

Forum 2021 · 36:22–28

<https://doi.org/10.1007/s12312-020-00879-9>

Online publiziert: 17. Dezember 2020

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

D. Wilhelm^{1,2} · M. Berlet^{1,2} · H. Feussner² · D. Ostler²¹ Fakultät für Medizin, Klinik und Poliklinik für Chirurgie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, München, Deutschland² Forschungsgruppe MITI, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, München, Deutschland

Digitalisierung in der onkologischen Chirurgie

Während die Digitalisierung der Medizin und somit auch der onkologischen Chirurgie häufig auf die Einbindung künstlicher Intelligenz (KI) reduziert wird, subsummiert der Prozess unterschiedlichste Aspekte, die von der einfachen Datenerfassung und -speicherung bis hin zur Anwendung robotischer Methoden reichen. Digitalisierung versteht sich grundsätzlich als die Anwendung von Informationstechnologie, sodass eine isolierte Betrachtung des Themas für die onkologische Chirurgie per se schwierig ist. Dieser Beitrag beschreibt daher zentrale Aspekte der Digitalisierung und wie diese sich auf die onkologische Chirurgie auswirken, mit besonderer Beachtung des operativen Eingriffs.

Elemente der Digitalisierung

Auch in der onkologischen Chirurgie sind Daten das neue Öl [1], und Digitalisierung bedeutet v. a. die Erhebung, Speicherung, Übertragung und Analyse von Daten. Damit dies in erforderlichem Umfang möglich wird, finden digitale Eingabegeräte, Sensoren, Diagnosegeräte, sprachverstehende Systeme u. a. zunehmend Anwendung. Diese speichern Daten in primär digitaler Form in Datenbanken, wie etwa der elektronischen

Patientenakte (ePA) oder auf DICOM-Servern. Auf Basis der transsektoriellen Vernetzung des Gesundheitswesens und der Telematikinfrastruktur stehen diese Daten zukünftig den behandelnden Chirurgen umgehend und in großem Umfang (in Abhängigkeit von der Zugriffsregelung bzw. informationellen Selbstbestimmung) zur Verfügung. Die fundierte Indikationsstellung und Therapieplanung, denen in der onkologischen Therapie eine entscheidende Bedeutung zukommt, werden hiervon relevant profitieren, vorausgesetzt, dass entsprechende Methoden bereitstehen, um die verfügbare Menge an Daten zu verarbeiten. Das wird nicht ohne Methoden des maschinellen Lernens realisierbar sein, sodass diese einen Grundpfeiler der Digitalisierung darstellen. Patientenbezogene Daten verbleiben somit zukünftig nicht mehr am „point of care“, sondern begleiten den Patienten longitudinal entlang des Behandlungsprozesses und prinzipiell lebenslang. Damit alle Daten effizient verarbeitet und ausgewertet werden können, sind die Etablierung und Anwendung allgemeiner Standards für die Kommunikation (etwa HL7 FHIR oder IHE) und die Anwendung etablierter Semantiken bzw. Ontologien (z. B. SNOMED CT oder LOINC) erforderlich. Beispielsweise ist ein in einem Textverarbeitungssystem erstellter und abgespeicherter Arztbrief ein digitales Objekt, aber erst die Anwendung einer inneren logischen Struktur und maschinenverständlicher Semantiken ermöglicht die gezielte Analyse und Wissensextraktion. Der in der Radiologie etablierte Standard Digital Imaging and Communication in

Medicine (DICOM) erfüllt diese Anforderungen für medizinische Bilddaten und sichert den interdisziplinären Austausch entsprechender Informationen. Entsprechende Formate sind auch für Arztbriefe und Befunde verfügbar, z. B. der Standard Clinical Document Architecture (CDA), werden aber noch unzureichend angewandt [2–4]. Der Nutzen dieser Entwicklung für die Onkologie liegt auf der Hand, insofern als zu jedem Zeitpunkt der Behandlung alle relevanten Informationen nicht nur verfügbar, sondern automatisiert abgefragt werden können, etwa der Verlauf von Tumormarkern oder die bislang erfolgte Therapie. Dies wird die onkologische Chirurgie zwar nicht revolutionieren, aber insoweit verbessern, als Entscheidungen fundierter und effizienter getroffen werden können, v. a. bei interdisziplinären Behandlungskonzepten. Neben klinisch validierten Daten können zukünftig zudem vom Patienten generierte Informationen eingebunden werden wie „patient-related outcome measurements“ (PROMs) und „patient-related experience measurements“ (PREMs). Gerade für die Bewertung von onkologischen Therapieansätzen dürften diese eine gewisse Relevanz erlangen, etwa für die Erfassung der Lebensqualität. Die zu erwartende Datenvielfalt ermöglicht es zukünftig, ein präzises digitales Abbild des Patienten zu generieren.

