

Einsatz künstlicher Intelligenz in der Thoraxchirurgie

D. Herrmann, M. Oggiano & E. Hecker

Der Chirurg

Zeitschrift für alle Gebiete der
operativen Medizin

ISSN 0009-4722

Chirurg

DOI 10.1007/s00104-019-01089-3



Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at link.springer.com".



Einsatz künstlicher Intelligenz in der Thoraxchirurgie

Durch die Digitalisierung werden immer mehr Daten in der Diagnostik und Behandlung von Patienten erhoben und die Ergebnisse der Datenauswertung können wieder über eine Verbesserung der Behandlung in den Prozess zurückfließen. Künstliche Intelligenz (KI) bietet eine Möglichkeit, diese erhobenen Datenmengen schnell und zuverlässig auszuwerten. Ziel dieser Arbeit ist, einen Überblick zu geben, inwiefern KI bereits zum jetzigen Zeitpunkt in den klinischen Alltag der Thoraxchirurgie implementiert werden kann.

Künstliche Intelligenz

Der Begriff „künstliche Intelligenz“ geht auf John McCarthy zurück. Dieser nutzte ihn 1955 erstmals in einem Förderantrag für eine Konferenz am Dartmouth College, auf der unter anderem Programme vorgestellt wurden, die Schach oder Dame spielen.

Ziel der KI ist es, Muster zu erkennen und darauf folgend eine eigene Handlung zu entwickeln. Wissensbasierte Systeme nutzen beispielsweise Daten aus Datenbanken, um anhand dieser vorher definierte Aufgaben zu lösen [1].

Unter den Oberbegriff der KI fällt das „machine learning“ (ML). Im Bereich des ML ist das „deep learning“ der am häufigsten genutzte Bereich der KI. Hierbei handelt es sich um Computersysteme, die mit großen Datenmengen trainiert werden. Solche „künstlichen neuronalen Netzwerke“ (KNN) sind dann in der Lage, selbstständig Spiele wie Schach oder Go zu lernen [2].

Künstliche neuronale Netzwerke bilden das menschliche Gehirn nach und es sind innerhalb der neuronalen Netzwerke Neuronen miteinander verbunden. In der Entwicklung dieser Netzwerke wird ein Input gegeben und ein bestimmter Output erwartet. Durch unterschiedliche Wichtung der einzelnen Neuronen wird versucht, dem gewünschten Output möglichst nah zu kommen. Nach einer Trainingsphase lässt man das System mit großen Datenmengen selbstständig lernen [3].

Durch die Digitalisierung sind auch im medizinischen Bereich so große Informationsmengen entstanden, dass diese nicht mehr mit herkömmlichen Methoden auszuwerten sind [4]. Um eine Auswertung dieser enormen Datenmengen zu ermöglichen, muss eine standardisierte Erfassung der Daten erfolgen. Diese Erfassung ist beispielsweise über eine digitalisierte Patientenakte möglich. In diesen Systemen verschiedener Anbieter kann bezüglich einer Auswertung der Daten nur profitiert werden, wenn diese in den verschiedenen Systemen kompatibel sind [5].

KI in der Medizin

Die Bedeutung der KI in der Medizin nahm in den letzten Jahren deutlich zu. Wurden im Jahr 2010 noch 64 Artikel über den Einsatz künstlicher Intelligenz bei kardiovaskulären Erkrankungen veröffentlicht, waren es 2018 bereits 358 Publikationen. Schwerpunkt war meist die Risikostratifizierung von Therapiemöglichkeiten mittels ML und KNN [6].

Im militärischen Sektor ist die KI ebenfalls ein Forschungsfeld. Bis Februar 2018 konnten sich Unternehmen für

Subventionen des US-Verteidigungsministeriums bewerben, die im Rahmen des FORWARD-Programmes vergeben werden sollten. Ziel war die Unterstützung von Projekten zur Entwicklung unbemannter, eigenständig arbeitender medizinischer Roboter. Sie könnten die Tätigkeit teuer ausgebildeter Chirurgen in der Gefechtssituation ersetzen [7].

