

# Chirurgische Manipulatoren in der Ohrchirurgie Eine Zukunftsvision?

## Surgical Manipulators in Ear Surgery A Future Vision?

### Autoren

M. Hofer<sup>1</sup>, A. Dietz<sup>1,2</sup>, G. Strauss<sup>1,2</sup>

### Institute

<sup>1</sup>Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde/Plastische Operationen Universitätsklinikum Leipzig – AöR (Direktor: Prof. Dr. med. Andreas Dietz)

<sup>2</sup>BMBF-Innovation Center Computer Assisted Surgery ICCAS, Universität Leipzig  
Rubrikherausgeber: A. Dietz, Leipzig

### Schlüsselwörter

- ◉ Manipulator
- ◉ Ohrchirurgie
- ◉ Computer Assistierte Chirurgie
- ◉ CAS
- ◉ Assistenzsysteme

### Key words

- ◉ manipulator
- ◉ ear surgery
- ◉ computer assisted surgery
- ◉ CAS
- ◉ assistance systems

### Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0031-1273687>  
Laryngo-Rhino-Otol 2011; 90: 200–204 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York  
ISSN 0935-8943

### Korrespondenzadresse

**Dr. med. Mathias Hofer**  
Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde/Plastische Operationen Universitätsklinikum Leipzig – AöR  
(Direktor: Prof. Dr. med. Andreas Dietz)  
Liebigstraße 10–14  
04103 Leipzig  
Mathias.Hofer@medizin.uni-leipzig.de

### Zusammenfassung



**Einleitung:** Die Mittelohrchirurgie insbesondere in der Übergangszone zum Innenohr ist mit einem erhöhten Risiko für Verletzungen eng beieinander und schlecht abgrenzbarer Strukturen behaftet. Deshalb ist ein sehr präzises Präparieren und ruhige Instrumentenführung von chirurgischer Seite notwendig.

**Limitationen:** Dabei gibt es jedoch menschliche (Tremor) und systematische Limitationen (OP-Setup, enge Zugangswege). Unterstützende Assistenzsysteme im Sinne von Manipulatoren werden in der Ohrchirurgie bisher nicht standardmäßig eingesetzt.

**Manipulatoren:** Diese Arbeit gibt einen Überblick über die vorhandenen Lösungsansätze und Manipulatorsysteme. Der erwartete Nutzen liegt vor allem in der Erhöhung der Patientensicherheit durch Verbesserung der chirurgischen Genauigkeit, sowie der Reduktion ergonomischer Defizite.

**Klinische Anwendungen und Entwicklungen:** Die Bandbreite der Anwendungen reicht von

adaptierten Industrierobotern über hochkomplexe, situsferne Systeme bis hin zu kleinen situsnahen Manipulatorsystemen nach dem Master-Slave-Prinzip.

**Aktueller Stellenwert:** Als wesentliche Komponente im operativen Workflow gilt der Chirurg selbst, der nur in einer ergonomischen Umgebung effektiv und effizient arbeiten kann und aus medico-legalen Gründen immer die Verantwortung für den Eingriff haben wird. Eine Fokussierung auf hochgradig automatisch arbeitende Systeme erscheint nicht zielführend. Somit fokussiert die aktuelle Entwicklung eher auf Manipulatoren, die die Feinmotorik des Operateurs unterstützen und den Handlungsspielraum vergrößern. Ein Nachteil vieler bestehender Manipulatoren ist die Limitation auf wenige spezialisierte Instrumente. Entwicklungsziel sollte demnach sein, dem Chirurgen ein kompaktes, über kurze Distanzen teleoperiertes (Master-Slave-Prinzip) Instrument zur Verfügung zu stellen, was die Präparationsmöglichkeiten erweitert und die Ergonomie für den Chirurgen erhöht.

