# Δυνατότητες και εφαρμογές της ρομποτικής χειρουργικής στη Στοματική και Γναθοπροσωπική Χειρουργική. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Δημήτριος ΒΟΛΑΚΟΣ[1], Φώτιος ΤΖΕΡΜΠΟΣ[2]

*Κλινική Στοματικής και Γναθοπροσωπικής Χειρουργικής Οδοντιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ*
*(Διευθυντής: Καθηγητής Ι. Ιατρού)*

# Potentials and applications of robotic surgery in Oral and Maxillofacial Surgery. A literature review

Dimitrios VOLAKOS, Fotios TZERMPOS

*Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Dental School, University of Athens. Greece.*
*(Head: Professor I. Iatrou)*

*Βιβλιογραφική ανασκόπηση*
*Literature review*

***ΠΕΡΙΛΗΨΗ:*** Η ρομποτική χειρουργική μπορεί να χαρακτηριστεί ως η τελευταία εξέλιξη στον τομέα της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής, ακολουθώντας τη λαπαροσκοπική χειρουργική προσέγγιση.
Από την πρώτη της κλινική δοκιμή το 1985, έχει διανυθεί μεγάλη απόσταση. Σήμερα, χρησιμοποιείται επιτυχώς σε αρκετές χειρουργικές ειδικότητες, όπως η Ουρολογία, η Ορθοπεδική Χειρουργική, η Καρδιοχειρουργική και η Στοματική και Γναθοπροσωπική Χειρουργική (ΣΓΠΧ).
Σκοπός της βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι η παρουσίαση των εφαρμογών και δυνατοτήτων της ρομποτικής στη χειρουργική και ειδικότερα στη ΣΓΠΧ, καθώς και των πλεονεκτημάτων, μειονεκτημάτων αλλά και περιορισμών στην κλινική της εφαρμογή.

***ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:*** ρομποτική χειρουργική, ελάχιστα επεμβατική Χειρουργική, Στοματική και Γναθοπροσωπική Χειρουργική.

***SUMMARY:*** Robotic surgery can be described as the latest advance in minimally invasive surgery, following the laparoscopic surgical approach.
Since its first clinical trial in 1985, many steps have been taken. Nowadays, it is used successfully in many surgical disciplines, such as Urology, Orthopedic Surgery, Cardiothoracic Surgery, Oral and Maxillofacial Surgery (OMFS).
The aim of this literature review is to present generally in surgery and more precisely in OMFS the applications of robotics and also present its potential for future use in the field.

***KEY WORDS:*** robotic surgery, minimally invasive surgery, Oral and Maxillofacial Surgery.

[1]*Οδοντίατρος*
[2]*Επίκουρος Καθηγητής ΣΓΠΧ Οδοντιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ*

*Παρελήφθη: 18/12/2013 - Έγινε δεκτή: 8/5/2014*

*Paper received: 18/12/2013 - Accepted: 8/5/2014*

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεγαλύτερη διαχρονικά πρόκληση της Χειρουργικής είναι η ανακάλυψη νέων τεχνικών, που να αποδεικνύονται αποτελεσματικότερες των προγενέστερων στον έλεγχο των παθολογικών καταστάσεων και ταυτοχρόνως λιγότερο επεμβατικές, διατηρώντας όσο το δυνατόν περισσότερα όργανα και λειτουργίες του ασθενούς ανέπαφα. Επιπρόσθετα, υφίσταται το πάντα επίκαιρο αίτημα για διατήρηση της αισθητικής, ιδίως σε επεμβάσεις στην περιοχή του προσώπου αλλά και η ανάγκη εύρεσης χειρουργικών τεχνικών, των οποίων η εφαρμογή να είναι αρκούντως ανεκτή από τον ασθενή. Η προσπάθεια να καλυφθούν αυτές οι απαιτήσεις οδήγησε στα τέλη της δεκαετίας του '90 στη μετάβαση από την παραδοσιακή, «ανοικτή» χειρουργική στην ελάχιστα επεμβατική χειρουργική και στην εξάπλωση της λαπαροσκοπικής προσέγγισης. Η σύγχρονη εκδοχή της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής είναι η ρομποτική χειρουργική. Η προσέγγιση αυτή έχει αξιοποιηθεί επιτυχώς στην ουρολογία (NG και συν. 1993, Davies και συν. 1996), σε βιοψίες (Stoianovici, 2000, Kronreif και Fürst, 2002, Felden και συν. 2002, Kronreif και συν. 2003), στην ενδοσκοπία- λαπαροσκοπία (Finlay και Ornstein, 1995, Taylor και συν. 1995, Sackier και Wang, 1996), στην ορθοπεδική (Taylor και συν. 1996, Kienzle και συν. 1996, Taylor και συν. 1999, Jacopec και συν. 2001), στην καρδιοχειρουργική (Reichenspurner και συν. 1999 και 2000, Schneider και συν. 2000, Mohr και συν. 2001) και αλλού.

**Σκοπός** της εργασίας αυτής είναι η ανασκόπηση των εφαρμογών της ρομποτικής χειρουργικής τόσο συνολικά όσο και ειδικά στη Στοματική και Γναθοπροσωπική Χειρουργική (ΣΓΠΧ) και η παρουσίαση των δυνατοτήτων που αυτή εμφανίζει προς μελλοντική χρήση.

### Το χειρουργικό ρομπότ

Η επιθυμία του ανθρώπου να κατασκευάσει τεχνητά, μηχανικά όντα ανάγεται στην αρχαιότητα. Στην ελληνική μυθολογία συναντούμε τον Τάλω, ένα χάλκινο γίγαντα, δημιούργημα του Ήφαιστου, ο οποίος -κατ' εντολή του Δία- προστάτευε τα παράλια της Κρήτης. Ο όρος ρομπότ αποδίδεται στον Τσέχο θεατρικό συγγραφέα Karel Capek και πρωτοεμφανίστηκε σε έργο του ιδίου, με τίτλο Rosumovi Universalni Roboti (Rossum's Universal Robots), το 1921. Εκεί περιγράφεται ένα μηχανικό κατασκεύασμα με το όνομα robot, από την τσέχικη λέξη robota, που σημαίνει την καταναγκαστική εργασία (Parmar και συν. 2010, Valero και συν. 2011). Ο όρος ρομποτική χρησιμοποιήθηκε αργότερα, το 1942, από το Ρώσο συγγραφέα επιστημονικής φαντασίας Isaac Asimov.

Σήμερα, η ρομποτική είναι ένας σύγχρονος τεχνολογικός κλάδος της αυτοματοποίησης. Οι βασικότεροι ορισμοί για το ρομπότ είναι οι εξής:

1. Επαναπρογραμματιζόμενος βραχίονας πολλαπλών λειτουργιών, σχεδιασμένος για να κινεί τμήματα, υλικά, εργαλεία ή ειδικά συστήματα μέσω ποικίλων προγραμματισμένων κινήσεων, για την επίτευξη διάφορων ερ-

## INTRODUCTION

The greatest unfading challenge in the field of surgery is the discovery of new techniques, which can prove to be more efficient regarding the control of pathological situations and less invasive at the same time, maintaining, as many as possible of the organs and natural functions of the surgical patient, intact. Furthermore, the always contemporary demand for preserving the aesthetics exists, mainly in procedures in the face region, along with the need for new techniques, the application of which is better tolerable by the patients. The effort to cover these demands led at the end of the 90's to the transition from conventional "open" surgery to minimally invasive surgery and the spread of laparoscopic approach. The modern version of minimally invasive surgery is robotic surgery, which has been used successfully in urology (NG et al. 1993, Davies et al. 1996), in biopsies (Stoianovici, 2000, Kronreif and Fürst, 2002, Felden et al. 2002, Kronreif et al. 2003), in endoscopy-laparoscopy (Finlay and Ornstein, 1995, Taylor et al. 1995, Sackierand Wang, 1996), in orthopedics (Taylor et al. 1996, Kienzle et al. 1996, Taylor et al. 1999, Jacopec et al. 2001), in cardio surgery (Reichenspurner et al. 1999 and 2000, Schneider et al. 2000, Mohr et al. 2001) etc.

