

Onkologie
<https://doi.org/10.1007/s00761-025-01683-7>
Angenommen: 24. Januar 2025

© The Author(s), under exclusive licence to Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2025



Einsatz der künstlichen Intelligenz in der Diagnostik und Therapie solider Tumoren

Jan C. Peeken^{1,2} · Jakob Nikolas Kather^{3,4,5}

¹ Klinik und Poliklinik für RadioOnkologie und Strahlentherapie, TUM School of Medicine and Health, TUM Klinikum rechts der Isar, München, Deutschland

² Institut für Strahlenmedizin, Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, Deutschland

³ Else Kröner Fresenius Zentrum für Digitale Gesundheit, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland

⁴ Medizinische Klinik I, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Dresden, Deutschland

⁵ Medizinische Onkologie, Nationales Centrum für Tumorerkrankungen (NCT), Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

In diesem Beitrag

- Hinführung zum Thema
- KI in der Radiologie
- KI in der Pathologie
- KI in der Strahlentherapie
- KI in der Chirurgie
- KI in Onkologie und Innerer Medizin
- Ausblick

Zusammenfassung

Hintergrund: Der Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI) hat sich in der medizinischen Diagnostik und Therapie in den letzten Jahren stark weiterentwickelt, insbesondere in der Bildverarbeitung und klinischen Entscheidungsunterstützung.

Ziel der Arbeit: Die Arbeit zielt darauf ab, den aktuellen Stand und die zukünftigen Potenziale des Einsatzes von KI in der Onkologie zu beleuchten.

Material und Methoden: Diese Übersichtsarbeit basiert auf einer selektiven Literaturrecherche in wissenschaftlichen Datenbanken und der Analyse aktueller Entwicklungen auf dem Gebiet der KI-gestützten Onkologie.

Ergebnisse: KI kann repetitive Aufgaben in der Radiologie und Histopathologie automatisieren, erste klinisch zugelassene Produkte sind bereits verfügbar. Der Einsatz von großen Sprachmodellen wie ChatGPT („generative pre-trained transformer“) zeigt Potenzial in der Entscheidungsunterstützung, ist jedoch aufgrund fehlender Zulassungen und der Problematik von Halluzinationen noch nicht breit implementiert.

Diskussion: Obwohl KI erhebliche Fortschritte in der Krebsmedizin ermöglicht, sind regulatorische und technische Herausforderungen zu bewältigen, bevor diese Technologien routinemäßig eingesetzt werden können.

Schlüsselwörter

Präzisionsmedizin · Large Language Models · Deep Learning · Onkologie · Klinische Entscheidungsunterstützungssysteme

Hinführung zum Thema

Der Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) ist seit Jahren ein zentraler Diskussionspunkt in der Medizin, insbesondere in der Krebsmedizin [1]. Dieser Beitrag beleuchtet aktuelle und zukünftige Anwendungen von KI in der Krebsmedizin.

Einleitung

Seit dem Durchbruch von künstlichen neuronalen Netzwerken in der Bildverarbeitung im Jahr 2012 wurden zahlreiche Studien veröffentlicht, die belegen, dass KI-

Methoden in der Datenverarbeitung bei onkologischen Erkrankungen eine Unterstützung leisten können. Künstliche neuronale Netzwerke, die hinter diesen Fortschritten stehen, sind inspiriert von der Funktionsweise des menschlichen Gehirns. Die Fortschritte, die durch solche neuronalen Netzwerke erzielt wurden, haben nicht nur akademische Studien vorangetrieben, sondern auch zur Entwicklung medizinischer Produkte geführt, die mittlerweile auf dem europäischen Markt zugelassen sind.

