

Gastroenterologie 2021 · 16:25–34
<https://doi.org/10.1007/s11377-020-00496-x>
Angenommen: 30. November 2020
Online publiziert: 22. Dezember 2020
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

Redaktion

M. Fried, Zürich
J. Hampe, Dresden
R. Jakobs, Ludwigshafen



F. Mathis-Ullrich · P. M. Scheikl

Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR), Health Robotics and Automation Laboratory (HERA),
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Robotik im Operationssaal – (Ko-)Operieren mit Kollege Roboter

Hinführung zum Thema

Die Medizinrobotik birgt das Potenzial, chirurgische Eingriffe zu verbessern, indem hochpräzise Bewegungen und übermenschliche Perzeption durch die Technologie ermöglicht werden. Zudem gewährleistet innovative Medizintechnik die Digitalisierung des Operationssaals, die sichere und personalisierte Behandlung von Patienten und den effizienten Einsatz von medizinischem Personal und Ressourcen im Gesundheitswesen. Methoden des maschinellen Lernens versprechen insbesondere durch die Analyse großer Datenmengen die Verbesserung der Qualität von Diagnose und Behandlung sowie die aktive Unterstützung von Chirurgen.

Robotergestützte Chirurgie

Trotz der nur langsam ansteigenden Anzahl durchgeführter Operationen in Deutschland nimmt der Anteil robotisch assistierter Chirurgie stetig zu (■ **Abb. 1**). Allein der wohl bekannteste Chirurgieroboter Da Vinci (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, CA, USA) wurde bisher mehr als 5500-mal installiert und in mehr als 7 Mio. Eingriffen verwendet. Die Medizinrobotik verspricht, durch Integration von hochpräzisen Sensoren und flexiblen aktiven Instrumenten die natürlichen Fähigkeiten der Chirurgen zu erweitern. Obwohl Chirurgieroboter erst in der letzten Dekade regulär in den Operationssälen Einzug erhielten, wurden schon in den 1980er-Jahren an

robotischen Assistenzsystemen für die Chirurgie geforscht.

» Schon in den 1980er-Jahren wurde an robotischen Assistenzsystemen für die Chirurgie geforscht

Das erste Konzept von ROBODOC (THINK Surgical®, Fremont, CA, USA) wurde im Jahr 1986 für die assistierte Hüftoperation vorgestellt. Im gleichen Jahr führte ein Programmable-Universal-Machine-for-Assembly(PUMA)-Roboter eine neurochirurgische Biopsie im Gehirn erfolgreich durch [10], wurde später für die transurethrale Resektion der Prostata verwendet [4] und wurde somit der Vorgänger des PROBOT (entwickelt am Imperial College London). Es folgten mehrere experimentelle Systeme für die telemanipulierte Chirurgie, bis im Jahr 2000 das Da-Vinci-System kommerzialisiert wurde und seitdem den Chirurgierobotermarkt anführt. Bei der unter dem Namen „Lindbergh Operation“ bekannt gewordenen Reihe von transatlantisch teleoperierten Cholezystektomien steuerte der Chirurg in New York einen Chirurgieroboter, der an Patienten in Strasbourg operierte [13]. Während Da Vinci, so wie viele Wettbewerber, für chirurgische Interventionen der Gynäkologie, der Urologie und der Allgemeinchirurgie genutzt werden, werden zurzeit vermehrt robotische Assistenten für andere medizinische Disziplinen zertifiziert und

kommerzialisiert. Prominent vertreten ist dabei die Orthopädie, aber auch mikrochirurgische Systeme für Anwendungen in der Ophthalmologie oder der Neurochirurgie sowie Systeme für die Gastroenterologie.

Chirurgieroboter sind unter verschiedenen Gesichtspunkten einzuordnen. Insbesondere ist bei der Konzeption, Entwicklung und Nutzung eines solchen Systems sicher zu stellen, dass der Chirurg durch ein robotisches System mit adäquater Automatisierung unterstützt wird. Die Wahl der Automatisierungsstufe richtet sich häufig nach Standardisierung des Eingriffs, Erfahrung des Chirurgen und Verfügbarkeit von Daten. Im Allgemeinen teilt man Chirurgieroboter in verschiedene Automatisierungsgrade. Die sog. *Telemanipulation* beinhaltet eine einseitig gerichtete, direkte Fernsteuerung eines Roboters durch den Operateur mittels Joysticks oder eines haptischen Steuerterminals und bezeichnet eine geringe Automationsstufe mit dem menschlichen Akteur als Unterbrecher des digitalen Informationstransfers. Ein zunehmendes Automationslevel zeigen Operationen auf, bei denen vorgeplante Prozeduren und programmierte Aktionen unter Sensoreinsatz automatisch vom Roboter durchgeführt werden. Vollautonome Operationen existieren zurzeit weitgehend in der Forschung und werden noch nicht regulär im Operationssaal eingesetzt. Dennoch verspricht der Einsatz von maschinellen Lernmethoden die wachsende Autonomie von Chir-

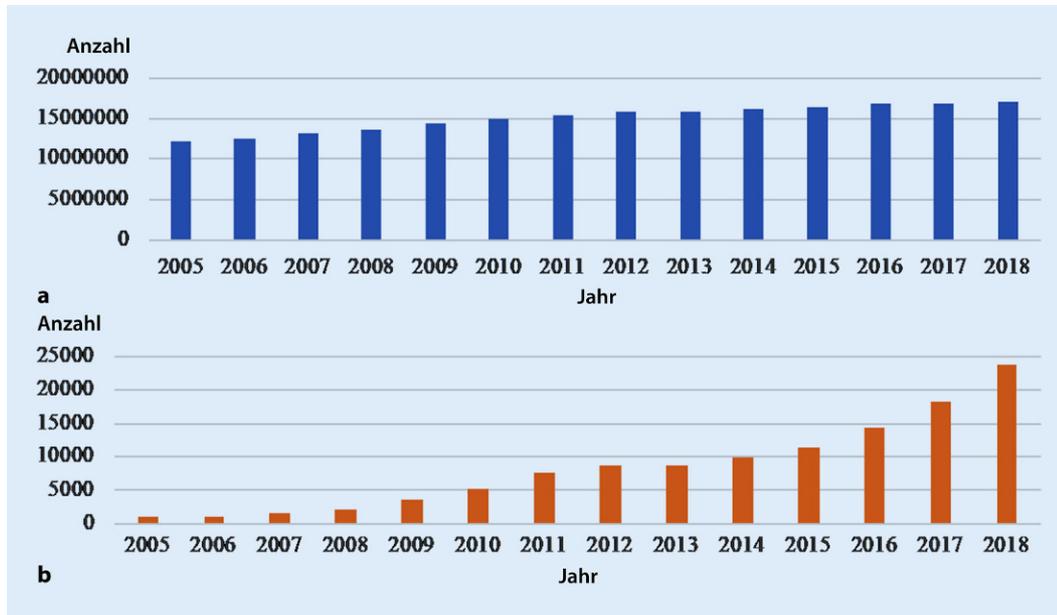


Abb. 1 ◀ Zunehmende Operationszahlen mit robotischer Unterstützung. a Operationen in Deutschland, b Operationen mit Operationsroboter. (Aus [29])

urgierobotern zur Durchführung von medizinischen (Teil-)Prozessen.

