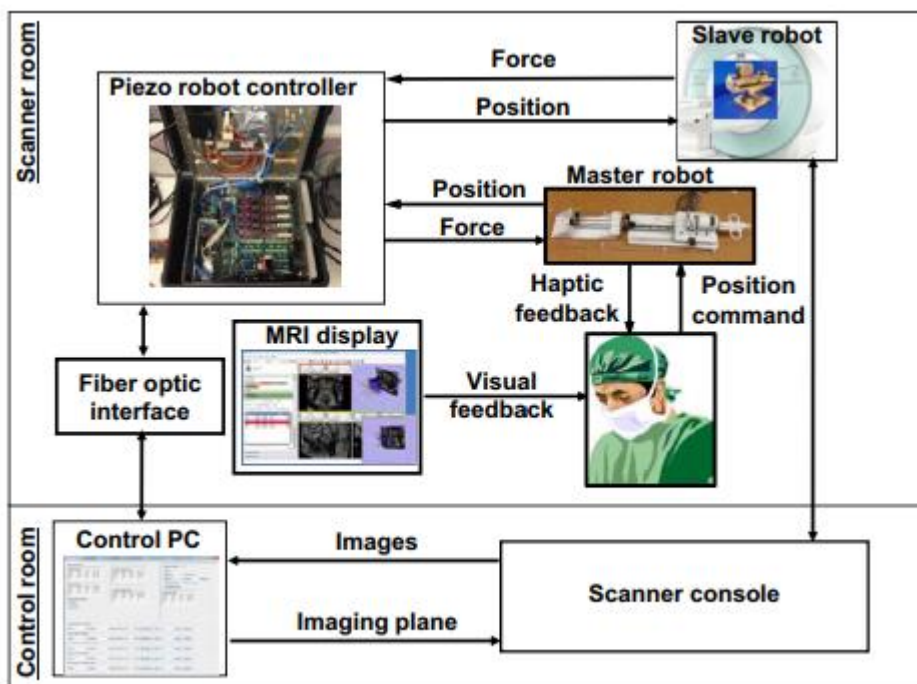
Πίνακας 9. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Perez, Xu, Chauhan, Tanaka, Simpson, Abdul-Muhsin και Smith, 2016

Από τους πιο πάνω πίνακες τις ανάλυσης SWOT που εφαρμόστηκε για την κάθε έρευνα ξεχωριστά προκύπτει ότι και στις τρεις έρευνες πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με διάφορες καθυστερήσεις με αποτέλεσμα τα ευρήματα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της αντίληψης των επαγγελματιών της τηλεχειρουργικής. Επιπλέον, οι συμμετέχοντες που έλαβαν μέρος ήταν ικανοποιητικοί. Ένα μειονέκτημα το οποίο παρατηρήθηκε ήταν ότι η διαδικασία ήταν χρονοβόρα λόγω των διάφορων καθυστερήσεων που εφαρμόστηκαν. Τέλος, όλες θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους, τους ηθικούς κανόνες που διέπουν την έρευνα τους.

4.3. Σύγκριση των ερευνών που αναπτύσσουν εφαρμογές τηλεχειρουργικής με την χρήση ρομπότ

Για την καλύτερη περίθαλψη των ασθενών κυρίως στις πιο απομακρυσμένες περιοχές έχουν αναπτυχθεί πολλές τηλεχειρουργικές ρομποτικές εφαρμογές. Κυρίως, τέτοια συστήματα χρησιμεύουν όταν απαιτείται χειρουργική επέμβαση έκτακτης ανάγκης ή όταν ο ασθενής δεν μπορεί να μεταφερθεί αμέσως στη μονάδα φροντίδας. Πολλές έρευνες έχουν αναπτύξει τέτοιες εφαρμογές όπως αυτές οι οποίες αναλύθηκαν πιο πάνω και θα συγκριθούν σε αυτό το κεφάλαιο.

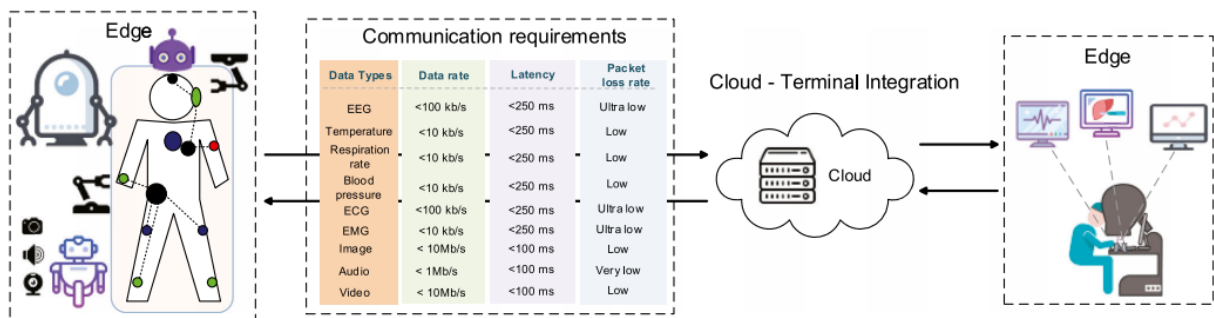
Η έρευνα των Su, Shang, Li, Patel και Fischer το 2017 παρουσιάζει ένα σύστημα τηλεχειρισμού με μαγνητική τομογραφία. Ανέπτυξαν έναν αισθητήρα υψηλής ευαισθησίας που βασίζεται σε Interferometry Fabry-Perot (FPI) για την ανίχνευση δυνάμεων εισαγωγής βελόνας (1-DOF αξονική δύναμη). Επίσης, δημιούργησαν μια πνευματική απτική συσκευή με ανίχνευση δύναμης μετρητή τάσης για διαισθητικό έλεγχο της περιστροφής και εισαγωγής της βελόνας. Επιπλέον, παρουσίασαν μια μέθοδο ελέγχου του τηλεχειρισμού με βάση τον έλεγχο αντίστασης. Τέλος, ανέπτυξαν ένα 6-DOF πλήρως ενεργοποιημένο ρομπότ τοποθέτησης βελόνων. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την λειτουργία του συστήματος αυτού ήταν ότι ήταν συμβατό το MRI του τηλεχειρουργικού συστήματος με την μαγνητική τομογραφία (Su and Shang and Li and Patel and Fischer, 2017).



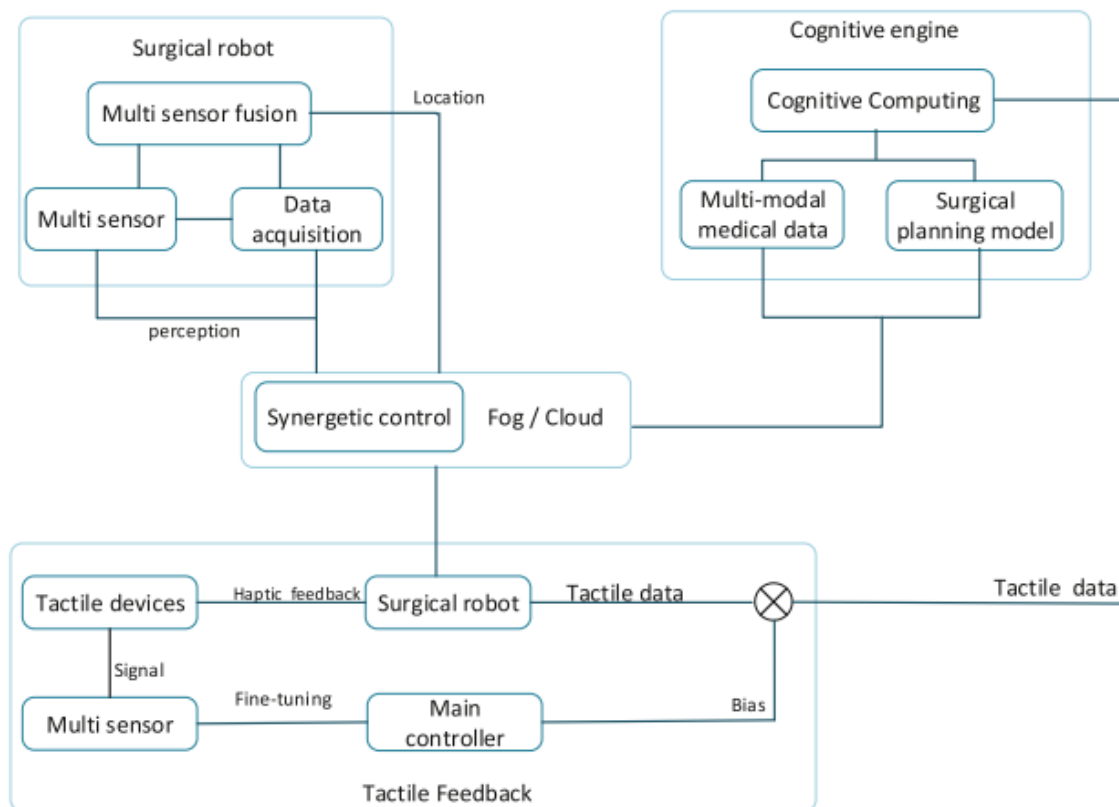
Εικόνα 19. Αρχιτεκτονική συστήματος του συστήματος τηλεχειρισμού master-slave.

Επιπρόσθετα, στην έρευνα τους οι Miao, Jiang, Peng, Hossain και Muhammad που διεξήγαγαν το 2018 παρουσίασαν ένα ρομπότ τηλεχειρισμού με βάση την τεχνολογία 5G tactile Internet και της τεχνητής νοημοσύνης. Το σύστημα το οποίο προτείνουν περιλαμβάνει το χειρουργικό ρομπότ το οποίο είναι εξοπλισμένο με τον αισθητήρα της αφής, την απτική ανάδραση και την δημιουργία ανατροφοδότησης δύναμης που είναι το κλειδί της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης στην εικονική πραγματικότητα. Ακόμη

περιλαμβάνει το υποσύστημα μετάδοσης δεδομένων που είναι βασισμένο σε ένα απλό δίκτυο 5G και παρέχει επικοινωνία υψηλής ποιότητας και αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής στον χειρουργό (Miao and Jiang and Peng and Hossain and Muhammad, 2018).



