

Evaluation der Strahlendosis und Bildqualität von High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen des Thorax bei immunsupprimierten Patienten

Evaluation of Radiation Dose and Image Quality using High-Pitch 70-kV Chest CT in Immunosuppressed Patients

Autoren

Ibrahim Yel, Simon S. Martin, Julian L. Wichmann, Lukas Lenga, Moritz H. Albrecht, Andreas M. Bucher, Benjamin Kaltenbach, Christoph Polkowski, Christian Booz, Thomas J. Vogl, Renate Maria Hammerstingl

Institut

Department of Diagnostic and Interventional Radiology,
University-Hospital Frankfurt, Germany

Key words

thorax, CT, high-pitch CT, radiation dose,
immunosuppression

eingereicht 25.01.2018

akzeptiert 07.07.2018

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0668-6031>

Online-Publikation: 4.9.2018

Fortschr Röntgenstr 2019; 191: 122–129

© Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart · New York

ISSN 1438-9029

Korrespondenzadresse

Dr. Julian L. Wichmann

Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie,
J.-W.-Goethe-Universität Frankfurt, Theodor-Stern-Kai 7,
60590 Frankfurt, Germany

Tel.: ++ 49/69/6 30 18 72 00

docwichmann@gmail.com

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel Das Ziel der Studie war, die Strahlendosis und Bildqualität von High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen des Thorax bei immunsupprimierten Patienten im Vergleich zu 120-kV-CT-Bildgebung zu evaluieren.

Material und Methoden Die Bilddaten von 40 konsekutiven Patienten (14 Frauen und 26 Männer; Altersdurchschnitt $40,9 \pm 15,4$ Jahre), die eine High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchung des Thorax erhielten, wurden retrospektiv ausgewertet. Eine gematchte Patientengruppe ($n = 40$) mit ähnlichem Alter, Geschlecht, BMI und klinischer Indikation, bei denen eine Standard-120-kV-CT-Untersuchung des Thorax durchgeführt wurde, diente als Kontrollgruppe. Alle CT-Aufnahmen erfolgten an einem Dual-Source-CT der dritten Generation. Zur Dosisabschätzung wurden der CT-Dosis-Index (CTDIvol), das

Dosis-Längen-Produkt (DLP), die effektive Dosis (ED) und die größenspezifische Dosisabschätzung (SSDE) analysiert. Die objektive Bildqualität wurde mittels des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) und des Kontrast-Rausch-Verhältnisses (CNR) ermittelt. Drei verblindete und unabhängige Radiologen evaluierten die subjektive Bildqualität und Diagnosesicherheit anhand von 5-Punkten-Likert-Skalen.

Ergebnisse Die mittleren Dosisparameter waren signifikant geringer für High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen (CTDIvol $2,9 \pm 0,9$ mGy; DLP $99,9 \pm 31,0$ mGyxc; ED $1,5 \pm 0,6$ mSv; SSDE $3,8 \pm 1,2$ mGy) im Vergleich zu den Standard-120-kV-CT-Thorax-Untersuchungen (CTDIvol $8,8 \pm 3,7$ mGy; DLP $296,6 \pm 119,3$ mGyxc; ED $4,4 \pm 2,1$ mSv; SSDE $11,6 \pm 4,4$ mGy) (alle $p \leq 0,001$). Die objektiven Bildparameter (SNR $7,8 \pm 2,1$ vs. $8,4 \pm 1,8$; CNR $7,7 \pm 2,4$ vs. $8,3 \pm 2,8$) ($p \geq 0,065$) sowie die kumulative subjektive Bildqualität ($4,5 \pm 0,4$ vs. $4,7 \pm 0,3$) ($p = 0,052$) zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden CT-Untersuchungsprotokollen.

Schlussfolgerung High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen des Thorax bei immunsupprimierten Patienten resultieren in einer deutlichen Reduktion der Strahlenbelastung im Vergleich zu Standard-120-kV-CT-Bildakquisition ohne eine Einschränkung der Bildqualität.

Kernaussagen:

- Dual-Source-CT-Geräte der dritten Generation ermöglichen High-Pitch-70-kV-Untersuchungen des Thorax.
- High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen zeigen eine deutliche Dosisreduktion im Vergleich zu Standard-120-kV-CT-Untersuchungen.
- High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen des Thorax zeigen eine vergleichbare objektive und subjektive Bildqualität.
- Subjektiv höheres Bildrauschen und Bildunschärfe bei 70-kV-CTs beeinflusste die subjektive Diagnosesicherheit nicht.

Zitierweise

- Yel I, Martin SS, Wichmann JL et al. Evaluation of Radiation Dose and Image Quality using High-Pitch 70-kV Chest CT in Immunosuppressed Patients. Fortschr Röntgenstr 2019; 191: 122–129

ABSTRACT

Purpose The aim of the study was to evaluate high-pitch 70-kV CT examinations of the thorax in immunosuppressed patients regarding radiation dose and image quality in comparison with 120-kV acquisition.

Materials and Methods The image data from 40 patients (14 women and 26 men; mean age: 40.9 ± 15.4 years) who received high-pitch 70-kV CT chest examinations were retrospectively included in this study. A control group ($n = 40$), matched by age, gender, BMI, and clinical inclusion criteria, had undergone standard 120-kV chest CT imaging. All CT scans were performed on a third-generation dual-source CT unit. For an evaluation of the radiation dose, the CT dose index (CTDIvol), dose-length product (DLP), effective dose (ED), and size-specific dose estimates (SSDE) were analyzed in each group. The objective image quality was evaluated using signal-to-noise (SNR) and contrast-to-noise ratios

(CNR). Three blinded and independent radiologists evaluated subjective image quality and diagnostic confidence using 5-point Likert scales.

Results The mean dose parameters were significantly lower for high-pitch 70-kV CT examinations (CTDIvol, 2.9 ± 0.9 mGy; DLP, 99.9 ± 31.0 mGyxc; ED, 1.5 ± 0.6 mSv; SSDE, 3.8 ± 1.2 mGy) compared to standard 120-kV CT imaging (CTDIvol, 8.8 ± 3.7 mGy; DLP, 296.6 ± 119.3 mGyxc; ED, 4.4 ± 2.1 mSv; SSDE, 11.6 ± 4.4 mGy) ($P \leq 0.001$). The objective image parameters (SNR: 7.8 ± 2.1 vs. 8.4 ± 1.8 ; CNR: 7.7 ± 2.4 vs. 8.3 ± 2.8) ($P \geq 0.065$) and the cumulative subjective image quality (4.5 ± 0.4 vs. 4.7 ± 0.3) ($P = 0.052$) showed no significant differences between the two protocols.