Digitales Patientenmodell oder digitaler Zwilling

Während in der Onkologie bislang v. a. die TNM-Klassifikation durch die syste-

Autor



Prof. Dr. med. D. Wilhelm
Technische Universität
München, München

matische Einteilung von Tumorstadien eine vergleichende Analyse unterschiedlicher Therapieansätze ermöglicht bzw. das DRG-System in Form von Diagnose- und Prozedurcodes die Behandlung von Patienten digital abbildet, werden digitale Patientenmodelle in Zukunft eine wesentlich höhere Auflösung bieten. Das sog. digitale Patientenmodell beinhaltet hierbei alle verfügbaren patientenbezogenen Informationen in einer strukturierter Form, d.h. Bildgebung, funktionelle Analysen, genetische Befunde, Vorerkrankungen und -operationen etc.; nach der Definition von Grieves [5] muss „jedwede Information, die man von einem Patienten gewinnen kann, auch vom digitalen Zwilling, dem Patientenmodell, geliefert werden“. Es ist zu erwarten, dass chirurgische Therapieentscheidungen im Sinne einer personalisierten Präzisionsmedizin von derartigen Modellen im gleichen Maße profitieren werden, wie es derzeit für medikamentöse Therapiekonzepte antizipiert wird [6]. Die onkologische Therapieplanung, die sich derzeit primär auf das Erkrankungsstadium und den allgemeinen Performancestatus des Patienten (ECOG oder Karnofsky-Index) stützt, kann auf Basis des digitalen Patientenmodells durch eine präzise Kalkulation für verschiedene Therapieformen erweitert werden. Umgekehrt lassen sich Behandlungsverläufe unter Berücksichtigung eines umfassenden Patientenmodells besser bewerten. Auch die valide, patientenindividuelle Simulation operativer Eingriffe rückt unter Verwendung umfassender Modelle in greifbare Nähe und dient hierbei nicht nur der Vorbereitung des Chirurgen auf eine Intervention, sondern auch der Prädiktion des für den langfristigen Verlauf besten Behandlungskonzepts. Um auch hierfür die notwendige Datengrundlage bereitzustellen, muss das Patientenmodell durch ein chirurgisches Prozessmodell ergänzt werden [7].

„Augmented reality“ und darüber hinaus

Schon seit Langem träumen onkologische Chirurgen davon, präoperativ erstellte Bilddaten in Form einer aug-

mentierten Realität zur Navigation des Eingriffs und zur Vermeidung von Komplikationen zu nutzen [8]. Während sich das Prinzip in rigiden Umgebungen wie in der Neurochirurgie oder Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde bereits etablieren konnte, verhindert die stetige Organdeformation bislang den Einsatz in der Viszeralchirurgie. Methoden der Digitalisierung könnten dem Verfahren nun zu einem Durchbruch verhelfen, entweder in Form von KI-Methoden zur Registrierung der Gewebedeformation [9] oder durch Tiefenkarten auf Basis von 3-D-Bildern [10]. Beide Ansätze können dazu genutzt werden, vorhandene Volumendaten (Computer-/Magnetresonanztomographie) an den aktuellen Situs anzupassen, etwa um die Lage von vaskulären Strukturen oder Tumoren kenntlich zu machen. Ein alternativer Ansatz besteht darin, für das Auge unsichtbare Gewebeeigenschaften zu nutzen, um Gewebe zu differenzieren, z. B. durch die hyperspektrale Bildgebung. Durch selektive Betrachtung einzelner Absorptionsspektren erlaubt die Methode etwa die Überprüfung der Resektionsränder in der Mammachirurgie [11] oder die Beurteilung der Darmdurchblutung in der Kolonchirurgie [12]. Eine andere „Advanced-imaging-Methode“ ist die photoakustische Bildgebung, die bereits in der Leberchirurgie oder für die Identifikation von Lymphknotenmetastasen [13] eingesetzt wurde. Daneben existiert eine Vielzahl anderer Verfahren, wie die optische Kohärenztomographie, die Raman-Spektroskopie oder das „laser speckle contrast imaging“, die jeweils unterschiedliche Auflösungen und Eindringtiefen aufweisen und für optische Biopsien und intraoperative Gewebedifferenzierung im Sinne der Präzisionsmedizin genutzt werden können [14]. Aber auch allein unter Anwendung von KI-Methoden wurden bereits große Erfolge in der Gewebedifferenzierung erzielt, etwa um Adenome und Polypen während koloskopischer Untersuchungen hervorzuheben [15] oder Hauttumoren zu differenzieren [16]. Zukünftig könnten die gleichen Ansätze genutzt werden, um beispielsweise Peritonealkarzinoseherde im Abdomen zu

identifizieren oder Läsionen in Pankreas oder Leber abzugrenzen.