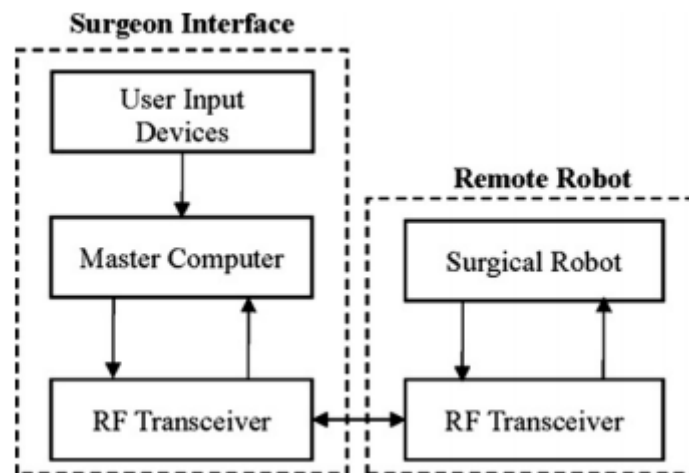
Εικόνα 20. Απαιτήσεις επικοινωνίας ενός ρομπότ τηλεχειρισμού για το 5G tactile Internet



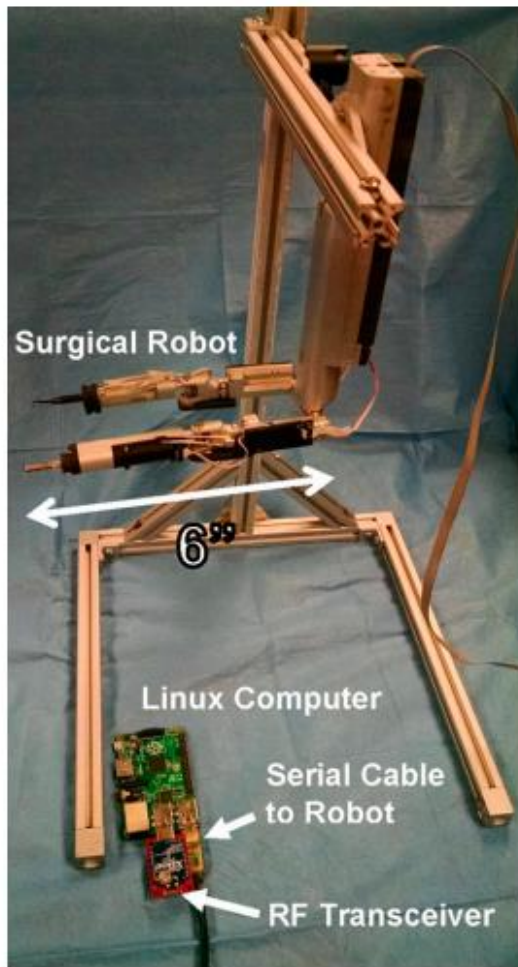
Εικόνα 21. Η ροή δεδομένων της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής στην τηλεχειρουργική

Στην έρευνα τους οι Reichenbach, Frederick, Cubrich, Bircher, Bills, Morien, Farritor και Oleynikov το 2017 σχεδίασαν ένα ρομποτικό σύστημα που αποτελείται από ένα μικροσκοπικό χειρουργικό ρομπότ, ένα σύστημα με ψηλή ποιότητα όρασης, ένα λογισμικό διεπαφής χρήστη, απτικούς ελεγκτές για δυνατότητες τηλεχειρουργικής. Η

μικροσκοπική χειρουργική πλατφόρμα που δημιουργήθηκε αποτελείται από ένα ρομπότ δύο χειριστηρίων, με κιβώτιο ταχυτήτων, πολλαπλών λειτουργιών και μια απομακρυσμένη χειρουργική διεπαφή. Οι ερευνητές μπόρεσαν να ελέγξουν το χειρουργικό ρομπότ μέσω ασύρματου δικτύου στις δοκιμές τις οποίες διεξήγαγαν (Reichenbach and Frederick and Cubrich and Bircher and Bills and Morien and Farritor and Oleynikov, 2017).

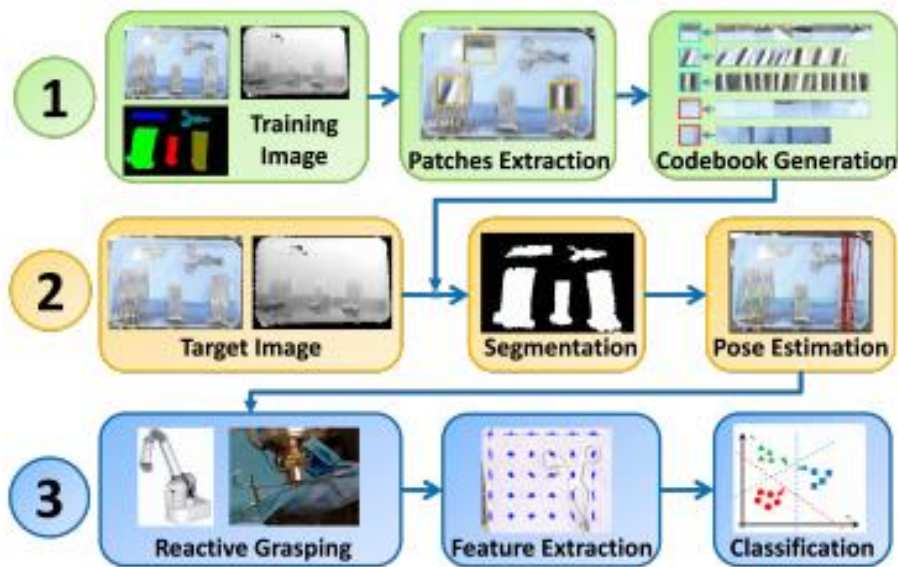


Εικόνα 22. Δομικό διάγραμμα της τηλεχειριζόμενης πλατφόρμας



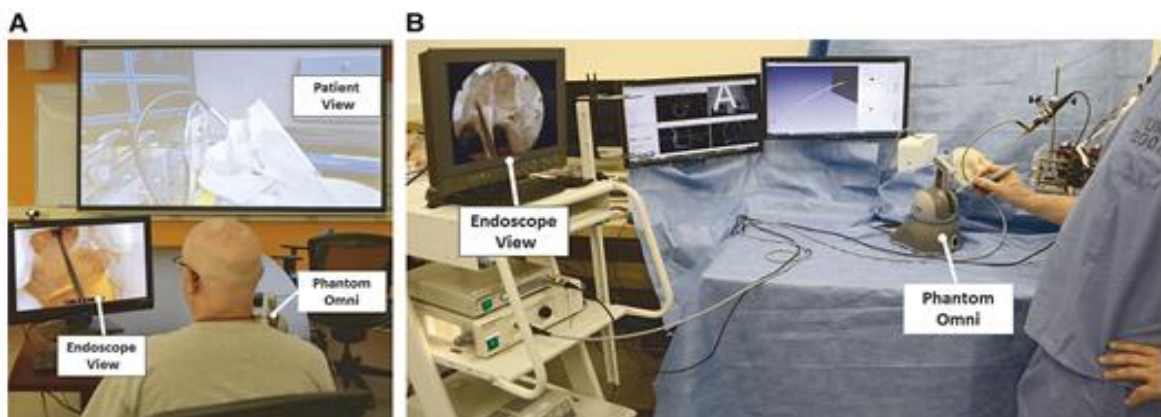
Εικόνα 23. Στα αριστερά είναι το απομακρυσμένο ρομπότ που δημιούργησαν και στα δεξιά η πλατφόρμα χειρισμού του ρομπότ

Επιπλέον, το 2017 στην έρευνα τους οι Tian και Juan πρότειναν ένα αλγόριθμο για την αναγνώριση των χειρουργικών εργαλείων, τον ακριβή εντοπισμό τους και τον κατάλληλο χειρισμό τους από ένα ρομπότ. Ειδικότερα, παρουσίασαν έναν καινοτόμο αλγόριθμο κατακερματισμού, ανέπτυξαν ένα πρωτόκολλο αντιδραστικής σύλληψης με βάση τη δύναμη για να καταστεί δυνατή η αξιόπιστη εύρεση των εργαλείων και περιέγραψαν έναν αλγόριθμο αναγνώρισης των χειρουργικών εργαλείων. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι η τμηματοποίηση της εικόνας βασισμένη στην ταξινόμηση (χρώματα και υφή εργαλείων), ο διαχωρισμός του προσκηνίου (χειρουργικά εργαλεία) από το φόντο και η κατάτμηση για την εύρεση των ακρών των εργαλείων και του περιγράμματος έτσι ώστε να εντοπιστούν (Tian And Juan, 2017).



Εικόνα 24. Αρχιτεκτονική του συστήματος εντοπισμού χειρουργικών εργαλείων

Στο άρθρο τους οι Wirz, G. Torres, J. Swaney, Gilbert, Alterovitz, J. Webster, D. Weaver και T. Russell το 2015 διερεύνησαν για πρώτη φορά την ιδέα του τηλεχειρισμού των χειρουργικών εργαλείων σε μεγάλες αποστάσεις για τη χειρουργική επέμβαση του κρανίου, με κινήσεις εργαλείων και ενδοσκοπικό βίντεο που μεταδίδονται μέσω του Διαδικτύου. Ειδικότερα, στόχος τους ήταν να εξετάσουν εάν η απόσταση και η μετάδοση των εντολών μέσω διαδικτύου του χειρουργού θα επηρέαζαν σημαντικά την ικανότητα του χειρουργού να απομακρύνει τους όγκους της υπόφυσης χρησιμοποιώντας το ρομπότ ομόκεντρου σωλήνα (Wirz and G. Torres and J. Swaney and Gilbert and Alterovitz and J. Webster and D. Weaver and T. Russell, 2015).



