Chirurgie im Wandel

Wie KI-gestützte Robotik den OP neu definiert

Roboterassistierte Chirurgie wird zunehmend mit intelligenter Software kombiniert. © Envato.

Wo früher allein Geschick und Erfahrung des Operateurs entschieden, greifen heute Maschinen ein – von Menschen gesteuert, aber zunehmend mitdenkend. Der Operationssaal entwickelt sich zum digitalen Hochleistungszentrum, in dem Algorithmen Bilder in Echtzeit analysieren, feinste Gewebestrukturen erkennen und chirurgische Entscheidungen mit hoher Präzision unterstützen.

Die technologische Entwicklung trifft auf ein Gesundheitssystem unter Druck. Personalmangel und steigende Eingriffszahlen verlangen nach Lösungen, die Effizienz und Qualität gleichermaßen verbessern. Besonders in der minimalinvasiven Chirurgie wird die KI-gestützte Robotik ihr Potenzial entfalten: Sie verspricht eine neue Dimension operativer Präzision und Sicherheit – für Ärzte wie für Patienten.

Zusammenspiel von Mensch und Maschine

Alexander König, Professor für Robotik und Systemintelligenz an der Technischen Universität München, beschäftigt sich seit vielen Jahren mit dem Zusammenspiel von Mensch und Maschine. Er ist überzeugt: „Automatisierte Assistenzsysteme können die Patientensicherheit erhöhen. Denn um sie überhaupt am Patienten einsetzen zu dürfen, müssen sie zugelassen werden. Diese Prozesse stellen hohe Anforderungen an Hardware, Software und Prozesse. Solche Systeme sind zuverlässig und handeln nicht unerwartet – und sie werden nicht müde."

Dynamische Interaktion

Robotische Assistenzsysteme agieren nicht autonom, sondern unterstützen die Ärzte bei der Durchführung chirurgischer Eingriffe. Sogenannte „aktive Systeme" übernehmen dabei nicht nur Bewegungen, sondern auch Navigation, Bildgebung und die präzise Platzierung von Instrumenten – ganz ohne Zittern.

Künstliche Intelligenz geht noch einen Schritt weiter: Sie analysiert, lernt und interpretiert. In der Chirurgie bedeutet das konkret, dass Software auf Basis von Machine Learning oder Deep Learning Bilder erkennt, Bewegungen plant und Entscheidungen vorbereitet. Der Unterschied zur klassischen Robotik liegt in der Anpassungsfähigkeit: Die Systeme reagieren auf neue Situationen, lernen aus vergangenen Eingriffen und optimieren sich stetig.

Aufgaben der KI

KI-Algorithmen kommen dabei an mehreren Stellen zum Einsatz. Sie identifizieren Organe und Gefäße auf Kamerabildern, berechnen die optimale Schnittlinie oder analysieren Vitalparameter in Echtzeit. Die Systeme lernen, kritische Situationen zu erkennen und rechtzeitig zu warnen. So entsteht eine dynamische Interaktion: Die Technik beobachtet, analysiert und gibt Hinweise – der Mensch entscheidet.

Personalisierte Chirurgie

In der Neurochirurgie und Orthopädie sorgt die Technik für Millimeterarbeit: Bohrungen im Schädel oder an der Wirbelsäule lassen sich mit robotischer Präzision ausführen, während KI-Systeme permanent Daten auswerten und Korrekturen vorschlagen. In der Notfallmedizin und Telechirurgie wiederum öffnet sich eine neue Versorgungsdimension: Fachwissen wird durch Technologie mobil und ortsunabhängig einsetzbar.

„Wir entwickeln einen technischen Demonstrator für Telechirurgie. Aktuell befinden sich Arzt und Patient immer im selben Raum, verbunden durch ein Kabel. Aber bei sinkender Versorgungsdichte – vor allem im ländlichen Raum – wird das nicht rei-

Alexander König, Technische Universität München © Alexander König.

NürnbergMesse GmbH
MedtecLIVE
www.medteclive.com/de/events/healthtech-pavilion

chen. Dann brauchen wir Systeme, mit denen Ärzte den Patienten taktil, also mit haptischem Feedback, behandeln können – auch über große Distanzen hinweg“, erklärt Alexander König.

Reproduzierbarkeit

KI-gestützte Robotik kann chirurgisches Arbeiten reproduzierbarer und sicherer machen. Darüber hinaus bietet der technologische Fortschritt ökonomisches Potenzial. Kürzere Liegezeiten, weniger Folgeeingriffe, effizientere OP-Abläufe und eine bessere Ressourcennutzung entlasten das System. Nicht zuletzt ebnet KI den Weg zur personalisierten Chirurgie: Algorithmen könnten künftig individuelle OP-Pläne berechnen, basierend auf der medizinischen Vorgeschichte und Bildgebung – ein digitaler Assistent, der ärztliches Handeln präzisiert, ohne es zu ersetzen.

‚Shared Autonomy‘

Doch jeder Fortschritt bringt auch Fragen mit sich. Technisch gesehen stellt vor allem die Verarbeitung großer Datenmengen in Echtzeit eine Herausforderung dar. Bilddaten, Sensordaten, Bewegungsanalysen – alles muss blitzschnell erfasst, interpretiert und umgesetzt werden. Hinzu kommt die Komplexität der Systeme: Schnittstellen fehlen oft, Standards sind noch nicht etabliert.

