

Die künstliche Intelligenz im OP-Saal

Ein Roboter führte 2025 eine Phase der Gallenblasenentfernung selbst aus, im Labor, an totem Gewebe. Im Operationssaal sieht und plant die KI, die Hand führt der Arzt.

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund. Im Juli 2025 führte der Roboter SRT-H eine Phase der Gallenblasenentfernung ohne menschliche Steuerung der Arme aus. Die Meldung wurde als Beginn der autonomen Chirurgie gelesen. Was die Studie tatsächlich geprüft hat, deckt das nicht.

Evidenz. SRT-H erreichte über acht entnommene Schweinegallenblasen eine Erfolgsquote von 100 Prozent, ex vivo, im Ablauf von 17 Schritten, langsamer als ein erfahrener Chirurg und mit menschlicher Hilfe bei Werkzeugwechsel und Clipnachschiebung.¹ Im klinischen Eingriff hilft die Software vor allem bei der Bildauswertung. GoNoGoNet erreichte für die sichere Präparationszone gegen ein Expertenpanel eine mittlere Genauigkeit von 92 Prozent.⁵ In der Knieendoprothetik verbessert der Roboter die Ausrichtung der Komponenten, ohne das funktionelle Ergebnis zu verbessern.⁶

Offen. Geprüft wurde bisher nur an totem Tiergewebe. Die Entscheidung, ob operiert wird, trifft weiter der Arzt.

Schlussfolgerung. Der Roboter kann den Schritt schon ausführen. Ob das dem Patienten nützt, lässt sich noch nicht prüfen. Solange dieser Nachweis fehlt, bleibt die Software ein Werkzeug in der Hand des Operators.

Dr. med. Christian Mauch · Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie · SummitGO
· Lesezeit etwa 8 Minuten

Ein zweiarmiger Operationsroboter setzt Clips auf den Ductus cysticus und die Arteria cystica, trennt zwischen den Clips und löst die Gallenblase. Kein Mensch bewegt die Arme. Die Arbeitsgruppe um Ji Woong Kim an der Johns-Hopkins-Universität veröffentlichte den Vorgang im Juli 2025 in Science Robotics, gemeinsam mit Stanford und dem Unternehmen Optosurgical.¹ Das System heißt SRT-H, es arbeitete an acht entnommenen Schweinegallenblasen und schloss den Ablauf aus 17 Schritten in jedem Fall ab.¹

100 Prozent Erfolgsquote über acht ex vivo entnommene Schweinegallenblasen, vollständig autonom in der Clipping- und

SRT-H arbeitet auf zwei Ebenen. Ein übergeordnetes Modell plant in Sprache und erzeugt Anweisungen wie „greife den Gallenblasenkopf“, ein untergeordnetes Modell übersetzt die Anweisung in Bewegung.¹ Beide Stufen entstanden durch Imitationslernen aus rund 17 Stunden Demonstrationen an 34 Schweinegallenblasen, etwa 16.000 aufgezeichnete Bewegungen, darunter absichtlich herbeigeführte Fehlzustände samt ihrer Korrektur.^{1,2} Ein Roboter, der nie gesehen hat, wie man aus einem verrutschten Griff herauskommt, bleibt beim ersten Fehlgriff stehen.

Was die Studie gemessen hat

Die Autoren zählen als Erfolg, dass die 17 Teilschritte der Clipping- und Schneidephase ohne menschlichen Eingriff durchliefen.¹ Das misst die Ausführung, mehr nicht. Indikation, die Erkennung einer aberranten Gallengangsanatomie und der Umgang mit einer Blutung bleiben außen vor. Der Roboter setzt dort an, wo die chirurgische Entscheidung bereits gefallen ist. Das chirurgisch Schwierige an der Cholezystektomie steckt in den Schritten davor.