Εικόνα 25. Απεικόνιση της πειραματικής εγκατάστασης

Και οι πέντε πιο πάνω έρευνες αναπτύσσουν ένα ρομπότ τηλεχειρισμού για την διεξαγωγή χειρουργικών επεμβάσεων εξ αποστάσεως. Ειδικότερα, μετά την ανάπτυξη των ρομποτικών εφαρμογών διεξάγουν αρκετές δοκιμές για την διαπίστωση της αξιοπιστίας των συστημάτων όσο αφορά την μετάδοση των δεδομένων και την απόκριση των χειρουργών σε περίπτωση καθυστέρησης. Όλες οι έρευνες κατέληξαν στο γεγονός ότι όλες οι εφαρμογές τηλεχειρουργικής μπορούν να βοηθήσουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τους ασθενείς οι οποίοι δυσκολεύονται να μετακινηθούν όποιο πρόβλημα και αν αντιμετωπίζουν.

Και στις πέντε έρευνες για τις πειραματικές διαδικασίες συμμετείχαν έμπειροι χειρουργοί οι οποίοι έκαναν χρήση των ρομποτικών εφαρμογών. Με αυτό τον τρόπο διεξάχθηκαν τα αποτελέσματα των ερευνών τα οποία θα συγκριθούν πιο κάτω.

Η σύγκριση των πέντε αυτών ερευνών πραγματοποιήθηκε μέσω επτά χαρακτηριστικών τα οποία είναι:

- Η Καθυστέρηση της Μετάδοσης των Δεδομένων
- Η αποτελεσματικότητα
- Η ευκολία στην χρήση
- Η χρησιμότητα
- Η Ακρίβεια
- Ανάλυση Εικόνας
- Το κόστος

Με την μορφή του παρακάτω κλάσματος

$$\frac{\text{Αποτελεσματικότητα} + \text{Ευκολία χρήσης} + \text{Χρησιμότητα} + \text{Ακρίβεια} + \text{Ανάλυση Εικόνας}}{\text{Καθυστέρηση Μετάδοσης Δεδομένων} + \text{Κόστος}}$$

Η αποτελεσματικότητα αφορά στο κατά πόσο τα συστήματα βοήθησαν τους χειρουργούς να δράσουν πιο σωστά. Η ευκολία στην χρήση αφορά στο κατά πόσο τα συστήματα μπόρεσαν να χρησιμοποιηθούν με ευκολία από τους χειρουργούς που συμμετείχαν στην έρευνα. Η παράμετρος της χρησιμότητας αποβλέπει στο κατά πόσο το

σύστημα ήταν χρήσιμο δηλαδή βοήθησε στην πιο αποτελεσματική εξαγωγή οποιασδήποτε χειρουργικής επέμβασης. Επιπλέον, η ακρίβεια αφορά στο κατά πόσο το σύστημα εκτελούσε σωστά τις εντολές των χειρουργών στο χειρουργικό πεδίο. Επίσης, η ανάλυση της εικόνας αφορά το κατά πόσο το σύστημα έδινε εικόνες και βίντεο με επαρκής ανάλυση έτσι ώστε να μην κάνει λάθη ο χειρουργός. Η καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων αποβλέπει την ταχύτητα μετάδοσης της εικόνας και του ήχου σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, το κόστος περιλαμβάνει το συνολικό ποσό που στοιχίζει το σύστημα (υλικό και λογισμικό).

	Su, Shang, Li, Patel και Fischer, 2017	Miao, Jiang, Peng, Hossain και Muhammad, 2018	Reichenbach, Frederick, Cubrich, Bircher, Bills, Morien, Farritor και Oleynikov, 2017	Tian και Juan, 2017	Wirz, G. Torres, J. Swaney, Gilbert, Alterovitz, J. Webster, D. Weaver και T. Russell, 2015
Αποτελεσματικότητα %	89%	90%	92%	85%	90%
Ευκολία στην χρήση %	85%	80%	95%	-	-
Χρησιμότητα %	95%	90%	100%	95%	95%
Ακρίβεια %	90%	-	-	95%	85%
Καθυστέρηση Μετάδοσης Δεδομένων (Χιλιοστά του Δευτερολέπτου)	275	200	250	-	300
Ανάλυση εικόνας %	-	-	90%	90%	85%
Υλικό, Κόστος €	20800	14000	8000	10000	8000
Σύνολο	0,000170	0,000183	0,000456	0,000275	0,000427

Πίνακας 10. Σύγκριση ερευνών που αναπτύσσουν εφαρμογές τηλεχειρουργικής με την χρήση ρομπότ

Από τον πίνακα μπορούμε να δούμε ότι το πιο αποτελεσματικό ρομποτικό σύστημα είναι εκείνο των Reichenbach, Frederick, Cubrich, Bircher, Bills, Morien, Farritor και Oleynikov οι οποίοι σχεδιάζοντας το ρομπότ αποσκοπούσαν να ελέγξουν κατά πόσο μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις τηλεχειρουργικής. Όπως μπορούμε να δούμε τον πιο

ακριβό εξοπλισμό χρησιμοποίησαν στην έρευνα τους οι Su, Shang, Li, Patel και Fischer για τον λόγο ότι προσπάθησαν να συνδέσουν το ρομπότ με τον μαγνητικό τοπογράφο. Το κόστος ανέβηκε λόγω του ότι ο μαγνητικός τομογράφος κοστίζει αρκετά και λόγω του ότι πραγματοποίησαν αρκετές δοκιμές. Παρόλα αυτά όλα τα ρομποτικά συστήματα που ανέπτυξαν οι έρευνες έχουν ψηλά ποσοστά αποτελεσματικότητας, χρησιμότητας και ακρίβειας. Τέλος, ένα άλλο θετικό τους στοιχείο είναι ότι η καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων κινείται σε χαμηλά επίπεδα με αποτέλεσμα ο χειρουργός να μην κάνει εύκολα λάθος και ο ασθενής να μην κινδυνεύει.

Παρακάτω παρουσιάζεται SWOT ανάλυση για την κάθε έρευνα στην οποία μελετώνται τα δυνατά (Strengths) τους σημεία, οι αδυναμίες τους (Weaknesses) καθώς και οι ευκαιρίες τους (Opportunities) που προκύπτουν από αυτές, αλλά και οι απειλές (Threats) που μπορεί να υπάρχουν.

Su, Shang, Li, Patel και Fischer (2017)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους • Μείωση του χρόνου της μαγνητικής τομογραφίας με την χρήση ρομπότ • Ο FPI προσφέρει υψηλή ευαισθησία (ανάλυση 0: 01% της πλήρους κλίμακας) και η ρύθμιση του σήματος (μέτρηση τάσης) είναι πολύ απλούστερη από αυτή των αισθητήρων πλέγματος • Ελέγχει την θέση του ρομπότ σκλάβου με μεγάλη επιτυχία 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα συμμετεχόντων • Χρονοβόρα διαδικασία • Πολύ αυξημένο κόστος

Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Κίνδυνος διαρροής ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων

Πίνακας 11. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Su, Shang, Li, Patel και Fischer, 2017

Miao, Jiang, Peng, Hossain και Muhammad (2018)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους • Το δίκτυο 5G προσφέρει εξαιρετικά χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση, σύντομο χρόνο μετάδοσης, υψηλή διαθεσιμότητα, υψηλή αξιοπιστία και υψηλή ασφάλεια • Περιορίζει την καθυστέρηση επικοινωνίας μεταξύ του χρήστη και του απομακρυσμένου τερματικού στο επίπεδο των χιλιοστών • Η αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής που προσφέρει 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα συμμετεχόντων και δοκιμών του συστήματος • Κίνδυνος διαρροής πληροφοριών

<p>βοηθά τον χειρουργό να εκτελέσει ευκολότερα τις εργασίες που απαιτούνται</p> <ul style="list-style-type: none"> • Το 5G tactile Internet παρέχει πλούσιες υπηρεσίες βίντεο για την ενίσχυση της εμπειρίας των χρηστών 	
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Χρήση τεχνητής νοημοσύνης (AI) στο σύστημα. Για παράδειγμα, σε περίπτωση υπερωριών, το χειρουργικό ρομπότ πρέπει να έχει τη δυνατότητα να προβλέψει την επόμενη συμπεριφορά ενός γιατρού και να λειτουργήσει ανάλογα • Αποθήκευση μακροπρόθεσμων δεδομένων ανάλυσης • Πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο βελτιστοποίησης των πόρων των δικτύων και της επικοινωνίας • Υιοθέτηση της ταυτόχρονης επικοινωνιακής στρατηγικής multilink για την ενίσχυση της αξιοπιστίας της επικοινωνίας 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Κίνδυνος διαρροής ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων

<ul style="list-style-type: none"> • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας 	
---	--

Πίνακας 12. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Miao, Jiang, Peng, Hossain και Muhammad, 2018

Reichenbach, Frederick, Cubrich, Bircher, Bills, Morien, Farritor και Oleynikov (2017)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους • Το ρομπότ που δημιουργήθηκε ανταποκρίνεται αρκετά ώστε να εκτελεί χειρουργικές εργασίες • Διεξάχθηκαν αρκετές δοκιμές • Περιορίζει την καθυστέρηση επικοινωνίας μεταξύ του χρήστη και του απομακρυσμένου τερματικού στο επίπεδο των χιλιοστών • Το ρομποτικό σύστημα απαιτεί ελάχιστη ιατρική εκπαίδευση, συμπεριλαμβανομένης της 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα συμμετεχόντων • Κίνδυνος διαρροής πληροφοριών • Το σύστημα περιορίζεται από το υλικό.

