

Knochenunterdrückung für Thorax-Röntgenaufnahmen

Einführung

Die Thoraxradiografie ist nach wie vor die meistverwendete Methode zur Untersuchung und Diagnose von Lungenerkrankungen, wie z. B. Lungenkrebs, Pneumothorax, der interstitiellen Lungenerkrankung, Lungenemphysemen und vielen anderen. Die Erkennbarkeit einer Lungenerkrankung auf einer Thorax-Röntgenaufnahme wird durch das Signal-Rauschverhältnis (SRV) im Bild beeinträchtigt. Kontrastreiche Knochenstrukturen tragen stark zu einer wesentlichen Verringerung des SRV auf Thorax-Röntgenaufnahmen bei. Ein interessantes Signal auf einer Thorax-Röntgenaufnahme könnte durch angrenzende, kontrastreiche Knochenstrukturen entweder teilweise oder vollständig verdeckt oder „überschattet“ sein. Daher ist es sehr erstrebenswert, diese Knochenstrukturen, vor allem die posterioren Rippen- und Schlüsselbeinstrukturen, zu entfernen, um die Sichtbarkeit des Weichgewebes zu verbessern.

Moderne Techniken der Röntgenbildgebung, wie z. B. die 3D-Bildgebung (CT und Tomosynthese) und die duale Energiesubtraktion, wurden entwickelt, um das Bildrauschen durch überlappende Knochenstrukturen zu entfernen und so die Sichtbarkeit des Weichgewebes zu verbessern. Diese fortschrittlichen Bildgebungstechnologien können jedoch die Thoraxradiografie aufgrund ihrer Effizienz, ihrer geringen Strahlendosis, ihrer geringen Kosten und insbesondere ihrer mobilen Einsatzmöglichkeiten nicht ersetzen. Die Thoraxradiografie spielt bei Patienten auf Intensivstationen eine wesentliche Rolle. Fortschrittliche Bildgebungstechniken sind nicht für die Verwendung auf Intensivstationen optimiert, auf denen die Tragbarkeit und Mobilität von Geräten erforderlich oder sehr wünschenswert sind.

Die Bone Suppression Software von Carestream bietet eine Lösung zur Unterdrückung von Knochenstrukturen, einschließlich der posterioren Rippen und Klavikel, sowohl bei herkömmlichen als auch bei tragbaren Thorax-Röntgenaufnahmen. Die Lösung benötigt keine zusätzlichen Verfahren oder Strahlendosen. Die Software verarbeitet die Thorax-Röntgenaufnahmen mithilfe maschineller Lernverfahren und Mustererkennungstechnologien, um die Rippen- und Schlüsselbeinstrukturen präzise zu erkennen und die Strukturprofile zu errechnen, die im nachfolgenden Unterdrückungsschritt verwendet werden. Dieses Verfahren der Knochenunterdrückung ist auf die erkannten Strukturen begrenzt, damit unnötige Änderungen an den Originalbildern auf ein Minimum beschränkt werden können. Die Software ist darauf ausgelegt, die Darstellung kontrastreicher Knochenstrukturen zu unterdrücken, während die Integrität der Bildqualität, insbesondere die Kontraststufe der Details, so nah wie möglich am Original bleibt.

CARESTREAM Bone Suppression Software

Die CARESTREAM Bone Suppression Software nimmt ein Bild von einem Erfassungsgerät auf (DR oder CR) und verarbeitet es gemäß den in Abbildung 1 dargestellten Schritten. Zur Bildverarbeitung gehören fünf Hauptschritte: 1) Lungensegmentierung, 2) Erkennung von Rippen- und Schlüsselbeinstrukturen, 3) Erkennung der Rippen- und Schlüsselbeinränder 4) Profilberechnung für die Ränder von Rippen und Schlüsselbein und 5) Unterdrückung auf Grundlage der errechneten Profile. Die Knochenunterdrückungssoftware gibt ein Bild aus, bei dem sowohl die posterioren Rippen- als auch Schlüsselbeinstrukturen unterdrückt sind. Das unterdrückte Bild wird anschließend auf die gleiche Weise wie das Originalbild für die Visualisierung optimiert und als Abbildansicht verwendet.