» Durch KI kann die Strahlendosis in der CT-Diagnostik signifikant reduziert werden

Bei der Interpretation bildgebender Verfahren in der Radiologie, Dermatologie und Ophthalmologie wird KI bereits erfolgreich eingesetzt [8]. In der computertomographischen (CT-)Diagnostik kann durch Nutzung der KI die Strahlendosis signifikant reduziert werden. Das Programm subtrahiert hier in der Schnittbildgebung aus den Bildern Blutgefäße, Atemwege, Atelektasen und Thoraxwand und stellt so den möglichen Rundherd dar. Genau genommen handelt es sich bei dieser Technik allerdings erst um eine KI, wenn das Programm ein ML durchlaufen hat und die Bilder eigenständig interpretiert. In der Detektion von Rundherden geht die hohe Sensitivität jedoch mit einer relativ hohen Rate an falsch-positiven Befunden einher. Daher wird die KI bislang noch als eine Unterstützung des Arztes als vollständig eigenständig arbeitendes System verstanden [9].

Bisher gibt es nur wenige Anwendungen im klinischen Einsatz, die eigenständig arbeiten. Das Guardian Connect System von Medtronic, das bei Diabetikern eingesetzt wird, erfüllt dieses Kriterium. Es kann anhand gemessener Blut-

zuckerwerte vorhersagen wie sich der Blutzuckerspiegel des Patienten innerhalb der nächsten Stunde verhalten wird und bietet so eine höhere Sicherheit für den Patienten [10].

Auch in der Pädiatrie soll die KI helfen, Daten zu erfassen und auszuwerten. Liang et al. haben ein ML-System entwickelt, das in der Lage ist, anhand klinischer Befunde mit einer hohen Genauigkeit, Diagnosen zu stellen. In Testläufen war das System jungen Ärzten in der Diagnosestellung überlegen, jedoch älteren Ärzten unterlegen. Vor allem junge Mediziner könnten daher von dem zusätzlichen Einsatz solcher Instrumente profitieren [11].

Bevor ein flächendeckender Einsatz von KI in der Medizin möglich ist, müssen aber haftungsrechtliche Fragen geklärt werden. Bislang ist unklar, wer im Falle eines Fehlers der KI haftbar gemacht werden kann. Ob es sich um den einsetzenden Mediziner, den Mitarbeiter der Wartung oder den Hersteller handelt [7].

KI in der Thoraxchirurgie

Neben der eigentlichen operativen Tätigkeit wäre die KI in der Lage, die Abläufe im Operationssaal zu verbessern. Sie könnte die Beleuchtung oder die Temperatur steuern, aber auch Wechselzeiten reduzieren und so mehr Operationen in kürzerer Zeit ermöglichen [12].

Roboterassistierte Operationsplattformen (RAS), wie auch „computer aided diagnostic“-Systeme (CAD), werden oft im Zusammenhang mit KI genannt, entsprechen aber eigentlich weder der Definition einer autonom arbeitenden Maschine, noch sind sie zu ML in der Lage [1].

Die aktuellen Roboter beruhen auf einer Technologie, die die NASA (National Aeronautics and Space Administration) entwickelt hat, um eine chirurgische Versorgung im Weltraum zu ermöglichen. Erste Prototypen entstanden hier schon in den 1990er-Jahren und seit 2003 ist der da Vinci von Intuitive Surgical als einziges System auf dem Markt [13].

Der da Vinci bietet gegenüber der videoassistierten Thorakoskopie (VATS) einige Vorteile. Der physiologische Tre-

mor des Chirurgen wird reduziert, die Instrumente können mit sieben Freiheitsgraden genutzt werden und der operative Situs wird dreidimensional dargestellt. Zusätzlich ist eine bis zu 10-fache Vergrößerung möglich [13].