» Vollautonome Operationen werden noch nicht regulär im Operationssaal eingesetzt

Zudem unterscheiden sich Chirurgieroboter aufgrund ihrer mechanischen Struktur (*Kinematik*). Diese reichen von aus der Industrie bekannten Roboterarmen mit 6–8 Freiheitsgraden bis hin zu komplett flexiblen Systemen, den sog. medizinischen Kontinuumsrobotern. Im Gegensatz zu flexiblen Instrumenten, die inhärent sicher sind, müssen starre, robotisch geführte Instrumente jeweils um einen mechanischen Fixpunkt im Körper (Einschnitt) bewegt (pivotiert) werden, sodass kein Gewebe verletzt wird. Die Pivotierung kann entweder durch eine mechanische Fixierung mit eingeschränkten Freiheitsgraden oder durch die Steuerungssoftware ermöglicht werden.

Robotische Assistenz

Die Medizinrobotik birgt das Potenzial, minimal-invasive chirurgische Eingriffe zu verbessern, indem hochpräzise Bewegungen skaliert und Interaktionskräfte gemessen werden können. Während minimal-invasive Telemanipulatoren und

Navigationsassistenten vermehrt Einzug in den Operationssaal gefunden haben, befinden sich medizinische Kontinuumsroboter (Definition siehe Abschnitt „Flexible Chirurgieroboter und robotische Endoskopie“) und Kapselendoskope hauptsächlich in der Forschung.

Minimal-invasive Telemanipulatoren

Seit der Zulassung des Da-Vinci-Systems hat sich dieses zum Goldstandard der Medizinroboter entwickelt und sah lange Zeit kaum Konkurrenz. Da zurzeit viele der von Intuitive Surgical Inc. gehaltenen Patente auslaufen, drängen zunehmend Wettbewerber auf den Markt, um ihren Anteil am enormen Marktpotenzial von geschätzt 20 Mrd. US-Dollar im Jahr 2021 zu beanspruchen. Zu den bekanntesten Wettbewerbern mit Zulassung gehören Avatera (avateramedical, Jena, Deutschland), Senhance (TransEnterix, Morrisville, NC, USA) und Versius (CMR Surgical, Cambridge, Vereinigtes Königreich). Weitere sich in der Entwicklung befindende Chirurgieroboter, die in den nächsten Jahren ihre Zulassung erwarten, sind Hugo (Medtronic, Dublin, Irland), Dexter (DistalMotion, Lausanne, Schweiz) und Innovationen von der Fa. Verb Surgical, die 2015 durch einen Zusammenschluss der Technologiegiganten Google Alphabet (Mountain

View, CA, USA) und Johnson & Johnson (New Brunswick, NJ, USA) entstand.

» Die vorgestellten Medizinroboter stellen einen geringen Automatisierungsgrad dar

Die hier vorgestellten Medizinroboter stellen im Allgemeinen einen geringen Automatisierungsgrad dar, da sie durch einen Operateur von einer Konsole aus ferngesteuert werden (Abb. 2). Die Konsole skaliert die Handbewegungen der Chirurgen und überträgt diese an die robotischen Operationsinstrumente, die durch einen Trokar in den Körper eingebracht werden, um so hochpräzise Bewegungen zu ermöglichen. Im Gegensatz zum Marktführer Da Vinci bieten einige robotische Systeme (z. B. Avatera; MiroSurge, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln, Deutschland; Senhance, TransEnterix) zusätzlich durch Anbringung von Kraftsensoren am distalen Ende des robotischen Instruments die Möglichkeit eines haptischen Feedbacks an den Chirurgen, um somit die taktile Wahrnehmung zu unterstützen.

Robotische Navigationsassistenten

Robotische Navigationssysteme unterstützen Chirurgen bei der präzisen Positionierung von chirurgischen Instrumenten und werden aufgrund der hohen Präzision insbesondere in der Neurochirurgie angewandt, so zum Beispiel der Stealth Autoguide™ (Medtronic, Dublin, Irland), ROSA ONE® (Zimmer Biomet, Warsaw, IN, USA) oder Neuromate® (Renishaw, Gloucestershire, Vereinigtes Königreich). Das in der Orthopädie genutzte MAKO-System (Stryker, Kalamazoo, MI, USA) plant präoperativ virtuelle Grenzen, die ein am Roboter befestigter und zugleich manuell geführter Fräser nicht überwinden kann. Intuitive Schnittstellen zum Chirurgen bilden bei robotischen Navigationssystemen oft haptische Informationen oder erweiterte Realität, indem chirurgische Bilder auf dem Bildschirm augmentiert oder Informationen in Datenbrillen dargestellt werden [17].

Flexible Chirurgieroboter und robotische Endoskopie

Im Gegensatz zu robotischen Systemen, die ein starres Instrument führen, versprechen flexible Instrumente eine höhere Manipulierbarkeit innerhalb enger Gefäße und Organe. Ein medizinischer Kontinuumsroboter bezeichnet daher ein ansteuerbares flexibles Instrument, das entlang kontinuierlicher Kurven bewegt werden kann, z. B. in der Endoskopie. Im Allgemeinen unterscheiden sich Kontinuumsroboter aufgrund der Anzahl ansteuerbarer Freiheitsgrade und der damit verbundenen Flexibilität der Bewegung sowie der intrinsischen oder extrinsischen Aktuierung. Zudem werden diese flexiblen Roboter mit Instrumenten oder Sensoren versehen, um Behandlung und Diagnose mit erhöhter Manipulierbarkeit innerhalb des Körpers durchzuführen.

Chirurgierobotern mit starren Instrumenten folgend nehmen nun endoluminale robotische Systeme für den klinischen Einsatz in der Gastroenterologie Einzug in den Operationssaal. Das Flex® Robotic System (Medrobotics, Raynham, MA, USA) besteht aus einem teleoperier-

Gastroenterologie 2021 · 16:25–34 <https://doi.org/10.1007/s11377-020-00496-x>
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

F. Mathis-Ullrich · P. M. Scheikl

Robotik im Operationssaal – (Ko-)Operieren mit Kollege Roboter

Zusammenfassung

Hintergrund. Medizinrobotik birgt das Potenzial, chirurgische oder endoluminale Eingriffe zu verbessern, indem diese Technologie hochpräzise Bewegungen und übermenschliche Perzeption ermöglicht.

