

Protokollempfehlungen für die Computertomographie der Lunge:

Konsensus der Arbeitsgemeinschaft Thoraxdiagnostik der DRG

Protocol Recommendations for Computed Tomography of the Lung:

Consensus of the Chest Imaging Workshop of the German Radiologic Society

Biederer J.¹⁾, Wildberger J.E.²⁾, Bolte H.¹⁾, Fink C.³⁾,
Tuengerthal S.⁴⁾, Rehbock B.⁵⁾, Hieckel H.-G.²⁾, Diederich S.⁶⁾,
Hofmann-Preiss K.⁷⁾, Lörcher U.⁸⁾, Heussel C.P.⁴⁾

für die AG Thorax der Deutschen Röntgengesellschaft
on behalf of the Chest Imaging Workshop of the German Radiologic Society

- 1) Klinik für Diagnostische Radiologie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
- 2) Institut für Röntgendiagnostik, Helios Klinikum Berlin-Buch
- 3) Institut für Klinische Radiologie, Universitätsklinikum Klinikum Mannheim
- 4) Radiologie, Thoraxklinik Heidelberg
- 5) Diagnostische Radiologie am St. Hedwig Krankenhaus in Berlin-Mitte
- 6) Institut für Diagnostische und interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin Marien-Hospital Düsseldorf
- 7) Radiologisches Institut, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- 8) Fachbereich Bildgebende Verfahren, Deutsche Klinik für Diagnostik, Wiesbaden

Key words: Computertomographie, Lunge, Protokollempfehlungen

corresponding author and address for reprint requests:

Prof. Dr. med. Juergen Biederer
Klinik für Diagnostische Radiologie
Arnold-Heller-Str. 9
24105 Kiel

Tel.: 0049-431-597-3858
Fax: 0049-431-597-3858
E-Mail: juergen.biederer@rad.uni-kiel.de

Abstract:

An increasing variety of computed tomography scanners with different imaging geometry and diverse protocol recommendations of the vendors for chest imaging have raised the need for a consensus on basic imaging protocols. In addition to this, radiation exposure has become a relevant issue in computed tomography. With the recommendations of this article it was intended to provide a schematic set of protocols and recommendations for computed tomography of the lung, i.e. to facilitate follow-up reads of studies that were acquired with different scanners and at different sites.

Four different types of protocols are suggested for different groups of indications. The basic protocol is a contrast-enhanced helical study with sufficient spatial resolution for tumour staging and workup of unclear situations. The second protocol is a refinement of this protocol with increased spatial resolution dedicated to vessel imaging and computer-aided (CAD) applications. Depending on the z-coverage, this infers a higher radiation exposure and more data for post-processing and storage. A low dose protocol is recommended for short term follow up of known disease and imaging focused on the lung parenchyma only. For diffuse lung disease, an additional HRCT-mode in incremental technique can be applied. Adapted protocol recommendations are given for three scanner groups (single row detector and twin, 4-16 row detector and 32 and more row detectors). Nevertheless, individual adjustments for all patients are essential and some of the parameters will need to be adjusted for specific scanners and may thus differ from these general recommendations. Finally, we make suggestions for documentation, reporting and archiving (preferably digital).

This present version summarizes the state of art 2007 and will serve as a basis for ongoing discussions. To meet the requirements of future technical developments in the area of computed tomography, these recommendations will need a regular update (most recent version on the homepage of the workshop [<http://www.drg.de/ag-thorax/index.html>]). All users are cordially invited to contribute their suggestions for continuous improvement.

Zusammenfassung:

Die zunehmende Vielfalt der verfügbaren CT Scanner und empfohlenen Protokolle für die CT des Thorax und der Lunge macht es erforderlich, die Diagnostik wieder mehr zu vereinheitlichen, um eine Vergleichbarkeit von Voruntersuchungen auch bei Verwendung unterschiedlicher Gerätegenerationen zu gewährleisten. Darüber hinaus sind bei der Auswahl der Untersuchungstechnik zunehmend Aspekte des Strahlenschutzes zu berücksichtigen. Dieser Beitrag fasst die Protokollempfehlungen der AG Thorax in der DRG zusammen, die ein praktikables Raster zur Auswahl geeigneter Untersuchungstechniken für die Computertomographie der Lunge bieten sollen.

Vorgeschlagen wird eine Palette von vier Protokollen für die wichtigsten Fragestellungen. Das Basisprotokoll ist eine kontrastmittelverstärkte Spiral-CT mit ausreichender Detailauflösung für das Tumor-Staging und die Untersuchung bei unklaren Fragestellungen. Das zweite Protokoll ist eine Modifikation als Dünnschichtprotokoll für Gefäßdarstellungen bzw. computergestützte (CAD-) Anwendungen und geht – je nach z-Abdeckung - mit etwas höherer Strahlenexposition einher. Für reine Parenchymdarstellungen und/oder Verlaufskontrollen werden eine Niedrigdosis-Spiraltechnik bzw. eine inkrementale Einzelschicht-HR-Technik eingesetzt. Für drei Geräteklassen (Einzeiler oder Twin, 4-16 Schichten, 32 und mehr Schichten) werden an die Geräteleistung angepasste Parameter empfohlen. Einzelne Parameter sind im Detail für die jeweiligen Geräte zu modifizieren und können daher etwas von den empfohlenen Werten abweichen. Ebenso sind individuelle Anpassungen für den einzelnen Patienten unumgänglich. Ergänzend werden Vorschläge für die Dokumentation, Befundung und Archivierung (bevorzugt digital) gemacht.

Diese aktuelle Fassung stellt den Stand der Entwicklung 2007 dar und ist als Diskussionsgrundlage zu werten. Da insbesondere Weiterentwicklungen in der CT-Technologie nur bedingt antizipiert werden können, ist eine regelmäßige Aktualisierung der Inhalte erforderlich (in der jeweils neuesten Fassung auf der Homepage der AG Thorax [<http://www.drg.de/ag-thorax/index.html>]). Jeder Anwender ist eingeladen, Verbesserungsvorschläge einzubringen und so an künftigen Überarbeitungen dieser Empfehlungen aktiv mitzuwirken.

Einleitung:

Technische Entwicklungen der vergangenen Jahre auf dem Gebiet der Computertomographie haben einen vielseitigen Gerätepark hervorgebracht. Fast könnte der Eindruck entstehen, dass die Gerätegenerationen schneller wechseln, als die klinische Evaluation folgen kann. Es ist daher anzunehmen und auch immer wieder beobachtete Realität, dass das mögliche Optimum der Untersuchungsqualität nicht immer ausgeschöpft wird und dass Potentiale zur Verringerung der Strahlenexposition ungenutzt bleiben. Es war daher das Anliegen der Arbeitsgruppe Thorax der Deutschen Röntgengesellschaft (AG Thorax), Empfehlungen, Tipps und Tricks für die vier wichtigsten Indikationsgruppen (Tumor/Bronchial- bzw. Lungenkarzinom, Gefäße/Lungenembolie, Parenchym/Pneumonie und Parenchym/interstitielle Lungenerkrankungen) zu geben. Darüber hinaus ist eine Vereinheitlichung der Protokolle im Hinblick auf institutsübergreifende Verlaufskontrollen sinnvoll und empfehlenswert. Diese Zusammenstellung ist als Momentaufnahme zu werten und gibt die Konsensusempfehlung der AG Thorax zum Stand der Diskussion Ende 2007 wieder. An der Weiterentwicklung der Protokolle wird kontinuierlich gearbeitet (in der jeweils neuesten Fassung auf der Homepage der AG Thorax [<http://www.drg.de/ag-thorax/index.html>]). Daher ergeht mit diesen Empfehlungen gleichzeitig die Einladung an jeden Anwender, die folgenden Ausgaben dieser Empfehlungen aktiv mitzugestalten.