White Paper | CARESTREAM-Bone Suppression Software

Die in Abbildung 2 dargestellten Beispielbilder veranschaulichen einige der Schritte zur Rippenunterdrückung. Die Rippenerkennung wird im segmentierten Lungenfeld durchgeführt. Die gefundenen Rippen in Abbildung 2(c) werden weiter verarbeitet, um die Rippenränder genau zu erkennen. Für die erkannten Rippen werden Rippenprofile errechnet und im nachfolgenden Unterdrückungsprozess verwendet. Der Unterdrückungsprozess ist ausschließlich auf die Rippenbereiche beschränkt. Bereiche außerhalb der Rippen sind davon nicht betroffen. Außerdem werden, wie in Abbildung 2(d) gezeigt, die Rippenränder ausreichend unterdrückt. Es erfolgt keine zusätzliche Bildverarbeitung, insbesondere keine Bildglättung, um die Bildschärfe zu reduzieren. Entscheidend ist, dass die Bildqualität (d. h. die Kontraststufe der Details) von Bildern mit Knochenunterdrückung so nah wie möglich

am Originalbild bleibt, damit sowohl größere Auffälligkeiten mit geringem Kontrast (wie in Abbildung 4 dargestellt) als auch feine Linienstrukturen (ein Pneumothorax, wie in Abbildung 3 dargestellt) aufgrund der Unterdrückung des Bildrauschens durch Knochenstrukturen besser zu erkennen sind.

Beim Bildoptimierungsschritt wird die standardmäßige CARESTREAM DirectView EVP Plus-Software verwendet, um die Abbildansicht mit Rippenunterdrückung zu erstellen. Die Bilder mit Rippenunterdrückung können jedoch mit anderer Bildverarbeitungssoftware von Carestream weiter optimiert werden, z. B. zur Optimierung der Pneumothorax-Darstellung (CARESTREAM Software zur besseren Erkennbarkeit eines Pneumothorax), wie in Abbildung 3(c) dargestellt. Derzeit wird diese Option nicht angeboten.

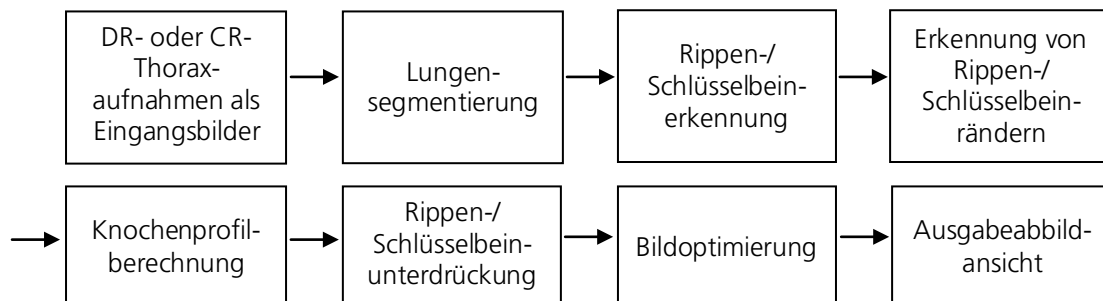


Abbildung 1: Bildverarbeitungskette zur Erstellung einer Abbildansicht mit Knochenunterdrückung