Conclusion High-pitch 70-kV thoracic CT examinations in immunosuppressed patients resulted in a significantly reduced radiation exposure compared to standard 120-kV CT acquisition without a decrease in image quality.

Einleitung

Pulmonale Infekte bei immunsupprimierten Patienten sind in der Regel durch ihren atypischen und prolongierten Verlauf deutlich gefährlicher als bei immunkompetenten Patienten [1–3]. In Anbetracht der vermehrten Komplikationen und der erhöhten Letalität ist es daher oftmals notwendig, schon vor einem sicheren Erregernachweis, der bis zu mehreren Tagen andauern kann, eine adäquate und zielgerichtete Therapie zu starten [4]. Wichtigstes Element zur primären Einschätzung ist die radiologische Bildgebung [1]. Da bei fehlender Immunkompetenz ein konventionelles Röntgenbild aufgrund der variablen Immunantwort und Krankheitsausprägung in vielen Fällen keine eindeutige Befundung zulässt, wird die hochauflösende CT-Bildgebung der Lunge bevorzugt durchgeführt, um erste Hinweise auf die Infekt-Genese zu bekommen [1, 5].

Mit der Anzahl der Untersuchungen summiert sich die Strahlenbelastung für den Patienten; ein Aspekt, der mit zunehmender Krankheitsdauer und progredienter Untersuchungszahl gerade bei dieser durchschnittlich jüngeren Patientenkohorte relevant wird [6–8]. Angesichts des erhöhten Krebsrisikos bei mehrfacher Strahlenexposition sollte neben der strengen Prüfung der medizinischen Indikation eine Optimierung der Untersuchungsprotokolle und damit der Strahlenbelastung erfolgen.

Ziel dieser Studie war es, High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen des Thorax hinsichtlich der Strahlendosis und Bildqualität zu evaluieren und mit Standard-120-kV-CT-Thorax-Untersuchungen zu vergleichen.

Material und Methoden

Patientenkollektiv

Im Rahmen dieser retrospektiven Studie wurden die Bilddaten von 40 konsekutiven Patienten (14 Frauen und 26 Männer; Alters-

durchschnitt $40,9 \pm 15,4$ Jahre; Altersbereich 20–84 Jahre; BMI $26,5 \pm 2,6$ kg/m²) untersucht, die im Zeitraum von Januar 2017 bis Juni 2017 eine native CT-Untersuchung des Thorax mit einem High-Pitch-70-kV-Untersuchungsprotokoll an unserem radiologischen Institut erhalten hatten. Dieses Protokoll wurde ab Januar 2017 aufgrund der technischen Durchführbarkeit (niedrigste mögliche Röhrenspannung) und der aktuellen Forschungslage zur Dosisreduktion bei der CT des Thorax als Standardprotokoll für immunsupprimierte Patienten festgesetzt.

Eine gematchte Kohorte, bestehend aus 40 Patienten (14 Frauen und 26 Männer; Altersdurchschnitt $39,5 \pm 15,7$ Jahre; Altersbereich 19–86 Jahre; BMI $27,2 \pm 3,6$ kg/m²), die mit dem 120-kV-Standardprotokoll vor Januar 2017 examiniert wurden, diente als Kontrollgruppe. Diese Patienten wurden hinsichtlich Alter, Geschlecht, BMI, Scanfeldlänge und klinischen Indikationskriterien gematcht. Bei 12 Patienten in der Studiengruppe handelte es sich um identische Patienten in der Kontrollgruppe, die zuerst eine 120-kV-CT-Untersuchung und anschließend eine High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchung im Verlauf erhielten. In ▶ **Tab. 1** sind die Patientencharakteristika zusammengefasst.

Einschlusskriterien waren immunsupprimierte Patienten mit erworbener, angeborener oder induzierter Immundefizienz, bei denen eine klinisch indizierte CT-Untersuchung des Thorax ohne Kontrastmittel durchgeführt wurde. Ausschlusskriterien waren Untersuchungen bei Patienten jünger als 18 Jahre und CT-Untersuchungen mit massiven Bewegungs- oder Atemartefakten, bei denen eine Beurteilung des sekundären Lobulus, der letzten CT-morphologisch auflösungsbedingt visualisierbaren pulmonalen Funktionsstruktur sowie des interstitiellen Lungengerüsts nicht möglich war [9].

CT-Untersuchungsprotokoll

Alle Untersuchungen wurden an einem Dual-Source-CT-Gerät der dritten Generation (SOMATOM Force, Siemens Healthcare, Forchheim) durchgeführt. Die CT-Aufnahmen erfolgten in Rückenlage

► **Tab. 1** Patientencharakteristika.

	High-Pitch-70-kV	Standard-120-kV
Patientenzahl	40	40
Männer/Frauen	26/14	26/14
Alter in Jahren (Bereich)	40,9 ± 15,4 (20 – 84)	39,5 ± 15,7 (19 – 86)
BMI in kg/m ² (Bereich)	26,5 ± 2,6 (21,4 – 33,6)	27,2 ± 3,6 (22,7 – 33,8)

und tiefer Inspiration. Nach Anfertigung eines Topogramms, das sich vom 7. Halswirbelkörper bis zum unteren Rippenbogen erstreckte, startete die CT-Untersuchung in kraniokaudaler Ausrichtung. Bei beiden Untersuchungsprotokollen (70 kV oder 120 kV) erfolgte eine automatische, dem Körperhabitus des Patienten angepasste und optimierte Modulation des Röhrenstroms unter Einsatz einer geeigneten Software zur Dosisreduktion (Care-Dose-4D, Siemens). Das High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungsprotokoll beinhaltete einen Pitch-Faktor von 3,2 (Turbo-Flash-Modus, Siemens) und einer damit resultierenden Tischgeschwindigkeit von 737 mm/s, während bei dem 120-kV-Standardprotokoll ein Pitch-Faktor von 1,2 und eine folglich langsamere Tischgeschwindigkeit von 77 mm/s zur Anwendung kam. Eine genaue Auflistung der CT-Parameter für beide Untersuchungsprotokolle findet sich in ► **Tab. 2**.