Hinzu kommt die Wahl des Gewebes. Ex vivo entfällt die Blutung, es entfällt die Atemverschieblichkeit, es entfallen Verwachsungen nach früheren Entzündungen. Die 100 Prozent zeigen, dass SRT-H mit der anatomischen Variation zwischen Organen zurechtkommt. Über intraoperative Zwischenfälle sagen sie nichts, weil diese im Versuchsaufbau nicht auftreten konnten. Die Autoren benennen diese Grenze selbst. Sie verstehen ihre Arbeit als Schritt in Richtung klinischer Anwendung, nicht als deren Erreichen.¹

Der Roboter hielt an, damit ein Mensch neue Clips lud und zwischen Clipapplikator und Schere wechselte.^{1,2} Autonom arbeitet der Roboter nur zwischen den Handgriffen des Assistenten. Im realen Saal verläuft genau dort die Verantwortungskette, weil Instrumentieren, Zählen und Übergeben zur dokumentierten Sicherheitskultur des Eingriffs gehören.

Was 2022 anders war

Der Roboter STAR verband 2022 zwei Darmenden am lebenden Schwein weitgehend selbstständig.³ Das geschah am lebenden Tier, ein Vorteil gegenüber SRT-H. STAR benötigte dafür markiertes Gewebe und folgte einem fest vorgegebenen Ablauf.³ SRT-H kommt ohne Marken aus und stellt sich auf die Anatomie ein, die es vorfindet.¹

STAR führte einen Plan aus, den ein Mensch formuliert hatte. SRT-H erzeugt seinen Plan während des Eingriffs. Ein festes Programm lässt sich vorab durchgehen. Ein Modell, das seinen nächsten Schritt aus dem Kamerabild

ableitet, lässt sich nur an seinem Verhalten prüfen, und zwar an jedem Fall neu. Das macht die Arbeit von 2025 regulatorisch schwierig.

Was leistet die KI im OP?

Der schneidende Roboter bleibt vorerst im Labor. Im echten Eingriff hilft die KI dem Chirurgen an einer anderen Stelle: Sie zeigt ihm, wo er nicht schneiden darf. GoNoGoNet, entwickelt von Madani und Mitarbeitern, markiert im Videobild der laparoskopischen Cholezystektomie die sicheren und die gefährlichen Dissektionszonen.⁴ Laplante und Mitarbeiter prüften es gegen ein Panel von sechs erfahrenen Operateuren der Safe-Cholecystectomy-Arbeitsgruppe der SAGES, an 47 Einzelbildern aus 25 Operationsvideos.⁵ Die mittlere Genauigkeit lag bei 92 Prozent für die sichere Zone und ebenfalls 92 Prozent für die gefährliche Zone.⁵

Hinter dem Mittelwert von 92 Prozent stehen zwei sehr verschiedene Werte. Die Sensitivität für die sichere Zone betrug 0,52, die Spezifität 0,97.⁵ Das Modell übersieht also die Hälfte der tatsächlich sicheren Fläche. Falsch warnt es selten. Für die gefährliche Zone liegt die Sensitivität bei 0,80 und der negative Vorhersagewert bei 0,95.⁵ Wer eine Gallengangsverletzung verhindern will, braucht ein System, das eine Gefahrenzone selten übersieht, und kann es hinnehmen, dass es sicheres Gewebe konservativ bewertet.

GoNoGoNet stimmt bisher nur auf Standbildern mit dem Urteil der Experten überein. Ein prospektiver Nachweis, dass die Anzeige im laufenden Eingriff die Rate an Gallengangsverletzungen senkt, liegt nicht vor. Diesen Nachweis zu führen, ist aufwendig und teuer. Bisher hat es niemand getan.

Der Vergleich mit der Knieprothese

In der Endoprothetik wird Robotik seit Jahren klinisch eingesetzt. Dazu gibt es Daten von echten Patienten. Eine Metaanalyse von Mostafa und Mitarbeitern fasste 21 randomisierte Studien mit 2.692 Patienten zur Knieendoprothetik zusammen.⁶ Die robotergestützte Technik senkte die Rate der Ausrichtungsaußergerade, das relative Risiko lag bei 0,33, und die Abweichung von der neutralen mechanischen Achse war um knapp ein Grad geringer.⁶ Die funktionellen und klinischen Ergebniswerte unterschieden sich nicht von der konventionellen Technik, die Operationszeit war länger.⁶

Bedeutungslos ist das nicht. Eine schief sitzende Prothese versagt erfahrungsgemäß früher, die genauere Achse ist also ein echter Gewinn. Nur merkt der Patient ihn bisher nicht: an Schmerz und Beweglichkeit ändert sich nichts, und ob die Prothese länger hält, haben diese Studien nicht gemessen. Zwei Erklärungen sind möglich. Vielleicht hilft eine gerade Achse dem Patienten weniger, als man lange annahm. Vielleicht war die Nachbeobachtung schlicht zu kurz, um den Nutzen zu sehen. Beides ist offen.

