

Redaktion

M. Goepel, Velbert
K. Kleinschmidt, Ulm
P. May, Bamberg

D. Frimberger¹ · L. Kavoussi² · D. Stoianovici³ · C. Adam¹ · D. Zaak¹ · S. Corvin¹ · A. Hofstetter¹
R. Oberneder¹

¹Urologische Klinik und Poliklinik des Klinikums Großhadern, Ludwig-Maximilians-Universität München · ²Brady Urological Institute, Johns Hopkins Hospital, Baltimore, USA

³Robotics Laboratory, Brady Urological Institute, Johns Hopkins Hospital, Baltimore, USA

Telerobotische Chirurgie zwischen Baltimore und München

Zusammenfassung

Die rasante Entwicklung der Laparoskopie in der Urologie erfordert die Ausbildung von Spezialisten, um den hohen Standard der Patientenversorgung zu gewährleisten.

Telemedizin bezeichnet den Echtzeitaustausch medizinischer Informationen zwischen Ärzten an verschiedenen Orten durch Datenübertragung. Telementoring beschreibt dabei die Assistenz eines erfahrenen Operateurs, während die Zuhilfenahme von Operationsrobotern als Telerobotik bezeichnet wird.

Zwei Operationsroboter, der etablierte AESOP und der am Johns Hopkins Hospital (JHH) entwickelte PAKY+RCM wurden eingesetzt, um eine laparoskopische Nierenzystenabtragung zwischen dem JHH und dem Klinikum Großhadern durchzuführen. Über eine Distanz von über 8000 km steuerte der Telementor die Operationsroboter über 8 ISDN-Leitungen mittels PC. Mit AESOP wurde die Kamera, mittels PAKY ein Fächerretraktor im Abdomen gesteuert. Die Durchführung der telerobotischen Operation gelang komplikationslos und ohne System- oder Kommunikationsausfälle. Telementoring kann zu Ausbildungszwecken, aber auch für Konsultationen von Spezialisten im Notfall eingesetzt werden.

Schlüsselwörter

Laparoskopie · Telechirurgie ·
Operationsroboter · Telekonferenz

Die minimal-invasiven Techniken gewinnen in allen Bereichen der Urologie zunehmend an Bedeutung [5,6]. Neben den bereits etablierten Verfahren der laparoskopischen Hodensuche, der einfachen Nephrektomie oder der Nierenzystenabtragung wird das laparoskopische Spektrum zunehmend auf die onkologischen Erkrankungen ausgeweitet. Die Vorteile der Laparoskopie gegenüber der offenen Chirurgie liegen v. a. in der geringeren postoperativen Schmerzbelastung, der schnelleren Rekonvaleszenz, der besseren Kosmetik und des oft deutlich geringeren äußeren Traumas bei vergleichbaren Komplikationsraten [10].

Aus diesen Gründen bevorzugen viele Patienten die minimal-invasiven Techniken und wenden sich vermehrt an Zentren, die das operative Spektrum der urologischen Laparoskopie anbieten. Die rasante Entwicklung der minimal-invasiven Techniken macht die operative Ausbildung von Spezialisten nötig, um die steigende Versorgung der Patienten zu gewährleisten [10].

Die Laparoskopie erfordert die visuelle Umsetzung eines dreidimensionalen Systems von einem zweidimensionalen Bildschirm, wodurch sich unter anderem die lange Lernkurve bis zur Entwicklung der benötigten Koordination erklärt. Das Training und die Durchführung aller laparoskopischen Techniken kann aus Kosten- und Personalgründen sowie wegen zu geringer Patientenzahlen nicht an allen Lehrinstituten qualitativ gleich hochwertig angeboten werden.

Telemedizin bezeichnet den Austausch medizinischer Informationen

zwischen Ärzten an verschiedenen Orten, wobei neben Sprache und Daten auch Echtzeitvideomaterial über beliebige Distanzen gesendet werden kann. Unter Telementoring versteht man, wenn ein erfahrener Operateur einem entfernten Operationsteam unter telemedizinischen Bedingungen assistiert. Die Zuhilfenahme von Operationsrobotern in der Telemedizin bezeichnet man als Telerobotik [7].

