
Analyse computertomographischer
Scanparameter beim kindlichen Thorax-CT und
Bildanalysen des High-Resolution-CT der
kindlichen Lunge

Nina Lochbühler



München 2009

Aus der Kinderklinik und Kinderpoliklinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital

Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. D. Reinhardt

Leiter der Abteilung Radiologie: Prof. Dr. K. Schneider

**Analyse computertomographischer Scanparameter beim
kindlichen Thorax-CT und Bildanalysen des High-Resolution-CT
der kindlichen Lunge**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Nina Lochbühler

aus

Jugenheim

2009

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: **Prof. Dr. K. Schneider**

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Thorsten Johnson

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 10.12.2009

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Theoretische Grundlagen	7
2.1 Die Entwicklung der Computertomographie	7
2.2. Strahlenbelastung	8
3. Fragestellung	10
4. Material und Methodik	12
4.1 Datenerhebung	12
4.2 Kontrastmittel	13
4.3 Verwendete Standarduntersuchungstechniken	13
4.4 Patientenvorbereitung und Lagerung	13
4.5 Aufnahmetechnik	14
4.5.1 Aufnahmetechnik des Spiral-CT	14
4.5.2 Aufnahmetechnik des High Resolution CT	15
4.5.3 Aufnahmetechnik des CT bei Thoraxdeformität	16
4.6 Patienten bezogene Daten und Untersuchungsparameter	16
4.7 Kriterien der Beurteilung der Bildqualität der HRCT- Untersuchungen	17
5. Ergebnisse	20
5.1 Klassifizierung der einzelnen CT-Untersuchungen	20
5.2 Altersverteilung innerhalb der Untersuchung des Gesamt- kollektivs der ausgewerteten Patienten	21
5.3 CT bei Thoraxdeformität	24
5.4 Spiral-CT	25
5.4.1 Narkose/Sedierung	27
5.4.2 Schichtkollimation	28
5.4.3. Indikationen	29
5.4.4 Röhrenstrom	33

5.4.5 CTDI	34
5.5 High-Resolution-CT	35
5.5.1 Indikation	35
5.5.2 HRCT als Zusatzdiagnostik zum Spiral-CT	35
5.5.3 Altersverteilung HRCT	35
5.5.4 Röhrenstrom/Röhrenspannung	36
5.5.6 Schicht-Kollimation	37
5.5.7 Sedierung/Narkose	37
5.5.8 Patientenlagerung und Atemlage	38
5.5.10 CTDI _w /CTDI _{vol} Spiral-CT und HRCT im Vergleich	41
5.5.11 Dosis-Längenprodukt Spiral-CT und HRCT im Vergleich	42
5.6 Analyse der Bildqualität beim HRCT der Lunge	42
6. Diskussion	57
6.1 Diskussion der Methodik dieser Arbeit	57
6.2 Diskussion der Ergebnisse	58
6.2.1 Spiral CT	58
6.2.1.1 Untersuchungstechniken	58
6.2.1.2 Kontrastmittel	64
6.2.1.3 Narkose/Sedierung	64
6.2.2 High-Resolution-CT	65
6.2.3 Analyse der Bildqualität beim HRCT	73
6.3 Schlussfolgerung	77
7. Zusammenfassung	79
8. Literaturverzeichnis	82
9. Danksagung	86
10. Lebenslauf	87

1. Einleitung

Während der letzten 30 Jahre hat sich die Computertomographie (CT) zu einem der zentralen bildgebenden Verfahren in der Radiologie entwickelt. Da es sich bei diesem Untersuchungsverfahren um eine Anwendung von Röntgenstrahlen handelt, muss bei der steigenden Zahl der CT-Untersuchungen trotz der vielen Vorzüge, auch eine Berücksichtigung des Strahlenrisikos erfolgen. Dies gilt insbesondere für CT-Untersuchungen bei Säuglingen, Kindern und Jugendlichen. Strategien zur Dosisreduktion bei CT im Kindesalter sind von mehreren Forschungsgruppen entwickelt worden (Frush 2004) und müssen gerade in diesen Altersgruppen konsequent umgesetzt werden.

Normalerweise liegt die absorbierte Dosis beim CT weit unterhalb der Schwellendosis, sodass deterministische Strahlenwirkungen, wie z.B. Hauterythem, Haarausfall oder Hautulzerationen nicht auftreten. Sehr wohl können aber stochastische Effekte auftreten, welche die Kanzerogenese und die Induktion genetischer Mutationen beinhalten.

Dass Kinder ein höheres Strahlenrisiko haben als Erwachsene, hängt zum einen mit der Tatsache zusammen, dass sie im Normalfall noch mehr Lebenszeit vor sich haben, somit auch mehr Zeit, um eine manifeste Krebserkrankung zu entwickeln. Auf der anderen Seite sind Kinder strahlensensibler, weil der Organismus des Kindes eine höhere Mitoserate besitzt und ionisierende Strahlung wirksam werden kann (Brenner 2002; Stephan 2007). Je niedriger das Lebensalter zum Zeitpunkt der Exposition ist, desto höher ist das Risiko einer strahleninduzierten Krebserkrankung. Ferner besteht die Gefahr, dass junge Patienten als potentielle Eltern verändertes Genmaterial an die nächste Generation weitergeben (Kleinerman 2006). Eine Studie von Ron zeigte, dass

Hämangiompatienten, die in jungen Jahren mit einer geringen Strahlendosis therapiert wurden, ein erhöhtes Krebsrisiko für die Schilddrüse sowie andere endokrine Drüsen, die Brust und das Zentrale Nervensystem aufwiesen (Ron 2002). Ebenso stieg die Leukämierate und die Leukämiesterblichkeit in einer Gruppe Erwachsener, die auf Grund benigner Skeletterkrankungen wie Arthritis und Spondylitis mit Röntgenstrahlen behandelt wurden (Ron 2002). Letztendlich ist es aber nur eine Risikoabschätzung, die weiter verfeinert werden muss. In diesem Zusammenhang kann Brenner zitiert werden: „Wir müssen noch mehr verstehen von Krebsinzidenz und –morbidity“ (Brenner 2002).

CT Thorax-Untersuchungen sind mittlerweile beim Kind nach dem kranialen CT, die zweithäufigsten CT-Untersuchungen und spielen somit in der täglichen Routine eine bedeutende Rolle. Thomas konnte zeigen, dass der Einsatz des Thorax-CT bei pädiatrischen Intensivpatienten verglichen mit der konventionellen Röntgenaufnahme schneller die exakte Diagnose liefert und damit das klinische Handeln effizienter macht. (Thomas, Owens et al. 2000). Auch Copley konnte in seiner Studie belegen, dass bei interstitiellen Lungenerkrankungen im Kindesalter, ähnlich wie bei Erwachsenen, der Anteil mittels HRCT gestellter richtiger Diagnosen wesentlich höher ist, als der mit konventionellen Röntgenaufnahmen (Copley, Coren et al. 2000).

Die CT-Untersuchung beim Kind ist noch immer etwas Besonderes. Die kleinen Patienten müssen besonders gelagert und fixiert werden. Kinder sind auch erst ab einem gewissen Alter in der Lage zu kooperieren, Atemkommandos zu befolgen und den Atem länger anzuhalten. Besonders schwierig ist es, Untersuchungen in Expiration durchzuführen. Qualitativ hochwertige Untersuchungen erfordern in dieser Altersgruppe unter Umständen eine Sedierung oder sogar eine Narkose.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Die Entwicklung der Computertomographie

Durch die rasante technische Entwicklung in den letzten Jahren, hat das CT auch für Kinder an Bedeutung gewonnen. Erst die deutlich verkürzte Scanzeit und die damit verbundene Dosisreduktion, hat dies möglich gemacht. Ein Meilenstein der Entwicklung der Computertomographie war die Entwicklung des Spiral-CT. Dabei wird unter Dauerrotation der Röhre und kontinuierlichem Tischvorschub ein Volumendatensatz akquiriert, sodass eine lückenlose Berechnung einzelner dünner Schichten und kleinere Schichtabstände möglich sind. Damit können kleine fokale Herde, deren Durchmesser kleiner ist als die kollimierte Schichtdicke mit der Spiral-Computertomographie besser erfasst werden.

Im weiteren Verlauf wurden CT-Geräte mit immer schnelleren Rotationszeiten sogar unter 0,5 Sekunden entwickelt, was die Artefakthäufigkeit deutlich reduzierte; hinzu kam die Verbesserung der Detektoren, was gemeinsam mit der schnelleren Rotationszeit die örtliche Auflösung bei bewegten Strukturen steigerte. Schließlich fand die Entwicklung mit dem Einsatz von Mehrzeilensystemen vorläufig ihren Abschluss, was wiederum die gesamte Scanzeit weiter reduzierte. All dies war nur möglich, weil sich parallel dazu die Rechnerleistung in den letzten Jahren erheblich verbesserte.

Aus den Volumendatensätzen eines Spiral-CTs können multiplanare Reformationen in der coronaren und sagittalen Ebene, sowie 3-D-Rekonstruktionen durchgeführt werden, was auch im Kindesalter für bestimmte Erkrankungen, z.B. bei Gefäßfehlbildungen und/oder tracheobronchialen Anomalien, für die genaue Darstellung der Pathologie große Bedeutung erlangt hat.

2.2 Strahlenbelastung

Im Kindesalter gehören CT-Untersuchungen neben den Arteriographien, den interventionellen radiologischen Verfahren und neben bestimmten Durchleuchtungsuntersuchungen des Magen-Darmtraktes, wie z.B. dem Enteroklysm, zu den medizinischen Untersuchungsmethoden mit hoher Strahlenbelastung. Um die verschiedenen radiologischen Untersuchungsarten vergleichen zu können, bedient man sich heute üblicherweise der so genannten Effektivdosis. So ist die Dosis einer CT Untersuchung, angegeben als Effektivdosis, um ein vielfaches höher als bei konventionellen Röntgenaufnahmen der gleichen anatomischen Region. (Willis 2002) Die Dosis einer konventionellen Thorax-Aufnahme liegt beim 5 Jahre alten Kind bei 0,01mSv, die eines Thorax-Spiral-CTs bei 2-5mSv. Dies zeigt, dass schon aus Gründen der Strahlenexposition die Indikation zum Thorax-CT besonders streng gestellt werden muss. (Brenner 2001)

Röntgenaufnahme	Typische Effektivdosis (mSv)	Lebzeitrisiko mit tödlicher Krebsfolge pro Aufnahme
unbedeutendes/ vernachlässigbares Risiko		
Extremitäten/Glieder	<0,005	1 auf mehrere Millionen
Zähne (einzeln bitewing)	0,005	1 auf 2 Millionen
Zähne (Panoramaaufn.)	0,01	1 auf 1 Million
Thorax PA	0,01	1 auf 1 Million
minimales Risiko		
Schädel (AP, PA u. Lat)	0,07	1 auf 150000
Becken	0,08	1 auf 120000
Abdomen	0,10	1 auf 100000
sehr geringes Risiko		
obere Magen-Darmpassage	0,7	1 auf 14000
Miktionszysturethrographie nicht gepulst	1,0	1 auf 10000
geringes Risiko		
Schädel CT	2	1:5000
Abdomen CT	10	1:1000

Tab.1 Typische Effektivdosen und das Lebenszeitrisiko mit tödlicher Krebsfolge für pädiatrische Röntgenaufnahmen beim 5 Jahre alten Kind.
Final Report EU-Forschungsprojekt (nach B. Wall, NRPB, Chilton, UK 1999).

Bei Menschen, die vor 55 Jahren mit Röntgenstrahlen in Kontakt kamen und hierdurch einer Strahlendosis ausgesetzt waren, die der Strahlenbelastung eines Spiral-CTs vergleichbar ist und die ihr Leben lang kontrolliert wurden, konnte ein kleines, aber statistisch signifikantes Krebsrisiko gefunden werden. Kinder sind um den Faktor 10 oder mehr empfindlicher als Erwachsene; Mädchen noch einmal um den Faktor 2 mehr als Knaben (Hall 2002). In einer neueren Studie konnte gezeigt werden, dass die messbaren biologischen Effekte beim CT des Thorax beziehungsweise des Abdomens bei Patienten, jünger als 10 Jahre, signifikant höher waren, verglichen mit den älteren pädiatrischen Patienten (Stephan 2007).

3. Fragestellung

In der Literatur wird mit Recht immer wieder die besondere Bedeutung des Strahlenschutzes bei Kindern und Heranwachsenden hervorgehoben. Spezielle Untersuchungsprotokolle für Kinder mit der nötigen diagnostischen Aussagekraft unter dem best möglichen Strahlenschutz werden gefordert (Paterson, Frush et al. 2001).

Ziel dieser retrospektiven Untersuchung war:

1. Darstellung der Häufigkeiten der verschiedenen CT-Untersuchungen des Thorax bei Kindern.
2. Die retrospektive Analyse der Scanparameter beim kindlichen Thorax-CT mit einem Einzeilen-Scanner mit automatischer Röhrenstromanpassung.
3. Eine Zusammenstellung der absorbierten Dosis in Abhängigkeit vom Alter und den Einstellparametern.
4. Analyse der Bildqualität bei HRCT-Untersuchungen.

In dieser Untersuchung hatten wir uns die Aufgabe gestellt, die Untersuchungstechnik des HRCTs zu überprüfen. Im Vordergrund stand die Bildqualität. Die Untersuchungstechniken in der Kinderradiologie sollten so gewählt werden, dass mit möglichst geringer Strahlenbelastung eine für die jeweilige Fragestellung ausreichende Bildqualität erzielt werden kann. Untersucht wurde, ob die in der Praxis verwendeten Techniken den Anforderungen der Kinderradiologie entsprechen und welche Bildqualität

damit erreicht wurde. Ferner wurde der Frage nachgegangen, ob weitere Möglichkeiten zur Reduktion der Strahlenbelastung bestehen.

4. Material und Methodik

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 01.01.2003 bis zum 31.12.2004. Innerhalb dieses Zeitraumes wurden in der Radiologischen Abteilung des Dr. von Haunerschen Kinderspitals insgesamt 533 Thorax-CT Untersuchungen bei Patienten im Alter von 2 Tagen bis 38 Jahren durchgeführt.

4.1 Datenerhebung

An Hand des Leistungsbuches am CT-Arbeitsplatz, in dem alle CT-Untersuchungen schriftlich protokolliert wurden und an Hand der Daten des elektronischen Datenspeicherungssystem RIS der Radiologischen Abteilung des Dr. von Haunerschen Kinderspitals wurden die Ausgangsdaten erhoben.

Alle Untersuchungen wurden mit einem Computertomographen Typ Aura der Firma Philips, einem Einzeilen-CT-Gerät mit integrierter Dosisautomatik, Markenname DoseRight®, durchgeführt.

Das System DoseRight® funktioniert folgendermaßen: Aus dem Scanogramm wird die mittlere Schwächung in der z-Achse über die gesamte Länge ermittelt und in eine Röhrenstromabsenkung in Milliampere (mA) umgerechnet. Diese dann fixierte Röhrenstromeinstellung wird für die dann durchgeführte Spirale nicht mehr verändert. Während des Scan-Vorgangs, wird aus dem Topogramm die Objektschwächung in nur einer Strahlrichtung, in den meisten Fällen in Sagittalrichtung gemessen. Die Reduktion der Dosis beträgt je nach Alter und Gewicht 40-80% (Schneider, Kammer et al. 2003).

4.2 Kontrastmittel

Bei Spiral-CT Untersuchungen des Thorax wurde in einem hohen Prozentsatz ein intravenöses Kontrastmittel appliziert. Es wurden die niederosmolaren Kontrastmittel Solutrast[®], Accupaque[®], Visipaque[®], und Imagopaque[®] mit 300mg/ml Jodgehalt verwendet.