<p>χορήγησης αναισθησίας και της τομής.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν δείχνουν ότι ο ασύρματος έλεγχος είναι δυνατός 	
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Εισαγωγή νέων τεχνολογιών για την πιο αποτελεσματική επικοινωνία • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Κίνδυνος διαρροής ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων

Πίνακας 13. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Reichenbach, Frederick, Cubrich, Bircher, Bills, Morien, Farritor και Oleynikov, 2017

Tian και Juan (2017)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους • Μεγάλο δείγμα εικόνων για αναγνώριση χειρουργικών εργαλείων 	<ul style="list-style-type: none"> • Κίνδυνος διαρροής πληροφοριών

<ul style="list-style-type: none"> • Προσφέρει χαμηλή καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων • Κατέχει μεγάλο ποσοστό στην αναγνώριση των χειρουργικών εργαλείων εξ αποστάσεως 	
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας • Σχεδιασμός ενός ελεγκτή προσαρμοστικής δύναμης για να διασφαλιστεί ότι ένα εργαλείο θα παραλαμβάνεται κάθε φορά. • Να σχεδιαστεί ένα ασφαλές πρωτόκολλο παράδοσης οργάνων για μια αξιόπιστη συνεργασία ανθρώπου-μηχανής στο χειρουργικό περιβάλλον. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Κίνδυνος διαρροής ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων

Πίνακας 14. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Tian και Juan, 2017

Wirz, G. Torres, J. Swaney, Gilbert, Alterovitz, J. Webster, D. Weaver και T. Russell (2015)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους • Μικρή λανθάνουσα κατάσταση κατά την μεταφορά δεδομένων 	<ul style="list-style-type: none"> • Κίνδυνος διαρροής πληροφοριών • Μικρό δείγμα συμμετεχόντων και δοκιμών του συστήματος
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας • Σχεδιασμός σπονδυλωτών διασυνδέσεων εργαλείων παρόμοιες με το ρομπότ da Vinci, ώστε τα εργαλεία να μπορούν εύκολα να αλλάζουν κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης. • Αντιμετώπιση του προβλήματος της αποστείρωσης. • Διεξαγωγή πειραμάτων για την επικύρωση του συστήματος κατά την 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Κίνδυνος διαρροής ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων

<p>αλληλεπίδραση με τους διαλυμένους ιστούς, ενδεχομένως σε ζωικό μοντέλο, καθώς και για πρόσθετες δοκιμές πτώσης. Θα χρειαστούν μερικά χρόνια για να ολοκληρωθούν αυτές οι δοκιμές, αλλά μόλις ολοκληρωθούν θα εκτελεστεί η ανθρώπινη περίπτωση</p>	
--	--

Πίνακας 15. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Wirz, G. Torres, J. Swaney, Gilbert, Alterovitz, J. Webster, D. Weaver και T. Russell, 2015

Από τους πιο πάνω πίνακες τις ανάλυσης SWOT που εφαρμόστηκε για την κάθε έρευνα ξεχωριστά προκύπτει ότι και στις πέντε έρευνες πραγματοποιήθηκαν δοκιμές των ρομποτικών συστημάτων σε προσομοιώσεις, δηλαδή χωρίς τον ανθρώπινο παράγοντα. Η ανάλυση των ερευνών αυτών έδειξε ότι τα ρομποτικά συστήματα συμβάλλουν στην βέλτιστη αποτελεσματικότητα των χειρουργών και στην ασφάλεια των ασθενών. Ένα μειονέκτημα το οποίο παρατηρήθηκε ήταν ότι υπήρχαν χρονοβόρες διαδικασίες λόγω των διάφορων καθυστερήσεων που εφαρμόστηκαν. Τέλος, όλες θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους, τους ηθικούς κανόνες που διέπουν την έρευνα τους.

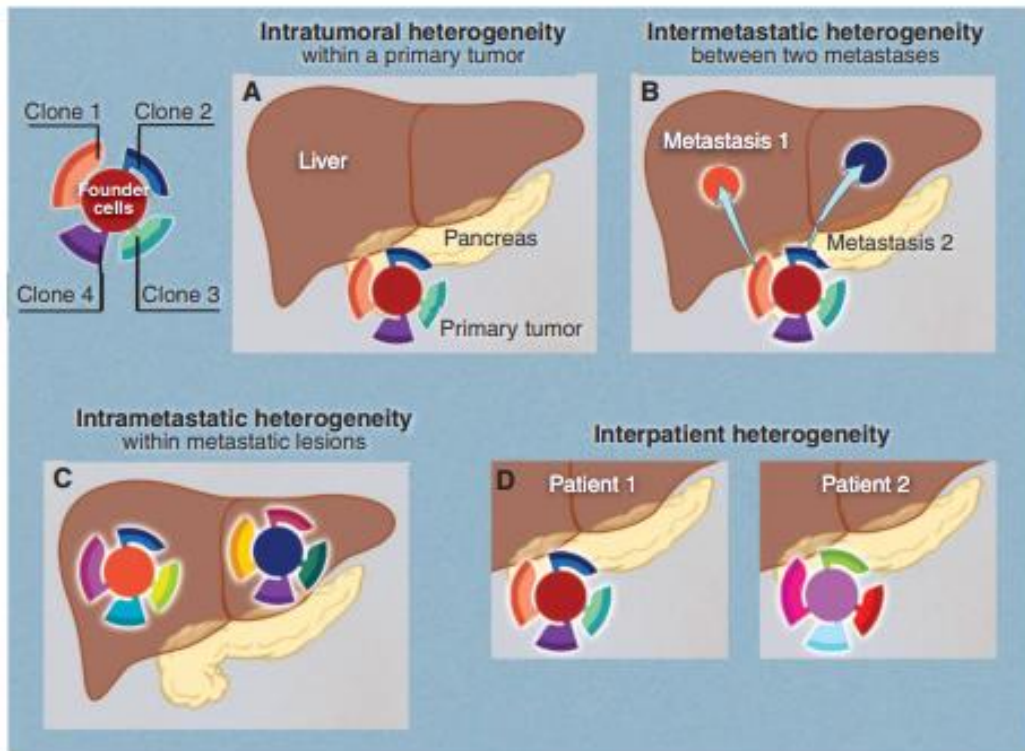
4.4. Σύγκριση των ερευνών που αναπτύσσουν τεχνικές για την καλύτερη απεικόνιση τμημάτων του σώματος για χειρουργική με καθοδήγηση εικόνας

Πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα τα οποία χρησιμεύουν στην βέλτιστη απεικόνιση τμημάτων του σώματος για την χειρουργική επέμβαση με καθοδήγηση εικόνας. Τα μοντέλα αυτά συμβάλλουν στην αποτελεσματικότητα ενός χειρουργείου με αποτέλεσμα ο ασθενής να είναι πιο ασφαλής κατά την χειρουργική επέμβαση. Επιπλέον,

χρησιμοποιώντας τα μοντέλα αυτά ο χειρουργός μπορεί να είναι πιο ακριβής στις κινήσεις του και να έχει καλύτερη οπτική αντίληψη του πεδίου το οποίο χειρουργεί.

Η έρευνα των Suárez, Cifuentes, Suárez και Salinas το 2015 παρουσιάζει ένα μοντέλο πολλαπλής ταξινόμησης ιστού εγκεφάλου σε απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (MRI). Στο συγκεκριμένο άρθρο αναπτύχθηκε μία τεχνική ταξινόμησης εγκεφάλου με την βοήθεια του MRI και με βάση τους ταξινομητές SVM. Η ταξινόμηση του εγκεφαλικού ιστού σε MRI προέρχεται από: α) διαφορετικές εντάσεις εικόνας, β) χωρική μοντελοποίηση, ή / και γ) ογκομετρική εκτίμηση. Οι ταξινομητές SVM είναι βασισμένοι στην θεωρία της στατιστικής μάθησης. Επιπλέον, οι αρθρογράφοι για την πραγματοποίηση της έρευνας προγραμματίσαν τους αλγόριθμους στην γλώσσα προγραμματισμού Matlab και η βάση των δεδομένων MRI λήφθηκε από τον προσομοιωτή BRAINWEB από το εργαστήριο BIC (Suárez and Cifuentes and Suárez and Salinas, 2015).

Επιπρόσθετα στην έρευνα τους οι Zhao, Huang Shunchun, Ramezani, Lin, Wang, Ma, Zeng, Luo, Esther de Boer, Xie, Thibodeaux, Brekken, Sun, Sumer και Gao που διεξήγαγαν το 2016 σχεδίασαν ένα νανοσκόπιο με τρανζίστορ για την ανίχνευση του μη ρυθμισμένου pH που οδηγεί σε πολλές από τις επεμβατικές ιδιότητες του καρκίνου. Η απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο των καθιερωμένων όγκων και των απόκρυφων οζιδίων σε μοντέλα ποντικών είχε ως αποτέλεσμα σημαντικά βελτιωμένη μακροχρόνια επιβίωση μετά από χειρουργική επέμβαση καρκίνου (Zhao and Huang Shunchun and Ramezani and Lin and Wang and Ma and Zeng and Luo and Esther de Boer and Xie and Thibodeaux and Brekken and Sun and Sumer and Gao, 2016).



Εικόνα 26. Τέσσερις τύποι γενετικής ετερογένειας σε όγκους, που απεικονίζονται από πρωτογενή όγκο στο πάγκρεας και μεταστατικές βλάβες στο ήπαρ

Επιπλέον, το 2016 στην έρευνα τους οι Grootendorst, Cariati, Kothari, Tuch και Purushotham παρουσιάζουν την ακτινοβολία Cerenkon (CLI) για την καλύτερη απεικόνιση των όγκων και περιγράφουν μια επισκόπηση της χρήσης CLI για χειρουργικές επεμβάσεις του καρκίνου καθοδηγούμενες από εικόνα. Η απεικόνιση φωταύγειας Cerenkon (CLI) έχει μεγάλες δυνατότητες χειρουργικής επέμβασης και παρέχει ακριβή καθορισμό των χειρουργικών περιθωρίων. Συμπερασματικά, το CLI είναι μια τεχνολογία οπτικής απεικόνισης. Οι προκλινικές μελέτες έχουν δείξει ότι η CLI μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την καθοδήγηση της χειρουργικής εκτομής των όγκων, καθώς και για την ανίχνευση καρκινικών βλαβών με τη χρήση ενδοσκοπίας φωταύγειας Cerenkon (Grootendorst and Cariati and Kothari and Tuch and Purushotham, 2016).

