KI 01.03.2024

Künstliche Intelligenz in der Viszeralchirurgie



„Anstatt die etwa 50 mehr oder weniger wahrscheinlichsten Ursachen für ein akutes Abdomen in Betracht zu ziehen, versucht die intelligente Chirurgin vielmehr, ein klinisches Muster zu erkennen und aus einem begrenzten Spektrum von Behandlungsoptionen eine zielführende Vorgehensweise zu wählen.“ So steht es zu lesen in einem weltweit bekannten Lehrbuch zum Thema Notfallchirurgie des Abdomens [1]. Den ersten und entscheidenden Schritt in der medizinischen Versorgung eines Patienten oder einer Patientin, nämlich das Erarbeiten einer Differenzialdiagnose, sollten wir vor diesem Hintergrund und unter Berücksichtigung aktueller Veröffentlichungen des Technologiedienstleisters Google in Zukunft womöglich am besten einer Künstlichen Intelligenz (*Artificial Intelligence*, KI) oder genauer gesagt einem entsprechenden Sprachmodell (*Large Language Model*, LLM) überlassen. In der Studie war das LLM den Ärztinnen und Ärzten bei der Analyse textbasierter Fallbeispiele in Bezug auf die Erstellung umfassender Listen möglicher Differenzialdiagnosen überlegen, wobei diese zudem mit größerer Wahrscheinlichkeit die korrekte Diagnose enthielten [2]. Natürlich unterscheiden sich die Rahmenbedingungen einer solchen Studie wesentlich von einer Arzt-Patienten-Begegnung im klinischen Alltag. Zudem werden hier gezielt einzelne Aspekte einer solchen Begegnung mit einem Sprachmodell adressiert, bei denen die KI ihre Stärke, die Verarbeitung großer Mengen unterschiedlicher Daten, ausspielen kann. Hier sind die menschlichen Fähigkeiten begrenzt [3] und daher könnte eine Unterstützung durch KI in diesem Zusammenhang auch in der Medizin, zum Beispiel in der computergestützten Diagnosefindung [4], ein nützliches, ergänzendes Hilfsmittel darstellen [5], wenngleich ethische und sicherheitstechnische Bedenken hier eine besondere Rolle spielen [6].

Die Veröffentlichung von ChatGPT im November 2022 machte KI durch die Interaktion mittels Sprache für jedermann greif- und erfahrbar. Solche Modelle, die in der Lage sind Texte, Bilder oder andere Daten als Reaktion auf eine Benutzereingabe zu erzeugen, werden auch als generative KI (*Generative Artificial Intelligence*, GenAI) bezeichnet. Die frühen Anfänge dieser Entwicklung reichen jedoch schon Jahrzehnte zurück und werden in Abgrenzung zur generativen KI als traditionelle KI bezeichnet. Spätestens seit Beginn des 21. Jahrhunderts hat sich KI auch im Gesundheitswesen zu einem wichtigen Werkzeug mit großem Potenzial entwickelt, an das aber auch hohe Erwartungen gestellt werden [6, 7]. In der Medizin kommt KI auf zwei unterschiedliche Arten zur Anwendung: Die virtuelle Ebene umfasst dabei die computergestützte Datenverarbeitung auf der Basis von Maschinellem Lernen (*Machine Learning*, ML). Unter ML versteht man die Fähigkeit eines Systems anhand möglichst großer und repräsentativer Trainingsdatensätze Kategorien, Muster und Gesetzmäßigkeiten in diesen zu erkennen. Das dadurch erarbeitete statistische Modell kann dann auf bis dahin unbekannte Daten übertragen und zu deren Verarbeitung und Analyse eingesetzt werden [7]. Die physische Ebene beschäftigt sich hingegen mit der KI-gestützten Steuerung robotischer Systeme [8].