Ziel der Arbeit. Darstellung historischer, existierender und zukünftiger robotischer Assistenten sowie Herausstellung deren Auswirkungen auf die robotische Chirurgie und Endoskopie.

Methoden. Insbesondere werden historische Medizinroboter sowie konventionelle Telemanipulatoren vorgestellt und diese mit minimal-invasiven Kontinuumsrobotern und neuartigen robotischen Konzepten aus Praxis und Forschung verglichen.

Zusätzlich wird eine Perspektive für die zukünftige Generation von Chirurgie- und Endoskopierobotern geboten.

Schlussfolgerung. Roboterassistierte Medizin bietet einen großen Mehrwert für die Qualität der Intervention sowie Sicherheit für Chirurgen und Patientinnen. Zukünftig werden vermehrt Prozessschritte (teil-)autonom in Kooperation mit Experten durchgeführt.

Schlüsselwörter

Robotische Operationsverfahren · Computergestützte Chirurgie · Minimal-invasive Chirurgie · Endoskopie · Telemedizin

Robots in the operating room—(co)operation during surgery

Abstract

Background. Medical robotics has the potential to improve surgical and endoluminal procedures by enabling high-precision movements and superhuman perception.

Objectives. To present historical, existing and future robotic assistants for surgery and to highlight their characteristics and advantages for keyhole surgery and endoscopy.

Methods. In particular, historical medical robots and conventional telemanipulators are presented and compared with minimally invasive continuum robots and novel robotic concepts from practice and research. In

addition, a perspective for future generations of surgical and endoluminal robots is offered.

Conclusion. Robot-assisted medicine offers great added value for quality of intervention as well as safety for surgeons and patients. In the future, more surgical steps will be performed (semi-)autonomously and in cooperation with the experts.

Keywords

Robotic surgical procedures · Computer-assisted surgery · Minimally invasive surgery · Endoscopy · Telemedicine

ten endoluminalen System, das in Studien für den transanal und transoralen Eingriff untersucht wurde. Eine vergleichende Studie demonstriert eine vereinfachte Navigation beim kolorektalen Eingriff in der nichtlinearen Anatomie des Rektums sowie reduzierten Blutverlust und Operationszeiten mit dem Flex Robotic System im Vergleich zum Da Vinci Si [15]. Das Invendoscope (vormals Invendo Medical, Deutschland) wurde im Jahr 2017 von Ambu (Ballerup, Dänemark) übernommen und ist ein robotergestütztes, handgehaltenes Einwegkoloskop mit einer wiederverwendbaren Handbedienung, über die das automatische Einführen sowie die Verformung der Instrumentenspitze gesteuert wird

[18]. Das CE-zertifizierte Endomina-System (Endo Tools Therapeutics, Gosseles, Belgien) ist über einen Joystick ansteuerbar und bietet einen flexiblen therapeutischen Kanal, der sich unabhängig vom Endoskop bewegen kann. Das Aer-O-Scope (GI View Ltd., Tel Aviv, Israel) und das Endotics-System (ERA Endoscopy, Peccioli, Italien) sind Systeme, die Aspekte der autonomen Fortbewegung für die Koloskopie aufweisen. Das innovative Aer-O-Scope besteht aus einem weichen, mehrlumigen Kanal mit einem integrierten pneumatischen Eigenantrieb. Wird das Instrument in das Rektum eingeführt, so wird ein Ballon nahe der Instrumentenspitze aufgeblasen, um einen luftdichten Abschluss mit dem



Abb. 2 ▲ a Avatera-System (Mit freundl. Genehmigung, ©Avatera Medical, Deutschland) und b Dexter (mit freundl. Genehmigung, ©Distal Motion, Schweiz)

Kolon zu bilden und eine raupenartige Bewegung zu ermöglichen.

» Das Endotics-System weist Aspekte der autonomen Fortbewegung für die Koloskopie auf

Das Endotics-System besitzt eine lenkbare Spitze mit integrierter LED-Kamera, Insufflations- und Absaugkanal, die über ein Kabel von außen angesteuert wird. Das System verfügt über proximale und distale Verankerungen, sodass eine automatische raupenartige Bewegung ermöglicht wird. Neben den konventionellen Antrieben durch Kabel für flexible robotische Instrumente werden weiterhin neuartige Antriebskonzepte erforscht. Dies zeigt z. B. ein flexibles Koloskop, das durch einen externen robotisch geführten Magneten durch das Kolon bewegt wird und somit den Kontakt des Instruments mit der Darmwand minimiert, um Verletzungen vorzubeugen ([16]; ■ **Abb. 3**).

Weitere chirurgische Disziplinen profitieren von flexiblen robotischen Systemen. So ermöglicht z. B. die teleoperierte robotische Plattform Monarch™ (Auris Health Inc., Redwood City, CA, USA) die ferngesteuerte Biopsie der Lunge und ist mit einer endoskopischen Kamera, einer Lichtquelle, Zu- und Ablauf sowie einer Nadel oder Biopsiezange ausgestattet [14]. Auch für endovaskuläre Interventionen drängen robotische Systeme auf den Markt. Während die robotischen Systeme CorPath (Corindus Inc., Waltham, MA, USA) und R-One™ (Robocath, Rouen, Frankreich) den Füh-

rungsdraht und Katheter außerhalb des Patienten ansteuern, ermöglicht das Niobe-System (Stereotaxis Inc., Saint Louis, MO, USA) die automatisierte magnetische Steuerung der Katheterspitze für Interventionen im schlagenden Herzen.

» Steuerbare Nadeln stellen eine weitere robotische Unterstützung für die Chirurgie dar

Sogenannte steuerbare Nadeln stellen eine weitere Möglichkeit der robotischen Unterstützung für die Chirurgie dar und werden insbesondere für die Leberchirurgie erforscht [6]. Diese asymmetrischen Nadeln können in weiches Gewebe eingeführt werden und ermöglichen durch gezielt kombinierte Translation und Rotation der Nadel eine Bewegung auf einem vorher definierten Pfad, während sie durch medizinische Bildgebung, wie Fluoroskopie, beobachtet und digital verfolgt werden kann.

Sonstige robotische Systeme

Kabellose robotische Systeme können aktiv innerhalb anatomischer Strukturen bewegt werden. Bei der robotischen Kapselendoskopie wird eine Kamerakapsel durch externe Magnetfelder und deren Gradienten bewegt und vom Chirurgen durch den Körper gesteuert. Oft werden verschiedene Funktionen miteinander kombiniert wie bei einer weichen Endoskopiekapsel, die Bilder aufnimmt und gleichzeitig eine Biopsie im Magen durchführt ([20]; ■ **Abb. 4**).