**The aim** of the present paper is to review the applications of robotics generally in surgery and more precisely in Oral and Maxillofacial Surgery (OMFS) and also present its potential for future use in the field.

### The surgical robot

The human desire for making artificial, mechanical creatures is dated back to ancient times. In Greek Mythology we find Talos, a copper giant created by the god Hephaestus and ordered by Zeus to protect the coasts of the island of Crete. The term robot is attributed to the theatrical writer Karel Capek and it first appears in his play by the title Rosumovi Universalni Roboti (Rossum's Universal Robots), in 1921. In this play, a mechanical creature is described and named robot, deriving from the Czech word robota, which means the compulsive labor (Parmar et al. 2010, Valero et al. 2011). The term robotics is used later, in 1942, by the Russian science fiction writer Isaac Asimov.

Nowadays, robotics is a modern technological branch of automation. The basic definitions of robot are the following:

1. A reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move materials, parts, tools or specialized devices through various programmed functions for the performance of a variety of tasks (Robot Institute of America).
2. A real or imaginary machine that is controlled by a computer and is often made to look like a human (or animal).
3. A machine that can do the work of a person and

γασιών (Ινστιτούτο Ρομποτικής της Αμερικής).
2. Υπαρκτή ή φανταστική μηχανή, που ελέγχεται μέσω υπολογιστή και συχνά κατασκευάζεται, ώστε να ομοιάζει με άνθρωπο ή ζώο.
3. Μηχανή που μπορεί να κάνει τη δουλειά ανθρώπου και λειτουργεί αυτόματα ή ελέγχεται από υπολογιστή (Λεξικό Webster).

Η αξιοποίηση των ρομποτικών συστημάτων ακολουθεί κυρίως τον πρώτο ορισμό και η χρήση τους εδραιώνεται αρχικά στη βιομηχανία και επεκτείνεται σε πιο σύνθετες εργασίες, όπως η συλλογή ερευνητικών δεδομένων σε αντίξοες συνθήκες (διάστημα, βυθός).

Τα πρώτα βήματα στην ανάπτυξη της ρομποτικής χειρουργικής σχετίζονται άμεσα με την εμφάνιση της ελάχιστα επεμβατικής χειρουργικής προσέγγισης, καθώς η λαπαροσκοπία εξαπλώνεται ραγδαία λόγω των εμφανών πλεονεκτημάτων της έναντι της συμβατικής χειρουργικής. Με τη λαπαροσκοπία οι τομές είναι πιο περιορισμένες, η απώλεια αίματος μικρότερη, η ανάρρωση ταχύτερη, η νοσηλεία συντομότερη, η πιθανότητα εμφάνισης επιπλοκών μικρότερη ενώ αισθητικά το αποτέλεσμα είναι καλύτερο (Holsinger και συν. 2010, Maan και συν. 2012). Όμως, γίνεται σύντομα αντιληπτό ότι εμφανίζει κι αυτή ορισμένα βασικά μειονεκτήματα που αφορούν αφενός στην δισδιάστατη απεικόνιση με συνέπεια την απώλεια της αίσθησης του βάθους και αφετέρου στην αλλοίωση της φυσικής ικανότητας συντονισμού χεριού-ματιού, εξαιτίας του φαινομένου του υπομοχλίου, όπου κάθε κίνηση του χειρουργού αντιστρέφεται.

Η ρομποτική χειρουργική προκύπτει ως εξέλιξη στην ελάχιστα επεμβατική χειρουργική, για να υπερβεί τα μειονεκτήματα της λαπαροσκοπικής προσέγγισης (Lafranco και συν. 2004). Οι πρώτες ερευνητικές προσπάθειες τοποθετούνται στο δεύτερο ήμισυ της δεκαετίας του '80. Είχαν στόχο την αξιοποίηση των δυνατοτήτων της εικονικής πραγματικότητας για τη διενέργεια χειρουργικών επεμβάσεων με τηλεπαρουσία. Το όραμα του αμερικανικού στρατού για εφαρμογή στο πεδίο της μάχης δεν πραγματοποιήθηκε, αλλά τέθηκαν τα θεμέλια της ρομποτικής χειρουργικής (Gourin και Terris, 2004, Lafranco και συν. 2004, Park και συν. 2013).

Στις 11 Απριλίου του 1985, ο Dr. Yik San Kwoh και οι συνεργάτες του πραγματοποίησαν την πρώτη κλινική δοκιμή ρομποτικής χειρουργικής, με το σύστημα PUMA 560 (Programmable Universal Machine for Assembly), το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον προσανατολισμό μίας βελόνης στερεοτακτικής βιοψίας, σε εγκέφαλο 52χρονου άνδρα (Kwoh και συν. 1985, Young, 1987, Drake και συν. 1991). Το 1993 αναπτύσσεται το σύστημα AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning) της Computer Motion Inc., το οποίο χειρίζεται μία ενδοσκοπική κάμερα, που μετακινείται όχι μόνο χειροκίνητα, αλλά και με φωνητικές εντολές από το χειρουργό (Sackier και Wang, 1994). Ακολουθεί η Intuitive Systems, με το σύστημα SRITelepresence Surgery System, το οποίο μετεξελίχθηκε στο πιο διαδεδομένο παγκοσμίως σύστημα ρομποτικής χειρουργικής, το daVinci

works automatically or is controlled by a computer (Webster Dictionary).

The use of robotic systems mostly follows the first definition and gets established in industry, expanding in more complex tasks, such as the collection of research data under difficult circumstances (space, sea depths).

The first steps in the development of robotic surgery are directly related to the appearance of minimally invasive surgery, as laparoscopy spreads fast due to its obvious advantages against conventional surgery: smaller incisions, better esthetic outcome, less blood loss, faster recuperation-less hospitalization, lower chance of implications (Holsinger et al. 2010, Maan et al. 2012). However, it was soon realized that laparoscopy has disadvantages as well: two-dimensional imaging results in the loss of the sense of depth and the capability of natural coordination between hand and eye is impacted, due to a phenomenon known as the "fulcrum effect", where every move of the surgeon is reversed. Thus, robotic surgery occurs as a development in minimally invasive surgery, in order to surpass the disadvantages of laparoscopic approach (Lafranco et al. 2004).

The first research efforts are placed from the middle until the end of the 80's. The goal was to exploit the potentials of virtual reality, so as to perform surgical procedures by telepresence. The American Army's vision of applying this in the battlefield was never accomplished, but the foundations of robotic surgery had been set (Gourinand Terris, 2004, Lafranco et al. 2004, Park et al. 2013).

In April 11, 1985, Yik San Kwoh et al. performed the first clinical trial of robotic surgery, using the PUMA 560 system (Programmable Universal Machine for Assembly). PUMA 560 was used for the orientation of a stereotactic biopsy needle, targeting the brain of a 52 year old male (Kwoh et al. 1985, Young, 1987, Drake et al. 1991). In 1993, the system AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning) was developed by Computer Motion Inc., which manipulated an endoscopic camera that can be moved not only manually, but also by voice command from the surgeon (Sackier and Wang, 1994). Intuitive Systems followed, developing the SRI Telepresence Surgery System, which evolved to the most popular system of robotic surgery globally, the Da Vinci Surgical System by Intuitive Surgery (Bhayani et al. 2010, Newman et al. 2011).