### Einleitung



In der Mittelohrchirurgie führt der Chirurg meist mikroskopisch in einem Arbeitsbereich von ca. 1–3 cm minimale Bewegungen aus. Dabei gilt es, beispielsweise die Gehörknöchelchen, die Chorda tympani und das Labyrinth zu respektieren. Ungewolltes Verletzen der Strukturen kann für den Patienten zu gravierenden funktionellen Defiziten wie Hörverlust, reduziertem Geschmackempfinden, Mundtrockenheit, Schwindel oder sogar Taubheit führen. Beispielhaft können an dieser Stelle die Eingriffe Stapedotomie, die Cochleostomie und die Cochlea Implantat Insertion genannt werden.

Diese werden in der Regel rein manuell, das heißt ohne Einsatz von kraftgetriebenen Assistenzsystemen durchgeführt.

Bewegungen der menschlichen Hand werden durch 3 wesentliche unwillkürliche Komponenten beeinflusst: Tremor mit individueller Frequenz, spontane minimale Bewegungen und niedrigfrequente Driftbewegungen [1]. Diese lassen sich in Ruhe und bei Bewegung nachweisen. Die unwillkürlichen Bewegungen können zwar durch Maßnahmen wie das Abstützen von Unterarm oder Hand minimiert jedoch nicht eliminiert werden [1]. Daher führt der Tremor bei mikrochirurgischen Eingriffen immer zu Abweichungen in der Zielgenauigkeit bzw. Präzision [2] des Operateurs.

Verantwortlich für diese Rubrik: Prof. Dr. A. Dietz

## Limitationen der menschlichen Hand

Die menschliche Hand mit ihrer Präzision und Variabilität gilt als „Instrument der Instrumente“ in der chirurgischen Präparation. Sie verfügt über bis zu 15 Freiheitsgrade mit einer potenziellen Genauigkeit von 0,1 mm [3].

Dennoch wird die Leistungsfähigkeit dieses Gesamtsystems durch intraoperative Limitationen (enge Zugänge, lange Wege, große Hebel, große punktuelle Kräfte, variable Pivotpunkte) teilweise erheblich eingeschränkt. Workflowuntersuchungen haben gezeigt, dass durch mechanische Einschränkungen des Zugangsweges zum Teil nur 1 bis 2 Freiheitsgrade verfügbar sein können [4].

Um die Rahmenbedingungen für die Präparation zu verbessern, werden häufig Kompensationsmechanismen wie z. B. die Erweiterung des chirurgischen Zuganges und Wegnahme von unbeteiligten Gewebe, das Verlassen der Ideallinie oder der Verzicht auf vollständige Sichtkontrolle angewandt.

Des Weiteren ist für viele Eingriffe die Position des Ohrchirurgen ergonomisch defizitär („hohe“ Schulter des Patienten, ein direkter ergonomischer Zugang ist unmöglich). Insbesondere ist die Einsehbarkeit des Operationsfeldes bei einem engen und langtunneligen Zugang (z. B. endaurale Schnittführung), aber auch die dadurch bedingte Beschränkung der Freiheitsgrade von Hand und Instrument problematisch.

Es besteht zudem meist keine Möglichkeit, das Instrument im Situs zu „parken“. Schwere Instrumente wirken sich nachteilig auf die Präparationsgenauigkeit aus [3]. Unter diesen unergonomischen Umständen sind die Kapazitätsgrenzen für die Anforderungen an die chirurgische Genauigkeit schnell erreicht.

## Arten von Manipulatoren

Die Kenntnis über die menschlichen Limitationen führte zu 2 grundlegenden Entwicklungen von chirurgischen Manipulatoren:

1. Anwendung von Assistenzsystem mit hohem Automationsgrad [4–7].
2. Anwendung von Manipulatoren nach dem „Master-Slave“-Prinzip [8,9].

Diese Anwendungen sind zum größten Teil apparateintensiv und verändern zumeist das übliche Vorgehen bei einem chirurgischen Eingriff.