Magnetisch aktivierte kabellose Systeme weisen den Vorteil der Miniaturisierung auf, da diese Roboter keine oder nur wenige bewegliche Bauteile beinhalten, sondern über externe Magnetfelder angetrieben sind und sich somit insbesondere für hochpräzise mikrorobotische Anwendungen eignen [24]. Durch Innovationen, wie Mikroroboter oder Anwendung sog. Smart Materials, wird in Zukunft die Art und Verfügbarkeit von robotischen Endoskopen und Instrumenten erweitert, um anatomische Barrieren in der Chirurgie zu überwinden und verbesserte Manipulierbarkeit zu gewährleisten.

Vorteile von Medizinrobotern

In der Vergangenheit stellten die hohen Investitionskosten von chirurgischen Robotern ein großes Hindernis dar. Mit der in den letzten Jahren entstandenen Dynamik am Markt, getrieben vom Auslaufen der Patentrechte für das Da-Vinci-System, wird vermehrt Augenmerk auf die Vorteile der roboterassistierten Chirurgie gelegt. Im Allgemeinen beinhalten die Vorteile der robotisch assistierten Schlüssellochtechnologie für die Patienten einen reduzierten Blutverlust sowie geringere Traumatisierung des umliegenden Gewebes und schnellere Wundheilung. Chirurgen profitieren von verbesserter Arbeitssicherheit und Ergonomie sowie der vergrößerten Visualisierung des Operationssitus und präziser Manipulierbarkeit von chirurgischen Instrumenten. Somit können intelligente Systeme und robotische Instrumente die natürlichen Fähigkeiten der Chirurgen durch zusätzliche Sensorik und Aufbereitung von komplexen Daten erweitern.

Verbesserte Präzision durch Roboter

Generell verspricht die roboterassistierte Chirurgie eine verbesserte Präzision und Flexibilität der Instrumente. Werden Präzision und Geschwindigkeit von manuell und robotergestützten laparoskopischen Eingriffen miteinander verglichen, zeichnet sich die robotisch unterstützte Operation durch erhöhte Präzision aus, ist aber zugleich langsamer [28]. Ein wei-

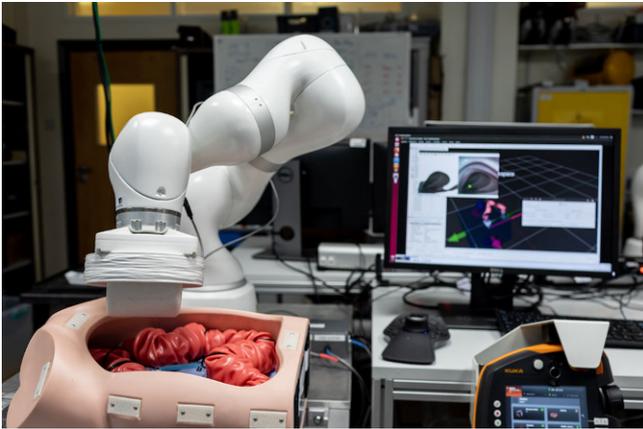


Abb. 3 ◀ Ein flexible Koloskop, das durch einen externen robotisch geführten Magneten durch das Kolon bewegt wird. (Mit freundl. Genehmigung, ©STORM Lab, University of Leeds, Leeds, Vereinigtes Königreich)



Abb. 4 ▲ Eine weiche Endoskopiekapsel, die Bilder aufnimmt und eine Biopsie im Magen durchführt. (Mit freundl. Genehmigung, ©Max Planck Institute for Intelligent Systems, Tübingen, Deutschland)

terer Vorteil der roboterassistierten Chirurgie zeigt sich durch die Möglichkeit zum Skalieren von Instrumentenbewegungen und zum Filtern von ungewollten Bewegungen wie von menschlichem Tremor. So kann ein robotisches System aktive Unterstützung bei mikrochirurgischen Interventionen oder in kritischen Situationen leisten, in denen sehr kleine oder langsame Bewegungen der chirurgischen Instrumente benötigt werden. Zudem trägt in der Laparoskopie oder Endoskopie eine robotisch stabil gehaltene Kamera zur besseren Sichtbarkeit von Gefäßen und Organen und damit zur Qualität des Operationsergebnisses bei.

Verfügbarkeit von Informationen und Daten

Die digitale Anbindung von Chirurgierobotern an den Operationssaal ermöglicht

nicht nur das Aufzeichnen von wichtigen Patienten- und Prozessdaten, sondern unterstützen chirurgische Entscheidungen durch maschinelle Lernverfahren. Zudem realisiert das sog. *Telementoring* die Einbindung internationaler Experten in Echtzeit. Durch Anzeigen der richtigen Informationen zur richtigen Zeit können Chirurgen bei komplizierten Operationen unterstützt werden. So können präoperative Computertomographieaufnahmen zum Patienten registriert werden, um ein Kamerabild durch Überlagerung von Daten und erweiterte Realität mit notwendigen Informationen zu ergänzen. Zudem ergänzt taktile Sensorik die natürliche Perzeption und ermöglicht das interoperative Anpassen von Interaktionskräften zwischen Instrument und Gewebe. Durch die zusätzliche Aufnahme von Patienten- und Prozessdaten wird zudem das Training von unerfahrenen Chirurgen unterstützt,

da Qualität und Lernkurven quantitativ gemessen und evaluiert werden.

Sicherheit für den Chirurgen

Der Einsatz von Chirurgierobotern verbessert nicht nur die Patientensicherheit, sondern ermöglicht auch eine erhöhte Sicherheit für die Chirurgen durch verbesserte Ergonomie und eine Reduktion der Strahlenbelastung bei Interventionen mit intraoperativer Bildgebung. Beides wird durch die Nutzung einer geschlossenen (z. B. Da Vinci, Avatera) oder offenen (z. B. TransEnterix, Medtronic, CMR Surgical) Steuerkonsole bzw. der (Teil-)Autonomie von Chirurgierobotern gewährleistet.

Kosten von robotergestützter Chirurgie

Ein wesentlicher und häufig diskutierter Nachteil der robotergestützten Chirurgie sind die hohen Kosten dieser Technologie. Eine Studie aus dem Jahr 2017 untersuchte die bei der robotisch gestützten und der offenen Hepatektomie entstandenen direkten variablen und fixen sowie indirekte Kosten [3]. Offensichtlich variieren die durchschnittlichen Kosten für die robotergestützte Chirurgie mit der Art der medizinischen Intervention, Standardisierung eines Prozesses und der Erfahrung des Roboterpiloten. Wie die robotergestützte Chirurgie ist die laparoskopische Chirurgie minimal-invasiv, benötigt aber für einfache Eingriffe geringere finanzielle Ressourcen [12].

