

Onkologie 2023 · 29:515–521  
<https://doi.org/10.1007/s00761-023-01318-9>  
 Angenommen: 19. Januar 2023  
 Online publiziert: 24. Februar 2023  
 © The Author(s), under exclusive licence to  
 Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von  
 Springer Nature 2023



# Anwendung von künstlicher Intelligenz in der onkologischen Chirurgie des oberen Gastrointestinaltrakts

Jennifer A. Eckhoff<sup>1,2</sup> · Hans F. Fuchs<sup>2</sup> · Ozanan R. Meireles<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Surgical Artificial Intelligence and Innovation Laboratory, Department of Surgery, Massachusetts General Hospital, Boston, USA

<sup>2</sup> Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Tumor- und Transplantationschirurgie, Uniklinik Köln, Köln, Deutschland

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Mit zunehmendem technologischem Fortschritt im Operationsaal hat auch die Anwendung von künstlicher Intelligenz (KI) auf die minimal-invasive Chirurgie in den vergangenen Jahren vermehrt an wissenschaftlicher Aufmerksamkeit gewonnen. Die Verwendung von Computer Vision zur Analyse von chirurgischen Video- und Bilddateien zielt darauf ab, Algorithmen des maschinellen Lernens ein umfassendes Verständnis von zeitlich und räumlichen Sachverhalten im Operationsgebiet zu vermitteln. KI gelingt es mit zunehmender Genauigkeit, chirurgische Instrumente und anatomische Strukturen sowie deren Interaktion zu differenzieren, optimale Dissektionsareale auf das Operationsfeld zu projizieren und komplexe chirurgische Zusammenhänge nachzuvollziehen. Zudem ist die automatisierte Erkennung und Vorhersage von operativen Teilschritten oder „Phasen“ ein dominanter Forschungsschwerpunkt. Jedoch beschränkt sich das Feld derzeit vorrangig auf hoch standardisierte, routinierte Eingriffe wie z. B. die laparoskopische Cholezystektomie. Die Anwendung auf onkologische Operationen i. Allg., v. a. aber auf die Chirurgie des oberen Gastrointestinaltrakts, ist überschaubar. Um das volle klinische Potenzial von KI zur intraoperativen Analyse und operativen Risikominimierung zu entfalten, müssen jene Algorithmen auf hoch komplexe und v. a. onkologische Eingriffe generalisierbar sein.

**Ziel:** Dieser Artikel gibt eine Übersicht über derzeit etablierte Anwendungsmöglichkeiten von KI auf die minimal-invasive Chirurgie des oberen Gastrointestinaltrakts i. Allg. und speziell im Hinblick auf onkologische Chirurgie. Darüber hinaus werden zukünftige Möglichkeiten und Einschränkungen des derzeit translationalen Forschungsgebiets erläutert.

### Schlüsselwörter

Algorithmen · Computer Vision · Maschinelles Lernen · Endoskopische gastrointestinale Chirurgie · Minimal-invasive Chirurgie

## In diesem Beitrag

- Digitale Medizin und Vorteile von algorithmenbasierten Analysen
- Künstliche Intelligenz, Computer Vision und maschinelles Lernen
- KI-gestützte Analyse der Ösophagektomie und Gastrektomie
- Peri- und postoperative Anwendungsmöglichkeiten der KI
- Ausblick

## Digitale Medizin und Vorteile von algorithmenbasierten Analysen

Künstliche Intelligenz (KI) hat bereits in viele Facetten unseres alltäglichen Lebens Einzug gehalten. Neben sprachgesteuerten digitalen Assistenten, KI-gestützten Suchmaschinen und autonomen Robotern

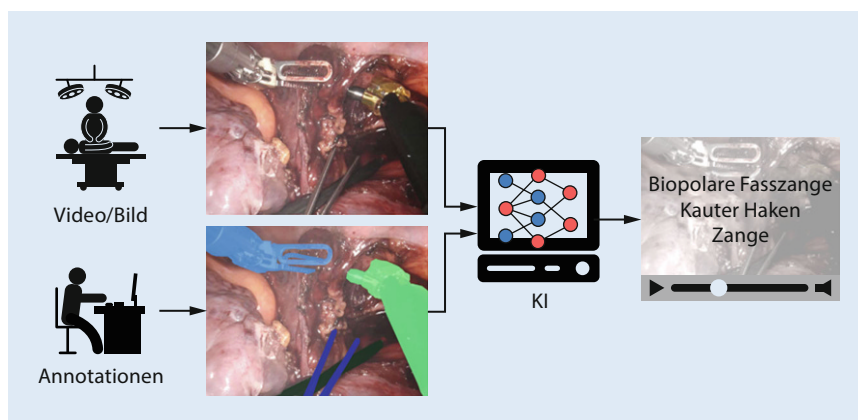
sind die heutigen Anwendungsgebiete der KI auch in der Medizin vielseitig.