High-Resolution-CT- (HRCT) und Trichterbrustuntersuchungen wurden grundsätzlich ohne Kontrastmittel durchgeführt.

4.3 Verwendete Standarduntersuchungstechniken

Die durchgeführten Untersuchungen wurden in folgende **Gruppen** eingeteilt:

1. Spiral-CT des Thorax in verschiedenen Varianten.
 - 1.1. Spiral-CT des Thorax
 - 1.2. Spiral-CT von Thorax und Oberbauch
 - 1.3. Spiral-CT von Teilabschnitten des Thorax und Halses (Trachea) sowie Teilen des Thorax (Thoraxwand)
 - 1.4. Spiral-CT zum Zwecke einer Punktion oder Biopsie
2. HRCT-Untersuchungen des Thorax (in dünnen Einzelschichten)
 - 2.1. Serielles Einzelschicht-CT bei Thoraxdeformitäten (Trichter-, Kielbrust)

4.4 Patientenvorbereitung und Lagerung

Den Eltern und dem Kind wird der Untersuchungsablauf erklärt, anschließend wird die Untersuchung, insbesondere das Anhalten der Atmung mit dem Kind geübt. Gegebenenfalls erfolgt eine Aufklärung über den Kontrastmitteleinsatz.

Zu Untersuchungsbeginn wird der Patient mit dem Kopf in Richtung Gantry auf dem Rücken auf dem Untersuchungstisch gelagert und hält die Arme über dem Kopf. Zur Entspannung der Bauchdecke wird ein Keil unter die Kniekehlen gelegt.

4.5 Aufnahmetechnik

4.5.1. Aufnahmetechnik des Spiral-CT

Es wird ein frontales Topogramm, von der Mandibulaspitze bis in Höhe des 12. Brustwirbels (BWK) / 1. Lendenwirbels (LWK) angefertigt. Anschließend wird auf dem Topogramm das zu untersuchende Volumen geplant. Im Falle einer intravenösen Kontrastmittelinjektion wird diese per Hand (kleine Säuglinge) oder mit einer elektrischen Druckspritze mit definierter Flussrate (1,0-2,0ml/sec.) appliziert. Die Kontrastmittelmenge beträgt je nach Alter zwischen 1,0-3,0 ml/kg Körpergewicht.

Die Aufnahmen erfolgen in der Regel bei Atemstillstand in tiefer Inspiration. Folgende Scanprotokolle kamen abhängig vom Lebensalter zum Einsatz. Diese sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

Alter (Jahre)	Schichtkollimation (mm)	Tischvorschub (mm)	Pitch	Rekonstruktionsinkrement
0- 1	2	3	1,5	0,7-2,0
1- 5	3	4,5	1,5	0,9-3,0
5-10	5	7,5	1,5	3,0-5,0
>10	7	10,5	1,5	3,0-5,0

Tab.2 Standardaufnahmeprotokolle beim Thorax-CT in Abhängigkeit vom Lebensalter.

Das Standardprotokoll für das Spiral-CT des Erwachsenen ohne DoseRight® sieht 120kV (Aufnahmespannung) und 90mA (Röhrenstrom), sowie eine Rotationszeit von 1 Sekunde vor.

4.5.2. Aufnahmetechnik des High Resolution CT

Es wird ein frontales Topogramm, von der Mandibulaspitze bis in Höhe des 12. Brustwirbels (BWK) / 1. Lendenwirbels (LWK) angefertigt, an Hand dessen, Lage, Anzahl und Abstand der Einzelschichten geplant werden. Die Aufnahmen erfolgen bei Atemstillstand in tiefer Inspiration. Es werden je nach Alter und Fragestellung 3-8 Schichten mit einer Dicke von 1mm gescannt. Bei jüngeren Patienten ohne feste Altersangaben beträgt der Schichtabstand 15mm, etwa ab dem 10. Lebensjahr 25mm. Fallweise erfolgt die Untersuchung in In- und Expiration oder zusätzlich zur Rückenlage auch in Bauchlage. Das Standard-HRCT - Protokoll sieht 130kV Aufnahmespannung und 100mA Röhrenstrom vor. Die Aufnahmeparameter wurden abhängig vom Lebensalter auf 120kV und deutlich niedrigere mA Werte angepasst.

Sowohl beim Spiral-CT, als auch beim HRCT kann etwa ab dem 7. Lebensjahr mit Atemkommando gearbeitet werden. Davor müssen die Patienten im Bedarfsfall entweder sediert oder narkotisiert werden. Einzelne Kinder kooperieren auch schon früher. Einige der 4-8 Jahre alten, nicht voll kooperierenden Kinder wurden in Anwesenheit der Eltern bei ruhiger flacher Atmung untersucht.

4.5.3. Aufnahmetechnik des CT bei Thoraxdeformität:

Zuerst erfolgt die Markierung der drei Schichtabstände am Patienten mit Hilfe von Bleikügelchen in Höhe des Sternoclavikulargelenkes, am tiefsten Punkt des Trichters, sowie am höchsten Punkt des Rippenbogens. Anschließend wird ein frontales Topogramm, von der Mandibulaspitze bis zu BWK 12 / LWK 1 angefertigt um mit Hilfe der Bleikügelchen die drei Schichten zu planen. Bei Atemstillstand in tiefer Inspiration erfolgt nun die Aufnahme der drei Schichten, nachdem die Bleikügelchen vor dem eigentlichen Scan entfernt wurden.

4.6 Patienten bezogene Daten und Untersuchungsparameter

Folgende Daten jeder CT- Untersuchung wurden dokumentiert:

- Name, Vorname, Alter und Geschlecht des Patienten
- Indikation
- i.v. Kontrastmittel ja / nein
- Sedierung / Narkose / ohne
- Zahl der Schichten / Anzahl der Rotationen / Anzahl der Serien
- Schichtkollimation
- Röhrenspannung
- Röhrenstrom
- Spiral-Modus / HRCT / Einzelschicht-Modus

Ermittlung der CTDIvol-Werte und DLP-Werte

Die Scanlänge und der CTDIvol wurden am Gerät abgelesen und an Hand der kranialsten und kaudalsten Tischposition durch Multiplikation von Scanlänge und CTDIvol das Dosis-Längenprodukt (DLP) berechnet. Bei den HRCTs wurde der CTDIvol-Wert mit der Anzahl der Schichten multipliziert.

4.7 Kriterien der Beurteilung der Bildqualität der HRCT-Untersuchungen.

Die 66 HRCT Untersuchungen der Patienten im Alter von 45 Tagen bis 31 Jahren wurden hinsichtlich ihrer Bildqualität untersucht.

Die mit einem AE+2 (Adult Extrimety very sharp), einem stark kantenbetontem Knochen-Algorithmus gerechneten High-Resolution-Bilder wurden im Agfa Medical Impax Archivsystem gespeichert und an der Agfa Medical Workstation DS 3000 ausgewertet. Gewählt wurde die 1-Bildteilung, also die größte mögliche Darstellungsform und eine 512 x 512er Matrix.

Folgende Fenstereinstellungen wurden zur Betrachtung der Bilder ausgewählt. Die Bilder der bis zu 14 Jahre alten Patienten wurden mit dem Lungenfenster, Fensterbreite (FB) 1200 / Fensterlage (FL) - 450, betrachtet, bei allen älteren wurde ein weiteres Fenster, FB 1500 / FL - 600, gewählt.

Alle 66 durchgeführten HRCT-Untersuchungen wurden hinsichtlich der Qualität diagnostisch relevanter intrapulmonaler Strukturen ausgewertet und in einem einfachen 3-stufigen semiquantitativen Schema beurteilt.

Interlob

Es wurde sowohl das rechte, als auch das linke Interlob beurteilt. War es als eine klare Linie abgebildet, wurde es mit +1 bewertet, kam es unscharf zur Darstellung mit 0 und war eine Doppelkontur zu sehen, mit -1.

Tracheahinterwand

Für die Abbildungsschärfe der Tracheahinterwand galten die gleichen Beurteilungskriterien wie für das Interlob.

Bronchien

Die Bronchien wurden auf beiden Seiten in Hinblick auf die Oberlappen in einem Schnitt knapp oberhalb der Trachealbifurkation bewertet. Ferner wurden die peripheren Bronchien des Mittellappens / peripheren Oberlappens, beziehungsweise der Lingula in der kaudalsten Schicht ohne Zwerchfellanschnitt im ventralen Bildabschnitt rechts wie auch links beurteilt. Die peripheren Bronchien der Unterlappen wurden in der kaudalsten Schicht ohne Zwerchfellanschnitt im dorsalen Bildabschnitt bewertet. Die Bewertungskriterien waren hierbei die gleichen wie bei der Beurteilung des Interlobes. War der Bronchus als eindeutige tubuläre Struktur abgebildet, wurde er mit +1 bewertet, kam der Bronchus unscharf zur Darstellung mit 0 und waren Doppelkonturen zu sehen, mit -1.

Gefäße

Die zentrilobulären Arterien wurden sowohl nahe der mediastinalen Pleura als auch in der Peripherie des Oberlappens (in der ersten Schicht unterhalb der Lungenspitze) rechts und links beurteilt. Ferner wurden in der basalsten Schicht, ohne Zwerchfellanschnitt, die dorsalen peripheren Unterlappengefäße beurteilt. Für die Gefäßbeurteilung kamen nur die Kriterien scharf +1 und unscharf -1 zur Anwendung.

Herzrand

Des weiteren wurde die Schärfe des rechten und linken Herzrandes bewertet. War der Herzrand scharf abgebildet, wurde die +1 gewählt, war der Herzrand unscharf, löste die Herzpulsation aber keine Unschärfereaktion in der angrenzenden Lunge aus wurde dieser mit 0 bewertet. In allen übrigen Fällen mit Doppelabbildung der angrenzenden Gefäße und Bronchien wurde mit -1 bewertet.

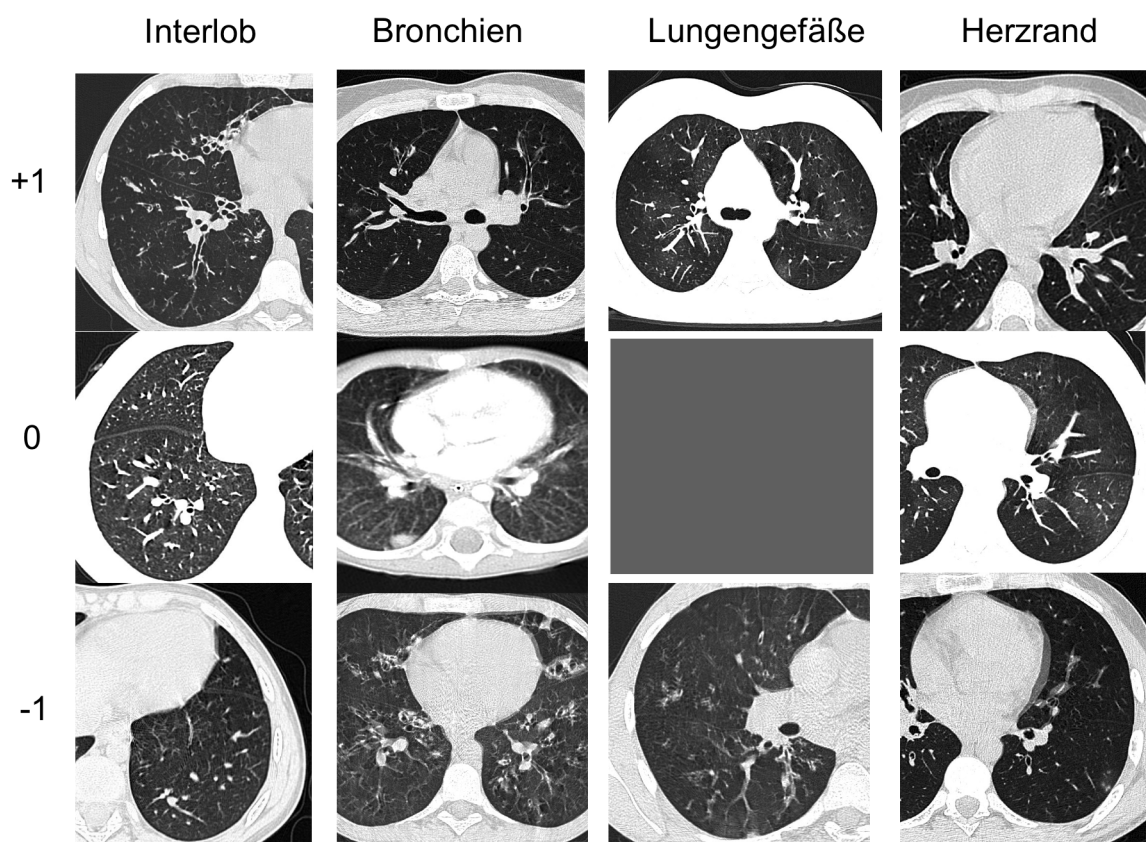


Abb. 1 Bildergalerie zur Veranschaulichung des Bewertungsscores zwischen -1 und +1 beispielhaft an den fünf Bildmerkmalen Interlob, kleine Bronchien, kleine Lungengefäße und Herzränder.

5. Ergebnisse

Die Datenerfassung und die statistische Auswertung erfolgten mit den PC-Programmen Excel (Microsoft) und SPSS- Inc. (Version 13 für Windows).

5.1 Klassifizierung der einzelnen CT-Untersuchungen

Die 533 ausgewerteten CT-Untersuchungen des Thorax verteilten sich folgendermaßen auf die 6 unterschiedlichen Untersuchungsgruppen, die in Tabelle 3 und Abbildung 1 dargestellt sind.

Untersuchungsart	Zahl d. Untersuchungen	Alter (Jahre) Min-Max	Alter (Jahre) Mittelwert
Spiral-CT	379	0-39	9,7
erweitertes Spiral-CT	40	0-29	6,7
Teil-CT	21	0-17	4,0
Intervention	3	3-17	12,3
CT bei Thoraxdeformität	24	9-32	16,8
HRCT	66	0-32	11,4
Gesamt	533	0-39	9,8

Tab.3 Verteilung der unterschiedlichen Untersuchungsgruppen beim Thorax-CT mit dem jeweiligen Altersbereich, in dem sie zum Einsatz kommen.

Mit 379 Untersuchungen, entsprechend 74,5% bilden die Spiral-CT Untersuchungen des Thorax die größte Gruppe der 533 Untersuchungen. Bei 40 Spiral-CT Untersuchungen wurden Thorax und Oberbauch, bzw. Thorax

und Hals untersucht. 30-mal wurde auf Grund einer malignen Erkrankung die Indikation zu solch einer erweiterten Thorax-CT-Untersuchung gestellt, überwiegend bei Patienten mit einem Neuroblastom oder einem Hepatoblastom. In 7 Fällen lag eine entzündliche Erkrankung der Lunge, der Bronchien oder der Pleura vor; bei einem Kind mit komplexer Fehlbildung wurde eine solche Untersuchung durchgeführt, sowie bei einem Kind nach einem Polytrauma. 21-mal wurde eine Teiluntersuchung des Thorax, wie z.B. eine Untersuchung der Trachea oder eines Thoraxwandabschnittes mittels Spiral-CT durchgeführt. Eine CT-gesteuerte Intervention, wie z.B. eine Punktion oder Drainageanlage wurde dreimal durchgeführt. 66-mal (12,4%), fand eine HRCT Untersuchung statt. 24-mal (4,5%) wurde ein 3-Schicht-CT durchgeführt.