White Paper | CARESTREAM-Bone Suppression Software

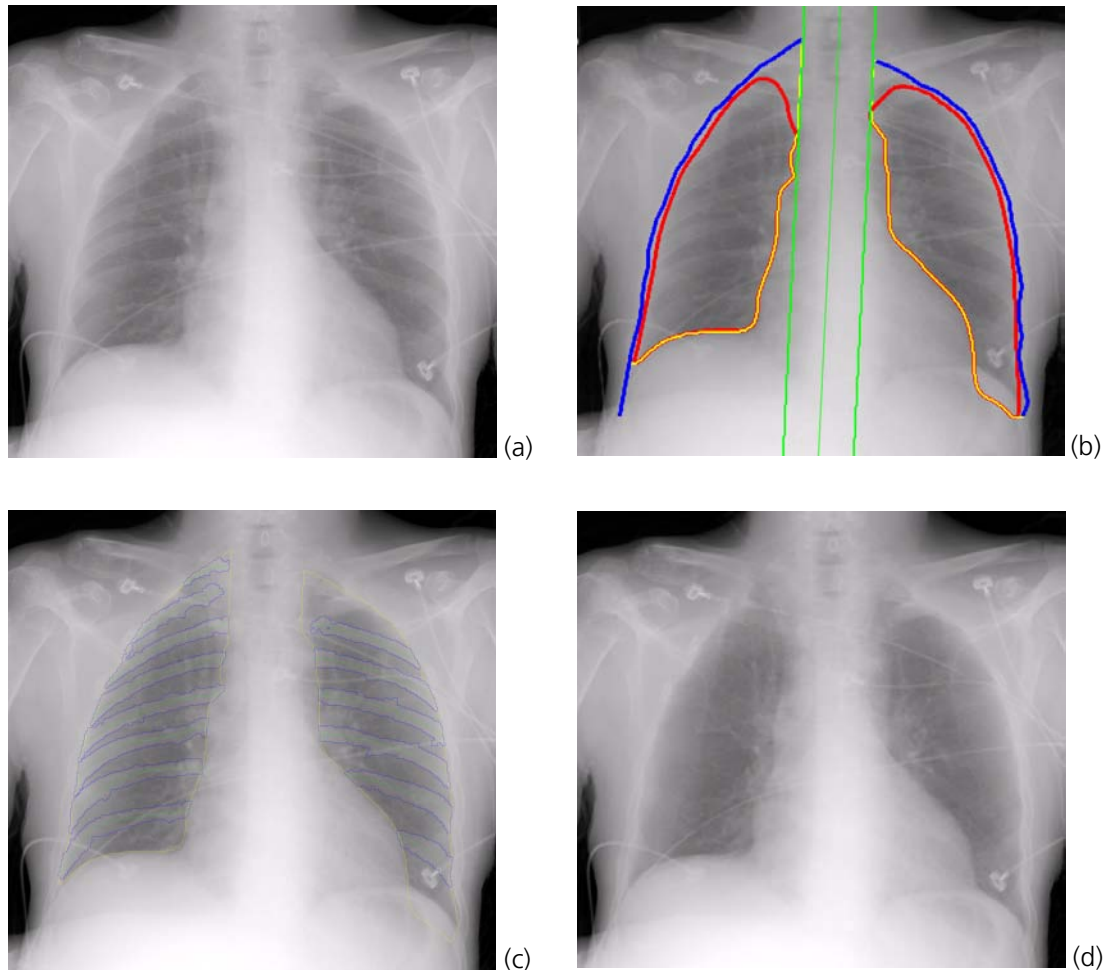


Abbildung 2: a) Eine Thoraxröntgenaufnahme von einem mobilen CR-Gerät; b) das Bild mit erkannten Rippen; c) das Bild mit unterdrückter Rippendarstellung.

Abbildung 3 zeigt ein mobiles CR-Bild mit einem Pneumothorax im oberen Bereich der rechten Lunge und die dazugehörige Abbildansicht mit Rippenunterdrückung. Das Bild mit Rippenunterdrückung wird mit der CARESTREAM Software zur besseren Erkennbarkeit eines Pneumothorax weiter verarbeitet. Aus jedem der drei Bilder wird der Bereich mit dem Pneumothorax ausgewählt. Wie in Abbildung 3(d) gezeigt, bleibt der Detailkontrast bei Bildern mit Rippenunterdrückung gut erhalten, um die Anzeichen eines leichten Pneumothorax darzustellen, d. h. den Rand der kollabierten Lunge und den Strukturunterschied zwischen den durch den Rand voneinander getrennten Bereichen.

Abbildung 4 zeigt ein DR-Bild mit einer großen, durch CT-Aufnahmen bestätigten, Anomalie hinter dem rechten Schlüsselbein und der obersten Rippe. Wie in Abbildung 4(b) gezeigt, sind die Form und Größe der Anomalie nach der Unterdrückung von Klavikel und Rippe wesentlich leichter zu sehen. Dies zeigt, dass die Software akkurat die Knochenstrukturprofile errechnet und Bereiche mit großen Strukturen oder Anomalien nicht übermäßig unterdrückt.