CT Toolbox

Geräte- und herstellerübergreifende Richtwerte, die für den Regelpatienten zutreffen, wurden bereits in einer ersten Fassung der „CT Toolbox“ [1] veröffentlicht. Die aktuelle Version ist in Tab. 1 wiedergegeben. Als Basis-Technik wird die Spiral-Technik angesehen (Spalte 1). Hiervon ausgenommen sind HR-CT Protokolle, die in Inkrementaltechnik durchgeführt werden. Angesichts unterschiedlicher Möglichkeiten der Geräte erscheint es sinnvoll, etwas abweichende Empfehlungen für drei Geräteklassen (1 bis 2, 4 bis 16, 32 und mehr Schichten) zu geben. Das Basis-Protokoll der Spalte 1 entspricht den Empfehlungen der AG Thorax zur Untersuchung pulmonaler Raumforderungen. Davon abweichend werden innerhalb jeder Geräteklasse geringe Variationen des Basis-Protokolls für die Untersuchung verschiedener Pathologien empfohlen, soweit bei Planung

der Untersuchung bereits bekannt und absehbar. Spalte 2 enthält einen Protokollvorschlag für die CT-Angiographie und für Untersuchungen, die optional erlauben, aus den Spiraldatensätzen vollwertige HR-Rekonstruktionen zu erstellen. Das entscheidende Merkmal ist hier eine dünne Kollimation, die sowohl für die Gefäßdarstellung als auch die HRCT-Rekonstruktionen optimale Datensätze ergibt, aber auch technisch bedingt (Penumbra) sowie zur Rauschminderung mehr Dosis beanspruchen. Die Spalten 3 und 4 enthalten Empfehlungen für native Niedrigdosis-Untersuchungen des Lungenparenchyms in Spiraltechnik und für die HRCT in Inkrementaltechnik (weitere Details s.u.). Die hier angegebenen Protokollvorschläge erheben nicht den Anspruch einer rechtlich bindenden Leitlinie. Andererseits zeigt die Erfahrung, dass sich gutachterliche Stellungnahmen und Gerichtsverfahren gerne auf „unverbindliche Empfehlungen“ stützen. Es wird daher ausdrücklich darauf hingewiesen, dass einzelne Geräte, deutliche Abweichungen vom angenommenen Normgewicht von 75 kg, pathologische Kreislaufzeiten oder spezielle Indikationen individuelle und gerätespezifische Anpassungen erfordern. Wie bei jeder Anwendung ionisierender Strahlung entheben die Protokollempfehlungen den untersuchenden Arzt daher nicht von der Pflicht, die Vorgaben der Röntgenverordnung zu berücksichtigen und die „Rechtfertigende Indikation“ und das ausgewählte Untersuchungsprotokoll jeweils individuell zu überprüfen (§ 23 RöV). Für Fehler bei der Anwendung der Protokollempfehlungen kann die DRG keine Haftung übernehmen. Die angegebenen Dosiswerte wurden mit dem von Stamm und Nagel erstellten Programm CT-Expo V 1[1].4.1 für einige gängige Fabrikate berechnet [2].

Allgemeine Aspekte:

Vorbereitung des Patienten

Voraussetzung zur Untersuchung ist die rechtswirksame Aufklärung über die geplante Kontrastmittelgabe (Tumor, Gefäße). Soweit möglich (bei Lungenembolie Notfallsituation!), erfolgt eine Abklärung der für die Kontrastmittelgabe notwendigen Blutwerte (Serum-Kreatinin, evtl. TSH basal). Die Untersuchung erfolgt in Rückenlage, Arme über den Kopf gelagert (bei Dyspnoe oder Schmerzen gelegentlich Seitenlage vorteilhaft, ggf. Sauerstoffgabe, ausreichende Analgesie). Eine Kippung der Gantry ist in der Regel nicht erforderlich. Für die Untersuchung in submaximaler Inspiration wird der Patient

entsprechend instruiert. Bei Verständigungsproblemen (Sprache, Schwerhörigkeit) sollte zunächst ein Probedurchlauf mit Atemanhalt ohne Strahlung durchgeführt werden.

Kontrastmittelgabe

Abgesehen von ausschließlich auf die Darstellung des Lungenparenchyms beschränkten Untersuchungen, für die eine Gefäßkontrastierung entbehrlich sein kann, wird zur Thoraxdiagnostik eine i.v. Kontrastmittelverstärkung empfohlen [3]. Dabei steigen die Anforderungen an die Exaktheit der Kontrastmittelapplikation direkt proportional zur Leistungsfähigkeit des CT und der Scangeschwindigkeit. Sehr zu empfehlen ist ein Doppelkopf-Hochdruckinjektor zur sequentiellen maschinellen Injektion von Kontrastmittel und physiologischer Kochsalzlösung über einen peripher-venösen Zugang, typischerweise antekubital. Die Nachinjektion von Ringer- oder NaCl-Lösung ist empfehlenswert zur Einsparung von Kontrastmittel und Reduzierung von Sternartefakten in der V. cava superior [4,5]. Kontraindikationen (je nach Dringlichkeit der Untersuchung nur relative KI) sind anamnestisch bekannte Überempfindlichkeitsreaktionen für Kontrastmittel, Schilddrüsenfunktionsstörungen und Niereninsuffizienz. In der Regel kommen 60-120 ml eines nicht-ionischen Kontrastmittels zur Anwendung. Mehrschicht-Spiral-CT und Gefäßdarstellungen erfordern höhere Jodapplikationsraten, für die neben Präparaten mit 300 mg Jod/ml auch Kontrastmittel mit bis zu 400 mg Jod/ml zum Einsatz kommen. Typische Injektionsraten liegen zwischen 2 und 5 ml/s, teilweise auch darüber und erfordern einen entsprechend belastbaren venösen Zugang. Letztendlich entscheidend ist die Jodapplikationsrate pro Zeiteinheit (Iodine Delivery Rate; IDR). Die applizierte Jodmenge kann entweder über eine höhere Flussrate, die Verwendung höher konzentrierter Präparate oder eine Kombination beider Parameter angepasst werden [6]. Empfehlenswert ist eine Bolustriggerung (Platzierung des Messfeldes in der Aorta, ggf. in der A. pulmonalis). Beim MSCT mit weniger als 16 Schichten können die Untersuchungen mit einem festen Delay (in Abhängigkeit von der Kreislaufzeit: 10 – 40 s [7]) oder alternativ mit Hilfe der Bolus-Triggerung als CT-Angiographie erfolgen. Für ≥ 16 -Schichten und speziell für gezielte Gefäßdarstellungen ist eine Bolusverfolgung sehr zu empfehlen (alternativ: Testbolus).

Dosisempfehlungen

Die Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Computertomographie (aufgrund der Beschlüsse des Vorstands der Bundesärztekammer vom 10. April 1992) beschränken sich hier auf eine allgemeingültige Empfehlung (Seite 6, Abs. 3): „Aus Gründen der Strahlenexposition sollte ... [das mAs-Produkt] ... möglichst niedrig gewählt werden“ [<http://www.bundesaerztekammer.de/30/Richtlinien/Leitidx/Computertompdf.pdf>].