Trotz der großen Möglichkeiten dieser Technologien hat sich die klinische Pra-



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

xis bisher nur sehr langsam und schrittweise durch den Einsatz von KI-basierten Anwendungen verändert. Ein besonders bedeutender Schritt zeigte sich jedoch im Jahr 2023, als ein Durchbruch im Bereich der großen Sprachmodelle gelang. Das Modell ChatGPT („generative pre-trained transformer“) von OpenAI („artificial intelligence“), das zu dieser Zeit herauskam, war das erste KI-Modell, das in der Lage war, menschliche Sprache in vielen Bereichen auf einem Niveau zu verstehen, zu analysieren und zu generieren, das den Fähigkeiten von Menschen sehr nahekommt [2]. Diese Technologie wird bereits in verschiedenen medizinischen Anwendungsbereichen erprobt, etwa als Chatbot zur Entscheidungsunterstützung in der Onkologie. Es kann aber auch einfachere Aufgaben übernehmen, wie die Extraktion strukturierter Daten aus klinischen Texten, was den klinischen Alltag erheblich erleichtern kann. Ein entscheidender Unterschied zu den bisher verwendeten spezialisierten Modellen – wie etwa denen zur Bildverarbeitung in der Radiologie – besteht darin, dass ChatGPT ein generalistisches Modell ist. Während ein Radiologiemodell nur für eine spezifische Aufgabe trainiert ist, kann ChatGPT eine Vielzahl unterschiedlicher Aufgaben bewältigen: von der Analyse medizinischer Berichte und der Erstellung von Arztbriefen bis hin zur Beantwortung von Patientenfragen oder der Übersetzung von Fachbefunden in eine laiengerechte Sprache. Generalistische Modelle, wie ChatGPT, eröffnen somit neue Möglichkeiten in der Krebsmedizin und Krebsforschung [3].

» Generative KI Modelle, wie ChatGPT, eröffnen neue Optionen in der Krebsmedizin und Krebsforschung

Ein großes Hindernis für den breiten Einsatz dieser generalistischen Modelle liegt jedoch darin, dass sie derzeit nicht als Medizinprodukte zertifiziert sind. Die Technologie ist noch jung, und die regulatorischen Rahmenbedingungen müssen erst geschaffen werden, um eine Zulassung solcher Modelle für den klinischen Einsatz zu ermöglichen. Der routinemäßige Einsatz von ChatGPT und ähnlichen Modellen im klinischen Alltag ist daher aktuell noch nicht möglich [4]. In den folgenden

Abschnitten werden wir uns detaillierter mit den spezifischen Einsatzmöglichkeiten von KI auseinandersetzen.

KI in der Radiologie

Die Radiologie ist eine der Paradedisziplinen für KI-Applikationen. Dies drückt sich darin aus, dass 76 % der Markt-zugelassenen KI Produkte für die Radiologie entwickelt wurden [5]. Eine wichtige Anwendung in der Radiologie liegt in der verbesserten Früherkennung. In einer randomisierten prospektiven Studie wurde ein herkömmliches Screening mit einer KI-unterstützten Lösung verglichen [6]. Basierend auf einer Malignitätseinschätzung durch die KI wurden die Patientinnen einer einfachen oder doppelten Befundung zugewiesen. In einer Interimsanalyse zeigte sich ein Trend zu einer erhöhten Detektionsrate und eine Reduktion der Anzahl von Befundungen um 44 %. Die Anwendung der KI kann demnach dazu beitragen, gesundheitsökonomische Belastungen ohne Qualitätseinbußen zu reduzieren.

» KI kann dazu beitragen, gesundheitsökonomische Belastungen ohne Qualitätseinbußen zu reduzieren

In Tumorarten, in denen durch eine hohe Tumorheterogenität Biopsien einer hohen Fehlerrate unterliegen, wie z.B. bei retroperitonealen Weichteilsarkomen, können KI-Algorithmen durch eine nichtinvasive Tumorcharakterisierung unterstützen. Präklinische Arbeiten konnten so zeigen, dass eine Abschätzung von pathologischen Eigenschaften, wie dem Tumorgrading, oder von molekularen Aberrationen möglich ist [7].