5.2 Altersverteilung innerhalb der Untersuchung des Gesamtkollektivs der ausgewerteten Patienten

Altersklassen (Jahre)	Häufigkeit	Prozent
0 bis 1	45	8,4
1 bis 5	138	25,9
6 bis 10	121	22,7
10 bis 15	148	27,8
15 und älter	81	15,2
Gesamt	533	100,0

Tab. 4 Altersverteilung der untersuchten Patienten

Die in die Auswertung aufgenommenen Patienten wurden entwicklungsgemäß in 5 Altersklassen 0-1 Jahre, 1-5 Jahre, 5-10 Jahre und 10-15 Jahre eingeteilt. Mit dem 15. Lebensjahr enden die pädiatrischen Altergruppen, da davon ausgegangen werden kann, dass mit dem 15. Lebensjahr die Größenverhältnisse eines Erwachsenen erreicht sind. Unter den Patienten, die

nach der Überschreitung des 18. Lebensjahres noch in der Kinderklinik untersucht wurden, befand sich ein Patient mit Trachealpapillomatose und ein Patient zur Nachsorge nach Operation eines Wilmstumors. Alle anderen, waren entweder Patienten mit Cystischer Fibrose, die auch über das 18. Lebensjahr hinaus in der Kinderklinik weiter betreut werden, oder Patienten, die zur Planung einer Trichterbrust-Operation untersucht wurden, die üblicherweise in der Kinderchirurgischen Klinik durchgeführt wird. Es zeigte sich damit die typische Altersverteilung der Patienten einer Kinderklinik. Mehr als ein Drittel der untersuchten Patienten war jünger als 5 Jahre alt und gehörte somit der Altersgruppe an, in der Kinder nicht in der Lage sind, bei einer CT-Untersuchung zu kooperieren.

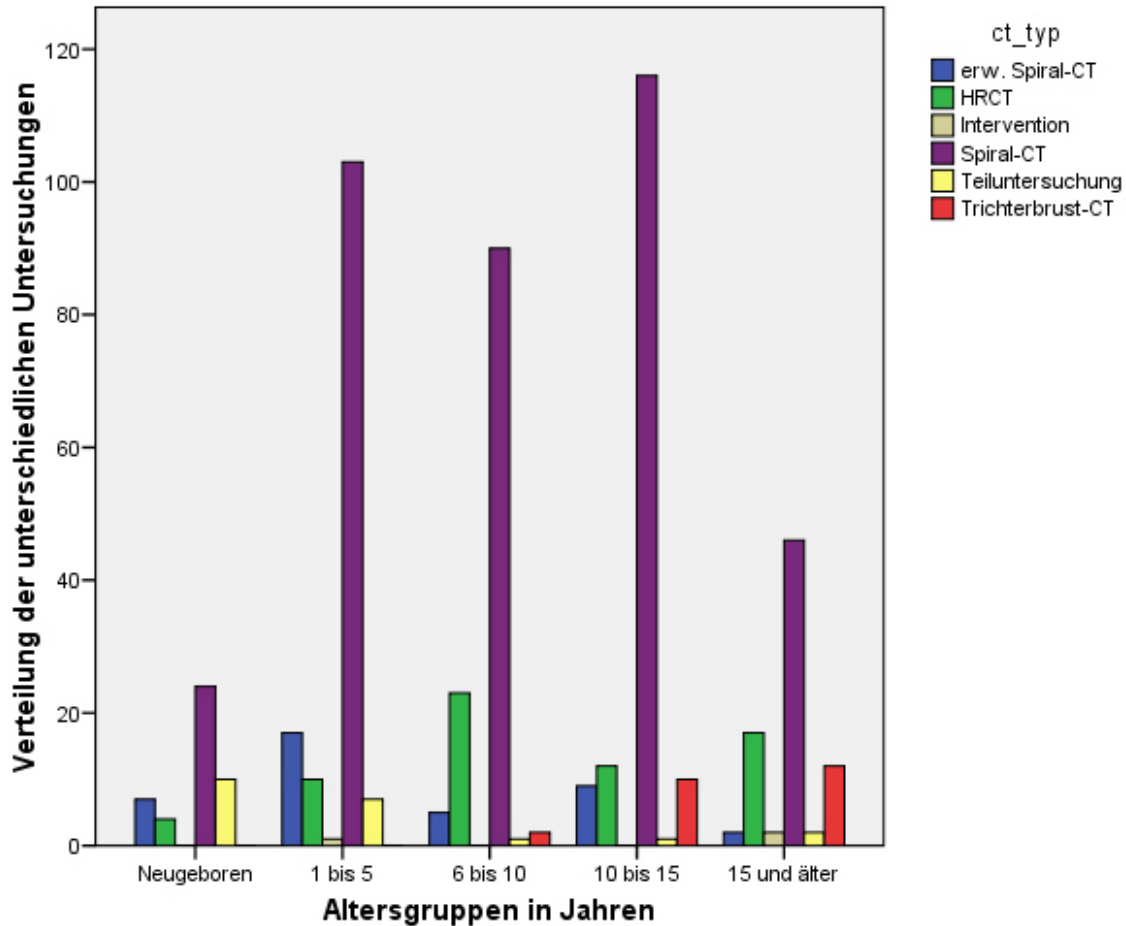


Abb. 2 Verteilung der unterschiedlichen Untersuchungsgruppen auf die unterschiedlichen Altersklassen

In allen Altersklassen stellen die Spiral-CT Untersuchungen des Thorax die größte Gruppe dar. Werden vor dem 1. Lebensjahr insgesamt relativ wenig Spiral-CT-Untersuchungen gemacht, steigt Ihre Zahl in der Gruppe der 1-5-jährigen deutlich an und bleibt bis zum 15. Lebensjahr auf einem hohen Niveau. Die Thoraxteiluntersuchungen haben in der Gruppe der 0-1-jährigen mit der Indikation der Tracheal- und Larynxstenosen und der Gefäßmissbildungen ihren größten Anteil. Nach dem 5. Lebensjahr nimmt die Anzahl dieser Untersuchungen deutlich ab. Die meisten HRCTs werden in der Gruppe der 5-10 Jährigen durchgeführt. Den zweiten Gipfel erreichen die HRCT-Untersuchungen nach dem 15. Lebensjahr, wo sie vor allem bei Kontrolluntersuchungen bei CF-Patienten zum Einsatz kommen. Vor dem

ersten Lebensjahr kommt das HRCT nur vereinzelt zum Einsatz. In der Gruppe der 5-10-Jährigen werden auch bereits die ersten 3-Schicht-CTs zur Planung von Trichterbrust-Operationen durchgeführt, ihre Anzahl nimmt mit dem 10. Lebensjahr schon deutlich zu, bei den über 15-Jährigen haben sie ihren größten Anteil.

5.3 CT bei Thoraxdeformität

Das 3-Schicht-CT des Thorax wurde ausschließlich bei der Indikation Trichterbrust durchgeführt. Ziel des vor der Operation durchgeführten CT bei Trichterbrust ist es, dem Operateur eine Vorstellung über die wahre Tiefe des Trichters bei der Trichterbrust, die Rotation des Sternums und die Asymmetrie der Rippenbögen in der Querschnittsebene zu vermitteln.

Es wurden drei axiale Einzelschichten mit einer Schichtdicke von 10mm gefahren (Einzelheiten siehe Seite 13). Der Röhrenstrom betrug 15mA. Es wurden 100KV Röhrenspannung angelegt. In drei Fällen wurden, allerdings aus Gründen, die in der Protokollierung der Untersuchung nicht nachvollziehbar sind, abweichend vom Standard, 100, 120, bzw. 150mA verwendet.

In einem Fall wurde abweichend zum üblichen Vorgehen zur präoperativen Diagnostik einer Trichterbrust eine Spiral-CT-Diagnostik mit einer Schichtkollimation von 5/7,5/5 durchgeführt, ebenso in einem anderen Fall bei einem Sturz nach einer Trichterbrust-OP mit der Frage Dislokation des Nussbügels. Diese auf drei Schichten limitierten CT-Untersuchungen wurden bei Patienten mit Thoraxdeformität, meist einer Trichterbrust, nicht mehr weiter analysiert.

5.4 Spiral-CT

Die Röhrenspannung der Spiral-CT-Untersuchungen betrug 120kV, die Scanzeit 1 Sekunde.

	mit KM	ohne KM	Gesamt
	Anzahl	Anzahl	
TRICHTERBRUST-CT	0	24	24
HRCT	0	66	66
ERWEITERTES SPIRAL-CT	37	3	40
INTERVENTION	1	2	3
SPIRAL-CT	329	50	379
TEIL-CT	18	3	21
Gesamt	385	148	533

Tab. 5 Verteilung der kontrastverstärkt durchgeführten Thorax-CT-Untersuchungen

87,3% der Spiral-CT-Untersuchungen wurden mit, 12,3% ohne Kontrastmittel durchgeführt.

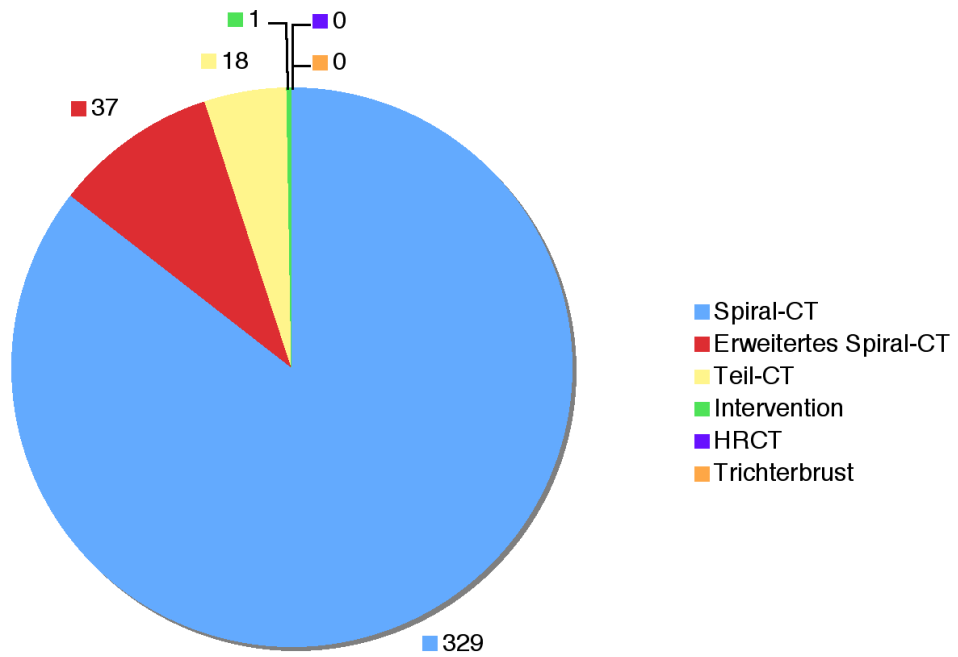


Abb. 3 Verteilung der Thorax-CT-Untersuchungen mit KM

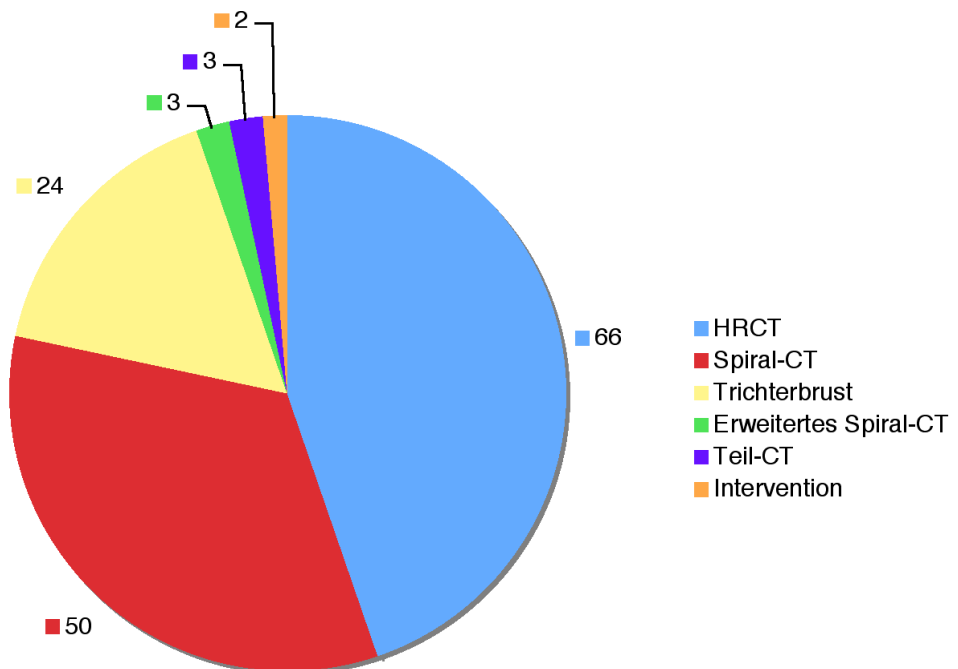


Abb. 4 Verteilung der Thorax-CT-Untersuchungen ohne KM

5.4.1 Narkose/Sedierung

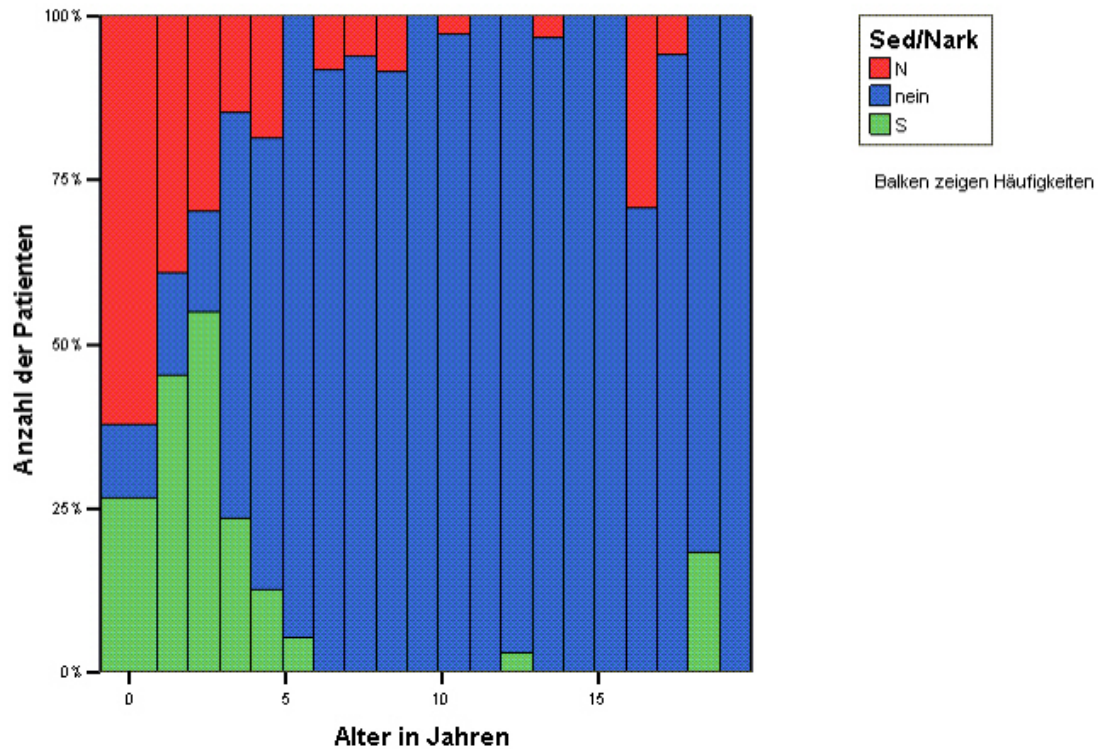


Abb. 5 Anzahl der in Sedierung bzw Narkose durchgeführten Untersuchungen bezogen auf das Alter.

