Reduktion der Strahlenbelastung durch Fortschritte in der Computertomographie

Andreas Christe, Johannes T. Heverhagen
Universitätsinstitut für Diagnostische, Interventionelle und Pädiatrische Radiologie, Inselspital, Universität Bern

Vor nicht allzu langer Zeit wurde die Computertomographie (CT) als aussterbendes Fossil der Röntgenära bezeichnet. Mittlerweile wurde diese Aussage Lügen gestraft: Spätestens nach der Einführung der Herz-CT, der iterativen Rekonstruktion und der neuen Detektorgeneration ist der Fokus der Radiologie wieder näher zur Computertomographie gerückt. Aber der Reihe nach.

CT-Entwicklung dank der Beatles

Zuerst kam Konrad Röntgen (1845–1923), danach Geoffrey Hounsfield (1919–2004). Erstgenannter erhielt 1901 den Nobelpreis für die Entdeckung der nach ihm benannten Strahlen, der Zweite erhielt 1979 den Nobelpreis für die Entwicklung der CT. Nicht zuletzt dank den Beatles ist es Hounsfield gelungen, 1975 einen Ganzkörper-CT-Scanner zu bauen. Beide – die Beatles und Sir Hounsfield – waren bei EMI (Electric and Music Industries Ltd) unter Vertrag. Die hohen Ausgaben zur CT-Entwicklung (1967–1975) konnten nur dank den enormen Einnahmen durch die Beatles gedeckt werden. Ein Meilenstein der CT-Entwicklung war sicher die Einführung der Spiral- oder Helix-CT im Jahr 1989 durch Willi A. Kalender und Peter Vock [1]. Weitere Fortschritte bildeten die Mehrzeilen-CT, die Dual-Source-CT und die Dual-Energy-CT. Erst 2009 war die Rechenleistung der Computer gross genug, um kommerzielle CT mit iterativer Bildrekonstruktion herzustellen. Der letzte Coup der Firma Siemens war die Einführung der Stellar-Detektoren 2011. Dank den zwei letzten Errungenschaften wurde es möglich, die Strahlendosis in der CT-Diagnostik so stark zu senken, dass die Angst vor den Röntgenstrahlen etwas in den Hintergrund rückte.
Die iterative Bildrekonstruktion ist nichts Neues, schon Hounsfield hat sie bei seinem ersten Scanner gebraucht. In der Praxis erwies sich die gefilterte Rückprojektion allerdings als viel effizienter, bis die Rechenkapazität der Computer 2009 ein Mass erreichte, das die aufwendigere Iteration zuliess. Es geht in der CT darum, ein Schnittbild zu generieren, basierend auf der Röntgenstrahlabschwächung durch den Körper des Patienten. Diese zirkulär in der Röhre gemessenen Abschwächungswerte wurden bei der Rückprojektion bis anhin für jede Winkelposition zurück auf ein virtuelles Pixelfeld (eigentlich Voxelfeld) in der Patientenschnittebene geworfen und gemittelt. Bei der iterativen Bildrekonstruktion hingegen werden diese Abschwächungswerte für jedes Pixel anhand der effektiven Absorption in einer gewissen Richtung für jede Winkelposition nacheinander justiert (wie bei einem Sudoku-Rätsel). Dieser Durchgang ist leider nach einer 360°-Iteration noch nicht fertig. Für den klinischen Alltag braucht es meistens drei Iterationen, was bedeutend zeitaufwendiger ist als die Rückprojektion. Dank dieser neuen Bildrekonstruktion ist es allerdings möglich, mit rund 50% der ursprünglich benötigten Strahlendosis Bilder zu generieren – und zwar mit der gleichen Bildqualität [2, 3].
Ein weiteres Problem bei der Bildgeneration ist das elektronische Rauschen, das zu einem erheblichen Verlust von Bildqualität führt. Dieses Rauschen konnte mit einem neuen Detektor deutlich gesenkt werden: Der analog-digital-Converter wurde mit der Photodiode des CT-Detektors in den gleichen Silicon-Chip integriert (Stellar detector, Siemens Healthcare, Erlangen, Deutschland). In einer Phantomstudie konnten wir zeigen, dass die Strahlendosis nochmals um 50% verringert werden kann, ohne Verlust von Bildqualität, insbesondere im Niedrigdosisbereich.