Die Evaluation des Therapieansprechens durch standardisierte Kriterien wie „Response Evaluation Criteria In Solid Tumors“ oder „Response Assessment in Neuro Oncology“ (RANO) sind essenziell für die Therapieallokation im klinischen Alltag und Studien. Diese zeitlich aufwendigen und teils auf Surrogatparameter beruhenden Einschätzungen lassen sich durch KI verbessern. Daher bestehen Bestrebungen, standardisierte KI-basierte Lösungen zu entwickeln, wie z.B. durch das AI-RANO (Artificial Intelligence for Re-

sponse Assessment in Neuro Oncology)-Konsortium [8].

Letztlich kann auch die Bildgenerierung durch KI verbessert werden. Durch KI-gestützte Bildrekonstruktionen können zum einen die notwendigen Aufnahmezeiten reduziert werden, zum anderen gleichzeitig die Bildqualität erhöht bzw. Artefakte besser unterdrückt werden [9]. Dies führt neben einem Effizienzgewinn auch zu einer potenziell höheren diagnostischen Genauigkeit.

KI in der Pathologie

Die Histopathologie ist und bleibt das Fundament der Krebsmedizin. Ohne eine histopathologische Untersuchung ist die Diagnose der meisten Krebserkrankungen kaum möglich. Jeder Patient mit einer Tumorerkrankung durchläuft daher eine histopathologische Untersuchung, bei der Gewebeprobe unter dem Mikroskop analysiert werden. Diese Schnittbilder können prinzipiell digitalisiert werden, was die Grundlage für den Einsatz computerbasierter Methoden, einschließlich der KI bildet. Die Digitalisierung der histopathologischen Schnittbilder steht jedoch in vielen Ländern noch am Anfang. In Ländern wie Deutschland oder den USA ist bisher nur ein geringer Prozentsatz der pathologischen Schnittpräparate digital verfügbar. Im Gegensatz dazu sind Länder wie die Niederlande oder Schweden in dieser Hinsicht bereits weiter fortgeschritten.

» Digitalisierung eröffnet das Potenzial für den Einsatz von KI-Methoden in der Histopathologie

Es wird jedoch erwartet, dass die Digitalisierung auch in Ländern wie Deutschland in den kommenden Jahren weiter voranschreiten wird und zunehmend digitale Abbilder von Gewebeprobe verfügbar sein werden. Mit dieser Digitalisierung eröffnet sich das Potenzial für den Einsatz von KI-Methoden in der Histopathologie, und zwar in 2 wesentlichen Bereichen:

Erstens kann KI dazu beitragen, die Arbeitsabläufe von Pathologinnen und Pathologen zu vereinfachen. Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Analyse von Prostatabiopsien zur Identifizierung von Pro-

statakarzinomzellen [10]. Diese Aufgabe, die in spezialisierten Einrichtungen oft die Analyse von Dutzenden oder gar Hunderten Schnitten pro Tag umfasst, könnte durch KI automatisiert werden. Bereits heute existieren klinisch zugelassene Programme, die zeigen, dass solche Hochdurchsatzaufgaben technisch lösbar sind. Diese Systeme unterstützen Pathologinnen und Pathologen, indem sie auf klare, gut definierte Aufgaben trainiert sind, wie die Suche nach Krebszellen in Routineproben. Noch stehen hier einige Hürden im Weg, insbesondere in Bezug auf die flächendeckende Digitalisierung und den Routineeinsatz dieser Technologien [11].

» Es gibt Ansätze, das Ansprechen von Lungentumoren auf Immuntherapien mithilfe von KI zu präzisieren

Zweitens kann KI die diagnostischen Fähigkeiten von Pathologen erweitern und vertiefen. Es gibt bereits mehrere akademische Arbeiten, die zu klinisch zugelassenen Medizinprodukten geführt haben und zeigen, dass KI in der Lage ist, genetische Veränderungen in Tumoren vorherzusagen [12]. Ein Beispiel ist die Vorhersage der Mikrosatelliteninstabilität (MSI) bei Darmkrebs direkt aus den pathologischen Schnittpräparaten [13]. Darüber hinaus gibt es Ansätze, das Therapieansprechen auf Immuntherapien bei Lungentumoren mithilfe von KI zu präzisieren [14]. Solche KI-basierten Biomarker könnten in der Zukunft eine immer größere Rolle spielen und unsere klinischen Entscheidungsprozesse in der Onkologie verändern.

