

Assistenzsysteme für die Single-Port-Chirurgie und die Chirurgie über natürliche Körperöffnungen (NOTES)

43.1 Einleitung

In der Chirurgie gibt es seit langem im Interesse der Patienten eine Tendenz zur Reduzierung von Traumata. Es zeichnen sich gegenwärtig zwei Entwicklungslinien ab, die beide von der laparoskopischen Chirurgie abgeleitet und – nach Maßgabe des technischen Fortschritts – sehr erfolgversprechend sind:

- Bei der **Single-Port-Laparoskopie** werden alle erforderlichen chirurgischen Manipulationen nur noch über einen einzigen Zugang durch die Bauchdecke vorgenommen.
- Bei **NOTES** (*Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery*) wird ein Zugang über die Bauchdecke ganz vermieden. Die Einführung des Instrumentariums erfolgt über eine natürliche Körperöffnung (transoral, transanal, transvaginal oder transurethral).

Allerdings sind beide Verfahren noch nicht klinisch etabliert, da die konkrete operativ-technische Durchführung noch keineswegs standardisiert ist und noch nicht feststeht, ob die vermeintlichen Vorteile *in praxi* wirklich nachweisbar sind. Eine wesentliche Voraussetzung wird dafür die Verfügbarkeit dedizierter Instrumentensysteme – insbesondere auch von Assistenzsystemen – sein. Bei beiden Verfahren sind die Anforderungen an die „Operationsplattform“ ähnlich. Es muss erreicht werden, dass über einen einzigen Schaft (Manipulator) mehrere unabhängig voneinander steuerbare Instrumente gebündelt eingesetzt werden können. Es wird folglich wie bei der Standardendoskopie der gleiche Zugangsweg benutzt; am Zielobjekt muss jedoch vom zuführenden Manipulator auf mehrere operierende Effektoren gewechselt werden, um die Beweglichkeit signifikant zu erhöhen. Ferner sollte eine Triangulation, d.h. die Opponierung mit gegenüberliegender Position, der beiden Hauptinstrumente möglich sein. Nur damit können anatomische Strukturen kontrolliert, präzise präpariert und disseziert bzw. die Rekonstruktion vorgenommen werden. Selbst mobile Gewebeanteile können dann gezielt und zuverlässig angegangen werden, da eine optimale Fixation und Positionierung möglich ist.

43.2 Anforderungen an Assistenzsysteme

Speziell für NOTES gilt – vielleicht erstmals in der Geschichte der wissenschaftlichen Chirurgie –, dass der Erfolg des neuen Verfahrens ganz unmittelbar davon abhängt, dass die erforderlichen Telemanipulatoren bzw. Operationsplattformen in angemessener Weise entwickelt werden. Konkret ergeben sich für die einzelnen Module die folgenden Forderungen:

- **Instrumente:** Flexible Endeffektoren, die durch die Manipulatoren passiv in den Situs eingeführt werden und mit einer zusätzlichen Öffnungs- und Schließfunktion, ähnlich den endoskopischen Instrumenten, die Manipulation und Bearbeitung des Gewebes ermöglichen. Die Instrumente sollten über einen multifunktionalen Instrumentenwechsler innerhalb weniger Sekunden automatisch ausgewechselt werden können. Der Instrumentenwechsler, bestückt mit Instrumenten wie Fasszange, Schere, Saug-Spül-Element usw. für die vorgesehene Operation, sollte in die Peripherie ausgelagert sein.
- **Manipulatoren:** Erforderlich sind platzsparende, präzise steuerbare und mit verschiedenen Werkzeugen auszurüstende Aktoren, die in möglichst lange Trägersysteme mit sehr hoher mechanischer Flexibilität, d.h. einer hohen Anzahl von Freiheitsgraden, integriert sind. Dies werden Manipulatoren sein, die in ihrer Bauform an klassische Endoskope angelehnt sind, wie sie für Magen- oder Darmspiegelungen verwendet werden. Die Kinematik und Ansteuerung der Manipulatoren soll eine möglichst intuitive Bedienung gewährleisten.
- **Trägersysteme:** Sie bestehen aus zwei größeren Manipulatoren zur Positionierung der Instrumente und einem hochflexiblen Teleskop. Zu einer mechanischen Einheit zusammengesetzt, können diese unabhängig voneinander angesteuert werden. Diese integrierten Trägersysteme sind jedoch keine Master-Slave-Komponenten mit mehr oder weniger direkter Verbindung zur Operator-(Arzt-)Schnittstelle, sondern stellen wie die Instrumente Betriebsmittel dar, die über „zwischen geschaltete“ Planungsinstanzen so gesteuert

werden, dass die gemeinsame Bewegung von Manipulator, Träger- und Führungssystem in einer Trajektorie resultiert, die dem entspricht, was der Arzt intendiert.