Ein nochmals anderer Ansatz stellt die Verwendung von Farbstoffen und Markern da, die ebenfalls genutzt werden können, um Gewebe spezifisch anzufärben. Auch diese Form der „image-guided surgery“ besitzt ein großes Potenzial, onkologische Eingriffe zu erleichtern. Ein bemerkenswerter Erfolg auf diesem Gebiet konnte bereits 2011 erzielt werden, als es gelang, mittels Folat-gekoppelter Indocyaningrün (ICG)-Sonden Tumorzellen des Ovarialkarzinoms anzufärben und mittels zytoreduktiver Chirurgie gezielt zu entfernen [17]. Indocyaningrün ist einer der wenigen zugelassenen Fluoreszenzfarbstoffe und kann auch für andere Anwendungen in der onkologischen Chirurgie eingesetzt werden. So kommt es etwa in Lebermetastasen aufgrund des geänderten Gallensäuremetabolismus zu einer Akkumulation des Fluorophors, wodurch diese markiert und während eines entsprechenden Eingriffs mittels eines digitalen Bildsystems sichtbar gemacht werden können. Ein anderer Ansatz nutzt ICG zur anatomischen Abgrenzung einzelner Lebersegmente [18], indem der Farbstoff selektiv in die das Segment versorgende Gefäße injiziert wird bzw. nach Unterbindung der betreffenden Gefäße das gesunde Gewebe angefärbt wird. Einen Schritt weiter führen gelabelte Farbstoffe, bei denen eine Koppelung an tumorspezifische Antikörper (z. B. gegen CEA oder CA19-9) gelungen ist und über die eine spezifische Anfärbung tumorösen Gewebes gelingt. Die intraoperative Bildunterstützung wird die onkologische Chirurgie in Richtung einer Präzisionsmedizin verbessern; sie erlaubt es, Eingriffe sicherer zu machen und die vollständige Resektion von Tumorkläsionen v. a. bei multilokulärem und diffusem Wachstum zu unterstützen.

Entscheidungsunterstützung in der onkologischen Chirurgie

Eines der zentralen Elemente der onkologischen Chirurgie stellt das interdisziplinäre Tumorboard dar, durch das individuelle Therapiekonzepte auf Grundlage der verfügbaren Evidenz erarbeitet wer-

den und für das ein direkter Einfluss auf die weitere Behandlung in Studien belegt werden konnte [19]. Eine Berücksichtigung aller relevanter Studien und der aktuellen Leitlinien wird jedoch, insbesondere aufgrund der zunehmenden Differenzierung (Biomarker, genetische Analyse) mancher Erkrankungen und der Vielzahl der Behandlungsformen, zunehmend schwierig. Die im Zuge der Digitalisierung ad hoc verfügbaren Informationen, sowohl aufseiten des Patienten als auch aufseiten von Wissensdatenbanken, ermöglichen in Zukunft eine KI-gestützte Entscheidungsunterstützung („clinical decision support system“, CDSS), wie sie etwa durch Watson Oncology von IBM avisiert war und die als supportive Methode ein großes Potenzial besitzt [20]. Auch wenn Watson Oncology in manchen Bereichen nicht die erwartete Qualität erreichte, sind erste Ansätze in diesem Kontext durchaus vielversprechend, z. B. für das Kolonkarzinom. So erlauben entsprechend trainierte Algorithmen, die Indikationsstellung zur adjuvanten Therapie [21] oder die Notwendigkeit einer ergänzenden onkologischen Resektion nach endoskopischer Abtragung [22] präzise zu bewerten. Auch außerhalb des Tumorboards werden Entscheidungssysteme in der onkologischen Chirurgie Bedeutung erlangen und haben das Potenzial, die Behandlung unserer Patienten maßgeblich zu verbessern. So ermöglichen auf sprachverstehenden Systemen aufbauende Algorithmen die Analyse erhobener klinischer Befunde [23] und etwa die Prädiktion postoperativer Komplikationen [24]. Dies erlaubt die frühzeitige Einleitung entsprechender Behandlungsmaßnahmen und die Vermeidung schwerer, langwieriger Verläufe mit negativem Einfluss auf das onkologische Ergebnis. Sie können aber auch dafür eingesetzt werden, Komplikationen vorzubeugen, etwa indem bereits intraoperativ eine optimale Strategie getroffen wird [25, 26]. So könnten auf KI-Methoden aufbauende Risikoanalysen genutzt werden, um das Risiko einer postoperativen Anastomoseninsuffizienz abzuschätzen und dann ggf. ein protektives Stoma oder eine Hartmann-Operation zu wählen [27] oder aber den Erfolg einer

Forum 2021 · 36:22–28 <https://doi.org/10.1007/s12312-020-00879-9>
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

D. Wilhelm · M. Berlet · H. Feussner · D. Ostler

Digitalisierung in der onkologischen Chirurgie

Zusammenfassung

Hintergrund. Die digitale Transformation des Gesundheitswesens wird unseren Berufszweig wesentlich verändern und schickt sich an, die onkologische Chirurgie zu revolutionieren.

Ziel der Arbeit. Die vorliegende Arbeit ist bemüht, eine neutrale Übersicht über die zentral betroffenen Bereiche und die hier bereits umgesetzten und in Zukunft zu erwartenden Veränderungen zu geben.

Material und Methode. Der Übersichtsbeitrag berücksichtigt die aktuelle Literatur, Expertendiskussionen und Kongressinhalte. Der Fokus liegt hierbei auf der Indikationsstellung und der operativen Versorgung, wohingegen allgemeine Aspekte nur kurz abgehandelt werden.