» Der digitale Fortschritt konfrontiert das Gesundheitssystem mit gigantischen Datenmengen

Der digitale Fortschritt konfrontiert das Gesundheitssystem mit gigantischen Da-



QR-Code scannen & Beitrag online lesen



**Abb. 1** ▲ Schematische Darstellung des supervidierten maschinellen Lernens. Erläuterung s. Text

tenmengen, deren Analyse die menschliche Kapazität deutlich überschreitet. KI ist in der Lage, die resultierenden Big Data schneller, effizienter und objektiver zu analysieren. Darüber hinaus verfügt KI über die Fähigkeit, Daten aus vielen verschiedenen Quellen zu integrieren und die gewonnenen Informationen deutlich schneller auf neue, unbekannte Daten anzuwenden [1–3]. So trägt KI bereits in vielen diagnostischen Bereichen zur Optimierung der Effizienz und Verbesserung der Sensitivität bei [4]. In der Auswertung von Mammographiescreenings zeigt die Kombination von KI-gestützter Software und klinischer Beurteilung eine deutlich verringerte Rate an falsch-negativen Befunden [5], in der Ophthalmologie wird KI zur Optimierung der Retinopathiediagnostik [6] eingesetzt sowie in der Dermatologie im Rahmen des Melanomstagings [7].

Analog zur untersucherabhängigen Beurteilung in bildgebenden diagnostischen Verfahren basiert intraoperative chirurgische Entscheidungsfindung ebenfalls auf einer subjektiven Einschätzung durch die Operateure. Neben visuellen Informationen aus dem Operationsfeld spielen die vorangegangene Patientengeschichte, präoperative diagnostische Informationen und die individuelle Expertise des Operateurs eine entscheidende Rolle für den intra- und postoperativen Verlauf des Patienten. Es ist daher nicht erstaunlich, dass schätzungsweise die Hälfte aller intraoperativen Komplikationen aufgrund von übersehenen Details oder unvollständigem Verständnis des Situs [8, 9] entstehen. Somit erscheint die Chirurgie als ideales Anwendungsgebiet für KI, um durch sta-

tistische und probabilistische Analyse des Operationsfelds zusätzliche Informationen zu gewinnen und zur Fehlerminimierung beizutragen. Jedoch sind anstatt retrospektiver Bildanalyse in der Chirurgie v. a. hoch präzise, in Echtzeit vermittelte Informationen notwendig, um die zeitkritische intraoperative Entscheidungsfindung zu unterstützen. Zudem werden großangelegte annotierte Datensätze benötigt, um KI-Algorithmen adäquat zu trainieren und zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen. Vorhandene öffentlich zugängliche Datensätze beschränken sich derzeit vorrangig auf hoch standardisierte Routineeingriffe, jedoch birgt die Anwendung von KI auf komplexe und onkologische Eingriffe nennenswertes Potenzial zur Verbesserung der chirurgischen Qualität und Effizienz. Der vorliegende Artikel gibt eine grobe Übersicht über den derzeitigen Stand und das zukünftige Potenzial von KI im Hinblick auf onkologische Chirurgie des oberen Gastrointestinaltrakts.

### Künstliche Intelligenz, Computer Vision und maschinelles Lernen

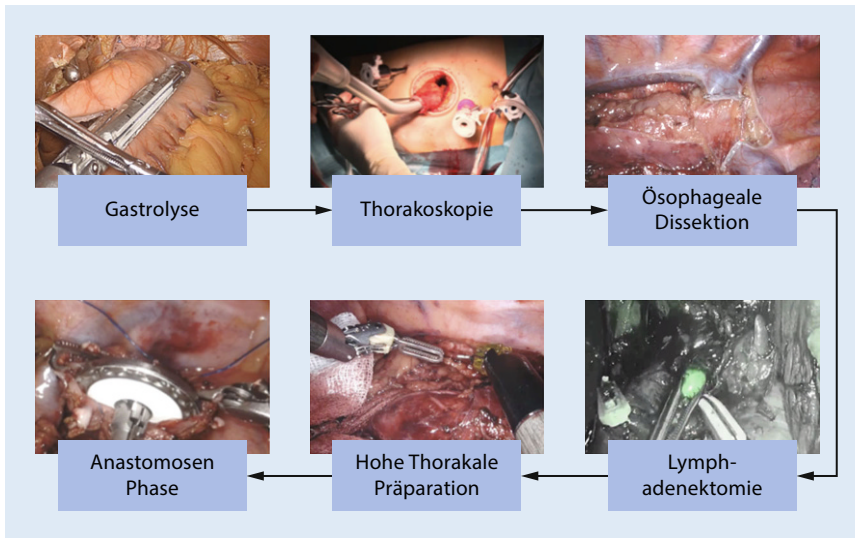
Das allgemeine Ziel von KI ist es, Algorithmen eine logische und rationale Denkweise zu vermitteln und somit menschliche kognitive Fähigkeiten zu imitieren [1, 10]. Um relevante Entscheidungshilfen im chirurgischen Kontext zu liefern, muss KI demnach ein umfassendes Verständnis des Operationsfelds und der konzeptionellen Zusammenhänge des chirurgischen Handelns besitzen. Voraussetzung ist die Integration von räumlichen Informationen, beispielsweise über Instrumenten-

position und anatomische Gegebenheiten, und zeitlichen Zusammenhängen zwischen einzelnen chirurgischen Handlungsschritten [11]. Derzeit beschränken sich die intraoperativen Anwendungsmöglichkeiten von KI auf die retrospektive Analyse von minimal-invasiv chirurgischen und endoskopischen Video- und Bilddaten mittels Computer Vision (CV) [12]. Basierend auf maschinellem Lernen (ML) werden Algorithmen anhand von großangelegten Video- und Bilddatensätzen trainiert, eine statistische Aussage über das Vorhandensein von vorab annotierten Mustern und Zielstrukturen zu treffen. Die **Abb. 1** illustriert die Grundsätze des sog. supervidierten ML. Kurzum: Es handelt sich um eine pixelbasierte Wahrscheinlichkeitsrechnung, mit dem Ziel, statistische Vorhersagen hinsichtlich des Operationsverlaufs und Komplikationen zu treffen.