Die Laparoskopie eignet sich besonders für die Durchführung der Telerobotik, da hier einerseits Operationsroboter zum Einsatz kommen können und andererseits die Kamera dem Telementor (Operateur am Steuerungsstandort) die optimale Möglichkeit der Assistenz aus der Ferne ermöglicht. Diese Technik gestattet die Ausbildung von Ärzten vor Ort unter der Anleitung erfahrener Spezialisten zu Lehrzwecken, aber auch die Konsultation im Notfall. Übertragungen dieser Art wurden erfolgreich über ISDN-Telephonleitungen innerhalb eines Instituts und auch über größere Distanzen realisiert [4, 8, 9].

Zum ersten Mal wurde eine telerobotische Operation über ISDN-Leitungen zwischen einem deutschen und einem US-amerikanischen Zentrum inszeniert. Dabei kamen 2 Operationsro-

© Springer-Verlag 2002

Dr. Dominic Frimberger
Klinik und Poliklinik für Urologie, Klinikum
Großhadern, Ludwig-Maximilians-Universität,
Marchioninistraße 19, 81377 München
E-Mail: Dominic.Frimberger@uro.med.
uni-muenchen.de

D. Frimberger · L. Kavoussi · D. Stoianovici
C. Adam · D. Zaak · S. Corvin · A. Hofstetter
R. Oberneder

Telerobotic surgery between Baltimore and Munich

Abstract

The rapid development of laparoscopy in urology necessitates the training of specialists to guarantee the high standard of patient care.

The real-time data communication of medical information between physicians in different locations is known as telemedicine. Telementoring describes the assistance of an experienced surgeon, while telerobotics requires the use of robots.

Two robots, the established AESOP and the PAKY+RCM developed at the Johns Hopkins Hospital (JHH), were used to perform a telerobotic laparoscopic renal cyst ablation in cooperation between Baltimore and Munich. The telerobot maneuvered the robots over a distance of 8000 km using eight ISDN lines and a PC. AESOP moved the camera, while PAKY allowed the use of a fan retractor in the abdomen. The telerobotic operation was performed without complications or system and communication failures. Telementoring can be used for training purposes but also for consultation between specialists in emergency settings.

Keywords

Laparoscopy · Telesurgery · Surgical robots · Teleconferencing

boter zum Einsatz, das bereits etablierte Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (AESOP) sowie der am Johns Hopkins Hospital (JHH) neu entwickelte Miniature Robotic Module (RCM), der mit dem Percutaneous Access to the Kidney (PAKY) zu einer Einheit kombiniert wurde.

Methode

Die Patientin befand sich zum Operationszeitpunkt in der Urologischen Klinik des Klinikums Großhadern in München (Operationsstandort). Die Steuerung der beiden Operationsroboter wurde unter telemedizinischen Bedingungen aus dem Wohnzimmer des Privathauses von Dr. Louis Kavoussi in Baltimore, USA, (Steuerungsstandort) realisiert. Die Entfernung zwischen den beiden Zentren beträgt mehr als 8000 km. Filmteams vom US-amerikanischen Fernsehsender NBC zeigten nach vorhergehender Einverständniserklärung der Patientin sowohl die Operation in München wie auch die Steuerung in Baltimore auf.

Patientin. 46jährige Frau in gutem Allgemeinzustand mit einer symptomatischen 15 cm×10 cm großen Nierenzyste auf der rechten Seite zur laparoskopischen Nierenzystenabtragung.

Beschreibung des Telesurgery-Systems. Die Entwicklung des Telesurgery-Systems gelang in enger Kooperation von Operateuren mit Technikern, um den Anforderungen beider Fachrichtungen gerecht zu werden. Dabei standen die operationstechnischen Notwendigkeiten im Vordergrund. Es handelt sich um ein komplexes Telementoring-System, das neben der Video- und Audiokommuni-

kation und der Kontrolle der Operationsroboter auch die Kontrolle des Elektrokauters übernehmen kann (Abb. 1).