White Paper | CARESTREAM-Bone Suppression Software

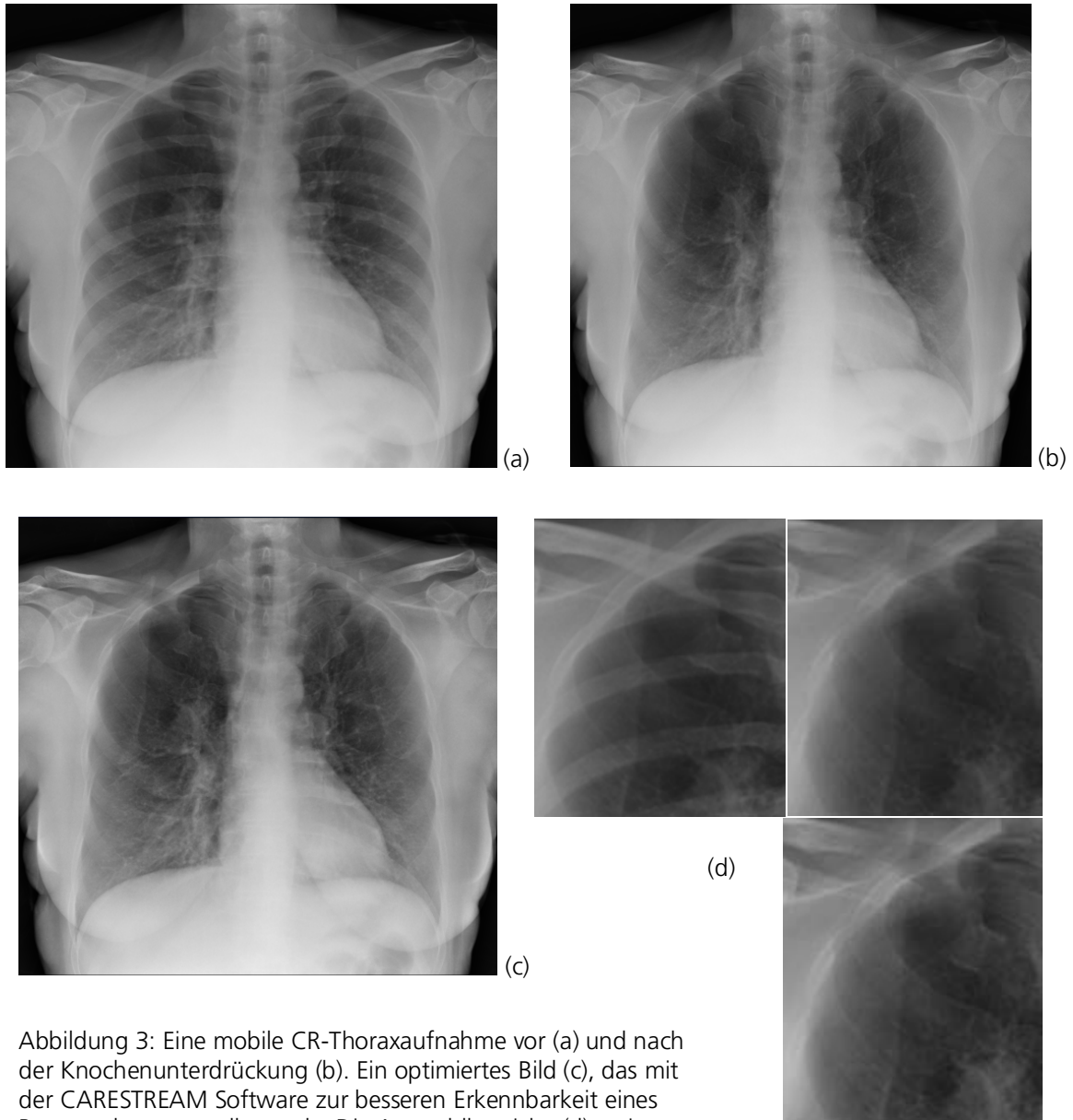
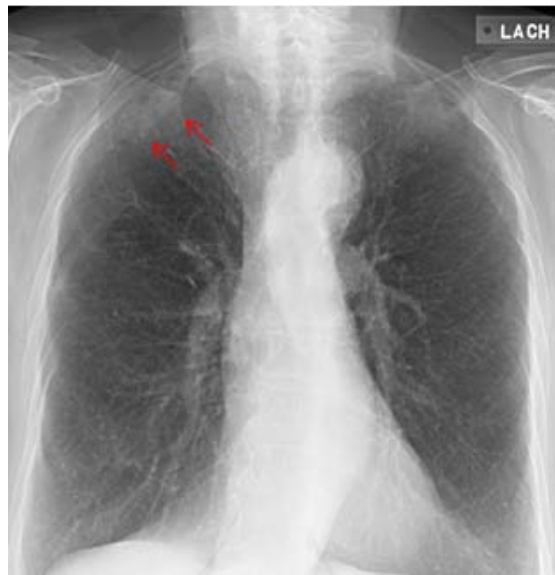