Mit Erreichen des 7. Lebensjahres sind die Kinder meist in der Lage ausreichend zu kooperieren, d.h. für die Dauer der gesamten Untersuchung ruhig zu liegen und den Atemkommandos zu folgen. Von diesem Zeitpunkt an sinkt die Narkose- und Sedierungsrate deutlich. Wurden bei den 1-Jährigen noch 59,5% der Untersuchungen in Narkose durchgeführt und 32,4% unter Sedierung, so wurden nur noch 4,3% der Untersuchungen der 5-Jährigen in Narkose und 13% unter Sedierung durchgeführt. Von den 10-Jährigen wurden noch 4,2% narkotisiert, sediert wurde kein Patient mehr. Nach dem 7.

Lebensjahr müssen lediglich noch schwerstkranke Kinder und Kinder mit bestimmten Behinderungen sediert bzw. narkotisiert werden.

5.4.2 Schichtkollimation

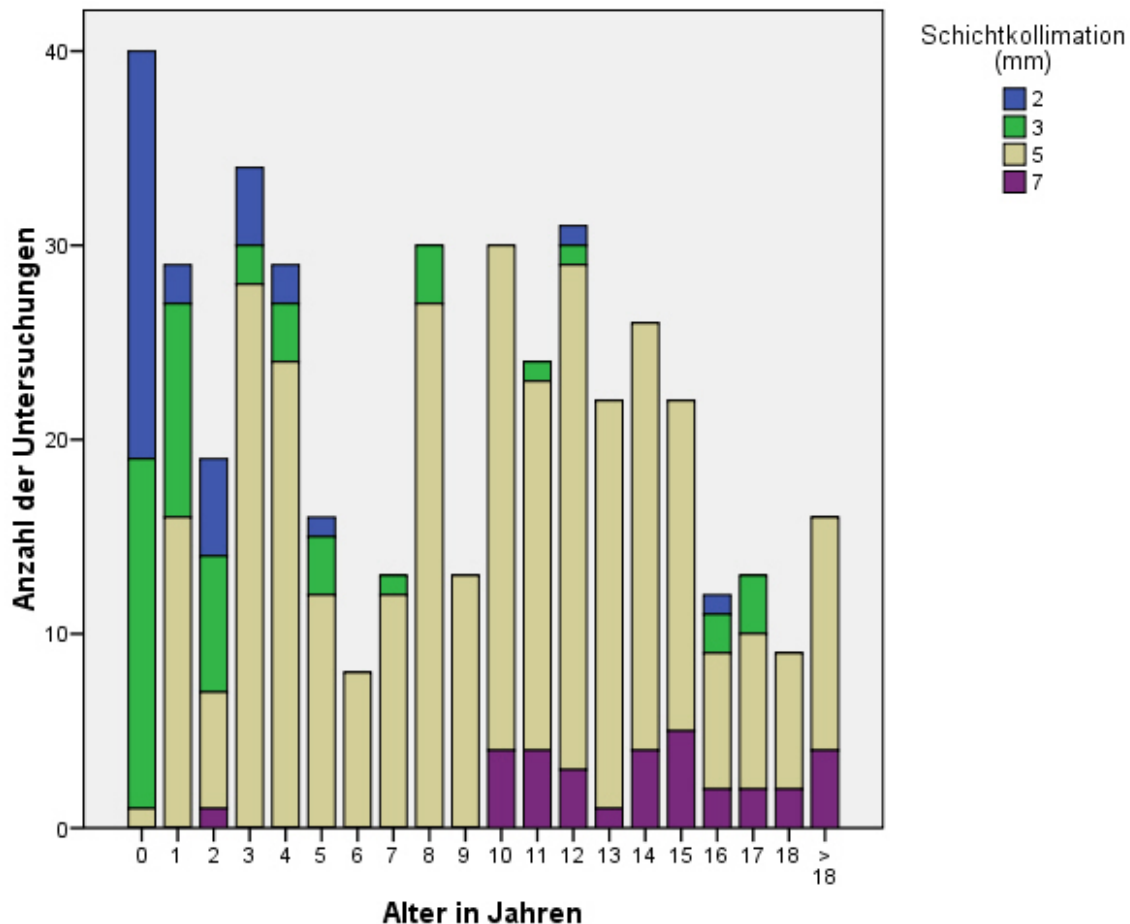


Abb. 6 Verteilung der Schichtkollimation bezogen auf das Lebensalter

Die Untersuchungen mit der 1mm Kollimation sind die HRCTs.

5mm ist die Schichtdicke, die typischer Weise bei Spiral-CT-Untersuchungen an einem Einzellengerät verwendet wird. So überwiegen bei Neugeborenen und Säuglingen Schichtdicken von 2mm bzw. 3mm. Doch bereits ab dem ersten Lebensjahr wird überwiegend eine Schichtdicke von 5mm verwendet. Bei größeren Kindern und Jugendlichen, werden in geringem Umfang auch

7mm breite Schichten verwendet, vor allem, wenn es sich um Kontrolluntersuchungen handelt und die bestehende Pathologie bereits bekannt ist. Wurden bei den 10-Jährigen keine Untersuchungen mit einer Schichtkollimation von 7 mm durchgeführt, so wurde bei den 15-Jährigen in 13,8% der Untersuchungen eine 7mm Kollimation eingesetzt.

5.4.3. Indikationen

Die zur Spiral-CT Untersuchung gestellten Indikationen wurden in acht Gruppen eingeteilt.

1. angeborene Fehlbildungen der Lunge /Trachea
2. Mediastinaltumoren / Lungenmetastasen
3. Entzündungen der Lunge / Bronchien / Pleura
4. angeborene Fehlbildungen der großen Gefäße
5. Erkrankungen / Fehlbildungen der Thoraxwand
6. Interstitielle Lungenerkrankungen / Bronchiektasen
7. Cystische Fibrose
8. Sonstige Erkrankungen

Unter dem Punkt „Sonstige“ wurden Untersuchungen mit den folgenden Indikationen zusammengefasst:

Lungenblutung, vor bzw. nach Lungentransplantation, chronische Atelektase, Lungenembolie, Lavy-Palmer-Merritt-Syndrom¹, unklare Dyspnoe, Ventrikulo-peritonealer-Shunt-Verlauf, Überrolltrauma, Sturz nach Stromausfall, Polytrauma, Kontrolle nach Lungenresektion.

¹ Polydysspondylie (Missbildungskomplex mit Zwergwuchs, Untergewicht und geistiger Retardierung)

Häufigkeitsverteilung:

Indikation	HRCT		Spiral-CT	
	Anzahl	%	Anzahl	%
Fehlbildungen der Lunge/Trachea	3	4,5%	24	5,4%
Mediastinaltumoren/ Lungenmetastasen	1	1,5%	219	49,4%
Entzündungen der Lungen/ Bronchien/ Pleura	13	19,7%	108	24,4%
Fehlbildungen der großen Gefäße	0	0	10	2,3%
Erkrankungen der Thoraxwand	0	0	7	1,6%
Interstitielle Lungenerkrankung/ Bronchiektasen	28	42,4%	26	5,8%
Cystische Fibrose	18	27,3%	30	6,8%
Sonstige Erkrankungen	3	4,5%	19	4,3%
Gesamt	66	100%	443	100%

Tab.6 Häufigkeitsverteilung der Indikationen für Spiral- und HR-CT-Untersuchungen.

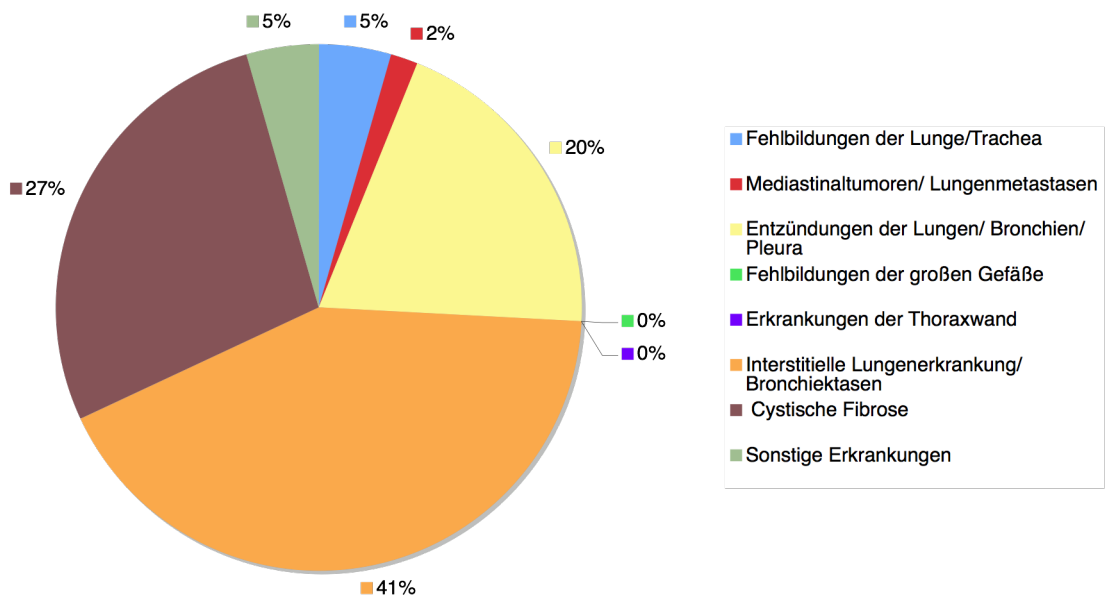


Abb. 7 Häufigkeitsverteilung der Indikationen für HR-CT-Untersuchungen

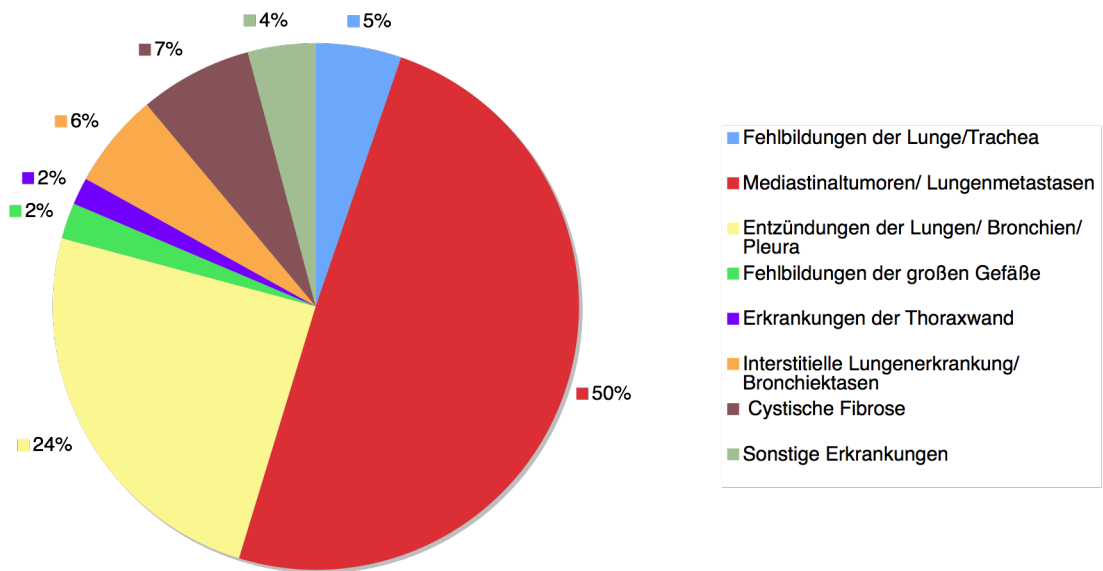


Abb. 8 Häufigkeitsverteilung der Indikationen für Spiral-CT-Untersuchungen

Insgesamt waren Staging-Untersuchungen bei malignen Erkrankungen und Entzündungen der Lunge, der Bronchien und der Pleura die am häufigsten gestellten Indikationen zum Thorax-Spiral-CT. Der Schwerpunkt der HRCT-Untersuchungen lag bei der Abklärung interstitieller Erkrankungen und bei der Untersuchung von CF-Patienten.

Bei den 44 in Tabelle 6 nicht berücksichtigten Untersuchungen, handelte es sich um Untersuchungen bei Thoraxdeformität und Interventionen.

5.4.4 Röhrenstrom

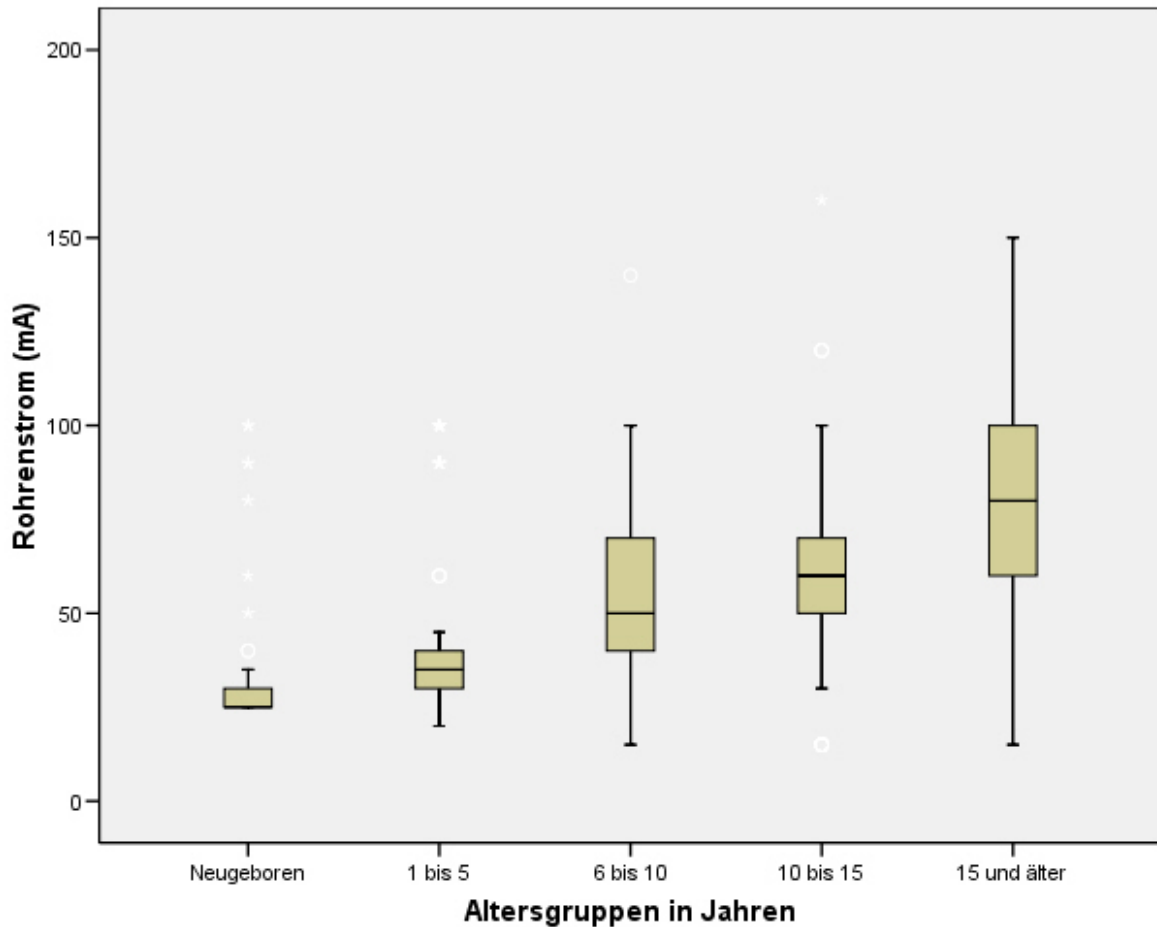


Abb. 9 Verteilung des Röhrenstroms in den verschiedenen Altersklassen bei Spiral-CT-Untersuchungen des Thorax (Box-Plot-Darstellung).