Eines der Konzepte ist zum Beispiel das automatische Fräsen in der Felsenbeinchirurgie [7]. Diese werden in der Regel mit einem hohen Grad der Automation [10] zur Überwindung der geschilderten Limitationen verfolgt. Ein kraftgetriebenes, abtragendes Instrument wird nach der präoperativen Festlegung eines Arbeitsraumes automatisch geführt (nicht selten durch einen adaptierten Industrieroboter). Der Chirurg übernimmt während des Gewebeabtrags eine passive, überwachende Funktion [11–13]. Eine qualitativ hochwertige Darstellung topografischer Informationen ist die Voraussetzung für ein hochgradig automatisches, chirurgisches Vorgehen, um erwünschte Komplikationen zu vermeiden. Dies ist jedoch teuer und aufwendig. In der Orthopädie hat die Anwendung automatisch gefräster Hüftkopimplantbetten dennoch den Sprung vom experimentellen Charakter zu einem regelmäßigen, klinischen und kommerziellen Einsatz geschafft. Jedoch wurde nach einer anfänglichen Euphorie der Nutzen auf dem Boden einer erheblichen Komorbidität kontrovers diskutiert [14]. Hintergrund ist die

nachweisliche Affektion des umliegenden Weichgewebes. Zwar sind die Implantatbetten für die künstlichen Hüftgelenke präzise gefräst, aber unmittelbare subtile Anpassung an den dynamischen Situs, wie sie ein Chirurg leisten kann, ist durch automatische Systeme kaum möglich.

## Nutzen von Manipulatoren

Eine erhöhte Patientensicherheit, die Verbesserung des chirurgischen Ergebnisses und der Ergonomie sind Ziele und Nutzen von chirurgischen Manipulatoren. Instrumente zur Bildgebung (Endoskope, Mikro-Kameras) und zur Präparation profitieren von einer Führung durch einen Manipulator. Im einfachsten Fall kann ein Manipulator das Halten eines Endoskops aktiv oder passiv übernehmen und dadurch den Chirurg entlasten (eine Hand wird für die Präparation frei). Ein manipulatorgeführtes Instrument bietet zunächst Vorteile, wie die eines Pivotpunktes<sup>1</sup>, der Möglichkeit der Definition von Arbeitsräumen und der programmierten Ansteuerung von Positionen. Darüber hinaus kann ein manipulatorgeführtes Instrument dynamisch skaliert werden, den physiologischen Tremor eliminieren bzw. reduzieren und eine Entkopplung der direkten manuellen Interaktion (surgery by wire) erlauben, sowie die physische Erschöpfung reduzieren. Damit lassen sich folgende Ziele für einen Manipulatoreinsatz definieren:

- ▶ Erhöhen der Patientensicherheit
- ▶ Verbesserung der chirurgischen Genauigkeit
- ▶ Reduktion eines ergonomischen Defizits
- ▶ Verbesserung der Übersicht durch Einsatz/Führen spezieller Optiken
- ▶ Erhöhen der Anzahl der Freiheitsgrade zur Präparation
- ▶ Reproduzierbare und protokollierbare Arbeitsleistung

Es ist selbstverständlich, dass dabei redundante Sicherheitskonzepte bei Manipulatorfehlfunktionen berücksichtigt werden müssen. Diese sind jedoch nicht Thema dieser Übersichtsarbeit.

## Klinische Anwendungen und Entwicklungen

Die Entwicklung chirurgischer Manipulatoren basiert nicht selten auf adaptierten Industrierobotern [15] (☉ **Abb. 1**), welche jedoch nur selten eine verbreitete klinische Anwendung finden. Eine Ausnahme stellt hier die erfolgreiche Anwendung des sogenannten Cyberknives in der Strahlentherapie dar [16]. Es handelt sich um eine Kombination eines Industrieroboters mit einem Navigationsgerät und einem Bestrahlungsgerät, sodass Tumorpatienten präzise und ohne vorherige Fixation im Submillimeterbereich bestrahlt werden können.