Die Diagnostischen Referenzwerte des Bundesamtes für Strahlenschutz auf der Grundlage des § 81 Abs. 2 Satz 3 StrlSchV und des § 16 Abs. 1 Satz 2 RöV (in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I. S. 604)) geben für die Computertomographie des Thorax bei Erwachsenen einen gewichteten CT-Dosisindex (CTDI_w) von 22 mGy und ein Dosis-Längen-Produkt von 650 mGycm vor. Diese Werte werden von den vorgestellten Protokollen eingehalten.

[<http://www.bfs.de/www/extfs/ion/medizin/referenzwerte01.pdf>]

[http://www.bfs.de/www/extfs/bfs/recht/rsh/volltext/atg_usw/roev_2003.pdf]

Grundsätzlich wird eine Röhrenspannung von 120 kV gewählt. Noch uneinheitlich sind die Empfehlungen für den Röhrenstrom. In der Regel reichen Werte bis maximal 120 mAs (angegeben sind effektive mAs, d.h. mAs normiert auf den äquivalenten Wert bei einer Vollrotation des Scanners und einem Pitch von 1,0). Im Idealfall erfolgt die individuelle Anpassung per Dosismodulation, alternativ nach Körpergröße und Gewicht. Insbesondere für reine Parenchymuntersuchungen (Hochkontrast-Situation), bei denen geringere Ansprüche an den Weichteilkontrast im Mediastinum gestellt werden dürfen, ist auch mit Röhrenströmen von 40 mAs und weniger eine gute Bildqualität zu erreichen („Niedrigdosis“ Protokolle) [8]. Hier ist dann im Normalfall auch keine intravenöse Kontrastmittelgabe sinnvoll. Je nach Gerät sind so gegenüber den Herstellerempfehlungen deutliche Dosisersparungen möglich, wobei Unterschiede in der Gerätekonzeption und Detektorgeometrie insbesondere bei Niedrigdosisprotokollen deutlicher werden. Die in der Tabelle 1 angegebenen Untergrenzen bezüglich der Dosis können möglicherweise sogar noch unterschritten werden.

Protokollempfehlungen:

Das Grundelement bzw. Basis-Protokoll ist die Thorax-Spirale, die bei Fragestellungen zum Einsatz kommen sollte, bei denen alle Aspekte abgedeckt werden sollen. Die weiteren Spalten repräsentieren Spezialprotokolle, die auf eine Optimierung der Untersuchung für besondere Fragen abzielen. Die folgenden Abschnitte verweisen auf die Tabelle der „CT Toolbox“ und sind als ergänzende Anmerkungen oder Erläuterungen des Tabelleninhalts zu verstehen.

Tumor/Bronchial- bzw. Lungenkarzinom

Empfohlen wird das Basis-Protokoll entsprechend Spalte 1 der „CT Toolbox“. Zu beachten ist, dass die Scanstrecke vom unteren Kehlkopftrand (beachte supraklavikuläre Lymphknoten und Infiltrationen der oberen Thoraxapertur bei Pancoast-Tumoren) bis mindestens auf Höhe der Nierenhili (beachte Nebennierenmetastasen) reichen sollte. Die Dosis sollte genügend hoch gewählt werden, da Weichteilinfiltrationen und die Abgrenzung von Tumor und Atelektase/Erguss hohe Anforderungen an die Niedrigkontrastauflösung stellen. Unter Aspekten der Dosisreduktion und Verminderung der Dateigröße für die digitale Speicherung sind Schichtdicken von 1,5-3 mm als ausreichend anzusehen. Soweit möglich (Geräte mit Adaptive Array –Detektoren, z.B. Fa. Siemens) kann durch Anwahl einer breiteren Kollimation dennoch eine sparsame Röhrenstromwahl erfolgen. Die berechneten Dosiswerte in Tabelle 1 lassen eine potentielle Dosisreduktion gegenüber dem CTA/Dünnschicht-Protokoll von ca. 30-50% erkennen. Auch bei Geräten mit nicht-adaptiven Arrays (z. B. Fa. Toshiba) erlaubt die Beschränkung auf etwas größere rekonstruierte Schichtdicken mit entsprechend reduziertem Rauscheindruck eine Anwahl geringerer Röhrenströme. Je nach Fragestellung bleibt es dem Anwender selbstverständlich vorbehalten, insbesondere an Anlagen mit nicht-adaptiven Arrays auch primär ein CT-Angio-Protokoll anzuwählen.

Gefäßerkrankungen (Pulmonalarterie, Aorta)

Empfohlen wird das CT-Angio/Dünnschicht-Protokoll entsprechend Spalte 2 der „CT Toolbox“. Hier divergieren die Empfehlungen für verschiedene Geräteklassen: Bei

geringer Zeilenzahl wird die Scanzeit eher zum limitierenden Faktor, so dass ein Pitch-Faktor von 2 empfohlen wird. Höherzeilige Geräte erlauben bei grundsätzlich höheren Scangeschwindigkeiten eine Verbesserung der Detailauflösung durch Anwahl dünnstmöglicher Kollimationen. Je höher die erreichbare Scangeschwindigkeit, desto wichtiger wird es, den Kontrastmittelbolus optimal zu steuern. Mit dem kürzeren Zeitfenster steigen die Anforderungen an die Exaktheit der Kontrastmittelapplikation. Je nach Fragestellung wird eine Optimierung der KM-Applikation für die Pulmonalarterie oder die Aorta thoracica erforderlich. Eine Bolusverfolgung (Bolus-Trigger oder Testbolus) ist dringend zu empfehlen. Ein EKG-Abgleich mit retrospektivem Gating verlängert aufgrund der überlappenden Datenakquisition die Scanzeit und die Strahlenexposition für den Patienten. Allerdings werden diese Protokolle oft auf die Abklärung unklarer thorakaler Schmerzen abgestimmt (sog. „Chest pain“-Protokolle) und kombinieren die Thorax-CT mit einer CT-Angiographie der Koronargefäße (64-Schicht MSCT und Dual Source CT) [9].

Triggerung mit entsprechend höherer Strahlenexposition ist in der Regel nicht erforderlich. Als Kompromiss kann z. B. zum Ausschluss einer Dissektion der Aorta ascendens über einen begrenzten Abschnitt des Untersuchungsvolumens eine Zusatzserie mit EKG-Triggerung ergänzt werden.

Parenchymerkrankungen: Spirale oder Inkrementaltechnik?

Unter diffusen Lungenerkrankungen subsumiert man die große Gruppe interstitieller Lungenerkrankungen mit entzündlich-fibrosierenden Veränderungen am Lungengerüst, inklusive granulomatöser Erkrankungen und Veränderungen an den kleinen Atemwegen. Allen gemeinsam ist in der Regel ein diffuser Ausprägungsgrad von Parenchymveränderungen, bei denen sich die Pathologie auf der Ebene des Sekundärlobulus abspielt. Einige Erkrankungen können auch eine fokale/ multifokale und / oder eine herdförmige Form der Manifestation aufweisen.