In the field of OMFS and Head and Neck Surgery the first preclinical robotic trials were performed by Kavanagh in 1994, who used the system Robodoc (Fig. 1) and the first robot to obtain clinical approval for OMFS was the system Otto (Lueth et al. 1998). For the Da Vinci system, the first operation in the head and neck region was enucleating a cyst from the terminal sulcus area at the base of the tongue (McLeod and Melder, 2005).

The surgical robot nowadays is basically a mechanical extension of the hands and the eyes (Fig. 2 and 3) of the operator in the surgical field, designed to contribute to the orientation of surgical instruments. Surgical robots

Surgical System (dVSS) από την Intuitive Surgery (Bhayani και συν. 2010, Newman και συν. 2011).
Στο πεδίο της ΣΓΠΧ και της Χειρουργικής Κεφαλής και Τραχήλου, οι πρώτοι πειραματισμοί σε προκλινικό στάδιο με ρομπότ αποδίδονται στον Kavanagh το 1994, ο οποίος χρησιμοποίησε το σύστημα Robodoc (Εικ.1), ενώ το πρώτο κλινικά εγκεκριμένο ρομποτικό σύστημα στη ΣΓΠΧ ήταν το σύστημα Otto (Lueth και συν. 1998). Για το σύστημα daVinci, η πρώτη επέμβαση στην περιοχή κεφαλής-τραχήλου ήταν η εκπυρήνιση κύστης από την περιοχή του γευστικού λάμδα στη βάση της γλώσσας (McLeod και Melder, 2005).
Το χειρουργικό ρομπότ σήμερα είναι κατά βάση μία μηχανική προέκταση των χεριών (Εικ.2) και των οφθαλμών (Εικ.3) του επεμβαίνοντος στο χειρουργικό πεδίο, σχεδιασμένη να συμβάλλει στον εστιασμένο προσανατολισμό των χειρουργικών οργάνων. Η κατηγοριοποίηση των χειρουργικών ρομπότ γίνεται σε δύο βασικές ομάδες, ανάλογα με το αν υφίστανται προγραμματισμό εκ των προτέρων ή όχι (Korb και συν. 2004). Το χειρουργικό σύστημα daVinci εντάσσεται στη δεύτερη κατηγορία και αποτελείται από 3 βασικά τμήματα: τη χειρουργική κονσόλα, το ρομποτικό τροχήλατο και το τροχήλατο θέασης.
Βασικό χαρακτηριστικό του συστήματος είναι ότι η ελευθερία κινήσεων των ρομποτικών βραχιόνων είναι ισότιμη με εκείνη του ανθρώπινου χεριού, μετρώντας 7 βαθμούς ελευθερίας.

## Ρομποτική χειρουργική στη ΣΓΠΧ

Στο πεδίο της Στοματικής και Γναθοπροσωπικής Χειρουργικής διαφαίνονται οι ακόλουθες προοπτικές, ως προς τη χρήση ρομποτικών μέσων:

1. Τρυπανισμός οστού σε ελεγχόμενο, προκαθορισμένο βάθος, για τη δημιουργία του φρεατίου υποδοχής οδοντικών εμφυτευμάτων.
2. Επεξεργασία και διαμόρφωση οστικών επιφανειών, βάσει τρισδιάστατου προεγχειρητικού σχεδιασμού, σε επεμβάσεις πλαστικής χειρουργικής.
3. Διενέργεια τομών σε επεμβάσεις ορθογναθικών οστεοτομιών και επανατοποθέτηση των τμημάτων που προκύπτουν με τρισδιάστατη ακρίβεια.
4. Επιλογή, κατάλληλη μορφοποίηση και τοποθέτηση πλακών οστεοσύνθεσης από ρομποτικά συστήματα.
5. Εφαρμογή στην ογκολογική χειρουργική κεφαλής και τραχήλου.

*Στην εμφυτευματολογία*, η κεντρική ιδέα της χρήσης ρομπότ είναι η επινόηση συσκευών, οι οποίες να εκτελούν συγκεκριμένες τροχιές τρυπανισμού σε ευθύγραμμη τροχιά για την δημιουργία φρεατίων, με ένα ρομποτικό βραχίονα και υπό την καθοδήγηση του χειρουργού. Τα αναφερόμενα πλεονεκτήματα αφορούν στην υψηλή ακρίβεια που επιτυγχάνεται με την μέθοδο και την μείωση του χρόνου της επέμβασης (Lueth και συν. 1998, Boesecke και συν. 2001, Schermeier και συν. 2002, Fortin και συν. 2002, Schauer και συν. 2003). Συνοψίζοντας, διαφαίνεται η δυναμική της ρομποτικής χειρουργικής στην εμφυτευματολογία.

**Εικ. 1.** Το σύστημα Robodoc.
**Fig. 1.** The Robodoc System.

*Πηγή: http://www.koreaittimes.com/story/11406/breakthrough-surgical-industry-%E2%80%9Crobodoc%E2%80%9D*

are categorized in two main groups, considering whether they are preprogrammed or not (Korb et al. 2004). The Da Vinci surgical system belongs to the second group and comprises of three main components: the surgeon console, the patient-side cart and the vision system
A crucial characteristic of the system is that its arms moving ability is similar to the human hand, reaching seven degrees of freedom.

## Robotic surgery in Oral and Maxillofacial Surgery

Robotics in the field of OMFS has shown the following potentials:

1. Controlled bone drilling at predefined depth for the preparation of the implant bed, in order to insert dental implants.
2. Milling and reforming bone surfaces, according to a three-dimensional plan in plastic surgery.
3. Performing incisions in orthognathic surgery procedures and repositioning the segments with three-dimensional accuracy.

**Εικ. 2.** Ελεγχος των βραχιόνων του συστήματος Da Vinci.
**Fig. 2.** Controlling the arms of the Da Vinci System.

*Πηγή: http://www.cts.usc.edu./rsi.davincisystem.html*

*Στην ορθογναθική χειρουργική*, η εφαρμογή σύγχρονων προγραμμάτων υπολογιστών έχει αποδώσει πολύ καλά αποτελέσματα στον περιορισμό του ανθρώπινου σφάλματος κατά την τέλεση οστεοτομιών και ιδίως κατά την επανατοποθέτηση των οστικών τμημάτων στις νέες λειτουργικές τους θέσεις (Ewers και συν. 2005, Marmulla και Mühling, 2007, Hernández-Alfaro και Guijarro-Martínez, 2013). Ωστόσο, η πραγματοποίηση τέτοιων επεμβάσεων με ρομποτικά μέσα είναι εκτός της κλινικής καθημερινότητας, παρά τις ερευνητικές απόπειρες που έχουν γίνει, όπως το σύστημα RobaCKa σχεδιασμένο για την εκτέλεση κρανιοτομιών, το οποίο ήταν το πρώτο ρομποτικό σύστημα, ικανό να διαγράψει τροχιές με διαρκώς μεταβαλλόμενες θέσεις και προσανατολισμούς (Engel και συν. 2001, Korb και συν. 2004). Η αξιοποίηση ρομποτικών βραχιόνων σε επεμβάσεις ορθογναθικής χειρουργικής απαιτεί περαιτέρω έρευνα.