- **Führungssystem:** Kleiner, kompakter Aktuator für die Nachführung des Trägersystems in seinen verfügbaren Freiheitsgraden mit lediglich geringfügiger räumlicher Behinderung des OP-Personals und einfacher Bedienung und Ansteuerung.
- **Schnittstellen:** Hier ist für die Relation Assistenzsystem ↔ Situs ein umfangreicher Satz an sensorischen Modalitäten erforderlich, der alle relevanten Parameter des Situs erfasst. Für die Relation Operateur ↔ Assistenzsystem wird eine Kombination aus Displays zur Informationspräsentation (visuell, haptisch, auditiv) und Sensoren zur Erfassung der Handlungsintentionen des Arztes benötigt.

Es versteht sich von selbst, dass diese Subsysteme so zu integrieren sind, dass sie alle Anforderungen an die nahtlose Einbindung in die Arbeitsumgebung des Operationsraums erfüllen und ferner an ein modernes Workflow-Managementsystem angepasst werden können.

Die heute auf dem Markt verfügbaren Systeme, z.B. DaVinci (Intuitive Surgical, USA), sind in ihrer aktuellen Form für solche Anwendungen leider nicht geeignet. Einige der Gründe sind die hohen Kosten, die eingeschränkte Flexibilität, die große und sperrige Konstruktion und die schwere Handhabbarkeit. Zusätzlich zu diesen Funktionalitäten müssen neue Systeme entwickelt werden, die einen intraoperativen Einsatz unter bildgebenden Verfahren wie z.B. CT und MRT erlauben. Dies kann nur dadurch möglich werden, dass man auf ferromagnetische Materialien verzichtet und das gesamte Antriebssystem in die Peripherie auslagert.

Dennoch wird ähnlich wie in anderen Anwendungsbereichen der medizinischen Robotik auch hinsichtlich des Einsatzes für die *Single-Port*-Chirurgie und NOTES weltweit sowohl an der Verbesserung von Einzelmodulen (vor allem Effektorarme, Mensch-Maschine-Schnittstelle usw.) als auch an der Entwicklung von dedizierten Gesamtsystemen gearbeitet.

43.3 Derzeitiger Stand der Technik

43.3.1 Manipulatoren

Zahlreiche Arbeitsgruppen beschäftigen sich mit Manipulatoren, die einerseits ausreichend flexibel sind – d.h. eine ausreichende Zahl von Freiheitsgraden an der Spitze

aufweisen – und andererseits so gering dimensioniert sind, dass die gemeinsame paarweise Einführung über einen *Single Port* bzw. den NOTES-Zugang möglich ist (> Tab. 43.1). Andere Gruppen konzentrieren sich eher auf die Krafrückkopplung der Instrumente, für die sie neuartige Sensoren und Systeme entwickeln, die an der Instrumentenspitze angebracht werden und somit eine taktile Wahrnehmung der Organstrukturen ermöglichen. Die zunehmende Komplexität dieser Manipulatoren, die in erster Linie nur für eine bestimmte Aufgabe wie z.B. das Schneiden oder Greifen von Gewebestrukturen eingesetzt werden, stellt hinsichtlich der Multifunktionalität eine neue Herausforderung dar. Hierfür müssen neue Ansätze von Instrumentenwechslern realisiert werden, die einen einfachen und intuitiven Austausch der Instrumente binnen kurzer Zeit ermöglichen, ohne den Operationsablauf zu beeinträchtigen. Für keine dieser Aufgabenstellungen wurde bisher aber eine „Ideallösung“ gefunden.