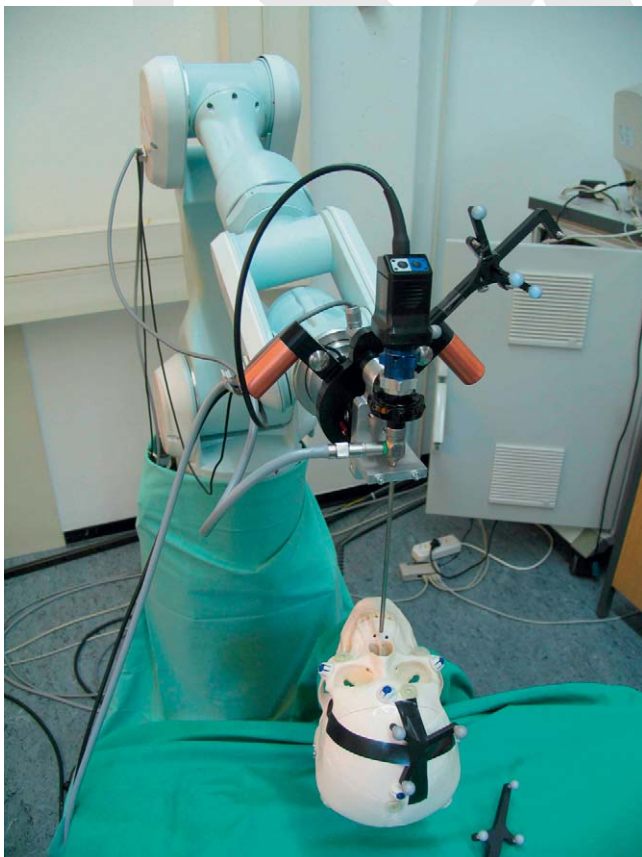
Nach dem Master-Slave-Prinzip arbeitend, stellt das hochkomplexe, situsferne DaVinci System der Firma Intuitive Surgical das derzeit sicherlich kommerziell erfolgreichste System mit ca. 1 000 weltweit verbreitenden Systemen dar. Das Einsatzgebiet erstreckt sich von der Urologie (Anteil an Publikationen über das DaVinci System 46%), Herzchirurgie (17%), Allgemeinchirurgie (13%), Gynäkologie (8%), Kinderchirurgie (4%), bis hin zur Oropharynx-tumorresektion in der Kopf-Hals-Chirurgie (2%) [4,17,18]. Ein Nachteil des Systems sind die laufenden Kosten, der Platzbedarf und der zeitliche Aufwand für die OP-Vorbereitung.

<sup>1</sup> Pivot-Punkt: Fester Drehpunkt, um den das Instrument gedreht bzw. gekippt werden kann.

Das Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR) postuliert im Bereich der Medizintechnologie ein großes Potenzial für den Bedarf von Robotersystemen mit dem klaren Ziel, den Chirurgen nicht zu ersetzen, sondern im Sinne von Therapieoptionen zu unterstützen [19]. Das DLR verfolgt dabei die Entwicklung von standardisierten universellen Chirurgierobotern, von großen situsfernen Manipulatoren (Telerobotik), sowie kleinen situsnahen und mikroinvasiven Manipulatoren bis hin zur Entwicklung winziger Mikrosensoren, welche eine haptische Rückkopplung ermöglichen.

Die Arbeitsgruppe um Caversaccio, Weber und Nolte aus Bern [20] untersucht u.a. die Anwendung von Miniaturrobotern (Abb. 2), z.T. in Kombination mit Navigationssystemen, um die chirurgische Orientierung zu verbessern und die Patientensicherheit zu erhöhen. Sie halten apparateintensive und situsferne Manipulatoren für Interventionen an der Otobasis für ungeeignet. Letztlich decken sich die von Caversaccio genannten Indikationen für Manipulatoren (Verringerung des Handtremors, präzisere und reproduzierbare Frästechnik, minimalinvasive „Tunnelchirurgie“, Reduktion der Eingriffszeit) mit denen der vorliegenden Arbeit. Auch er sieht ganz klar die Unterstützung des Chirurgen durch ein Assistenzsystem und nicht dessen Substitution als Motivation für den klinischen Manipulatoreinsatz. Die Gruppe um Lüth der technischen Universität München entwickelte einen teleoperierten Mikromanipulator für die Mittelohrchirurgie [9]. Ziel war es einen wenig komplexen Manipulator mit klarer klinischer Bestimmung und möglichst ergonomischer Anwendung zu schaffen. Des Weiteren stand bei der Entwicklung die nahezu unmittelbare Anwendbarkeit im Vordergrund, ohne den chirurgischen Eingriff in seiner herkömm-