Ergebnisse. Digitalisierung bedeutet primär eine umfassende Bereitstellung von Daten,

die im Rahmen des Behandlungsprozesses kontinuierlich und strukturiert ergänzt werden. Diese erlauben eine fundierte Entscheidungsunterstützung und die Einbindung assistierender Funktionen. Insbesondere im chirurgischen Operationssaal ergeben sich potente Werkzeuge der Präzisionsmedizin. **Schlussfolgerung.** Die Digitalisierung der onkologischen Chirurgie bietet zahlreiche Ansätze, die Behandlung unserer Patienten zu verbessern. Eine aktive, aber auch kritische Begleitung ist gefordert, der Patient muss hierbei im Fokus der Bemühungen stehen.

Schlüsselwörter

Interoperabilität · Entscheidungsunterstützung · Künstliche Intelligenz · Digitaler Zwilling · Chirurgische Datenwissenschaft

Digitalization in surgical oncology

Abstract

Background. The digital transformation of the healthcare system will significantly change our profession and is about to revolutionize surgical oncology.

Objective. The present work aims to give a neutral overview of central aspects of this process and of changes that have already been made or are to be expected in the near future.

Materials and methods. This review article takes into account the current literature, expert discussions, and congress contents. The focus is laid on the indication process and on operative care, whereas general aspects are only dealt with in an overview.

Results. Digitalization in surgical oncology primarily means the comprehensive provision of data, which is continuously supplemented

along the treatment process in a structured manner. The available knowledge will allow for well-founded decision support and the integration of assisting functions in all areas. For the surgical operating theatre in particular, it will provide effective tools for precision medicine.

Conclusion. The digitalization of oncological surgery offers numerous approaches to improve the treatment of our patients. Active but also critical support is required; the patient must be the focus of efforts.

Keywords

Interoperability · Clinical decision support system · Artificial intelligence · Digital twin · Surgical data science

zytoreduktiven Chirurgie bei Peritonealkarzinose zu bewerten [28].

Workflow-Analyse und Prädiktion – Digitalisierung im OP

Die Digitalisierung im Operationssaal ist allerdings nicht auf Entscheidungsunterstützung reduziert, vielmehr ist zu erwarten, dass der gesamte operative Pro-

zess bald digital erfasst und protokolliert wird, um auf Basis dieser Daten und unter Anwendung von Prozessmodellen eine Automatisierung und Verbesserung des Workflows zu ermöglichen. Im sog. kognitiven Operationssaal werden hierfür alle Prozesse durch direkten Zugriff auf Gerätedaten oder indirekt mittels installierter Sensoren (etwa Kamera, Mikrophon, Lichtsensor, Neigungssensor des Tisches, RFID-Tags etc.) er-

fasst [29]. Auch hierfür ist eine gemeinsame „Sprache“ erforderlich, deren Anforderungen durch verschiedene Projekte (OR.Net oder SCOT) definiert wurden [30] und die in verschiedenen Formen (z. B. IEEE 11073 SDC, HL7 FHIR, ASTM F2761, ISO TC215 etc.) derzeit etabliert werden. Gleicht man die Gesamtheit der empfangenen Daten mit zuvor erstellten, deskriptiven Eingriffsabläufen ab (chirurgisches Prozessmodell), ermöglicht dies die Analyse und Bewertung des laufenden Eingriffs. Für einfache Eingriffe wie die Cholezystektomie oder Sigmaresektion wurde das Verfahren bereits evaluiert und erlaubt unter Einbindung von KI-Methoden die Abschätzung von Operationsphasen und die Detektion von Abweichungen [31, 32]. Das noch vergleichsweise junge Prinzip der modellbasierten Chirurgie könnte zukünftig dazu genutzt werden, um bei onkologischen Eingriffen situationsgerecht relevante Informationen, etwa Präparationspfade oder Risikostrukturen, einzublenden. Die Kognition des Operationssaals, d. h. die Fähigkeit, den laufenden Eingriff zu verstehen, ist zudem von zentraler Bedeutung für die Einbindung von autonomen Funktionalitäten und kann darüber hinaus für die automatische Annotation von Bilddaten (laparoskopisches Video) und damit zur weiteren Verbesserung von KI-Methoden genutzt werden. Der Operationssaal wird hierdurch zu einem aktiven Assistenten, wobei sich diese Assistenz v. a. bei langwierigen und komplexen Eingriffen wie onkologischen Prozeduren auszahlen dürfte. Damit das Prinzip erfolgreich auf onkologische Eingriffe angewandt werden kann, ist zuvor eine mehr oder weniger umfassende Standardisierung der Operation erforderlich, d. h. es muss eine gewisse Grundstruktur bereitgestellt werden, an der sich der Algorithmus orientieren kann. Hierfür eignen sich nicht alle onkologischen Eingriffe, für einzelne Prozeduren wurden aber relevante Fortschritte erzielt. Auch der Einsatz robotischer Methoden ist hierbei von Bedeutung, da er von einer zunehmenden Prozessstandardisierung begleitet ist, wie dies etwa für die Ösophagektomie [33] oder die mesorektale Rektumresektion [34] gezeigt werden kann. Von der Standardisierung profitie-

ren aber nicht nur derartige Assistenzsysteme, sondern auch für die Vergleichbarkeit innerhalb klinischer Studien ist sie von Vorteil. Bislang stellt ein operativer Eingriff etwa im Gegensatz zu einem neuen Antikörper eine vergleichsweise heterogene Intervention dar, die großen individuellen (Arzt, Krankenhaus, Region etc.) Einflüssen unterworfen ist. Gelänge eine globale Prozessstandardisierung in der onkologischen Chirurgie, könnten diese nochmals präziser bewertet werden.