KI in der Strahlentherapie

Das strahlentherapeutische Arbeitsfeld umfasst neben der individuellen Patientenbetreuung und Entscheidungsfindung den Prozess der Bestrahlungsplanung. Dieser beginnt mit der dreidimensionalen „Segmentierung“ von gesunden Organen und des Bestrahlungsvolumens. In den letzten Jahren wurde eine Reihe an Softwarelösungen klinisch zugelassen, die eine automatisierte Segmentierung von Organen ermöglichen. Trotz noch notwendiger manueller Kontrolle hat dies

die notwendige Arbeitszeit signifikant reduziert [15]. Darüber hinaus führt eine erhöhte Standardisierung zu einer verbesserten Behandlungsqualität durch präzisere Organschonung [16]. Ferner lassen sich auch einfache Zielvolumina und Tumoren segmentieren. Für eine automatisierte individualisierte Zielvolumendefinition sind die Fähigkeiten der KI jedoch zu unflexibel und eingeschränkt.

Nach der Definition des Bestrahlungsvolumens muss der eigentliche Bestrahlungsplan errechnet werden. Im Rahmen einer computergestützten iterativen Optimierung wird dabei die bestmögliche Abdeckung des Bestrahlungsvolumens bei gleichzeitiger maximaler Schonung der Risikoorgane ermittelt. Neuere KI-Algorithmen sagen optimale Bestrahlungspläne vorher, die dann iterativ in einen ausführbaren Bestrahlungsplan optimiert werden [17]. Dies würde eine vollständig automatisierte Bestrahlungsplanung ermöglichen, die jedoch noch nicht klinisch verfügbar ist.

Kombiniert man diese Fähigkeiten mit der täglich bildgestützten Strahlentherapie, eröffnet sich erstmals die Möglichkeit der „online-adaptiven Strahlentherapie“. Auf Basis der täglich angefertigten Computer- oder Magnetresonanztomographie werden die Organe tagesaktuell neu segmentiert und das Zielvolumen angepasst [18]. Nach einer erneuten Bestrahlungsplanung kann dann ein tagesindividueller Bestrahlungsplan bestrahlt werden. Obwohl diese Technik noch einige manuelle Schritte beinhaltet, ermöglicht sie erstmalig, Risikoorgane noch genauer zu schonen und die Sicherheitsräume, die in der Zielvolumendefinition verwendet werden, zu reduzieren.

KI in der Chirurgie

Grundlegend lassen sich KI-Methoden in prä-, intra- und postoperative Anwendungen unterteilen [19]. In der präoperativen Phase kommen zum einen prädiktive Modelle zum Einsatz, die den Erfolg einer Operation anhand von klinischen Daten abschätzen können. Darüber hinaus kann die Planung einer Operation, z. B. durch die Volumetrie von Lebersegmenten, unterstützt werden.

Für intraoperative Anwendungen ermöglicht die Verwendung von kameragestützten Interventionen, wie robotische, laparoskopische oder endoskopische Eingriffe, und die Verwendung von Augmented-Reality-Brillen zunehmend den Einsatz von bildbasierten KI-Lösungen. Durch Echtzeit-Segmentierung und Mustererkennung lassen sich so anatomische Ziel- und Risikostrukturen besser identifizieren, um Komplikationen zu vermeiden [20]. Die Analyse der Videoaufzeichnung ermöglicht außerdem eine automatisierte Bewertung von Operationstechniken [21]. Darüber hinaus lassen sich in einem Augmented-Reality-Ansatz dreidimensionale Rekonstruktion z. B. von KI-segmentierten Tumoren und anatomischen Strukturen in den Operationssitus projizieren, um die Navigation zu vereinfachen [22]. Die robotische Chirurgie ermöglicht weiterhin prinzipiell die Automatisierung von Bewegungsabläufen. Voll autonome Operationen sind derzeit und in der näheren Zukunft nicht realisierbar. Aktuelle Forschungssysteme sind jedoch in der Lage, isolierte Operationsaufgaben, wie Hautnähte, autonom durchzuführen [23]. Durch den schnellen Fortschritt in der Robotik und durch große Sprachmodelle ist jedoch auch hier eine weitere Entwicklung zu erwarten.