Aktuelle Entwicklungen ermöglichen über das „fluoreszenz-detection-tool“ Firefly (Intuitive Surgery, Sunnyvale, CA, USA) die Darstellung von Segmentgrenzen und bessere Sichtbarkeit von Gefäßen. Es ist auch eine Bedienkonsole für zwei Personen auf dem Markt, um die Ausbildung an dem RAS zu erleichtern. Hier kann der Ausbilder den Auszubildenden bei der Operation beobachten und jederzeit eingreifen [13]. Das System kann ebenfalls die Steuerbewegungen des Operateurs auslesen. Anhand dieser Daten kann theoretisch die chirurgische Qualität beurteilt werden und es könnten Vorhersagen zum postoperativen Outcome getroffen werden [3].

Mittlerweile sind neben dem da-Vinci-System auch RAS anderer Anbieter von der FDA (Food and Drug Administration) zugelassen; deren Markteinführung ist ab 2019 geplant [14, 15].

Die erste Serie mit Patienten, bei denen Lobektomien mittels „robotic-assisted thoracic surgery“ (RATS) durchgeführt wurden, veröffentlichte Franca Melfi 2002 [16]. Große Popularität erhielt die RATS aber erst 2001, als Robert Cerfolio sie durch mehrere Publikationen in den Fokus rückte [16]. So stieg zwischen 2011 und 2015 der Anteil von Lobektomien, die in den USA per RATS durchgeführt wurden, von 7,6% auf 17,6%. In Deutschland ist Jens Rückert ein Vorreiter der RATS, er hat mittlerweile über 500 Thymusresektionen roboterassistiert durchgeführt [16].

» Eine onkologische Überlegenheit der RATS ist bisher nicht bewiesen

Die Vorteile der RATS gegenüber der VATS in der Lungenresektionsbehandlung sind bislang nicht eindeutig bewiesen. So beschreiben unterschiedliche Autoren eine geringere Rate von Komplikationen nach RATS und einen kürzeren Krankenhausaufenthalt mit kürzerer in-

tensivmedizinischer Betreuung [17], eine Metaanalyse von Wie et al. 2017 konnte jedoch keinen Unterschied in Bezug auf Konversionen, die Anzahl resezierter Lymphknotenstationen und postoperative Komplikationen aufzeigen. Auch onkologisch konnte bisher keine Überlegenheit durch den Einsatz der RATS nachgewiesen werden [18].

Bewiesen ist der finanzielle Mehraufwand der RATS gegenüber der VATS. Pro Eingriff muss von 3000–5000 € Mehrkosten ausgegangen werden [17]. Diese sollen sich zwar durch eine kürzere Aufenthaltsdauer amortisieren, jedoch geben japanische Autoren an, dass dafür mindestens 300 Eingriffe pro Jahr notwendig seien. Die Mehrkosten entstehen durch den Anschaffungspreis, der zwischen 1 und 2,5 Mio. US-Dollar liegt, und die jährlichen Unterhaltskosten von 100.000–170.000 US-Dollar [19].

Zusätzlich muss bei dem Einsatz der RAS die Akzeptanz der Bevölkerung beachtet werden. Zwar würden sich gemäß einer Studie der Unternehmensberatung PwC 43 % der Befragten mit einer RAS-Plattform operieren lassen, jedoch sind Vorbehalte in weiten Teilen der Gesellschaft gegenüber autonom operierenden Robotern nicht zu unterschätzen, was bereits bezüglich selbstständig fahrenden Autos zu beobachten ist [1, 7]. Sorge können hier auch mögliche Hackerangriffe bereiten, die während einer Operation den Roboter beeinflussen oder sogar die Tätigkeit des Chirurgen übernehmen könnten [19].

„Computer aided diagnostic“ wird ebenfalls immer populärer. In der Bronchoskopie werden CAD genutzt, um die Lage von Tumoren über elektromagnetische Navigation zu bestimmen und gezielte Biopsien zu entnehmen. Die elektromagnetische Navigationsbronchoskopie kombiniert die virtuelle und konventionelle Bronchoskopie um mithilfe von Bildern einer Computertomographie Rundherde sicherer zu detektieren. So lassen sich auch aus peripheren Rundherden mit einer hohen Genauigkeit Gewebeproben entnehmen [20].