» Die Kosten für die robotergestützte Chirurgie variieren mit der Art der Intervention

Bezogen auf die Gastroenterologie existieren groß angelegte Untersuchungen, die die laparoskopische mit der robotischen kolorektalen Chirurgie vergleichen [1, 21]. Im Vergleich zu laparoskopischen Eingriffen ergab sich, dass die robotische Operation von Rektumkarzinomen 27–63% niedrigere Konversionsraten zur offenen Chirurgie aufwie-

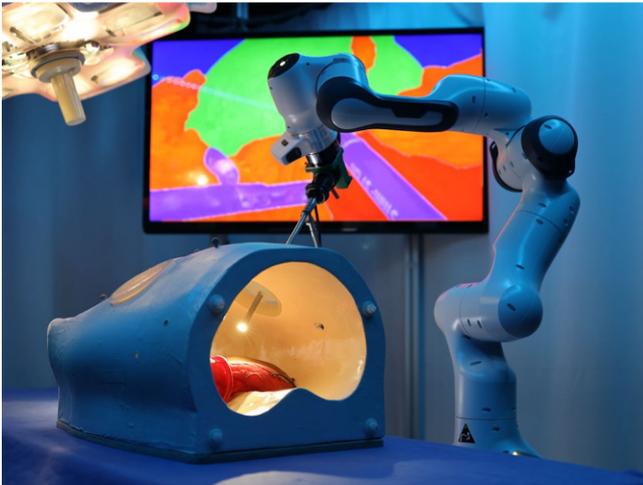


Abb. 5 ◀ Semantische Segmentierung in Endoskopbildern und kognitiver Medizinroboter am Karlsruher Institut für Technologie (Karlsruhe, Deutschland)

sen – ein Ergebnis, das nicht für Kolonkarzinome repliziert werden konnte. Bei der robotergestützten Resektion des Kolonkarzinoms verringerte sich die Liegedauer um 0,4–1 Tag gegenüber der laparoskopischen Operation. Infektionsraten, Morbidität und Mortalität von Patienten in beiden Gruppen sind vergleichbar, während die Operationsdauer der robotischen Eingriffe in beiden Studien um 21–37% anstieg. Alle diese Faktoren beeinflussen die Kosten der robotergestützten Eingriffe immens, wobei mit kurzfristig zu erwartenden Fortschritten in der Technologie robotergestützte Eingriffe effizienter und damit auch ökonomisch sinnvoll werden.

Perspektive: kognitive Assistenzrobotik

In medizinischen Eingriffen und der Diagnostik fallen beachtliche Datenmengen an, die jedoch meist nicht weiterverwertet werden. Methoden des maschinellen Lernens (ML) ermöglichen es, diese Daten nach Aufbereitung nutzbar zu machen. Mustererkennung in annotierten Bilddaten der Dermatologie ist ein prominentes Beispiel [5]. Beim sog. bestärkenden Lernen werden Daten aus Interaktion mit der Umgebung gewonnen. Diese mächtigen Methoden stellen einen Trend des ML dar und es ist in naher Zukunft zu erwarten, dass diese auch für die Medizin nutzbar werden. So wurde beispielsweise während der Pandemie durch das „severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2“ (SARS-CoV-2) diese

Methodik bei der Entwicklung von Wirkstoffen gegen das Virus eingesetzt [22]. Insbesondere in der Gastroenterologie ist zu erwarten, dass künftige robotische Systeme durch integrierte Sensorik erweitert werden, um große Datenmengen zu sammeln, die mittels Methoden des maschinellen Lernens ausgewertet werden können. Somit wird die mechanische Präzision von robotischen Endoskopen um maschinelle Kognition und datenbasierte Entscheidungshilfe erweitert.

Rein datenbasierte Entscheidungshilfen/Unterstützung

Im Jahr 2014 erhielt die erste datenbasierte Anwendung für Smartphones eine CE-Zertifizierung für die Risikoanalyse von Muttermalen und Läsionen (SkinVision, Amsterdam, Niederlande), die das Bewusstsein für Hautkrankheiten schärfen soll. Solche Anwendungen bergen das Potenzial, Hautkrebs früher und flächendeckend zu erkennen, als es aufgrund der begrenzten Anzahl dermatologischer Experten möglich ist. Datenbasierte Entscheidungshilfen werden jedoch nicht nur von Laien genutzt, sondern unterstützen auch medizinische Experten beim Bewerten komplexer Daten.

» Tiefe neuronale Netze können Polypen in Echtzeit erkennen

Dies betrifft vor allem das Erkennen früher Anzeichen von Darmkrebs wäh-

rend Koloskopien in endoskopischen Bilddaten [27] und der Segmentierung von radiologischen Bilddaten [26]. Diese Assistenzsysteme sollen einerseits den Aufwand von arbeitsintensiven Eingriffen verringern und andererseits medizinische Experten unterschiedlicher Kompetenzstufen in der Diagnostik unterstützen [11]. Sogenannte tiefe neuronale Netze sind in der Lage, Polypen in Echtzeit zu erkennen [7]. Die erste kontrollierte und randomisierte Studie mit 1058 Patienten vergleicht ein lernendes System mit dem Behandlungsstandard. Dabei ergab sich eine signifikant höhere Erkennungsrate von Polypen kleiner als 10 mm in allen Segmenten des Dickdarms [25].

Kognitive Operationsrobotik

Ergänzend zu konventionellen, teleoperierten Chirurgierobotern steckt in der Automation von repetitiven chirurgischen Aufgaben noch signifikantes Potenzial zur Reduktion von physischer und kognitiver Last und somit für verbesserte Patientenversorgung. Verstärkt werden ML-Methoden eingesetzt, um Roboter von und mit Menschen lernen zu lassen (sog. *kognitive Robotik*). Demonstrationen von Experten können genutzt werden, robotischen Assistenten komplexe Aufgaben, wie das Einführen einer Nadel [9], beizubringen und chirurgische (Teil-)Prozesse zu automatisieren. Ferner können gewünschte robotische Verhalten extrahiert werden, um somit z. B. eine autonome Kameraführung zu schaffen, die aus eigenen Erfahrungen lernt und somit ihr Verhalten für zukünftige Eingriffe optimiert [2]. Dabei beschränkt sich die Forschung nicht nur auf starre Instrumentation, wie die autonome Steuerung von flexiblen Kathetern [8] oder ein Koloskoproboter, der sich aufgrund erlernter Rotationsbewegungen durch das Kolon bewegt [23], zeigen. Bei lernenden Systemen stellt die Verarbeitung von Sensordaten, z. B. chirurgische Bilddaten, eine große Herausforderung in der Entwicklung autonomer chirurgischer Systeme dar. Nur eine ausgereifte Wahrnehmung der Umgebung (z. B. semantische Segmentierung von chirurgischen Werkzeugen

Hier steht eine Anzeige.



und Organen in Endoskopbildern [19]) bildet die Basis für sichere autonome Chirurgie- und Endoskopierroboter (▣ Abb. 5).

