

Shengkai Zhao

Dr. sc. hum.

AI-based Scoring for Chest X-ray to Assess Lung Disease of Cystic Fibrosis Patients and Correlation with Lung Function Testing and Chest Magnetic Resonance Imaging

Einrichtung: Radiologie

Doktorvater: Prof. Dr. med. Hans-Ulrich Kauczor

Mukoviszidose (CF) ist die häufigste frühletale Erbkrankheit in der weißen Bevölkerung. Dank therapeutischer Fortschritte hat sich die durchschnittliche Lebenserwartung deutlich verlängert, sodass eine longitudinale Bildgebung heute unverzichtbar ist – oft aussagekräftiger als alleinige, periodische Lungenfunktionstests. Die hochauflösende CT zeigt CF-typische Pathologien in hervorragender Detailtreue, doch kumulative Strahlendosis und begrenzte Scannerkapazitäten machen wiederholte CT-Untersuchungen zu einer selten präferierten Option, insbesondere bei Kindern. Die MRT liefert strahlungsfreie Funktions- und Strukturdaten, ist jedoch schwer verfügbar, zeitaufwendig und erfordert bei pädiatrischen Patienten häufig eine Sedierung. Daher bleibt das Thoraxröntgen – schnell, kostengünstig und weltweit verfügbar – die am meisten eingesetzte Modalität und dies trotz seiner 2-D-Projektion und der besonderen Herausforderungen in der Befundung.

Wir präsentieren einen sehr effizienten End-to-End-KI-Workflow, der komplexe CF-Lungenmerkmale aus einfachen Röntgenaufnahmen automatisch extrahiert und in klinisch relevante Scores überführt. Ein Deep-Learning-Netzwerk prognostiziert zunächst morphologische und funktionelle Auffälligkeiten auf Basis etablierter visueller MRT-Scores. Anschließend konvertiert ein zentroidbasierter Klassifikator kontinuierliche Lungenfunktionsparameter (LCI und ppFEV1) in eine 13-stufige Skala, die sich an den MRT-Perfusionsscores orientiert. Durch die Fusion dieser bild- und funktionsbasierten Informationen entsteht ein umfassendes Abbild der CF-Lungenerkrankung. Nach unserem Wissen ist dies die erste Studie, die die Sensitivität eines röntgenbasierten Scores – sowohl des KI-basierten MRT-Surrogats als auch des modifizierten Chrispin-Norman scores – gegenüber der hochwirksamen ETI-Therapie belegt.

Die vorgeschlagenen Algorithmen automatisieren Scoring und Integration äußerst effizient. Die Therapieempfindlichkeit des modifizierten Chrispin-Norman scores bestätigt, dass Röntgenaufnahmen subtile pathologische Veränderungen detektieren können; die hohe Korrelation zwischen KI-vorhergesagten MRT-Scores und MRT Befunde von Experten sowie deren gemeinsame Empfindlichkeit, Therapieeffekte von ETI zu erkennen, unterstreichen die Fähigkeit des Modells, klinisch relevante Merkmale aus einer einzigen Aufnahme zu extrahieren. Höhere Korrelationskoeffizienten und akzeptable Varianzen zeigen, dass das hybride KI-Modell Funktionsdaten und strukturelle Bildinformationen effektiv zusammenführt. Der zentroidbasierte Ansatz bietet zudem einen flexiblen Rahmen, um bei Bedarf weitere Lungenfunktionsparameter einzubeziehen.

Limitationen ergeben sich vor allem aus einem Selektionsbias und der begrenzten Bandbreite an MRT-Stadien im Trainingsdatensatz. Dennoch könnte dieses neuartige Modell das CF-Management verändern. Dies insbesondere für die Radiologie in ressourcenlimitierten Regionen und bei pädiatrischen Patienten, indem es die Abhängigkeit von kosten- und zeitintensiven Bildgebungsverfahren reduziert. Fortschreitende KI-Entwicklungen und größere, longitudinale Datensätze dürften die Leistungsfähigkeit des Modells weiter steigern.

Zusammenfassend stellt der Hybrid-Score einen innovativen Schritt dar, um routinemäßige Thoraxröntgenaufnahmen für ein Monitoring fortschreitender Krankhausstadien bei Mukoviszidose zu nutzen. Durch die Verknüpfung röntgenbasierter struktureller Quantifizierung mit klinischen Daten entsteht ein robustes Framework für eine automatisierte und verbesserte Röntgeninterpretation, dass die Beurteilung der CF-Lungenerkrankung in allen Altersgruppen potenziell ergänzt. Letztlich besitzt dieser Ansatz das Potenzial, in vielen Szenarien ressourcenintensivere Modalitäten nicht nur zu ergänzen, sondern zu ersetzen und so die Patientenversorgung sowie den klinischen Workflow zu optimieren.