
Klinische Konzepte zur Dosisreduktion in der Mehrschicht Spiral-CT

J.E. Wildberger, A.H. Mahnken

In den neunziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts machten computertomographische (CT) Untersuchungen etwa 4% aller radiologischen Leistungen aus, trugen jedoch bereits zu 35–40% der kumulativen effektiven Äquivalentdosis in der diagnostischen Radiologie bei [2, 11, 12]. Durch die Einführung und Weiterentwicklung der Mehrschicht Spiral-CT (MSCT) ist – nicht zuletzt dank neuer Einsatzbereiche – eine weitere Zunahme der Untersuchungszahlen zu erwarten. Bereits 1998 wurde postuliert, dass eine Erhöhung der Strahlenexposition, durch dünnere Schichten in Kombination mit Mehrphasen-Untersuchungen, eine der Herausforderungen für zukünftige Forschungsaktivitäten auf dem CT-Sektor sein würde [1]. Ziel unserer Arbeiten war und ist es daher, individuelle Empfehlungen zu erarbeiten, die einfach und universell in der klinischen Routine angewandt werden können.

Aus der Annahme, dass die von den Geräteherstellern empfohlenen Untersuchungsprotokolle für übergewichtige Patienten eine akzeptable Bildqualität liefern müssen, kann gefolgert werden, dass sich für normalgewichtige und schlanke Patienten Einsparpotenziale hinsichtlich der Strahlenexposition ergeben. So wurden individuell gewichtsadaptierte Untersuchungsprotokolle für die MSCT Diagnostik des Thorax überprüft, die auch eine hinreichende Bildqualität zur Beurteilung von Niedrigkontrastobjekten (z.B. des Mediastinums) erlauben sollten. Bei insgesamt 250 Patienten wurde das Stromstärke-Zeit-Produkt (mAs) in Abhängigkeit vom Körpergewicht optimiert. Ausgehend von 50 „Standard“-Untersuchungen (seinerzeit 140 kV, 120 mAs_{eff.}) am verwendeten MSCT (SOMATOM Volume Zoom, Siemens, Forchheim) wurden die mAs anhand des individuellen Körpergewichtes in vier Einzelgruppen zu je 50 Patienten individuell angepasst ($\text{mAs}_{\text{eff.}} = \text{kg Körpergewicht} + 10, \pm 0, -10, -20$). Zielgröße war eine möglichst homogene Rausch- bzw. Dosisverteilung ohne Verlust diagnostischer Bildqualität. Letztere wurde durch Messung der Standardabweichung mittels einer als Referenzkörper mit untersuchten Wasserspritze objektiviert [8], während die subjektive Bildqualität visuell graduiert wurde.

Für die vier Untersuchungsprotokolle wurde jeweils eine gute Bildqualität ohne relevanten Anstieg des Bildrauschens dokumentiert. Eine homogene Dosisverteilung, nahezu unabhängig vom jeweiligen Körpergewicht des Patienten, zeigte sich bei Anwahl des Stromstärke-Zeit-Produktes als Funktion aus Körpergewicht -10 mit einer – im Vergleich zur „Standard“-Untersuchung – Reduktion der Strahlenexposition um durchschnittlich 45% [13].

Grundsätzlich ähnliche Ansätze wurden für die MSCT des Herzens evaluiert. Von 100 Patienten, die zur Messung des koronaren Kalziumscores eine kardiale 4-Schicht MSCT erhielten, wurden zunächst 50 Patienten mit dem „Standard“-Protokoll (140 kV, 133 mAs_{eff.}) untersucht. Aus den Rohdaten dieser Untersuchungen wurde

unter Verwendung einer speziellen Verrauschungssoftware (CardioRecon 6, Siemens) eine individuell gewichtsadaptierte Untersuchung ($mAs_{eff.} = \text{Körpergewicht} + 33$) simuliert. Hierauf basierend wurde ein gewichtsadaptierter Ansatz an 50 weiteren Patienten klinisch validiert.

Der koronare Kalziumscore wies im Rahmen der Simulation keine signifikanten Veränderungen auf, ebenso konnte in der nachfolgenden Patientenstudie kein relevanter Anstieg des Bildrauschens beobachtet werden.