Virtuelle Anwendungsebene Künstlicher Intelligenz in der Viszeralchirurgie

KI-Algorithmen sind vor allen Dingen im Bereich der Analyse und Verarbeitung von Bilddaten (*Computer Vision*, CV) bereits weit entwickelt. CV kann daher in diagnostischen Bereichen, die zum Großteil auf visuellen Informationen beruhen, zur Verbesserung von Effizienz und Sensitivität beitragen [9]. Außerhalb der Chirurgie werden beispielsweise in der Dermatologie [10] oder Pathologie [11] diagnostische Tools entwickelt, die pathologische Effloreszenzen bzw. Merkmale unmittelbar anhand von dermatoskopischen bzw. histopathologischen Bildern erkennen können. Im Bereich der Radiologie wird ebenfalls KI-gestützte Befundung erprobt. Beispielhaft sei die Diagnose pneumonischer Infiltrate anhand eines Röntgen-Thorax genannt, die bereits mit einer dem Radiologen vergleichbaren Genauigkeit arbeitet [12, 13]. Aber auch in chirurgischen Fachdisziplinen findet dieser CV-Ansatz Anwendung, wie zum Beispiel bei der Dokumentation und Beurteilung chronischer Wunden. Mittlerweile sind bereits in jedem Smartphone verschiedenste Sensoren verbaut, die für deren detaillierte Erfassung genutzt werden können. Beispielhaft sei hier die Applikation der kanadischen Firma Swift Medical genannt, die bereits während der Bildakquise eine automatische Kalibrierung von Farbe, Belichtung und Bildausschnitt vornimmt, die Wunde erkennt und automatisch vermisst [14]. Derzeitige Forschungsansätze der deutschen Firmen Coldplasmatech GmbH, Confias AI Solutions GmbH und Nibiru Systems GmbH gehen noch einen Schritt weiter und erkunden, ob die Prognose des Heilungsverlaufs von chronischen Wunden aufgrund der Fotodokumentation der Wunde mittels KI möglich ist. Durch Fortschritte in der Sensorik lassen sich zudem komplexere Analysen, wie die Erstellung von 3D-Reliefs oder die Darstellung der Gewebeoxygenierung mittels Nahinfrarot-Fluoreszenz (*Near-infrared Fluorescence*, NIRF), abbilden [15].

Im Vergleich zu dieser eher statischen Bildanalyse stellt die Integration von KI-Applikationen in ein modernes interventionelles oder chirurgisches Setting deutlich höhere Anforderungen an entsprechende Systeme, nämlich die simultane Verarbeitung und Auswertung großer Datenmengen aus multiplen Quellen möglichst in Echtzeit [9]. In der Endoskopie werden solche Algorithmen bereits seit mehreren Jahren zur Steigerung der Detektionsrate und zur Verminderung der Inter-Untersuchervariabilität erfolgreich eingesetzt [16, 17]. Analog zu den Begriffen *Genomics* und *Radiomics* [18, 19] bezeichnen Wagner et al. *Surgomics* als die Gesamtheit an charakteristischen Merkmalen eines bestimmten Eingriffs, die durch automatisiertes Auslesen und Verarbeiten multimodaler, intraoperativer Datenquellen gewonnen und zur Prozessanalyse verwendet werden [20]. Als Quellen können dabei unter anderem die (digitale) Patientenakte bzw. das klinische Informationssystem (KIS), bildgebende Verfahren, Bild- und Videoaufnahmen des OP-Feldes, Vital- und Laborparameter sowie Sensoren an verschiedenen Instrumenten und Geräten dienen. Daraus ergeben sich beispielsweise sowohl Informationen zur Vorhersage des Patientenoutcomes als auch für ein maßgeschneidertes Feedback für die behandelnde Chirurgin oder den Chirurgen [5, 20]. Das immense Potenzial der chirurgischen Datenwissenschaft (*Surgical Data Science*, SDS) zielt darauf ab, zusätzliche Informationen

und Assistenzfunktionen peri- sowie intraoperativ bereitzustellen. Maier-Hein et al. identifizieren die Bereiche klinische Entscheidungsfindung (*Clinical Decision Support*), kontextsensitive Assistenzsysteme und chirurgisches Training als Schlüsselanwendungen für diesen Zukunftssektor [5].

Klinische Entscheidungsfindung

Nach wie vor wird die Indikation, also die Entscheidung, ob und wie eine Patientin oder ein Patient zu operieren ist, in der Chirurgie im Wesentlichen erfahrungsbasiert gestellt [21]. Durch Integration und Berücksichtigung (möglichst) aller zur Verfügung stehenden, multimodalen Informationen besteht jedoch großes Potenzial für die virtuelle Anwendung von KI bei der fundierten Entscheidungsfindung im Hinblick auf die Indikationsstellung, aber auch die Abschätzung von Resektabilität [22], perioperativen Komplikationen und Prognose [23–25]. Vornehmlich Anwendung finden solche ML-Modelle jedoch in den nichtchirurgischen Fachdisziplinen, wie zum Beispiel bei der Vorhersage eines akuten Nierenversagens bei intensivmedizinischen Patientinnen und Patienten [26].