Τέλος στο άρθρο τους οι Evans, Olson, Cai, Fan, Paulsen, Roberts, Ji και Lollis το 2018 με την χρήση εκφυλισμένων χοίρειων σπονδύλων αξιολογούν το σφάλμα εγγραφής στόχου (TRE) δηλαδή, την ακρίβεια ενός συστήματος καθοδήγησης εικόνας στην σπονδυλική χειρουργική με την χρήση αξονικής απεικόνισης – CT και ενδοεγχειρητικής διαδικασίας

stereovision (iSV). με την χρήση εκφυλισμένων χοίρειων σπονδύλων αξιολογούν το σφάλμα εγγραφής στόχου (TRE) δηλαδή, την ακρίβεια ενός συστήματος καθοδήγησης εικόνας στην σπονδυλική χειρουργική με την χρήση αξονικής απεικόνισης – CT και ενδοεγχειρητικής διαδικασίας stereovision (iSV) (Evans and Olson and Cai and Fan and Paulsen and Roberts and Ji and Lollis, 2018).

Και οι τέσσερις έρευνες παρουσιάζουν τεχνικές και μεθόδους για την απεικόνιση των όγκων ή τμημάτων του σώματος των ασθενών για καθοδήγηση της χειρουργικής επέμβασης. Χρησιμοποιώντας τις τεχνικές αυτές ο χειρουργός μπορεί να βοηθηθεί στην διαδικασία καθορισμού των ιστών που πρέπει να αποκοπούν κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης. Οι σημερινές κλινικές τεχνικές περιλαμβάνουν υπερηχογραφία, ακτινογραφία δειγμάτων, ενδοεγχειρητική ιστολογία και κυτταρολογικές τεχνικές. Αυτές οι τεχνικές όμως δεν μπορούν να ανταποκριθούν πλήρως στην βελτίωση της χειρουργικής επέμβασης. Γι' αυτό κρίνονται αναγκαίες οι νέες τεχνικές. Όλες οι έρευνες κατέληξαν στο γεγονός ότι χρησιμοποιώντας τις νέες τεχνικές που ανέπτυξαν ο χειρουργός μπορεί να χειρουργήσει τον ασθενή με περισσότερη ακρίβεια με αποτέλεσμα να μην κινδυνεύει.

Και στις τέσσερις έρευνες για τις πειραματικές διαδικασίες συμμετείχαν έμπειροι χειρουργοί οι οποίοι έκαναν χρήση των μεθόδων αυτών. Με αυτό τον τρόπο διεξάχθηκαν τα αποτελέσματα των ερευνών τα οποία θα συγκριθούν πιο κάτω.

Η σύγκριση των τεσσάρων αυτών ερευνών πραγματοποιήθηκε μέσω επτά χαρακτηριστικών τα οποία είναι:

- Η αποτελεσματικότητα
- Η ευκολία στην χρήση
- Η χρησιμότητα
- Η Ακρίβεια
- Ορατότητα
- Αύξηση της επιβίωσης των ασθενών
- Σφάλματα κατά την απεικόνιση

Με την μορφή του παρακάτω κλάσματος

Αποτελεσματικότητα + Ευκολία χρήσης + Χρησιμότητα + Ακρίβεια + Ορατότητα +
Αύξηση της επιβίωσης των ασθενών

Σφάλματα κατά την απεικόνιση

Η αποτελεσματικότητα αφορά στο κατά πόσο οι τεχνικές βοήθησαν τους χειρουργούς να δράσουν πιο σωστά. Η ευκολία στην χρήση αφορά στο κατά πόσο οι τεχνικές μπόρεσαν να χρησιμοποιηθούν με ευκολία από τους χειρουργούς που συμμετείχαν στην έρευνα. Η παράμετρος της χρησιμότητας αποβλέπει στο κατά πόσο οι τεχνικές ήταν χρήσιμες δηλαδή βοήθησαν στην πιο αποτελεσματική εξαγωγή οποιασδήποτε χειρουργικής επέμβασης. Επιπλέον, η ακρίβεια αφορά στο κατά πόσο η τεχνική παρείχε στους χειρουργούς ακριβή απεικόνιση των τμημάτων του σώματος. Επίσης, η ορατότητα της απεικόνισης του τμήματος του σώματος αποβλέπει στο κατά πόσο ο χειρουργός μπορούσε να δει πλήρως και καθαρά το τμήμα του σώματος. Επίσης, η αύξηση της επιβίωσης των ασθενών μαρτυρά κατά πόσο επιβίωσαν οι ασθενείς μετά την χειρουργική επέμβαση και κατά πόσο βελτιώθηκε η ασθένειά τους. Τέλος, τα σφάλματα κατά την απεικόνιση περιλαμβάνουν τον αριθμό των σφαλμάτων που προέκυψαν.

	Suárez, Cifuentes, Suárez και Salinas, 2015	Zhao, Huang Shunchun, Ramezani, Lin, Wang, Ma, Zeng, Luo, Esther de Boer, Xie, Thibodeaux, Brekken, Sun, Sumer και Gao 2016	Grootendorst, Cariati, Kothari, Tuch και Purushotham 2016	Evans, Olson, Cai, Fan, Paulsen, Roberts, Ji και Lollis, 2018
Αποτελεσματικότητα %	95%	95%	98%	95%
Ευκολία στην χρήση %	90%	95%	90%	95%
Χρησιμότητα %	100%	100%	100%	100%
Ακρίβεια %	95%	93%	98%	95%
Ορατότητα %	95%	-	95%	-
Αύξηση της επιβίωσης των ασθενών %	70%	75%	80%	60%
Σφάλματα κατά την απεικόνιση %	15%	10%	5%	10%
Σύνολο	36,333	45,8	11,22	44,5

Πίνακας 16. Σύγκριση ερευνών που αναπτύσσουν τεχνικές για την καλύτερη απεικόνιση τμημάτων του σώματος για χειρουργική επέμβαση με καθοδήγηση εικόνας

Από τον πίνακα μπορούμε να δούμε ότι όλα τα συστήματα είναι πλήρως χρήσιμα, δηλαδή βοηθούν τους χειρουργούς στην καλύτερη ορατότητα των τμημάτων του σώματος. Έτσι μειώνεται η πιθανότητα διεξαγωγής λάθους από τον χειρουργό. Επιπλέον, είναι φανερό ότι τα λιγότερα σφάλματα προέκυψαν στην τεχνική των Grootendorst, Cariati, Kothari, Tuch και Purgushotham οι οποίοι χρησιμοποίησαν την ακτινοβολία Cerenkov (CLI). Όλες οι τεχνικές απεικόνισης που ανέπτυξαν οι έρευνες έχουν ψηλά ποσοστά αποτελεσματικότητας, χρησιμότητας, ακρίβειας και ορατότητας. Τέλος, όλες οι έρευνες κατέχουν σχετικά ψηλό ποσοστό στην αύξηση της επιβίωσης των ασθενών μετά από την χειρουργική επέμβαση.

Παρακάτω παρουσιάζεται SWOT ανάλυση για την κάθε έρευνα στην οποία μελετώνται τα δυνατά (Strengths) τους σημεία, οι αδυναμίες τους (Weaknesses) καθώς και οι ευκαιρίες τους (Opportunities) που προκύπτουν από αυτές, αλλά και οι απειλές (Threats) που μπορεί να υπάρχουν.

Suárez, Cifuentes, Suárez και Salinas (2015)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους • Παρέχει εργαλεία για την επίτευξη ακρίβειας και μειωμένους χρόνους εκτέλεσης • Μεγάλος αριθμός δειγμάτων • Ο ταξινομητής έχει εκπαιδευτεί σε ιδανικές συνθήκες. Οι δοκιμές εκτελούνται με χαμηλό επίπεδο θορύβου και ένταση μη ομοιομορφίας. Οι συνθήκες αυτές ισοδυναμούν με τις καλύτερες συνθήκες που επικρατούν στη δημιουργία πραγματικών εικόνων. • Επιτρέπει τον έλεγχο σφαλμάτων 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα συμμετεχόντων
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Κίνδυνος διαρροής ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων

<p>περισσότερων επαγγελματιών υγείας</p> <ul style="list-style-type: none"> • Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ενδοκρανιακοί ιστοί που γειτνιάζουν με τα οστά (μυελός των οστών και συνδετικός ιστός) προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση του ταξινομητή • Δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων ανατομικών δομών για εικονική πλοήγηση. 	
--	--

Πίνακας 17. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Suárez, Cifuentes, Suárez και Salinas, 2015

Zhao, Huang Shunchun, Ramezani, Lin, Wang, Ma, Zeng, Luo, Esther de Boer, Xie, Thibodeaux, Brekken, Sun, Sumer και Gao (2016)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους • Πραγματοποίησαν σε πραγματικό χρόνο χειρουργική επέμβαση σε ποντίκια που είχαν όγκο στο κεφάλι. • Μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια της ανίχνευσης, παρακολούθησης και θεραπείας του καρκίνου. 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα συμμετεχόντων

<ul style="list-style-type: none"> • Σημαντικά βελτιωμένη μακροχρόνια επιβίωση μετά από χειρουργική επέμβαση καρκίνου. • Μπόρεσε να οριοθετήσει τα περιθώρια του όγκου σε χωρικές αναλύσεις • Ο υπολειμματικός όγκος ήταν ορατός χρησιμοποιώντας την κάμερα 	
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Κίνδυνος διαρροής ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων

Πίνακας 18. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Zhao, Huang Shunchun, Ramezani, Lin, Wang, Ma, Zeng, Luo, Esther de Boer, Xie, Thibodeaux, Brekken, Sun, Sumer και Gao, 2016

Grootendorst, Cariati, Kothari, Tuch και Purushotham (2016)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους • Οι εικόνες CLI μπορούν να αποκτηθούν με κλινικώς εγκεκριμένα ραδιοφαρμακευτικά 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα συμμετεχόντων • Δεν υπάρχουν εξελιγμένες βελτιώσεις στην ευαισθησία ανίχνευσης • Η υψηλή απορρόφηση και διασκορπισμός των συχνοτήτων στον βιολογικό ιστό εμποδίζει την ανίχνευση