Aus den Rohdatensätzen erfolgten die Bildrekonstruktionen mittels dedizierter iterativer Bildrekonstruktion der 3. Generation (ADMIRE, Siemens; Stärkegrad 3 von 5) mit Weichteil- (Br36) und Lungen-Kernel (Bl57) in axialen, koronaren und sagittalen Schichten mit einer Schichtdicke von 1,0 mm und einem Inkrement von 1,0 mm.

Evaluation der Strahlendosis

Nach jeder Untersuchung erfolgte die Auswertung des CT-Dosis-Index (CTDI_{vol}) und des Dosis-Längen-Produkts (DLP) anhand des Patientenprotokolls. Entsprechend den allgemeingültigen Richtlinien zur Qualitätssicherung von CT-Untersuchungen wurde ein Konversionsfaktor (k) von 0,0147 mSv × mGy⁻¹ × cm⁻¹ für 70-kV- und von 0,0145 mSv × mGy⁻¹ × cm⁻¹ für 120-kV-Untersuchungen zur Abschätzung der effektiven Dosis (ED) anhand folgender Formel verwendet [10, 11]:

$$ED = DLP \times k$$

Die größen-spezifische Dosisabschätzung (SSDE) wurde gemäß den Empfehlungen der American Association of Physicists in Medicine berechnet [12]. Dafür wurde ein Konversionsfaktor, basierend auf einem 32cm-CTDI-Phantom und der Summe des lateralen und anterior-posterioren Diameters (f_{size}^{B2}), mit dem CTDI_{vol} multipliziert:

$$SSDE = f_{size}^{B2} \times CTDI_{vol}$$

► **Tab. 2** CT-Akquisitionsparameter.

	High-Pitch-70-kV	Standard-120-kV
CT-Gerät	3. Generation DSCT	3. Generation DSCT
Untersuchungsmodus	SECT	SECT
Röhrenspannung	70 kV	120 kV
Röhrenstrom	200ref.mAs	110ref.mAs
Pitch	3,2	1,2
Tischgeschwindigkeit	737 mm/s	77 mm/s
Rotationszeit	0,25 s	0,25 s
Kollimation	2 × 192 × 0,6 mm	192 × 0,6 mm
Schichtdicke	1 mm	1 mm
Inkrement	1 mm	1 mm

DSCT = Dual-Source CT. SECT = Single-Energy CT.

Objektive Bildqualität

Die objektive Bewertung der Bildqualität wurde anhand des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) und Kontrast-Rausch-Verhältnisses (CNR) ermittelt. Dafür wurden zirkuläre Region-of-Interest (ROI) -Messungen (Größe 150 mm²) in der Aorta descendens, im Lungenparenchym, in der autochthonen Rückenmuskulatur sowie im mediastinalen Fett auf Höhe der Trachealbifurkation platziert. Die Messungen erfolgten jeweils im Weichteil- (Aorta, Br36-Kernel) und Lungenfenster (Lunge, Bl57-Kernel). Die mittlere Abschwächung in Hounsfield-Einheiten (HU) sowie die Standardabweichung (SD) wurden für alle Messungen vermerkt. In Übereinstimmung mit vorhergehenden Studien wurden die SNR- und CNR-Werte jeweils für die Aorta und das Lungenparenchym anhand folgender Berechnungen ermittelt [13, 14]:

$$SNR = \frac{|HU(Aorta; Lunge)|}{SD(Mediastinales Fett)}$$

$$CNR = \frac{|HU(Aorta; Lunge) - HU(Rückenmuskulatur)|}{SD(Mediastinales Fett)}$$

Subjektive Bildqualität

Die subjektive Auswertung der CT-Aufnahmen führten 3 Radiologen mit 3- bis 5-jähriger Erfahrung in der computertomografischen Lungendiagnostik individuell durch. Das Rating erfolgte an zertifizierten diagnostischen Bildschirmen (RadiForce RX240; Eizo, Ishikawa, Japan) unter Verwendung der Centricity-Viewer-Software (GE Healthcare, Milwaukee, USA). Sämtliche Datensätze waren in ihrer Reihenfolge randomisiert und hinsichtlich der Patientenidentität und Scaneinstellung anonymisiert. Den Radiologen stand es frei, durch sämtliche orthogonalen Rekonstruktionen (axial, koronar und sagittal) zu wechseln sowie den Kontrast nach Belieben anzupassen. Voreingestellt waren die gängigen Fenstereinstellungen für das Lungenfenster (Breite 2000HU/Zen-

► **Tab. 3** Dosisparameter.

	High-Pitch-70-kV	Standard-120-kV	p-Wert
CTDI _{vol} (mGy)	2,9 ± 0,9 (1,9 – 3,8)	8,8 ± 3,7 (1,6 – 22,3)	p < 0,001
DLP (mGy×cm)	99,9 ± 31,0 (58,9 – 165,5)	296,6 ± 119,3 (68,5 – 640,9)	p < 0,001
ED (mSv)	1,5 ± 0,6 (0,9 – 2,4)	4,4 ± 2,1 (1,0 – 9,4)	p < 0,001
SSDE (mGy)	3,8 ± 1,2 (2,5 – 5,1)	11,6 ± 4,4 (2,4 – 26,8)	p < 0,001
Scanfeldlänge (cm)	31,4 ± 4,2 (25,0 – 40,5)	30,7 ± 6,5 (24,5 – 41,9)	p = 0,077

CTDI = CT-Dosis-Index; DLP = Dosis-Längenprodukt; ED = effektive Dosis; SSDE = größen-spezifische Dosisabschätzung.

trum –500HU) und Weichteilfenster (Breite 400HU/Zentrum 50HU). Anhand einer 5-Punkte-Likert-Skala wurden die allgemeine Bildqualität (von 1 = schlechte Bildqualität bis 5 = ausgezeichnete Bildqualität), das Bildrauschen (von 1 = extensives Bildrauschen bis 5 = kein Bildrauschen nachweisbar), die Bildschärfe (von 1 = extrem unscharf bis 5 = exzellente Bildschärfe), das Vorhandensein von Bewegungsartefakten (von 1 = ausgeprägte Bewegungsartefakte bis 5 = keine Bewegungsartefakte) und die subjektive Diagnosesicherheit evaluiert (von 1 = keine diagnostische Aussagekraft bis 5 = hohe Diagnosesicherheit).