### » Algorithmen lernen anhand von annotierten Trainingsdatensätzen, Zielstrukturen in bislang ungesehenen Bilddaten zu klassifizieren

Wie in **Abb. 1** gezeigt, lernen Algorithmen also anhand von Trainingsdatensätzen (Bilddaten und Annotationen), Zielstrukturen (z. B. Instrumente, Organe, chirurgische Phasen) zu klassifizieren. Das Ergebnis ist eine prozentuale Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins der Zielstrukturen in unbekanntem Testdatensätzen.

Ein dominanter Forschungsschwerpunkt in der chirurgischen KI ist die Erkennung und Vorhersage von chirurgischen Phasen und kritischen operativen Teilschritten sowie die Klassifizierung von Instrumenten, Gewebe und deren Interaktionen („action triplets“) [13, 14]. Aufgrund des hoch standardisierten Arbeitsablaufs, des visuell übersichtlichen Operationsfelds und weltweit hoher Fallzahlen ist die laparoskopische Cholezystektomie zum Maßstab der chirurgischen KI geworden [12, 15]. Die KI-basierte Erkennung des „critical view of safety“ (CVS), automatisierte Einordnung des Inflammationsgrads anhand der Parkland Grading Scale und Phasenerkennung mittels KI sind Fokus mannigfaltiger Studien [12, 16–21]. Zudem verspricht die Kontrastierung von idealen Resektionsarealen im hepatozystischen Dreieck [22] einen erheblichen



**Abb. 2** ▲ Einteilung der operativen Phasen in der robotisch assistierten minimal-invasiven Ösophagektomie. Erläuterung s. Text

Durchbruch für die operative Ausbildung und legt einen ersten Grundstein für KI-basierte Navigation im Operationsfeld. Da die verlässliche intraoperative Anwendung von KI in Echtzeit jedoch bislang nicht etabliert wurde, ist das Gebiet nach wie vor als Grundlagenforschung anzusehen. Dennoch birgt chirurgische KI die Möglichkeit, durch objektive visuelle Einschätzung des Operationsfelds und unter Berücksichtigung von multimodalen Informationen aus prä- und intraoperativen Daten relevante Entscheidungshilfen zu liefern und somit Komplikationsraten zu reduzieren [9, 23]. Insbesondere bei komplexen und onkologischen Eingriffen verspricht dies eine verbesserte Übersicht über die vorhandenen Gegebenheiten – mit dem Potenzial, auch die Effizienz der onkologischen Resektion zu verbessern.

### KI-gestützte Analyse der Ösophagektomie und Gastrektomie

Das Ösophaguskarzinom steht weltweit an sechster Stelle der krebserkrankten Todesfälle [24]. Im Rahmen der Ösophagektomie besteht die operative Herausforderung in der radikal-onkologischen Tumorsektion und Lymphadenektomie unter gleichzeitiger funktioneller Rekonstruktion. Nicht nur aufgrund des hohen perioperativen Risikos, sondern auch aus optischer Sicht bieten sich hier vielfältige Charakteristika,

die sich für CV-basierte Analyse eignen. So lässt sich z. B. die robotisch assistierte Ivor-Lewis-Ösophagektomie (RAMIE) in klar definierte operative Schritte unterteilen, welche zur Annotation und automatisierten Phasenerkennung dienen können [25]. Neben Phasenerkennung in der laparoskopischen Cholezystektomie und Sleeve-Gastrektomie [9], der perioralen endoskopischen Myotomie [26] und der Hemikolektomie [19] wurde mittels konvolutionalen neuronalen Netzen zuletzt auch in der RAMIE eine Präzision von 84% in der Erkennung der operativen Phasen erzielt [27]. Jedoch basieren diese Ergebnisse auf der Analyse von lediglich 31 operativen Fällen. Um reproduzierbare Ergebnisse in größeren Datensätzen, aber v. a. auch in Echtzeit zu erzielen, ist es notwendig, KI-Algorithmen an einer großen Bandbreite von visuellen Charakteristika zu trainieren.