Robotische Intervention

Wenn man von Digitalisierung der onkologischen Chirurgie spricht, muss natürlich auch auf die Robotik eingegangen werden, die in der Viszeralchirurgie derzeit eine zunehmende Bedeutung erlangt. Auch wenn Kritiker die in der Tat bestehende fehlende Überlegenheit robotischer Interventionen bei gleichzeitiger Kostensteigerung aufführen [35, 36], so ist eine Zukunft der onkologischen Chirurgie ohne Robotik schwer vorstellbar. Aktuelle Systeme nutzen Technologien, die es erlauben, die Präzision und Sicherheit eines Eingriffs zu erhöhen, insbesondere im Vergleich zur Laparoskopie, wie etwa Tremorfilter, Skalierung der Manipulation und erhöhte Freiheitsgrade. Die belegte bessere Ergonomie ist ein weiterer Aspekt, der langfristig Relevanz erlangen könnte [37]. Dass diese theoretischen Vorteile sich bislang nicht in Studien niedergeschlagen haben, kann mehrere Gründe haben. Zunächst einmal stellt der Chirurg bei einem Eingriff den entscheidenden Parameter dar und nicht die angewandte Methode, sodass bei einer entsprechenden Expertise des Operateurs keine relevanten onkologischen Unterschiede im Vergleich zu erwarten sind. Minimal-invasive und robotische Eingriffe folgen mit Ausnahme des Zugangs weitgehend dem offenen Vorgehen, das erzielte Ergebnis ist somit äquivalent. Durch die Entwicklung neuer operativer Ansätze, wie etwa des suprapubischen Vorgehens bei der mesokolischen Hemikolektomie [38] oder der transhiatalen/transzervikalen Ösophagektomie [39], könnte sich die Situation aber bald ändern. Minimal-in-

vasive Verfahren scheinen aber durchaus onkologische Vorteile zu bieten, wie an großen Registerdaten für das Kolonkarzinom gezeigt wurde [40] und die sich erst in der breiten Anwendung niederschlagen. Ursächlich hierfür könnten die bekannte kürzere Rekonvaleszenz und die bessere Immunfunktion sein [41], aber auch der frühere (zeitgerechte) Start einer adjuvanten Chemotherapie [42]. Diese Aspekte sprechen indirekt für einen (angemessenen) Einsatz robotischer Methoden in der onkologischen Chirurgie, nicht zuletzt auch aufgrund der belegten kürzeren Lernkurven und der niedrigeren Konversionsraten [43]. Darüber hinaus erlaubt ein an einem Master-Slave-System durchgeführter Eingriff eine höhere Stufe der Validierung. Während in der offenen und laparoskopischen Chirurgie die Operationszeit, der Blutverlust, postoperative Komplikationen und das onkologische Ergebnis als zentrale Säulen der Qualitätssicherung dienen, kann ein Roboter zusätzliche Systemparameter quasi in Echtzeit erfassen und für abgeleitete Funktionen bereitstellen. Sie können etwa die bei einer Operation durchgeführten Präparations Schritte und Instrumentenbewegungen präzise erfassen [44] und könnten zukünftig als weitere Säule der Qualitätssicherung genutzt werden. Unter Einbeziehung präoperativ erhobener Befunde und unter Berücksichtigung des onkologischen Ergebnisses könnten auf dieser Basis besonders günstige Operationstechniken identifiziert und für Training und Weiterbildung genutzt werden. Zuletzt bieten robotische Systeme ideale Voraussetzungen für die Einbindung KI-basierter Assistenzsysteme [45] sowie von „Augmented-reality“- und „Advanced-imaging-Methoden“, die zukünftig die onkologische Chirurgie beflügeln könnten.

Chirurgische Datenwissenschaften und Big-Data-Analyse

Die randomisierte kontrollierte Studie und darauf beruhende Metaanalysen stellen derzeit die höchste Evidenzklasse in der Medizin dar und sind der Maßstab für jede neue onkologische Methode. Die in Zukunft zu erwartende breite Verfüg-