<p>φάρμακα που έχουν εγκριθεί κλινικά και έχουν χρησιμοποιηθεί για περισσότερες από δύο δεκαετίες στη μοριακή ιατρική απεικόνιση. Αυτό παρέχει μεγάλη δυνατότητα για γρήγορη μετάφραση του CLI στην κλινική πρακτική</p> <ul style="list-style-type: none">• Η δυνατότητα χρήσης κλινικώς εγκεκριμένων ειδικών για τον όγκο ιχνηθετών• Το CLI μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την καθοδήγηση της χειρουργικής εκτομής των όγκων και των λεμφογαγγλίων, καθώς και για την ανίχνευση καρκινικών βλαβών με τη χρήση ενδοσκοπίας φωταύγειας Cerenkon.• Μικρός χρόνος απεικόνισης• Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης του CLI σε μια ενδοσκοπική ρύθμιση είναι ότι αυτές χρησιμοποιούν ανατομικούς σκούρους θαλάμους, έτσι ώστε να μην υπάρχει παρεμβολή από εξωτερικές πηγές φωτός. Εκτός αυτού, η τεχνολογία	<p>και τον ποσοτικό προσδιορισμό CLI.</p>
---	---

<p>αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλους τύπους ενδοσκοπίων, όπως βρογχοσκόπιο ή υστεροσκόπιο</p>	
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας • Θα μπορούσαν να υπάρξουν βελτιώσεις στην ευαισθησία ανίχνευσης οι οποίες μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας πιο εξειδικευμένο οπτικό σύστημα και πιο ευαίσθητους ανιχνευτές • Βελτιώσεις στην ευαισθησία μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση κάμερας • Μια άλλη ενδιαφέρουσα εξέλιξη στον τομέα του CLI είναι η απόκτηση τρισδιάστατων (3D) εικόνων μέσω της τομογραφίας Cerenkov luminescence (CLT). 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Κίνδυνος διαρροής ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων

Πίνακας 19. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Grootendorst, Cariati, Kothari, Tuch και Purushotham, 2016

Evans, Olson, Cai, Fan, Paulsen, Roberts, Ji και Lollis (2018)	
Πλεονεκτήματα (Strengths)	Μειονεκτήματα (Weaknesses)
<ul style="list-style-type: none"> • Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν πλήρως για τον σκοπό της έρευνας και έδωσαν την συγκατάθεση τους • Ελαχιστοποίηση σφάλματος • Οι τιμές TRE (σφάλματα απεικόνισης) αξιολογήθηκαν για ποικίλους βαθμούς απομάκρυνσης μαλακού ιστού και οστού • Η ανοχή του αλγορίθμου καταχώρισης αποδείχθηκε επαρκώς ευρεία ώστε να καταστεί δυνατή η καταχώριση με τις υπόλοιπες οστέινες δομές: πλευρικά φύλλα, αρθρώσεις εκτάσεως και εγκάρσιες διεργασίες. • Παροχή ψηλής ακρίβειας 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα συμμετεχόντων • Το μήκος μιας τομής και του σώματος ενός ασθενούς μπορεί να περιορίσει την οπτική επαφή και έτσι να περιορίσει την απόκτηση δεδομένων επιφανείας.
Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)
<ul style="list-style-type: none"> • Συμμετοχή του κράτους σε τέτοιου είδους έρευνες μέσω επιχορηγήσεων • Μεγαλύτερης κλίμακας έρευνες με την συμμετοχή περισσότερων επαγγελματιών υγείας • η στερεοϊσοδυναμία θα αποδειχθεί πολύτιμη 	<ul style="list-style-type: none"> • Ηθικοί κανόνες που διέπουν την έρευνα • Κίνδυνος διαρροής ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων

<p>προσθήκη σε αυτόν τον τομέα, παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την ενδοεγχειρητική θέση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διόρθωση των αλλαγών στη σπονδυλική στάση.</p>	
---	--

Πίνακας 20. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Evans, Olson, Cai, Fan, Paulsen, Roberts, Ji και Lollis, 2018

Από τους πιο πάνω πίνακες τις ανάλυσης SWOT που εφαρμόστηκε για την κάθε έρευνα ξεχωριστά προκύπτει ότι και στις πέντε έρευνες παρέχεται μεγάλη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα στην απεικόνιση των τμημάτων του σώματος. Επιπλέον, σε όλες τις έρευνες θα μπορούσαν να προσελκύσουν περισσότερους χειρουργούς. Τέλος, όλες θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους, τους ηθικούς κανόνες που διέπουν την έρευνα τους.

Κεφάλαιο 5

Επίλογος – Συμπεράσματα

Τα τελευταία χρόνια οι εφαρμογές ρομποτικής στην τηλεχειρουργική έχουν παρουσιάσει εξέλιξη σε μεγάλο βαθμό και έχουν κερδίσει την προσοχή των ερευνητών οι οποίοι θέλουν να τις εντάξουν στον χώρο της υγείας. Με την ένταξη τους στον χώρο της υγείας θα διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητά τους κατά την διάρκεια ενός χειρουργείου, στην διαχείριση της υγείας των ασθενών και των ασθενειών αλλά και στην εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας στην διεξαγωγή χειρουργικών επεμβάσεων χρησιμοποιώντας εικονική πραγματικότητα.

Διασχίζοντας την τελευταία δεκαετία η ρομποτική χειρουργική αποδείχθηκε σπουδαία εξέλιξη. Ειδικότερα, σε ορισμένες εφαρμογές όπως ουρολογία και γυναικολογία έχει αντικαταστήσει τις παραδοσιακές μεθόδους χειρουργικής θεραπείας και έχει θέσει τα θεμέλια για βελτίωση του οργανισμού της υγειονομικής περίθαλψης. Μπορεί μέχρι στιγμής να βρίσκεται στα αρχικά στάδια της εφαρμογής της παρόλα αυτά όπου έχει εφαρμοστεί έχει αποφέρει πολλαπλά πλεονεκτήματα.

Μέσω μιας εκτενούς βιβλιογραφικής επισκόπησης η οποία πραγματοποιήθηκε, παρατηρείται ότι γίνεται προσπάθεια από τους ερευνητές για την ανάπτυξη εφαρμογών ρομποτικής τηλεχειρουργικής οι οποίες θα ενταχθούν στα χειρουργεία και θα συμβάλουν στην ομαλότερη και ευκολότερη διεξαγωγή της τηλεχειρουργικής επέμβασης. Αρκετές έρευνες δοκιμάστηκαν σε χειρουργεία διεξάγοντας την τηλεχειρουργική επέμβαση σε ζώα για να διαπιστωθεί κατά πόσο παρέχεται ασφάλεια στους ασθενείς και κατά πόσο μπορεί να βοηθήσει τους χειρουργούς να αποδώσουν καλύτερα. Τα αποτελέσματα των ερευνών δείχνουν μία σημαντική βελτίωση στην διεξαγωγή των χειρουργείων και στην απόδοση των χειρουργών καθώς και στην υγεία των ασθενών.

Στις έρευνες της ενδεικτικής βιβλιογραφίας παρουσιάζονται ρομποτικές εφαρμογές οι οποίες υλοποιούνται στην τηλεχειρουργική, έρευνες που μελετούν την καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων κατά την διάρκεια χειρουργικής επέμβασης εξ αποστάσεως και έρευνες που επισημαίνουν την βέλτιστη απεικόνιση τμημάτων του σώματος για την χειρουργική επέμβαση με καθοδήγηση εικόνας. Επίσης, αναλύονται συστήματα εικονικής πραγματικότητας και συστήματα προσομοίωσης εικονικής πραγματικότητας για την περαιτέρω εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας.

Οι έρευνες οι οποίες συγκρίθηκαν, αφορούν τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας, την καθυστέρηση μετάδοσης των δεδομένων, τα συστήματα εφαρμογών ρομποτικής χειρουργικής και την βέλτιστη απεικόνιση τμημάτων του σώματος χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους.

Συγκρίνοντας χαρακτηριστικά των ερευνών αυτών, όπως το κόστος, η αποτελεσματικότητα, η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων κ.τ.λ. και με εκτενής αναλύσεις SWOT αξιολογείται η αποτελεσματικότητα τους μέσω των πλεονεκτημάτων τους, οι αδυναμίες τους μέσω των μειονεκτημάτων τους, οι ευκαιρίες που προσφέρουν σε μεταγενέστερες έρευνες και οι απειλές από εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες. Η σύγκριση αυτή έδειξε ότι οι έρευνες παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα και όχι τόσα μειονεκτήματα.

Τέτοια συστήματα όπως αυτά συγκρίθηκαν έχουν μεγάλο κόστος για να αναπτυχθούν και να υλοποιηθούν στα χειρουργεία. Παρόλα αυτά όμως είναι πολύ χρήσιμα για την καλύτερη περίθαλψη των ασθενών γιατί προάγουν την ασφάλεια τους. Σημειώνεται ότι κρίσιμο σημείο είναι και ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων γιατί αν υπάρξει καθυστέρηση τότε μειώνεται σε μεγάλο βαθμό η απόδοση του επαγγελματία υγείας.

Τα συστήματα αυτά μπορούν να παρέχουν πολλά οφέλη τόσο στους ασθενείς όσο και στους γιατρούς. Ένα σημαντικό όφελος είναι η εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας σε συστήματα εικονικής πραγματικότητας έτσι ώστε να μειώνονται τα λάθη στα χειρουργεία και να μπορούν να αποδώσουν καλύτερα. Η νέα αυτή τεχνολογία παρέχει πολύ μεγάλη άνεση στον χειρουργό κατά την χειρουργική επέμβαση γιατί έχει την δυνατότητα να χειρουργεί καθισμένος, μέσα σε ένα προσεχτικά σχεδιασμένο και εργονομικά άριστο περιβάλλον.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην κουράζεται ο χειρουργός σε ιδιαίτερα πολύπλοκες και πολύωρες χειρουργικές επεμβάσεις. Εκτός από τα πολλά οφέλη που προσφέρει η ρομποτική τεχνολογία στους χειρουργούς, εξασφαλίζει και απίστευτα οφέλη στους ασθενείς. Ένα όφελος είναι ότι μειώνεται η απώλεια αίματος, ελαττώνεται ο μετεγχειρητικός πόνος, αυξάνεται η ασφάλεια ελαχιστοποιούνται τυχόν επιπλοκές κατά την διάρκεια του χειρουργείου, εξασφαλίζεται μικρότερος χρόνος ανάρρωσης και μειώνεται σημαντικά το κόστος για τον ασθενή.