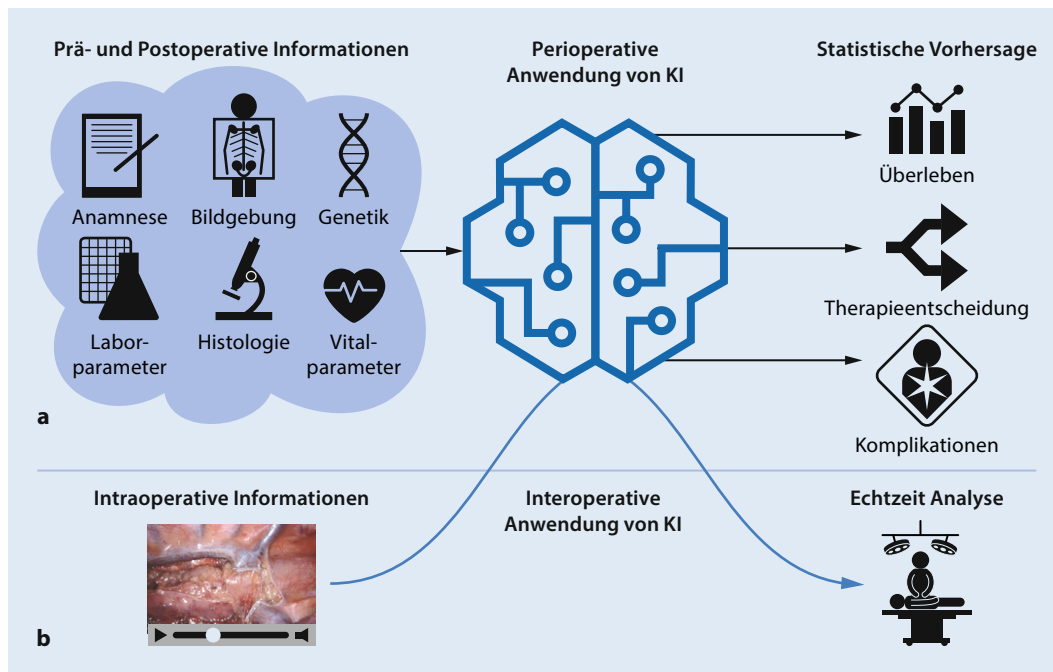
### » Die Definition von Start- und Endpunkt dient zur Annotation für die automatisierte Phasenerkennung

Ähnlich dem auf Erfahrungen basierten menschlichen Lernen sind diese Algorithmen erst in der Lage, Informationen korrekt einzuordnen, wenn Sie diesen bereits während des Lernprozesses bzw. Trainings begegnet sind. Zudem schränkt die sehr grobe Einteilung der zu annotierenden Phasen durch Takeuchi et al. die klinische Relevanz

dieses Modells ein. Wie bereits erwähnt, ist ein umfassendes Verständnis detaillierter chirurgischer Teilschritte und Sachverhalte die Grundvoraussetzung für eine fundierte Entscheidungshilfe und somit intraoperativen Mehrnutzen durch KI. Die **Abb. 2** gibt eine Übersicht über die mögliche Definition und Annotation der chirurgischen Phasen in RAMIE. Dabei dient die Definition von Start- und Endpunkt der Phasen zur Annotation für die automatisierte Phasenerkennung.

Obwohl Annotationen die Grundlage für präzise Vorhersagen durch KI bilden, bleibt eine Standardisierung der notwendigen Rahmenbedingungen von räumlichen und zeitlichen Annotationen aus, insbesondere für komplexe Operationen [28]. Internationale chirurgische Fachgesellschaften wie die Society of American Gastrointestinal Surgeons (SAGES) und die European Association of Endoscopic Surgeons (EAES) zeigen großes Interesse, eine einheitliche Leitlinie für die Annotation minimal-invasiver Videodaten zu erzielen. Die konsensusbasierte Empfehlung von Meireles et al. gibt eine grobe Annotationsanleitung und betont wichtige Aspekte der räumlichen und zeitlichen Annotation [28]. Jedoch sind detailliertere Untersuchungen dringend notwendig, da KI-Algorithmen nur so gut sein können wie die zugrunde liegenden Informationen, an denen sie trainiert werden. Die Arbeitsgruppe der Autoren lieferte erstmals eine ausführliche Gegenüberstellung adäquater Annotationsmethoden für die automatisierte Lokalisation von chirurgischen Instrumenten in RAMIE [29]. Diese multizentrische Studie erläutert die ersten Schritte eines Forschungsprojekts in der chirurgischen KI und stellt unterschiedliche Präzisionsgrade räumlicher Annotationen gegenüber. Auch im Hinblick auf zeitliche Annotationen von operativen Schritten und Phasen sind derartige Studien zu erwarten.

Neben der minimal-invasiven Ösophagektomie bietet auch die Bildanalyse der Gastrektomie zahlreiche visuelle Ansatzpunkte, die als vielversprechende Zielstrukturen für KI-Algorithmen dienen könnten. Yamazaki et al. zeigten mittels neuronalen Netzen die hoch präzise Erkennung und Verfolgung von chirurgischen Instrumenten in der laparoskopischen



**Abb. 3** ◀ Anwendungsmöglichkeiten der KI. **a** Analyse diverser Datenquellen durch KI-Algorithmen für präzise Vorhersagen über das Überleben und postoperative Komplikationen. **b** Zukünftige intraoperative Anwendung von KI in Echtzeit. Erläuterung s. Text

Gastrektomie [13]. Dies dient nicht nur als Basis für nachfolgende Detektion von Instrumenten-Gewebe-Interaktionen, sondern erleichtert auch das chirurgische Training anhand von operativen Videodaten. Durch Klassifikation der Instrumente und Verfolgen der Lokalisation sind Chirurgen in der Lage, ihre operativen Handlungen besser nachzuvollziehen. Jedoch handelt es sich auch hierbei um eine retrospektive Funktionalität von KI.

