

NOTES: Neue Impulse aus Forschung und Entwicklung

NOTES: Impact from Research and Development

Autoren

S. Can¹, H. Mayer², A. Knoll²

Institute

¹ Forschungsgruppe MITI, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, Deutschland

² Lehrstuhl für Robotics and Embedded Systems, Technische Universität München, Deutschland

Schlüsselwörter

- ▷ NOTES
- ▷ transluminale Chirurgie
- ▷ Viszerosynthese
- ▷ mechatronische Plattform
- ▷ räumliche Orientierung und Navigation

Key words

- ▷ NOTES
- ▷ transluminal surgery
- ▷ viscerosynthesis
- ▷ mechatronic platform
- ▷ spatial orientation and navigation

Bibliografie

DOI 10.1055/s-0028-1098689
Endo heute 2008; 21; 226–230
© Georg Thieme Verlag KG
Stuttgart · New York ·
ISSN 0933-811X

Korrespondenzadresse

Prof. Dr.-Ing. Alois Knoll
Robotics and Embedded
Systems
Technische Universität
München
Boltzmannstraße 3
85748 Garching bei München
Tel.: +49/89/2891 81 06
Fax: +49/89/2891 81 07
knoll@in.tum.de

Zusammenfassung

Transluminale endoskopische Chirurgie über natürliche Körperöffnungen (NOTES) ist ein intensiv diskutiertes Thema heutzutage. Die kontroverse Debatte hierzu führt von euphorischen Visionen bis zur kompletten Ablehnung und ein technologischer Durchbruch ist weiter weg von der Realität als erwartet. Dieser Artikel gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik entstehend aus einer gründlichen Literaturrecherche einschließlich der persönlichen Erfahrungen. Die technologischen Barrieren die zurzeit eine klinische Anwendung hindern, wie es durch die NOSCARGruppe definiert wurde, werden im Detail behandelt. Mit der Ausnahme des Eintritts durch die Vagina ist bis heute kein transluminaler Zugang klinisch reif. Die meisten Hindernisse sind nur eine Frage der weiteren Fortschritte, die in der Medizintechnik notwendig sind. Allerdings ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Chirurgen essenziell für die Lösung der bestehenden Probleme. Derzeit verfügbare Werkzeuge und Techniken für NOTES befinden sich noch in frühen Entwicklungsstadien, allerdings weltweite Aktivitäten in Forschung und Entwicklung führen zu viel versprechenden Lösungen. Ob „reine NOTES“ oder nur Hybride-Verfahren, Chirurgie wird einen weiteren Schritt nach vorn in Richtung der minimalinvasiven Disziplin gehen.

Die Entwicklung der modernen minimalinvasiven Chirurgie hängt immer mehr von technologischen Fortschritten ab. Diese Abhängigkeit von der Technologie ist bei der neuen Operationsmethode über natürliche Körperöffnungen noch stärker ausgeprägt. Der anfänglichen Euphorie über einen anstehenden „Paradigmenwechsel“ wie die der Laparoskopie vor über zwanzig Jahren folgt jetzt die ernüchternde Erkenntnis, dass NOTES im eigentlichen Sinn mit den heutigen

Abstract

Natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES) is an intensely discussed topic today. The controversial debate on this leads from euphoric visions to complete refusal and a technological breakthrough is far away from reality than expected. This paper gives a review of the current state of the art emerging from a thorough literature research, including personal experiences. The technological barriers currently impeding the clinical use as defined by the NOSCARGroup are dealt with in detail. No natural orifice entering technique is already clinically mature except the vaginal access. Most of the obstacles are just a matter of further progress required in medical engineering. However, a close cooperation between engineers and surgeons is essential for solving the existing problems. Currently available tools and techniques for NOTES are still in early stages of development, but world wide activities in research and development lead to very promising solutions. Whether “pure NOTES” or hybrid procedures only, surgery will take another step forwards towards a less invasive discipline.

technischen Möglichkeiten nicht zu realisieren ist.

