

Jubiläumsschlaglicht: Chirurgie

Laparoskopie als Grundstein für die Entwicklung der Robotik und der künstlichen Intelligenz

Dr. med. Simone N. Zwicky, Prof. Dr. med. Guido Beldi

Universitätsklinik für Viszerale Chirurgie und Medizin, Inselspital Bern, Bern

In den letzten 20 Jahren wurden die Zugangswege in der Chirurgie minimiert: Grosse Operationen durch kleine Schnitte. Diese Entwicklung ist der Grundstein für die nächsten Schritte in der Chirurgie: Unterstützung durch Algorithmen.

Die Laparoskopie als Grundstein

Aller Anfang ist schwer – dies bekam auch Prof. Kurt Semm vor 40 Jahren zu spüren, als er die erste laparoskopische Appendektomie an der Universitäts-Frauenklinik Kiel durchführte. Der später als Begründer der laparoskopischen Chirurgie gefeierte Gynäkologe war zunächst heftigster Kritik ausgesetzt. Wieso sollte die sichere, offene Operation durch eine unbekannte, womöglich gefährliche Technik mit aufwendigerem Instrumentarium und höherem Zeitaufwand ersetzt werden? Dasselbe Schicksal teilte Philippe Mouret, als er 1987 die erste video-laparoskopische Cholezystektomie durchführte [1].

Für weltweites Interesse sorgte erst die Präsentation der laparoskopischen Cholezystektomie am Jahresmeeting des «American College of Surgeons» 1989 durch die Amerikaner Saye, Reddick und Olsen [2]. Eine Welle von Enthusiasmus für minimal invasive Chirurgie sowie für neue Techniken und Instrumente erfasste darauf die chirurgische Gemeinschaft. In den nächsten Jahren wurden fast alle viszeral chirurgischen Operationen laparoskopisch erprobt und viele in die Routine umgesetzt – zunächst bei benignen, dann bei malignen Erkrankungen. Die Widerlegung von befürchteten Metastasen bei den Laparoskopie-Zugängen und die ersten Langzeitresultate von randomisierten Studien nach laparoskopischer Resektion von Kolonkarzinomen führten zur definitiven Etablierung der Laparoskopie nach der Jahrtausendwende [1, 3–5]. Der Aufschwung und die Akzeptanz der minimal invasiven Chirurgie, sowie das Bedürfnis, diese weiterzuentwickeln, bildeten die Grundsteine für die Entwicklung der robotischen Chirurgie.

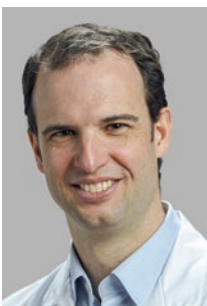
Robotik als Göttergedanke der Laparoskopie

Das initiale Konzept der Roboterchirurgie stammt aus dem Militär. Schwer verletzte Soldaten sollten noch an der Front via Telechirurgie in sicherer Entfernung behandelt werden. Der Wettlauf ins All ab den 1950er-Jahren lieferte ein weiteres Szenario mit der Notwendigkeit für Telechirurgie und führte zur staatlichen und privaten Förderung von technischen Entwicklungen in diesem Bereich. 1994 wurde der erste robotische Arm für laparoskopische Chirurgie zugelassen, mit dem das Laparoskop mittels Fusspedal positioniert werden konnte. Bereits vier Jahre später wurden Operationen mit dem ersten kompletten Robotersystem namens «ZEUS» durchgeführt. Das System beinhaltete drei Arme, einen für das Endoskop und zwei für chirurgische Instrumente, die von der Chirurgin oder dem Chirurgen via Konsole an einem Videomonitor gesteuert wurden [6]. Im Jahr 2001 setzte die Lindbergh-Operation damit einen weiteren Meilenstein. Dabei wurde eine roboterassistierte Cholezystektomie einer Patientin in Strasbourg durch ein Chirurgenteam in New York transatlantisch durchgeführt [7]. Ungefähr im selben Zeitraum wurde das bis zum heutigen Tag wohl erfolgreichste Robotersystem, das sogenannte «Da Vinci-Operationssystem» in Europa eingeführt und im Jahr 2000 als erstes Robotersystem in der USA zugelassen. Somit war der Boden geebnet für die folgende «Roboter-Ära» [6].