### Peri- und postoperative Anwendungsmöglichkeiten der KI

Aufgrund der deutlich höheren Verfügbarkeit von prä- und postoperativen Patientendaten, im Vergleich zu intraoperativen Videodaten, ist die Anwendung von KI zur Analyse des postoperativen Patientenverlaufs vielfältig. In **Abb. 3** wird eine Übersicht über die bislang etablierten Anwendungsmöglichkeiten und die für das Training der Algorithmen benötigten Datensätze gegeben. Bereits etablierte KI-Algorithmen analysieren diverse Datenquellen aus prä- und postoperativem Verlauf und liefern präzise Vorhersagen über das Überleben und postoperative Komplikationen sowie relevante Entscheidungshilfen bei der Therapieplanung. Die zukünftige intraoperative Anwendung von KI in Echt-

zeit ist von der Analyse großer Video- und Bilddatensätze abhängig.

Endoskopisch wird CV bereits seit Jahren klinisch eingesetzt, um die Interunter-suchervariabilität und Lernkurve zu verringern [30]. Die überlegene Diagnosesicherheit in der Erkennung von kleinsten Läsionen stellt insbesondere in Ländern mit niedrigen Inzidenzraten, und somit seltenerer Exposition der Kliniker, eine wertvolle Ergänzung zur konventionellen Methodik dar. KI-Algorithmen erzielen eine 97%-Präzision in der endoskopischen Diagnosestellung von Magenfrühkarzinomen durch CV-basierte Analyse von Mikrovaskularisationen. Zudem zeigte sich eine 94%-Sensitivität in der millimetergenauen Lokalisation des Befundes und 89%-Genauigkeit der Vorhersage der Tiefeninfiltration [31]. Vergleichsweise wurde in Ländern mit niedriger Prävalenz des Magenfrühkarzinoms über eine 14%ige Rate an falsch-negativen Befunden in der alleinigen endoskopischen Beurteilung durch die Kliniker berichtet [33]. Nicht nur in statischen Bildern, sondern auch in dynamischen Videoaufnahmen, und somit während der endoskopischen Untersuchung selbst, ist KI in der Lage, auch kleinste Dysplasien zu lokalisieren [32]. Sogar eine Differenzierung zwischen T1a- und T1b-Barrett-Karzinomen gelingt mittlerweile mittels CV-Algorithmen, mit z. T. deutlich höherer

Sensitivität als ausgebildete Endoskopiker. Demnach ist es nicht überraschend, dass viele kommerziell verfügbare KI-basierte Softwareprodukte bereits alltäglichen Einzug in die endoskopische Praxis gehalten haben.

» KI-Algorithmen erzielen eine 97%-Präzision in der endoskopischen Diagnose von Magenfrühkarzinomen

Über die CV-basierte Analyse von endoskopischen und operativen Videodaten hinaus wird die Fähigkeit von KI, zeitgleich mannigfaltige Informationen und enorme Datenmengen zu verarbeiten, auch in der Risikostratifizierung und Therapieplanung bei Patienten mit Ösophagus- und Magenkarzinomen genutzt. KI-Modelle sind in der Lage, anhand von Laborparametern die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Anastomoseninsuffizienz nach Ösophagektomie mit einer Genauigkeit von 98% vorherzusagen [4]. Darüber hinaus konnte mittels KI eine präzise Vorhersage von frühzeitigen postoperativen stationären Wiederaufnahmen getroffen werden. Algorithmen wurden anhand des post- und perioperativen Verlaufs trainiert, Patienten mit hohem Risiko für späte postoperative Komplikationen zu identifizieren. Neben der Reduktion des Risikos

für den Patienten und der Einleitung einer frühzeitigen Intervention birgt dies auch die Möglichkeit, die finanzielle Belastung für das Gesundheitssystem zu reduzieren.

Zudem erscheint auch aus onkologischer Sicht ein Benefit in der Verwendung von KI zur Analyse von perioperativen Variablen. Anhand von präoperativen bildgebenden Verfahren und vorbestehenden Risikofaktoren ist es KI-Algorithmen möglich, präoperativ präzise Vorhersagen hinsichtlich des zu erwartenden TNM-Status sowie der 3-Jahres-Überlebensrate zu treffen [34]. Und durch KI-basierte Analyse von präoperativen Computertomographie(CT)-Daten gelang es Ou et al. darüber hinaus, die Resektabilität von Ösophaguskarzinomen mit 79 % Genauigkeit vorher zu sagen [35]. Um die Therapieentscheidung zwischen operativer, adjuvanter und neoadjuvanter Radiochemotherapie zu erleichtern, haben Rice et al. neuronale Netze entwickelt, die in der Lage sind, die einzelnen Therapieoptionen mit der zu erwartenden maximalen Überlebensrate zu korrelieren [36].