In dem dazu formulierten Basispapier [1] sind die zahlreichen Barrieren aufgeführt, die überwunden werden müssen, bevor NOTES reif für die klinische Anwendung ist. Eine interdisziplinäre Kooperation zwischen Medizinern und Ingenieurwissenschaften ist für einen erfolgreichen Fortschritt diesbezüglich unerlässlich. Nachfolgend sind einige der zentralen Schwerpunkte aufgelistet.

tet, die durch Entwicklungen der Ingenieure vorangetrieben werden müssen:

- ▶ Zugang zur Peritonealhöhle
- ▶ Verschluss der Zugangsstelle
- ▶ Mechatronische Supportsysteme
- ▶ Räumliche Orientierung und Navigation
- ▶ Integrierter Operationsraum
- ▶ Training und Simulation

Alle diese Punkte hängen weitgehend voneinander ab. Für den intuitiven Einsatz eines mechatronischen Supportsystems sind die räumliche Orientierung und die Navigation unerlässlich. Für die Perforation und den Verschluss der Zugangsstelle aber v. a. für die Durchführung der eigentlichen Operation braucht man ein geeignetes und einfach bedienbares mechatronisches Supportsystem. Für eine erfolgreiche Anwendung des Systems ist eine vorbereitende Ausbildung auf Simulatoren notwendig.

Hierfür sind Grundlagenforschung sowie neue Entwicklungen durch interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Fachgebieten der Ingenieurwissenschaften eine Grundvoraussetzung. Neben der Hardwareentwicklung (Manipulatoren, Instrumente, usw.) sind auch neuartige Softwareapplikationen (Systemsteuerung, Simulationsumgebung, virtuelle Realität, usw.) erforderlich.

Zugang zur Peritonealhöhle

Bis heute werden vier verschiedene Zugangswege für die NOTES-Chirurgie verwendet: der Magen, der Dickdarm, die Blase, bei weiblichen Patienten die Scheide und die Kombination mehrerer dieser Zugänge. Jeder einzelne Zugangsweg impliziert Vor- und Nachteile, sodass sich bis jetzt keiner als ideal erweisen konnte.

Welche Zugänge wann verwendet werden können, ist in erster Linie eine medizinische Frage. Neue Entwicklungen in der Medizingerätetechnik könne aber die Zugangstechnik entscheidend verbessern, wie an zwei Beispielen gezeigt werden soll.

Der transvesikale Zugang wurde bis jetzt für die Peritoneoskopie und Thorakoskopie eingesetzt [2, 3]. Es ist der einzige Zugang, der mehr oder weniger steril ist und zudem einen einfachen und sicheren Verschluss ermöglicht. Der beinahe einzige Nachteil dieses Zugangs ist der eingeschränkte Öffnungsdurchmesser. Es können nur Instrumente mit geringem Durchmesser (<5 mm) eingeführt werden um Verletzungen der Harnröhre oder der Sphinkter zu vermeiden. Durch die Entwicklung eines neuen, schonenden Bougierungssystems kann der Durchmesser aber erheblich erweitert werden, sodass sogar Implantate eingebracht werden können.

Der transkolische Zugang wird von vielen Forschungsgruppen als eine der problematischsten Alternativen angesehen trotz der einfachen Durchführbarkeit. Die Hauptgründe hierfür sind die bakterielle Kontaminationsgefahr und die Sekundärleckagen. In mehreren Forschungsstudien traten bei bis zu 20% der Fälle ernsthafte Komplikationen auf [4, 5].

Ein Durchbruch konnte mit dem so genannten innovativen, sicheren und sterilen sigmoidalen Zugang (ISSA) geschafft werden. Nach der Schaffung eines Fluidoperitoneum mit einer Veressnadel, wird der gasgefüllte Darm von dem Beckenboden und dem Rektosigmoid getrennt. Durch einen endoskopischen Ultraschallkopf kann die Eintrittsstelle im vorderen rektosigmoidalen Übergang, in sicherer Entfernung von den Darmschlingen und den wichtigen Gefäßen, identifiziert und anschließend

der ISSA-Trokar eingeführt werden. Nach dem Eingriff erfolgt der Verschluss des Zugangs durch eine Tabaksbeutelnaht und einem Linearstapler [6, 7].