barkeit von Patienten- und Prozessdaten (inkl. der erfolgten Therapie und des onkologischen Ergebnisses, des vorhandenen Domänenwissens und der bestehenden verfügbaren Standards) in standardisierter digitaler Form besitzt das Potenzial, auf Basis der Big-Data-Analyse alternative Evidenz zu generieren bzw. die Simulation einer randomisierten Studie auf Basis einer kausalen Inferenz [46]. Chirurgische Datenwissenschaften wenden diesen Ansatz auf chirurgische Fragenstellungen an und haben das Ziel, chirurgische Qualität durch Erfassung, Organisation, Analyse und Modellierung von Daten zu verbessern [47]. Das Feld der chirurgischen Datenwissenschaften ist noch vergleichsweise jung und leidet gemäß einer aktuellen Umfrage noch an der fehlenden Verfügbarkeit entsprechend geeigneter (annotierter) Daten und der Komplexität der Thematik [48]. Dennoch könnte im Zuge der Digitalisierung dieser Ansatz dazu führen, dass sich die aktuelle, auf traditionellem Lernen und Erfahrung beruhende chirurgische Praxis hin zu einer datenbasierten Methode entwickelt [49]. Die in diesem Beitrag aufgeführten Elemente der Digitalisierung der onkologischen Chirurgie fungieren somit als Puzzlesteine eines umfassenden Konzepts, dessen volles Potenzial derzeit nur in Ansätzen ausgeschöpft wurde.

Fazit für die Praxis

- Die Digitalisierung der onkologischen Chirurgie stellt keinen eigenständigen Prozess dar, vielmehr handelt es sich um einen ubiquitären Wandel, der u. a. das Gesundheitswesen und auch diesen Bereich erfasst hat.
- Digitalisierung umfasst vielerlei Prozesse, die, um den wahren Nutzen erfahren zu können, ineinandergreifen und sich gegenseitig ergänzen müssen.
- Für das Gesundheitswesen und die Onkologie ergeben sich insofern besondere Rahmenbedingungen, als hier noch sehr traditionelle und weitgehend analog geprägte Strukturen bestehen, aber auch aufgrund der empfindlichen Daten. Bei aller Euphorie und den gegebenen Chancen

muss der Schutz des Patienten und seiner Gesundheitsdaten daher an erster Stelle stehen.

- Digitalisierung darf nicht für sekundäre (wirtschaftliche) Zwecke missbraucht werden, sondern muss v. a. dem Wohle des Patienten und der im Gesundheitswesen Beschäftigten dienen.
- Wir alle sind aufgefordert, die Digitalisierung aktiv zu begleiten und die Bereiche aufzuzeigen, in denen eine Verbesserung notwendig und sinnvoll umsetzbar erscheint.
- Eine ablehnende Haltung sollte, ebenso wie eine unkritische Implementierung, vermieden werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. D. Wilhelm

Fakultät für Medizin, Klinik und Poliklinik für Chirurgie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München
Ismaningerstr. 22, 81675 München, Deutschland
dirk.wilhelm@tum.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. D. Wilhelm, M. Berlet, H. Feussner und D. Ostler 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. Büst R (2013) Daten sind das neue Öl. *Wirtsch Inform Manag* 5(2):40–46
2. Müller-Mielitz S (2018) Digitalisierung von Papier: Vorteile für die Prozesse. In: *Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen IV*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S257–275
3. Caumanns J (2019) Zur Diskussion: Stand der Digitalisierung im deutschen Gesundheitswesen. *Z Evid Fortbild Qual Gesundhwes* 143:22–29
4. Klauber J, Geraedts M, Friedrich J, Wasem J (2019) Krankenhaus-Report 2019: Das digitale Krankenhaus. Springer, Berlin, Heidelberg, New York
5. Grieves M, Vickers J (2017) Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In: *Transdisciplinary perspectives on complex systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S85–113
6. Björnsson B, Borrebaeck C, Elander N, Gasslander T, Gawel DR, Gustafsson M, Jörnsten R, Lee EJ, Li X, Lilja S (2020) Digital twins to personalize medicine. *Genome Med* 12(1):1–4