» Postoperativ lässt sich mithilfe prädiktiver Modelle die Entlassungsplanung optimieren

Zu guter Letzt, lassen sich in der postoperativen Phase mithilfe von prädiktiven Modellen postoperative Komplikationen frühzeitig vorhersagen und so die Entlassungsplanung optimieren [19].

KI in Onkologie und Innerer Medizin

In der klinischen Praxis der Onkologie werden verschiedene Befunde zusammengeführt, um gemeinsam mit den Patientinnen und Patienten individuelle Therapieempfehlungen zu erarbeiten und umzusetzen. Lange Zeit lag der Fokus von KI-Anwendungen in der Onkologie vor allem auf der Auswertung von Bilddaten, wie z. B. radiologischen Aufnahmen oder histopathologischen Schnitten. Mit dem Aufkommen

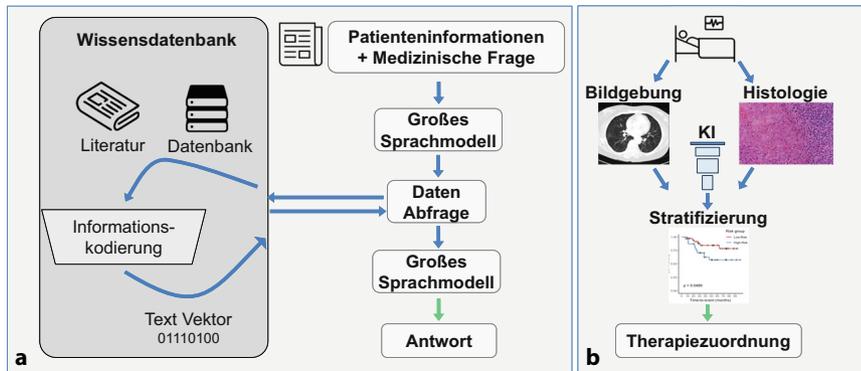


Abb. 1 **a** System zur Datenunterlegung eines großen Sprachmodells für verbesserte medizinische Antworten, **b** Prinzip der Risikostratifizierung. *KI* Künstliche Intelligenz

von großen Sprachmodellen wie ChatGPT („generative pre-trained transformer“) hat sich dieser Blickwinkel jedoch erheblich erweitert. Diese neuen KI-Werkzeuge haben das Potenzial, die tägliche Arbeit in der Onkologie nicht nur in der Analyse von Daten, sondern auch in der Entscheidungsfindung und im Informationsmanagement zu erleichtern.

» **Neue KI-Tools haben das Potenzial, Entscheidungsfindung und Informationsmanagement zu erleichtern**

Ein Beispiel für den Einsatz von großen Sprachmodellen ist die automatisierte Umwandlung unstrukturierter medizinischer Daten, wie Pathologiebefunde oder Arztbriefe, in strukturierte Formate [24]. Dies ermöglicht es, große Mengen an Informationen systematisch zu erfassen und für Forschungszwecke, wie beispielsweise Versorgungsforschung, zugänglich zu machen. Darüber hinaus können große Sprachmodelle wie ChatGPT als interaktive Werkzeuge, etwa in Form von Chatbots, eingesetzt werden, um medizinische Entscheidungsprozesse zu unterstützen [25].

Ausblick

Obwohl diese Anwendungsmöglichkeiten vielversprechend sind, haben Studien auch gezeigt, dass Sprachmodelle wie ChatGPT mit gewissen Einschränkungen behaftet sind. Eines der Hauptprobleme ist das Phänomen der sogenannten „Halluzinationen“, bei dem das Modell plausible, aber falsche Informationen generiert [26].