43.3.2 Trägersysteme

Definitionsgemäß bestehen diese Systeme aus zwei oder mehr Manipulatoren und dem flexiblen optischen System, die durch eine gemeinsame Öffnung in den Körper eingeführt werden. Die im Folgenden beschriebenen Lösungen stellen eine Momentaufnahme dar, zeigen aber auf jeden Fall den Trend.

Transport™ (USGI Medical, USA)

Das bereits auf dem Markt verfügbare *Transport™*-System der Fa. USGI Medical ist eine Multilumen-Operationsplattform ähnlich einem Mehrkanalendoskop, dessen Schaft mittels *Shapelock*-Technologie in jeder gewünschten Position blockiert werden kann. Wichtige Besonderheiten des Systems sind die vier Arbeitskanäle (7, 6, 4 und 4 mm), ein Insufflationskanal und die Flexion der Spitze in vier Richtungen. Durch den 6-mm-Kanal wird ein Endoskop für die Visualisierung eingeführt. Über die drei Arbeitskanäle werden gebräuchliche endoskopische Instrumente wie Nadelmesser oder Clipzangen sowie robuste Instrumente in Form von speziellen Greifern oder Nahtinstrumente eingesetzt. Nach der Versteifung des Schafts in der gewünschten Position kann die Operation durch Steuerung der einzelnen Instrumente durchgeführt werden. Aufgrund der parallelen Achse von Instrumenten und Optik bleiben die Flexibilität sowie die Triangulationsmöglichkeiten bei diesem System eingeschränkt. Der Antrieb ist ausschließlich manuell.

Tab. 43.1 Übersicht über die Manipulatoren mit erweiterter Flexibilität für die minimal-invasive Chirurgie in der Forschung und Entwicklung*

Autor	Publikation	Jahr	Institution	Land	DOF**
Breedvel DP	A New, Easily Miniaturized Steerable Endoscope	2005	Faculty of Mechanical Engineering, Delft University of Technology	Holland	2
Cavusoglu MC	Robotics for Telesurgery: Second Generation Berkeley/UCSF Laparoscopic Telesurgical Workstation and Looking towards the Future Applications	2003	Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Case Western Reserve University, Cleveland	USA	1
Chung J-H	Design of the Dexterous Manipulator for Minimally Invasive Surgery	2004	Dept. of Mechanical Engineering, Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon	Korea	3
Dario P	A Novel Mechatronic Tool for Computer-Assisted Arthroscopy	2000	Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa	Italien	1
Hasuo T	Development of bending and grasping manipulator for multi degrees of freedom ultrasonically activated scalpel	2006	Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science, Women's Medical University, Tokyo	Japan	2
Hattori A	General development plan of surgical robotic systems	2006	Institute for High Dimensional Medical Imaging, The Jikei University School of Medicine, Tokyo	Japan	1
Ikuta K	Remote Microsurgery System for Deep and Narrow Space – Development of New Surgical Procedure and Micro-robotic Tool	2002	Dept. of Micro System Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya University	Japan	2
Kawai T	Bipolar Coagulation-Capable Microforceps	1999	Mechanical Engineering Research Laboratory, Hitachi, Ltd., 832-2, Horiguchi, Hitachinaka, Ibaraki	Japan	2
Mitsubishi M	Medical Robot and Master Slave System for Minimally Invasive Surgery	2007	Dept. of Engineering Synthesis, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo	Japan	2
Salle D	Surgery grippers for Minimally Invasive Heart Surgery	2004	Laboratoire de Robotique de Paris, Fontenay-aux-Roses Cedex	Frankreich	3
Seibold U	Prototype of Instrument for Minimally Invasive Surgery with 6-Axis Force Sensing Capability	2005	Institute of Robotics and Mechatronics, German Space Center	Deutschland	2
Simaan N	High Dexterity Snake-Like Robotic Slaves for Minimally Invasive Telesurgery of the Upper Airway	2004	Dept. of Computer Science, The Johns Hopkins University, Baltimore	USA	2
Yamashita H	Handheld Laparoscopic Forceps Manipulator Using Multi-slider Linkage Mechanisms	2004	Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo	Japan	2

* Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

** Degrees of Freedom (Freiheitsgrade)

Cobra (USGI Medical, USA)