*Η ογκολογική χειρουργική* κεφαλής και τραχήλου είναι το πεδίο με τις περισσότερες εφαρμογές της ρομποτικής χειρουργικής στη ΣΓΠΧ. Το πρωτόκολλο που εφαρμόζεται σήμερα είναι αυτό της Διαστοματικής Ρομποτικής Χειρουργικής (TORS: Trans Oral Robotic Surgery), το οποίο αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Pennsylvania, στο τμήμα Ωτορινολαρυγγολογίας-Χειρουργικής Κεφαλής και Τραχήλου, το 2004, με βασικούς συντελεστές τους Weinstein και O'Malley. Στο ίδιο τμήμα ξεκίνησε το πρώτο παγκοσμίως πρόγραμμα ρομποτικής χειρουργικής προσέγγισης της βάσης του κρανίου. Ως η πρώτη επέμβαση, που πραγματοποιήθηκε βασιζόμενη στα πρωτόκολλα της TORS, έχει καταγραφεί μία υπεργλωττιδική λαρυγγεκτομή με τη χρήση $CO_2$ laser, το 2007 (Solares και Strome, 2007). Το 2009, το dVSS λαμβάνει την έγκριση του FDA, προς χρησιμοποίησή του σε επεμβάσεις της TORS, σε επιλεγμένα περιστατικά καλοήθων και κακοήθων βλαβών στο φάρυγγα και το λάρυγγα. Ακολούθως, το ερευνητικό ενδιαφέρον στράφηκε στην επέκταση της χρήσης της TORS στην αντιμετώπιση του προβλήματος της άπνοιας ύπνου, εστιάζοντας στο κομμάτι της εμπλοκής της βάσης της γλώσσας στην παθογένεια του φαινομένου. Η κλινική μελέτη συνεχίζεται μέχρι σήμερα και έχει να επιδείξει ενθαρρυντικά αποτελέσματα (Vicini και συν. 2012). Οι κυριότερες ενδείξεις της

**Εικ. 3.** Τρισδιάστατη στερεοσκοπική απεικόνιση του χειρουργικού πεδίου στο σύστημα daVinci.
**Fig. 3.** 3D stereoscopical view of the operating field in the Da Vinci system.

*Πηγή: http://www.fibroid.com/davinci/*

4. Selection, adequate formatting and placement of osteosynthesis plates by robotic systems.
5. Utilization in oncological head and neck surgery.

*In implantology*, the basic idea regarding robotics is to create systems, which will perform linear trajectory drillings, under the guidance of the surgeon. Reported advantages refer to high accuracy and shorter surgical time (Lueth et al. 1998, Boesecke et al. 2001, Schermeier et al. 2002, Fortin et al. 2002, Schauer et al. 2003). Summarizing, robotic systems appear to have potential in implantology.

As far as *orthognathic surgery* is concerned, the utilization of computers has produced very good results in the reduction of human mistake when performing osteotomy and mainly when performing the repositioning of the consequent bone segments at their new functional places (Ewers et al. 2005, Marmulla and Mühling, 2007, Hernández-Alfaro and Guijarro-Martínez, 2013). Nevertheless, performing such procedures with robotic means is still out of the daily routine for clinicians, despite the efforts made: Korb et al. developed the system RobaCka, designed for craniotomies, which was the first robotic system capable of performing trajectories with permanently changing positions and orientations (Engel et al. 2001). The utilization of robotic arms in orthognathic surgery procedures requires further research.

*Oncological head and neck surgery* is the field with the most applications of robotics in OMFS. The TORS protocol (Trans Oral Robotic Surgery), which is nowadays used, was developed mainly by Gregory S. Weinstein and Bert W. O'Malley at the University of Pennsylvania in 2004. A year afterwards, the same department of

TORS αφορούν την αντιμετώπιση βλαβών καλοήθους ή κακοήθους φύσης στην ανώτερη αναπνευστική και πεπτική οδό (αμυγδαλές, βάση της γλώσσας και στοματοφάρυγγας), τη χειρουργική της βάσης του κρανίου και το σύνδρομο άπνοιας ύπνου. Οι αναφερόμενες ενδείξεις και αντενδείξεις εφαρμογής της TORS παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 (Weinstein και συν. 2007α, Newman και συν. 2011).

Στους ασθενείς με καρκινικές βλάβες στις προαναφερθείσες περιοχές, οι θεραπευτικές επιλογές είναι η χειρουργική θεραπεία, η ακτινοθεραπεία, η χημειοθεραπεία ή ο συνδυασμός αυτών. Η συμβατική χειρουργική προσέγγιση για εκτομή του όγκου προϋποθέτει την επαρκή έκθεση μίας δυσπρόσιτης περιοχής, μέσω διαχωρισμού του χείλους στην κάτω γνάθο και επακόλουθης οστεοτομίας. Ο έλεγχος της νόσου με αυτή τη μέθοδο παρουσιάζει ικανοποιητικά ποσοστά, όμως η δυσκολία αναδόμησης των εκτεθειμένων ιστών με τη χρήση κρημνών καταλείπει σε αρκετές περιπτώσεις ελλείμματα, που έχουν σημαντική επίπτωση στις λειτουργίες της κατάποσης και της ομιλίας (Park και συν. 2013). Η αντιμετώπιση αυτών των καρκινικών βλαβών με τη διαστοματική ρομποτική χειρουργική, από τα μέχρι σήμερα δεδομένα φαίνεται ότι έχει να επιδείξει πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής μεθόδου. Η προσπέλαση για την αφαίρεση του όγκου με τη μέθοδο TORS είναι πιο συντηρητική σε σχέση με την τυπική οστεοτομία διαχωρισμού της κάτω γνάθου, με συνέπεια διατήρηση των φυσιολογικών ανατομικών δομών και ως εκ τούτου καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα και ταχύτερη ανάρρωση του ασθενή. Ως προς το ογκολογικό αποτέλεσμα, τα περισσότερα βιβλιογραφικά δεδομένα συγκλίνουν ότι η TORS εμφανίζει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στον τοπικό έλεγχο της νόσου, τα οποία όμως είναι δύσκολο να συγκριθούν με αυτά των άλλων μεθόδων αντιμετώπισης, καθώς πρόκειται για μία νεόκοπη τεχνική, που δεν έχει προλάβει να δοκιμαστεί σε βάθος χρόνου. Παρ' όλα αυτά, θεωρείται μία αξιόπιστη εναλλακτική τεχνική αντιμετώπισης των όγκων της περιοχής του στοματοφάρυγγα, που δε θίγει τις λειτουργίες της κατάποσης και της ομιλίας, εμφανίζει μικρότερη ανάγκη τέλεσης γαστροστομίας στους ασθενείς, καθώς και μειωμένα ποσοστά χειρουργικής νοσηρότητας (De Ceulaer και συν. 2012).

Ένας άλλος τομέας, όπου ερευνάται η εφαρμοσιμότητα της TORS, είναι αυτός της χειρουργικής της βάσης του κρανίου. Ερευνητικές μελέτες επί ανθρώπινων πτωμάτων έχουν καταδείξει δυνατότητες για πρόσβαση στην πρόσθια και κεντρική κρανιακή βάση (Hanna και συν. 2007), καθώς και στην υπόφυση (Kupferman και συν. 2009), προσπέλαση στον υποκροτάφιο βόθρο, μέσω μιας θύρας άνωθεν του υοειδούς οστού (McCool και συν. 2010) αλλά και οπισθοφαρυγγική προσέγγιση, κατά μήκος της μέσης γραμμής, με την οποία παρέχεται πρόσβαση στη μέση και κατώτερη μοίρα του αποκλίματος και στον υποκροτάφιο βόθρο (Lee και συν. 2010α).