Diese Halluzinationen entstehen, weil die Modelle auf statistischen Wahrscheinlichkeiten basieren und nicht immer in der Lage sind, zwischen realen Fakten und fiktiven Inhalten zu unterscheiden. Dies kann jedoch gelöst werden: Ein vielversprechender Ansatz besteht darin, sie mit einem verlässlichen Wissensschatz zu verknüpfen oder in sogenannte Agentensysteme zu integrieren, die Teil eines größeren, kontrollierten Ablaufs sind ([27]; **Abb. 1a**). Auf diese Weise können Halluzinationen deutlich reduziert werden und die Modelle können so zuverlässigere und nützlichere Antworten geben. Dies könnte dazu führen, dass große Sprachmodelle in den kommenden Jahren zunehmend als zugelassene Medizinprodukte auf den Markt kommen und den klinischen Alltag bereichern. Dem gleichen Prinzip folgend könnte auch die radiologische Diagnostik durch „multimodale“ Sprachmodelle profitieren. Diese Modelle sind in der Lage, radiologische Befunde auf der Basis von Bilddaten zu erzeugen. In einer kürzlich veröffentlichten Studie erzielte das Sprachmodell Med-PaLM M sogar überlegene Ergebnisse im Vergleich zu Radiologen in der Befundung von Röntgenaufnahmen des Thorax in 40% der untersuchten Patienten [28].

Basierend auf medizinischen Bilddaten können Informationen über das Therapieansprechen abgeleitet werden (**Abb. 1b**). So konnten in Post-hoc-Analysen von existierenden Phase-III-Studien starke Effekte z.B. zur Prädiktion des Ansprechens einer Hormontherapie beim Prostatakarzinom nachgewiesen werden [29]. Bildgebungsbasierte Biomarker leiden im Ver-

gleich zu histologischen Biomarkern unter einer reduzierten Reproduzierbarkeit durch Abhängigkeit von einer Vielzahl von Eigenschaften der Bildaufnahme. Im Gegensatz zu Biopsien hat die Bildgebung jedoch den Vorteil, dass sie den gesamten Tumor erfasst und einfach wiederholt werden kann. So könnten peritherapeutische Bildaufnahmen das Ansprechen einer Therapie vorhersagen und so ermöglichen, die Therapie zu adaptieren [30].

Fazit für die Praxis

KI bietet in der Krebsmedizin viele Anwendungsmöglichkeiten, insbesondere in der Bildverarbeitung, der Histopathologie und der klinischen Entscheidungsunterstützung.

Korrespondenzadresse



PD Dr. med. Jan C. Peeken, PhD MHBA
 Klinik und Poliklinik für RadioOnkologie und Strahlentherapie, TUM School of Medicine and Health, TUM Klinikum rechts der Isar
 Ismaningerstr. 22, 81675 München, Deutschland
 jan.peeken@tum.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J.C. Peeken gibt an Honorare von AstraZeneca und Brainlab erhalten zu haben. J.N. Kather gibt an, Beratungsdienste für Bioptimus, Frankreich; Owkin, Frankreich; DoMore Diagnostics, Norwegen; Panakeia, Großbritannien; AstraZeneca, Großbritannien; Mindpeak, Deutschland; und MultiplexDx, Slowakei, erbracht zu haben. Außerdem hält er Anteile an StratifAI GmbH, Deutschland, und Synagen GmbH, Deutschland, und hat ein Forschungsstipendium von GSK erhalten. Zudem hat er Honorare von AstraZeneca, Bayer, Daiichi Sankyo, Eisai, Janssen, Merck, MSD, BMS, Roche, Pfizer und Fresenius erhalten.