Statistische Analyse

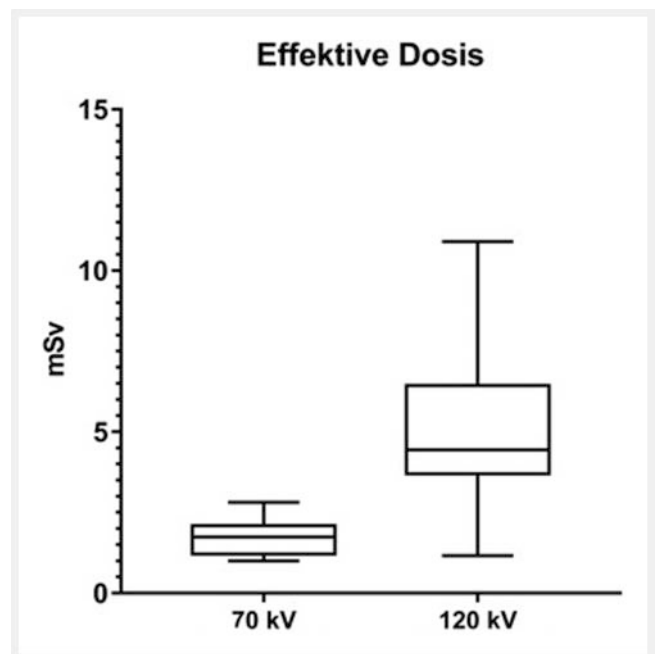
Sämtliche statistische Analysen wurden unter Verwendung geeigneter Statistikprogramme durchgeführt (GraphPad Prism Version 7.0, GraphPad Software, La Jolla, USA und SPSS Version 21, IBM SPSS Statistics, Armonk, USA). Die Resultate der Messungen und Auswertungen wurden als Mittelwerte mit dazugehörigen Standardabweichungen (SD) aufgeführt. Die Prüfung der Gauß-Verteilung aller Daten erfolgte anhand des Kolmogorov-Smirnov-Tests und die Datenanalyse erfolgte, in Anbetracht der teils in beiden Gruppen geführten Patienten, mittels des Mann-Whitney-U-Tests. Dabei wurde eine statistische Signifikanz für p-Werte < 0,05 deklariert.

Die Übereinstimmung zwischen den Ratern wurde mithilfe des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) ermittelt und folgendermaßen gewertet [15]: ICC < 0,40 = schlechte Übereinstimmung, ICC 0,40 – 0,59 = moderate Übereinstimmung, ICC 0,60 – 0,74 = gute Übereinstimmung, ICC 0,75 – 1,0 = sehr gute Übereinstimmung.

Ergebnisse

Strahlendosis

Die Daten bezüglich der applizierten Strahlendosis sind in ► **Tab. 3** zusammengefasst. Für die 70-kV-CT-Untersuchungen zeigte sich ein durchschnittlicher CTDI_{vol}-Wert von 2,9 ± 0,9 mGy, ein mittleres DLP von 99,9 ± 31,0 mGy×cm, eine mittlere ED von 1,5 ± 0,6 mSv und eine mittlere SSDE von 3,8 ± 1,2 mGy. Bei Patienten, die mit einem Standard-120-kV-Protokoll untersucht wurden, ergab sich ein mittlerer CTDI_{vol} von 8,8 ± 3,7 mGy, ein



► **Abb. 1** Darstellung der effektiven Dosis für das High-Pitch-70-kV- und Standard-120-kV-CT-Untersuchungsprotokoll. High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen des Thorax zeigten eine signifikant geringere effektive Dosis (p < 0,001).

mittleres DLP von 296,6 ± 119,3 mGy×cm, eine mittlere ED von 4,4 ± 2,1 mSv und eine mittlere SSDE von 11,6 ± 4,4 mGy. Der CTDI, das DLP, die ED sowie die SSDE waren signifikant geringer für High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen im Vergleich zu Standard-120-kV-CT-Untersuchungen des Thorax (alle p < 0,001). Insgesamt konnte die ED mittels 70-kV-CT-Protokollen im Durchschnitt um 66 % gesenkt werden (► **Abb. 1**).