Limitationen von kognitiver Chirurgierobotik

Lernende Systeme ermöglichen, dass das Erlernen eines Systems auf andere übertragen werden kann, und sind deshalb sehr effizient und zukunftsträchtig. Jedoch werden diese Maschinen den Chirurgen nicht ersetzen, sondern ihn in seinem eigenen Können unterstützen, z.B. durch die Automatisierung von repetitiven und standardisierten (Teil-)Aufgaben. Die inhärente „Black-box“-Natur aktueller lernender Systeme stellt einen stark limitierenden Faktor dar. Auch wenn das gelernte Verhalten solcher Systeme intelligent zu sein scheint, basiert es im Kern auf Mustererkennung, die nur so gut ist, wie die verfügbaren Daten. Abstraktionsfähigkeit und die Fähigkeit zur kreativen Lösungsfindung, die einen wichtigen Teil menschlicher Intelligenz darstellen, fehlen den Systemen komplett. Eine Zertifizierung lernender Systeme stellt demnach eine signifikante Hürde für die klinische Translation dar. Insbesondere ethische Fragestellungen wie „Wie gut muss Kollege Roboter operieren?“ und „Wer trägt die Verantwortung?“ dürfen in diesem Prozess nicht vernachlässigt werden.

Fazit für die Praxis

- Chirurgieroboter erobern den Markt mit unterschiedlichen Automatisierungsgraden. Es existieren aber (noch) keine Systeme, die vollautonom operieren.
- Robotische Chirurgie- und Endoskopieassistenten weisen unterschiedliche Dimensionen, Kinematik und Unterstützungsgrade auf. Sie müssen auf das jeweilige Einsatzgebiet angepasst werden.
- Die nächste Generation robotischer Assistenten stellen sog. kognitive Chirurgieroboter dar, die den Chirurgen bei (Teil-)Aufgaben autonom unterstützen können.

- Bei der (Ko-)Operation mit Robotern sind das menschliche Abstraktionsvermögen und kreative Lösungsfindung essenziell, während der Roboter mit höchster Präzision sowie durch Verfügbarkeit und Vernetzung von Daten unterstützt.
- Experten sollten die Entwicklung von intelligenten Chirurgierobotern mit ihrer Expertise unterstützen, um Assistenzsysteme effizient, sicher und mit einem Mehrwert für Patienten und Ärzte zu gestalten.

Korrespondenzadresse



Jun.-Prof. Dr. F. Mathis-Ullrich
Institut für Anthropomatik und Robotik (IAR), Health Robotics and Automation Laboratory (HERA), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Engler-Bunte-Ring 8,
76131 Karlsruhe, Deutschland
franziska.ullrich@kit.edu

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. F. Mathis-Ullrich und P.M. Scheikl geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Bhamra AR, Obias V, Welch KB, Vandewarker JF, Cleary RK (2016) A comparison of laparoscopic and robotic colorectal surgery outcomes using the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program (ACS NSQIP) database. *Surg Endosc* 30:1576–1584. <https://doi.org/10.1007/s00464-015-4381-9>
2. Bihlmaier A (2016) Learning dynamic spatial relations. Springer Vieweg, Wiesbaden
3. Daskalaki D, Gonzalez-Heredia R, Brown M, Bianco FM, Tzvetanov I, Davis M, Kim J, Benedetti E, Giulianotti PC (2017) Financial impact of the robotic approach in liver surgery: a comparative study of clinical outcomes and costs between the robotic and open technique in a single institution. *JLaparosc Adv Surg Tech* 27:375–382. <https://doi.org/10.1089/lap.2016.0576>
4. Davies BL, Hibberd RD, Ng WS, Timoney AG, Wickham JEA (1991) The development of a surgeon robot for prostatectomies. *Proc Inst Mech Eng H* 205:35–38. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1991_205_259_02
5. Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, Ko J, Swetter SM, Blau HM, Thrun S (2017) Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature* 542:115–118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>
6. Gerboni G, Greer JD, Laeseke PF, Hwang GL, Okamura AM (2017) Highly articulated robotic needle achieves distributed ablation of liver tissue. *IEEE Robot Autom Lett* 2:1367–1374. <https://doi.org/10.1109/LRA.2017.2668467>
7. Hoerter N, Gross SA, Liang PS (2020) Artificial Intelligence and Polyp Detection. *Curr Treat Options Gastroenterol* 18:120–136. <https://doi.org/10.1007/s11938-020-00274-2>
8. Karstensen L, Behr T, Pusch TP, Mathis-Ullrich F (2020) Autonomous guidewire navigation in a two dimensional vascular phantom. *Curr Dir Biomed Eng* 6:1–4
9. Krishnan S, Fox R, Stoica I, Goldberg K (2017) DDCO: discovery of deep continuous options for robot learning from demonstrations. *arXiv Prepr* 1–21
10. Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, Hayati S (1988) A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng* 35:153–160. <https://doi.org/10.1109/10.1354>
11. Lazar DC, Avram MF, Faur AC, Goldi A, Romoşan I, Tăban S, Cornianu M (2020) The impact of artificial intelligence in the endoscopic assessment of premalignant and malignant esophageal lesions: present and future. *Medicina* 56(7): 364. <https://doi.org/10.3390/medicina56070364>
12. Leddy L, Lendvay T, Satava R (2010) Robotic surgery: applications and cost effectiveness. *Open Access Surg*. <https://doi.org/10.2147/oas.s10422>
13. Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, Butner SE, Smith MK (2001) Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* 413:379–381
14. Murgu SD (2019) Robotic assisted-bronchoscopy: technical tips and lessons learned from the initial experience with sampling peripheral lung lesions. *BMC Pulm Med* 19:1–8. <https://doi.org/10.1186/s12890-019-0857-z>
15. Paull JO, Graham A, Parascandola SA, Hota S, Pudalov N, Arnott S, Skancke M, Obias V (2020) The outcomes of two robotic platforms performing transanal minimally invasive surgery for rectal neoplasia: a case series of 21 patients. *J Robot Surg* 14:573–578. <https://doi.org/10.1007/s11701-019-01021-1>
16. Pittiglio G, Barducci L, Martin JW, Norton JC, Avizzano CA, Obstein KL, Valdastrì P (2019) Magnetic levitation for soft-tethered capsule colonoscopy actuated with a single permanent magnet: a dynamic control approach. *IEEE Robot Autom Lett* 4:1224–1231. <https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2894907>
17. Qian L, Wu JY, DiMaio SP, Navab N, Kazanzides P (2020) A review of augmented reality in robotic-assisted surgery. *IEEE Trans Med Robot Bionics* 2:1–16. <https://doi.org/10.19101/jjatec.2019.650068>
18. Rösch T, Adler A, Pohl H, Wettenschreck E, Koch M, Wiedenmann B, Hoepffner N (2008) A motor-driven single-use colonoscope controlled with a hand-held device: a feasibility study in volunteers. *Gastrointest Endosc* 67:1139–1146. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2007.10.065>
19. Scheikl PM, Laschewski S, Kisilenko A, Davitashvili T, Müller B, Capek M, Müller-Stich B, Wagner M, Mathis-Ullrich F (2020) Deep learning for semantic segmentation of organs and tissues in laparoscopic surgery. *Curr Dir Biomed Eng* 6(1). <https://doi.org/10.1515/cdbme-2020-0016>
20. Son D, Gilbert H, Sitti M (2020) Magnetically actuated soft capsule endoscope for fine-needle