Die Lebensader des Systems ist die Video- und Audiokommunikation zwischen den beiden Anschlussstellen. Um eine gleichbleibend hohe Qualität der Übertragung zu garantieren, wurden ISDN-Leitungen dem Internet vorgezogen. Die Videokonferenz wurde ermöglicht durch die Verwendung von Zydacron Boards (Fa. Zydacron, Manchester/NH, USA). Der Vorteil dieses Systems liegt in der Möglichkeit, entweder eine T1-Leitung oder 4 ISDN-Leitungen zur Übertragung zu benutzen. Die 4×ISDN-Version des Systems benutzt ein Z360 CODEC Board und ein Quad BRI Z308 Communication Board (Fa. Zydacron, Manchester/NH, USA). Dabei ist das CODEC Z360 verantwortlich für die Kodierung und Dekodierung des Audio- und Videosignals, während das Communication Board das digitale Signal sowohl zu als auch von dem Steuerungsstandort sendet und empfängt. H323 stellt den notwendigen Standard für die Videokonferenz. Für die Übertragung des Video- und Audiosignals benötigt man insgesamt 512 KB (4×2 ISDN-Leitungen mit je 64 KB). Damit ist das Videokonferenzsystem voll kompatibel mit anderen, kommerziell erhältlichen Videokonferenzsystemen. Zydacron stellt die Standard Videokonferenz Software zusammen mit dem Video CODEC Board zur Verfügung. Die CODEC-Software ist auch mit dem Programm Netmeeting von Microsoft (Fa. Microsoft, USA) kompatibel. Die Netmeeting-Software steuert die Z360-Konferenz. Sie ermöglicht einerseits, die verschiedenen Anwendungen aufzuteilen, und stellt andererseits den T120-Datenkommunikationskanal zur Verfügung.

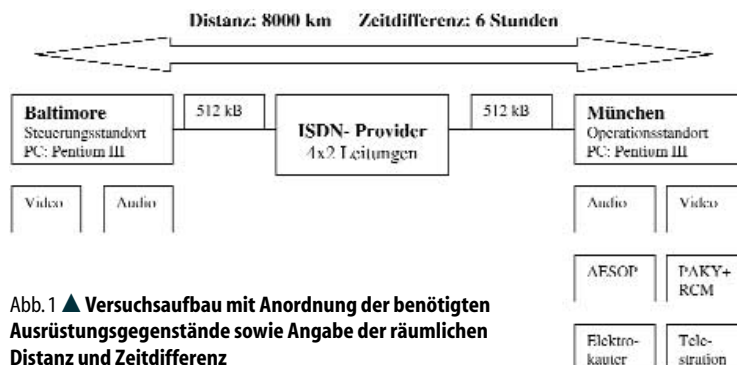


Abb. 1 ▲ Versuchsaufbau mit Anordnung der benötigten Ausrüstungsgegenstände sowie Angabe der räumlichen Distanz und Zeitdifferenz

Das Telesurgery-Programm steuert wiederum Netmeeting und benützt den Datenkanal zur Kommunikation. Dadurch werden sowohl die Telestration wie auch die Operationsroboter und der Elektrokauter gesteuert.

Die Telestration ermöglicht es dem Telementor auf dem am Operationsstandort sichtbaren Bildschirm Zeichnungen und Pfeile anzubringen. So können auf dem Livebildschirm wichtige anatomische Strukturen z. B. umkreist oder unterstrichen werden oder sogar Schnittrichtungen und Operationsschritte vorgeschlagen werden.

Die Kontrolle der Roboter und des Elektrokauters vor Ort gelingt mittels eines MEI Control Boards (Fa. Zydacron, Manchester/NH, USA). Die Software für die Kontrolle des Elektrokauters (Fa. Valleylab, Boulder/CO, USA) schaltet den Elektrokauter sofort ab im Falle einer Unterbrechung der Übertragung.