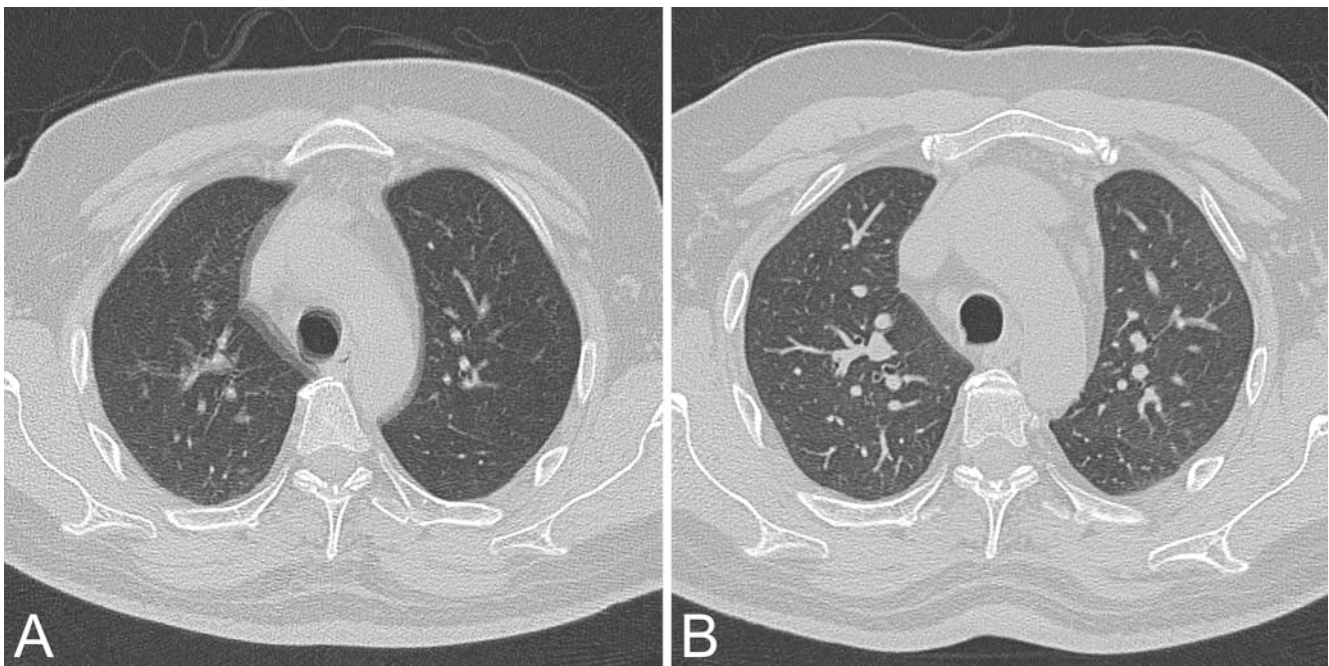
Objektive Bildqualität

Die Ergebnisse der objektiven Analyse der Bildqualität sind in ► **Tab. 4** zusammengefasst. Die Studienkohorte, die mit dem High-Pitch-70-kV-CT-Protokoll untersucht wurde, zeigte eine mittlere SNR von 3,7 ± 1,1 sowie eine mittlere CNR von 1,4 ± 0,8 für die Aorta descendens. Im Vergleich waren in der Kontrollgruppe mit Standard-120-kV-CT-Untersuchungen die objektiven Bild-

► **Tab. 4** Ergebnisse der objektiven Bildanalyse.

	High-Pitch-70-kV	Standard-120-kV	p-Wert
SNR _{Aorta}	3,7 ± 1,1	3,9 ± 1,4	p = 0,113
SNR _{Lunge}	11,8 ± 3,2	12,8 ± 3,9	p = 0,082
SNR _{gesamt}	7,8 ± 2,1	8,4 ± 1,8	p = 0,065
CNR _{Aorta}	1,4 ± 0,8	1,6 ± 1,0	p = 0,156
CNR _{Lunge}	14,0 ± 4,0	14,9 ± 4,5	p = 0,287
CNR _{gesamt}	7,7 ± 2,4	8,3 ± 2,8	p = 0,072

SNR = Signal-Rausch-Verhältnis; CNR = Kontrast-Rausch-Verhältnis.



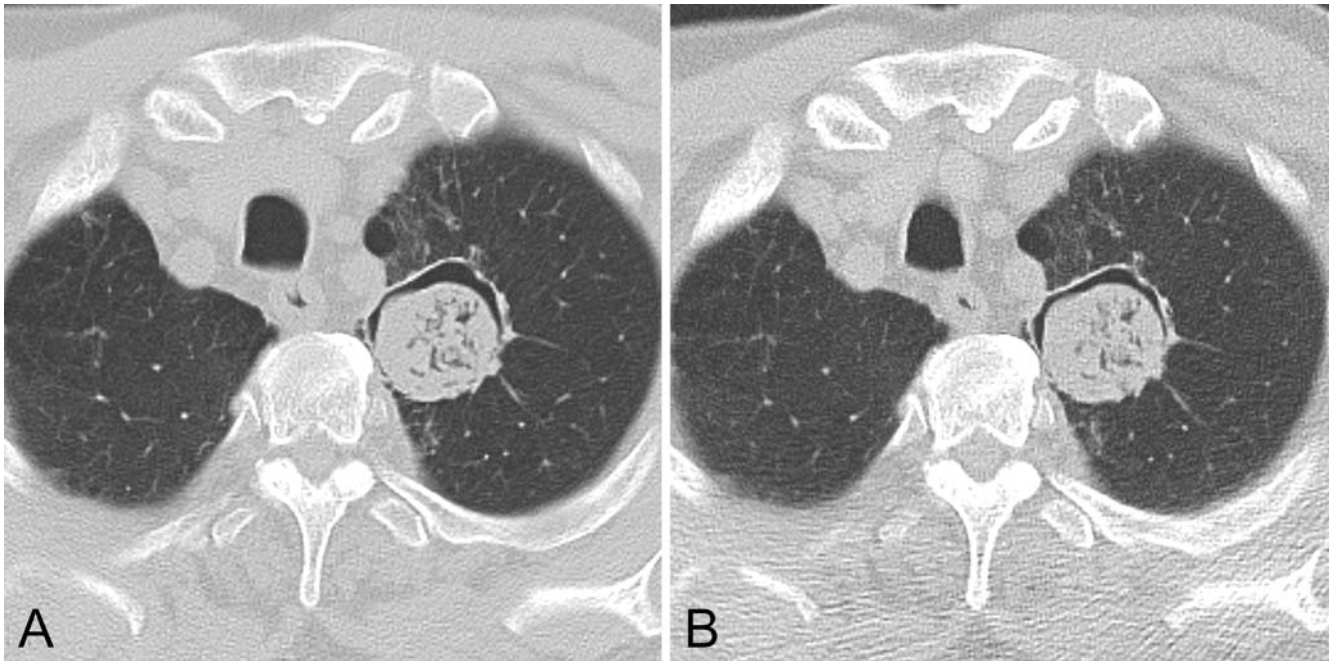
► **Abb. 2** **A** Standard-120-kV-CT-Thorax eines 53-jährigen Patienten nach Nierentransplantation und Fieber in Neutropenie. Es zeigen sich ausgeprägte Bewegungsartefakte bei respiratorischer Einschränkung. **B** Erneute CT-Untersuchung nach 4 Wochen aufgrund akuter Dyspnoe. Im High-Pitch-70-kV-CT finden sich Zeichen einer kardiopulmonalen Stauung. Trotz erneuter respiratorischer Einschränkung zeigen sich keine Bewegungsartefakte.

parameter nicht signifikant erhöht bei einem SNR von $3,9 \pm 1,4$ und CNR von $1,6 \pm 1,0$ ($p = 0,113$ bzw. $p = 0,156$). Für das Lungparenchym zeigte sich ein SNR von $11,8 \pm 3,2$ und CNR von $14,0 \pm 4,0$ für 70-kV-High-Pitch-CT-Untersuchungen, ebenfalls nicht signifikant erniedrigt im Vergleich zu Standard-120-kV-Untersuchungen mit einem SNR von $12,8 \pm 3,9$ und CNR von $14,9 \pm 4,5$ ($p = 0,082$ bzw. $p = 0,287$).