### » KI ermöglicht insbesondere bei multimorbiden Patienten eine objektive Entscheidungshilfe

Zudem gelingt es KI, das Ansprechen auf Radiochemotherapie von Patienten mit Ösophaguskarzinom mit 77 % Genauigkeit vorauszusagen. Im Gegensatz dazu wurde die Therapieentscheidung ohne KI, basierend auf klinischer Erfahrung und vorhandener Diagnostik, als deutlich subjektiver und fehleranfälliger erwiesen [37]. Mittels präoperativen Magnetresonanztomographie(MRT)-Bildern waren Dai et al. in der Lage, neuronalen Netzen beizubringen, zwischen gesundem und kanzerösem Gewebe zu unterscheiden und somit die Resektabilität vor Gastrektomie mit 87 % Genauigkeit vorherzusehen [4]. Und auch Liu et al. entwickelten KI-Modelle, um die präoperative Therapieplanung und Entscheidung zwischen einer D1- und D2-Lymphadenektomie unter Berücksichtigung des CT-morphologischen TNM-Status zu erleichtern [38]. Durch die Fähigkeit der KI, Tausende Variablen gleichzeitig zu verarbeiten und in die Vorhersagen zu integrieren, gelingt es mit KI, die wesentlichsten Faktoren hervorzuheben und so

insbesondere bei multimorbiden Patienten durch objektive Entscheidungshilfe den chirurgischen Verlauf zu optimieren. Vor allem die deutlich größere Kapazität zur Datenverarbeitung von KI gegenüber konventioneller Statistik führt zu einer großteils sensitiveren und spezifischeren Analyse.

### Ausblick

Trotz des wachsenden Interesses und transformativen Potenzials von KI bleibt Skepsis bestehen. Dies ist z. T. der Unreife der zugrunde liegenden Technologie und den Unwägbarkeiten von deren Potenzial geschuldet, sicherlich aber auch der mangelnden Transparenz sowie rechtlichen und ethischen Regulierung [1, 39]. Die Weiterentwicklung der KI, und somit auch die perspektivische intraoperative Anwendung in Echtzeit, ist stark von der Zusammenarbeit von Chirurgen mit Informatikern, Ingenieuren und der Industrie abhängig. Zudem ist die Entwicklung von Algorithmen, die sekundenschnelle, und hochpräzise Ergebnisse erzielen und gleichzeitig ubiquitär einsetzbar sind, jedoch maßgeblich von dem Vorhandensein von großen, vielseitigen und hoch qualitativ annotierten Datensätzen abhängig. Diese Datensätze müssen eine Vielzahl von chirurgischen Szenarien und patientenabhängigen Variablen abbilden, damit KI in der Lage ist, diese in bislang unbekanntem Daten wiederzuerkennen. Somit ist v. a. die Bereitschaft, Op.-Daten aufzunehmen und im Rahmen von wissenschaftlichen Kollaborationen zu teilen, entscheidend.

### » Die Zukunft der KI verspricht die zusätzliche Integration von weiteren Modalitäten

Die Zukunft der KI verspricht die zusätzliche Integration von weiteren Modalitäten. So liefert beispielsweise die hyperspektrale Bildgebung [37] hoch sensitive Informationen über den Perfusionsstatus in Echtzeit ohne den Nachteil einer zeitlichen Latenz, die zwangsläufig mit der intraoperativen Verwendung von Indozyaningrün (ICG) einhergeht. KI-basierte Quantifizierung und möglicherweise Vorhersage des Perfusionsstatus könnte die Effizienz und

Sicherheit der Resektion in der Ösophagektomie deutlich erhöhen. Darüber liefert die Weiterentwicklung der robotischen Chirurgie ebenfalls relevante neue Daten, welche sich für die Analyse durch KI eignen. Abgesehen von den durch dreidimensionale Optik und hoch definierter Auflösung gewonnenen zusätzlichen Informationen, haben auch kinematische Daten großes Potenzial [40]. Diese Daten geben Informationen über die genaue räumliche Position der Instrumente und deren Relation zum umliegenden Gewebe. Unter Einbeziehung von CT- und MRT-Daten sowie Berücksichtigung von Informationen über die Hand- und Augenmotorik des Operateurs ist es vorstellbar, dass KI die Basis für eine hoch präzise intraoperative Navigation bildet. In Kombination mit der sich stetig weiterentwickelnden autonomen Robotik könnte dies in Zukunft eine deutliche Arbeiterleichterung, aber v. a. zusätzliche Sicherheit für den Operateur bedeuten. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu erwähnen, dass aktuell geltende Vorschriften insbesondere hinsichtlich des Datenschutzes diese Entwicklung in den internationalen Gesundheitssystemen deutlich erschweren.

### Fazit für die Praxis

- Die auf künstlicher Intelligenz (KI) basierende Analyse von minimal-invasiven Video- und Bilddaten birgt das Potenzial, operative Risiken zu erkennen, vorherzusagen und somit zu verhindern.
- Darüber hinaus bieten sich eine Vielzahl von Möglichkeiten, um mittels KI die operative Ausbildung und chirurgische Effizienz zu verbessern.
- Neben der prä- und postoperativen Risikoanalyse durch KI zur Vorhersage von postoperativen Variablen gilt es, die intraoperative Anwendung zur Analyse des Operationsfelds in Echtzeit zu etablieren.
- Für die onkologische Chirurgie des oberen Gastrointestinaltrakts, aber v. a. auch für die endoskopische Diagnostik von Ösophagus- und Magenkarzinomen wurden bereits einige vielversprechende Anwendungen von Computer Vision (CV) etabliert.