Neben der rein chirurgischen Behandlung ist die Thoraxchirurgie in die Entwicklung multidisziplinärer Therapiekonzepte eingebunden. Daher sollte auch der Einsatz der KI in der multimodalen Behandlung des Lungenkarzinoms betrachtet werden.

Ähnlich wie in der Behandlung anderer onkologischer Erkrankungen kommt es auch in der Diagnostik und Therapie des Lungenkarzinoms zu einer Zunahme der zu verarbeitenden Datenmengen durch moderne diagnostische Verfahren. Zusätzlich besteht die Situation, dass bei den Patienten zunehmend Komorbiditäten zu beachten sind [21]. So gibt es bereits Modelle, um das Ansprechen von Checkpoint-Inhibitoren oder einer Chemotherapie anhand von Genexpressionsanalysen vorherzusagen.

Ein interessantes Tool, um einen Benefit in der Behandlung von Patienten bei außeruniversitär arbeitenden Ärzten zu erreichen, stellt der „Oncology Expert Advisor“ dar. Hier sollen Ärzte unterstützt werden, die nicht dauerhaft Zugriff auf aktuellste wissenschaftliche Veröffentlichungen haben. Simon et al. haben mit Daten von über 1000 Patienten ein Programm entwickelt, das auf einem Smartphone genutzt werden kann. Der „Oncology Expert Advisor“ kann auf mehr als 23 Mio. Abstracts zugreifen und soll bei einer einfachen Bedienung allen Nutzern Therapieempfehlungen aussprechen. Das Ziel der Entwickler ist ein selbstständiges Auswerten der digitalen Patientenakte durch das Programm. Hierfür ist allerdings wieder eine strukturierte und kompatible Datenerfassung Voraussetzung [8].

Ein weiteres System ist der „Watson for oncology“ von IBM. Das Programm wurde im Memorial Sloan Kettering Cancer Center entwickelt und arbeitet mit klinischen Daten von Patienten, unterschiedlichen Behandlungsprotokollen und Leitlinien. Es soll Behandlungsempfehlungen aussprechen, die mit denen erfahrener Onkologen vergleichbar sind. Sämtliche dieser Programme sind jedoch nur in der Lage, korrekte Empfehlungen zu geben, wenn sie über die entsprechende

D. Herrmann · M. Oggiano · E. Hecker

Einsatz künstlicher Intelligenz in der Thoraxchirurgie

Zusammenfassung

Hintergrund. Der Einsatz künstlicher Intelligenz in der Medizin ist eine relativ neue Option, um eine verbesserte Behandlung von Patienten zu ermöglichen, und daher aktuell Mittelpunkt vieler Forschungsprojekte. Im klinischen Alltag beschränkt sich der Einsatz jedoch bislang noch mehrheitlich auf die Auswertung von Bildmaterial.

Fragestellung. In welcher Form ist der Einsatz künstlicher Intelligenz im Alltag der thoraxchirurgischen Behandlung möglich und wird bereits praktiziert?

Material und Methoden. Es wurde eine aktuelle Literaturrecherche durchgeführt.

Ergebnisse. Künstliche Intelligenz kann unter aktuellen Bedingungen am ehesten in der

Diagnostik und Therapieplanung eingesetzt werden. Um einen flächendeckenden Einsatz zu ermöglichen sind aber eine Standardisierung der Datenerfassung und deren Auswertung notwendig.

Schlussfolgerungen. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen vielversprechende Studienergebnisse vor. Die Implementierung in den chirurgischen Alltag ist aber bislang schwer möglich.

Schlüsselwörter

Deep learning · Machine learning · Künstliche neuronale Netzwerke · Computer aided diagnostic · Nichtkleinzelliges Bronchialkarzinom

Application of artificial intelligence in thoracic surgery

Abstract

Background. The application of artificial intelligence is a relatively new option to enable improved patient treatment in modern medicine and is therefore currently the focus of many research projects. In the clinical practice the application of artificial intelligence so far seems to be confined to the analysis of medical imaging.