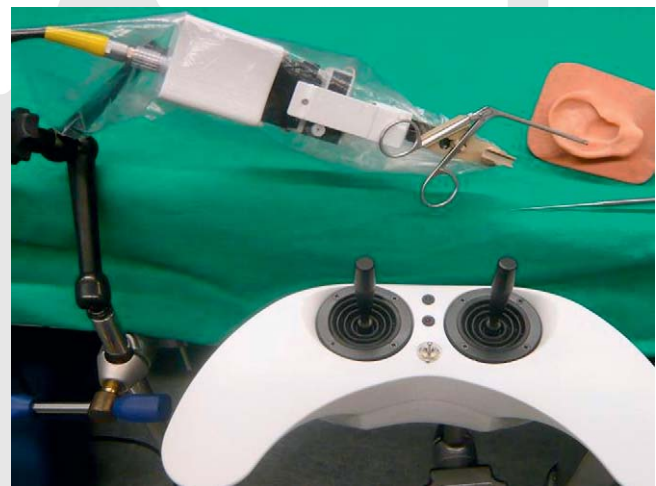
lichen Art wesentlich zu verändern. An dem kleinen und wenig kostenintensivem Manipulator sind Standardoperationsinstrumente leicht austauschbar (Abb. 3, 4). Das Sterilisierungskonzept ist im klinischen Alltag praktikabel, da nur nichtelektronische Kleinteile des Manipulators sterilisiert werden müssen. Ansonsten erfolgt die Abdeckung mit sterilen Folien (Aufgrund der miniaturisierten Bauweise sind der Aufwand und die Kosten um ein vielfaches geringer als beispielsweise die Abdeckung des



**Abb. 1** Adaptierter Industrieroboter (Mitsubishi, PA 10, MHI, Japan), zur Endoskopführung.



**Abb. 2** Miniaturroboter Universität Bern [20] (mit freundlicher Genehmigung durch Prof. Caversaccio und Springer Science + Business Media).



**Abb. 3** Mikromanipulator TU München und Instrumente für Mikromanipulator [9].



**Abb. 4** Mikromanipulator TU München und Instrumente für Mikromanipulator [9].

DaVinci Systems.). Das System verfügt über 4 Freiheitsgrade. Die Bedienung wird über eine Kontrollkonsole geregelt. Das Sicherheitskonzept beinhaltet einen automatischen Stopp bei Stromunterbrechung, Niedrigkraftmotoren, jederzeit überwindbare Feststellschrauben zur Entfernung vom OP-Tisch (15N nötig) und ein maximales Kraftmoment von 3N an der Instrumentenspitze in der Z-Achse [9].

In einer Studie an der Univ.-HNO Klinik Leipzig (Runge, A., Hofer, M., et al., „Manual Accuracy in Comparison with a Miniature Master Slave Device – Preclinical Evaluation for Middle Ear Surgery“, als Publikation in Stud-Health-Technol-Inform 2011 angenommen, in Druck) konnte eine Reihe interessanter Beobachtungen gesammelt werden. Beispielsweise ist der potenzielle Nutzen (Bewegungsskalierung, direkte Zielführung, Tremorreaktion, „Parken“ (Entkopplung) des Instrumentes im Situs, Optionale Integration von Videosystemen (vor allem miniaturisierte HD-Systeme), geringere körperliche Belastung durch ergonomische Sitzposition) einer Manipulatoranwendung deutlich geworden.

Die potenziellen Möglichkeiten durch Nutzung weiterer Freiheitsgrade werden durch die vielerorts eingesetzten endoskopischen Zusatzinspektionen während ohrchirurgischen Eingriffen unterstützt. Ein Mikromanipulator könnte auch im Bereich der Visualisierung des Operationssitus neue Dimensionen eröffnen.

Zukünftige Entwicklungen könnten mit erweiterten Freiheitsgraden und präziserer Felsenbeinnavigationstechnik insbesondere im speziellen Chirurgesegment der Cochlea Implantation mit gehörerhaltender Elektrodeninsertion den Einsatz von Mikromanipulatoren begründen.

