

Dimitrios Bounias

Dr. sc. hum.

Screening for Cancer and Cardiovascular Disease in Breast MRI with Artificial Intelligence

Fach/Einrichtung: Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ)

Doktorvater: Prof. Dr. rer. nat. Klaus Maier-Hein

Diese Arbeit zeigt auf, wie Künstliche Intelligenz (KI) gezielt zur Weiterentwicklung der Brustkrebsfrüherkennung eingesetzt werden kann, insbesondere im Rahmen verkürzter Magnetresonanztomographie (MRT)-Protokolle. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie innovative Bildgebungsverfahren sinnvoll weiterentwickelt und um risikobasierte Überlegungen ergänzt werden können. Zudem wird untersucht, wie sich routinemäßige oder screeningorientierte Untersuchungen für zusätzliche diagnostische Zwecke nutzen lassen, etwa zur Mitbeurteilung kardiovaskulärer Erkrankungen. Im Gegensatz zu vielen rein algorithmischen Studien geht diese Arbeit einen Schritt weiter: Sie berücksichtigt explizit auch die technische Integration in bestehende klinische Arbeitsabläufe und die praktischen Anforderungen im radiologischen Alltag. Dadurch wird sichergestellt, dass die entwickelten Verfahren nicht nur leistungsfähig, sondern auch praxistauglich sind. Im Verlauf der Arbeit werden neue Ansätze für das Brustkrebs-Screening mittels MRT mit diffusionsgewichteter Bildgebung (Diffusion-Weighted Imaging (DWI)) entwickelt, ein klinisch motiviertes Rahmenkonzept für risikobasierte Objekterkennung vorgeschlagen und ein skalierbares Verfahren zum opportunistischen Screening thorakaler Aortenaneurysmen im Rahmen der Brust-MRT etabliert. Alle Beiträge zielen darauf ab, das Screening effizienter und zielgerichteter zu gestalten, sowohl im Hinblick auf die Krebserkennung als auch darüber hinaus.

Ziel der ersten Studie ist es, ein strahlen- und kontrastmittelfreies Brustkrebs-Screening zu ermöglichen, basierend auf DWI mit hohen b-Werten, einem vielversprechenden, sich noch etablierenden Protokoll. Hierfür wurde ein Deep Convolutional Network zur Tumorerkennung trainiert und in eine speziell entwickelte Computer-Aided Detection-Oberfläche integriert, die bei der radiologischen Befundung unterstützt. Die Software prüft automatisch Metadaten, erkennt Artefakte und ist für den klinischen Einsatz optimiert. In einer Leserstudie konnte gezeigt werden, dass die KI-gestützte Unterstützung insbesondere bei weniger erfahrenen Radiolog:innen zu einer deutlich höheren diagnostischen Sicherheit führt (vergleichbar mit Fachärzt:innen). Gleichzeitig verringerte sich die Rate unklarer Befunde, die Übereinstimmung zwischen den Leser:innen nahm zu und der Befundungsaufwand konnte reduziert werden. Diese Ergebnisse liefern starke Argumente für den Einsatz kontrastmittelfreier Kurzprotokolle in der Brustkrebsfrüherkennung und unterstreichen das Potenzial einer nahtlosen Integration in die klinische Routine.

Die zweite Studie widmet sich einem grundsätzlichen Problem gängiger Methoden zur Objekterkennung in der medizinischen Bildanalyse: Sie behandeln alle Befunde gleichwertig,

ungeachtet ihres tatsächlichen klinischen Risikos. Zur Lösung wurden zwei Ansätze entwickelt: Zum einen eine risikoadjustierte Bewertungsmetrik auf Basis der Free-Response Receiver Operating Characteristic, die die prognostische Relevanz einzelner Läsionen berücksichtigt. Zum anderen eine modifizierte Focal Loss, die dem Training stärkeres Gewicht auf klinisch relevante Befunde gibt und weniger relevante falsch-positive Erkennungen unterdrückt. Getestet wurden beide Ansätze auf DWI- und Dynamic Contrast-Enhanced (DCE)-MRT-Datensätzen. Die Modelle lernten dabei, den Fokus verstärkt auf gefährlichere Befunde zu legen, mit klaren Vorteilen in der Unterscheidung auf Patientenebene. Darüber hinaus zeigte sich das neue Bewertungsverfahren als praxisnäher und robuster im Vergleich zu herkömmlichen, größenbasierten Analysen. Insgesamt bietet das vorgeschlagene Konzept eine methodische Grundlage für die Entwicklung KI-gestützter Diagnosewerkzeuge, die besser an die tatsächlichen Prioritäten der klinischen Entscheidungsfindung angepasst sind.

Die dritte Studie nutzt eine bisher wenig beachtete Möglichkeit: Da die thorakale Aorta im Sichtfeld der Brust-MRT liegt, lässt sich dieses Routineverfahren durch Einsatz von KI auch zur Mitbeurteilung potenziell gefährlicher Aortenaneurysmen nutzen, ohne zusätzlichen Aufwand für Patienten oder Radiolog:innen. Die Analyse basiert auf frühen Phasen der DCE-MRT und ist somit mit bestehenden Protokollen kompatibel. Mittels modernster Segmentierungsverfahren wurde die thorakale Aorta in mehr als 5000 MRT-Aufnahmen automatisiert vermessen. Überschreitungen etablierter Grenzwerte führten zur Markierung eines potenziellen Aneurysmas. Im Vergleich zur regulären Befundung konnten mit diesem Verfahren 3,5-mal so viele Aneurysmen erkannt werden. Bemerkenswert ist zudem ein möglicher Zusammenhang zwischen Brustkrebs und thorakalen Aneurysmen, der erstmals beschrieben werden konnte (wenn auch aufgrund der niedrigen Fallzahlen weiterer Forschung bedarf). Der wesentliche Vorteil: Es sind keine zusätzlichen Untersuchungen notwendig. Die KI arbeitet im Hintergrund und liefert strukturierte, leicht integrierbare Zusatzbefunde. Damit entsteht ein innovatives Konzept des opportunistischen Screenings, das die Brust-MRT zu einem multifunktionalen Diagnoseinstrument macht, ohne Mehraufwand, aber mit großem potenziellen Nutzen.

Die drei Studien dieser Arbeit zeigen exemplarisch, wie KI in der Brustbildgebung sinnvoll eingesetzt werden kann, nicht nur zur Verbesserung der Krebsdiagnostik, sondern auch zur Erweiterung des diagnostischen Spektrums. Statt sich auf rein technische Lösungen zu beschränken, werden Fragen der klinischen Relevanz, der Benutzerfreundlichkeit und der Systemintegration konsequent mitgedacht. Das Ziel: Werkzeuge zu schaffen, die nicht nur leistungsstark, sondern auch praktikabel, vertrauenswürdig und breit einsetzbar sind, im Sinne einer modernen, patientenzentrierten Radiologie.