Die Abb. 8 zeigt, dass mit zunehmendem Alter des Patienten, also auch mit zunehmendem Untersuchungsvolumen ein höherer Röhrenstrom eingesetzt wurde. Der vereinzelte Einsatz eines deutlich höheren Röhrenstromes in den einzelnen Altersklassen lässt sich durch spezielle Fragestellungen oder in wenigen Einzelfällen durch Einstellungsfehler erklären.

5.4.5 Computed Tomographic Dose Index

Der Anstieg des CTDIvol mit zunehmendem Alter folgt dem Anstieg des eingesetzten Röhrenstroms in den einzelnen Altersklassen, Abb.6.

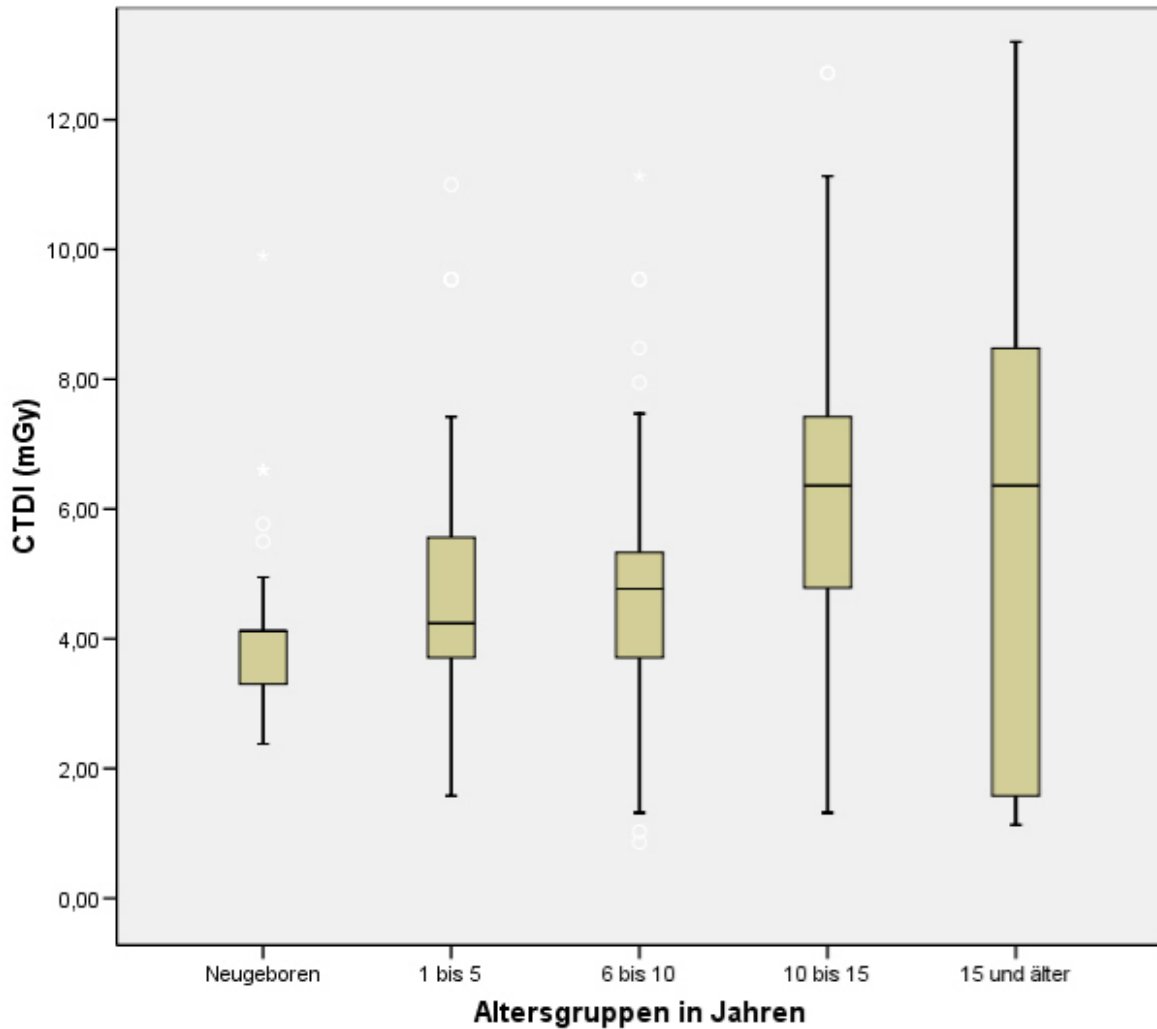


Abb. 10 Verteilung des pitch-korrigierten CTDIvol in den verschiedenen Altersklassen bei Spiral-CT-Untersuchung des Thorax (Box-Plot-Darstellung).

5.5 High-Resolution-CT

5.5.1 Indikation

Mit 28 von 66 Untersuchungen (42,4%) stellen Patienten mit einer interstitiellen Lungenerkrankung und/oder die Frage nach Bronchiektasen (47%), zusammen fast 90% der mit HRCT-Technik untersuchten Patienten.

Es folgten Patienten mit Cystischer Fibrose. Sie bildeten mit 18 durchgeführten Untersuchungen (27,3%) die zweitgrößte Gruppe. Die drittgrößte Gruppe bildeten 13 Patienten mit unklaren entzündlichen Erkrankungen der Lungen, der Bronchien oder der Pleura, entsprechend einem Anteil von 19,7%.

5.5.2 HRCT als Zusatzdiagnostik zum Spiral-CT

In unserem Krankengut wurde insgesamt 15-mal bei den folgenden Indikationen zusätzlich zu einem Spiral-CT Einzelschichten in HRCT-Technik durchgeführt:

- Hypersensitivitätsreaktion auf Methotrexat
- Pneumonie bei Immundefekt / -suppression
- unklare respiratorische Insuffizienz
- unklare chronisch obstruktive Bronchitis

5.5.3 Altersverteilung HRCT

Am häufigsten wurden die 5-10-Jährigen untersucht, gefolgt von den über 15-jährigen. In der Gruppe der über 15-Jährigen sind vor allem Kontrolluntersuchungen bei zystischer Fibrose enthalten, fast ausnahmslos

mittels HRCT. Etwa ab dem 7. Lebensjahr sind Kinder in der Lage zu kooperieren, was die Durchführung eines HRCTs mit mehreren Atemkommandos und Luftanhaltephasen eigentlich erst ermöglicht und damit auch die Qualität der Untersuchung deutlich verbessert. Aus diesen Grund steigt ab diesem Alter die Zahl der HRCT-Untersuchungen deutlich an.

Alter (Jahre)	Häufigkeit	Prozent
0- 1	4	6,1
1- 5	10	15,2
6-10	23	34,7
10-15	12	18,2
>15	17	25,8
Gesamt	66	100,0

Tab. 7 Altersverteilung beim HRCT

5.5.4 Röhrenstrom/Röhrenspannung

Als Standardeinstellung für ein HRCT wurden bei 58 von 60 Untersuchungen 100mA Röhrenstrom und 130kV Röhrenspannung verwendet. Abweichend davon betrug der Röhrenstrom bei einem 9 Monate alten Jungen mit schwerer bronchopulmonaler Dysplasie 80mA. Bei einem 13-jährigen Jungen mit Sarkoidose, einem 10 Monate alten Jungen mit Pneumonie bei Immundefekt sowie bei der Untersuchung eines 22-jährigen Patienten mit cystischer Fibrose und eines 6 Jahre und 11 Monate alten Jungen bei Zustand nach Pneumonie wurden 90mA eingesetzt. Ein 9 Jahre und 11 Monate altes Mädchen mit einer Bronchiolitis obliterans wurde mit 140mA untersucht.

In der Regel betrug beim HRCT die Rotationszeit für eine 360°-Rotation 1 Sekunde. In 6 Fällen wurden jedoch Untersuchungen mit einer Rotationszeit von 0,65 Millisekunden, entsprechend einer Rotation von etwas über 270°, durchgeführt.

5.5.6 Schicht-Kollimation

Das Standard HRCT wird mit 1mm Schichtdicke angefertigt. Bei den betrachteten Untersuchungen betrug je nach Lebensalter und Thoraxlänge der Schichtabstand 15mm oder 25mm. Dies entsprach im Mittel 5-8 Einzelschichten. In einem Fall wurden nur 3 Schichten durchgeführt und in 10 Fällen bei meist volljährigen Patienten waren es 10 bzw. 11. Bei einer 11-jährigen Patientin mit Lungenfibrose wurde eine sehr enge Schichtführung gewählt, sodass eine Gesamtzahl von 27 Schichten resultierte. In Einzelfällen wurde vom üblichen 15mm oder 25mm Schichtabstand abgewichen, wobei der geringste gewählte Schichtabstand 8mm und der größte 4,6cm betrug.

5.5.7 Sedierung/Narkose

	Häufigkeit	Prozent
Narkose	6	9,1
Sedierung	3	4,5
nein	57	86,4
Gesamt	66	100

Tab. 8 Häufigkeitsverteilung von Narkose und Sedierung.

Beim HRCT wurden lediglich 6 Untersuchungen in Narkose durchgeführt, 3 in Sedierung. Abgesehen von einem 9-jährigen Jungen mit Überreaktion auf Methotrexat, waren es ausschließlich Säuglinge und Kleinkinder, die narkotisiert oder sediert werden mussten. Patienten, die in Narkose untersucht wurden, erhielten in der gleichen Sitzung auch eine bronchoalveoläre Lavage, sodass die Narkose nicht extra für die CT-Untersuchung durchgeführt wurde.

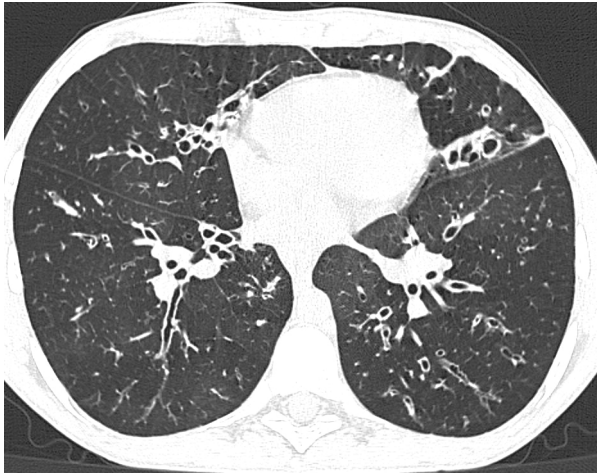
5.5.8 Patientenlagerung und Atemlage

Ein 6 Jahre und 11 Monate alter Junge bei Zustand nach Pneumonie wurde wegen eines auf dem konventionellen Röntgenbild erkennbaren Air-Trappings in Rechts- und Linksseitenlage untersucht.

Im untersuchten Krankengut wurden 6 Patienten mit Cystischer Fibrose in Inspiration und nach forcierter Expiration untersucht.

Inspiration

Expiration



Inspiration

Expiration

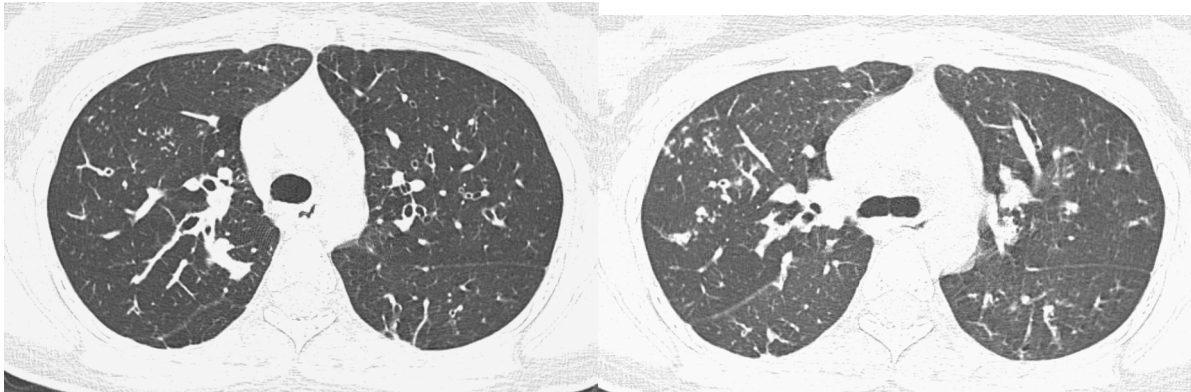


Abb. 11 CT-Schnitte von Patienten mit Zystischer Fibrose in In- u. Expiration

Bei einem 13- und einem knapp 10-jährigen Jungen mit Sarkoidose mussten veratmete Schichten wiederholt werden. Auch bei einem Säugling mussten trotz Narkose veratmete Schichten wiederholt werden, da aus Versehen dem Anästhesisten kein Atemanhaltekommando erteilt wurde.

5.5.9 CTDIw/CTDIvol Spiral-CT und HRCT im Vergleich

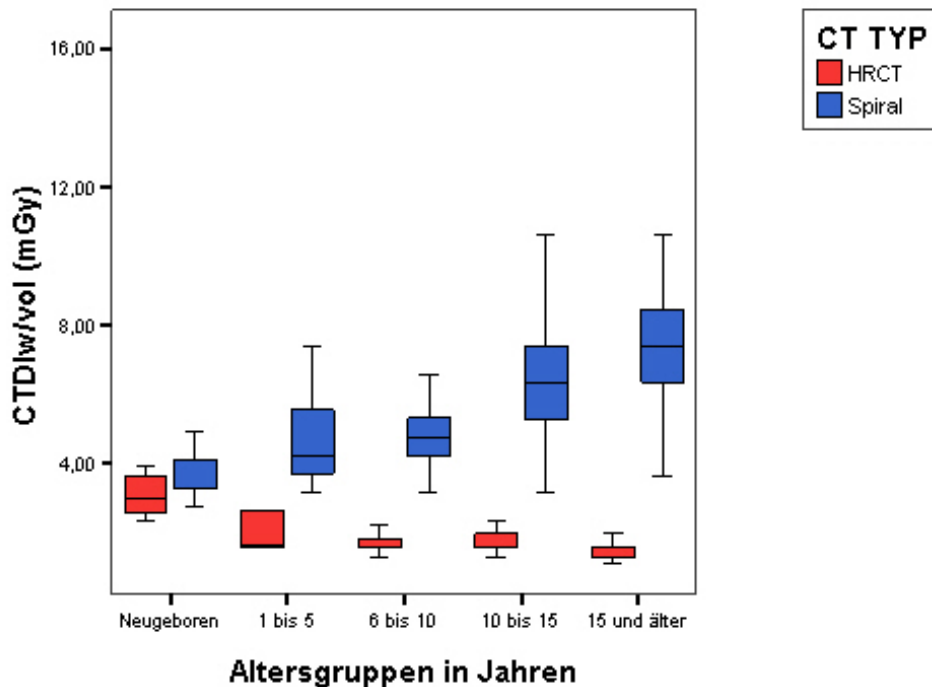


Abb. 12 CTDIw/CTDIvol von Spiral- und HR-CT-Untersuchungen im Vergleich (Box-Plot-Darstellung).