Das System kann 2 Roboter steuern: AESOP (Fa. Computer Motion, Goleta/CA, USA) und RCM+PAKY (URobotics Laboratory, Department of Robotics, JHH, Baltimore/MD, USA). Dabei schaltet das System beide Roboter im Falle eines Kommunikationsfehlers automatisch ab. Die Robotereinheit RCM+PAKY ist in der Lage, einen Fächerretraktor in allen Ebenen des Raumes zu lenken. Die Steuerung der laparoskopischen Kamera (Fa. K. Storz, Tuttlingen, Germany), der Lichtquelle, des Elektrokauters und des Thermoflators (Fa. K. Storz, Tuttlingen, Germany) durch den Computer ist ebenfalls möglich. Das gesamte System inklusive der Roboter und des Elektrokauters könnten im Falle von System- oder Kommunikationsfehlern ebenfalls am Operationsstandort ausgeschaltet werden, und die Operation könnte durch die lokalen Operateure vervollständigt werden. Die benötigte Computerhardware stellt sich aus handelsüblichen PC zusammen (Pentium-III-Prozessor).

Resultate

Die internationale telerobotische Operation über eine Distanz von über 6800 km zwischen München, Deutschland, und Baltimore, USA, verlief komplikationslos. Die Übertragung und die Steuerung der Roboter musste zu keinem Zeitpunkt unterbrochen werden. Es trat kein System- oder Kommunikationsfehler auf. Die Bildqualität war zu

jedem Zeitpunkt sehr gut mit einer Wiederholrate von 30 Bildern pro Sekunde und einer Auflösung von 176×144 Bildpunkten. Die Bild-, Ton- und Datenübertragung sowie die Steuerung der beiden Operationsroboter AESOP und RCM+PAKY gelang mit einer Zeitverzögerung von unter 1 s. Die Zeitverzögerung beeinträchtigte den Verlauf der Operation nicht.

Die Operationszeit betrug inklusive des Aufbaus der Operationsroboter 2 h. Der intraoperative Blutverlust betrug weniger als 50 ml. Die Patientin konnte die Klinik am 2. postoperativen Tag beschwerdefrei nach Hause verlassen.

Die fernsehtechnischen Aufzeichnungen von NBC störten den Operationsablauf nicht.

Diskussion

Die Spezialisierung in den chirurgischen Fächern der Medizin schreitet rasch voran. Auch in der Urologie findet eine zunehmende Polarisierung in Spezialgebiete statt, wie Onkologie, Andrologie oder Laparoskopie, um der intensiven Forschung und den speziellen operativen Techniken Rechnung zu tragen. Die Datenfülle der einzelnen Unterdisziplinen macht es für den einzelnen Urologen immer schwerer, in allen Gebieten auf dem neuesten Wissensstand zu bleiben und damit seinen Patienten den höchsten Standard zu bieten. Vielmehr werden sich in Zukunft weltweit zunehmend Fachzentren entwickeln, die sich durch Ausbildung von Spezialisten den steigenden Anforderungen der Forschung, Technik und der Patienten stellen.

Kontinuierliches Training

Viele Ärzte bilden sich durch Hospitationen und Kurse an unterschiedlichen Institutionen fort, um operative Techniken von Experten vor Ort zu erlernen. Um die erlernten Grundtechniken weiter zu optimieren ist jedoch eine kontinuierliche Praxis an ausreichend hohen Fallzahlen notwendig. So konnten See et al. zeigen, dass Operateure ohne konstantes Training im Anschluss an laparoskopische Kurse eine über dreimal höhere Komplikationsrate aufwiesen als Kurskollegen, die weiterhin regelmäßig laparoskopisch tätig waren [12].

Patientenzahlen

Das Hauptproblem, besonders an kleineren Institutionen, sind die zu kleinen Patientenzahlen, die ein permanentes Training der Operateure nicht erlauben. Deswegen und aufgrund fehlender ständiger Fachanleitung kommt es so zu schlechteren Erfolgsraten gegenüber den offenen Verfahren, und so sehen sich die entsprechenden Institutionen oft gezwungen, von den laparoskopischen Techniken wieder Abstand zu nehmen [2]. Dabei kann und soll Telementoring nicht die initialen persönlichen Erfahrungen mit ausgebildeten Spezialisten ersetzen, aber es bietet die Möglichkeit, die bereits erlernten Fähigkeiten unter ferntechnischer Assistenz des Telementors zu vertiefen [2].