Όσον αφορά στην δυνατότητα εφαρμογής της TORS σε ασθενείς με σύνδρομο άπνοιας ύπνου λόγω υπερ-

**Πίνακας 1:** Οι αναφερόμενες ενδείξεις και αντενδείξεις εφαρμογής της TORS στην ογκολογική χειρουργική (Weinstein και συν. 2007α, Newman και συν. 2011).

| Ενδείξεις | Αντενδείξεις |
|---|---|
| Ο όγκος πρέπει να είναι επαρκώς ορατός και προσπελάσιμος για εκτομή. Πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν περιπτώσεις, όπου η τοποθέτηση retractor είναι δύσκολη (τρισμός, πρόσθια τοποθετημένος λάρυγγας, μακρογλωσσία, παχυσαρκία). | Επέκταση του όγκου στην κάτω γνάθο. |
| Ο όγκος πρέπει να επιδέχεται εκτομής με αρνητικά χειρουργικά όρια. | Αδύνατη η εκτομή εμπλεκόμενων τραχηλικών λεμφαδένων. |
| | Εκτομή, που περιλαμβάνει πάνω από το ήμισυ της βάσης της γλώσσας ή πάνω από το ήμισυ του προσθίου φαρυγγικού τοιχώματος. |
| | Ακτινογραφικά επιβεβαιωμένη εμπλοκή της καρωτιδικής αρτηρίας. |
| | Πρόσφυση του όγκου στην προσπονδυλική περιτονία. |

Pennsylvania's University hospital (Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery) initiated the first program for robotic surgical approach of the skull base. The first operation, which was carried out based on the TORS protocol was a supraglottic langyrectomy using $CO_2$ laser, in 2007 (Solares and Strome, 2007). In 2009, the Da Vinci system was approved by the FDA for use in TORS' procedures, in selected cases of benign and malignant lesions of the pharynx and larynx. Then, the interest of researchers shifted towards the expansion of use of the TORS protocol in the treatment of sleep apnea, focusing in the involvement of the tongue base in the problem's pathology. Clinical studies are still continuing and have shown favorable outcomes (Vicini et al. 2012). The main indications of TORS have to do with the treatment of benign or malignant lesions of the upper respiratory and digestive tract, skull base surgery and sleep apnea syndrome, where the tongue base is involved.

In oncological surgery, TORS is used mainly for the removal of lesions regarding the tonsils, the tongue base and the oropharynx, with the indications (Newman et al. 2011) and contraindications (Weinstein et al. 2007a) described in Table 1. The treatment options for patients with cancer lesions in these areas are surgical therapy, chemotherapy, radiotherapy or a combination of them. The conventional surgical approach for the resection of a tumor in the above areas requires the adequate exposure of a difficult to reach region, through a lip-split mandibular osteotomy. Controlling the disease by this method has proved to be satisfying, but it is not easy to reconstruct the exposed tissues using flaps and in many occasions deficits are created, which have a significant impact on the functions of swallowing and speaking (Park et al. 2013). The latest treatment option for cancer

**Table 1:** Indications and contraindications of TORS in oncological surgery (the tonsils, the tongue base and the oropharynx) (Weinstein et al. 2007α, Newman et al. 2011).

| Indications | Contraindications |
|---|---|
| The tumor has to be reachable enough for resection. Occasions where placing the retractor is difficult should be taken into account: trismus, anteriorly positioned larynx, macroglossia, obesity. | Extension of the tumor to the mandible. |
| The tumor should be resectable with clear surgical margins | Resection of involved jugular nodes is impossible |
| | Resection including more than half of the tongue base, more than half of the anterior pharyngeal wall |
| | Radiologically verified involvement of the carotid artery |
| | Attachment of the tumor to the prevertebral fascia |

τροφίας ιστών στην περιοχή της βάσης της γλώσσας, τα μέχρι στιγμής κλινικά δεδομένα δείχνουν ότι η χειρουργική αφαίρεσή τους είναι εφικτή, ασφαλής και αποτελεσματική με το εν λόγω πρωτόκολλο, εξαλείφοντας την ανάγκη για εξωτερικές τομές και τραχειοτομή (Vicini και συν. 2010, Garfein και συν 2011).

Εξάλλου η TORS έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε καλοήθεις βλάβες, όπως το βατράχιο και η σιαλολιθίαση του υπογνάθιου αδένα (Walvekar και συν. 2011α, 2011β), το πλειόμορφο αδένωμα (O'Malley Jr και συν. 2006) και το σβάννωμα (Kayhan και συν. 2011).

Σε κλινικό επίπεδο, το σύστημα daVinci έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε επέμβαση διαστοματικής αποσυμπίεσης της κρανιοαυχενικής συμβολής (Lee και συν. 2010β), ενώ αναμένονται περαιτέρω μελέτες για να αποσαφηνιστούν οι δυνατότητες του TORS στην χειρουργική της βάσης του κρανίου.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ρομποτική χειρουργική αποτελεί, εξελικτικά, την τρίτη γενιά χειρουργικών προσεγγίσεων, μετά την λαπαροσκοπική χειρουργική. Μία αδρή σύγκριση μεταξύ των δύο δείχνει ότι η πρώτη είναι λιγότερο κουραστική για τον επεμβαίνοντα, μειώνει το φυσιολογικό τρόμο των χεριών, απαιτεί λιγότερο προσωπικό στο χώρο της επέμβασης, παρέχει μεγαλύτερη επιδεξιότητα και ακρίβεια κινήσεων και εξαλείφει το φαινόμενο του υπομοχλίου. Στον αντίποδα, ο εξοπλισμός της ρομποτικής χειρουργικής είναι πιο ακριβός, απαιτείται περισσότερη εκπαίδευση και ο χρόνος προετοιμασίας του χειρουργείου είναι μεγαλύτερος (Hillel και συν. 2008).

Το κόστος της διαστοματικής ρομποτικής χειρουργικής φαίνεται να αποτελεί το μεγαλύτερο μειονέκτημά της. Η

lesions, using the TORS protocol, seems to have some advantages compared to conventional surgery, according to the so far available data: approaching the diseased area for the resection of the tumor is more conservative than the lip-split mandibular osteotomy method, thus preserving the natural anatomical surroundings. As a result, the esthetic outcome is better and the recuperation of the patient is faster. As far as the oncological outcome is concerned, most literature data point to the fact that TORS presents very satisfying results in regional control of the disease. However, these data are difficult to compare with traditional methods, as robotic surgery is a newly introduced technique, which has not yet been tested thoroughly. Nevertheless, it is considered to be a reliable method of treating tumors in the oropharynx area, which does not harm the functions of swallowing and speaking, shows less need for gastrostomy in patients and reduced rates of surgical morbidity (De Ceulaer et al. 2012).

Another field where the applicability of TORS is under research is the one of skull base surgery. Studies upon human cadavers have revealed potentials to access the anterior and central skull base (Hanna et al. 2007) and the pituitary gland (Kupferman et al. 2009), the infratemporal fossa, through a supra-hyoid port (McCool et al. 2010) as well as the middle, lower clivus and the infratemporal fossa, through a midline posterior pharyngeal approach (Lee et al. 2010a).

Furthermore TORS is examined regarding its feasibility in patients with sleep apnea syndrome, in cases where tissue hypertrophy in the tongue base region is observed. So far available clinical data show that the surgical removal of these hypertrophic tissues is possible, safe and efficient with the TORS protocol, while it seems to present a potential for eliminating the need of external incisions and tracheostomy in these patients (Vicini et al. 2010, Garfein et al. 2011).

It is also worth mentioning that TORS has been applied successfully in benign lesions, such as ranulas (Walvekar et al. 2011a), submandibular lithiasis (Walvekar et al. 2011b), pleomorphic adenomas (O'Malley Jr et al. 2006) and schwannoma (Kayhan et al. 2011).