Diese beiden Beispiele zeigen, dass immer dann, wenn Mediziner in der Lage sind, ihre Anforderungen konkret zu formulieren und mit Grundlagenwissenschaftlern und Ingenieuren mit einem prinzipiellen Verständnis für die Chirurgie zusammenzuarbeiten, Grenzen überwunden werden können, die eine Methodik bislang limitierten.

Verschluss der Zugangsstelle

Für NOTES-Eingriffe ist mindestens ein Einschnitt entweder durch die Scheide, durch die Harnblase oder durch den Magen-Darm-Trakt notwendig. Ein zuverlässiger Verschluss dieses Zugangs ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Vermeidung der primären und sekundären Leckagen. Unabhängig davon, ob nur ein kleiner Schnitt verschlossen oder eine umlaufende Anastomose gesetzt wird, eine Viszerosynthese muss eine adäquate Blutversorgung, geringe Spannung, den Einschluss der Submukosa und einen luftdichten Verschluss bieten.

Endoskopische Clips werden bereits seit längerer Zeit für Defekte an der Magen-Darm-Wand benutzt. Für die Verschließung kleiner Wunden funktionieren die Clips bei richtiger Anwendung recht gut. Jedoch ob die Sicherheit und Anwendbarkeit für einen systematischen Einsatz ausreichend sein wird ist zweifelhaft.

Der Einsatz von T-Klammern, entweder vor oder nach der endoluminalen Vollwandresektion, ist vergleichsweise gut geeignet um Wanddefekte zu verschließen [8]. Eines der Probleme dieser Technik ist die Zerstörung der benachbarten Strukturen. Alternativen hierzu sind der GI-Prox oder der sogenannten NDO-Plicator [9, 10]. Der Endorivet [11] und der Eagle Claw [12] müssen für einen akzeptablen Einsatz funktional weiter verbessert werden. Alle diese Systeme sind jedoch schwer anwendbar, zeitaufwendig, hoch technisch und teuer [13]. Vor kurzem wurde das neu entwickelte Ovesco-Gerät vorgestellt [14]. Die Anwendbarkeit dieses System muss in weiteren Studien untersucht werden.

Der zuverlässigste und schnellste Weg der Viszerosynthese ist der Einsatz von Staplern. Für endoluminale Anwendung müssen diese jedoch flexibel sein. Hierfür gibt es bereits erste Beispiele, die bei einer experimentellen Studie für den Verschluss einer Magenläsion verwendet wurden [15]. Für ein breiteres Spektrum von Indikationen, müssen diese jedoch miniaturisiert, der Kopf ferngesteuert und zusätzlich ein Teleskop integriert werden, sodass insgesamt noch sehr viele entwicklungs- und fertigungstechnische Potenziale genutzt werden können.

Mechatronische Supportsysteme

Instrumentationsplattform

Herkömmliche flexible Endoskope sind für NOTES-Eingriffe wenig tauglich. Während sie im Gastrointestinaltrakt hinreichend gestützt sind, ist eine Stabilisierung in der freien Bauchhöhle praktisch nicht möglich. Mit Recht werden deshalb stabile Instrumentenplattformen gefordert, die intraabdominal das Manövrieren der Optik und der Instrumente von einer festen Basis erlauben. Als Entwurfskriterien für ein solches System werden folgende Punkte genannt:

- ▶ Freie Navigierbarkeit
- ▶ Intuitive Bedienbarkeit
- ▶ „Single-Port“-Fähigkeit
- ▶ Einbettung in eine übergeordnete Systemkontrolle
- ▶ Partielle Autonomie

Herkömmliche Master-Slave-Systeme wie der daVinci-Telemanipulator von Inuitive Surgical sind dafür per se nicht geeignet. NOTES-Systeme müssen über einen einzigen Zugangspunkt einzubringen sein (über eine natürliche Körperöffnung gem. „Single-Port“-Konzept). Die Nutzung von mehreren Trokaren wie bei der Laparoskopie ist nicht möglich.