Die Empfehlungen für die Diagnostik von diffusen Lungenerkrankungen und Pneumonien fordern untersuchungstechnisch eine Kombination aus vollständiger Organabbildung zur Beurteilung der räumlichen Verteilung der Pathologie und aus einer hochauflösenden Darstellung der anatomisch kleinsten bindegewebigen Einheit zur Beurteilung der Qualität der pathologischen Veränderungen (Sekundärlobulus). Eine volle Abdeckung wird hier mit

einer Volumendarstellung nach den Spezifikationen und Dosisempfehlungen für ein Thorax-Spiral-CT kombiniert mit einer Dünnschichtdarstellung mit hochauflösendem Rekonstruktionsalgorithmus (HRCT) erreicht. Eine dabei zwangsläufige Zunahme des Rauschens muß u.U. technisch ausgeglichen werden (Filter, Dosisanhebung). Erst Mehrzeilen-Spiral-CT (mindestens 4-Zeiler im Standarddosisbetrieb) ermöglichen es, Volumendaten aufzunehmen, aus denen vollwertige HR-Rekonstruktionen in allen Ebenen generiert werden können. In punkto Volumenabdeckung und Detailauflösung ist die Standarddosis-Spirale mit HR-Option zweifelsfrei die technisch eleganteste Lösung, ist aber hinsichtlich der applizierten Dosis mit einer Einzelschicht-Spiral-CT und ergänzenden HR-Schichten vergleichbar [10].

Um bei Ein- und Zweizeilern eine ähnlich vollständige Abdeckung zu erreichen, muß eine Kombination von Spiral- und Inkrementaltechnik durchgeführt werden. Als sinnvoller Kompromiss im Sinne einer Verminderung der Strahlenexposition ist am Ein- oder Zweizeiler die Kombination aus Spiral-CT (auch als „Niedrigdosis“-Untersuchung akzeptabel) mit separat ergänzten Aufnahmen in (Standarddosis-) HR-Einzelschichttechnik angesehen. Dieses Vorgehen bedeutet auch am Mehrzeilen-Gerät eine deutlich niedrigere Strahlenexposition als die primäre Durchführung einer hochaufgelösten Standarddosis-Spirale (CTA/Dünnschicht Gefäße u. Spirale mit HR-Option), aus der HR-Schichten nachberechnet werden können

Eine reine HR-Einzelschichttechnik (Toolbox: HRCT) stellt die Option mit der geringsten Strahlenexposition dar. Kontrovers diskutiert wird, ob sie zur Erhebung des Status quo u. U. ausreichend ist. Hier muß der Untersucher abwägen, ob eine eher fokale Manifestation der Veränderungen oder eine eher gleichmäßige Verteilung vorliegen. Insbesondere bei Verlaufskontrollen kann eine vollständige Volumenabdeckung zur Beurteilung von Veränderungen der räumlichen Ausdehnung (Profusion) hilfreich sein, auch wenn HRCT-basierte semiquantitative Methoden für eine Verlaufsbeurteilung der Profusion vorliegen [11]. Sollen in Zukunft zunehmend automatisierte Methoden der Parenchymquantifizierung zum Einsatz kommen, so wird man nicht auf den Volumendatensatz verzichten können [12]. Auch eine Verlaufskontrolle solider Läsionen mit volumetrischen Verfahren setzt den Spiraldatensatz voraus [13].

Im Zweifelsfalle kann die als HRCT in Einzelschichttechnik begonnene Untersuchung auch um eine Niedrigdosis-Spirale ergänzt werden. Die reine HRCT ist aufgrund der geringen Strahlenexposition insbesondere für gutachterliche Fragestellungen geeignet. Darüber hinaus ermöglichen nicht alle Mehrschicht-Spiral-CT eine klassische Inkrementaltechnik. Tipp: Bei zusätzlich sequentieller Technik (Expiration, Bauchlage) an eine optionale Erhöhung der Röhrenspannung (z.B. 140 kV) mit Reduktion des Strom-Zeit-Produktes (mAs) denken! Bei Nachweis von Dichteanhebungen in der abhängigen Partie in Rückenlage sind zusätzliche Scans in Bauchlage (zur Unterscheidung von Hypostase und Fibrose) als Einzelschicht zu empfehlen. Um zusätzliche Scans in Bauchlage einzusparen, sind längere Liegezeiten auf dem Rücken nach Möglichkeit zu vermeiden. Bei Vorliegen eines Mosaikmusters im Lungenfenster sind zusätzliche Scans (siehe oben) in Expiration (zur Unterscheidung von „Air Trapping“ und Mosaikperfusion) zu empfehlen. Hierbei ist zu beachten, dass die bei einigen Mehrschicht-Spiral-CT verfügbare „Sonderkollimierung“ (4-Zeiler 2x 0,5 mm; 16-Zeiler 2x1mm) aufgrund von geräteseitiger Einblendung zu einer relativen Dosiserhöhung mit bis zu 50% verminderter Dosiseffizienz führt.

Befundung

Als Stand der Technik ist die Monitorbefundung anzusehen (vgl. einschlägige DIN-Normen). Für die Befundung genügen in eine preiswerte Bildbetrachtungssoftware oder ein PACS-Arbeitsplatz mit für die Diagnostik freigegebenem Befundungsmonitor (Richtlinien des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), links auf der Seite der Arbeitsgemeinschaft Physik und Technik <http://www.drg-apt.de>). Sie bietet die Möglichkeit, ausgehend von den Grund-Fenstereinstellungen (Mediastinalfenster mit Weite ca. 250 bis 400 HE und Zentrum 30 bis 70 HE, Lungenfenster mit Weite 1500 bis 2000 HE und Zentrum –300 bis –600 HE) die Fensterlagen am Monitor individuell anzupassen sowie Dichte- und Distanzmessungen einfach und schnell durchzuführen und zu dokumentieren. Flaue Infiltrate werden so z.B. oft erst erkennbar.

Die für die Monitorbefundung bereitgestellten Rekonstruktionen orientieren sich am jeweiligen Ablauf der Befundung („Workflow“). Neuere Konzepte sehen die Bereitstellung eines 1 mm Datensatzes mit hart-mittelhartem Rekonstruktionskern und einer Überlappung von bis zu 50% (sog. "Pseudorohdaten") vor (vergleiche "Archivierung"). Die

Befundung erfolgt an einem 3D-Befundungsarbeitsplatz ("Workstation"), der alle gängigen Nachverarbeitungen erlaubt. So wird zum einen die klassische Befundung in axialen Schichten mit variabler Schichtdicke und passenden Fensterlagen möglich (sliding MIP (Maximum-Intensitäts-Projektion) in Lungen- und Weichteil-, ggf. auch Knochenfenstertechnik), zum anderen können Rekonstruktionen in verschiedenen Raumrichtungen (MPR - Multiplanare Rekonstruktionen) sowie diverse 3D-Visualisierungen (z.B. VRT – volume rendering Technik) durchgeführt werden. Für die Gefäßdiagnostik ist eine Befundung vom Monitor mit multiplanarer und dreidimensionaler Darstellung heute praktisch obligat.

Eher "klassisch" ist das Vorgehen, aus den Mehrschicht-Spiral-CT drei Datensätze bereitzustellen (Beispiel Lungenkarzinom): 1 mm und 5 mm Schichtdicken nachberechnet mit hochauflösendem, kantenbetonten Algorithmus für Lungen- und Knochenfenster, und 3-5 mm Schichtdicken nachberechnet mit dem Standardalgorithmus. Für die Einzeilen-CT (einschließlich Twin) werden 2,5 – 5 mm Schichtdicken mit hochauflösendem, kantenbetonten Algorithmus für Lungen- und Knochenfenster nachberechnet, und 3-5 mm Schichtdicken mit dem Standardalgorithmus nachberechnet.

Für die in Inkrementaltechnik erstellte HRCT erfolgt die Berechnung mit einem hochauflösenden Rekonstruktionsalgorithmus und die Darstellung im Lungenfenster mit einer Weite von 1800 bis 2000 HE und einem Zentrum von –300 bis –500 HE. Für spezielle Fragestellungen, insbesondere den Nachweis von „Air trapping“, kann auch eine engere Fenstereinstellung sinnvoll sein (z.B. 1000 +/- 800 HE). Die Dokumentation im Lungenfenster ist ausreichend, die Befundung sollte jedoch zumindest am Monitor auch Darstellungen in einem Mediastinalfenster (s.o.) einbeziehen.