Ein erster Ansatz in Richtung multifunktionale Trägersysteme wurde durch L.L. Swanström in Kooperation mit der Fa. USGI Medical entwickelt (Swanström et al. 2005). Das sog. *Cobra*-Gerät als Prototyp setzt auf die flexible Struktur der Endoskope und beinhaltet zwei unabhängige Manipulatoren und eine flexible Optik, die durch den gleichen Trägerschaft transluminal in

den Bauchraum vorgeschoben werden. Der Schaft kann wie beim *Transport*TM mittels *Shapelock*-Technologie an der gewünschten Stelle formstarr positioniert werden, sodass die für die gewünschten Manipulationen erforderliche Kraft über die beiden Manipulatoren aufgebracht werden kann. Dadurch lassen sich die unabhängige Bewegung der Manipulatoren, ihre Triangulation und Flexibilität verbessern. Das System ist jedoch für genauere Bewegungen unzureichend, und für einen In-

strumentenwechsel muss das gesamte Trägersystem entfernt werden.

R-Scope (Olympus, Japan)

Das *R-Scope* von Olympus ist eine geänderte Form eines Doppelkanalendoskops für erweiterte transluminale Resektionen und NOTES. Dieses Endoskop hat zwei Biegesegmente und kann distal eine S-Form einnehmen. Nach der Blockierung beider Biegesegmente in der gewünschten Position können anschließend mit den beiden Instrumenten feine Retraktionen, Dissektionen und Manipulationen durchgeführt werden. Das System hat einen Außendurchmesser von 14,3 mm und erlaubt die Einführung von zwei 2,8-mm-Instrumenten. Beide Instrumente können in je einer Ebene senkrecht zueinander geschwenkt werden. Dies erlaubt eine dynamische Retraktion oder Dissektion unabhängig von der optischen Achse. Die erweiterten Freiheitsgrade, die manuell gesteuert werden, erschweren die Bedienung und sind von einem einzelnen Operateur kaum noch kontrollierbar.

Endo-Samurai (Olympus, Japan)

Der *Endo-Samurai* der Fa. Olympus ist konstruktiv ähnlich wie *Cobra* aufgebaut. Die beiden flexiblen Manipulatorarme sind hier starr am Trägerschlauch befestigt und erlauben eine geringe Triangulation der Instrumente. Neben den zwei Instrumentenkanälen durch die beiden Manipulatoren verfügt das System über einen weiteren Instrumentenkanal, durch den ein drittes Instrument eingeführt werden kann. Die Optik des *Endo-Samurai* ist jedoch starr in dem flexiblen Trägerschlauch integriert, sodass die Sicht auf die Manipulatoren, ähnlich wie bei der gewöhnlichen Endoskopie, stark eingeschränkt ist. Eine unabhängige Betrachtung des Operationsfeldes aus anderen Perspektiven ist dadurch nicht möglich.

Direct Drive Endoscopic System (Boston Scientific, USA)

Eine weitere Art eines Trägersystems zur Lösung der *Single-Port-Probleme* ist das in Entwicklung stehende *Direct Drive Endoscopic System* (DDES) von Boston Scientific (Martinec et al. 2008). Das DDES besteht aus drei Hauptelementen: einem flexiblen Führungsrohr mit drei Kanälen (6 mm Visualisierungskanal und zwei

4 mm Instrumentenkanäle), einem Set von 4-mm-Instrumenten und einer Plattformschiene. An der Operationsstelle ermöglicht der distale Teil des DDES-Führungsrohres ähnlich einem Endoskop Bewegungen in der horizontalen und vertikalen Ebene. Der proximale Teil ist auf einer stabilen Führungsschiene befestigt. Die Instrumente, die auf individuellen Schienen gleiten, haben Steuerungsgriffe, wodurch die Handbewegungen auf die Instrumentenspitzen mit 5 Freiheitsgraden übertragen werden, ohne die optische Perspektive zu verändern.

Anubiscope für die endoluminale Chirurgie (Karl Storz Endoskope, D)

Das in vielerlei Hinsicht sehr innovative System zeichnet sich durch seine distale Spitze aus. Zwei Halbschalen erleichtern im zusammengeklappten Zustand die Penetration der Abdominalhöhle. Innerhalb der Bauchhöhle werden die beiden Klappen entfaltet und drücken die Nachbarorgane zur Seite. Gleichzeitig führen sie die Instrumente von innen nach außen, sodass eine gewisse Triangulation ermöglicht wird. Es stehen flexible abwinkelbare Instrumente zur Verfügung, die fast alle Funktionen wie die konventionellen laparoskopischen Instrumente bieten. Die Optik ist allerdings starr eingebaut; eine Versteifungsfunktion ist nicht vorhanden.