Objective. In which form is the use of artificial intelligence possible in routine daily work in thoracic surgery and is already being practiced?

Material and methods. A search of the currently available literature was performed.

Results. Under current conditions artificial intelligence can best be used as part of diagnostics and treatment planning; however, in order to enable a comprehensive use standardization and evaluation of the centralized data collection are necessary.

Conclusion. At the present time promising study results are available but the implementation into the surgical routine has so far been very difficult.

Keywords

Deep learning · Machine learning · Artificial neural network · Computer-aided diagnostics · Non-small cell lung cancer

Menge an Daten, auch für Subgruppen, verfügen. Liu et al. haben die Empfehlungen des „Watson for oncology“ mit denen erfahrener Onkologen verglichen und konnten zeigen, dass durch das Programm in 18,1% ein anderes Management empfohlen wurde als durch die behandelnden Onkologen [22].

» KI kann vor allem in der Auswertung von Bildmaterial eingesetzt werden

In Bezug auf das nichtkleinzellige Lungenkarzinom („non-small cell lung can-

cer“, NSCLC) liegt das Augenmerk am ehesten auf der bildgebenden Diagnostik. So wurden in einer Arbeit von Khorrami et al. die Daten aus dem National Lung Cancer Screening Trial genutzt, um zu untersuchen, ob ein Machine-learning-Algorithmus anhand peri- und intratumoraler radiologischer Befunde eine Vorhersage bezüglich des Outcomes der Patienten treffen kann. Die KI berechnete, dass ein peritumoröser Lymphgefäßbefall mit einer verschlechterten Prognose einhergeht ebenso wie bei dem Vorliegen vermehrter inflammatorischer Zellen in der Tumorumgebung [23].

Auch wurde untersucht, inwiefern ein Lungenkrebscreening mittels KNN möglich ist. Das KNN wurde in einem Trainings-, Tuning- und Test-Set mit über 40.000 CTs von fast 15.000 Patienten konfrontiert. Im Test-Set wurden letztendlich 6716 Fälle ausgewertet und das System war dem Urteil von Radiologen überlegen, wenn diese nicht über Voraufnahmen der Patienten verfügten. In den Fällen in denen Voraufnahmen vorlagen, war das System den Radiologen ebenbürtig [24].

Ein weiterer Ansatz in der gezielten Auswertung von Bildmaterial ist der Einsatz von KI in der fiberoptischen Fluoreszenzmikroskopie während einer Bronchoskopie. Kleinere Arbeiten waren in der Lage, eine korrekte Einschätzung der Malignität von Befunden in 90 % der Fälle zu treffen [5].

Fazit für die Praxis

- Insgesamt besteht bisher, gemessen an den Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz (KI), eine geringe Implementierung in den ärztlichen Alltag.
- Der Einsatz der KI ist in der Thoraxchirurgie am ehesten im Rahmen der Diagnostik und Therapieplanung zu sehen. KI kann beispielsweise Risikostratifizierungen vornehmen und Vorhersagen zum Outcome bei unterschiedlichen Therapiemodalitäten treffen.
- Bislang ist die KI vor allem in der Auswertung von Bildmaterial mit sehr guten Ergebnissen im Einsatz.
- Bei der aktuellen Möglichkeit der Erhebung großer Datenmengen ist die KI prädestiniert, Ärzte bei der Auswertung zu unterstützen, allerdings ist hier eine Standardisierung der Datenerfassung notwendig.
- „Robotic-assisted thoracic surgery“ und computergesteuerte Navigation stellen im eigentlichen Sinne keine KI dar.