Andreas Christe

Ein CT mit der Strahlendosis eines Thoraxröntgens

Mit Hilfe dieser neuen Errungenschaften und mit dem tiefsten wählbaren Röntgenröhrenstrom und der tiefstmöglichen Röhrenspannung ist es uns kürzlich ge-

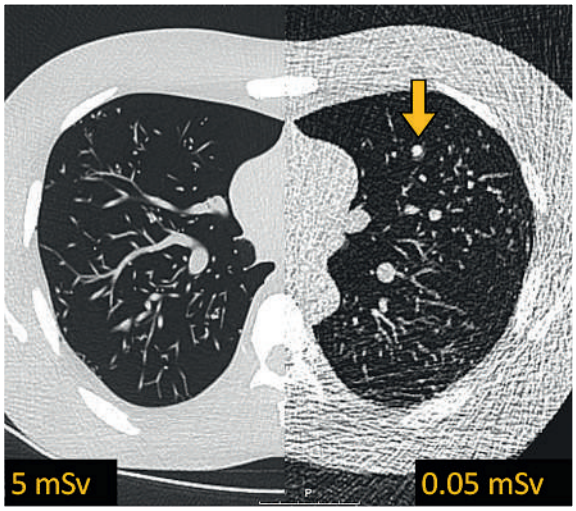

Abbildung 1
Hochdosis-Lungenphantom-CT mit einer Äquivalenzdosis von 5 Millisievert (mSv) auf der linken Seite mit höchster Bildqualität. Im Vergleich dazu auf der rechten Seite eine CT-Untersuchung akquiriert mit 100-mal geringerer Dosis, entsprechend der Strahlenbelastung eines normalen Thoraxröntgenbildes. Trotz zusätzlichem Bildrauschen ist der 4 mm grosse künstliche Lungenknoten gut erkennbar (Pfeil).

lungen, die erste Thorax-CT zu generieren mit der Dosis einer konventionellen Thoraxröntgenuntersuchung (Abb. 1). Es erscheint selbsterklärend, dass die Bildqualität geringer ist als im herkömmlichen CT. Das Bildrauschen steigt nämlich umgekehrt proportional zum Röntgenstrom und im Quadrat zur erniedrigten Spannung. Mit dieser Niedrigdosistechnik kann die Strahlung im Vergleich zum Standard-CT fast um den Faktor 100 gesenkt werden, ohne dass die Bildqualität im selben Masse leidet. Sicherlich erreicht diese Niedrigstdosis-CT noch nicht die diagnostische Bildqualität einer Standard-CT, aber es bleibt zu untersuchen, ob Lungenkrankheiten nicht besser zu detektieren sind als mit einer konventionellen Thoraxuntersuchung.

Auch einer zukünftigen Lungenkarzinom-Früherkennung scheint aus Sicht des Strahlenschutzes nicht mehr viel im Weg zu stehen. Laut der letztjährigen Studie des National Lung Screening Trials braucht es 320 Screening-CTs, um einen Lungenkrebstod zu verhindern [4]. Dieses Resultat überflügelt das Risiko, einem strahleninduzierten Krebs zu erliegen, bei weitem, selbst bei Gebrauch einer Standard-CT. Allerdings wäre es sinnvoll, eine Mitteldosis-CT anzuwenden für jährliche Kontrollen einer Raucherpopulation, denn bei mittlerer Dosis ist die Sensitivität für Lungenknoten nicht beeinträchtigt [5].

Trotz dieser Erfolge in der Strahlendosisreduktion darf nie vergessen werden, dass die CT immer noch mit Röntgenstrahlen funktioniert und diese potentiell teratogen und kanzerogen sind, insbesondere für junge Patienten. Deshalb gilt für die CT weiterhin der Grundsatz des Strahlenschutzes: «ALARA: As Low As Reasonably Achievable.»

Korrespondenz:
PD Dr. med. Andreas Christe
Universitätsinstitut für Diagnostische, Interventionelle und Pädiatrische Radiologie
Inselspital, Universität Bern
Freiburgstrasse 10
CH-3010 Bern
andreas.christe[at]insel.ch

Literatur

1 Kalender WA, Seissler W, Klotz E, Vock P. Spiral Volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport and continuous scanner rotation. Radiology. 1990;176:181–3.
2 Pontana F, Duhamel A, Pagniez J, et al. Chest computed tomography using iterative reconstruction vs filtered back projection (Part 2): image quality of low-dose CT examinations in 80 patients. Eur Radiol. 2011;21(3):636–43.
3 Hara AK, Paden RG, Silva AC. Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: feasibility study. Am J Roentgenol. 2009;193(3):764–71.
4 National Lung Screening Trial Research Team: Aberle DR, Adams AM, Berg CD, et al. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. N Engl J Med. 2011;365(5):395–409.
5 Christe A, Torrente JC, Lin M, Yen A, Hallett R, Roychoudhury K, et al. CT screening and follow-up of lung nodules: effects of tube current-time setting and nodule size and density on detectability and of tube current-time setting on apparent size. Am J Roentgenol. 2011;197(3): 623–30.