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

- Rösler W, Altenbuchinger M, Baeßler B, Beissbarth T, Beutel G, Bock R et al (2023) An overview and a roadmap for artificial intelligence in hematology and oncology. *J Cancer Res Clin Oncol* 149:7997–8006
- Truhn D, Eckardt J-N, Ferber D, Kather JN (2024) Large language models and multimodal foundation models for precision oncology. *NPJ Precis Oncol* 8:72
- Moor M, Banerjee O, Abad ZSH, Krumholz HM, Leskovec J, Topol EJ et al (2023) Foundation models for generalist medical artificial intelligence. *Nature* 616:259–265
- Derraz B, Breda G, Kaempf C, Baenke F, Cotte F, Reiche K et al (2024) New regulatory thinking is needed for AI-based personalised drug and cell therapies in precision oncology. *NPJ Precis Oncol*. <https://doi.org/10.1038/s41698-024-00517-w>
- Center for Devices, Radiological Health. Artificial Intelligence and Machine Learning (AI/ML)-Enabled Medical Devices. In: U.S. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/medical-devices/software-medical-device-samd/artificial-intelligence-and-machine-learning-aiml-enabled-medical-devices?ref=welcome-to-marco-health>. Zugegriffen: 31. Okt. 2024
- Lång K, Josefsson V, Larsson A-M, Larsson S, Högberg C, Sartor H et al (2023) Artificial intelligence-supported screen reading versus standard double reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI): a clinical safety analysis of a randomised, controlled, non-inferiority, single-blinded, screening accuracy study. *Lancet Oncol* 24:936–944
- Foreman SC, Llorián-Salvador O, David DE, Rösner VKN, Rischewski JF, Feuerriegel GC et al (2023) Development and Evaluation of MR-Based Radiogenomic Models to Differentiate Atypical Lipomatous Tumors from Lipomas. *Cancers* 15:2150–2150
- Bakas S, Vollmuth P, Galldiks N, Booth TC, Aerts HJWL, Bi WL et al (2024) Artificial Intelligence for Response Assessment in Neuro Oncology (AIRANO), part 2: recommendations for standardisation, validation, and good clinical practice. *Lancet Oncol* 25:e589–e601
- Lin DJ, Johnson PM, Knoll F, Lui YW (2021) Artificial intelligence for MR image reconstruction: An overview for clinicians. *J Magn Reson Imaging* 53:1015–1028
- Bulten W, Pinckaers H, van Boven H, Vink R, de Bel T, van Ginneken B et al (2020) Automated deep-learning system for Gleason grading of prostate cancer using biopsies: a diagnostic study. *Lancet Oncol* 21:233–241
- Reis-Filho JS, Kather JN (2023) Overcoming the challenges to implementation of artificial intelligence in pathology. *J Natl Cancer Inst* 115:608–612
- Binder A, Bockmayr M, Hägele M, Wienert S, Heim D, Hellweg K et al (2021) Morphological and molecular breast cancer profiling through explainable machine learning. *Nat Mach Intell* 3:355–366
- Saillard C, Dubois R, Tchita O, Loiseau N, Garcia T, Adriansen A et al (2023) Validation of MSIIntuit as an AI-based pre-screening tool for MSI detection from colorectal cancer histology slides. *Nat Commun* 14:6695
- Laleh NG, Ligerio M, Perez-Lopez R, Kather JN (2022) Facts and Hopes on the Use of Artificial Intelligence

Artificial intelligence in the diagnosis and treatment of solid tumors

Background: The use of artificial intelligence (AI) for medical diagnostics and treatment has seen enormous advances in recent years, particularly in terms of image processing and clinical decision-making.

Objective: The aim of this work is to provide an overview of the current status and future potential of AI applications in the field of oncology.

Materials and methods: A selective literature search was conducted in scientific databases, and current developments pertaining to AI-supported oncology were analyzed.

Results: The application of AI enables automation of repetitive tasks in radiology and histopathology, and several products approved for clinical application are already available. Although large language models such as ChatGPT (generative pretrained transformer) have potential for decision support, the lack of formal approvals and problems with hallucinations prevent their widespread implementation.

Conclusion: Although AI has the potential to enable huge advancements in cancer medicine, there are regulatory and technical hurdles to be overcome before these technologies can be routinely applied.