Die Implementierung der konventionellen Laparoskopie war vor allem in komplexen Eingriffen wie zum Beispiel bei Resektionen von parenchymatösen Organen wie Prostata, Pankreas und Leber aufgrund



Simone N. Zwicky



Guido Beldi

fehlendem Stereosehen an zweidimensionalen Video-Bildschirmen, eingeschränkten Freiheitsgraden der Instrumente sowie eingeschränkter Augen-Hand-Koordination limitiert. Entwicklungen der roboterassistierten Chirurgie eröffnete hier neue Wege. Die stark vergrößerte, dreidimensionale, stereoskopische Sicht aufs Operationsfeld, die autonome Kontrolle des Endoskops und Instrumente mit mehr Freiheitsgraden sind nur einige der Fortschritte, welche die roboterassistierte Chirurgie mit sich bringt und somit neue Operationstechniken ermöglichte [6].

In den frühen 2000er-Jahren wurden zunächst Fallberichte veröffentlicht von Operationen, die erstmalig mittels Roboterchirurgie durchgeführt wurden. Initial wurden die Robotersysteme vor allem in der Urologie angewendet [8]. Dank der roboterassistierten Chirurgie konnten auch laparoskopisch Ungeübte rasch von der offenen auf die minimal-invasive Technik umsteigen [9]. In den nächsten Jahren folgte die Zunahme der Anwendungen in der Robotik in der Allgemeinchirurgie bei hochkomplexen Operationen von benignen und malignen Erkrankungen.

In der viszeralen Chirurgie wurde die Robotik initial bei kolorektalen Erkrankungen angewendet. Die Vorteile der Methode in diesem Bereich basieren auf der Komplexität der Eingriffe und der engen Platzverhältnisse.

Dennoch liegen bisher nur wenige prospektive, randomisiert-kontrollierte Studien (RCT) vor [10–12]. Die grosse «ROLARR»-Studie zeigte jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Techniken bezüglich Konversionsrate und Morbidität [12]. Die Robotik hat viele Vorteile für die operierende Person, bis zum heutigen Tag bleibt jedoch der wissenschaftliche Nachweis aus, dass mit den aktuellen Systemen die Patientin oder der Patient klare Vorteile hat.

Beurteilung

Die definitive Durchsetzung der Laparoskopie in den frühen 2000er-Jahren bildete das Fundament für die Weiterentwicklung und Akzeptanz der Robotik in der Allgemeinchirurgie in den letzten 20 Jahren. Roboterassistierte Operationen bieten klare Vorteile für die operierende Person (Sicht, Koordination, Gewebehandhabung) wie auch potentielle Vorteile für die Patientin oder den Patienten, wie geringeres chirurgisches Trauma mit schnellerer Rekonvaleszenz. Trotz jährlich steigender Zahlen von roboterassistierten Operationen werden heutzutage, rund 20 Jahre nachdem die ersten Robotersysteme kommerziell käuflich waren, erst ein Bruchteil der Operationen in der Allgemeinchirurgie roboterassistiert durchgeführt. Dies ist vor allem den hohen Kosten, längeren Operationszeiten und einge-