Alternativ bleibt natürlich die Möglichkeit der Befundung von Filmen am Leuchtkasten nach DIN (Minimalanforderung an die Schichtdicke: 5 mm im Weichteil- + Lungenfenster, bei Malignomverdacht / Tumor zusätzlich auch im Knochenfenster). Eine Befundung auf Papiausdrucken ist nicht statthaft. Ebenso können Papiausdrucke auch nicht zur Weitergabe an weiterbehandelnde Ärzte empfohlen werden, die aufgrund der anstehenden Therapie Befundungsqualität benötigen. Hier ist Film oder besser die Weitergabe digitaler DICOM-Daten gem. der Vorgaben der @GIT der DRG erforderlich.

Befundbericht

Die Vorgaben für radiologische Befundberichte von Lungenerkrankungen sind unterschiedlich definiert. In einigen Fällen (zum Beispiel für Begutachtungen) sind standardisierte Befundungsbögen vorhanden [14]. In anderen Fällen sind Diagnosecodes nach der ICD-Klassifikation einzuhalten. Hierbei muss selbstverständlich auf die Anforderungen der jeweiligen Zuweiser eingegangen werden. Ziel des strukturierten Befundberichts ist, den zuweisenden klinischen Kollegen beziehungsweise den weiterbehandelnden Kollegen alle notwendigen Informationen für die Therapieplanung bzw. für die Einschätzung der Prognose möglichst übersichtlich zur Verfügung zu stellen. Folgende Angaben sollten in die Befundberichte für Thorax-CT bei Lungenkrebs aufzunehmen:

Befund

- Indikation zur CT-Untersuchung
- Beschreibung der CT-Technik incl. warum z.B. auf eine Kontrastmittelgabe verzichtet wurde bzw. nähere Umstände der Prämedikation (z.B. Nachbeobachtung nach Allergie, Gabe von Antihistaminika, etc.)
- Befundbeschreibung, so dass auf das Tumorstadium nach UICC geschlossen werden kann
- Tumor: Größe, Segment, anatomische Lokalisation am Bronchus, Gefäße, Herz, Brustwand, Mediastinum, Wirbelkörper
- Benennung der Lymphknotenstationen nach UICC (z.B. 4R = rechts paratracheal, 7 = infrakarinal etc. [15])
- Eventuelle Fernmetastasen (Leber, Nebennieren, Lunge, Skelett)
- Sonstige für die Therapie wichtige Informationen (Emphysem, Koronarverkalkungen etc.)

Beurteilung

- (Verdachts)Diagnose mit Grad der Sicherheit
- Radiologische (klinische = c) TNM-Klassifikation, Beschreibung der ggf. das Stadium ändernden fraglichen Befunde
- Sonstige Diagnosen

Archivierung

Immer mehr Anwendungen zur Bildnachverarbeitung – z. B. Volumetriesoftware zur Verlaufsbeurteilung von Lungenrundherden – sind auf Voruntersuchungen in digitaler Form angewiesen. Zudem sprechen verbesserte Funktionalitäten von PACS- und Archivierungssystemen und fallende Preise für Speichermedien nach dem aktuellen Stand der Technik für eine bevorzugt digitale Archivierung. Ideal und ausreichend "zukunftsfest" erscheint ein 1 mm Datensatz mit hart-mittelhartem Rekonstruktionskern und einem Inkrement von bis zu 50% (sog. "Pseudorohdaten") der alle gängigen Nachverarbeitungen sekundär erlaubt (Nach- und Verlaufsbeurteilungen mit sliding MIP im Lungen- und Weichteilfenster, Volumetrie s.u.) [16, 17]. Obligat ist die Speicherung im DICOM-Standard, praktischerweise bei Sicherung auf Einzeldatenträgern (CD-ROM, DVD) zusammen mit einem DICOM-Viewer. Hilfreich und praktisch ist auch die zusätzliche Ablage von MPR wichtiger Befunde (cave: Die Datensicherung für gesetzlich geforderte 10 bzw. 30 Jahre muß gewährleistet sein, die Lebensdauer von CD-ROM und DVD reicht vermutlich nicht aus. Dies impliziert nach einigen Jahren eine Datenmigration auf andere Träger. Bezüglich weiterer technischer Details und Anforderungen an die digitale Archivierung sei an dieser Stelle auf die Vorgaben der @GIT der DRG verwiesen).

Alternativ kann ein Filmausdruck in maximal 5 mm Schichtdicke in hochauflösendem Algorithmus/Lungenfenster und Standardalgorithmus/Weichteilfenster archiviert werden (nur bedingt geeignet sind hochauflösende Laserdrucke auf Spezialpapier, nicht akzeptabel sind Laserdrucke auf Normalpapier). Beim Staging des Lungenkarzinoms wird eine zusätzliche Dokumentation im Knochenfenster gefordert. Aufteilung: maximal 20 Aufnahmen auf 35 x 42 cm (11" x 17") Film bei mindestens 65 mm Einzelbildkantenlänge (optimal ausgenutztes Bildformat). Der Ausdruck einer eindeutigen Größenskala (cm-Maß) auf dem Film ist obligat (Voraussetzung für z.B. ein späteres Einscannen der Filme und Kalibrierung der Messskala am Monitor).

Besonderheiten:

Pädiatrische Patienten

In dieser Altersgruppe ist die Minimierung der Strahlenexposition von besonderer Bedeutung [18]. Dosisreduktion und Kontrastmittelgabe entsprechend Alter und Gewicht sind obligat (Faustregel 1,2 mAs / kg Körpergewicht); generell sollten bei vaskulären Fragestellungen im Kindesalter <1 Jahr 80 kV Protokolle erwogen werden. Eine Absenkung der Röhrenspannung von 120 kV auf 100 kV bzw. ggf. sogar auf 80 kV ermöglicht die Senkung der Dosis um bis zu 60 % (unter Verwendung des gleichen mAs-Produktes). Gleichzeitig ermöglicht ein steigender Jodkontrast bei Reduktion der Röhrenspannung ein kontrastmittelsparendes Vorgehen [19]. Zur Befundung sollten bei Verwendung von 80 kV Protokollen Fensterlage (C) und –breite (W) um ca. 50 % höher gesetzt werden.

Indirekte CT-Phlebographie im Rahmen der Abklärung einer Lungenembolie

Bei Abklärung einer Lungenembolie kann fakultativ eine Darstellung des tiefen Beinvenensystems innerhalb der gleichen Untersuchung erfolgen. Die indirekte CT-Phlebographie ist indiziert zur Bestimmung des Gesamtausmaßes einer venösen Thrombembolie bei positivem Nachweis einer Lungenembolie in der CT Angiographie (als Alternative zur konventionellen Phlebographie bzw. in Ergänzung zur Duplexsonographie). Die Gesamtuntersuchung mit Beinvenendarstellung kann so geplant werden, dass die Datenakquisition 180 Sekunden nach Beginn der Kontrastmittelinjektion in Höhe der Fossa poplitea beendet ist. Daraus resultiert eine Wartezeit von ca. 120 – 150 Sekunden nach der Thorax-Spirale. Die lange Verzögerung zwischen den Untersuchungsschritten erlaubt ein differenziertes Vorgehen: Die indirekte CT-Phlebographie wird nur bei Nachweis einer Lungenembolie in der Thorax-Untersuchung empfohlen. Dies setzt voraus, dass eine interaktive Befundung bereits während der Datenakquisition erfolgt. Bei fehlendem Embolie-Nachweis ist die Nachweisrate einer isolierten tiefen Beinvenenthrombose vergleichsweise gering und unter Berücksichtigung der relativ hohen Strahlenexposition nur nach Rücksprache mit dem betreuenden Radiologen / zuweisenden Kollegen sinnvoll. Für eine ausreichende Kontrastierung des tiefen

Beinvenensystems muß eine Gesamtkontrastmittelmenge von 120 ml angesetzt werden [6].