Μελλοντικά θα ήταν χρήσιμη η ανάπτυξη περισσότερων εφαρμογών ρομποτικής τηλεχειρουργικής με έρευνες μεγαλύτερης διάρκειας και με την χρήση περισσότερων συμμετεχόντων, αφού με τις παρούσες έρευνες προκύπτουν θετικά αποτελέσματα και για τους ασθενείς και για τους επαγγελματίες υγείας. Χρήσιμο θα ήταν και η συμμετοχή των κρατών στις έρευνες μέσω χρηματοδοτήσεων.

Η Ελλάδα και η Κύπρος θα μπορούσαν να αρχίσουν να εγκαθιστούν εφαρμογές ρομποτικής χειρουργικής στα χειρουργεία και να εκσυγχρονιστούν με τα νέα δεδομένα έτσι ώστε να καταφέρουν να προσφέρουν στους ασθενείς καλύτερη υγειονομική περίθαλψη.

Βιβλιογραφία

Αγγελόπουλος Π. (2009), «Εφαρμογές Ρομποτικής στην Χειρουργική», <<http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/15390/1/DT2009-0127.pdf>>

Αλεξανδροπούλου Χ. (2016), «ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΝΟΣΗΛΕΥΤΗ», <http://library.tee.gr/digital/m2553/m2553_alexandropoulou.pdf>

Γκιόκας Κ. (2016), «Αρχές Τηλεχειρουργικής και Ρομποτικής Χειρουργικής», <<https://docplayer.gr/7957341-Arhes-tileheiroyrgikis-kai-rompotikis-heiroyrgikis.html>>

Ζαφειρομητσου Μ. και Τρίχωνα Μ. (2007), «**Εικονική Πραγματικότητα**», <http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/735/EPDO_0455.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Καζλάροφ Β. (2016), «**Υπολογιστική Όραση και Μηχανική Μάθηση για Αναγνώριση Συμβόλων Νοηματικής Γλώσσας**», Πάτρα, <<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9344/7/Kazllarof%28math%29.pdf>>

Κατσαμάγκου Δ. (2012), «Εφαρμογές της Πληροφορικής στην Ιατρική», <<http://lyk-kalyv.att.sch.gr/wp-content/uploads/2012/03/%CE%99%CE%B1%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE.pdf>>

Κούτη Ν. Μ. (2014), «**Μελέτη εργαλείων εξομοίωσης υπηρεσιών τηλεϊατρικής (e-Health)**», Θεσσαλία, <<http://www.teilar.gr/dbData/ProfAnn/profann-d91a441a.pdf>>

Παπακώστας Α. (2010), «**ΑΡΧΕΣ ΤΗΛΕΪΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΤΗΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΙΑΤΡΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ**»,

<<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/sefe/hlk/2010/PapakostasAleksandros/attached-document-1274435411-75342-27268/2010papakostas.pdf>>

Παρασκευοπούλου Σ. Ε. (2010), «**Εισαγωγή Στη Ρομποτική Χειρουργική Και Την Τηλεχειρουργική**», Αθήνα,

<<http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/15159>>

Τζαγκαράκη Μ. (2017), «**Εικονική Πραγματικότητα**», Ηράκλειο,

<https://www.academia.edu/35354545/%CE%95%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%A0%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1>

Φούρκα Ν. (2009), «ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ», <[http://7gym-](http://7gym-kerats.att.sch.gr/Menu/Articles/Medical/RoboticSurgery/RoboticSurgery.html)

[kerats.att.sch.gr/Menu/Articles/Medical/RoboticSurgery/RoboticSurgery.html](http://7gym-kerats.att.sch.gr/Menu/Articles/Medical/RoboticSurgery/RoboticSurgery.html)>

Φουρλάς Γ. (2008), «**Μελέτη εφαρμογών ρομποτικής στη Ιατρική**», Λαμία,

<http://ir.lib.uth.gr/bitstream/handle/11615/37283/GL_lib-exact_0001.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Andersen D. and Popescu V. and Cabrera M. E. and Shanghavi A. and Gomez G. and Marley S. and Mullis B. and Wachs J. (2016), «**Virtual annotations of the surgical field through an augmented reality transparent display**»

Chen F. and Liu J. and Liao H. (2018), «**Image Guided and Robot Assisted Precision Surgery**»

Christopher Davis M. And Can D. and Pindrik J. and G.Rocque B. and M. Johnston B. (2016), «**Virtual Interactive Presence in Global Surgical Education: International Collaboration Through Augmented Reality**»

D'Auria D. and Persia F. (2017), «**A Collaborative Robotic Cyber Physical System for Surgery Applications**», San Diego, CA, USA

Eadie L. and Seifalian A. and Davidson B. (2003), « Telemedicine in surgery »

Evans L. and Olson J. and Cai Y. and Fan X. and Paulsen K. and Roberts D. and Ji S. and Lollis S. (2018), «**Stereovision Co-Registration in Image-Guided Spinal Surgery: Accuracy Assessment Using Explanted Porcine Spines**»

Fiorini P. (2009), « Robotic Surgery: Past Results and Current Developments», Iasi, Romania

Fujii K. and Salerno A. and Sriskandarajah K. and Kwok K. and Shetty K. and Yang G. (2013), «Gaze contingent cartesian control of a robotic arm for laparoscopic surgery», Tokyo, Japan

Grootendorst M. R. and Cariati M. and Kothari A. and Tuch D. S. and Purushotham A. (2016), «**Cerenkov luminescence imaging (CLI) for image-guided cancer surgery**»

Hamacher A. and Su Jin K. and Tae Cho S. and Pardeshi S. and Hyun Lee S. and Jong Eun S. and Keun Whangbo T. (2016), «**Application of Virtual, Augmented, and Mixed Reality to Urology**»

Hyun H. And Henary M. and Gao T. and Narayana L. and A. Owens E. and Heon Lee J. and Park G. and Wada H. and Ashitate Y. and V. Frangioni J. and Soo Choi H. (2016), «**700-nm Zwitterionic Near-Infrared Fluorophores for Dual-Channel Image-Guided Surgery**»

Johnston M. and Riofrio J. and Gettens R. (2014), «Robotic surgery simulator support, vision system and test subject», Boston, MA, USA

Kovács L. and Haidegger T. and Rudas I. (2013), « Surgery from a distance—Application of intelligent control for telemedicine», Herl'any, Slovakia

Kurbegovic S. and Juhl K. and Chen H. and Qu C. and Ding B. and Maja Leth J. and Tadeusz Drzewiecki K. and Kjaer A. and Cheng Z. (2018), «**Molecular Targeted NIR-II Probe for Image-Guided Brain Tumor Surgery**»

Lévêque L. and Liu H. and Baraković S. and Baraković Husić J. and Martini M. and Outtas M. and Zhang L. and Kumcu A. and Platisa L. and Rodrigues R. and Pinheiro A. and Skodras A. (2018), «**On the Subjective Assessment of the Perceived Quality of Medical Images and Videos**», Cagliari, Italy

Lévêque L. and Zhang W. and Cavarro-Ménard C. and Le Callet P. and Liu H. (2017), «**Study of Video Quality Assessment for Telesurgery**»

Maida I. and Sato H. and Toma T. and Maeno T. (2016), «**Designing the Amount of Image Delay in Tele-surgery**»

Miao Y. and Jiang Y. and Peng L. and Hossain S. and Muhammad G. (2018), «**Telesurgery Robot Based on 5G Tactile Internet**»

Morris B. (2005), «**Robotic Surgery: Applications, Limitations, and Impact on Surgical Education**»

Mylonas G. and Vitiello V. and Cundy T. and Darzi A. and Yang G. (2014), «**CYCLOPS: A versatile robotic tool for bimanual single-access and natural-orifice endoscopic surgery**», Hong Kong, China

Nosrati M. and Abugharbieh R. and Peyrat J. and Abinahed J. and Al-Alao O. and Al-Ansari A. and Hamarneh G. (2015), «**Simultaneous Multi-Structure Segmentation and 3D Nonrigid Pose Estimation in Image-Guided Robotic Surgery**»

Perez M. and Xu S. and Chauhan S. and Tanaka A. and Simpson K. and Abdul-Muhsin H. and Smith R. (2016), «**Impact of delay on telesurgical performance: study on the robotic simulator dV-Trainer**»

Pessaux P. and Diana M. and Soler L. and Piardi T. and Mutter D. and Marescaux J. (2015), «**Towards cybernetic surgery: robotic and augmented reality-assisted liver segmentectomy**»

Rosenthal E. And Warram J. and Bland K. and Kurt R Zinn K. (2016), «**The Status of Contemporary Image-Guided Modalities in Oncologic Surgery**»

Reichenbach M. and Frederick T. and Cubrich L. and Bircher W. and Bills N. and Morien M. and Farritor S. and Oleynikov D. (2017), «**Telesurgery With Miniature Robots to Leverage Surgical Expertise in Distributed Expeditionary Environments**»

Senapati S. and Advincula A. (2005), « Telemedicine and robotics: Paving the way to the globalization of surgery »

Sheptunov S. and Nakhushev R. and Yakhutlov U. and Glashev R. and Pushkar D. and Kim E. (2017), « Evaluation of the state and prospects of the development of next generation robotic surgery complexes», St. Petersburg, Russia

Song Y. and Guo S. and Yin X. and Zhang L. and Yu Wang Y. and Hirata H. and Ishihara H. (2017), «**Design and performance evaluation of a haptic interface based on MR fluids for endovascular tele-surgery**»