Clinically, the Da Vinci system has been successfully used in an operation of transoral decompression of the craniocervical junction (Lee et al. 2010b) and further studies are expected, in order to clarify the capabilities of TORS in skull base surgery.

## DISCUSSION

Robotic surgery represents, in an evolutionary point of view, the third generation of surgical practices, following laparoscopic surgery. A swift comparison between them shows that the former is less strenuous for the surgeon, it reduces the natural tremor, requires less personnel in the operating room, provides greater dexterity and accuracy of moves and eliminates the fulcrum effect. On

αγορά του ρομποτικού συστήματος daVinci απαιτεί από 1 έως 2,3 εκατομμύρια δολάρια, ετήσια συντήρηση του ύψους των 100.000-170.000 δολαρίων, ενώ το κόστος των ρομποτικών χειρουργικών οργάνων, ανέρχεται στα 2.000 δολάρια ανά όργανο, με το καθένα να έχει όριο χρήσεων τα 10 περιστατικά.

Μελλοντικά, αναμένεται μείωση του κόστους απόκτησης και λειτουργίας ενός χειρουργικού ρομπότ, καθώς περισσότεροι κατασκευαστές θα ενταχθούν στην όχι και τόσο ανταγωνιστική σήμερα, αγορά των συστημάτων ρομποτικής χειρουργικής (Barbash και Glied, 2010). Ένας άλλος παράγων που επηρεάζει το κόστος χρήσης του συστήματος Da Vinci είναι ο αυξημένος χρόνος προετοιμασίας της χειρουργικής αίθουσας (Hillel et al. 2008). Το πρόβλημα του αυξημένου χρόνου προετοιμασίας της χειρουργικής αίθουσας και του κόστους εξ αυτού, μειώνεται καθώς αυξάνεται η εμπειρία επάνω στη διαστοματική ρομποτική χειρουργική (O'Malley Jr και συν. 2006, Weinstein και συν. 2007α, 2007β). Επαρκή δεδομένα, που να καθιστούν συγκρίσιμη την αναλογία κόστους-οφέλους της TORS με την ανοικτή ή τη λαπαροσκοπική χειρουργική δεν είναι προς το παρόν διαθέσιμα.

Σε ό,τι αφορά τους προβληματισμούς σχετικά με την ασφάλεια της TORS έχουν διερευνηθεί οι ακόλουθες παράμετροι:

1. Η δυνατότητα ελέγχου της διεγχειρητικής αιμορραγίας είναι επαρκής, καθώς παρέχεται υψηλής ευκρίνειας εποπτεία του χειρουργικού πεδίου, προς αναγνώριση μικρών και μεγάλων αιμορραγούντων αγγείων και είναι διαθέσιμη μονοπολική και διπολική διαθερμία. Επιπλέον, ο βοηθός χειρουργείου συμβάλλει στη διαδικασία της εξασφάλισης αιμόστασης, με την εφαρμογή αιμοστατικών λαβίδων, όπου αυτό χρειάζεται. Την αποτελεσματική αιμόσταση στην TORS επιβεβαιώνει μελέτη που έγινε σε ζώα (Hockstein και συν. 2005).
2. Ως προς την πιθανότητα εμφάνισης επιπλοκών από δυσλειτουργία ή κακή χρήση του dVSS, μελέτη, όπου έγιναν σκόπιμες προσπάθειες πρόκλησης βλάβης σε ανθρώπινο πτώμα (Hockstein και συν. 2006), έδειξε ότι το δέρμα και ο βλεννογόνος είναι δυνατό να υποστούν μόνο επιφανειακές εκδορές. Κάταγμα σε άθικτα δόντια, στην κάτω γνάθο ή στη σπονδυλική στήλη δεν ήταν δυνατό να προκληθεί. Οι οφθαλμικοί κόγχοι εμφανίζουν πιθανότητα να τραυματιστούν από τα ρομποτικά χειρουργικά εργαλεία, όμως ήταν αδύνατη η θραύση των χρησιμοποιούμενων προστατευτικών γυαλιών από αυτά.

Συνολικά, η διαστοματική ρομποτική χειρουργική δε φαίνεται να ενέχει κάποιον επιπλέον κίνδυνο για τους ασθενείς, απ' ότι η συμβατική χειρουργική.

Μελλοντικά, η χρήση των ρομποτικών συστημάτων στη χειρουργική γενικότερα, αλλά και στη ΣΓΠΧ ειδικότερα, αναμένεται μεγαλύτερη, ενώ ήδη κάποιοι πρωτοπόροι έχουν ξεκινήσει να πειραματίζονται με τις εφαρμογές της εξ αποστάσεως χειρουργικής ή τηλεχειρουργικής (Marescaux και συν. 2002), καθώς και τις δυνατότητες της μικρο και νανο-τεχνολογίας για την κατασκευή χει-

the other hand, the equipment for robotic surgery is more expensive, further training is needed for the surgeon and more time is required to set up the operating room (Hillel et al. 2008).

The cost of transoral robotic surgery appears to be its major disadvantage. Purchasing the Da Vinci robotic system requires from 1 up to 2.3 million dollars, annual maintenance demands approximately 100.000-170.000 dollars and the cost of robotic surgical instruments is about 2.000 dollars for each, while the limit of usage is ten cases for each instrument. In the future, the cost of buying and using a surgical robot is expected to fall, as more manufacturers will join the robotic surgical systems market, which is currently not that competitive (Barbash and Glied, 2010). Another factor affecting the cost of using the Da Vinci surgical system is the increased time that is needed in order to set up the operating room (Hillel et al. 2008). This makes the cost even higher, however, it has been shown that the more experience gained in transoral robotic surgery, the lower the time needed for preparation gets, making TORS less expensive (O'Malley Jr et al. 2006, Weinstein et al. 2007a, 2007b). Sufficient data for comparing the cost-effect ratio of TORS with laparoscopic or conventional surgery are not available until today.

Regarding the considerations about the safety of TORS the following parameters have been investigated:

1. The ability to control perioperative bleeding is adequate, because 3D magnification of the operative field with stereoscopic vision is provided; recognition of minor and major bleeding vessels and electro cautery is available. What is more, the assistant in the operating room contributes to achieving haemostasis by using surgical hemoclips when and where is needed. Efficient haemostasis in TORS has been verified in a study on animals (Hockstein et al. 2005).
2. As far as the possibility of complications occurring due to malfunction or malpractice when using the Da Vinci system is concerned, in a study where deliberate efforts to harm human cadavers were made (Hockstein et al. 2006) it was shown that the skin and mucosa could only sustain superficial lacerations. Fracturing intact teeth, the mandible or the cervical spine was not possible. The orbits present a possibility of getting harmed by the robotic surgical instruments, but the special protective glasses cannot be fractured by them.

Overall, transoral robotic surgery does not seem to include any more dangers for the patient than conventional surgery.

The utilization of robotic systems in surgery in general and in OMFS in particular, is expected to grow over the coming years. Some pioneers have already started experimenting with the applications of telesurgery (Marescaux et al, 2002), where the surgeon is very distant from the patient, and the potentials of micro (Rebello, 2004) and nanotechnology (Freitas Jr, 2005) for

ρουργικών ρομπότ, που θα εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό (Rebello, 2004, Freitas Jr, 2005).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι εφαρμογές της ρομποτικής χειρουργικής στη ΣΓΠΧ είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο, με τη μεγαλύτερη πρόοδο να σημειώνεται στο πεδίο της ογκολογικής χειρουργικής. Το υψηλό κόστος, οι μεγαλύτερες απαιτήσεις σε χώρο και η εξειδικευμένη εκπαίδευση που απαιτείται είναι οι κυριότερες αιτίες, για το ότι η ρομποτική χειρουργική απέχει ακόμη από την κλινική καθημερινότητα. Εντούτοις, εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η αυξημένη ακρίβεια, η καλύτερη θέαση του χειρουργικού πεδίου, η τέλεση μικρότερων τομών, η εξάλειψη του τρόμου των χεριών και η μείωση της κόπωσης του χειρουργού, τα οποία καταδεικνύουν τις μελλοντικές δυνατότητες της ρομποτικής στη ΣΓΠΧ.

manufacturing surgical robots, which will be inserted into the human body.