## Korrespondenzadresse

Dr. med. Jennifer A. Eckhoff

Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Viszeral-, Tumor- und Transplantationschirurgie, Uniklinik Köln  
Kerpener Straße 62, 50937 Köln, Deutschland  
jeckhoff@mg.h.harvard.edu

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** J.A. Eckhoff, H.F. Fuchs und O.R. Meireles geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

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

## Literatur

1. Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR (2018) Artificial intelligence in surgery: promises and perils. *Ann Surg* 268:70–76
2. Hamet P, Tremblay J (2017) Artificial intelligence in medicine. *Metabolism* 69:S36–S40
3. Tranter-Entwistle I, Wang H, Daly K, Maxwell S, Connor S (2021) The challenges of implementing artificial intelligence into surgical practice. *World J Surg* 45:420–428
4. Bektaş M, Burchell GL, Bonjer HJ, van der Peet DL (2022) Machine learning applications in upper gastrointestinal cancer surgery: a systematic review. *Surg Endosc*. <https://doi.org/10.1007/s00464-022-09516-z>
5. Leibig C et al (2022) Combining the strengths of radiologists and AI for breast cancer screening: a retrospective analysis. *Lancet Digit Health* 4:e507–e519
6. Padhy SK, Takkar B, Chawla R, Kumar A (2019) Artificial intelligence in diabetic retinopathy: a natural step to the future. *Indian J Ophthalmol* 67:1004–1009
7. Amisha, Malik P, Pathania M, Rathaur VK (2019) Overview of artificial intelligence in medicine. *J Family Med Prim Care* 8:2328–2331
8. Madni TD et al (2018) The Parkland grading scale for cholecystitis. *Am J Surg* 215:625–630
9. Hashimoto DA et al (2019) Computer vision analysis of intraoperative video: automated recognition of operative steps in laparoscopic sleeve gastrectomy: automated recognition of operative steps in laparoscopic sleeve gastrectomy. *Ann Surg* 270:414–421
10. Nilsson NJ (2009) The quest for artificial intelligence. Cambridge University Press
11. Garrow CR et al (2021) Machine learning for surgical phase recognition: a systematic review. *Ann Surg* 273:684–693
12. Ward TM et al (2021) Computer vision in surgery. *Surgery* 169:1253–1256
13. Yamazaki Y et al (2020) Automated surgical instrument detection from laparoscopic gastrectomy video images using an open source convolutional neural network platform. *J Am Coll Surg* 230:725–732.e1
14. Nwoye CI et al (2021) Rendezvous: attention mechanisms for the recognition of surgical action triplets in endoscopic videos (arXiv)

## Application of artificial intelligence in oncologic surgery of the upper gastrointestinal tract

**Background:** The application of artificial intelligence (AI) to minimally invasive surgery has the potential to improve surgical safety, support intraoperative decision making, and reduce operative complications. Computer vision and machine learning are subfields of AI, focused on making statistical inferences and generating predictive calculations about relevant patterns in data. These patterns are extracted from the data based on annotations of clinically relevant target features. While there are numerous real-time applications of AI to medicine, particularly in diagnostic specialties, surgical AI is currently predominantly limited to pre- and postoperative analysis of patient data. Intraoperative deployment of AI, based on retrospective video and image analysis of minimally invasive procedures, requires the fundamental comprehension of surgical workflow. Therefore, the automated detection and prediction of operative phases, tracking of surgical instruments, differentiation of tissue and analysis of tool–tissue interactions has been the central research focus. While these tasks promise tremendous clinical value, surgical AI is still predominantly limited to highly standardized, routine procedures such as laparoscopic cholecystectomy. To reveal its true risk mitigation potential, AI must be generalizable to more complex, and specifically oncological procedures.

**Objective:** This article provides a review of the existing applications of AI to oncological foregut surgery and illustrates the technology's current limitations and future potential.

## Keywords

Algorithms · Computer vision · Machine learning · Endoscopic gastrointestinal surgery · Minimally invasive surgery

15. Twinanda AP et al (2017) Endonet: a deep architecture for recognition tasks on laparoscopic videos. *IEEE Trans Med Imaging* 36:86–97
16. Namazi B et al (2020) AI for automated detection of the establishment of critical view of safety in laparoscopic cholecystectomy videos. *J Am Coll Surg* 231:e48
17. Mascagni P et al (2021) Surgical data science for safe cholecystectomy: a protocol for segmentation of hepatocystic anatomy and assessment of the critical view of safety (arXiv)
18. Madni TD et al (2019) Prospective validation of the parkland grading scale for cholecystitis. *Am J Surg* 217:90–97
19. Kitaguchi D et al (2020) Automated laparoscopic colorectal surgery workflow recognition using artificial intelligence: experimental research. *Int J Surg* 79:88–94
20. Mascagni P et al (2020) Artificial intelligence for surgical safety: automatic assessment of the critical view of safety in laparoscopic cholecystectomy using deep learning. *Ann Surg*. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004351>
21. Padoy N (2019) Machine and deep learning for workflow recognition during surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 28:82–90
22. Madani A et al (2020) Artificial intelligence for Intraoperative guidance: using semantic segmentation to identify surgical anatomy during laparoscopic cholecystectomy. *Ann Surg*. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004594>
23. Zhou X-Y, Guo Y, Shen M, Yang G-Z (2020) Application of artificial intelligence in surgery. *Front Med* 14:417–430
24. van Workum F et al (2021) Intrathoracic vs cervical anastomosis after totally or hybrid minimally invasive esophagectomy for esophageal cancer: a randomized clinical trial. *JAMA Surg* 156:601–610
25. Fuchs HF, Müller DT, Leers JM, Schröder W, Bruns CJ (2019) Modular step-up approach to robot-assisted transthoracic esophagectomy—experience of a German high volume center. *Transl Gastroenterol Hepatol* 4:62
26. Ward TM et al (2021) Automated operative phase identification in peroral endoscopic myotomy. *Surg Endosc* 35:4008–4015
27. Takeuchi M et al (2022) Automated surgical-phase recognition for robot-assisted minimally invasive esophagectomy using artificial intelligence. *Ann Surg Oncol* 29:6847–6855
28. Meireles OR et al (2021) SAGES consensus recommendations on an annotation framework for surgical video. *Surg Endosc* 35:4918–4929
29. De Backer P et al (2022) Multicentric exploration of tool annotation in robotic surgery: lessons learned when starting a surgical artificial intelligence project. *Surg Endosc*. <https://doi.org/10.1007/s00464-022-09487-1>
30. Yu H, Singh R, Shin SH, Ho KY (2021) Artificial intelligence in upper GI endoscopy—current status, challenges and future promise. *J Gastroenterol Hepatol* 36:20–24
31. Ghatwary N, Zolgharni M, Janan F, Ye X (2021) Learning spatiotemporal features for esophageal abnormality detection from endoscopic videos. *IEEE J Biomed Health Inform* 25:131–142
32. Hamade N, Sharma P (2021) Artificial intelligence in Barrett's esophagus. *Ther Adv Gastrointest Endosc* 14:26317745211049964
33. Yu C, Helwig EJ (2021) Artificial intelligence in gastric cancer: a translational narrative review. *Ann Transl Med* 9:269–269