Mit der vorgestellten Technik konnte somit die effektive Strahlenbelastung um 11,6% für Männer und 24,8% für Frauen im Rahmen der MSCT-Koronarkalkbestimmung gesenkt werden [9].

Bei weiteren 50 Patienten wurde ein individuell gewichtsadaptiertes Untersuchungsprotokoll zur CT-Koronarangiographie evaluiert. Zunächst wurden 25 Patienten mit einem 4-Schicht MSCT „Standard“-Protokoll (120 kV, 400 $mAs_{eff.}$) untersucht. Mit diesen Daten wurde eine gewichtsadaptierte Untersuchung ($mAs_{eff.} = 4 \times \text{Körpergewicht}$) simuliert und der Originaluntersuchung gegenübergestellt. Nachfolgend wurden 25 Patienten mit gewichtsadaptiertem Stromstärke-Zeit-Produkt untersucht.

Bei akzeptabler Bildgüte – mit konstant diagnostischer Bildinformation – ließ sich die Strahlenexposition durchschnittlich um 17,9% für Männer und 26,3% für Frauen senken [7].

Von Seiten des Herstellers wurde zur individuellen Reduktion der Strahlenexposition eine vollautomatische Dosismodulationstechnik entwickelt (CareDose, Siemens). Dabei wird anhand der während der Datenakquisition aufgezeichneten Schwächungswerte der Röhrenstrom mit einer vom Projektionswinkel abhängigen, fest eingestellten Verzögerung moduliert. Bei Projektionen mit einer geringen Schwächung kann so eine maximale Reduktion des Röhrenstromes um bis zu 90% erreicht werden. In Erweiterung unserer Vorarbeiten zu gewichtsadaptierten Untersuchungsprotokollen haben wir bei 204 konsekutiven Patienten, die eine i.v. kontrastangehobene 16-Schicht MSCT des Thorax (SOMATOM Sensation 16, Siemens) erhielten, die klinischen Einsatzmöglichkeiten der Dosismodulation ohne und mit Gewichtsadaptierung zu einem „Standard“-Protokoll (120 kV, 100 $mAs_{eff.}$) in Beziehung gesetzt.

Im Vergleich zur Gewichtsadaptierung erbrachte die alleinige Dosismodulation nur einen vergleichsweise geringen Beitrag (6,83 mSv auf 5,92 mSv; 13,3% durchschnittliche Einsparung), allerdings erwies sich die Kombination aus individueller Anpassung an das Körpergewicht (in diesem Fall $mAs_{eff.} = \text{kg Körpergewicht}$) mit Dosismodulation als optimal (3,97 mSv; 41,9% Einsparung) [3].

Untersuchungen zur Kombination von Dosismodulation und Gewichtsadaptierung im kardialen Bereich sind derzeit Gegenstand weiterer Forschung.

Ein anderer Ansatz ist die Dosisreduktion über eine generelle Minimierung des Stromstärke-Zeit-Produktes. Ein solches Vorgehen ist dann sinnvoll, wenn ausschließlich Hochkontrastobjekte mit hoher örtlicher Auflösung dargestellt werden sollen, z.B. im Rahmen der Früherkennung von Bronchialkarzinomen, da hier ein vergleichsweise hohes Bildrauschen übereinstimmend als unproblematisch angesehen wird [4, 5, 10]. Basierend auf einer solchen Arbeitshypothese wurde ein „Niedrig-Dosis“-Protokoll für eine Einsatzfähigkeit im Rahmen der Intensivmedizin untersucht. Nach Induktion eines toxischen Kapillarschadens im Tierexperiment wurde die Lungenmorphologie

qualitativ und der Lungenschaden quantitativ in Bauch- und Rückenlage untersucht. Verglichen wurden hierbei zwei verschiedene Stromstärke-Zeit-Produkte (jeweils 4 x 1 mm Kollimation; 140 kV; 100 mAs_{eff.} bzw. 20 mAs_{eff.}).

Obgleich das Bildrauschen in „Niedrig-Dosis“-Technik – wie erwartet – etwas mehr als doppelt so hoch war wie im „Standard“-Protokoll, wurde die qualitative und quantitative Analyse hinsichtlich des geschädigten Lungenparenchyms nicht wesentlich beeinflusst.