Notwendigerweise darf der Außendurchmesser eines Systems, das den entsprechenden Anforderungen genügt, nicht wesentlich größer sein als der eines flexiblen Endoskops. Entscheidend ist die Verwirklichung des Triangulationsprinzips, sodass mit opponierten Endeffektoren Zug und Gegenzug ausgeübt werden kann. Daher müssen mindestens zwei Instrumente und die Optik unabhängig voneinander bewegt werden können.

Prototypisch wurden Ansätze wie das Octopus [16], das Direct Drive Endoscopic System (DDES) [17] und das „Highly Versatile Single Port System“ (HVSPS) der TUM [18] (siehe ▶ **Abb. 1**) bereits verwirklicht. Allerdings muss noch eine Fülle von Defiziten überwunden werden bevor diese Systeme in die klinische Anwendung kommen [19].

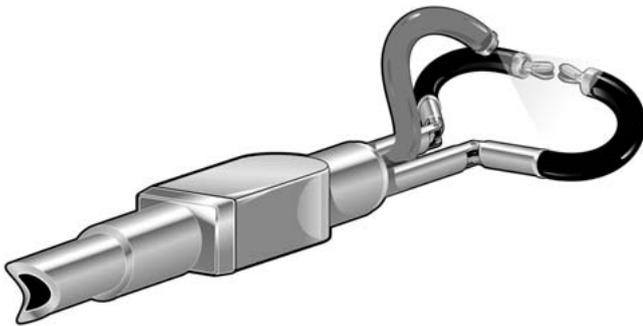


Abb. 1 Schematische Darstellung der mechatronischen Instrumentationsplattform der TUM; das „Highly Versatile Single Port System“ (HVSPS).

Eine zentrale Stellung nimmt hier die Schaffung einer intuitiven Mensch-Maschine-Schnittstelle ein. Zwei kritische Schnittstellen sind hier zu berücksichtigen: Die Schnittstelle zwischen der Anatomie und der Maschine und die Schnittstelle zwischen der Maschine und dem Operator. Da der Chirurg nur zwei Instrumente/Kameras zur selben Zeit bedienen kann, benötigt man zudem ein intelligentes Konzept um die Verbindung von Eingabegerät zu Endeffektor dynamisch zur Laufzeit des Systems zu ändern. Dafür gibt es bereits Ansätze im ARAMIS-Projekt an der TU München (Robotersystem für die minimalinvasive Chirurgie – siehe ▶ **Abb. 2**) [20], mit dem das HVSPS-Projekt des Klinikums Rechts der Isar in Zukunft vereinigt werden soll. In diesem System kann die Bedienung der Instrumente bereits von einem beliebigen Eingabegerät aus erfolgen und diese Zuordnung kann während der Operation beliebig geändert werden. Instrumente die nicht durch den Benutzer geführt werden, können zudem teilautonome Tätigkeiten übernehmen (z.B. kraftgeregeltes Ziehen oder Halten einer Position).

Intelligente Instrumente

Wenn eine intuitiv bedienbare, intelligente Instrumentenplattform die Optik und die Instrumente in die ideale Position gebracht hat, ist das synergistische Zusammenwirken von mindestens zwei Operationsinstrumenten (Endeffektoren) im Blickfeld der Kamera erforderlich. Um das NOTES-Konzept klinisch umzusetzen, müssen auf diese Weise auch komplexere Manipulationen möglich sein. Wahrscheinlich ist dies nur zu verwirklichen, wenn die Endeffektoren zu einem gewissen Grad autonome Fähigkeiten aufweisen. Die Ausführung von Nähten oder der Knotenverschluss sollten „automatisierbar“ sein, um den Operateur wirksam zu entlasten. Auch zu diesem Punkt existieren bereits Vorarbeiten im Rahmen des Kooperationsprojekts ARAMIS [21]. Im Rahmen dieser Forschungsarbeiten ist es bereits gelungen chirurgische Knoten semi-automatisch durchzuführen. Die erforderlichen sensor-motorischen Zusammenhänge werden dabei anhand weniger Vorführungen des Chirurgen gelernt. Danach kann der Knoten dann an einer beliebigen Stelle innerhalb des definierten Arbeitsbereichs angewendet werden. Aus Sicherheitsgründen werden die dabei durchgeführten Be-



Abb. 2 Die grafische Benutzeroberfläche der ARAMIS Forschungsplattform.

wegungen zunächst in einer detailgetreuen Simulationsumgebung präsentiert und müssen vor der tatsächlichen Ausführung noch vom Chirurgen bestätigt werden.