Highly Versatile Single Port System (Klinikum rechts der Isar der TUM, D)

Eine Entwicklung der Forschungsgruppe für Minimal-invasive Interdisziplinäre Therapeutische Intervention (MITI) der TU München ist das *Highly Versatile Single Port System* (HVSPS; Can et al. 2008). Dieses System beinhaltet zwei Manipulatoren und ein halbstarres Teleskop, die über eine einzelne Öffnung in den Bauchraum eingeführt werden (> Abb. 43.1). Durch dieses neue System kann der Chirurg, bildlich gesprochen, mit dem Kopf, den Schultern und den Armen im Bauchraum Operationen durchführen, die bis jetzt nur durch offene chirurgische Eingriffe möglich waren.

Im Vergleich zu anderen Systemen wird das HVSPS durch ein einzelnes Führungssystem gehalten und gesteuert. Dadurch wird im Operationssaal und um den Patienten nur wenig Raum beansprucht. Die Triangulation der beiden Instrumente ist für die erfolgreiche Durchführung der *Single-Port-Operationen* ausschlaggebend. Dies kann nur mit den hier dargestellten Mani-

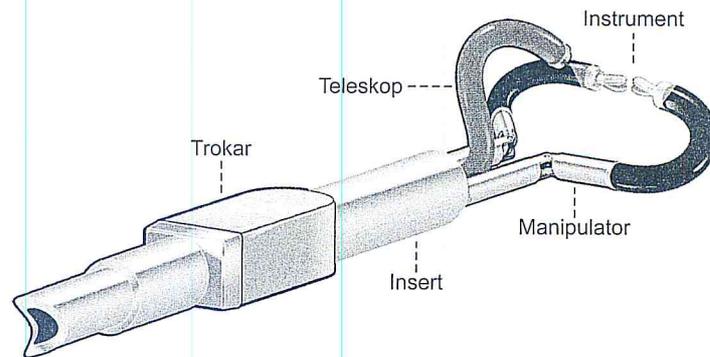


Abb. 43.1 Schematische Darstellung des Highly Versatile Single Port System der TUM.

Manipulatoren mit zusätzlicher Flexibilität in größerem Ausmaß erreicht werden. Bei der Präparation von Gewebestrukturen werden die Instrumente in opponierender Form intuitiv gegeneinander bewegt und somit der erforderliche Zug/Gegenzug realisiert.

Die Manipulatoren mit je fünf Freiheitsgraden haben einen Außendurchmesser von 12 mm und eine den flexiblen Endoskopen ähnliche Hohlstruktur. Durch den zentralen Kanal der Manipulatoren können somit flexible Instrumente von 2,4 mm Durchmesser eingeführt und je nach Bedarf einfach ausgetauscht werden. Das flexible Biegesegment der Manipulatoren mit zwei Freiheitsgraden ist dem menschlichen Handgelenk ähnlich; es hat eine Länge von 75 mm, gefolgt von einem 50 mm langen Rohr, und ein Ellenbogengelenk mit einem weiteren Freiheitsgrad. Zwei weitere Freiheitsgrade am proximalen Ende der Manipulatoren ermöglichen eine Rotation von 270° in jeder Richtung und eine lineare Bewegung von 80 mm in die Bauchhöhle.

Die Visualisierung des operativen Situs wird durch ein flexibles Teleskop mit 10 mm Durchmesser und fünf Freiheitsgraden erreicht, das unabhängig von den einzelnen Manipulatoren durch einen separaten Kanal eingeführt wird. Dieses Teleskop kann eine S-Form-Struktur, ähnlich einem Schwanenhals, annehmen, sodass der ganze Arbeitsbereich der Manipulatoren betrachtet werden kann.

Das gesamte Trägersystem, die beiden Manipulatoren und das Teleskop zusammen im Insert, wird durch ein 33-mm-Trokar in den Bauchraum eingeführt. In einer späteren Entwicklungsstufe soll es am proximalen Ende des Inserts durch ein Führungssystem, in unserem Fall das Soloassist™ (Aktormed, Barbing), gehalten und in seinen vier Freiheitsgraden um den invarianten Punkt gesteuert werden.