Korrespondenzadresse

Dr. Dipl.-Oec. E. Hecker

Thoraxzentrum Ruhrgebiet, Klinik für Thoraxchirurgie, Evangelisches Krankenhaus, Herne
Hordeler Straße 7–9, 44651 Herne, Deutschland
e.hecker@evk-herne.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. D. Herrmann, M. Oggiano und E. Hecker 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. Harren K, Dittrich F, Reinecke F et al (2018) Digitalisierung und künstliche Intelligenz in Orthopädie und Unfallchirurgie. *Orthopäde* 47:1039–1054
2. Vogel T, Kohn N, Ostler D et al (2019) Modellgestützte Therapie in der Chirurgie. *Chirurg* 90:470–477
3. von Klot CAJ, Kuczyk MA (2019) Künstliche Intelligenz und neuronale Netze in der Urologie. *Urologe* 58:291–299
4. Schneider F, Weiller C (2018) Big Data und künstliche Intelligenz. *Nervenarzt* 89:859–860
5. Rabhani M, Kanevsky J, Kafi K et al (2018) Role of artificial intelligence in the care of patients with nonsmall lung cancer. *Eur J Clin Invest* 48:e12901
6. Tran BX, Latkin CA, Vu GT et al (2019) The current research landscape of the application of artificial intelligence in managing cerebrovascular and heart diseases: a bibliometric and content analysis. *Int J Environ Res Public Health* 16:2699
7. O'Sullivan S, Nevejans N, Allen C et al (2019) Legal, regulatory, and ethical frameworks for development of standards in artificial intelligence (AI) and autonomous robotic surgery. *Int J Med Rob Comput Assist Surg* 15:e1968
8. Simon G, DiNardo CD, Takahashi K et al (2019) Applying artificial intelligence to address the knowledge gaps in cancer care. *Oncologist* 24:772–782
9. Heverhagen JT (2019) Künstliche Intelligenz: die Radiologie im Wandel der Zeit. *Swiss Med Forum* 19:56–58
10. He J, Baxter SL, Xu J et al (2019) The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nat Med* 25:30–36
11. Liang H, Tsui BY, Ni H et al (2019) Evaluation and accurate diagnoses of pediatric diseases using artificial intelligence. *Nat Med* 25:433–438
12. Mirnezami R, Ahmed A (2018) Surgery 3.0, artificial intelligence and the next-generation surgeon. *Br J Surg* 105:463–465
13. Zirafa C, Romano G, Key TH et al (2019) The evolution of robotic thoracic surgery. *Ann Cardiothorac Surg* 8:201–2017
14. Dasgupta P (2018) New robots—cost, connectivity and artificial intelligence. *BJU Int* 122:349–350

15. Peters BS, Armijo PR, Krause C et al (2018) Review of emerging surgical robotic technology. *Surg Endosc* 32:1636–1655
16. Leschber G (2018) Video-assisted thoracic surgery: A global development. *Chirurg* 89:185–190
17. Kanzaki M (2019) Current status of robotic-assisted thoracoscopic surgery for lung cancer. *Surg Today*. <https://doi.org/10.1007/s00595-019-01793-x>
18. Wei S, Chen M, Chen N et al (2017) Feasibility and safety of robot-assisted thoracic surgery for lung lobectomy in patients with non-small cell lung cancer: a systematic review and meta-analysis. *World J Surg Oncol* 15:98
19. Bonaci T, Herron J, Yusuf T et al (2015) To make a robot secure: an experimental analysis of cyper security threats against teleoperated surgical robots (arXiv:1504.04339)
20. Muñoz-Largacha JA, Litle VR, Fernando HC (2016) Navigation bronchoscopy for diagnosis and small nodule location. *J Thorac Dis* 9(Suppl 2):S98–S103
21. Esteva H, Núñez TG, Rodríguez RO (2007) Neural networks and artificial intelligence in thoracic surgery. *Thorac Surg Clin* 17:359–367
22. Liu C, Liu X, Wu F et al (2018) Using artificial intelligence (Watson for oncology) for treatment recommendations amongst Chinese patients with lung cancer: feasibility study. *J Med Internet Res* 20:e11087
23. Khorrami M, Jain P, Bera K et al (2019) Predicting pathologic response to neoadjuvant chemoradiation in resectable stage III non-small cell lung cancer patients using computed tomography radiomic features. *Cancer Treat Res* 135:1–9
24. Ardila D, Kiraly AP, Bharadwaj S et al (2019) End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography. *Nat Med* 25:954–961