Beurteilung der Dignität solider pulmonaler Läsionen (Zufallsbefunde)

Kleine inzidentelle Lungenrundherde (< 10 Millimeter, sog subzentimeter-Läsionen oder im angloamerikanischen Schriftgut auch SCPN = subcentimeter pulmonary nodules) sind bei computertomographischen Untersuchungen der Lunge ein häufiges Problem des [20, 21]. Sie entsprechen in mehr als 95 Prozent benignen Läsionen, z.B. fokal entzündlichen Herden, intrapulmonalen Lymphknoten, Hamartomen oder Granulomen. Bei fehlender Tumoranamnese sind maligne Läsionen kleiner als 10 Millimeter so selten, dass eine invasive Diagnostik mittels offener Resektion, videoassistierter thorakoskopischer Resektion (VATS), bronchoskopischer oder perkutaner Biopsie routinemäßig nicht sinnvoll ist. Vielmehr sollten computertomographische Kontrollen mit möglichst präziser Volumenmessung erfolgen. Die Rückbildung eines Rundherdes - auch häufig schon im kurzfristigen Verlauf - ist praktisch beweisend für eine benigne Läsion. Bei einer Volumenzunahme - im Besonderen bei Volumen-Verdoppelung zwischen 20 und 400 Tagen - besteht der dringende Verdacht auf Malignität, so dass eine weitere, gegebenenfalls auch invasive Diagnostik erforderlich ist. Fehlende oder extrem langsame Volumenzunahme ist ebenfalls praktisch beweisend für Benignität. Voraussetzung für volumetrische Verlaufskontrollen ist eine Datensicherung mit entsprechend dünnen Schichten und einer Überlappung von ca. 30-50%, um eine hinreichend genaue Volumetrie zu erreichen [22, 23].

Etwas kontrovers diskutiert werden die Empfehlungen für Kontrollintervalle bei Verlaufsuntersuchungen pulmonaler Zufallsbefunde. McMahon et al. (in einer Stellungnahme der Fleischner-Society) und andere Autoren schlagen nach der Größe der Läsionen abgestufte Intervalle vor, die zusätzlich nach Hochrisiko- und Niedrigrisiko-Patienten differenziert werden können [24, 25, 26]. Um ein signifikantes Wachstum hinreichend sicher zu erfassen, dürfen die Kontrollintervalle nicht zu kurz gewählt werden. Praktikabel erscheint als Zusammenfassung der vorliegenden Empfehlungen eine 12-monatige Verlaufskontrolle bei Läsionen kleiner als 4 Millimeter (ggf. ist auch ein Verzicht auf diese Untersuchung bei Patienten mit geringem Malignitätsrisiko vertretbar). 4-6 Millimeter große Läsionen sollten unabhängig von der individuellen Risikoabschätzung

nach 6 Monaten und bei Größenkonstanz dann nach 12 Monaten kontrolliert werden. 6-9 Millimeter große Läsionen sollten bereits nach 3 Monaten, dann nach 6 und 12 Monaten kontrolliert werden. Diese Empfehlungen können derzeit nur als grobe Richtlinie gelten und bedürfen im Einzelfall einer individuellen Anpassung.

Bei Lungenrundherden größer als 10 Millimeter ist die Wahrscheinlichkeit einer malignen Läsion größer, so dass eine histologische Klärung (in der Regel als Resektionsbiopsie) als gerechtfertigt gilt. Alternativ können solche Herde gegebenenfalls zunächst mit dynamischer Dünnschicht-CT zum Beleg einer eventuellen Kontrastmittelaufnahme (Swensen-Technik) untersucht werden. Auf der Basis standardisierter CT-Protokolle kann eine Dichtezunahme um 15 HE (Swensen et al. [27]) oder 30 HE (Yi et al. [28]) als Testkriterium mit einem sehr hohen negativen prädikativen Wert und hoher Sensitivität (jeweils nahe 100%), aber einer geringen Spezifität und einem niedrigen positiven prädikativen Wert (50-70%) angewendet werden. Unbedingt zu beachten ist hierbei, dass sowohl absolute als auch relative HE-Werte je nach Gerät und verwendetem Rekonstruktionsalgorithmus abweichen können. Ob eine Dichtebestimmung mittels Volumetrie-programmen sinnvoll ist, ist vorerst noch ungeklärt. Bei völlig fehlender Kontrastmittelaufnahme ist gegebenenfalls eine Verlaufskontrolle ausreichend.

Untersuchung immunkompromittierter Patienten

Als immunkompromittiert sind Patienten während einer Steroidtherapie, während und nach Chemotherapie (insbesondere während der Neutropenie), mit HIV Infektion, mit kongenitalen Immundefekten, nach Organtransplantation (insbesondere nach Knochenmarktransplantation) und Beatmete auf Intensivstation anzusehen. Eine eingeschränkte Immunkompetenz ist bei Patienten mit Diabetes mellitus, Alkoholabusus, unter Dialysetherapie und bei fortgeschrittenen Tumorleiden anzunehmen. Aufgrund des hohen Gefährdungspotentials durch eine verzögerte Diagnosestellung steht der Strahlenschutz hinter dem Diagnosedruck weiter zurück, als bei immunkompetenten Patienten. Die Untersuchungstechnik der Wahl ist daher eine (ggf. kontrastmittelverstärkte) CT des Thorax in Spiraltechnik mit der Möglichkeit zur Berechnung hochauflösender (HR-) Rekonstruktionen (Parenchymerkrankungen s.o.) [29].

CT Thorax im Rahmen arbeitsmedizinischer Untersuchungen

Für die Durchführung und Befundung von Computertomographien des Thorax im Rahmen Arbeitsmedizinischer Untersuchungen wird auf weiterführende Literatur und die Veröffentlichungen der AG Diagnostische Radiologie arbeits- und umweltbedingter Erkrankungen („Ag DRauE“) verwiesen [30]. Sie können von den hier gegebenen Empfehlungen ggf. etwas abweichen und sind auf der Homepage der Deutschen Röntgengesellschaft einzusehen (<http://www.drg.de/AgBeruf/technik.htm>).

Schlussfolgerung

Die Protokollempfehlungen dieses Beitrags bieten ein praktikables Raster zur Auswahl geeigneter Untersuchungstechniken für die Computertomographie der Lunge. Unter Einhaltung dieser Protokolle sollte eine umfassende und gleichzeitig ökonomische und strahlenhygienisch vertretbare Thoraxdiagnostik mit der CT möglich sein. Sie bieten die Möglichkeit, die Diagnostik in verschiedenen Instituten mehr zu vereinheitlichen, die Vergleichbarkeit von Voruntersuchungen auch bei Verwendung unterschiedlicher Gerätegenerationen zu verbessern und unnötige Nachuntersuchungen aufgrund von inadäquater Untersuchungstechnik zu vermeiden. Selbstverständlich sind einzelne Parameter im Detail an die jeweils verwendeten Geräte anzupassen und können daher von den Werten in der Tabelle abweichen. Ebenso sind individuelle Anpassungen für den einzelnen Patienten notwendig. Weiterentwicklungen in der CT-Technologie können freilich nur bedingt antizipiert werden, so dass eine Aktualisierung der Inhalte spätestens 2009 geplant wird. Jeder Anwender ist eingeladen, Verbesserungsvorschläge einzubringen und so die nächste Ausgabe dieser Empfehlungen aktiv mitzugestalten.