Kontextsensitive Assistenzsysteme

Als Kontextsensitivität wird die Fähigkeit eines Systems bezeichnet, bestimmte Umgebungsinformationen zu nutzen, um eine gegebene Situation zu charakterisieren und bei Bedarf eine entsprechende Interaktion mit den Benutzer:innen über eine geeignete Schnittstelle zu generieren. Idealerweise führt diese kontextbezogene Unterstützung während eines chirurgischen Eingriffs zu einer erhöhten Sicherheit für die betreffenden Patient:innen sowie zu einer Effizienzsteigerung des chirurgischen Workflows. Durch KI-gestütztes Zusammenführen von Informationen über die Art und den aktuellen Stand des Eingriffs, den OP-Situs sowie die verwendeten Instrumente können zum Beispiel bestimmte Zielstrukturen oder obligate OP-Schritte (Stichwort: *Critical View of Safety*) zur eindeutigen Darstellung automatisiert hervorgehoben werden [27, 28]. Darüber hinaus kann ein auf diesen Prinzipien basierendes System das OP-Team frühzeitig vor einer intraoperativ zu erwartende Hypotension der Patientin oder des Patienten warnen [29].

Ein weiteres Anwendungsbeispiel für komplexe kontextsensitive Systeme stellt die Überwachung des Workflows im Operationsbereich durch die Auswertung multimodaler Sensordaten und/oder patienten- bzw. eingriffsbezogener Parameter dar [30, 31]. Der zunehmende Zeit- und Kostendruck in der modernen Medizin zwingt allgegenwärtig zur Optimierung der Arbeitsabläufe. Um unnötige Warte- und Überleitungszeiten für Patient:innen und Personal zu vermeiden, kann die verbleibende Operationszeit im experimentellen Umfeld KI-gestützt abgeschätzt und entsprechende Maßnahmen (z. B. Abruf der nächsten Patientin/Patient von Station) automatisch eingeleitet werden (siehe auch SPI von J&J, www.bit.ly/SPIJJ).

Chirurgisches Training

Zudem entwickelt sich die automatisierte, objektive Bewertung von chirurgisch-technischen Leistungen und Fähigkeiten zu einem wichtigen Anwendungsfeld. Sie ermöglicht die Dokumentation des Trainingserfolgs sowie die Analyse von persönlichen und strukturellen Benchmarks mit der Absicht, diese gezielt zu adressieren [32, 33]. Die erhobenen Daten werden in die automatisierte, objektive Bewertung von chirurgischen Fertigkeiten integriert [34] (siehe auch C-SATS von J&J, www.csats.com).

Herausforderungen in der Umsetzung

Voraussetzung für die Entwicklung von relevanten KI-Applikationen für die genannten Anwendungsbereiche ist ein umfassendes Verständnis der intra- und perioperativen Prozesse für eine Vielzahl verschiedener Eingriffe und Interventionen. Dies erfordert umfangreiche Vorarbeiten, wie zum Beispiel die automatisierte Erkennung und Segmentierung von Phasen, Zielstrukturen und Instrumenten während eines chirurgischen Eingriffs [35–39] Dazu sind unter anderem die Erstellung und Annotation umfangreicher, qualitativ hochwertiger und frei verfügbarer Trainingsdatensätze notwendig [40]. Nach wie vor liegen im Gesundheitswesen jedoch nur wenige Daten digitalisiert und strukturiert vor, was in Deutschland unter anderem durch den Gesetzgeber mit dem Krankenhauszukunftsgesetz (BGBl. I S. 2208 – 2219) in anderem Kontext adressiert wurde. Zudem existieren auf institutioneller Ebene teilweise große Unterschiede, was die Routineabläufe in der Patientenversorgung betrifft. Divergierende Standards (z. B. in Form von *Standard Operation Procedures*, SOP) für die perioperative Behandlung von Patient:innen sowie unterschiedliche KIS und Geräte verursachen zudem Schnittstellenprobleme, die den flächendeckenden Einsatz von SDS-Ansätzen erschweren. Auch moderne KIS sind derzeit nicht darauf ausgelegt, große Datenvolumina an Sensordaten (z. B. hochauflösende Videostreams) prospektiv zu erfassen und zu speichern. Neben den technischen Hindernissen spielen datenschutzrechtliche Bedenken, aber auch die Akzeptanz von SDS bei medizinischem Fachpersonal sowie den Patient:innen eine gewichtige Rolle. In der Publikation von Maier-Hein et al. [40] werden sowohl weitere Herausforderungen als auch Konzepte zu deren Überwindung umfassend beleuchtet.