Subjektive Bildqualität

Bezüglich der kumulativen subjektiven Bildqualität zeigte sich für High-Pitch-70-kV-CT-Aufnahmen ein durchschnittlicher Punktwert von $4,5 \pm 0,4$ und für 120-kV-CT-Aufnahmen ein Mittelwert von $4,7 \pm 0,3$ ($p = 0,052$). Das subjektiv empfundene Bildrauschen in der Studiengruppe mit 70-kV-CT-Thorax-Untersuchungen wur-

de als schlechter empfunden bei einem Mittelwert von $3,0 \pm 0,4$ gegenüber $3,5 \pm 0,6$ für CT-Aufnahmen mit dem 120-kV-Standardprotokoll ($p = 0,043$). Ähnliche Ergebnisse wurden für den Vergleich zwischen 70-kV- und 120-kV-Bildakquisition hinsichtlich der Bildschärfe beobachtet ($3,3 \pm 0,5$ gegenüber $3,7 \pm 0,6$; $p = 0,042$). Allerdings wiesen High-Pitch-70-kV-Untersuchungen deutlich reduzierte Bewegungsartefakte auf mit folglich besseren Bewertungen auf der Likert-Skala ($4,4 \pm 0,6$ gegenüber $3,8 \pm 0,9$; $p = 0,003$) (► **Abb. 2a, b**). Hinsichtlich der subjektiven Diagnosesicherheit dokumentierten sich für beide CT-Protokolle jedoch ähnliche Mittelwerte von $4,6 \pm 0,4$ für 70-kV- und $4,7 \pm 0,3$ für 120-kV-CT-Untersuchungen ohne signifikante Unterschiede zwischen beide Gruppen ($p = 0,829$) (► **Abb. 3a, b**).



► **Abb. 3** **A** Standard-120-kV-CT-Thorax eines 47-jähriger Patienten mit HIV und Aspergillom im linken apikalen Oberlappen. **B** Verlaufskontrolle nach 2 Monaten und Verwendung eines High-Pitch-70-kV-CT-Protokolls. Dabei zeigt sich ein in Größe und Konfiguration weitgehend unverändertes Aspergillom.

Die ICC-Analyse ergab zwischen allen 3 Ratern eine gute Übereinstimmung (allgemeiner ICC = 0,72). Im Hinblick auf die allgemeine Bildqualität (ICC = 0,78) und das Vorhandensein von Bewegungsartefakten (ICC = 0,75) zeigte sich eine sehr gute Übereinstimmung; dagegen wurde die Übereinstimmung bezüglich des Bildrauschens (ICC = 0,70), der Bildschärfe (ICC = 0,68) und der subjektiven Diagnosesicherheit (ICC = 0,71) als gut bewertet. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der subjektiven Bildanalyse findet sich in ► **Tab. 5**.

Diskussion

Ziel unserer Studie war die Evaluation eines Untersuchungsprotokolls mit reduzierter Strahlendosis für native CT-Thorax-Untersuchungen bei immunsupprimierten Patienten, die aufgrund ihrer Erkrankung klinisch indizierte CT-Untersuchungen und Verlaufskontrollen benötigten. Unsere Studie kam zu dem Ergebnis, dass High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen einen sehr guten Kompromiss zwischen Dosisreduktion und Bildqualität ermöglichen und somit eine sehr gute Alternative zum standardmäßigen 120-kV-CT-Protokoll darstellen. Durch die Verwendung der aktuellsten Gerätetechnik sowie der Kombination aus High-Pitch-Bildakquisition und einer reduzierten Röhrenspannung konnte eine Verringerung der Strahlenbelastung um durchschnittlich zwei Drittel pro Untersuchung erzielt werden. Damit konnten wir mit unserem Studien-Konzept auch eine deutlich geringere effektive Patientendosis als Kubo et al. erzielen, die ein Low-Dose-Protokoll mittels Reduktion des Röhrenstroms entwickelt hatten [16]. Bei vergleichbarer objektiver Bildqualität resultierten für die 70-kV-Bildgebung geringere subjektive Bewertungen von Bildrauschen und

Bildschärfe im Vergleich zur 120-kV-CT, die jedoch in unserer Studie keine signifikanten Unterschiede in der subjektiven Diagnosesicherheit und kumulativen subjektiven Bildqualität zur Folge hatten. Allerdings könnte nach Gordic et al. das erhöhte Bildrauschen bei 70 kV eine Limitation für die Detektion von kleinen Lungenrundherden darstellen [17]. Die Vorteile einer geringeren Röhrenspannung konnten in früheren Studien insbesondere bei kontrastmittelgestützten Untersuchungen gezeigt werden, da das Jodsignal mit abnehmender Röhrenspannung zunimmt [18, 19]. Die Ergebnisse unserer Studie zeigten jedoch, dass auch bei nativen Untersuchungen die Implementierung eines 70-kV-CT-Protokolls einen zusätzlichen Nutzen hat.

In einer vorausgegangen Studie von Bodelle et al. konnte ein High-Pitch-80-kV-CT-Thorax-Protokoll für pädiatrische Patienten ohne Sedierung bzw. Narkose erfolgreich evaluiert werden [20]. Die Autoren konnten eine deutliche Reduktion der Strahlendosis bei vergleichbarer Bildqualität nach Rekonstruktion mit ADMIRE nachweisen. Im Allgemeinen ist die moderne Low-Dose-CT-Bildgebung immer in Kombination mit iterativer Bildrekonstruktion konzipiert und daher für diese Art der Bildakquisition als essenziell anzusehen [17, 21, 22]. In unserer Studie führte die geringere Strahlenenergie der High-Pitch-70-kV-Untersuchungen bei vergleichbarer objektiver Bildqualität trotz Reduktion mit ADMIRE zu einer Verschlechterung des subjektiven Bildrauschens und der Bildschärfe, wie auch schon in vorherigen Studien beschrieben wurde [23 – 26]. Allerdings resultierten daraus keine Einschränkungen hinsichtlich der subjektiven Diagnosesicherheit. Unterstützend wirkte hierbei mutmaßlich der Effekt des hohen Pitch-Faktors. Durch die erhöhte Geschwindigkeit der Tischbewegung konnten CT-Untersuchungen des Brustkorbs in unter 2 Sekunden durchgeführt werden [27]. Folglich waren die Bewegungsarte-

► **Tab. 5** Ergebnisse der subjektiven Bildanalyse.