7. Vogel T, Kohn N, Ostler D, Marahrens N, Samm N, Jell A, Kranzfelder M, Wilhelm D, Friess H, Feußner H (2019) Modellgestützte Therapie in der Chirurgie. *Chirurg* 90(6):470–477
8. Kleemann M, Hildebrand P, Birth M, Bruch H (2006) Laparoscopic ultrasound navigation in liver surgery: technical aspects and accuracy. *Surg Endosc* 20(5):726–729
9. Sharma S, Kansal N, Rattan M (2018) Implementation and analysis of SVR based machine learning approach for real-time modelling of tissue deformation. 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), 2018 IEEE, Piscataway Township, S404–407
10. Aslam A, Ansari M (2019) Depth-map generation using pixel matching in stereoscopic pair of images. *Arxiv Prepr Arxiv* 2019:190203471
11. Kho E, De Boer LL, Van de Vijver KK, Van Duijnhoven F, Peeters M-JTV, Sterenborg HJ, Ruers TJ (2019) Hyperspectral imaging for resection margin assessment during cancer surgery. *Clin Cancer Res* 25(12):3572–3580
12. Jansen-Winkel B, Holfert N, Köhler H, Moulla Y, Takoh J, Rabe S, Mehdorn M, Barberio M, Chalopin C, Neumuth T (2019) Determination of the transection margin during colorectal resection with hyperspectral imaging (HSI). *Int J Colorectal Dis* 34(4):731–739
13. Luke GP, Emelianov SY (2015) Label-free detection of lymph node metastases with US-guided functional photoacoustic imaging. *Radiology* 277(2):435–442
14. Mascagni P, Longo F, Barberio M, Seeliger B, Agnus V, Saccomandi P, Hostettler A, Marescaux J, Diana M (2018) New intraoperative imaging technologies: innovating the surgeon's eye toward surgical precision. *J Surg Oncol* 118(2):265–282
15. Zhu X, Nemoto D, Wang Y, Li Q, Aizawa M, Utano K, Isohata N, Endo S, Hewett DG, Togashi K (2019) Tu1943 A machine-learning algorithm can detect diminutive colorectal polyps: a reading test comparing recognition with human endoscopists. *Gastrointest Endosc* 89(6):AB625
16. Hogarty DT, Su JC, Phan K, Attia M, Hossny M, Nahaivandi S, Lenane P, Moloney FJ, Yazdabadi A (2020) Artificial intelligence in dermatology—where we are and the way to the future: a review. *Am J Clin Dermatol* 21(1):41–47
17. Van Dam GM, Themelis G, Crane LM, Harlaar NJ, Pleijhuis RG, Kelder W, Sarantopoulos A, De Jong JS, Arts HJ, Van Der Zee AG (2011) Intraoperative tumor-specific fluorescence imaging in ovarian cancer by folate receptor- α targeting: first in-human results. *Nat Med* 17(10):1315–1319
18. Wilhelm D, Vogel T, Ostler D, Marahrens N, Kohn N, Koller S, Friess H, Kranzfelder M (2018) Enhanced visualization: from intraoperative tissue differentiation to augmented reality. *Visc Med* 34(1):52–59
19. Basta YL, Bolle S, Fockens P, Tytgat KM (2017) The value of multidisciplinary team meetings for patients with gastrointestinal malignancies: a systematic review. *Ann Surg Oncol* 24(9):2669–2678
20. Walsh S, de Jong EE, van Timmeren JE, Ibrahim A, Compter I, Peerlings J, Sanduleanu S, Refaee T, Keek S, Larue RT (2019) Decision support systems in oncology. *JCO Clin Cancer Inform* 3:1–9
21. Steele SR, Bilchik A, Johnson EK, Nissan A, Peoples GE, Eberhardt JS, Kalina P, Petersen B, Brücher B, Protic M (2014) Time-dependent estimates of recurrence and survival in colon cancer: clinical decision support system tool development for adjuvant therapy and oncological outcome assessment. *Am Surg* 80(5):441–453