Sicher ist nur, dass die höhere Präzision damit noch kein belegter Gewinn für den Patienten ist.

Die Endoprothetik hat den Weg vom Labor in den Saal längst zurückgelegt. Die Roboter setzen die Prothese präziser. Das Ergebnis für den Patienten verbessern sie nicht, und was die Präzision ihm wert ist, bleibt offen. Ein System, das erst am toten Gewebe arbeitet, steht am Anfang genau dieses Wegs.

Wer haftet für den Roboter?

Ein System, das einen Operationsschritt selbst ausführt, verfolgt eine medizinische Zweckbestimmung und ist damit ein Medizinprodukt im Sinne der Verordnung (EU) 2017/745.⁷ Das europäische Recht kennt für Medizinprodukte keine behördliche Zulassung. Es verlangt eine Konformitätsbewertung unter Beteiligung einer benannten Stelle, einschließlich einer klinischen Bewertung, an deren Ende die CE-Kennzeichnung steht.⁷ Für SRT-H liegt weder eine Erprobung am lebenden Menschen noch ein solches Verfahren vor.¹

Solange der Operateur das Instrument führt, trägt er die Verantwortung für den Eingriff. Führt ein System einen Schritt selbst aus, hängt die Zurechnung vom Einzelfall ab: von der Zweckbestimmung des Produkts, von der Ursache des Fehlers, vom Behandlungsablauf und vom Verhalten von Hersteller, Betreiber und Arzt. Die Regeln dafür gibt es. Wie man sie auf ein Modell anwendet, dessen Entscheidung im Einzelfall kaum nachvollziehbar ist, hat noch niemand geklärt. Die CE-Kennzeichnung eines Geräts entlastet den Anwender nicht von einem Organisations- oder Überwachungsversäumnis.

Ärztliche Einordnung

Ob eine KI in den OP kommt, hängt an der Art der Aufgabe. Der Grad der Autonomie spielt dafür keine Rolle. Verlässlich beurteilen lässt sich eine KI nur dort, wo ein unabhängiger Maßstab existiert. Bei GoNoGoNet ist dieser Maßstab der annotierte Expertenkonsens auf einem Videobild, billig zu erheben und beliebig oft zu wiederholen.⁵ Bei SRT-H definieren die Autoren den Erfolg selbst, weil ein äußerer Maßstab für die gelungene Ausführung eines Operationsschrittes am toten Organ nicht existiert.¹ Deshalb ist die Bildauswertung im Saal angekommen und die Ausführung nicht.

Vor der Anschaffung zählt, ob die Aufgabe vor oder nach der ärztlichen Entscheidung liegt, wer den Maßstab gesetzt hat, an dem die Leistung gemessen wurde, ob am lebenden Menschen geprüft wurde, vorher festgelegt und an einem Nutzen, den der Patient merkt, und ob für die konkrete Anwendung eine CE-Kennzeichnung besteht. Ein Vorführtermin klärt nichts davon.

Die SummitGO-Perspektive

Der Befund reicht über die Chirurgie hinaus. Ein Modell kann viel leisten, lange bevor sich prüfen lässt, wie gut es wirklich ist. Wo ein unabhängiger, wiederholbar erhebbarer Maßstab existiert, lässt sich ein Modell vor dem Einsatz bewerten. Fehlt er, muss man erst nach dem Einsatz bewerten, und den Preis trägt der Patient. An dieser Trennlinie misst SummitGO die Entwicklung. Die Maschine assistiert, die Verantwortung für den Eingriff bleibt beim Arzt. Und Verantwortung setzt voraus, dass sich die Leistung der Maschine beurteilen lässt.