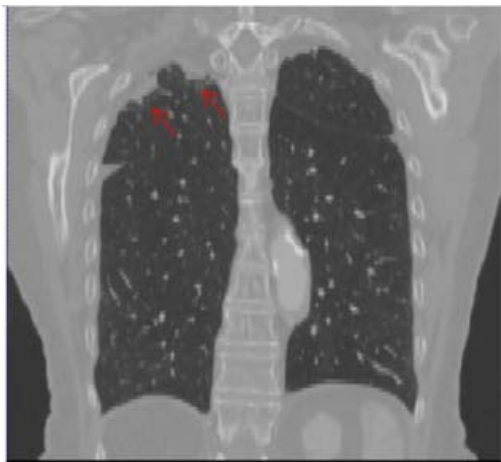
Abbildung 3: Eine mobile CR-Thoraxaufnahme vor (a) und nach der Knochenunterdrückung (b). Ein optimiertes Bild (c), das mit der CARESTREAM Software zur besseren Erkennbarkeit eines Pneumothorax erstellt wurde. Die Auswahlbereiche (d) weisen einen Pneumothorax im oberen Bereich der rechten Lunge auf, was zeigt, dass der Detailkontrast bei der Rippenunterdrückung gut erhalten bleibt.



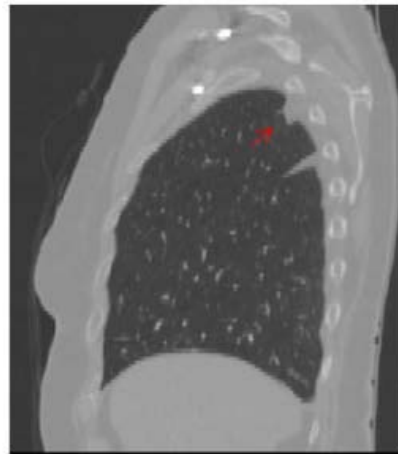
(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 4: Eine herkömmliche DR-Thoraxaufnahme (a) und die dazugehörige Abbildansicht mit Rippenunterdrückung (b). CT-Aufnahmen (koronale und sagittale Ansichten) desselben Patienten. Pfeile weisen auf dieselben großen Anomalien hin.

Abbildansichten mit Knochenunterdrückung verbessern die Erkennung von Lungenknötchen und Pneumothoraces

Um den Vorteil der CARESTREAM Bone Suppression Software zu demonstrieren, wurden Untersuchungen mit Befunden durchgeführt. Dabei wurde ihre Leistung bei der Erkennung von Lungenknötchen und Pneumothoraces mit und ohne Abbildansicht mit Knochenunterdrückung bewertet. An beiden Untersuchungen nahmen fünf zertifizierte Radiologen mit unterschiedlicher Erfahrung mit Thorax-Röntgenaufnahmen teil. Die Radiologen wurden zunächst gebeten, die Position von Lungenerkrankungen wie Knötchen, Pneumothorax, Fibrose, Granulom und interstitiellen und Rippenfellerkrankungen sowie anderen Arten von Anomalien auf einer Thorax-Röntgenaufnahme ohne Abbildansicht zu markieren. Anschließend wurden sie gebeten, nach der Präsentation der Abbildansicht beliebige Änderungen an ihren ersten Feststellungen vorzunehmen. Sie durften zusätzliche Auffälligkeiten markieren, die Art der zuerst ermittelten Lungenerkrankung ändern oder die ersten Markierungen entfernen. Außerdem sollten Sie eine subjektive Einschätzung (deutlich besser, besser, gleich oder schlechter) dazu abgeben, wie gut sie das Lungenparenchym und die Anomalien wahrnehmen und bestimmen können, und bei jedem Fall nach der Präsentation der Abbildansicht angeben, wie sicher sie sich bei ihren Diagnosen über das Vorliegen oder Nichtvorliegen einer Anomalie waren (sicherer, gleich oder weniger sicher).