- biopsy. *Soft Robot* 7:10–21. <https://doi.org/10.1089/soro.2018.0171>
21. Tam MS, Kaoutzanis C, Mullard AJ, Regenbogen SE, Franz MG, Hendren S, Krapohl G, Vandewarker JF, Lampman RM, Cleary RK (2016) A population-based study comparing laparoscopic and robotic outcomes in colorectal surgery. *Surg Endosc* 30:455–463. <https://doi.org/10.1007/s00464-015-4218-6>
 22. Tang B, He F, Liu D, Fang M, Wu Z, Xu D (2020) AI-aided design of novel targeted covalent inhibitors against SARS-CoV-2. *bioRxiv Prepr Serv Biol* 2020.03.03.972133. <https://doi.org/10.1101/2020.03.03.972133>
 23. Trovato G, Shikanai M, Ukawa G, Kinoshita J, Murai N, Lee JW, Ishii H, Takanishi A, Tanoue K, Ieiri S, Konishi K, Hashizume M (2010) Development of a colon endoscope robot that adjusts its locomotion through the use of reinforcement learning. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 5:317–325. <https://doi.org/10.1007/s11548-010-0481-0>
 24. Ullrich F, Bergeles C, Pokki J, Ergeneman O, Orni S, Chatzipirpiridis G, Pané S, Framme C, Nelson BJ (2013) Mobility experiments with microrobots for minimally invasive intraocular surgery. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 54:2853–2863. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-11825>
 25. Wang P, Berzin TM, Glissen Brown JR, Bharadwaj S, Becq A, Xiao X, Liu P, Li L, Song Y, Zhang D, Li Y, Xu G, Tu M, Liu X (2019) Real-time automatic detection system increases colonoscopic polyp and adenoma detection rates: a prospective randomised controlled study. *Gut* 68:1813–1819. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2018-317500>
 26. Weston AD, Korfiatis P, Kline TL, Philbrick KA, Kostandy P, Sakinis T, Sugimoto M, Takahashi N, Erickson BJ (2019) Automated abdominal segmentation of CT scans for body composition analysis using deep learning. *Radiology* 290:669–679. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018181432>
 27. Yamada M, Saito Y, Imaoka H, Saiko M, Yamada S, Kondo H, Takamaru H, Sakamoto T, Sese J, Kuchiba A, Shibata T, Hamamoto R (2019) Development of a real-time endoscopic image diagnosis support system using deep learning technology in colonoscopy. *Sci Rep* 9:1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50567-5>
 28. Zihni A, Gerull WD, Cavallo JA, Ge T, Ray S, Chiu J, Brunt M, Awad MM (2018) Comparison of precision and speed in laparoscopic and robot-assisted surgical task performance. *J Surg Res* 223:29–33. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.07.037>
 29. Gesundheitsberichterstattung des Bundes, gbe-bund.de, Stand 07/2020



Foto: Andreas Heddergott / TUM

Morbus Crohn mit maschinellem Lernen verstehen

Komplexe Netzwerke von Bakterien und Metaboliten stellen biochemische Fingerabdrücke der Interaktionen zwischen Wirt und Darmmikroben dar. Forscher*innen der Technischen Universität München (TUM) haben gezeigt, dass diese Interaktionen bei Morbus Crohn-Patientinnen und -Patienten fehlgeleitete Immunreaktionen auslösen und funktionelle Veränderungen des Darms während des Auftretens eines Krankheitsschubs bewirken.

Morbus Crohn ist ein chronisch entzündlicher Zustand des Darms mit noch unbekannter Ursache. Die pharmakologische Behandlung der Krankheit beruht auf der Unterdrückung des Immunsystems durch unspezifische Medikamente und der Blockade von Entzündungsprozessen durch biologische Therapie. Frühere Studien haben gezeigt, dass bestimmte Mikrobiom-Signaturen mit Morbus Crohn verknüpft sind. Nun erforschten Wissenschaftler*innen der TUM, wie Veränderungen in der Struktur und Funktion von Darmmikroorganismen mit dem Krankheitsverlauf und dem Risiko eines Rückfalls bei schwerer Erkrankung zusammenhängen.

Ziel war die Charakterisierung des Mikrobioms im Rahmen einer Kohorten-Studie mit Patientinnen und Patienten, die sich einer Stammzellen-Therapie unterziehen. Diese bewirkt ein vorübergehendes Nachlassen von Krankheitssymptomen, wobei ein Teil der Betroffenen im Laufe der Zeit einen Rückfall erleidet. Die Rolle mikrobieller Veränderungen für den Krankheitsverlauf und die therapeutische Relevanz bei refraktärer und nicht beeinflussbarer Erkrankung mit Morbus Crohn nach einer Eigen-Stammzelltransplantation stand im Mittelpunkt ihrer Untersuchung.

“Wir haben funktionelle Fingerabdrücke identifiziert, die mit therapeutischem Versagen oder Erfolg während des Krankheitsverlaufs verknüpft sind. Damit verstehen wir nun besser, welchen Anteil ein Ungleich-

gewicht der Darmflora an einer schweren Morbus Crohn-Pathologie hat“, sagte Dirk Haller, Professor für Ernährung und Immunologie und Direktor des ZIEL – Institute for Food and Health. “Die Identifizierung mikrobieller Metaboliten könnte ein Ansatz sein, um potenzielle therapeutische Ziele zu finden“, fügte er hinzu.

“Unsere Daten zeigen, dass zeitliche Fluktuationen in den Profilen der Darmmikrobiota und Metaboliten die patientenbezogenen Unterschiede in der Krankheitsaktivität widerspiegeln. Mit Hilfe von maschinellen Lernalgorithmen konnten wir im Mausmodell mit hoher Genauigkeit nach der Schwere der Entzündungen klassifizieren“, sagte Amira Metwaly, Postdoktorandin und Erstautorin der Studie.