Neben chirurgischen Nahttechniken spielen zunehmend auch andere Ansätze für die Viserosynthese (Kleben, Schweißen, Klammern) eine wichtige Rolle. Die entsprechenden Verfahren müssen für einen Einsatz in NOTES-Applikationen jedoch erst noch aufbereitet werden und es müssen neue Werkzeuge entwickelt werden, die geeignet miniaturisiert werden können.

Räumliche Orientierung und Navigation

Beim Übergang aus dem gastrointestinalen Lumen in den Bauchraum betritt der Endoskopiker eine anatomische Landschaft, in der die sichere Navigation eine erheblich größere Bedeutung hat als innerhalb des Lumens und gleichzeitig mit dem flexiblen Endoskop schwieriger ist. Dies liegt in erster Linie an der Herausforderung, anatomische Strukturen im Bauchraum ausreichend auszuleuchten und zuzuordnen. Zudem wird durch die freie axiale Drehung des Endoskops die Orientierung erschwert. Hier sind Hilfssysteme erforderlich, die z.B. einen anatomischen Horizontausgleich in Echtzeit ermöglichen, denn der ständige Wechsel der Beziehungsebene beeinträchtigt jede Art von Intervention. Nicht weniger wichtig ist eine kontinuierliche Konfigurationsbeschreibung des Endoskops, um Schlingenbildungen oder eine Inversionsposition jederzeit intuitiv erfassen zu können.

Es existieren bereits erste Ansätze die dem Chirurgen wichtige Hilfestellungen liefern können [22, 23]. So werden präoperative Aufnahmen des Situs (CT und MRT) an geeigneter Stelle mit der aktuellen Darstellung überlagert (augmented reality) um eine Wiedererkennung anatomischer Strukturen zu erleichtern. Außerdem sollen anatomische Landmarken automatisch erkannt werden, um die vorliegende Szene mit einem Modell zu registrieren und dadurch z.B. einen einheitlichen anatomischen Horizont zu erstellen und am Ausgabegerät zu simulieren [24].

Im Vergleich zur laparoskopischen Chirurgie ist das Problem des „Tunnelblicks“ bei NOTES noch einmal relevanter: Nur ein sehr kleiner Ausschnitt der Geometrie des OP-Szenarios kann aktuell eingesehen werden, sodass die räumliche Orientierung erhebliche zusätzliche mentale Leistungen des Operateurs erfordert. Denkbar wären mindestens drei Wege, um diese Aufgabe zu erleichtern:

- ▶ Sobald hinreichend genaue Referenzierungsverfahren zur Verfügung stehen, ist die Einbeziehung der präoperativen Bildgebung als Orientierungshilfe möglich (augmented reality). Die Anwendung dieses Verfahrens ist im Bauchraum jedoch besonders komplex und nicht immer zufriedenstellend möglich. Dies liegt vor allem an den dort vorliegenden deformierbaren Strukturen, die eine direkte Registrierung mit einem Idealmodell erschweren. Anhand eines Deformationsmodells muss zunächst eine Korrektur der erfassten Daten vorgenommen werden, um die präoperative Anatomie an den intraoperativen Situs anzupassen.
- ▶ Alternativ oder ergänzend kommt auch eine kontinuierliche optische Entfernungsmessung in Echtzeit in Frage (z.B. mit Time-of-flight-Technologie) um die planaren Bilddaten mit entsprechender Tiefeninformation anzureichern [25].
- ▶ Um den dargestellten Szenenausschnitt zu vergrößern, und damit die Orientierung wesentlich zu erleichtern, können

Verfahren aus der aktuellen Forschung zur Telepräsenz angewendet werden. Dabei wird aus unterschiedlichen, sich überlappenden Aufnahmen der Szene, mittels Mosaiking ein prädiktives Display erstellt. Damit können auch aktuell nicht direkt einsehbare Bereiche mit den vorhandenen Aufnahmen statisch visualisiert werden. Die Ausgangsdarstellung wird dabei entweder aus Modelldaten oder mit Hilfe einer initialen Exploration erstellt.