43.4 Weitere Entwicklungsaufgaben

43.4.1 Führungssysteme

Bisher ist in der internationalen Entwicklung noch nicht erkennbar, dass für die oben vorgestellten Trägersysteme eigentlich zwingend erforderliche Führungssysteme konzeptionell einbezogen werden müssten. Wenn man die Trägersysteme – bildlich ausgedrückt – mit Kopf, Schultergürtel und Armen des Chirurgen gleichsetzen kann, würde das Führungssystem dem Rumpf und den Beinen des Operateurs entsprechen.

Hier würden ansatzweise mehrere Systeme in Frage kommen, die für *Single-Port*-Anwendungen angepasst werden können (> Tab. 43.2). Hier käme z.B. ein reduziertes DaVinci-System mit einem Führungsarm oder ein einzelner ZEUS-Roboterarm in Betracht. Das von der Forschungsgruppe MITI und der Fa. Aktormed, Barbing, entwickelte Positioniersystem SoloAssist™ würde auch die gestellten Anforderungen eines *Single-Port*-Führungssystems erfüllen. Als markanter Vorteil kann dieses System auch für intraoperativen Einsatz bei bildgebenden Verfahren wie CT oder MRT verwendet werden. Des Weiteren ist dieses System kompakter, leichter und günstiger, sodass sich hier auch wesentliche Vorteile in Bezug auf die Akzeptanz herauskristallisieren.

Für eine optimale Positionierung wird das SoloAssist™-System an dem Trokarpunkt kalibriert, der für die Steuerung als invarianten Punkt definiert wird. Dieser Punkt ermöglicht die Berechnung der einzelnen Axialbewegungen für die Neigung des Teleskops und die generierte Kreisbewegung. Im Vergleich zu anderen Kameraführungssystemen hat das SoloAssist™ zwei Steuerungsmodelle: die gewöhnliche kartesische Steuerung (x, y, z), die i.d.R. für die Definition des invarianten

Tab. 43.2 Zusammenstellung der chirurgischen Assistenzsysteme* (Taylor und Stoianovici 2003)

System	Institution	Jahr	Land	DOF	Bedienung/Steuerung	Einsatzgebiet	Eingesetzt auf
AESOP	Computer Motion	1992	USA	3	Pad, Fuß, Sprache	Laparoskopie	Mensch
BlueDRAGON	Universität Washington, Seattle	2002	USA	4	haptisches Bediengerät	Laparoskopie	Phantom
CLEM	TIMC/IMAG	2002	Frankreich	3	–	Laparoskopie	Phantom
DaVinci	Intuitive Surgical	1999	USA	2*6 +4	Master-Slave-System	Laparoskopie	Mensch
LARS	IBM	1995	USA	6	synergetisch/bildgeführt	Laparoskopie, perkutaner Zugang	Tier
SCALPP	LIRMM	2001	Frankreich	6	chirurgische Assistenz	Tissue Engineering	?
SS-Colon	Scuola Superiore Saint' Anna	1997–2002	Italien	1	chirurgische Assistenz, Master-Slave-System	Kolonoskopie	Leiche
Steady Hand	Johns Hopkins	1999	USA	7	synergetisch	Mikrochirurgie	Leiche
SurgiScope	Humboldt Universität/Jojo/Markie/Elekta	1997	Deutschland	6	Navigation und chirurgische Eingaben	Mikroskophalter, Brachytherapie	Mensch (Mikroskope)/Tier (Brachytherapie)
TER	TIMC/IMAG	2001	Frankreich	2	Master-Slave-System	Tele-Echographie	Phantom
UBC-US	University of British Columbia	1999	Kanada	6	3D-Ultraschall	Arterielle Bildgebung	Mensch
UBC-MW	University of British Columbia	1997	Kanada	6	Master-Slave-System	Mikrochirurgie	Phantom
UCB/UCSF	UC Barkley, UC San Francisco	1999, 2003	USA	6	Master-Slave-System	Laparoskopie	Tier
UT-LAP	University of Tokyo	1999	Japan	4	Gyro Sensor, Fuß	Laparoskopie	Phantom
Zeus	Computer Motion	1998	USA	3	Master-Slave-System	Laparoskopie	Mensch

* Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Punktes verwendet wird, und die Kegelsteuerung, bei der die x- und y-Achse in Bezug auf den invarianten Punkt durch Kipp- und Kreisbewegung ersetzt werden und die z-Achse dem Ein- und Auszoomen des Teleskops entspricht (> Kap. 42).