34. Chen H, Zhou X, Tang X, Li S, Zhang G (2020) Prediction of lymph node metastasis in superficial esophageal cancer using a pattern recognition neural network. *Cancer Manag Res* 12:12249–12258
35. Ou J et al (2019) CT radiomic features for predicting resectability of oesophageal squamous cell carcinoma as given by feature analysis: a case control study. *Cancer Imaging* 19:66
36. Rice TW, Lu M, Ishwaran H, Blackstone EH, Worldwide Esophageal Cancer Collaboration Investigators (2019) Precision surgical therapy for adenocarcinoma of the esophagus and esophago-gastric junction. *J Thorac Oncol* 14:2164–2175
37. Zhang Y-H, Guo L-J, Yuan X-L, Hu B (2020) Artificial intelligence-assisted esophageal cancer management: now and future. *World J Gastroenterol* 26:5256–5271
38. Liu C et al (2019) Performance of a machine learning-based decision model to help clinicians decide the extent of lymphadenectomy (D1 vs. D2) in gastric cancer before surgical resection. *Abdom Radiol (NY)* 44:3019–3029
39. Kelley PG et al (2021) Exciting, useful, worrying, futuristic: public perception of artificial intelligence in 8 countries. *Proceedings of the 2021 AAAI/ACM conference on AI, ethics, and society. Association for Computing Machinery*, 5627–637
40. Koskinen J, Torkamani-Azar M, Hussein A, Huotari A, Bednarik R (2022) Automated tool detection with deep learning for monitoring kinematics and eye-hand coordination in microsurgery. *Comput Biol Med* 141:105121

## Lesetipps der Editoren des JCRCO, des offiziellen Organs der DKG

Liebe Leserinnen und Leser,



Die drei Publikationen – alle aus der Forschung von Mitgliedern der DKG – zeigen erneut die Vielfalt und Dynamik der *scientific community* unserer Forschung.

Die optimale **Therapie des nicht-kleinzelligen Bronchialkarzinoms** [1] ist ebenso wie die **von Gastrointestinalen Stromatumoren** [2] trotz der enormen Fortschritte unverändert Gegenstand klinischer Studien. **Vorsorge, Diagnostik und Therapie von malignen Erkrankungen** waren während der **Corona-Pandemie** [3] beeinträchtigt – klar gezeigt durch die Arbeitsgruppe des Bayerischen Krebsregisters.

Wir wünschen erkenntnisreiche Lektüre der Publikationen des „**Journal of Cancer Research and Clinical Oncology**“ (JCRCO).

Alle Beiträge sind online per **open access** zugänglich, so dass Sie weder über eine Universitätsbibliothek noch über ein Abonnement einen kostenpflichtigen Zugriff benötigen.

### Prof. Dr. Klaus Höffken

*Editor-in-chief*

### Prof. Dr. Florian Lordick

*Deputy editor*

Alle Beiträge des „**JCRCO**“ finden Sie hier:  
<https://www.springer.com/journal/432>



QR-Code scannen und alle Beiträge des JCRCO online lesen

### Quellen:

1.) Concurrent/sequential versus sequential immune checkpoint inhibition in inoperable large stage III non-small cell lung cancer patients treated with chemoradiotherapy (Lukas Käsmann, et al.)



QR-Code scannen und Beitrag online lesen

2.) Gastrointestinal stromal tumors of the upper GI tract: population-based analysis of epidemiology, treatment and outcome based on data from the German Clinical Cancer Registry Group (Thaer S. A. Abdalla et al.)



QR-Code scannen und Beitrag online lesen

3.) Impact of the COVID-19 pandemic on reported cancer diagnoses in Bavaria, Germany (Sven Voigtländer et al.)



QR-Code scannen und Beitrag online lesen

Das JCRCO ist Organ der DKG