Das Forschungsteam identifizierte damit nicht nur ein Netzwerk von miteinander in Zusammenhang stehenden Bakterien und Metaboliten, die eine Vorhersage des klinischen Ergebnisses einer Morbus Crohn-Therapie verbessern können. Es fand zudem eine für den Krankheitsausgang relevante Signatur, die den Schwefelstoffwechsel und die Entgiftungsaktivität des Körpers einschließt.

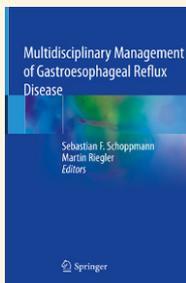
Publikation: A. Metwaly et al., Integrated microbiota and metabolite profiles link Crohn’s disease to sulfur metabolism. *Nature Communications* (2020).

**Quelle: Dr. Katharina Baumeister-Krojer
Pressereferentin, TUM**

S.F. Schoppmann, M. Riegler
**Multidisciplinary Management
of Gastroesophageal Reflux
Disease**

Das multidisziplinäre Management der Gastroösophagealen Refluxkrankheit

**Springer International Publishing 2021,
1. Auflage, 217 S., 19 s/w Abbildungen,
66 farbige Abbildungen Abb., (ISBN: 978-3-030-53750-0), Hardcover 145,59 EUR**



Die gastroösophageale Refluxkrankheit (GERD) zählt heute zu den häufigsten Lebensstilerkrankungen. Die Diagnose wie auch die Behandlung dieser Erkrankung stellen eine beträchtliche

Herausforderung dar und erfordern einen multidisziplinären Ansatz. Das vorliegende Werk wurde von zwei hervorragenden GERD-Experten herausgegeben, Sebastian F. Schoppmann von der Universitätsklinik für Chirurgie, Medizinische Universität Wien, und Martin Riegler von Reflux & Health Care in Wien, gemeinsam mit weiteren herausragenden, weltweit anerkannten Koautoren. In diesem Buch wird ein klarer und umfassender Überblick zum gegenwärtigen Stand des multidisziplinären GERD-Managements geboten. Es werden alle Aspekte der Diagnose und des Managements der GERD, inklusive der Endoskopie, Gastroenterologie, Radiologie, Pulmologie, Chirurgie, Palliation und interventionellen Medizin, auf hohem Niveau präsentiert und diskutiert. Darüber hinaus werden anatomische, physiologische, histopathologische und pathophysiologische Charakteristika des Ösophagus in beeindruckender Weise aufgezeigt. Auf 217 Seiten werden multi- und interdisziplinäre Ansätze zur GERD und zum Barrett-Ösophagus (BE) einschließlich der neuesten Erkenntnisse im Verständnis dieser Erkrankungen, wie auch Überlegungen zu den rezenten diagnostischen und therapeutischen Verfahren abgedeckt. Aufgrund der fundierten Expertise der Autoren und der hochpräzisen Literaturrecherche werden alle derzeit bekannten Aspekte der GERD und des BE umfassend und mit hoher inhaltlicher Qualität dargestellt.

Insbesondere wird durch die Präsentation neuester Methoden in der Therapie von GERD und BE das breite Spektrum des heute zur Verfügung stehenden Behandlungsinstrumentariums demonstriert und damit das Tor zu einer individualisierten Therapie dieser Erkrankungen geöffnet.

Im ersten Abschnitt wird die Pathophysiologie von Verletzungen des unteren Ösophagussphinkters dargestellt und ein neues pathologisches Testverfahren für derartige Sphinkterverletzungen präsentiert. Abschnitt 2 umfasst detaillierte Informationen zur ösophagealen Funktionstestung auf GERD. Die bedeutenden Abschnitte 3 und 4 in diesem Buch behandeln die Endoskopie und endoskopische ablativ-therapeutische Therapien bei GERD und BE. Es werden die endoskopische Mukosaresektion, die endoskopische Submukosadisektion, die Radiofrequenzablation sowie die Kryoballoonablation beschrieben. Die dazugehörigen Diagramme und Abbildungen helfen die diversen Verfahren auch für den Nichtspezialisten verständlich zu machen. Die aktuellen Studien zum endoskopischen Management der GERD und des BE werden vorgestellt und besprochen. Im fünften Abschnitt wird auf die Bedeutung der Bildgebung für die Diagnose und Darstellung zusätzlicher Pathologien vor Durchführung einer Antirefluxchirurgie eingegangen – wie auch auf ihren Wert in der Diagnose von Früh- und Spätkomplikationen der Antirefluxchirurgie. Anschauliche Abbildungen legen die verschiedenen Befunde auf beeindruckende Weise dar. Abschnitt 6 ist den diversen extraösophagealen Manifestationen der GERD gewidmet, u.a. dem chronischen Husten, dem Globussyndrom, der Heiserkeit, dem Stimmlippengranulom und der Stimmlippendysfunktion, dentalen Erosionen und der chronischen Rhinosinusitis. Darüber hinaus werden die Diagnostik und das Management dieser Manifestationen wiedergegeben. Chirurgisch orientierte Leser werden über die Abschnitte 7 bis 10, die sich mit der Antirefluxchirurgie beschäftigen, erfreut sein. Begleitet von eindrucksvollen Abbildungen werden im Text die verschiedenen Verfahren der Fundoplicatio übersichtlich vorgestellt. Insbesondere wird im achten Abschnitt eines der neuartigen Instrumente in der GERD-Therapie präsentiert. Hier wird auf die Technik der magnetischen Sphinkteraugmentation eingegangen und deren aktuelle Evidenz diskutiert. Ein ganzer Abschnitt des

Buches (Abschnitt 11) ist der Diagnose des Barrett-Karzinoms unter Einsatz diverser bildgebender Techniken gewidmet. Zu guter Letzt gibt es zwei Kapitel zum ösophagealen Adenokarzinom, einschließlich der chirurgischen Behandlung und Palliation.

Alle Kapitel des Buches werden durch ausführliche und aktuelle Literaturübersichten ergänzt. Zusätzlich zur ausgezeichneten Editierung werden die exzellenten Texte und Tabellen im Buch durch hochqualitative Abbildungen (Radiologie, Endoskopie, Chirurgie) bereichert. Schnelle Leser würden sich vielleicht ein alphabetisches Stichwortverzeichnis am Buchende wünschen.

Zusammenfassend stellt dieses Werk eine umfassende, aktuelle Präsentation aller Aspekte des multidisziplinären Managements der gastroösophagealen Refluxerkrankung dar, einschließlich neuartiger diagnostischer und therapeutischer Konzepte und Strategien. Dieses Buch ist eine wertvolle Ergänzung für die Bibliothek jedes Mediziners, der sich mit Diagnose und Behandlung der gastroösophagealen Refluxerkrankung beschäftigt.

H. Hauser (Graz, Österreich)