Patiententourismus

Viele Patienten aus Ländern mit niedrigerem medizinischem Standard nehmen große Distanzen und Kosten in Kauf, um sich an einer Spezialklinik behandeln zu lassen. Dieser Patiententourismus kann sicherlich durch das Angebot reduziert werden, sich in der heimischen Klinik in Konferenzschaltung mit einem Spezialisten operieren zu lassen. Genauso können Patienten in Ländern mit mangelndem Facharztanfangen Fachkonsultationen von Spezialisten vor Ort einholen. Neben der Einsparung der Kosten erhalten die Fachärzte am Operationsstandort gleichzeitig die Möglichkeit, sich durch das Telementoring fortzubilden. Der Operateur vor Ort hat natürlich weiterhin die Leitung der Operation inne. Dem Telementor kommt eine beratende und assistierende Rolle zu [1].

Die Führung der laparoskopischen Operationskamera mittels des AESOP-Systems wurde bereits von Kavoussi et al. auf kurze Distanz innerhalb der gleichen Stadt durchgeführt [7,8]. In einer ähnlichen Situation konnte eine Verbindung zwischen dem Universitätsklinikum in Rom und dem JHH hergestellt werden. Ein aktiver Eingriff eines Telementors in eine Operation durch die Fernsteuerung zweier Operationsroboter über ISDN-Leitungen konnte bis jetzt noch nicht ausgeführt werden.

Personelle Voraussetzungen

In der aktuellen telerobotischen Operation benötigt man fachärztliches Perso-

nal am Operationsstandort, um neben der Setzung der Trokare und dem Aufbau des Systems die eigentliche Operation durchzuführen. Durch die Möglichkeit der Übertragung des Außenbildes mittels einer Webcam (Fa. Canon, Rochester/NY, USA) konnte die Lagerung des Patienten und das Setzen der Trokare besprochen werden. Nach erfolgter Positionierung der Kamera in den AESOP und Einführung des Fächerretraktors in den RCM konnte der Telementor nun selbstständig unter Sicht der von ihm gesteuerten Endokamera die Leber mit dem Fächerretraktor retrahieren und so dem Operateur vor Ort die Sicht auf die Nierenzyste freigeben. Durch diese Assistenz entfiel die Notwendigkeit eines zweiten Assistenten vor Ort, so dass am Operationsstandort nur noch ein Operateur benötigt wurde.

Mittels des Telestration-Systems war der Mentor in der Lage, eine Inzisionslinie auf die am Bildschirm dargestellte Zyste zu zeichnen. Ebenfalls konnte er wichtige oder auffällige Befunde kennzeichnen und so dem Operateur aktiv assistieren. Diese Einrichtung hilft durch die optische Darstellung, Fehler zu vermeiden, wie sie z. B. durch sprachliche Missverständnisse bei internationalen Audioübertragungen auftreten können. Obwohl bei der Übertragung keine Probleme auftraten, muss das Operationsteam am Operationsstandort im Falle eines Kommunikations- oder Systemfehlers natürlich jederzeit in der Lage sein, die Operation selbstständig ohne die Assistenz des Telementors weiterzuführen. Aus diesem Grunde muss neben dem erfahrenen Operateur am Operationsstandort ein weiterer Assistent vor Ort einsatzbereit sein.

Technische Voraussetzungen

Dabei ist es wichtig, dass sowohl die Operationsroboter als auch der ferngesteuerte Elektrokauter eine automatische Abschaltfunktion im Falle eines

Fehlers aufweisen. Die Verbindung über ISDN-Leitungen bot eine hohe Qualität bei der Übertragung mit einer Verzögerung des Video-, Audio- und Steuerungssignals von unter 1 s. Durch die 6 h Zeitdifferenz zwischen München und Baltimore musste der Telementor bei der Operation um 3 Uhr morgens assistieren. Da zu diesem Zeitpunkt keine Hauptgeschäftszeit in den USA bestand, waren die Telephonleitungen frei, und es trat kein Problem bei der Anwahl auf.