Integrierter Operationsraum

Je komplexer spezifische Arbeitsumgebungen werden, desto wichtiger ist eine integrierte Systemkontrolle, d. h. eine zentrale intelligente Kontrollinstanz. Ein sinnvoller, gemeinsamer Einsatz unterschiedlicher technologischer Module setzt zwingend eine integrierte Vernetzung voraus. Auf der Basis von kontinuierlichen, in Echtzeit einlaufenden Statusinformationen durch Sensoren wird ein Soll-Ist-Abgleich vorgenommen. Die ständige Workflowanalyse erlaubt die gezielte Vorhersage von weiteren erforderlichen Schritten (bedeutsam für die Logistik), aber beispielsweise auch Warnhinweise an das Operationsteam und in Notfällen die eigenständige Alarmierung von Kontrollinstanzen [26]. Selbstverständlich muss der „intelligente OP“ mit der Eigenschaft der „Situation Awareness“ auch situationsgerecht die Bereitstellung von präoperativer Information und ggf. die Kommunikation nach außen ermöglichen (z.B. die Einpflegung von Datensätzen in ein Klinik-Informationssystem) [27]. Die automatische Ablaufprotokollierung (OP-Protokoll) u. a. für das Qualitätsmanagement ist ein willkommenes Nebenasspekt.

Training und Simulation

Selbst verhältnismäßig hoch technisierte Eingriffe wie laparoskopische Operationen sind bis heute noch nicht in befriedigender Weise in der virtuellen Realität simulierbar. Erst recht gilt dies für NOTES-Eingriffe, in denen die Interventionsbedingungen noch einmal deutlich dynamischer sind als bei den minimal-invasiven Baueingriffen. Die Anforderungen an eine ideale Trainingseinheit sind vielfältig.

- ▶ Wirklichkeitsnahe Anatomie
- ▶ Realistische Farbgebung
- ▶ Authentische Haptik
- ▶ Eignung für laparoskopische, hybride und NOTES-Eingriffe
- ▶ Zugang zur Peritonealhöhle über Magen, Vagina, Dickdarm und Blase
- ▶ Eignung für die intraoperative Navigation (CT, MRT, US)

Als eine Besonderheit von NOTES sind die kognitive Fähigkeit und die handwerkliche Geschicklichkeit eines Endoskopikers und gleichzeitig eines erfahrenen laparoskopischen Chirurgen erforderlich. Bis jetzt kann dieser Ausbildungsbedarf und Trainingsmöglichkeiten nur durch Tierversuche befriedigt werden. Anorganische Ausbildungssysteme (entweder mechanisch [28] oder computergestützt [29]) bieten Fortbildungsmöglichkeiten sowohl für die Laparoskopie als auch für die Endoskopie. Dies ist jedoch für hybride Operationen oder NOTES-Eingriffe bis jetzt nicht möglich.

Das erste Trainingsphantom für die NOTES-Ausbildung ist die „Endoskopische/Laparoskopische Interdisziplinäre Trainingseinheit“ der Coburger Lehrmittelanstalt. ELITE bietet die Simulation der Standard-Zugangstechniken (transoral, transanal,

transvaginal) und die Durchführung der aktuellen NOTES-Eingriffe (z. B. Peritoneoskopie, Cholezystektomie, Appendektomie) unter Verwendung der üblichen endoskopischen Instrumente [30].

Allerdings ist der Grad der Immersion für mechanische Modelle physikalisch begrenzt. Auf lange Sicht müssen computerbasierte Trainingsumgebungen für die virtuelle Realität zur Verfügung gestellt werden. Wie in der minimalinvasiven Chirurgie oder Endoskopie sind solche Systeme notwendig, um den Weg von der Ausbildung bis zur Anwendung zu verkürzen [31].