Untersuchungsreihe zur Knotenerkennung

Bei der Untersuchungsreihe zur Knotenerkennung wurden herkömmliche digitale PA-Thoraxradiografien von 50 Personen verwendet. Diese Bilder wurden aus einer öffentlich zugänglichen Datenbank, dem „Lung Image Database Consortium“ (LIDC) und der Image Database Resource Initiative (IDRI) ausgewählt. Sie wurden gesammelt, um eine Datenbank häufiger Lungenknoten sowohl für CT-Thoraxaufnahmen als auch für digitale Thoraxradiografien aufzubauen¹. Zunächst wurden auf den CT-Aufnahmen mögliche Knoten mit Größen zwischen 3 und 30 mm (per CT gemessen) entdeckt. Die Position dieser per CT bestätigten Knoten wurde von vier erfahrenen Thoraxradiologen mit Anmerkungen zur Diagnosesicherheit markiert („definitiv nicht sichtbar“, „möglicherweise sichtbar“ oder „definitiv sichtbar“). Die Einzelheiten zur Wahrheitsfindung bei den Knoten sind an anderer Stelle zu finden¹. Bei den insgesamt 50 DR-Bildern wurden insgesamt 49 mit CT bestätigte Knoten als entweder „möglicherweise sichtbar“ oder „definitiv sichtbar“ erkannt.

Die Ergebnisse der Untersuchungsreihe zur Knotenerkennung zeigten, dass die durchschnittliche Sensibilität nach der Präsentation der Abbildansicht mit Rippenunterdrückung von 51 % auf 58,2 % stieg. - Insgesamt zeigte sich bei den fünf Probanden eine statistisch relevante, durchschnittliche Sensibilitätssteigerung um 7,2 % bei der Erkennung von per CT bestätigten Knoten ($p=0,01$). Die durchschnittliche Anzahl falsch positiv (FP) Erkennungen stieg von anfänglich 0,244 auf 0,28 pro Bild. Dieser Unterschied lag nicht im statistisch relevanten Bereich ($p=0,25$).

Untersuchungsreihe zur Pneumothoraxerkennung

Bei der Untersuchungsreihe zur Pneumothoraxerkennung wurden mobile CR-Thorax-Röntgenaufnahmen von 65 Personen verwendet. Bei 37 davon wurde mindestens ein Pneumothorax bestätigt. Diese Bilder wurden aus einer Datenbank von über 200 mobilen CR-Aufnahmen ausgewählt, die zur Bewertung der CARESTREAM Software zur besseren Erkennbarkeit eines Pneumothorax gesammelt wurden². Die Bilder wurden, basierend auf der von zwei Thoraxradiologen bewerteten Größe und Feinheit, so gewählt, dass es eine Auswahl von Pneumothoraces mit verschiedenen Feinheiten gab.

Die Ergebnisse der Pneumothoraxerkennung zeigten, dass die durchschnittliche Sensibilität von fünf Befundern von 74 % auf 83,2 % stieg, nachdem die Abbildansicht mit Rippenunterdrückung präsentiert wurde. Eine auf dem t-Test für gekoppelte Daten basierende Analyse zeigte, dass die durchschnittliche Verbesserung (9,2 %) statistisch relevant war ($p=0,001$). Insgesamt stieg die Sensibilität der fünf Befunder um jeweils mindestens 8,1 %. Diese Verbesserung führt dazu, dass die drei Besten bei der Erkennung von Pneumothoraces ohne zusätzliche FP-Erkennung eine Sensibilität von 89 %, 97 % bzw. 100 % erreichten. Die durchschnittliche Anzahl falsch positiver Erkennungen je Bild stieg von anfänglich 0,025 auf 0,040 pro Bild.