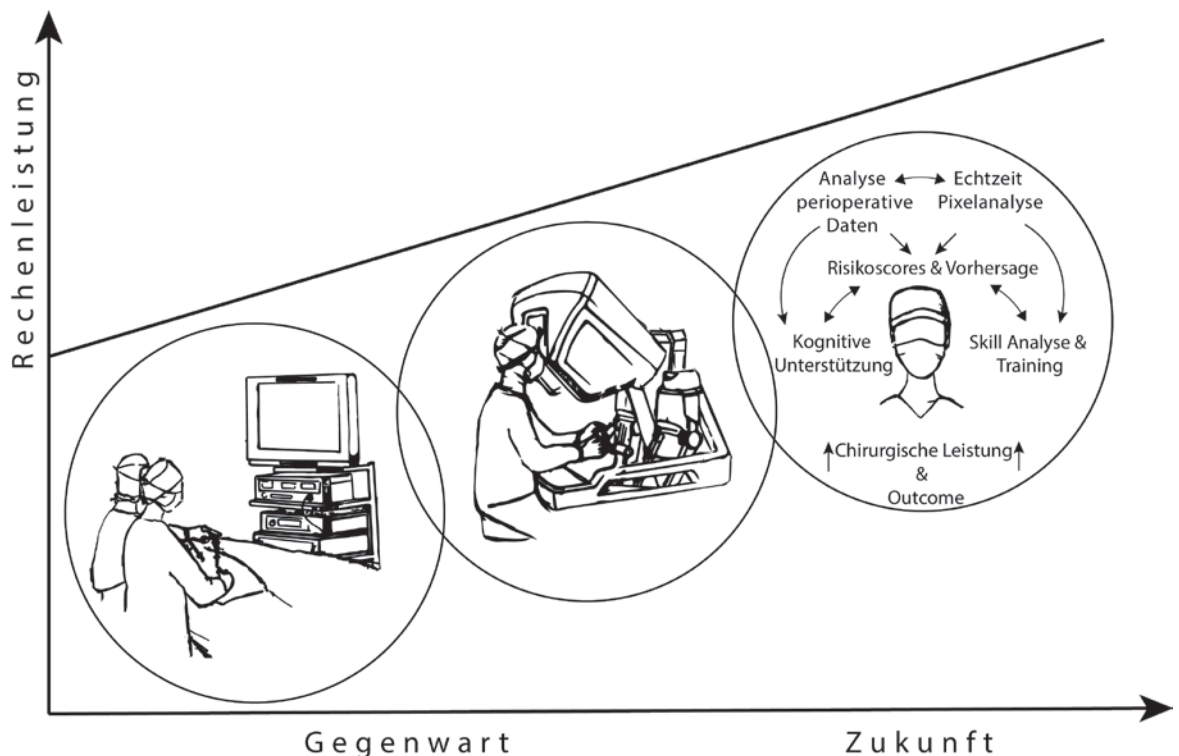


Abbildung 1: Entwicklung der Chirurgie in den letzten 20 Jahren und Zukunftsperspektiven: Zunehmende Rechenleistung und Bildauflösung haben den Weg freigemacht für die Umsetzung der Laparoskopie und der roboterassistierten Chirurgie und werden in Zukunft die vermehrte Unterstützung der Chirurginnen und Chirurgen durch künstliche Intelligenz ermöglichen.

schränkter Haptik zuzuschreiben. Zudem fehlen zum aktuellen Zeitpunkt multizentrische RCTs, welche die Überlegenheit der aktuellen roboterassistierten Chirurgie gegenüber der konventionellen Laparoskopie demonstrieren [10]. Neueste Entwicklungen zeigen, dass diese beschriebenen Limitationen der roboterassistierten Chirurgie in den nächsten Jahren schrittweise überwunden werden. Günstigere Modelle mit neuen Funktionen wie zum Beispiel haptischem Feedback (Gewebe wird spürbar) von verschiedenen Anbieterfirmen beleben den Wettbewerb und somit die Entwicklung. Die Robotik wird unaufhaltsam den Weg in die klinische Routine finden. Die Entwicklungen der letzten 20 Jahren werden uns somit in die Zukunft begleiten.

Künftige Unterstützung der Operation durch Algorithmen

Nicht nur in der Robotik wird künstliche Intelligenz in der Chirurgie es ermöglichen, Operationen sicherer und präziser durchzuführen. Automatisierte Operationen – Roboter-Chirurgie im eigentlichen Sinne – sind zwar noch lange nicht in Reichweite, aber künstliche Intelligenz wird Chirurgeninnen und Chirurgen dank zunehmender Bildauflösung und Rechenleistung bereits in der nahen Zukunft unterstützen (Abb. 1).