Recht und Ethik

Rechtlich und ethisch bleibt ebenfalls manches ungeklärt. Wer haftet, wenn ein KI-System eine falsche Empfehlung gibt? Wie transparent müssen seine Prozesse sein? Die „Black Box“-Problematik stellt Ärzte und Entwickler vor neue Verantwortung. Und auch die Frage der Zugänglichkeit ist zentral: Hochentwickelte Technik darf nicht zum Privileg weniger werden, sondern muss allen Patienten offenstehen.

„Dass eine KI in naher Zukunft vollständig autonome Operationen durchführt, halte ich für unrealistisch. Zwar gibt es erste zugelassene medizinische Entscheidungssysteme, aber im Bereich der verkörperten KI – also, wenn Roboter physisch mit der Welt interagieren – sind wir noch weit davon entfernt“, ordnet König ein. „Ein großes Forschungsthema ist daher die ‚Shared Autonomy‘, also die geteilte Autonomie.“

Roboterassistierte Operationssystem © Intuitive Surgical Operations, Inc.

Intensive Dynamik

„Die Medizintechnik ist sehr konservativ – von vollständig autonomen Systemen sind wir noch weit entfernt“, glaubt auch Axel Weber, Vice President Medical Products bei KUKA. „Aber man sollte die Chancen, die zusätzliche Autonomie und Robotik bieten, nicht unterschätzen. Gerade KI kann enorm zur Entlastung beitragen, etwa bei der Dokumentation von Behandlungen – auch wenn das nicht direkt etwas mit Robotik zu tun hat.“

KUKA, einer der weltweit führenden Anbieter für intelligente Automatisierung, bringt schon seit einem Vierteljahrhundert seine Erfahrung aus der Industrie in die Medizintechnik ein. Das Unternehmen entwickelt keine vollständigen chirurgischen Systeme, sondern stellt Roboterplattformen wie den LBR Med bereit, die von Partnern in klinische Lösungen integriert werden. Gerade im Zusammenspiel mit KI entfalten diese Systeme ihr Potenzial.

Die Forschung im Bereich KI-gestützter Robotik erlebt derzeit eine Phase intensiver Dynamik. Weltweit arbeiten interdisziplinäre Teams daran, chirurgische Systeme intelligenter, sicherer und transparenter zu gestalten. Im Mittelpunkt stehen sogenannte „Explainable AI“-Modelle – also Künstliche Intelligenz, deren Entscheidungswege nicht im Verborgenen bleiben, sondern nachvollziehbar sind. Eine Technologie, deren Empfehlungen nicht erklärbar sind, stößt schnell an Akzeptanzgrenzen.

Klinik und Technik

Axel Weber betont, wie wichtig die Interaktion zwischen Klinik und Technik ist: „Je komplexer eine Situation ist, desto intelligenter muss die KI sein. Aber wir sehen, wie schnell sie dazulernt. Das sollte man als Chance begreifen – Robotik kann in vielen Bereichen entlasten. Der Fachkräftemangel zeigt es deutlich: Es fehlen Menschen, von der Pflege bis zur hochspezialisierten Chirurgie.“

Ferngesteuerte Operationen

Der Blick in die Zukunft zeigt: Der Operationssaal könnte zu einem digitalen Kontrollraum werden, in dem Mensch und Maschine in enger Symbiose agieren. Anstelle klassischer OP-Planung tritt ein adaptives System ein, das präoperative Bilddaten, Echtzeit-Sensordaten und patientenspezifische Historien miteinander verknüpft und daraus dynamische Eingriffsstrategien generiert. Eingriffe würden so nicht mehr statisch vorbereitet, sondern kontinuierlich durch KI begleitet und optimiert.

KI-Systeme könnten etwa erkennen, ob ein Eingriff planmäßig verläuft oder ob sich eine unerwartete Komplikation anbahnt – und darauf basierend operative Alternativen vorschlagen. Auch die Fernsteuerung von Operationen gewinnt an Bedeutung: Durch KI-gestützte Analyse und präzise robotische Ausführung lassen sich Eingriffe künftig ortsunabhängig planen und durchführen. Gerade in strukturschwachen Regionen oder in Katastrophenszenarien bietet dies eine neue Dimension medizinischer Versorgung.

Veränderte Rollen

„Entscheidend wird sein, dass wir die Systeme nicht nur technisch denken“, mahnt König. „Wir müssen auch die Auswirkungen auf Rollen, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten im Blick behalten – sonst droht Überforderung statt Entlastung.“

Langfristig wird sich die Rolle der Chirurgen verändern. Sie werden zu Koordinatoren eines hochkomplexen Systems, in dem Entscheidungen zwar vom Menschen getroffen, aber zunehmend datenbasiert vorbereitet werden. Damit steigen die Anforderungen an Ausbildung und digitale Kompetenz – nicht nur im Umgang mit der Technik, sondern auch im kritischen Hinterfragen algorithmischer Vorschläge.

Axel Weber fasst zusammen: „Der Wandel wird nicht sprunghaft kommen, sondern schrittweise. Aber wir müssen die Weichen heute stellen, damit morgen sichere, integrierte und patientenzentrierte Systeme Realität werden.“ ◄

Axel Weber, KUKA © KUKA Group