43.4.2 Schnittstellen

Sensorgestützte Assistenz-/Trägersysteme können als situiert bezeichnet werden, wenn sie es dem Arzt erlauben, abhängig vom momentanen Aufgabenkontext 1. die notwendigen Informationen zu erhalten, 2. darauf aufbauend die entsprechenden Entscheidungen zu treffen, die

das System dann 3. unter Adaptation an die aktuellen Gegebenheiten am Situs in motorische Aktionen umsetzt. (Teil-)Autonom ist ein solches System, wenn es die Ausführung bestimmter Aktionsfolgen selbstständig (i.d.R. nach Bestätigung durch den Arzt) durchführen kann.

Diese Konzepte lassen sich schematisch am Teleaktionssystem DaVinci (Intuitive Surgical, USA) verdeutlichen. Hier werden die Bewegungen der Hände des Chirurgen direkt auf die Operationsinstrumente umgesetzt. In Gegenrichtung wird ein endoskopisch aufgenommenes Bild des Situs übermittelt und vom Chirurgen an seiner Konsole betrachtet.

Ein erster Schritt zur Verbesserung der Bedienbarkeit eines entsprechenden Systems könnte bspw. darin be-

stehen, das aufgenommene Bild der Endoskopkamera wie beim DaVinci zum Operateur zu übertragen, vorher aber maschinell auszuwerten und dabei schritthaltend die jeweilige Phase der Operation zu ermitteln. Je nach Operationsfortschritt könnten dann bestimmte Bildbereiche vergrößert dargestellt, spezifische OP-Instrumentenwechsel vorbereitet oder Resultate der OP-Planung überlagert eingeblendet werden.

In einem weiteren Schritt könnte das System dann, basierend auf diesen parallel laufenden Analysen, die vorgenommenen Aktionen beeinflussen, z.B. Kräfte für die Bewegungen beschränken, adaptiv verbotene räumliche Bereiche festlegen und Geschwindigkeitsprofile bzw. Filterkonstanten einstellen. Schließlich könnten dann – unter Steuerung des Chirurgen – ganze Aktionsfolgen automatisch ablaufen, etwa das Knoten an einer bestimmten Stelle, und zwar unter Berücksichtigung des gesamten Situsumfeldes. In Mayer et al. (2007) wird ein an der TUM entwickeltes System vorgestellt, das insbesondere diesen letzten Schritt bereits (auf der Ebene realer Organe) beherrscht.

Insgesamt bestehen also realistische Aussichten, *Single-Port*-Eingriffe und u.U. auch echte NOTES-Eingriffe durch den Einsatz intelligenter Unterstützungsplattformen reif für die klinische Anwendung zu machen. Wie dargestellt, ist bis dahin noch beträchtliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten, die sicher noch mehrere Jahre in Anspruch nehmen wird.

LITERATUR

- Can S, Fiolka A, Mayer H, Knoll A, Schneider A, Meining A, Feussner H (2008) The mechatronic support system "HVSPS" and the way to NOTES. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, Oct 30: 1–5
- Martinec DV, Zheng B, Dunst CM, Swanstrom LL (2008) Separating vision and instrument motion improves performance of endoscopic surgery. *Gastrointestinal Endoscopy* 67(5): AB113
- Mayer H, Nagy I, Knoll A, Braun EU, Bauernschmitt R (2007) Human computer interfaces of a system for robotic heart surgery. In: Proc. of the Second IASTED International Conference on Human-Computer Interaction, Chamonix, France, 31–36
- Swanstrom LL, Kozarek R, Pasricha PJ, Gross S, Birkett D, Park PO, et al. (2005) Development of a new access device for transgastric surgery. *J Gastrointest Surg* 9: 1129–1137
- Taylor RH, Stoianovici D (2003) Medical robotics in computer-integrated surgery. *Robotics and Automation, IEEE Transactions* 19(5): 765–781