	High-Pitch-70-kV	Standard-120-kV	p-Wert
Bildqualität	4,5 ± 0,4	4,7 ± 0,3	p = 0,052
ICC (95 % CI)	0,78 (0,65 – 0,95)		
Bildrauschen	3,0 ± 0,4	3,5 ± 0,6	p = 0,043
ICC (95 % CI)	0,70 (0,48 – 0,87)		
Bildschärfe	3,3 ± 0,5	3,7 ± 0,6	p = 0,042
ICC (95 % CI)	0,68 (0,38 – 0,76)		
Bewegungsartefakte	4,4 ± 0,6	3,8 ± 0,9	p = 0,003
ICC (95 % CI)	0,75 (0,52 – 0,91)		
Diagnosesicherheit	4,6 ± 0,4	4,7 ± 0,3	p = 0,829
ICC (95 % CI)	0,71 (0,51 – 0,90)		

ICC = Intraklassen-Korrelationskoeffizient; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall.

fakte geringer (u. a. Atem- oder Pulsationsartefakte), was eine Aufwertung der kumulativen Bildqualität zur Folge hatte [14, 28]. Patienten mit respiratorischen Einschränkungen profitierten am meisten von dieser Verbesserung der Aufnahmequalität [28]. Da insbesondere immunsupprimierte Patienten tendenziell häufiger direkt mittels CT des Thorax anstatt konventionellem Röntgen untersucht werden, um auch atypische Pneumonien oder andere opportunistische Infektionen der Lunge nachzuweisen bzw. auszuschließen, ist hier die Anwendung von solchen Strahlendosis-sparenden Maßnahmen unserer Ansicht nach noch deutlicher zu berücksichtigen als in immunkompetenten Patienten, da auch der Effekt gerade bei wiederholter Bildgebung noch deutlicher zum Tragen kommt.

Die vorliegende retrospektive Studie weist folgende Limitationen und Einschränkungen auf: Alle Untersuchungen erfolgten an einem Dual-Source-CT-Scanner der dritten Generation. Modelle von anderen Geräteherstellern können Variationen im Aufbau, hinsichtlich technischen Spezifikationen und auch Resultaten aufweisen. In diesem Zusammenhang ist die Beschränkung des Field-of-View (FOV) durch den Gebrauch der zweiten Röhre und des kleineren Detektors eine mögliche Limitation der High-Pitch-Bildakquisition, die speziell für stark adipöse Patienten relevant sein kann [29]. Des Weiteren erlaubt die Kombination der Röhrenspannungsreduktion und der High-Pitch-Technik retrospektiv keine differenzierte Betrachtung des Einflusses der einzelnen Faktoren auf die resultierende effektive Dosis. Hierfür müssten jeweils weitere Untersuchungen mit High-Pitch-120-kV- und Standard-Tischvorschubgeschwindigkeiten bei 70 kV durchgeführt werden. Da diese Verfahren bereits hinreichend etabliert sind, wurde auf einen direkten Vergleich der einzelnen Techniken verzichtet [30, 31]. Das Ziel dieser Studie war es, High-Pitch-70-kV-Untersuchungen mit dem klinischen Standard zu vergleichen, um das Potenzial für die klinische Routine hervorzuheben. Darüber hinaus wurde im Rahmen der Qualitätsbewertung die subjektive Diagnosesicherheit analysiert, jedoch nicht die diagnostische Genauigkeit für die Detektion von Pathologien bestimmt. Dies

sollte anhand homogener Patientenkollektive mit spezifischen Erkrankungen in zukünftigen Studien weiterführend evaluiert werden. Für die Berechnung der ED (mittels Konversionsfaktor) sowie der SSDE erfolgte eine Annäherung an 80-kV-CT-Untersuchungen, da für 70 kV keine ausreichende Datenlage besteht [11, 12, 32]. Außerdem wurden in unserer Studie lediglich native CT-Aufnahmen des Thorax untersucht. Kontrastmittelgestützte Untersuchungen wurden hinsichtlich der objektiven und subjektiven Bildqualität nicht näher evaluiert. Eine kontrastmittelgestützte Bildgebung bei 70 kV könnte allerdings aufgrund der optimierten Kontrastverhältnisse noch bessere Ergebnisse liefern.

Schlussfolgerung

Immunsupprimierte Patienten können unter Verwendung eines High-Pitch-70-kV CT-Thorax-Protokolls von einer deutlichen Dosisreduktion profitieren. Dabei zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der objektiven und subjektiven Bildqualität im Vergleich zu Standard-120-kV-CT-Untersuchungen. Aus diesem Grund empfehlen wir die Anwendung eines High-Pitch-70-kV-Untersuchungsprotokolls insbesondere bei CT-Verlaufskontrollen von Patienten mit Immunsuppression.

KLINISCHE RELEVANZ DER STUDIE

- High-Pitch-70-kV-CT-Untersuchungen zeigen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der subjektiven und objektiveren Bildqualität im Vergleich zu Standard-120-kV-CT-Untersuchungen des Thorax.
- Immunsupprimierte Patienten können unter Verwendung eines High-Pitch-70-kV-CT-Thorax-Protokolls von einer deutlichen Dosisreduktion profitieren.
- Wir empfehlen die Anwendung eines High-Pitch-70-kV-Untersuchungsprotokolls insbesondere bei CT-Verlaufskontrollen von Patienten mit Immunsuppression.

Interessenkonflikt

Moritz H. Albrecht hat Referentenhonorare von Siemens erhalten.
Julian L. Wichmann hat Referentenhonorare von Siemens und General Electric erhalten.