Literaturverzeichnis:

- 1 Diederich S, Heußel CP für die AG-Thorax der DRG. Werkzeuge - Thorax-CT-Standardempfehlungen der AG-Thorax der DRG. Fortschr Röntgenstr 2005; 177: 473
- 2 Stamm G, Nagel HD. CT-Expo - ein neuartiges Programm zur Dosisevaluierung in der CT. Fortschr Röntgenstr 2002; 174: 1570-1576
- 3 Engelke C, Rummeny E, Marten K. Mehrschicht-Spiral-CT bei vermuteter und inzidenteller akuter Lungenembolie: prognostischer Wert morphologischer Herzparameter. Fortschr Röntgenstr 2006; 178: 999-1006
- 4 Schoellnast H, Tillich M, Deutschmann HA et al.. Abdominal multidetector row computed tomography: reduction of cost and contrast material dose using saline flush. J Comput Assist Tomogr. 2003;27,847-853
- 5 Schoellnast H, Tillich M, Deutschmann MJ et al.. Aortoiliac enhancement during computed tomography angiography with reduced contrast material dose and saline solution flush: influence on magnitude and uniformity of the contrast column. Invest Radiol 2004; 39, 20-26
- 6 Awai K, Inoue M, Yagyu Y et al.. Moderate versus high concentration of contrast material for aortic and hepatic enhancement and tumor-to-liver contrast at multi-detector row CT. Radiology 2004; 233: 682-688
- 7 Wildberger JE, Mahnken AH, Sinha AM et al.. Abklärung von Lungenembolie und venöser Thromboembolie mittels Mehrschicht-Spiral CT. Fortschr Röntgenstr 2002; 174: 301-307
- 8 Schoepf UJ, Becker CR, Obuchowski NA et al.. Multi-slice computed tomography as a screening tool for colon cancer, lung cancer and coronary artery disease. Eur Radiol 2001; 11: 1975-85
- 9 Johnson TR, Nikolaou K, Wintersperger BJ et al.. ECG-gated 64-MDCT angiography in the differential diagnosis of acute chest pain. Am J Roentgenol 2007;188:76-82.

-
- 10 Schoepf UJ, Bruening RD, Hong C et al.. Multislice helical CT of focal and diffuse lung disease: comprehensive diagnosis with reconstruction of contiguous and high-resolution CT sections from a single thin-collimation scan. *AJR Am J Roentgenol.* 2001; 177: 179-184
 - 11 Biederer J, Schnabel A, Gross WL et al.. Correlation between HRCT-findings, Pulmonary Function Tests and Bronchoalveolar Lavage Cytology in Interstitial Lung Disease associated to Rheumatoid Arthritis. *Eur Radiol* 2004; 14: 272-280
 - 12 Zaporozhan J, Ley S, Eberhardt R, et al.. Paired inspiratory/expiratory volumetric thin-slice CT scan for emphysema analysis: comparison of different quantitative evaluations and pulmonary function test. *Chest* 2005; 128: 3212-3220
 - 13 Bolte H, Riedel C, Jahnke T et al.. Reproducibility of computer-aided volumetry of artificial small pulmonary nodules in ex vivo porcine lungs. *Invest Radiol* 2006; 41: 28-35
 - 14 Hering KG,· Tuengerthal S,· Kraus T. Standardisierte CT/HRCT-Klassifikation der Bundesrepublik Deutschland für arbeits- und umweltbedingte Thoraxerkrankungen. *Radiologe* 2004; 44: 500–511
 - 15 Erasmus JJ, Truong MT, Munden RF. CT, MR, and PET Imaging in Staging of Non-Small-Cell Lung Cancer. *Semin Roentgenol* 2005; 40: 126-142
 - 16 Heußel CP, Achenbach T, Buschsieweke C et al.. Quantifizierung des Lungenemphysems in der Mehrschicht-CT mittels verschiedener Softwareverfahren. *Fortschr Röntgenstr* 2006; 178: 987-998
 - 17 Bolte H, Müller-Hülsbeck S, Riedel C et al.. Ex-vivo injection technique for implanting solid pulmonary nodules into porcine lungs for multi-slice CT. *Fortschr Röntgenstr* 2004;176: 1380-1384
 - 18 Reuter M, Oppermann HC, Ankermann T et al.. Hoch-auflösende Computertomographie der Lunge im Kindesalter. *Fortschr Röntgenstr* 2002; 174: 684-695
 - 19 Honnef D, Wildberger JE, Stargardt A et al. Mehrschicht-Spiral-CT (MSCT) in der Kinderradiologie: Dosisreduktion bei der Untersuchung von Thorax und Abdomen. *Fortschr Röntgenstr* 2004; 176: 1021-1030

-
- 20 Winer-Muram HT. The solitary pulmonary nodule. *Radiology* 2006; 239: 34-49
 - 21 Diederich S, Wormanns D. Der pulmonale Rundherd: Neue Konzepte bei einem alten Problem. *Radiologie up2date* 2003; 3: 301-312
 - 22 Bolte H, Riedel C, Knöss N et al.. Computed tomography-based lung nodule volumetry--do optimized reconstructions of routine protocols achieve similar accuracy, reproducibility and interobserver variability to that of special volumetry protocols? *Fortschr Röntgenstr* 2007; 179: 276-81.
 - 23 Bolte H, Riedel C, Jahnke T et al. Reproducibility of computer-aided volumetry of artificial small pulmonary nodules in ex vivo porcine lungs. *Invest Radiol*. 2006; 41: 28-35
 - 24 Beigelman-Aubry C, Hill C, Grenier PA. Management of an incidentally discovered pulmonary nodule. *Eur Radiol* 2007; 17: 449–466
 - 25 MacMahon H, Austin JH, Gamsu G et al.. Guidelines for management of small pulmonary nodules detected on CT scans: a statement from the Fleischner Society. *Radiology* 2005; 237: 395-400
 - 26 Wormanns D, Diederich S. Characterization of small pulmonary nodules by CT. *Eur Radiol*. 2004; 14: 1380-91.
 - 27 Swensen SJ, Viggiano RW, Midthun DE et al.. Lung nodule enhancement at CT: multicenter study. *Radiology* 2000; 214: 73-80.
 - 28 Yi CA, Lee KS, Kim EA et al.. Solitary pulmonary nodules: dynamic enhanced multi-detector row CT study and comparison with vascular endothelial growth factor and microvessel density. *Radiology*. 2004; 233: 191-199
 - 29 Heussel CP, Kauczor HU, Ullmann AJ. Pneumonia in neutropenic patients. *Eur Radiol* 2004; 14: 256-271

-
- 30 Das M, Mühlenbruch G, Mahnken AH et al.. Asbestos Surveillance Program Aachen (ASPA): initial results from baseline screening for lung cancer in asbestos-exposed high-risk individuals using low-dose multidetector-row CT. Eur Radiol. 2007; 17: 1193-1199