## CONCLUSIONS

The applications of robotic surgery in OMFS are still in a primal stage, with the greatest advance being accomplished in the field of oncological surgery. The currently high cost and the bigger demands in space and specialized training are the major causes for the distance that needs to be covered before robotic surgery can become a part of daily operating routine. Nevertheless, robotic surgery has demonstrated significant advantages, such as increased accuracy, better viewing of the operative field, smaller incisions performing, tremor eliminating and less fatigue for the surgeon, which are highly indicative of the future potential of robotics in OMFS.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ/REFERENCES


Barbash GI, Glied SA: New technology and health care costs-the case of robot-assisted surgery. N Engl J Med 363: 701-704, 2010

Bhayani MK, Holsinger FC, Lai SY: A shifting paradigm for patients with head and neck cancer: transoral robotic surgery (TORS). Oncology 24: 1010-1015, 2010

Boesecke R, Brief J, Hassfeld S: Robot assistant for dental implantology, In: Niessen WJ, Viergever MA: Lecture notes in Computer Science 2208, Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). Springer 2001, pp. 1302-1303

Davies BL, Hibberd RD, Timoney AG, Wickham JEA: A clinically applied robot for prostatectomies, In: Taylor RH, Lavallée S, Burdea GC, Mösges R: Computer Integrated Surgery. MIT Press 1996, pp. 593-601

De Ceulaer J, De Clercq C, Swennen GRJ: Robotic surgery in oral and maxillofacial, craniofacial and head and neck surgery: a systematic review of the literature. Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 41: 1311-1324, 2012

Drake JM, Joy M, Goldenberg A, Kreindler D: Computer- and robot-assisted resection of thalamic astrocytomas in children. Neyrosurgery 29: 27-33, 1991

Engel D, Rachzkowsky J, Wörn H: A safe robot system for craniofacial surgery, In: International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2001). IEEE 2001, pp. 2020-2024

Ewers R, Schicho K, Undt G, Wanschitz F, Truppe M, Seemann R, Wagner A: Basic research and 12 years of clinical experience in computer-assisted navigation technology: a review. Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 34: 1-8, 2005

Felden A, Vagner J, Hinz A, Fischer A, Pfleiderer SO, Reichenbach JR, Kaiser WA: ROBITOM- robot for biopsy and therapy of the mamma. Biomed Tech 47: 2-5, 2002

Finlay PA, Ornstein MH: Controlling the movement of a surgical laparoscope. IEEE Eng Med Biol Mag 14: 289-291, 1995

Fortin T, Champleboux G, Bianchi S, Buatois H, Coudert JL: Precision of transfer of preoperative planning for oral implants based on cone-beam CT –scan images through a robotic drilling machine. Clinical Oral Implants Research 13: 651-656, 2002

Freitas RA Jr: Nanotechnology, nanomedicine and nanosurgery. Int J Surg 3: 243-246, 2005

Garfein ES, Greaney Jr PJ, Easterlin B, Schiff B, Smith RV: Transoral robotic reconstructive surgery reconstruction of a tongue base defect with a radial forearm flap. Plast Reconstr Surg 127: 2352-2354, 2011

Gourin CG, Terris DJ: Surgical robotics in otolaryngology: expanding the technology envelope. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg 12: 204-208, 2004

Hanna EY, Holsinger C, DeMonte F, Kupferman M: Robotic endoscopic surgery of the skull base: a novel surgical approach. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 133: 1209-1214, 2007

Hein A, Lueth T, Hommel G: Contact observation of interactive surgical robotic systems, In: Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems

Hernández-Alfaro F, Guijaro-Martínez R, New protocol for three-dimensional surgical planning and CAD/CAM splint generation in orthognathic surgery: an in vitro and in vivo study. Int J Oral Maxillofac Surg 42: 1547-1556, 2013

Hillel AT, Kapoor A, Simaan N, Taylor RH, Flint P: Applications of robotics for laryngeal surgery. Otolaryngol Clin North Am 41: 781-791, 2008

Hockstein NG, O'Malley Jr BW, Weinstein GS: Assessment of intraoperative safety in transoral robotic surgery. Laryngoscope 116: 165-168, 2006

Hockstein NG, Weinstein GS, O'Malley Jr BW: Maintenance of hemostasis in transoral robotic surgery. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 67: 220-224, 2005

Holsinger FC, Sweeney AD, Jantharapattana K, Salem A, Weber RS, Chung WY, Lewis CM, Grant DG: The emergence of endoscopic head and neck surgery. Curr Oncol Rep 12: 216-222, 2010

Jakopec M, Harris SJ, Rodriguez Y, Baena F, Gomes P, Cobb J, Davies BL: The first clinical application of a "hands-on" robotic knee surgery system. Comput Aided Surg 6: 329-339, 2001

Kavanagh KT: Applications of image-directed robotics in otolaryngologic surgery. Laryngoscope 104: 283-293, 1994

Kayhan FT, Kaya KH, Yilmazbayhan ED: Transoral robotic approach for schwannoma of the larynx. J Craniofac Surg 22: 1000-1002, 2011

Kienzle III TC, Stulberg SD, Peshkin M, Quaid A, Lea J, Goswami A, Wu CH: A computer-assisted total knee replacement surgical system using a calibrated robot, In: Taylor RH, Lavallée S, Burdea GC, Mösges R: Computer Integrated Surgery. MIT Press 1996, pp. 409-416

Korb W, Marmulla R, Raczkowsky J, Mühling J, Hassfeld S: Robots in the operating theatre-chances and challenges. Int. J. Oral Maxillofac. Surg. 33: 721-732, 2004

Kronreif G, Fürst M, Kettenbach J, Figl M, Birkfellner W, Hanel R: Interactive localisator for percutaneous interventions, In: Lemke HU, Vannier MW, Inamura K, Farman AG, Doi K: Proceedings of the 17th International Symposium and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery(CARS 2003). Elsevier 2003, pp. 498-503

Kronreif G, Fürst M: Robotic guidance for percutaneous interventions, In: Tar JK: Proceeding of the 11th International Workshop on "Robotics in Alpe-Adria-Danube Region" (RAAD 2002). Polytechnic 2002, pp. 277-281