Abbildung 9 zeigt einen deutlichen Unterschied der absorbierten Dosis, gemessen als CTDIw-/CTDIvol-Werte bei Spiral- und HR-CT-Untersuchungen. CTDIw/CTDIvol von Spiral-CT-Untersuchungen liegen deutlich über den der HRCTs in den entsprechenden Altersgruppen. Weiterhin zeigt sich, dass der Unterschied mit zunehmendem Alter größer wird. Analog zur Abbildung 7 sieht man auf Abbildung 10, wie beim Spiral-CT auf Grund der deutlich längeren Scanlänge das Dosis-Längenprodukt (DLP) mit zunehmendem Alter, vor allem jenseits des 10. Lebensjahres deutlich ansteigt, während es bei den HRCT-Untersuchungen annähernd gleich bleibt. Im Mittelwertvergleich lag das

DLP der High-Resolution-CTs in der Altersklasse der 1-5-Jährigen 75%, in der Altersklasse der über 15-Jährigen sogar 90% niedriger.

5.5.10 Dosis-Längenprodukt Spiral-CT und HRCT im Vergleich

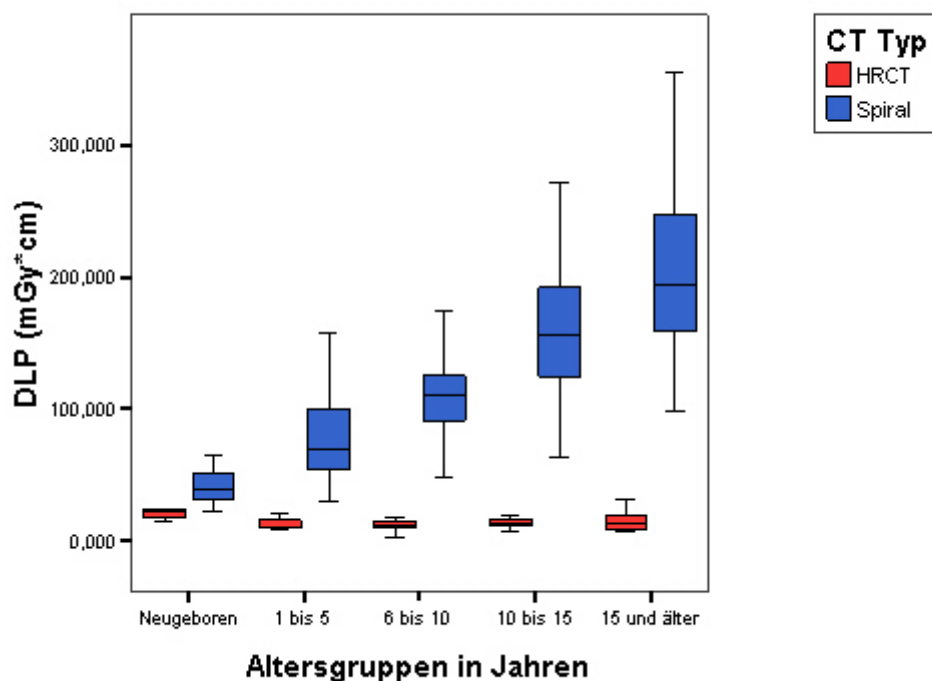


Abb. 13 Dosis-Längenprodukt bezogen auf die 5 Altersklassen, beim Spiral-CT und HRCT (Box-Plot-Darstellung).

5.6 Analyse der Bildqualität beim HRCT der Lunge

Zur Untersuchung der Bildqualität wurde an einer PACS-Workstation (Picture Archiving Communicating System) mit 2K-Befundungsmonitoren der Firma BARCO® (Belgian American Radio Corporation, Kortrijk Belgien) eine Einbildteilung verwendet, also die größte mögliche Darstellung der Schnittbilder. Bilder von Patienten unter 14 Jahren wurden mit der

Fensterbreite (FB) 1200, Fensterlage (FL) -450, ältere Patienten mit der Fensterung (FB 1500 FL -600) betrachtet.

		Interlob rechts		Interlob links	
		Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
Gültig	-1	10	15,2	17	25,8
	0	25	37,9	25	37,9
	+1	28	42,4	19	28,8
	x	3	4,5	5	7,6
Gesamt		66	100,0	66	100,0

-1 Doppelkontur 0 unscharfe Abbildung +1 scharfe Abbildung x Struktur nicht abgebildet

Tab. 9 Sichtbarkeit des rechten u. linken Interlobs

In 42,4% der untersuchten Fälle war das rechte Interlob scharf abgebildet, das linke nur in 28,8% der Fälle. Unscharf war das Interlob sowohl rechts als auch links in 37,9% der Fälle. Eine Doppelkontur war rechts in 15,2%, links gar in 25,8% zu sehen.

Bei drei Untersuchungen war das rechte Interlob nicht abgebildet. Eine Untersuchung bei Zustand nach Lungentransplantation war stark veratmet. Bei der Untersuchung wegen eines hypoplastischen Lungensyndroms und bei einer schweren bronchopulmonalen Dysplasie wurde die Schichtführung vermutlich so gewählt, dass das Interlob nicht zur Abbildung kam. Bei der Untersuchung des vorgenannten Patienten mit dem hypoplastischen Lungensyndrom und des Patienten mit der schweren bronchopulmonalen Dysplasie war auch das linke Interlob nicht beurteilbar, ebenso wie bei drei weiteren Patienten mit folgenden Dysplasien: Palmer Merrit-Syndrom, Alveolarproteinose und zystischer Fibrose. Bei diesen drei Patienten war auf

Grund massiver pathologischer Befunde eine Beurteilung des Interlob nicht möglich.

		Bronchus im rechten OL		Bronchus im linken OL	
		Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
Gültig	-1	3	4,5	9	13,6
	0	10	15,2	20	30,3
	+1	53	80,3	37	56,1
	Gesamt	66	100,0	66	100,0

-1 Doppelkontur 0 unscharfe Abbildung +1 scharfe Abbildung

Tab. 10 Sichtbarkeit der Bronchien im rechten bzw. linken Oberlappen.

Die peripheren Bronchien im rechten, beziehungsweise linken Oberlappen (OL) konnten bei allen Untersuchungen beurteilt werden. 80,3% der peripheren Bronchien im rechten OL konnten scharf gesehen werden. Mit 56,1% lag der Prozentsatz der scharf gesehenen Bronchien im linken OL niedriger. 15,2% der peripheren Bronchien im rechten OL waren unscharf abgebildet. Mit 30,3% waren im linken OL fast doppelt so viele der peripheren Bronchien unscharf. Doppelkonturen waren rechts nur in 4,5% der Fälle zusehen, auf der linken Seite hingegen in 13,6% der Fälle.

		Bronchus posterobasal re.		Bronchus posterobasal li.	
		Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
Gültig	-1	7	10,6	18	27,3
	0	4	6,1	20	30,3
	+1	55	83,3	27	40,9
	x	0	0	1	1,5
	Gesamt	66	100,0	66	100,0

-1 Doppelkontur 0 unscharfe Abbildung +1 scharfe Abbildung x Struktur nicht abgebildet

Tab. 11 Sichtbarkeit der Bronchien posterobasal in der rechten, bzw. linken Lunge

Bei einem Patienten konnten die Bronchien im posterobasalen linken Unterlappen auf Grund ausgeprägter pathologischer Veränderungen in diesem Bereich, nicht beurteilt werden. In 83,3% der untersuchten Fälle waren die Bronchien im posterobasalen rechten Unterlappen scharf abgebildet, mehr als doppelt so häufig wie auf der linken Seite (40,9%). Nur 6,1% der Bronchien im rechten posterobasalen Unterlappen waren unscharf abgebildet, im Gegensatz zu 30,3% im posterobasalen linken Unterlappen. Doppelkonturen traten in 10,6% der Fälle auf der rechten u. 27,3 % auf der linken Seite auf.

		Bronchus anterobasal re.		Bronchus anterobasal li.	
		Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
Gültig	-1	28	42,4	45	68,2
	0	20	30,3	14	21,2
	+1	18	27,3	7	10,6
	Gesamt	66	100,0	66	100,0

-1 Doppelkontur 0 unscharfe Abbildung +1 scharfe Abbildung

Tab. 12 Sichtbarkeit der Bronchien anterobasal in der rechten, bzw. linken Lunge

Die anterobasalen Bronchien im rechten UL waren nur in 27,3% der Fälle scharf abgebildet, auf der linken Seite war das sogar nur in 10,6% der Untersuchungen der Fall. 30,3% der peripheren Bronchien im anterobasalen rechten UL waren unscharf abgebildet, auf der linken Seite wurden diese Bronchien in 21,2% der Fälle als unscharf bewertet. Doppelkonturen waren rechts bei 42,4% der Untersuchungen zu sehen, links sogar bei 68,2%.

Bei der Beurteilung der peripheren Bronchien in den basalen Lungenabschnitten konnten lediglich bei einer Untersuchung eines Patienten mit Aspergillenpneumonie die Bronchien links unten hinten, sowie die Gefäße in diesem Bereich wegen der ausgeprägten pathologischen Veränderungen nicht beurteilt werden.

		Häufig-keit	%
Gültig	-1	9	13,6
	0	5	7,6
	+1	52	78,8
Gesamt		66	100,0

-1 Doppelkontur 0 unscharfe Abbildung +1 scharfe Abbildung

Tab. 13 Sichtbarkeit der Trachealhinterwand.

In allen zu untersuchenden Fällen war die Trachea-Hinterwand abgebildet. Die Trachea-Hinterwand konnte in 79% der Fälle scharf beurteilt werden. In 8% war sie unscharf, in 13% als Doppelkontur zu sehen.

Bei einem 9-jährigen Patienten mit Methotrexattoxizität ließen sich nur die Lungengefäße entlang der mediastinalen Pleura des rechten Oberlappens beurteilen. In allen anderen Schichten war auf Grund der schweren Lungenveränderungen eine weitere Gefäßbeurteilung nicht möglich. Bei einem Patienten mit Alveolarproteinose und bei einem Patienten mit schwerer

broncho-pulmonaler Dysplasie war überhaupt keine Gefäßbeurteilung möglich. Bei einem weiteren Patienten mit Alveolarproteinose waren die Gefäße rechts posterobasal nicht beurteilbar. Bei dem bereits oben beschriebenen Patienten mit Aspergillenpneumonie konnten auf Grund der ausgeprägten pathologischen Veränderungen auch die Gefäße links posterobasal nicht beurteilt werden.

		Gefäße entlang der mediastinalen Pleura d. re. OL		Gefäße entlang der mediastinalen Pleura d. li. OL	
		Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
Gültig	-1	23	34,8	30	45,4
	1	41	62,1	33	50,0
	x	2	3,0	3	4,5
	Gesamt	66	100,0	66	100,0

-1 Doppelkontur +1 scharfe Abbildung x Struktur nicht abgebildet

Tab. 14 Sichtbarkeit der kleinsten peripheren Gefäße entlang der mediastinalen Pleura des rechten, bzw. linken Oberlappens

62,1% der peripheren Gefäße entlang der mediastinalen Pleura des rechten Oberlappens waren scharf abgebildet, 34,8% unscharf. Auf der linken Seite waren 50,0% scharf zu sehen, 45,4% unscharf.

		Gefäße in d. Peripherie des re. OL		Gefäße in d. Peripherie des li. OL	
		Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
Gültig	-1	22	33,3	34	51,5
	1	41	62,2	29	44,0
	x	3	4,5	3	4,5
Gesamt		66	100,0	66	100,0

-1 Doppelkontur +1 scharfe Abbildung x Struktur nicht abgebildet

Tab. 15 Sichtbarkeit der kleinsten peripheren Gefäße in der Peripherie des rechten, bzw. linken Oberlappens.

62,2% der Gefäße in der Peripherie des rechten Oberlappens waren scharf abgebildet, 33,3% waren unscharf zu sehen. Die peripheren Gefäße des linken Oberlappens waren in 44,0% scharf abgebildet und mit 51,5% in etwas mehr als der Hälfte der Fälle unscharf.

		Periphere Gefäße im basalen re. UL		Periphere Gefäße im basalen li. UL	
		Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
Gültig	-1	32	48,5	42	63,6
	1	30	45,5	20	30,3
	x	4	6,1	4	6,1
Gesamt		66	100,0	66	100,0

-1 Doppelkontur +1 scharfe Abbildung x Struktur nicht abgebildet

Tab. 16 Sichtbarkeit der kleinen peripheren Gefäße in einer basalen Schicht der rechten, bzw. linken Lunge.

Selbst im basalen rechten Unterlappen waren mit 45,5% weniger als die Hälfte der peripheren Gefäße scharf abgebildet, 58,5% unscharf. Im linken Unterlappen waren sogar weniger als ein Drittel (30,3%) der peripheren Gefäße scharf zu sehen, 63,6% unscharf.

		rechter Herzrand		linker Herzrand	
		Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
Gültig	-1	31	47,0	44	66,7
	0	7	10,6	6	9,1
	1	28	42,4	16	24,2
	Gesamt	66	100,0	66	100,0

-1 Doppelkontur +1 scharfe Abbildung x Struktur nicht abgebildet

Tab. 17 Sichtbarkeit des rechten, bzw. linken Herzrandes

Der rechte bzw. linke Herzrand konnte bei allen Untersuchungen bewertet werden. Der rechte Herzrand war noch in 42,4% der Untersuchungen scharf abgebildet, in 10,7% unscharf. Es zeigten sich auch rechts schon in 47,0% Unschärfen im unmittelbar benachbarten Lungenparenchym. Der linke Herzrand war sogar nur in 24,2% der Fälle scharf zu sehen, in 9,1% unscharf und in 66,7% zeigten sich Unschärfen im benachbarten Lungenparenchym.

Untersuchungen, bei denen nicht alle 13 Parameter beurteilbar waren, weil zum Beispiel ein oder mehrere Parameter auf keinem Schnitt erfasst waren oder der entsprechende Schnitt veratmet war, wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen; dies kam in 9 Fällen vor.

Die Trachea-Hinterwand erwies sich als das Kriterium mit der höchsten positiven Bewertung. Der linke Herzrand stellte sich als Kriterium mit der negativsten Bewertung dar. Der rechte Herzrand zeigte schon etwas bessere Werte.



Abb. 14 Prozentsatz der scharf abgebildeten Bronchien (obere Abb.) und Gefäße (untere Abb.) im Ober- bzw. Unterfeld der rechten und linken Lunge.

Der in diesen Abbildungen angegebene Prozentsatz der scharf abgebildeten Bronchien im Unterfeld ist der Durchschnittswert des dorsobasal und dorsoventral ermittelten Wertes, der jeweiligen Seite. Der Prozentsatz der scharf abgebildeten Gefäße in den Oberfeldern ergibt sich aus dem Durchschnitt der ermittelten Werte für die scharf abgebildeten Gefäße an der mediastinalen Pleura und in der Peripherie des jeweiligen Oberlappens.