## Fazit

Ein Manipulator für die Mittelohrchirurgie muss keine hochkomplexen Strukturen mit haptischer Rückkopplung oder multiplen Freiheitsgraden besitzen. Die Präparation des Chirurgen vollzieht sich im Bereich des Mittelohres meist rein anterograd, ohne dass die 15 potenziellen Freiheitsgrade der Hand umgesetzt werden müssten. Ein Nachteil vieler bestehender Manipulatoren ist die Limitation auf wenige spezialisierte Instrumente. Entwicklungsziel sollte es sein, dem Chirurgen ein kompaktes, über kurze Distanzen teleoperiertes (Master-Slave-Prinzip) Instrument zur Verfügung zu stellen, was möglichst die Präparationsmöglichkeiten erweitert und die Ergonomie für den Chirurgen erhöht. Die Verwendbarkeit verschiedener Standardinstrumente und die leichte Integration in das notwendige Operations- und Sterilisationskonzept würden einem Manipulator den Weg in den OP ebnet.

Der Trend zu unterstützenden Assistenzsystemen ist in nahezu allen Lebensbereichen zu beobachten (Flugindustrie, Automobile, Haushalt) und wird kaum vor dem Operationsaal innehalten.

Als wesentliche Komponente im operativen Workflow gilt natürlich der Chirurg, der nur in einer ergonomischen Umgebung effektiv und effizient arbeiten kann und aus medico-legalen Gründen immer die Verantwortung für den Eingriff haben wird. Eine Fokussierung auf hochgradig automatisch arbeitende Systeme ist daher aus Sicht der Autoren fragwürdig.

Die Anwendung von Mikromanipulatoren in der Ohrchirurgie ist sicherlich noch weit von der Routine entfernt. Mit dieser Arbeit sollte ein Überblick über derzeit verfügbare Systeme gegeben

werden. Es bedarf der weiteren Entwicklung solcher Assistenzsysteme aber auch deren Anwendung zur Evaluation. Im Vordergrund sollten immer die Patientensicherheit, die vorhandene klinische Fragestellung und der Nutzen im Vergleich zum Aufwand stehen. Die klinischen Anwendungen von chirurgischen Manipulatoren stecken sicherlich noch in den Kinderschuhen, dennoch sind die Autoren überzeugt, dass sie in Zukunft unsere Chirurgie beeinflussen bzw. verbessern werden.

## Abstract

### Surgical Manipulators in Ear Surgery A Future Vision?

**Introduction:** Middle ear surgery bears a high risk for injury of difficult to differentiate risk structures. Thus, a precise preparation in this area must be the surgical task.

**Limitations:** However, there are human (tremor) and systematic limitations (OR setup, narrow access). Assistance systems in terms of manipulators are so far not part of the clinical routine. Although, they could compensate for the above mentioned limitations.

**Manipulators:** This work reviews existing surgical manipulator systems. The expected value is an elevated patient safety through improving surgical accuracy and the reduction of ergonomic deficits.

**Clinical Application and Development:** In clinical application there are simply modified industrial robots, highly complex master slave systems and small miniature master slave systems which are directly located at the patient.

**Conclusion:** A disadvantage of most systems is the limited number of applicable instruments. Often, only especially designed instruments can be used. The goal in development should be to create a compact, short distance operated master slave system. The usability of standard (already available) instruments with an easy integration into the surgical and sterilisation procedure would lower the threshold for acceptance of such systems. The surgeon will remain the key player. He can only work efficiently in an ergonomic environment and will always have the responsibility for the intervention. From the authors perspective, highly automated systems should not be the research goal.