Kupferman M, DeMonte F, Holsinger FC, Hanna E: Transoral robotic access to the pituitary gland. Otolaryngol Head Neck Surg 141: 413-415, 2009
Kwoh YS, Reed IS, Chen JUY, Shao HN, Truong TK, Jonckheere EA: New computerized tomographic-aided robotic stereotaxis system. Robotic Age 7: 17-22, 1985
Lafranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC: Robotic Surgery: a current perspective. Ann Surg 239: 14-21, 2004
Lee JY, Lega B, Bhowmick D, Newman JG, O'Malley Jr BW, Weinstein GS, Grady MS, Welch WC: Da Vinci robot-assisted transoral odontoidectomy for basilar invagination. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 72: 91-95, 2010β
Lee JY, O'Malley Jr BW, Newman JG, Weinstein GS, Lega B, Diaz J: Transoral robotic surgery of the skull base: a cadaver and feasibility study. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 72: 181-187, 2010α
Lueth TC, Hein A, Albrecht J, Dimitras M, Zachow S, Heissler E, Klein M, Menneking H, Hommel G, Bier J: A surgical robot system for maxillofacial surgery, In: Proceedings of IEEE Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentanion( IECON). IEEE 1998, pp. 2470-2475
Maan ZN, Gibbins N, Al-Jabri T, D'Souza AR: The use of robotics in otolaryngology-head and neck surgery: a systematic review. Am J Otolaryngol 33: 137-146, 2012
Marescaux J, Leroy J, Rubino F, Smith M, Vix M, Simone M, Mutter D: Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications. Ann Surg 235: 487-492, 2002
Marmulla R, Mühling J: Computer-Assisted Condyle Repositioning in Orthognathic Surgery. J Oral Maxillofac Surg 65: 1963-1968, 2007
McCool RR, Warren FM, Wiggins 3rd RH, Hunt JP: Robotic surgery of the infratemporal fossa utilizing novel suprahyoid port. Laryngoscope 120: 1738-1743, 2010
McLeod IK, Melder PC: Da Vinci robot-assisted excision of a vallecular cyst: a case report. Ear Nose Throat J 84: 170-172, 2005
Mohr FW, Falk V, Diegeler A, Walther T, Gummert JF, Bucerious J, Jacobs W, Autschbach R: Computer-enhanced "robotic" cardiac surgery: experience in 148 patients. J Thorac Cardiovasc Surg 121: 842-853, 2001
Newman JG, Kuppersmith, RB, O'Malley BW Jr.: Robotics and telesurgery in otolaryngology. Otolaryngol Clin North Am 44: 1317-1331, 2011
Ng WS, Davies BL, Hibberd RD, Timoney AG: Robotics surgery. A first hand experience in transurethral resection of the prostate. IEEE Eng Med Biol 12: 120-125, 1993
O'Malley Jr BW, Weinstein GS, Snyder W, Hockstein NG: Transoral robotic surgery (TORS) for base of tongue neoplasms. Laryngoscope 116: 1465-1472, 2006
Park ES, Bui TG, Dierks EJ: Robotic Surgery: a new approach to tumors of the tongue base, oropharynx and hypopharynx. Oral Maxillofacial Surg Clin N Am 25: 49-59, 2013
Parmar A, Grant DG, Loizou P: Robotic surgery in ear nose and throat. Eur Arch Otorhinolaryngol 267: 625-633, 2010
Rebello KJ: Applications of MEMS in surgery. Proceedings of the IEEE 92: 43-55, 2004
Reichenspurner H, Boehm DH, Gulbins H, Schulze C, Wildhirt S, Werlz A, Detter C, Reichart B: Three-dimensional video and robot-assisted port-access mitral valve operation. Ann Thorac Surg 69: 1176- 1181, 2000
Reichenspurner H, Damiano RJ, Mack M, Boehm DH, Gulbins H, Detter C, Meiser B, Ellgass R, Reichart B: Use of the voice-controlled and computer-assisted surgical system ZEUS for endoscopic coronary artery bypass grafting. J Thorac Cardiovasc Surg 118: 11-16, 1999
Sackier JM, Wang Y: Robotically assisted laparoscopic surgery:from concept to development, In: Taylor RH, Lavallée S, Burdea GC, Mösges R: Computer Integrated Surgery. MIT Press 1996, pp. 577-580.
Schauer D, Hein A, Lueth TC: Robopoint-an autoclavable interactive miniature robot for surgery and interventional radiology, In: Lemke HU, Vannier MW, Inamura K, Farman AG, Doi K: Proceedings of the 17th International Symposium and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2003). Elsevier 2003, pp. 555-560
Schermeier O, Lueth T, Cho C, Hildebrand D, Klein M, Nelson K, Bier J: The precision of the RoboDent system-an in vitro study, In: Lemke HU, Vannier MW, Inamura K, Farman AG, Doi K, Reiber JHC: Proceedings of the 16th International Symposium and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2002). Springer 2002, pp. 947-952
Schneider O, Troccaz J, Chavanon O, Blin D: PADyC: a synergistic robot for cardiac puncturing, In: Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2000). IEEE 2000, pp. 2883-2888
Solares CA, Strome M: Transoral robotic assisted CO2 laser supraglottic laryngectomy: experimental and clinical data. Laryngoscope 117: 817-820, 2007
Stoianovici D: Robotic Surgery. World J Urol 18: 289-295, 2000
Taylor RH, Funda J, Eldridge B, Gomory S, Grupen K, La Rose D, Talamini M, Kavoussi L, Anderson J: A telerobotic assistant for laparoscopic surgery. IEEE Eng Med Biol Mag 14: 279-287, 1995
Taylor RH, Joskowicz L, Williamson B, Gueziec A, Kalvin A, Kazanzides P, Van Vorhis R, Yao J, Kumar R, Bzoster A, Sahay A, Bormer M, Lahmer A: Computer-integrated revision total hip replacement surgery: concept and preliminary results. Med Image Anal 3: 301-319, 1999
Taylor RH, Mittelstadt BD, Paul HA, HansonW, Kazanzides P, Zuhars JF, Williamson B, Musits BL, Glassman E, Bargar WL: An image-directed robotic system for precise orthopaedic surgery, In: Taylor RH, Lavallée S, Burdea GC, Mösges R: Computer Integrated Surgery. MIT Press 1996, pp. 379-396
Valero R, Ko YH, Chauhan S, Schatloff O, Sivaraman A, Coehlo RF, Ortega F, Palmer KJ, Sanchez-Salas R, Davila H, Cathelineau X, Patel VR: Robotic Surgery: history and teaching impact. Actas Urol Esp 35: 540-545, 2011
Vicini C, Dallan I, Canzi P, Frassineti S, La Pietra MG, Montevecchi F: Transoral robotic tongue base resection in obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome: a preliminary report. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 72: 22-7, 2010.
Vicini C, Dallan I, Canzi P, Frassineti S, Nacci A, Seccia V, Panicucci E, Grazia La Pietra M, Montevecchi F, Tschabitscher M: Transoral robotic surgery of the tongue base in obstructive sleep Apnea-Hypopnea syndrome: Anatomic considerations and clinical experience. Head Neck 34: 15-22, 2012
Walvekar RR, Peters G, Hardy E, Alsfeld L, Stromeyer FW, Anderson D, DiLeo M: Robotic-assisted transoral removal of a bilateral floor of mouth ranulas. World J Surg Oncol 9:78, 2011α
Walvekar RR, Tyler PD, Tammareddi N, Peters G: Robotic-assisted transoral removal of a submandibular megalith. Laryngoscope 12: 534-537, 2011β
Weinstein GS, O'Malley BW Jr, Snyder W, Sherman E, Quon H: Transoral robotic surgery: radical tonsillectomy. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 133: 1220-1226, 2007α
Weinstein GS, O'Malley Jr BW, Snyder W, Hockstein NG: Transoral robotic surgery: supraglottic partial laryngectomy. Ann Otol Rhinol Laryngol 116: 19-23, 2007β
Young RF: Application of robotics to stereotactic neurosurgery. Neurol Res 9: 123-128, 1987

Διεύθυνση επικοινωνίας:
**Δημήτριος Βολάκος**
Παπαδιαμαντοπούλου 160,
115 27, Γουδή, Αθήνα, Ελλάδα
Τηλ.: 210 7789877, 6937 237230
e-mail: dvolakos@hotmail.com

Address:
**Dimitrios Volakos**
160 Papadiamantopoulou Str.,
115 27, Goudi, Athens, Greece
Tel.: 0030 210 7789877, 0030 6937 237230
e-mail: dvolakos@hotmail.com