Einzeiler (incl. Twin)	Basis-Protokoll Tumor	CTA/Dünnschicht Gefäße	Niedrigdosis Spirale Parenchym	HRCT Parenchym qualitativ
Grundtechnik	Spirale	Spirale	Spirale	Inkremental
Untersuchungs- bereich	Unt. Kehlkopftrand bis Nierenhilus (ggf. plus ges. Abdomen venös)	supraaortale Gefäße bis Zwerchfellkuppe o. zentrale 10 – 12 cm	Apex bis Recessus	b. Bedarf 1/20 mm in Bauchlage u./o. in Expiration
Kollimation	3-5	2-3	3-5	1
Schichtdicke [mm]	3-5	2-3	3-5	1
Pitch	1,5-2	2	1,5-2	-
Inkrement [mm]	3-5	1,5-2	3-5	10-20
Überlappung [%]	30-50%	30-50%	30-50%	
kV	(100-) 120	(100-) 120	(100-) 120	(100-) 120
mAs ³⁾	40-120	120	20-40	50-100
Scanzeit [s]	<20	<20	<20	Cluster a 10s ⁴⁾
DLP	70-200	200-300	30-100	< 100
CTDI _{vol} [mGy]	2-7	6-10	1-3	< 2
Effektivdosis [mSv;m/w]	1-3/1,5-4	3-4/4-5	< 1	< 1
Richtung	caudo-cranial	caudo-cranial	caudo-cranial ¹⁾	cd-cr oder cr-cd
Jodapplikationsrate ⁶⁾				
z.B.: KM-Volumen [ml]	60-120 KM + 30 NaCl	100-120 KM +30 NaCl		
z.B.: Injektionsrate[ml/s]	2-4	3-4		
Verzögerung	15-45**	Bolus-Trigger o. Testbolus empfohlen		

Mehrzeiler (4-16)	Basis-Protokoll Tumor	CTA/Dünnschicht Gefäße u. Spirale mit HR-Option	Niedrigdosis Spirale Parenchym	HRCT Parenchym qualitativ
Grundtechnik	Spirale	Spirale	Spirale	Inkremental ²⁾
Untersuchungsbereich	Unt. Kehlkopftrand b. Nierenhilus (ggf. plus ges. Abdomen venös)	supraaortale Gefäß- abgänge bis Zwerchfellkuppe	Apex bis Recessus	b. Bedarf 1/20 mm in Bauchlage u./o. in Expiration
Kollimation	n x 1,25-2,5 16 x 1,5	n x 0,6 – 1,25 16 x 0,75	n x 1,25-2,5 ⁵⁾ 16 x 1,5	1-2 x 0,6-1,25
Schichtdicke [mm]	1,25-3	1-1,25	5	1
Pitch	1,5-2	1-1,5	1,5-2	-
Inkrement [mm]	1-2,5	0,7-0,8	2-4	10-20
Überlappung [%]	30-50%	30-50%	30-50%	-
kV	(100-) 120	(100-) 120	(100-) 120	(100-) 120
mAs ³⁾	50-120	80-120	20-40	50-100
Scanzeit [s]	10-15	15-20	10-15	Cluster a 10s bei 0,5s/Schicht
DLP [mGycm]	200-300	250-500	40-100	< 100
CTDI _{vol} [mGy]	5-9	6-14	1-3	< 2
Effektivdosis [mSv;m/w]	2,5-5/3,5-6,5	3-7/4-9	1-1,5/1-2	< 1
Richtung	caudo-cranial	caudo-cranial	caudo-cranial ¹⁾	cd-cr oder cr-cd
Jodapplikationsrate ⁶⁾				
z.B.: KM-Volumen [ml]	60-100 KM + 30 NaCl	80-120 KM + 30 NaCl		
z.B.: Injektionsrate[ml/s]	2-4	3-5		
Verzögerung	Bolus-Trigger o. Testbolus empfohlen	Bolus-Trigger o. Testbolus empfohlen		

Mehrzeiler (32+)	Basis-Protokoll Tumor	CTA/Dünnschicht Gefäße u. Spirale mit HR-Option	Niedrigdosis Spirale Parenchym	HRCT Parenchym qualitativ
Grundtechnik	Spirale	Spirale	Spirale	Inkremental ²⁾
Untersuchungsbereich	Unt. Kehlkopftrand b. Nierenhilus (ggf. plus ges. Abdomen venös)	supraaortale Gefäß- abgänge bis Zwerchfellkuppe	Apex bis Recessus	b. Bedarf 1/20 mm in Bauchlage u./o. in Expiration
Kollimation	24 x 1,2 mm	64 [2x32] x 0,6 mm	24 x 1,2 mm ⁵⁾	2 x 0,6-1,0
Schichtdicke [mm]	>1,5	0,8-1	5	1
Pitch	0,9-1,2	0,9-1,2	0,9-1,2	-
Inkrement [mm]	>1	0,7	2,5-4	10-20
Überlappung [%]	30-50%	30-50%	30-50%	-
kV	(100-) 120	(100-) 120	(100-) 120	(100-) 120
mAs ³⁾	50-120	80-120	20-40	50-100
Scanzeit [s]	4-5	8-10	4-5	Cluster a 10s bei 0,5s/Schicht
DLP	200-300	250-500	40-100	< 100
CTDI _{vol} [mGy]	5-10	6-15	1,5-3	< 2
Effektivdosis [mSv;m/w]	3-8/3-10	3-8/4-10	1-1,5/1-2,5	< 1
Richtung	cd-cr oder cr-cd	cd-cr oder cr-cd	caudo-cranial ¹⁾	cd-cr oder cr-cd
Jodapplikationsrate ⁶⁾				
z.B.: KM-Volumen [ml]	60-100 KM + 30 NaCl	80-120 KM + 30 NaCl		
z.B.: Injektionsrate[ml/s]	3-5	4-5		
Verzögerung	Bolus-Trigger o. Testbolus empfohlen	Bolus-Trigger o. Testbolus empfohlen		

Tabelle 1:

Protokollempfehlungen der AG Thorax für die Computertomographie der Lunge.

Anmerkungen: 1) Bei Tumor im oberen Mediastinum und V.a. Befall zentraler Gefäße ggf. auch cranio-caudal. 2) Bei einigen Mehrschicht Spiral CT sind inkrementale Untersuchungen nicht einstellbar. 3) Alle Strom-Zeit-Produkte sind in effektiven mAs, d.h. normiert auf eine Röhrenrotation bei einem Pitch von 1 und einer Rotationszeit von 1 Sekunde angegeben. Cave: Für den jeweiligen Scanner ist genau zu überprüfen, welcher Wert tatsächlich registriert ist (z.B. effektive mAs, elektronische mAs, DLP, „mA in der Schicht“). Als Pflichtangabe muß jeder Scanner den CTDIvol dokumentieren. Soweit vorhanden, wird empfohlen, die Dosisautomatik zu nutzen! Die angegebenen Dosiswerte wurden mit dem von Stamm und Nagel vorgestellten Programm CT-Expo V 1.5. für einige gängige Fabrikate berechnet. 4) Die Scanzeit ist so kurz wie möglich zu halten (unter 1 s/Schicht). 5) Für CAD Anwendungen kann die native Niedrigdosis-Spirale auch mit geringeren Kollimationen und dünnen Rekonstruktionen wie bei CTA Dünnschicht erfolgen. 6) Entscheidend für die Dichte des Kontrastmittelbolus ist die Jodapplikationsrate, die vom Jodgehalt des Kontrastmittels und der Injektionsgeschwindigkeit (Injektionsrate) bestimmt wird. Die Länge des Bolus wird durch das applizierte Volumen definiert. Die hier angegebenen Beispielswerte für Kontrastmittelmenge und Injektionsrate gelten für Kontrastmittel mit einem Jodgehalt von 300 mg/ml.