Diese Untersuchungstechnik kann daher nicht zuletzt unter strahlenhygienischen Gesichtspunkten zur (Verlaufs-)Beurteilung von Lungenveränderungen bei Intensivpatienten eingesetzt werden [15].

Neben der Optimierung einzelner Untersuchungsparameter können ggf. auch Untersuchungsstrategien unter Strahlenschutzaspekten verbessert werden. Ein solches Beispiel ist die CT-graphische Abklärung bei vermuteter venöser Thromboembolie. Neben einer CT-Angiographie zur Lungenemboliediagnostik (120 kV, 100 mAs_{eff.}) kann das tiefe Beinvenensystem mit dem gleichen Kontrastmittelbolus mittels indirekter CT-Phlebographie (120 kV, 170 mAs_{eff.}) dargestellt werden. Voraussetzung für den von uns vorgeschlagenen diagnostischen Algorithmus ist die Ausnutzung einer technischen Besonderheit des eingesetzten 4-Schicht MSCT: Über die in Echtzeit am System angezeigten Übersichtsbilder („Real-time display“) kann direkt nach Anfertigung der Thorax-Spirale entschieden werden, ob der zweite Untersuchungsschritt angeschlossen werden muss oder nicht.

Von 161 untersuchten Patienten zeigten 62 eine Lungenembolie, wobei 75,8% dieser Patienten auch eine tiefe Beinvenenthrombose aufwiesen. Hingegen ließ sich in der Gruppe ohne Lungenembolie lediglich in 2 von 39 Fällen (5,1%) eine okkulte tiefe Beinvenenthrombose nachweisen. Die berechnete effektive Strahlendosis für die MSCT des Thorax betrug 3,3 (4,2) mSv für Männer (Frauen) und jeweils 9,3 mSv für die indirekte CT-Phlebographie (mit Gonadendosen von 4,4 mSv für Männer bzw. Ovarialdosen von 3,6 mSv für Frauen). Verglichen mit einer konventionellen Phlebographie ergeben sich somit effektive Keimdrüsenexpositionen, die für die indirekte MSCT-Phlebographie etwa um den Faktor 3,5 höher liegen.

Dies unterstreicht nachhaltig die Notwendigkeit differenzierter Untersuchungsstrategien [14].

Neben der Optimierung von Untersuchungsprotokollen und -strategien bieten auch direkt am Patienten einzusetzende protektive Maßnahmen eine Möglichkeit, die Strahlenexposition effektiv zu senken. In einer prospektiven Untersuchung wurde die Wirksamkeit von Hodenkapseln (1 mm Bleigleichwert) für die abdominelle MSCT untersucht. Von 66 männlichen Patienten, die eine 16-Schicht MSCT des Abdomens (120 kV, 150 mAs_{eff.}) erhielten, wurde bei 34 Patienten zum Schutz der Gonaden eine Hodenkapsel (Dr. Goos-Suprema, Heidelberg) angelegt, während die übrigen 32 Patienten herkömmlich ohne Gonadenschutz untersucht wurden. Die Gonaden lagen außerhalb des Untersuchungsbereiches und waren somit keiner direkten Strahlenexposition ausgesetzt. Die Gonadendosis wurde mittels LiF-Thermolumineszenzdosimeter bestimmt.

In der Gruppe mit Hodenkapsel konnte die entsprechende Organdosis signifikant um 2,08 mSv (86,7%) auf 0,32 mSv gesenkt werden ($p < 0,0001$) [6].

Zusammenfassend ergeben sich aus der Kombination von „Niedrig-Dosis“-Untersuchungen bzw. einer individuellen Dosisanpassung am jeweils verwendeten CT-Scanner, aus der Nutzung geräteseitiger Verbesserungen (Dosismodulation), sowie einer direkten Patientenprotektion (Gonadenschutz; differenzierte Untersuchungsprotokolle) Ansatzpunkte für einen verantwortungsvollen Umgang mit der (MS)CT in der täglichen Routine.