Literatur

- [1] Bajaj SK, Tombach B. Respiratory infections in immunocompromised patients: Lung findings using chest computed tomography. *Radiology of Infectious Diseases* 2017; 4: 29–37
- [2] Memoli MJ, Athota R, Reed S et al. The Natural History of Influenza Infection in the Severely Immunocompromised vs Nonimmunocompromised Hosts. *Clinical Infectious Diseases: An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America* 2014; 58: 214–224
- [3] Köhler JR, Casadevall A, Perfect J. The Spectrum of Fungi That Infects Humans. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine* 2015; 5: a019273
- [4] Ewig S, Höffken G, Kern WV et al. S3-Leitlinie: Behandlung von erwachsenen Patienten mit ambulant erworbener Pneumonie und Prävention – Update 2016. *Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin*
- [5] Brodoefel H, Vogel M, Hebart H et al. Long-term CT follow-up in 40 non-HIV immunocompromised patients with invasive pulmonary aspergillosis: kinetics of CT morphology and correlation with clinical findings and outcome. *American journal of roentgenology* 2006; 187: 404–413
- [6] Campanella F, Rossi L, Giroletti E. Are physicians aware enough of patient radiation protection? Results from a survey among physicians of Pavia District- Italy. *BMC health services research* 2017; 17: 406
- [7] Amis ES Jr., Butler PF, Applegate KE et al. American College of Radiology white paper on radiation dose in medicine. *Journal of the American College of Radiology* 2007; 4: 272–284
- [8] Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R et al. Radiation Dose Associated with Common Computed Tomography Examinations and the Associated Lifetime Attributable Risk of Cancer. *Archives of internal medicine* 2009; 169: 2078–2086
- [9] Prakash P, Kalra MK, Ackman JB et al. Diffuse lung disease: CT of the chest with adaptive statistical iterative reconstruction technique. *Radiology* 2010; 256: 261–269
- [10] Bongartz G, Golding S, Jurik A et al. European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography. Report EUR 16262 1999
- [11] Deak PD, Smal Y, Kalender WA. Multisection CT protocols: sex-and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product. *Radiology* 2010; 257: 158–166
- [12] Boone J, Strauss K, Cody D et al. Size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT exams: Report of AAPM Task Group 204. 2011
- [13] Martin SS, Albrecht MH, Wichmann JL et al. Value of a noise-optimized virtual monoenergetic reconstruction technique in dual-energy CT for planning of transcatheter aortic valve replacement. *European radiology* 2017; 27: 705–714
- [14] Bodelle B, Fischbach C, Booz C et al. Free-breathing high-pitch 80kVp dual-source computed tomography of the pediatric chest: Image quality, presence of motion artifacts and radiation dose. *European journal of radiology* 2017; 89: 208–214
- [15] Cicchetti DV. Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological assessment* 1994; 6: 284
- [16] Kubo T, Ohno Y, Nishino M et al. Low dose chest CT protocol (50 mAs) as a routine protocol for comprehensive assessment of intrathoracic abnormality. *European Journal of Radiology Open* 2016; 3: 86–94
- [17] Gordic S, Morsbach F, Schmidt B et al. Ultralow-dose chest computed tomography for pulmonary nodule detection: first performance evaluation of single energy scanning with spectral shaping. *Investigative radiology* 2014; 49: 465–473
- [18] Wichmann JL, Hu X, Kerl JM et al. 70 kVp computed tomography pulmonary angiography: potential for reduction of iodine load and radiation dose. *J Thorac Imaging* 2015; 30: 69–76
- [19] Schueller-Weidekamm C, Schaefer-Prokop CM, Weber M et al. CT angiography of pulmonary arteries to detect pulmonary embolism: improvement of vascular enhancement with low kilovoltage settings. *Radiology* 2006; 241: 899–907
- [20] Bodelle B, Klement D, Kerl JM et al. 70 kV computed tomography of the thorax: valence for computer-assisted nodule evaluation and radiation dose – first clinical results. *Acta radiologica (Stockholm, Sweden)* 2014; 55: 1056–1062
- [21] Newell JD Jr, Fuld MK, Allmendinger T et al. Very low-dose (0.15 mGy) chest CT protocols using the COPDGene 2 test object and a third-generation dual-source CT scanner with corresponding third-generation iterative reconstruction software. *Investigative radiology* 2015; 50: 40
- [22] Schaller F, Sedlmair M, Raupach R et al. Noise Reduction in Abdominal Computed Tomography Applying Iterative Reconstruction (ADMIRE). *Acad Radiol* 2016; 23: 1230–1238
- [23] Robertson DD, Weiss PJ, Fishman EK et al. Evaluation of CT techniques for reducing artifacts in the presence of metallic orthopedic implants. *Journal of computer assisted tomography* 1988; 12: 236–241
- [24] Baumüller S, Winklehner A, Karlo C et al. Low-dose CT of the lung: potential value of iterative reconstructions. *European radiology* 2012; 22: 2597–2606
- [25] Tang K, Wang L, Li R et al. Effect of low tube voltage on image quality, radiation dose, and low-contrast detectability at abdominal multidetector CT: phantom study. *Journal of biomedicine & biotechnology* 2012; 2012: 130169
- [26] Weis M, Henzler T, Nance JW Jr et al. Radiation Dose Comparison Between 70 kVp and 100 kVp With Spectral Beam Shaping for Non-Contrast-Enhanced Pediatric Chest Computed Tomography: A Prospective Randomized Controlled Study. *Investigative radiology* 2017; 52: 155–162
- [27] Lell MM, May M, Deak P et al. High-pitch spiral computed tomography: effect on image quality and radiation dose in pediatric chest computed tomography. *Investigative radiology* 2011; 46: 116–123
- [28] Baumüller S, Alkadhi H, Stolzmann P et al. Computed tomography of the lung in the high-pitch mode: is breath holding still required? *Investigative radiology* 2011; 46: 240–245
- [29] Thomas C, Ketelsen D, Tsiflikas I et al. Dual-energy computed tomography: is there a penalty in image quality and radiation dose compared with single-energy computed tomography? *Journal of computer assisted tomography* 2010; 34: 309–315
- [30] Lell MM, Scharf M, Eller A et al. Feasibility of Respiratory-gated High-pitch Spiral CT: Free-breathing Inspiratory Image Quality. *Acad Radiol* 2016; 23: 406–412
- [31] Schulz B, Jacobi V, Beeres M et al. Quantitative analysis of motion artifacts in high-pitch dual-source computed tomography of the thorax. *J Thorac Imaging* 2012; 27: 382–386
- [32] Nakagawa M, Ozawa Y, Sakurai K et al. Image quality at low tube voltage (70 kV) and sinogram-affirmed iterative reconstruction for computed tomography in infants with congenital heart disease. *Pediatric radiology* 2015; 45: 1472–1479