Dieser Unterschied lag allerdings nicht im statistisch relevanten Bereich ($p=0,19$). Wir konnten zeigen, dass die Optimierung des Bildes mit Rippenunterdrückung durch die CARESTREAM Software zur besseren Erkennbarkeit eines Pneumothorax die Erkennungsrate von Pneumothoraces bei den beiden schlechter Abschneidenden um weitere 8 % gesteigert werden konnte.

Auswirkungen auf die Diagnosesicherheit

Eine Analyse der subjektiven Bewertungen in beiden Untersuchungen zeigte, dass die Verwendung der Abbildansicht mit Rippenunterdrückung die Fähigkeit des Befunders verbesserte, das Lungenparenchym und die Anomalien zu erkennen. Im Durchschnitt schätzten sie ihre Fähigkeit das Parenchym und die Anomalien zu erkennen, bei 74 % und 59 % aller Bilder (115) nach der Präsentation der Abbildansicht mit Rippenunterdrückung als deutlich besser oder besser ein. Dies spiegelte auch ihre verbesserte Diagnosesicherheit bezüglich des Vorliegens oder Nichtvorliegens einer Anomalie wider. Ihren Einschätzungen zufolge waren sie sich bei 58 % der Bilder nach der Präsentation der Abbildansicht mit Rippenunterdrückung bei der Diagnose sicherer.

White Paper | CARESTREAM-Bone Suppression Software

Zusammenfassung

Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass die Verwendung der CARESTREAM Bone Suppression Software die Fähigkeit von Radiologen verbesserte, das Lungenparenchym und Anomalien zu erkennen, und ihre Diagnosesicherheit bezüglich des Vorliegens oder Nichtvorliegens einer Anomalie auf Thoraxröntgenaufnahmen erhöhte. Die Untersuchungsreihe zur Knotenerkennung zeigte, dass die Verwendung der Knochenunterdrückung die Sensibilität von Radiologen bei der Erkennung von CT-bestätigten Knoten um 7,2 % steigerte, und dass die FP-Erkennungsrate um 0,04/Bild stieg. Die Untersuchungsreihe zur Pneumothoraxerkennung zeigte, dass die Verwendung der Knochenunterdrückung die Sensibilität des einzelnen Radiologen bei der Erkennung von Pneumothoraces um mindestens 8,1 % steigerte und die FP-Erkennungsrate dabei nicht oder kaum anstieg (0,015/Bild).

Die Interpretation von Thoraxaufnahmen stellt eine große Herausforderung dar. Das Aussehen und die Merkmale verschiedener Lungenerkrankungen können in Größe, Form und Kontrast stark variieren. Es ist wichtig, dass eine Lösung zur Knochenunterdrückung die Bilddetails erhalten kann, damit das SRV nach der Knochenunterdrückung für eine Reihe von Lungenerkrankungen verbessert werden kann. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten die Fähigkeit der CARESTREAM Bone Suppression Software, die Erkennung von Lungenerkrankungen mit verschiedenen Merkmalen, d. h. Lungenknoten und Pneumothoraces, zu verbessern. Wir erwarten, dass die Software Radiologen und Ärzten auf Intensivstationen eine Möglichkeit bietet, durch gesteigerte Effektivität und Effizienz ihre Erfahrungen bei der Interpretation von Thoraxröntgenaufnahmen zu optimieren.

Literaturnachweis:

¹ Armato SG III, McLennan G, Bidaut L, McNitt-Gray MF, Meyer CR, Reeves AP, Zhao B, Aberle DR, Henschke CI, Hoffman EA, Kazerooni EA, MacMahon H, van Beek EJR, Yankelevitz D, et al.: The Lung Image Database Consortium (LIDC) und Image Database Resource Initiative (IDRI): A completed reference database of lung nodules on CT scans. (Eine vollständige Referenzdatenbank von Lungenknoten auf CT-Aufnahmen.) Medical Physics, 38: 915--931, 2011.

² Shoushtari H, Ley-Zaporozhan J, Karimzad Y, Menezes R, Odedra D, Jimenez-Juan L, Leon Zelovitsky L, Paul NS: Enhanced Pneumothorax Visualization in ICU Patients (Verbesserte Pneumothoraxerkennung bei Patienten der Intensivmedizin), Jahresversammlung der Radiological Society of North American (RSNA), Dezember 2013.