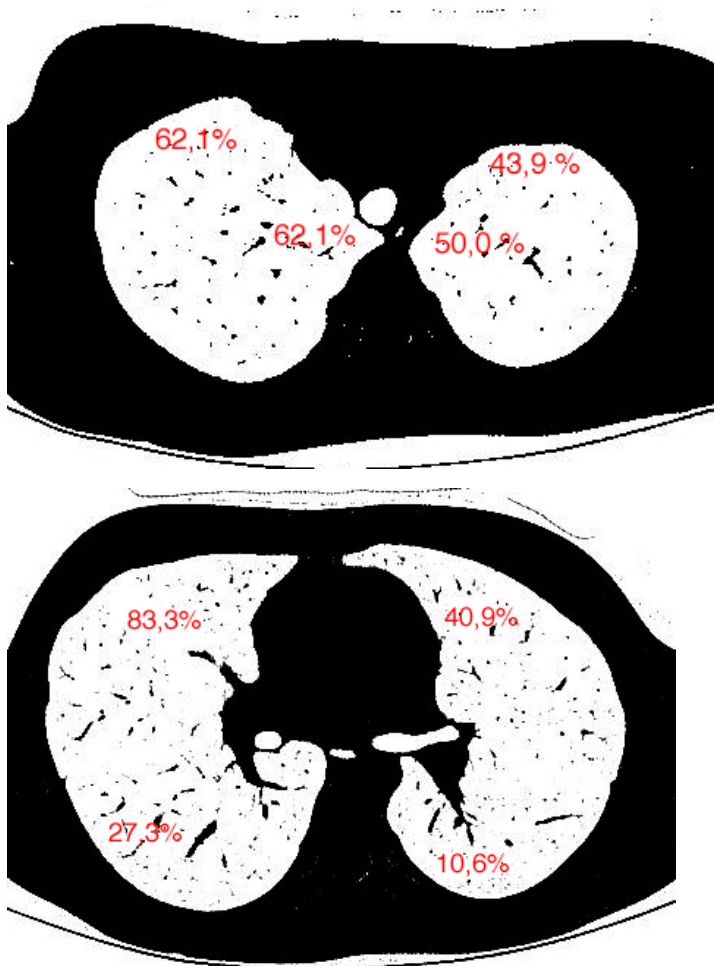


Abb. 15 Prozentsatz der scharf abgebildeten kleinen anatomischen Strukturen der rechten bzw. der linken Lunge oberhalb der Hilusebene (obere Abb.) und unterhalb der Hilusebene (untere Abb.).

Es wird deutlich, dass bei der Beurteilung kleiner anatomischer Strukturen die rechte Lunge sowohl oberhalb der Hilusebene, als auch unterhalb der Hilusebene besser abschneidet als die linke Lunge. In der linken Lunge ist der Prozentsatz der scharf abgebildeten Strukturen oberhalb der Hilusebene größer als unterhalb und unterhalb der Hilusebene, im dorsalen Lungenabschnitt, größer als im ventralen.

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
-16,00	1	1,5	1,5	1,5
-12,00	1	1,5	1,5	3,0
-11,00	2	3,0	3,0	6,1
-10,00	1	1,5	1,5	7,6
-9,00	1	1,5	1,5	9,1
-8,00	2	3,0	3,0	12,1
-7,00	2	3,0	3,0	15,2
-6,00	1	1,5	1,5	16,7
-5,00	1	1,5	1,5	18,2
-4,00	1	1,5	1,5	19,7
-3,00	4	6,1	6,1	25,8
-2,00	4	6,1	6,1	31,8
-1,00	4	6,1	6,1	37,9
1,00	3	4,5	4,5	42,4
2,00	2	3,0	3,0	45,5
3,00	5	7,6	7,6	53,0
4,00	4	6,1	6,1	59,1
5,00	6	9,1	9,1	68,2
6,00	3	4,5	4,5	72,7
7,00	1	1,5	1,5	74,2
8,00	3	4,5	4,5	78,8
9,00	3	4,5	4,5	83,3
10,00	3	4,5	4,5	87,9
11,00	3	4,5	4,5	92,4
12,00	3	4,5	4,5	97,0
13,00	1	1,5	1,5	98,5
15,00	1	1,5	1,5	100,0
Gesamt	66	100,0	100,0	

Tab. 18 Summenscore der Bildqualitätsbeurteilung beim HRCT.

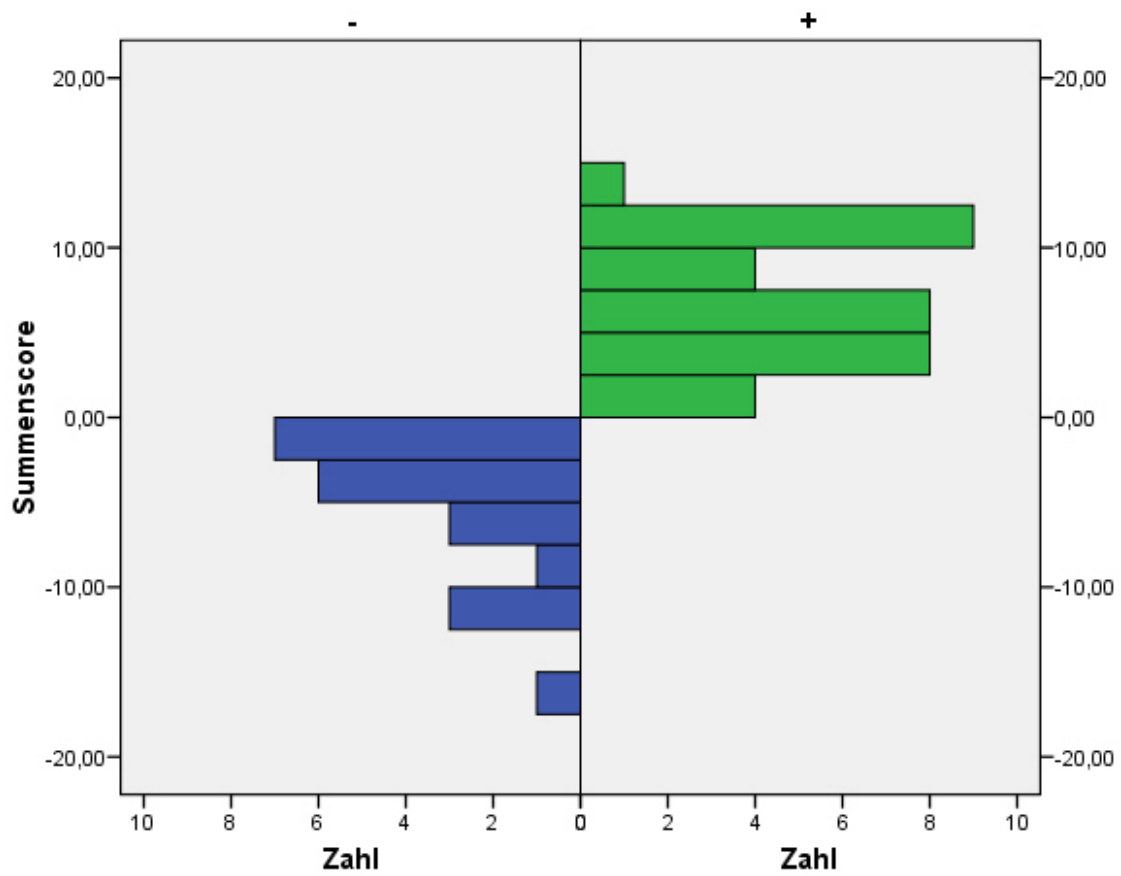


Abb.16 Summenscore der Bildqualitätsbeurteilung beim HRCT der gesamten Untersuchungsgruppe.

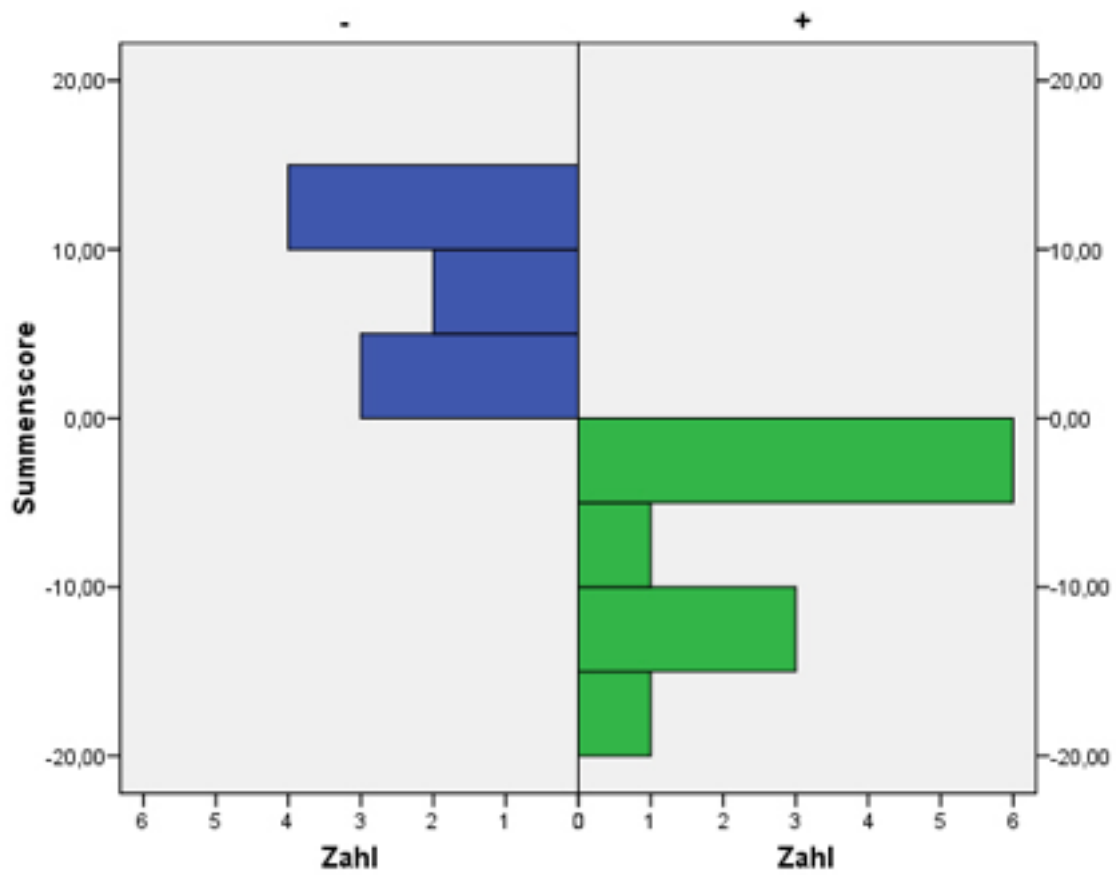


Abb. 17 Summenscore der Bewertungskriterien beim HRCT der 0-7 Jährigen.

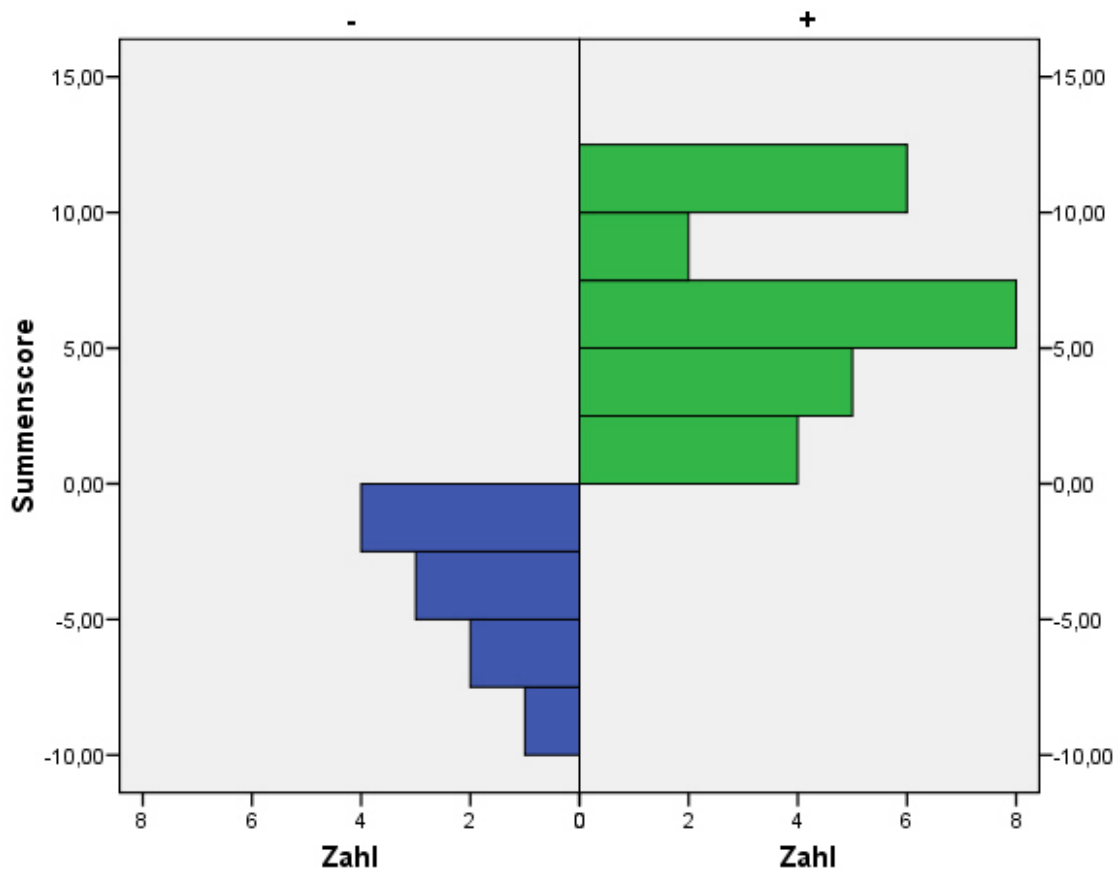


Abb. 18 Summenscore der Bewertungskriterien beim HRCT aller Patienten älter als 7 Jahre

Von den 17 untersuchten Parametern konnte jeder einzelne bestenfalls mit +1 und im schlechtesten Fall mit -1 bewertet werden. Sodass die Gesamtbewertungszahl einer Untersuchung bestenfalls +17 betragen kann und im schlechtesten Fall -17 beträgt. Es zeigte sich, dass der Score aller Untersuchungen einer etwas nach rechts, also ins Positive verschobenen Gaußschen Normalverteilung mit einem Maximum bei +4 entspricht. Ferner zeigte sich, dass der Anteil der Untersuchungen mit einem positiven Score ab dem 7. Lebensjahr deutlich ansteigt. Es waren also vor allem die Untersuchungen der unter 7-jährigen, die negative Werte erhielten.

In 3 Fällen wurden veratmete Schichten wiederholt. Einmal handelte es sich um die Erstuntersuchung eines 45 Tage alten weiblichen Säuglings, der von Geburt an Sauerstoff benötigte. Des weiteren wurden bei einem 13-jährigen Jungen mit Sarkoidose und einem 9 Jahre und 8 Monate alten Knaben mit Cystischer Fibrose veratmete Schichten wiederholt.

6. Diskussion

Im ersten Abschnitt werden die dieser Arbeit zu Grunde liegenden Methoden diskutiert. Anschließend werden die eigenen Daten interpretiert und gemeinsam mit den bisherigen Ergebnissen aus der Literatur kritisch erörtert.

6.1 Diskussion der Methodik dieser Arbeit

Es handelt sich bei dieser Arbeit um eine retrospektive Untersuchung der Thorax-CT-Untersuchungen der Radiologischen Abteilung des Dr. von Haunerschen Kinderspitals im Zeitraum vom 01.01.2003 bis zum 31.12.2004 unter dem Gesichtspunkt Analyse der Scanparameter beim kindlichen Thorax-CT, der Betrachtung der Dosis in Abhängigkeit der Einstellparameter und des Alters. Ferner wurde eine Bildanalyse beim HRCT unter besonderer Berücksichtigung der Bildqualität vorgenommen. Die Daten entstammten handschriftlichen Eintragungen im CT- Buch, den Röntgenbefunden sowie den zu den einzelnen Untersuchungen im RIS gespeicherten Daten. Fehlende Daten konnten ermittelt werden, indem die auf den Originalbildern abgedruckten Untersuchungsparametern nacherfasst wurden.

In einigen Fällen mussten fehlende oder offensichtlich falsch eingetragene CTDI-Werte durch Simulation am CT-Gerät mit den entsprechenden Parametern ermittelt werden.