Physische Anwendungsebene Künstlicher Intelligenz in der Viszeralchirurgie

Erste konzeptionelle Projekte beschäftigen sich bereits mit KI zur autonomen, kinematischen Steuerung von Operationsrobotern, auch bezeichnet als *Cognitive Surgical Robotics* [41], wobei der Grad an Autonomie stark variiert [42]. Erprobt werden sowohl die autonome Ausführung vorgegebener Operationsschritte als auch deren Anpassung an Gegebenheiten des Operationssitus. Saeidi et al. demonstrieren beispielsweise, dass ein autonom arbeitendes, robotisches System (hier: *Smart Tissue Autonomous Robot*, STAR) unter kontrollierten Studienbedingungen ex vivo als auch in vivo bei der minimalinvasiven Anlage einer vollständigen End-zu-End-Dünndarmanastomose in Bezug auf Leakagerate und Passierbarkeit mit den Ergebnissen erfahrener Chirurg:innen mithalten kann [43]. Dabei übertrifft der autonom arbeitende Roboter sogar in bestimmten Aspekten (z. B. Gleichmäßigkeit der Nahtabstände) die Leistungen ärztlicher Versuchsteilnehmerinnen und -teilnehmer, wobei dieser (noch) deutlich mehr Zeit zur Komplettierung der Anastomose und teilweise manuelle Korrekturen durch menschliche Bediener benötigt. Der Grad der Autonomie (*Level of Autonomy*, LoA) von medizinischen Robotern wird in verschiedene Stufen eingeteilt, die von einer reinen Teleoperation (LoA 0, z. B. Operationsroboter wie da Vinci, Intuitive Surgical, USA oder Hugo RAS, Medtronic, Irland) bis zu vollständiger Autonomie reichen (LoA 5, z. B. vollständiges und selbstständiges Durchführen eines komplexen chirurgischen Eingriffs ohne menschliche Unterstützung) [44]. In der Zusammenschau zeigen jedoch die meisten Arbeiten bisher entweder einen geringen Autonomiegrad der verwendeten Systeme bei komplexen Aufgaben oder aber eine hohe Autonomie bei einfacheren Tätigkeiten [43, 45, 46].

Insgesamt scheint damit die Implementierung von Systemen mit höherem Autonomiegrad in den klinischen Alltag eines realen Operationssaals und damit von der unmittelbaren Anwendung an Patient:innen im Hinblick auf die hohe Komplexität und der wechselhaften Dynamik der Prozessabläufe sowie die Anforderungen an die Patientensicherheit noch weit entfernt. In anderen Industrie- und Dienstleistungsbereichen haben in diesem Zusammenhang hohe Erwartungen und zum Teil irreführende Begrifflichkeiten insbesondere in Bezug auf physische Anwendungsmöglichkeiten von KI bereits zu Enttäuschungen geführt. So ist beispielsweise die Frage, ob, wann und in welcher Form der flächendeckende Einsatz von autonomen Fahrzeugen im Straßenverkehr in Zukunft Realität wird, nach wie vor schwer zu beantworten [47, 48]. Neben rechtlichen Anforderungen (z. B. Datenschutzbestimmungen) aber auch ethisch-moralischen Kontroversen im gesellschaftlichen Diskurs (z. B. Schuldzuschreibung bei Unfällen bzw. Komplikationen), bestimmen immense technische Herausforderungen den aktuellen Stand der Entwicklung von leistungsfähigen KI-Systemen [40]. Bis diese Herausforderungen überwunden sind, bleiben insbesondere die Anwendungsmöglichkeiten, die einen Echtzeitbetrieb erfordern, ungeachtet ihres enormen Potenzials sowohl für eine verbesserte Patientenversorgung als auch eine effektive Unterstützung des medizinischen Personals aktuell noch begrenzt.

Die Literaturliste erhalten Sie auf Anfrage via passion_chirurgie@bdc.de.

Autor:innen des Artikels

Rolinger J, Storz P, Immenroth M, Kirschniak A: Künstliche Intelligenz in der Viszeralchirurgie. Passion Chirurgie. 2024 März; 14(03/I): Artikel 03_03.

Autor:innen des Artikels



Andreas Kirschniak

Leiter der BDC|Akademie
Leiter Themen-Referat Nachwuchsförderung im BDC
Themen-Referat „Digitalisierung und technische Innovation“
Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie
Kliniken Maria Hilf GmbH Mönchengladbach

Kontakt



Jens Rolinger

Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie
Kliniken Maria Hilf GmbH
Viersener Straße 450
41063 Mönchengladbach

Kontakt



Pirmin Storz

Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie
Kliniken Maria Hilf GmbH

Kontakt



Marc Immenroth

Confias AI Solutions GmbH
Lange Reihe 15
20099 Hamburg

Kontakt