Ausblick

Das theoretische Konzept der NOTES als ein weiterer Schritt in Richtung komplett atraumatischer Operation ist sicherlich spannend. Jedoch ist die Verwirklichung dieser Vision weit entfernt von einem Einsatz am Menschen in der nahen Zukunft.

Die Einführung und eventuelle klinische Etablierung von NOTES-Techniken ist noch in stärkerem Maße von der Entwicklung neuer technologischer Hilfsmittel als z. B. die MIC vor ca. 15 Jahren abhängig. Wenn dieser Prozess gelingen soll, dürfen sich die Ingenieurwissenschaften nicht mehr auf die Rolle der Entwickler beschränken, die technische Systeme realisieren und den Mediziner für den Einsatz und die Evaluation zur Verfügung stellen. Von den Ingenieuren ist eine aktive Kommunikation und Zusammenarbeit mit den Medizinern gefordert, um in Richtung der erwünschten Traumareduktion und der dafür notwendigen Entwicklungen voranzukommen.

Weitere Fortschritte in der biomedizinischen Technik sind vorhersehbar, ebenso dürfen auch zweckbestimmte und sehr hilfreiche neue Instrumente für NOTES erwartet werden. Demzufolge ist die Frage nicht ob, sondern wann die „echte“ NOTES als Standardtechnik in der modernen Chirurgie verfügbar sein wird. Es ist theoretisch sogar möglich, dass NOTES als primärer Ansatz in der chirurgischen Behandlung verschiedener Krankheiten die Laparoskopie ersetzen könnte. Allerdings ist es eher wahrscheinlich, dass dies in Form einer gering-invasiven Alternative zur Standardlaparoskopie bei ausgewählten Fällen stattfindet.