22. Ichimasa K, Kudo S-E, Mori Y, Misawa M, Matsuda-ira S, Kouyama Y, Baba T, Hidaka E, Wakamura K, Hayashi T (2018) Artificial intelligence may help in predicting the need for additional surgery after endoscopic resection of T1 colorectal cancer. *Endoscopy* 50(03):230–240
23. Loftus TJ, Tighe PJ, Filiberto AC, Efron PA, Brakenridge SC, Mohr AM, Rashidi P, Upchurch GR, Bihorac A (2020) Artificial intelligence and surgical decision-making. *JAMA Surg* 155(2):148–158
24. Murff HJ, FitzHenry F, Matheny ME, Gentry N, Kotter KL, Crimin K, Dittus RS, Rosen AK, Elkin PL, Brown SH (2011) Automated identification of postoperative complications within an electronic medical record using natural language processing. *JAMA* 306(8):848–855
25. Gordon L, Grantcharov T, Rudzicz F (2019) Explainable artificial intelligence for safe Intraoperative decision support. *JAMA Surg* 154(11):1064–1065
26. Ebadi A, Tighe PJ, Zhang L, Rashidi P (2017) DisTeam: a decision support tool for surgical team selection. *Artif Intell Med* 76:16–26
27. Sammour T, Cohen L, Karunatilake A, Lewis M, Lawrence M, Hunter A, Moore J, Thomas M (2017) Validation of an online risk calculator for the prediction of anastomotic leak after colon cancer surgery and preliminary exploration of artificial intelligence-based analytics. *Tech Coloproctol* 21(11):869–877
28. Maubert A, Birtwistle L, Bernard J, Benizri E, Bereder J (2019) Can machine learning predict resectability of a peritoneal carcinomatosis? *Surg Oncol* 29:120–125
29. Kranzfelder M, Schneider A, Fiolka A, Koller S, Reiser S, Vogel T, Wilhelm D, Feussner H (2014) Reliability of sensor-based real-time workflow recognition in laparoscopic cholecystectomy. *Int J CARS* 9(6):941–948
30. Kasparick M, Schmitz M, Andersen B, Rockstroh M, Franke S, Schlichting S, Golasowski F, Timmermann D (2018) OR. NET: a service-oriented architecture for safe and dynamic medical device interoperability. *Biomed Eng* 63(11):1–30
31. Yengera G, Mutter D, Marescaux J, Padoy N (2018) Less is more: surgical phase recognition with less annotations through self-supervised pre-training of CNN-LSTM networks. *Arxiv Prepr Arxiv* 2018:180508569
32. Kitaguchi D, Takeshita N, Matsuzaki H, Takanoh H, Owada Y, Enomoto T, Oda T, Miura H, Yamanashi T, Watanabe M (2019) Real-time automatic surgical phase recognition in laparoscopic sigmoidectomy using the convolutional neural network-based deep learning approach. *Surg Endosc* 34(11):4924–4931. <https://doi.org/10.1007/s00464-019-07281-0>
33. Egberts J-H, Biebl M, Perez D, Mees S, Grimminger P, Müller-Stich B, Stein H, Fuchs H, Bruns C, Hackert T (2019) Robot-assisted oesophagectomy: recommendations towards a standardised Ivor Lewis procedure. *J Gastrointest Surg* 23(7):1485–1492
34. Miskovic D, Ahmed J, Bissett-Amess R, Gómez Ruiz M, Luca F, Jayne D, Figueiredo N, Heald R, Spinoglio G, Parvaiz A (2019) European consensus on the standardization of robotic total mesorectal excision for rectal cancer. *Colorectal Dis* 21(3):270–276
35. Qiu H, Yu D, Ye S, Shan R, Ai J, Shi J (2020) Long-term oncological outcomes in robotic versus laparoscopic approach for rectal cancer: a systematic review and meta-analysis. *Int J Surg* 80:225–230. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2020.03.009>
36. Hoshino N, Murakami K, Hida K, Hisamori S, Tsunoda S, Obama K, Sakai Y (2020) Robotic versus laparoscopic surgery for gastric cancer: an overview of systematic reviews with quality assessment of current evidence. *Updates Surg* 72(3):573–582. <https://doi.org/10.1007/s13304-020-00793-8>
37. Rodriguez JGZ, Zihni AM, Ohu I, Cavallo JA, Ray S, Cho S, Awad MM (2019) Ergonomic analysis of laparoscopic and robotic surgical task performance at various experience levels. *Surg Endosc* 33(6):1938–1943
38. Petz W, Ribero D, Bertani E, Borin S, Formisano G, Esposito S, Spinoglio G, Bianchi P (2017) Suprapubic approach for robotic complete mesocolic excision in right colectomy: oncologic safety and short-term outcomes of an original technique. *Eur J Surg Oncol* 43(11):2060–2066
39. van der Sluis P, Egberts J-H, Stein H, Sallum R, van Hillegersberg R, Grimminger PP (2020) Transcervical (SP) and Transhiatal DaVinci robotic esophagectomy: a cadaveric study. *Thorac Cardiovasc Surg*. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1716323>
40. Völkel V, Draeger T, Gerken M, Klinkhammer-Schalke M, Fürst A (2018) Long-term oncologic outcomes after laparoscopic vs. open colon cancer resection: a high-quality population-based analysis in a Southern German district. *Surg Endosc* 32(10):4138–4147
41. Tan J-T, Zhong J-H, Yang Y, Mao N-Q, Liu D-S, Huang D-M, Zhao Y-X, Zuo C-T (2016) Comparison of postoperative immune function in patients with thoracic esophageal cancer after video-assisted thoracoscopic surgery or conventional open esophagectomy. *Int J Surg* 30:155–160
42. Lee L, Wong-Chong N, Kelly JJ, Nassif GJ, Albert MR, Monson JR (2019) Minimally invasive surgery for stage III colon adenocarcinoma is associated with less delay to initiation of adjuvant systemic therapy and improved survival. *Surg Endosc* 33(2):460–470
43. deAngelis N, Lizzi V, Azoulay D, Brunetti F (2016) Robotic versus laparoscopic right colectomy for colon cancer: analysis of the initial simultaneous learning curve of a surgical fellow. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 26(11):882–892
44. Raison N, Ahmed K, Fossati N, Buffi N, Mottrie A, Dasgupta P, Van Der Poel H (2017) Competency based training in robotic surgery: benchmark scores for virtual reality robotic simulation. *BJU Int* 119(5):804–811
45. Shin C, Ferguson PW, Pedram SA, Ma J, Dutson EP, Rosen J (2019) Autonomous tissue manipulation via surgical robot using learning based model predictive control. 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2019 IEEE, Piscataway Township, S 3875–3881
46. Bareinboim E, Pearl J (2016) Causal inference and the data-fusion problem. *Proc Natl Acad Sci USA* 113(27):7345–7352
47. Maier-Hein L, Vedula SS, Speidel S, Navab N, Kikinis R, Park A, Eisenmann M, Feussner H, Forestier G, Giannarou S (2017) Surgical data science for next-generation interventions. *Nat Biomed Eng* 1(9):691–696
48. Maier-Hein L, Eisenmann M, Sarikaya D, März K, Collins T, Malpani A, Fallert J, Feussner H, Giannarou S, Mascagni P (2020) Surgical data science—From concepts to clinical translation. *Arxiv Prepr Arxiv* 2020:201102284
49. Vercauteren T, Unberath M, Padoy N, Navab N (2019) Cai4cai: the rise of contextual artificial intelligence in computer-assisted interventions. *Proc IEEE Inst Electr Electron Eng* 108(1):198–214