Literatur

- [1] Berland, L.L.; Smith, K.: Multidetector-array CT: Once again, technology creates new opportunities. *Radiology* 209 (1998) 327–329
- [2] Bundesumweltministerium. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Umwelt-radioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2000. <http://www.bmu.de/download/dateien/parlamentsbericht00.pdf> [Zugriff am: 20.02.2002]
- [3] Das, M.; Wildberger, J.E.; Mahnken, A.H.; Stargardt, A.; Schaller, S.; Günther, R.W.: Individually adapted examination protocols for reduction of radiation exposure for 16-slice CT chest examinations. [Abstract]. *Radiology* 229 (2003) P663
- [4] Diederich, S.; Lenzen, H.; Windmann, R.; Puskas, Z.; Yelbuz, T.M.; Henneken, S.; Klaiber, T.; Eameri, M.; Roos, N.; Peters, P.E.: Pulmonary nodules: Experimental and clinical studies at low-dose CT. *Radiology* 213 (1999) 289–298
- [5] Henschke, C.I.; McCauley, D.I.; Yankelevitz, D.F.; Naidich, D.P.; McGuinness, G.; Miettinen, O.S.; Libby, D.M.; Pasmantier, M.W.; Koizumi, J.; Altorki, N.K.; Smith, J.P.: Early lung cancer action project: Overall design and findings from baseline screening. *Lancet* 354 (1999) 99–105
- [6] Hohl, C.; Wildberger, J.E.; Das, M.; Schmidt, T.; Mahnken, A.H.; Stargardt, A.; Günther, R.W.: Dose reduction in multi-slice CT by the use of a male gonad shield. [Abstract]. *Eur. Radiol.* 14 (S2) (2004) S275
- [7] Jung, B.; Mahnken, A.H.; Stargardt, A.; Simon, J.; Flohr, T.G.; Schaller, S.; Koos, R.; Günther, R.W.; Wildberger, J.E.: Individually weight-adapted examination protocol in retrospectively ECG-gated MSCT of the heart. *Eur. Radiol.* 13 (2003) 2560–2566
- [8] Lenzen, H.; Eßeling, R.: Bestimmung der Rauschverteilung bei CT-Untersuchungen des Abdomens und des Thorax als Basis zur Dosisoptimierung. [Abstract]. *Fortschr. Röntgenstr.* 170 (1999) S18
- [9] Mahnken, A.H.; Wildberger, J.E.; Simon, J.; Koos, R.; Flohr, T.G.; Schaller, S.; Günther, R.W.: Detection of coronary calcifications: Feasibility of dose reduction with a body weight-adapted examination protocol. *Am. J. Roentgenol.* 181 (2003) 533–538
- [10] Oguchi, K.; Sone, S.; Kiyono, K.; Takashima, S.; Maruyama, Y.; Hasegawa, M.; Feng, L.: Optimal tube current for lung cancer screening with low-dose spiral CT. *Acta Radiologica* 41 (2000) 352–356

- [11] Schmidt, T.: A few remarks on radiation exposure in CT. In: Nagel, H.D. (ed.): Radiation exposure in computed tomography. Hamburg, Germany. European Coordination Committee on the Radiological and Electromedical Industries (COCIR) (2000) 1–4
- [12] Shrimpton, P.C.; Edyvean, S.: CT scanner dosimetry. Br. J. Radiol. 71 (1998) 1–3
- [13] Wildberger, J.E.; Mahnken, A.H.; Schmitz-Rode, T.; Flohr, T.; Stargardt, A.; Haage, P.; Schaller, S.; Günther, R.W.: Individually adapted examination protocols for reduction of radiation exposure in chest CT. Invest. Radiol. 36 (2001) 604–611
- [14] Wildberger, J.E.; Mahnken, A.H.; Sinha, A.M.; Stargardt, A.; Haage, P.; Schaller, S.; Günther, R.W.: Abklärung von Lungenembolie und venöser Thromboembolie mittels Mehrschicht-Spiral CT. Fortschr. Röntgenstr. 174 (2002) 301–307
- [15] Wildberger, J.E.; Max, M.; Wein, B.B.; Mahnken, A.H.; Weiss, C.; Dembinski, R.; Katoh, M.; Schaller, S.; Rossaint, R.; Günther, R.W.: Low-dose multislice spiral computed tomography in acute lung injury: Animal experience. Invest Radiol 38 (2003) 9–16

Zum Andenken an Dr. rer. nat. Achim Stargardt (1942–2004).