Fazit

Ein lernendes System kann eine definierte Phase eines häufigen Eingriffs am entnommenen Organ ohne menschliche Steuerung abschließen, achtmal von acht Versuchen.¹ Bildauswertung im laufenden Eingriff reproduziert die Einschätzung erfahrener Operateure zu großen Teilen.^{4,5} Robotergestützte Chirurgie hebt dort, wo sie klinisch etabliert ist, die Präzision, ohne das funktionelle Ergebnis zu verbessern.⁶ Nicht belegt ist ein Nutzen für den Patienten aus einem autonom ausgeführten Operationsschritt. Für diesen Nachweis fehlen die Erprobung am Menschen, ein prospektiver Endpunkt und die Konformitätsbewertung nach der Verordnung (EU) 2017/745.⁷ Für die Praxis ist der autonom ausgeführte Operationsschritt damit noch keine Behandlungsoption. Er bleibt Gegenstand weiterer Studien.

QUELLEN

1. Kim JW, Chen JT, Hansen P, et al. SRT-H: A hierarchical framework for autonomous surgery via language-conditioned imitation learning. *Sci Robot.* 2025;10(104):eadt5254. doi:10.1126/scirobotics.adt5254
2. Kim JW, Chen JT, Hansen P, et al. SRT-H: A Hierarchical Framework for Autonomous Surgery via Language Conditioned Imitation Learning. *arXiv:2505.10251 [Preprint].* 2025. arxiv.org/abs/2505.10251
3. Saeidi H, Opfermann JD, Kam M, et al. Autonomous robotic laparoscopic surgery for intestinal anastomosis. *Sci Robot.* 2022;7(62):eabj2908. doi:10.1126/scirobotics.abj2908
4. Madani A, Namazi B, Altieri MS, et al. Artificial intelligence for intraoperative guidance: using semantic segmentation to identify surgical anatomy during laparoscopic cholecystectomy. *Ann Surg.* 2022;276(2):363-369. doi:10.1097/SLA.0000000000004594
5. Laplante S, Namazi B, Kiani P, et al. Validation of an artificial intelligence platform for the guidance of safe laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc.* 2023;37(3):2260-2268. doi:10.1007/s00464-022-09439-9
6. Mostafa O, Malik M, Qayum K, et al. Robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of alignment accuracy and clinical outcomes. *Ann Med Surg.* 2025;87(2):867-879. doi:10.1097/MS9.0000000000002919
7. Verordnung (EU) 2017/745 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2017 über Medizinprodukte. eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/745/oj

Eine erste Fassung dieses Beitrags erschien in Ausgabe 6 des Newsletters „KI und Medizin“ der Summitgo GmbH & Co. KG.

TRANSPARENZ UND INTERESSENKONFLIKT

Herausgeber dieser Reihe ist die Summitgo GmbH & Co. KG, ein im Feld der medizinischen künstlichen Intelligenz tätiges Unternehmen. Der Beitrag behandelt die autonome Ausführung von Operationsschritten und die KI-gestützte Bildauswertung im Eingriff, also ein Feld, in dem SummitGO selbst tätig ist. Diese wirtschaftliche Interessenlage wird offengelegt. Auswahl, Bewertung und ärztliche Einordnung erfolgen durch den Autor auf Grundlage öffentlich zugänglicher wissenschaftlicher Veröffentlichungen. Es handelt sich um einen redaktionellen Übersichtsbeitrag, nicht um Auftragsforschung und nicht um eine begutachtete Originalarbeit. Der Beitrag enthält keine Leistungsbehauptung zu einem Produkt der Summitgo GmbH & Co. KG. Eine externe Finanzierung bestand nicht.

IMPRESSUM

Summitgo GmbH & Co. KG, Relenbergstraße 65, 70174 Stuttgart. Komplementärin: Dr. Mauch Beteiligung GmbH (Amtsgericht Stuttgart HRB 805274), vertreten durch den Geschäftsführer Dr. Christian Mauch. Registergericht Amtsgericht Stuttgart, HRA 743417. Telefon +49 170 181 11 48, info@summitgo.de. USt-IdNr. gemäß § 27a UStG: [folgt nach Erteilung]. Verantwortlich für den Inhalt nach § 18 Abs. 2 MStV: Dr. Christian Mauch, Anschrift wie vor. © 2026 SummitGO.