Literatur

- 1 ASGE/SAGES Working Group on Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery. White Paper. *Gastrointest Endosc* 2006; 63: 199–203
- 2 Gettman MT, Blute ML. Transvesical peritoneoscopy: initial clinical evaluation of the bladder as a portal for natural orifice transluminal endoscopic surgery. *Mayo Clin Proc* 2007; 82: 843–845
- 3 Lima E, Henriques-Coelho T, Roland C et al. Transvesical thoracoscopy: A natural orifice transluminal approach for thoracic surgery. *Surg Endosc* 2007; 21: 854–858
- 4 Fong DG, Pai RD, Thompson CC. Transcolonic endoscopic abdominal exploration: a NOTES survival study in a porcine model. *Gastrointest Endosc* 2007; 65: 312–318
- 5 Pham BV, Raju GS, Ahmed I et al. Immediate endoscopic closure of colon perforation by using a prototype endoscopic suturing device: feasibility and outcome in a porcine model. *Gastrointest Endosc* 2006; 64: 113–119
- 6 Can S, Fiolka A, Wilhelm D et al. Set of instruments for innovative, safe and sterile sigmoid access for natural-orifice transluminal endoscopic surgery / Ein Instrumentenset für den innovativen, sicheren und sterilen sigmoidalen Zugang für die transluminale endoskopische Chirurgie über natürliche Körperöffnungen. *Biomedizinische Technik* 2008; 53: 185–189
- 7 Wilhelm D, Meining A, von Delius S et al. An innovative, safe and sterile sigmoid access (ISSA) for NOTES. *Endoscopy* 2007; 39: 401–406
- 8 Sumiyama K, Gostout CJ, Rajan E et al. Endoscopic full-thickness closure of large gastric perforations by use of tissue anchors. *Gastrointest Endosc* 2007; 65: 134–139
- 9 McGee MF, Marks JM, Onders RP et al. Complete Endoscopic Closure of Gastrotomy After Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery Using the NDO Plicator. *Surgical Endoscopy* 2008; 22: 214–220
- 10 Swanstrom LL, Whiteford M, Khajanchee V. Developing essential tools to enable transgastric surgery. *Surg Endosc* 2008; 22: 600–604
- 11 Hausmann U, Feussner H, Ahrens P et al. Endoluminal endosurgery; rivet application in flexible endoscopy. *Gastrointest Endosc* 2006; 64: 101–103
- 12 Chiu PW, Lau JY, Ng EK et al. Closure of a gastrotomy after transgastric tubal ligation by using the Eagle Claw VII: a survival experiment in a porcine model (with video). *Gastrointest Endosc* 2008 (in press)
- 13 Voermans RP, Worm AM, van Berge Henegouwen MI et al. In vitro comparison and evaluation of seven gastric closure modalities for natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES). *Endoscopy* 2008; 40: 595–601
- 14 Kirschniak A, Kratt T, Stüker D et al. A new endoscopic over-the-scope clip system for treatment of lesions and bleeding in the GI tract: first clinical experiences. *Gastrointest Endosc* 2007; 66: 162–167
- 15 Magno P, Giday SA, Dray X et al. A new stapler based full thickness transgastric access closure: results from an animal pilot trial. *Endoscopy* 2007; 39: 876–880
- 16 Swanstrom LL, Kozarek R, Pasricha PJ et al. Development of a new access device for transgastric surgery. *J Gastrointest Surg* 2005; 9: 1129–1136
- 17 Thompson CC, Ryou M, Rothstein RI et al. Stomach – direct drive endoscopic system for endoluminal and NOTES applications. The DAVE project. 2008
- 18 Can S, Fiolka A, Mayer H et al. The mechatronic support system “HVSPS” and the way to NOTES. MITAT 2008 (in press)
- 19 Herron DM, Marohn MA. A consensus document on robotic surgery. *Surg Endosc* 2008; 22: 313–325
- 20 Mayer H, Nagy I, Knoll A et al. Human Computer Interfaces of a System for Robotic Heart Surgery. Proceedings of the Second IASTED International Conference on Human-Computer Interaction. Chamonix, France; 2007: 31–36
- 21 Mayer H, Gomez F, Wierstra D et al. A System for Robotic Heart Surgery that Learns to Tie Knots Using Recurrent Neural Networks. Intelligent Robots and Systems. IEEE/RSJ International Conference on 2006: 543–548
- 22 Feuerstein M, Reichl T, Vogel J et al. Magneto-optic tracking of a flexible laparoscopic ultrasound transducer for laparoscope augmentation. *Med Image Comput Assist Interv Int Conf Med Image Comput Assist Interv* 2007; 10 (Pt 1): 458–466
- 23 Feussner H, Gillen S, Hagen M et al. Assessment of current gastrointestinal occlusion techniques for NOTES. *Endoskopie heute* 2008 (in press)
- 24 Vosburgh KG, Estépar RSJ. Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES): An opportunity for Augmented Reality. *Stud Health Technol Inform* 2007; 125: 485–490
- 25 Penne J, Höller K, Krüger S et al. NOTES3D: Endoscopes learn to see 3D; Basic Algorithms for a Novel Endoscope. In: Ranchor-das AH, Araújo H, Vitriál J, eds. VISAPP, Second International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP Barcelona 8.–11.3.2007). Barcelona: Insticc Press; 2007: 134–139
- 26 Padoy N, Horn M, Feussner H et al. Recovery of surgical workflow: A model based approach. *Int J CARS* 2007; 2 (Suppl): 479–482
- 27 Feussner H. The operating room of the future: A view from Europe. *Sem Laparosc Surg* 2003; 10: 149–156
- 28 Rassweiler J, Klein J, Teber D et al. Mechanical Simulators for Training for Laparoscopic Surgery in Urology. *Journal of Endourology* 2007; 21: 252–262
- 29 Sarker SK, Patel B. Simulation and surgical training. *Intl J Clin Practice* 2007; 61: 2120–2125
- 30 Gillen S, Meining A, Fiolka A et al. The “ELITE” model: Construct validation of a new training system for Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES). *Endoscopy* 2008 (in press)
- 31 Johnson E. Surgical simulators and simulated surgeons: Reconstituting medical practice and practitioners in simulations. *Soc Stud Sci* 2007; 37: 585–608