Um eine permanente unabhängige Übertragung zu garantieren, wäre jedoch die Installation von ISDN-Festleitungen an beiden Orten notwendig. Am Steuerungsort bediente der Telementor das System von seinem Wohnhaus mit Hilfe einer handelsüblichen Computerm Maus und Tastatur. Somit wäre im Notfall eine Konsultation trotz der Zeitverschiebung innerhalb kürzester Zeit möglich, ohne dass der Telementor in die Klinik fahren müsste.

Ausblick

Diese Unsicherheiten bei der Übertragung, neben den komplexen technischen Voraussetzungen, versetzen die Durchführung einer Operation eines Telementors nur mit einem Operationsroboter am Operationsstandort sicherlich in weite Zukunft. Operationsroboter wie das Da-Vinci-System oder das Zeus-System können zwar von einem Operateur aus der Distanz gesteuert werden, Operationen über weite Distanzen sind aber mit einem erheblichen Aufwand verbunden [11]. Applikationen dieser Art sind besonders gut vorstellbar in Situationen, in denen ein ausgebildeter Operateur nicht zugegen ist.

So wurde zur Versorgung von verletzten Soldaten im Kriegsfall ein Telementoring über Satellitenverbindung zwischen einem Flugzeugträger der amerikanischen Marine und einer Spezialklinik in den USA geschaffen [3]. Aber auch die amerikanische Weltraumbehörde benötigt Systeme dieser Art, um die bemannte Raumfahrt voranzutreiben und Missionen im Weltall über mehrere Jahre planen zu können [3].

Fazit

Die Durchführung der telerobotischen Operation zwischen München und Baltimore unter Zuhilfenahme von 2 Operationsrobotern gelang komplikationslos und ohne System- oder Kommunikationsausfälle. Telementoring kann zu Ausbildungszwecken, aber auch für Konsultationen von Spezialisten im Notfall eingesetzt werden.

Literatur

1. Bauer JJ, Stoianovici D, Lee BR et al. (1999) Transcontinental telesurgical robotic percutaneous renal access: case study. *Telemedicine J* 5: 27
2. Colegrove PM, Winfield HN, Donovan JF Jr, See WA (1999) Laparoscopic practice patterns among North American urologists 5 years after formal training. *J Urol* 161: 881–886
3. Cubano M, Poulouse BK, Talamini MA et al. (1999) Long distance telementoring. *Surg Endosc* 13: 673–678
4. Gill IS, Sung GT, Hsu TH, Meraney AM (2000) Robotic remote laparoscopic nephrectomy and adrenalectomy: the initial experience. *J Urol* Dec 164: 2082–2085
5. Hedican SP (2000) Laparoscopy in urology. *Surg Clin North Am* 80: 1465–1485
6. Janetschek G, Marberger M (2000) Laparoscopic surgery in urology. *Curr Opin Urol* 10: 351–357
7. Kavoussi LR, Moore RG, Partin AW et al. (1994) Telerobotic assisted laparoscopic surgery: initial laboratory and clinical experience. *Urology* 44: 15–19
8. Lee B, Bishoff JT, Janetschek G et al. (1998) A novel method of surgical instruction: international telementoring. *World J Urol* 16: 367–370
9. Lee BR, Cadeddu JA, Janetschek G et al. (1998) International surgical telementoring: our initial experience. *Stud Health Technol Inform* 50: 41–47
10. Mack MJ (2001) Minimally invasive and robotic surgery. *JAMA* 285: 568–572
11. Rassweiler J, Binder J, Frede T (2001) Robotic and telesurgery: will they change our future? *Curr Opin Urol* 11: 309–320
12. See WA, Cooper CS, Fisher RJ (2000) Predictors of laparoscopic complications after formal training in laparoscopic surgery. *JAMA* 270: 2689