Keywords

Precision medicine · Large language models · Deep learning · Oncology · Clinical decision support systems

- for Predictive Immunotherapy Biomarkers in Cancer. *Clin Cancer Res*. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.ccr-22-0390>
15. Erdur AC, Rusche D, Scholz D, Kiechle J, Fischer S, Llorián-Salvador Ó et al (2024) Deep learning for autosegmentation for radiotherapy treatment planning: State-of-the-art and novel perspectives. *Strahlenther Onkol*. <https://doi.org/10.1007/s00066-024-02262-2>
16. Thor M, Apte A, Haq R, Iyer A, LoCastro E, Deasy JO (2021) Using Auto-Segmentation to Reduce Contouring and Dose Inconsistency in Clinical Trials: The Simulated Impact on RTOG 0617. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 109:1619–1626
17. Baroudi H, Brock KK, Cao W, Chen X, Chung C, Court LE et al (2023) Automated contouring and planning in radiation therapy: What is “clinically acceptable”? *Diagnostics*. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13040667>
18. Archambault Y, Boylan C, Bullock D, Morgas T, Peltola J, Ruokokoski E et al (2020) Making on-Line Adaptive Radiotherapy Possible Using Artificial Intelligence and Machine Learning for Efficient Daily Re-Planning. *Med Phys Int J* 8:77–86
19. Guni A, Varma P, Zhang J, Fehervari M, Ashrafian H (2024) Artificial Intelligence in Surgery: The Future is Now. *Eur Surg Res* 65:22–39
20. Madani A, Namazi B, Altieri MS, Hashimoto DA, Rivera AM, Pucher PH et al (2022) Artificial intelligence for intraoperative guidance. *Ann Surg* 276:363–369
21. Kiyasseh D, Ma R, Haque TF, Miles BJ, Wagner C, Donoho DA et al (2023) A vision transformer for decoding surgeon activity from surgical videos. *Nat Biomed Eng* 7:780–796
22. Pratt P, Ives M, Lawton G, Simmons J, Radev N, Spyropoulou L et al (2018) Through the HoloLens™ looking glass: augmented reality for extremity reconstruction surgery using 3D vascular models with perforating vessels. *Eur Radiol Exp* 2:2
23. Shademan A, Decker RS, Opfermann JD, Leonard S, Krieger A, Kim PCW (2016) Supervised autonomous robotic soft tissue surgery. *Sci Transl Med* 8:337ra64
24. Wiest IC, Ferber D, Zhu J, van Treeck M, Meyer SK, Juglan R et al (2024) Privacy-preserving large language models for structured medical information retrieval. *NPJ Digit Med* 7:257
25. Ferber D, Wiest IC, Wölflein G, Ebert Matthias P, Beutel G, Jan-Niklas E et al (2024) GPT-4 for Information Retrieval and Comparison of Medical Oncology Guidelines. *NEJM AI* 1:Aics2300235
26. Benary M, Wang XD, Schmidt M, Soll D, Hilfenhaus G, Nassir M et al (2023) Leveraging large language models for decision support in personalized oncology. *JAMA Netw Open* 6:e2343689
27. Ferber D, Nahhas OSME, Wölflein G, Wiest IC, Clusmann J, Leßman M-E et al (2024) Autonomous artificial intelligence agents for clinical decision making in oncology. *arXiv [cs.AI]*. <http://arxiv.org/abs/2404.04667>
28. Tu T, Azizi S, Driess D, Schaekermann M, Amin M, Chang P-C et al (2024) Towards generalist biomedical AI. *NEJM AI*. <https://doi.org/10.1056/aioa2300138>
29. Esteva A, Feng J, van der Wal D, Huang SC, Simko JP, DeVries S et al (2022) Prostate cancer therapy personalization via multi-modal deep learning on randomized phase III clinical trials. *NPJ Digit Med* 5:1–8
30. Peeken JC, Asadpour R, Specht K, Chen EY, Klymenko O, Akinkuoroye V et al (2021) MRI-based delta-radiomics predicts pathologic complete response in high-grade soft-tissue sarcoma patients treated with neoadjuvant therapy. *Radiother Oncol* 164:73–82

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.