Aktuelle Entwicklungen integrieren Lokalisation und Bewegung der Instrumente in Echtzeit, um somit kritische Schritte einer Operation zu identifizieren [13]. Anatomische Strukturen, die nicht sichtbar sind, können dargestellt werden. Auch werden die Möglichkeiten weiterentwickelt, die es erlauben, die Ermüdung oder die Geschicklichkeit der operierenden Person automatisch zu erkennen [14]. Diese zukünftigen technischen Entwicklungen sind nur ein kleiner Teil der Möglichkeiten, die chirurgische Gesamtbetreuung von Patientinnen und Patienten zu verbessern. Hierbei wird weniger die vollautomatisierte Chirurgie mit Ersatz des Menschen durch Roboter, sondern die Unterstützung und Erweiterung der chirurgischen Behand-

lungsmöglichkeiten mittels künstlicher Intelligenz und Robotik das Ziel sein.

Disclosure Statement

SNZ hat keine potenziellen Interessenskonflikte deklariert. GB gibt an, dass bei einer seiner klinischen Studien in den letzten 36 Monaten die beteiligte Pflegefachfrau durch Caresyntax unterstützt worden ist.

Literatur

- 1 Antoniou SA, Antoniou GA, Antoniou AI, Grandrath FA. Past, Present, and Future of Minimally Invasive Abdominal Surgery. *JLS*. 2015;19(3):e2015.00052.
- 2 Kelley WE, Jr. The evolution of laparoscopy and the revolution in surgery in the decade of the 1990s. *JLS*. 2008;12:351–7.
- 3 Lacy AM, García-Valdecasas JC, Delgado S, Castells A, Taurá P, Piqué JM, Visa J. Laparoscopy-assisted colectomy versus open colectomy for treatment of non-metastatic colon cancer: a randomised trial. *Lancet*. 2002;359:2224–9.
- 4 Veldkamp R, Kuhry E, Hop WCJ, Jeekel J, Kazemier G, Bonjer HJ, et al. Laparoscopic surgery versus open surgery for colon cancer: short-term outcomes of a randomised trial. *Lancet Oncol*. 2005;6:477–84.
- 5 Lacy AM, Delgado S, Castells A, Prins HA, Arroyo V, Ibarzabal A, Piqué JM. The long-term results of a randomized clinical trial of laparoscopy-assisted versus open surgery for colon cancer. *Ann Surg*. 2008;248:1–7.
- 6 Morrell ALG, Morrell-Junior AC, Morrell AG, Mendes JMF, Tustumi F, DE-Oliveira-E-Silva LG, Morrell A. The history of robotic surgery and its evolution: when illusion becomes reality. *Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgioes*. 2021;48:e20202798.
- 7 Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, Butner SE, Smith MK. Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature*. 2001;413:379–80.
- 8 Boggi U, Vistoli F, Amorese G. Twenty years of robotic surgery: a challenge for human limits. *Updates Surg*. 2021;73.
- 9 Thiel DD, Winfield HN. Robotics in urology: past, present, and future. *J Endourol*. 2008;22:825–30.
- 10 Stoffels B, Glowka TR, von Websky MW, Kalff JC, Vilz TO. Roboterassistierte Operationen in der Viszeralchirurgie. *Chirurg*. 2020;91:190–4.
- 11 Hoshino N, Sakamoto T, Hida K, Takahashi Y, Okada H, Obama K, Nakayama T. Difference in surgical outcomes of rectal cancer by study design: meta-analyses of randomized clinical trials, case-matched studies, and cohort studies. *BJS open*. 2021;5(2):zraa067.
- 12 Jayne D, Pigazzi A, Marshall H, Croft J, Corrigan N, Copeland J, et al. Effect of Robotic-Assisted vs Conventional Laparoscopic Surgery on Risk of Conversion to Open Laparotomy Among Patients Undergoing Resection for Rectal Cancer: The ROLARR Randomized Clinical Trial. *Jama*. 2017;318:1569–80.
- 13 Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Ann Surg*. 2018;268:70–6.
- 14 Lavanchy JL, Zindel J, Kirtac K, Twick I, Hosgor E, Candinas D, Beldi G. Automation of surgical skill assessment using a three-stage machine learning algorithm. *Sci Rep*. 2021;11:5197.

Korrespondenz:
Prof. Dr. med. Guido Beldi
Universitätsklinik für Viszerale Chirurgie und Medizin
Inselspital,
Bauchzentrum Bern
Freiburgstrasse
CH-3010 Bern
Guido.Beldi[at]insel.ch