## Literatur

- 1 Muerbe D, Huettenbrink KB, Zahnert T, Vogel U, Tassabehji M, Kuhlisch E, Hofmann G. Tremor in otosurgery: influence of physical strain on hand steadiness. *Otol Neurotol* 2001; 22: 672–677
- 2 Strauss G, Hofer M, Korb W, Trantakis C, Winkler D, Burgert O, Schulz T, Dietz A, Meixensberger J, Koulechov K. Accuracy and precision in the evaluation of computer assisted surgical systems. A definition. *HNO* 2006; 54: 78–84
- 3 Duval C, Jones J. Assessment of the amplitude of oscillations associated with high-frequency components of physiological tremor: impact of loading and signal differentiation. *Exp Brain Res* 2005; 163: 261–266
- 4 Strauss G, Winkler D, Jacobs S, Trantakis C, Dietz A, Bootz F, Meixensberger J, Falk V. Mechatronik in der HNO-Chirurgie. Erste Erfahrungen mit dem daVinci-Telemanipulator-System. *HNO* 2005; 53.7: 623–630
- 5 Bargar WL, Bauer A, Borner M. Primary and revision total hip replacement using the Robodoc system. *Clin Orthop Relat Res* 1998; 82–91
- 6 Federspil PA, Stallkamp J, Plinkert PK. Robotics. A new dimension in otorhinolaryngology? *HNO* 2001; 49: 505–513
- 7 Majdani O, Rau TS, Baron S, Eilers H, Baier C, Heimann B, Ortmaier T, Bartling S, Lenarz T, Leinung M. A robot-guided minimally invasive approach for cochlear implant surgery: preliminary results of a temporal bone study. *Proc Inst Mech Eng H* 2010; 224 (5): 633–649

- 8 Lehner R, Maassen MM, Muller G, Leysieffer H, Zenner HP. An osseointegrated micromanipulator as anchor for implantable hearing aid transducers. 1: Fitting to the surgical anatomy of the temporal bone and surgical technical properties. HNO 1998; 46.4: 311–323
- 9 Maier T, Strauss G, Dietz A, Lueth T. First clinical use of a new micromanipulator for the middle ear surgery. Laryngorhinootologie 2008; 87: 620–622
- 10 Manzey D, Strauss G, Trantakis C, Lueth T, Rottger S, Bahner-Heyne JE, Dietz A, Meixensberger J. Automation in surgery: a systematic approach. Surg Technol Int 2009; 18: 37–45
- 11 Plinkert PK, Plinkert B, Hiller A, Stallkamp J. Einsatz eines Roboters an der lateralen Schadelbasis. Evaluation einer robotergesteuerten Mastoidektomie am anatomischen Präparat. HNO 2001; 49.7: 514–522
- 12 Steinhart H, Bumm K, Wurm J, Vogele M, Iro H. Surgical application of a new robotic system for paranasal sinus surgery. Ann Otol Rhinol Laryngol 2004; 113.4: 303–309
- 13 Gourin CG, Terris DJ. Surgical robotics in otolaryngology: expanding the technology envelope. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg 2004; 12.3: 204–208
- 14 Zipper SG, Püschmann H. Nervenschäden nach robotergestütztem totalen Hüftgelenkersatz: Fallserie mit 29 Patienten. Z Orthop 2005; 143: 399–402 DOI 10.1055/s-2005-836749, ISSN 0044-3220
- 15 Strauss G, Hofer M, Kehrt S, Grunert R, Korb W, Trantakis C, Winkler D, Meixensberger J, Bootz F, Dietz A, Wahrburg J. Ein Konzept für eine automatisierte Endoskopführung für die Nasennebenhöhlenchirurgie. HNO 2007; 55.3: 177–184
- 16 Unger F, Dominikus K, Haselsberger K. Stereotaktische Radiochirurgie und Radiotherapie bei Akustikusneurinomen. HNO 2011; 59: 31–37 DOI 10.1007/s00106-010-2191-x
- 17 Weinstein GS, O'Malley BW Jr, Snyder W, Hockstein NG. Transoral robotic surgery: supraglottic partial laryngectomy. Ann Otol Rhinol Laryngol 2007; 116 (1): 19–23
- 18 O'Malley BW Jr, Weinstein GS, Hockstein NG. Transoral robotic surgery (TORS): glottic microsurgery in a canine model. J Voice 2007; 20 (2): 263–268
- 19 <http://www.dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-3795/>
- 20 Caversaccio M, Stieger C, Weber S, Häusler R, Nolte LP. Navigation und Robotik an der Otobasis. HNO 2009; 57: 975–982 DOI 10.1007/s00106-009-1985-1