Stammes M. and Prevoo H. and Horst M. and Groot S. and Van de Velde C. and B. Chan A. and De Geus-Oei L. and J. K. Kuppen P. and L. Vahrmeijer A. and B. Pasquale E. and F. M. Sier C. (2017), «**Evaluation of EphA2 and EphB4 as Targets for Image-Guided Colorectal Cancer Surgery**»

Stern J. and Younge R. and Gere D. and Niemeyer G. (2017), «**Autofocus and/or Autoscaling in Telesurgery**»

Suárez B. M. and Cifuentes G. C. and Suárez J. and Salinas K. (2015), «**Brain Tissue Model Classification for Telesurgery Navigation**»

Sun Y. and Ding M. and Zeng X. and Xiao Y. and Wu H. and Zhou H. and Ding B. and Qu B. and Hou W. and Er-bu A. and Zhang Y. and Cheng Z. and Hong X. (2017), «**Novel bright-emission small-molecule NIR-II fluorophores for in vivo tumor imaging and image-guided surgery**»

Su H. and Shang W. and Li G. and Patel N. and Fischer G. (2017), «**An MRI-Guided Telesurgery System Using a Fabry-Perot Interferometry Force Sensor and a Pneumatic Haptic Device**»

Taylor R. and Menciassi A. and Fichtinger G. and Fiorini P. and Dario P. (2016), «**Medical robotics and computer-integrated surgery**»

Tamás Haidegger T. and Sándor J. and Benyó Z. (2011), «**Surgery in space: the future of robotic telesurgery**»

Tian Z. And Juan P. (2017), «**Finding a Needle in a Haystack: Recognizing Surgical Instruments through Vision and Manipulation**»

Vaucher J. and Bleuler H. (2013), «**Lifeguard for robotic surgery assistance “LIGRA”: An interactive platform centralizing information and control in robotic surgery**», Osaka, Japan

Wang Z. and Liu Z. and Ma Q. and Cheng A. and Liu Y. and Kim S. and Deguet A. and Reiter A. and Kazanzides P. and Taylor R. (2018), «**Vision-Based Calibration of Dual RCM-Based Robot Arms in Human-Robot Collaborative Minimally Invasive Surgery**»

W. L. de Geus S. and Boogerd L. and Swijnenburg R. and Mieog S. and Tummers W. and Prevoo H. and Sier C. and Morreau H. and Bonsing B. and J. H. van de Velde C. and Vahrmeijer A. and Kuppen P. (2016), «**Selecting Tumor-Specific Molecular Targets in Pancreatic Adenocarcinoma: Paving the Way for Image-Guided Pancreatic Surgery**»

Wirz R. and G. Torres L. and J. Swaney P. and Gilbert H. and Alterovitz R. and J. Webster R. and D. Weaver K. and T. Russell P. (2015), «**An Experimental Feasibility Study on Robotic Endonasal Telesurgery**»

Zhao T. and Huang G. Shunchun Y. and Ramezani S. and Lin Z. and Wang Y. and Ma X. and Zeng Z. and Luo M. and Esther de Boer and Xie X. and Thibodeaux J. and Brekken R. and Sun X. and Sumer B. and Gao J. (2016), «**A transistor-like pH nanoprobe for tumour detection and image-guided surgery**»

Παράρτημα Α

A.1. Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1. Ρομπότ ως μέρος της επιστημονικής φαντασίας.....	5
Εικόνα 2. Το πρώτο ρομπότ Puma 560.....	7
Εικόνα 3. Το ρομποτικό χειρουργικό σύστημα Da Vinci.....	12
Εικόνα 4. Δομή της απτικής διασύνδεσης στην τηλεχειρουργική του καθητηριασμού	30
Εικόνα 5. Ιατρική εκπαίδευση σε χειρουργείο εικονικής πραγματικότητας.....	54
Εικόνα 6. Συνολική εικόνα του συστήματος όπου οι σχολιασμοί της χειρουργικής επέμβασης τοποθετούνται πάνω στο χειρουργικό πεδίο χρησιμοποιώντας μια διαφανή οθόνη επαυξημένης πραγματικότητας (AR).....	59
Εικόνα 7. Βαθμοί ελευθερίας των ρομπότ. Ο βαθμός ελευθερίας του ρομπότ (Degree Of Freedom – DOF) ονομάζεται ο αριθμός των ανεξάρτητων παραμέτρων οι οποίες προσδιορίζουν την θέση ενός σώματος στον χώρο.	66
Εικόνα 8. Είσοδος και έξοδος μιας απτικής συσκευής. Οι απτικές συσκευές επιτρέπουν την επικοινωνία ανθρώπου μηχανής μέσω της αφής ανάλογα με τις κινήσεις του χρήστη.....	70
Εικόνα 9. Δίκτυο ISDN. Συμβάλει στην επιτυχή αποστολή εικόνων, βίντεο και επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο.....	71
Εικόνα 10. Δίκτυο ADSL. Προσφέρει μεγάλες ταχύτητες πρόσβασης στο διαδίκτυο ή σε οποιοδήποτε άλλο δίκτυο.....	72
Εικόνα 11. ATM Network.....	73
Εικόνα 12. Επικοινωνία δύο σημείων (Παρασκευοπούλου, 2010). Δηλαδή, μέθοδος μετάδοσης δεδομένων και πληροφοριών.....	75
Εικόνα 13. Κανάλια επικοινωνίας μεταγωγής πακέτου (Παρασκευοπούλου, 2010).....	76
Εικόνα 14. Γενικό Διάγραμμα χρήσης της εικονικής πραγματικότητας.....	85

Εικόνα 15. Διάγραμμα δεδομένων αλληλεπίδρασης χειρουργού – ρομπότ κατά την διάρκεια διαδικασίας της τηλεχειρουργικής με την χρήση ρομπότ.....	93
Εικόνα 16. Εγκατάσταση τοπικών και απομακρυσμένων σταθμών. Ο τοπικός σταθμός απεικονίζεται στα αριστερά, ενώ ο απομακρυσμένος σταθμός εμφανίζεται στα δεξιά (Christopher Davis And Can and Pindrik and G.Rocque and M. Johnston, 2016).....	96
Εικόνα 17. Συνολική εικόνα του συστήματος εισάγοντας σχολιασμούς με χρήση διαφανούς οθόνης.....	97
Εικόνα 18. Μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα μέτρησης της καθυστέρησης της μετάδοσης δεδομένων.....	106
Εικόνα 19. Αρχιτεκτονική συστήματος του συστήματος τηλεχειρισμού master-slave.....	115
Εικόνα 20. Απαιτήσεις επικοινωνίας ενός ρομπότ τηλεχειρισμού για το 5G tactile Internet.....	116
Εικόνα 21. Η ροή δεδομένων της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής στην τηλεχειρουργική.....	116
Εικόνα 22. Δομικό διάγραμμα της τηλεχειριζόμενης πλατφόρμας.....	117
Εικόνα 23. Στα αριστερά είναι το απομακρυσμένο ρομπότ που δημιούργησαν και στα δεξιά η πλατφόρμα χειρισμού του ρομπότ.....	117
Εικόνα 24. Αρχιτεκτονική του συστήματος εντοπισμού χειρουργικών εργαλείων.....	118
Εικόνα 25. Απεικόνιση της πειραματικής εγκατάστασης του τηλεχειρισμού των χειρουργικών εργαλείων σε μεγάλες αποστάσεις για τη χειρουργική επέμβαση του κρανίου	119
Εικόνα 26. Τέσσερις τύποι γενετικής ετερογένειας σε όγκους, που απεικονίζονται από πρωτογενή όγκο στο πάγκρεας και μεταστατικές βλάβες στο ήπαρ.....	130

A.1. Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1. Οι βασικότερες συσκευές εικονικής πραγματικότητας.....	80
Πίνακας 2. Σύγκριση συστημάτων εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας.....	99
Πίνακας 3. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Christopher, Pindrik, Rocque, Johnston.....	102

Πίνακας 4. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Andersen, Popescu, Cabrera, Shanghavi, Gomez, Marley, Mullis, Wachs, 2016.....	103
Πίνακας 5. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Pessaux, Diana, Soler, Piardi, Mutter, Marescaux, 2015.....	105
Πίνακας 6. Σύγκριση ερευνών που μελετούν την καθυστέρηση μετάδοσης δεδομένων.....	108
Πίνακας 7. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Maida, Sato, Toma και Maeno, 2016.....	110
Πίνακας 8. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Lénêque, Zhang, Cavaro-Ménard, Le Callet και Liu, 2017.....	112
Πίνακας 9. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Perez, Xu, Chauhan, Tanaka, Simpson, Abdul-Muhsin και Smith, 2016.....	113
Πίνακας 10. Σύγκριση ερευνών που αναπτύσσουν εφαρμογές τηλεχειρουργικής με την χρήση ρομπότ.....	121
Πίνακας 11. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Su, Shang, Li, Patel και Fischer, 2017.....	122
Πίνακας 12. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Miao, Jiang, Peng, Hossain και Muhammad, 2018.....	124
Πίνακας 13. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Reichenbach, Frederick, Cubrich, Bircher, Bills, Morien, Farritor και Oleynikon, 2017.....	125
Πίνακας 14. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Tian και Juan, 2017.....	127
Πίνακας 15. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Wirz, G. Torres, J. Swaney, Gilbert, Alterovitz, J. Webster, D. Weaver και T. Russell, 2015.....	128
Πίνακας 16. Σύγκριση ερευνών που αναπτύσσουν τεχνικές για την καλύτερη απεικόνιση τμημάτων του σώματος για χειρουργική επέμβαση με καθοδήγηση εικόνας.....	133
Πίνακας 17. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Suárez, Cifuentes, Suárez και Salinas, 2015.....	135
Πίνακας 18. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Zhao, Huang Shunchun, Ramezani, Lin, Wang, Ma, Zeng, Luo, Esther de Boer, Xie, Thibodeaux, Brekken, Sun, Sumer και Gao, 2016.....	136
Πίνακας 19. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Grootendorst, Cariati, Kothari, Tuch και Purushotham, 2016.....	139
Πίνακας 20. Ανάλυση SWOT της έρευνας των Evans, Olson, Cai, Fan, Paulsen, Roberts, Ji και Lollis, 2018.....	140