Insgesamt konnten 533 Untersuchungen in die Erhebung aufgenommen werden. 66 (ca.11%) davon waren HRCT-Untersuchungen. Zur Beurteilung der Bildqualität wurden alle entsprechenden Untersuchungen aus dem elektronischen Bild-Archiv geladen und an der für die Routinebefundung verwendeten Agfa-Workstation betrachtet. In ca. 30% der Fälle wurden

fehlerhafte Einträge im RIS im Rahmen dieser Arbeit festgestellt und entsprechend korrigiert.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

6.2.1 Spiral CT

6.2.1.1 Untersuchungstechniken

Radiologen haben die Verpflichtung die nicht gerechtfertigte Anwendung ionisierender Strahlung bei Kindern und Jugendlichen zu verhindern (Röntgen-Verordnung 2003; Bundesärztekammer 2008). Der effektivste Strahlenschutz ist die strenge Indikationsstellung, die sogenannte rechtfertigende Indikation. Dass, dies von größter Bedeutung ist zeigte Frush. Er kommt zu dem Schluss, dass 40% aller pädiatrischen CT-Untersuchungen nicht indiziert sind. (Frush 2002) Diese Zahlen dürften für die USA gelten, nicht aber für Europa. Ist eine CT-Untersuchung wirklich notwendig, sollte stets das ALARA-Prinzip (as low as reasonably achievable) angewendet werden (ICRP 1977, ICRP 1990). Die falsche CT-Technik zu benutzen, ist vergleichbar mit einer falschen Medikamentendosierung (Frush 2002).

Folgende Faktoren haben neben den eingestellten Scanparametern Einfluss auf die Bildqualität des Thorax-CT: Motorische Unruhe, vertiefte Atembewegung des Patienten, Lungenvolumen, Größe des Patienten und der Rekonstruktions-Kernel. Obwohl die Scan-Technik in erster Linie die Dosis bestimmt, ist sie erst an vierter Stelle für die Bildqualität verantwortlich (Kuhn and Brody 2002) (Sibtain 2004). Die Höhe der Strahlenexposition hängt von drei Faktoren ab. Zum einen von der Gerätegeometrie und gerätespezifischen Besonderheiten, wie z.B. Röntgenröhrenfokus-Isozentrum-

Abstand, Formfilter, Zusatzfilter, zum anderen vor allem von der Wahl der Einstellparameter durch den Anwender und zum dritten von der Patientengeometrie. Gerade im Kindesalter schwanken die Patientendurchmesser extrem, 8-40 cm. Durch die Wahl von Aufnahmespannung und der erforderlichen mAs-Werte ist bei einzelnen CT-Untersuchungen eine erhebliche Dosisabweichung in beide Richtungen, nach oben wie unten, möglich. Auch Fearon ist der Ansicht, dass die Dosis einer CT-Untersuchung zum einen vom Gerät, zum anderen von der Auswahl der Einstellparameter durch den Anwender und zum dritten von den Voraussetzungen abhängt, welche der Patient mitbringt, wie z.B. Größe und Gewicht. Ersteres und letzteres ist bei einer Untersuchung nicht zu beeinflussen, sodass die Dosisreduktion durch die Wahl der Einstellparameter, bzw. durch die Verwendung einer Dosisautomatik beeinflusst werden muss (Fearon 2002; Greess 2004).

Es ist schwierig eine Größe zu finden, die das tatsächliche Strahlenrisiko für den Patienten misst. Die Dosis ist direkt proportional zum Produkt aus Scanzeit und Röhrenstrom. Der mAs-Wert kann also nur zur Dosisabschätzung an einem bestimmten Scanner dienen. Der CTDI_w, bzw. CTDI_{vol}, als Maß für die lokale Exposition, ist ein rein physikalisches Dosismaß. Er ist eine Größe, die das Patientenrisiko nicht direkt quantifiziert. Der CTDI_w, bzw. CTDI_{vol}, ist die durchschnittliche Dosis einer direkt bestrahlten Region. (Fearon 2002). Auch für Suess ist der CTD_w, bzw. CTDI_{vol}, die Grundvoraussetzung, um Bildqualität und Patientendosis zu optimieren. Er hält allerdings die effektive Dosis zur Abschätzung des Patientenrisikos für besser geeignet (Suess and Chen 2002). Trotzdem sind CTDI_w, bzw. CTDI_{vol}, und das DLP, als Maß für die integrale Strahlenexposition, aber ein gutes Verfahren das Strahlenrisiko abzuschätzen. Da der CTDI_w, bzw. CTDI_{vol}, vom Gerät angezeigt wird, kann man bei der Planung der Untersuchung an der Konsole sehen, wie sich die Änderung einzelner Parameter auswirkt (Frush 2002). Mit den derzeit

erhältlichen Programmen zur Dosisabschätzung ist zwar eine individuelle Dosisberechnung hinsichtlich der angewendeten CT-Parameter, nicht aber bezüglich der Patientengeometrie möglich.

Wir wählten in unserer Untersuchung den CTDI_w, bzw. CTDI_{vol} und das DLP als Dosisgröße, da erstens CTDI_w, bzw. CTDI_{vol} und DLP speziell von den für die einzelne Untersuchung ausgewählten Parametern abhängen, zweitens sowohl der CTDI_w, bzw. CTDI_{vol}, als auch seine Änderung, bei Änderung einzelner Untersuchungsparameter vom Untersucher direkt am Gerät abgelesen werden kann und drittens, weil das DLP leicht aus dem CTDI_w, bzw. CTDI_{vol}, zu ermitteln ist.

Bei dem verwendeten CT-Gerät, der Firma Philips konnte vor Ablesen des CTDI_w, bzw. CTDI_{vol}-Wertes, eine „small body-Funktion“ aktiviert werden. Dies ist wichtig, da sich der am Gerät abzulesende CTDI_w, bzw. CTDI_{vol}-Wert, auf ein Phantom mit einem bestimmten Durchmesser bezieht und somit Patienten, wie z.B. Kinder mit einem geringeren Durchmesser der untersuchten Region in Wirklichkeit bei der entsprechenden Untersuchung einen höheren CTDI_w, bzw. CTDI_{vol}-Wert, erzielt haben, als den angezeigten. Denn die im Zentrum eines Körpers messbare Schwächung der Röntgenstrahlung steigt, bei gleichen kV und mAs-Werten mit Abnahme des Körperdurchmessers an, da bei größeren Körpern auf dem Weg von der Oberfläche zum Zentrum mehr Gewebe durchdrungen werden muss, was zur stärkeren Abschwächung der Strahlung führt. Bei Verwendung des gleichen Scanners wurde eine um den Faktor 2-4 höhere Strahlendosis gemessen, wenn der Phantomdurchmesser von 16 cm auf 12 cm bzw. 8 cm abnahm (Nagel 3. Auflage 2002; Huda 2002). Bei kleinen Körperdurchmessern entspricht die Dosis im Zentrum nahezu der Oberflächendosis. Das bedeutet, wenn der Körper eines Säuglinges mit den gleichen Parametern untersucht

wird, wie der eines älteren Kindes oder eines Erwachsenen, ist er einer wesentlich höheren Strahlenbelastung ausgesetzt (Brenner 2001).

In unserer Untersuchung bestätigte sich der bekannte lineare Zusammenhang zwischen CTDI_w, bzw. CTDI_{vol} und dem Röhrenstrom-Zeit-Produkt. Da mit Reduktion des Röhrenstroms, bzw. mAs-Produktes das Rauschen zunimmt, auf der anderen Seite kleine Körper aber weniger Rauschen erzeugen als die größeren Körperdurchmesser Erwachsener, kann bei CT-Untersuchungen der Lunge im Kindesalter wegen der idealen Hochkontrastverhältnisse der lufthaltigen Lunge die Detektordosis im frühen Lebensalter enorm reduziert werden (Garcia-Pena and Lucaya 2004). Die im untersuchten Krankengut für die Untersuchung eingesetzten mA-Werte wurden mit Hilfe der Dosisautomatik unseres CT-Geräts automatisch abgesenkt.

So wurde ein möglichst niedriger, dem Alter und damit dem Untersuchungsvolumen angepasster, Röhrenstrom eingesetzt. Neugeborene wurden durchschnittlich mit einem Röhrenstrom-Zeit-Produkt von 25 mAs, 1-5 Jährige mit 30-40 mAs, 6-10-jährige wiederum mit durchschnittlich 40-60 mAs untersucht. Im Vergleich dazu werden für einen 70 Kilogramm schweren Erwachsenen üblicherweise 90mAs eingesetzt.

Rogalla hat zeigen können, dass eine erhebliche Reduktion des mAs-Produktes bei kindlichen CT-Untersuchungen des Thorax möglich ist. Die Rogalla-Formel besagt, dass sich das schließlich eingestellte Röhrenstromzeitprodukt aus der Summe des Gewichtes und der Zahl 5 zusammensetzt. Wiegt der Patient 15kg müsste ein mAs von 20 eingestellt werden (Rogalla, Stöver et al. 1999).

Honnef schlägt als Faustregel zur Abschätzung des benötigten mAs-Produktes bei Rotationszeiten von 0,5s bei Thoraxuntersuchungen vor, das Patientengewicht in kg mit dem Faktor 1-1,5 zu multiplizieren (Honnef, Wildberger et al. 2004). Dabei wird eine Röhrenspannung von 120kV vorgeschlagen.

Das Röhrenstrom-Zeit-Produkt konnte bei der Untersuchung von Säuglingen auf weniger als 30mAs reduziert werden. So niedrige Werte wie bei einem Multislise-Gerät, nämlich effektiv 15-20mAs, konnten wegen der längeren Rotationszeit 1,0 sec versus 0,5 sec allerdings nicht erzielt werden.

Es bleibt die Frage offen, ob ein weiteres Absenken der in unserer Studie überwiegend bei Säuglingen eingesetzten 25mA z.B. auf 20mA klinisch zuverlässig verwertbare Bilder ergäbe. Die Frage ist selbstverständlich übertragbar auf ältere Patienten, die mit einem höheren Röhrenstrom untersucht wurden. Da jedoch speziell in der Kinderradiologie auch innerhalb der einzelnen Altersklassen Größe und Gewicht der Patienten sehr unterschiedlich sein können, bietet das "dose-right" eine gute Hilfe zur Röhrenstrom-Anpassung.

Der Effekt der Röhrenspannung auf die Dosis ist nicht linear, sondern folgt der 2,3- oder 2,6-fachen Potenzfunktion, da sich bei Änderung der Spannung sowohl die Qualität, als auch die Quantität der Photonen ändert. Im Vergleich zu 120kV führt eine Absenkung der Röhrenspannung auf 80kV zu einer Dosisreduktion um 64%.

Mit steigender Röhrenspannung nimmt der Kontrast zu, gleichzeitig nimmt das Rauschen ab. Das Verhältnis Kontrast zu Rauschen ist also ein entscheidender Faktor für die Bildqualität (Huda 2002).

Laut Honnef ist es generell sinnvoll mit 120 kV zu arbeiten. Bei Neugeborenen und Säuglingen kann auf Grund deren speziellen Fett-Muskel-Verteilung und dem hohen prozentualen Wasseranteil am Körpergewicht die Spannung auf 80kV reduziert werden. Da der Jodkontrast ansteigt, wenn der kV-Wert reduziert wird, kann ein erhöhtes Bildrauschen toleriert und damit die Dosis vor allem bei kontrastverstärkten CT-Untersuchungen reduziert werden. So könnten auch Untersuchungen mit Kontrastmittel als sogenannte CT-Angiographien in den Augen Honnefs bei Säuglingen und Kleinkindern generell mit 80kV durchgeführt werden. W. Huda empfiehlt sogar für Schädel-CTs bei

Kindern 80kV (Huda 2002). Prokop schlägt 80-100kV für Kinder und gering absorbierende Körperregionen, wie den Thorax vor, insbesondere wenn Kontrastmittel appliziert wird (Prokop 2007)

In unserem Fall wurden alle Spiral-CT-Untersuchungen des Thorax mit 120kV und 1Sek. Rotationszeit durchgeführt. Es scheint sinnvoll, den Effekt einer Spannungsreduzierung auf 80kV in Bezug auf die Bildqualität zumindest bei Säuglingen in einer prospektiven Studie genauer zu überprüfen. Zwischenzeitlich wurde in der Radiologischen Abteilung des Dr. v. Haunerschen Kinderspitals, auf Grund der Ergebnisse dieser Arbeit, neben der automatischen Reduktion des Röhrenstroms (dose right) bei der Untersuchung von Säuglingen zur weiteren Dosiseinsparung auch die Röhrenspannung auf 100kV reduziert. An dem in dieser Dissertation verwendeten Philips-Geräts ist eine weitere kV-Reduktion, z.B. 80kV, leider nicht möglich.

Je enger die Spirale, je enger die Kollimation und je niedriger der Pitch, je geringer somit der Abstand zwischen den einzelnen gescannten Schichten und je größer die Anzahl der gescannten Schichten ist, desto höher ist die Dosis. Grundsätzlich wurde bei den Untersuchungen im Dr. v. Haunerschen Kinderspital versucht, bei jeder Untersuchung die größt mögliche Schichtkollimation zu wählen. Die Untersuchung der kleineren Patienten, bei denen sowohl die anatomischen, als auch die pathologischen Strukturen kleiner sind, erfordern dünnere Schichten und auch geringere Schichtabstände. Dafür ist das insgesamt untersuchte Volumen dementsprechend kleiner. Zum Teil konnte für Kontrolluntersuchungen eine größere Kollimation gewählt werden. Bei der Untersuchung großer Untersuchungsvolumen wurden zur Reduktion der Untersuchungszeit große Schichtabstände, d.h. mindestens ein Pitch von 1,5, gewählt.

Es darf nicht nur darum gehen die optimale Bildqualität zu erreichen, sondern die im Sinne der Diagnosestellung noch akzeptable Bildqualität bei der

geringst möglichen Dosis für den Patienten (ALARA-Prinzip der ICRP). Allerdings muss bei jeder Form der Dosisreduktion die Bildqualität noch eine sichere Diagnose erlauben. Denn jede Untersuchung, die wegen schlechter Bildqualität wiederholt werden muss, ist eine absolut vermeidbare Strahlenexposition. (Wagner 2002)

6.2.1.2 Kontrastmittel

Die Anwendung intravenös verabreichter Kontrastmittel ermöglicht beim CT des Thorax die Abgrenzung von Gefäßen zu Lymphknoten. Kontrastmittel erlauben ferner die Diagnostik pathologisch verlaufender Gefäße und helfen pathologisches Gewebe von gesundem Gewebe zu unterscheiden, indem sie die Durchblutung von Raumforderungen anzeigen und etwa die Mehrdurchblutung einer Abszesswand zeigen (Siegel, Sagel et al. 1982). Aus diesem Grund wurden Spiral-CT-Untersuchungen des Thorax in der Regel mit KM durchgeführt, sofern keine Kontraindikation für die Kontrastmittelgabe bestand. Ausnahmen betrafen lediglich 56 der 440 Spiral-CT-Untersuchungen, bei denen es in erster Linie um die Darstellung der Thoraxwandmorphologie und nicht um Parenchymveränderungen ging, sowie Kontrolluntersuchungen bei Mykosen der Lunge oder bei Verlaufskontrollen von onkologischen Patienten mit bekannten Lungenmetastasen.

6.2.1.3 Narkose/Sedierung

Bewegungsunruhe der pädiatrischen Patienten ist das größte Hindernis für das Erreichen guter Bildqualität (Kuhn and Brody 2002). Bildgebung in tiefer Inspiration und Luft-Anhalte-Technik hat den Vorteil, dass sich das Lungenvolumen vergrößert und somit auch kleine intrapulmonale Strukturen

besser sichtbar werden. Atembewegungen aber auch die Herzpulsation kann zu nicht mehr auflösbaren Dichteunterschieden in der Lunge führen, die als pathologische Befunde fehl interpretiert werden können. Artefakte hängen in erster Linie mit der Kooperation des Kindes zusammen. Unabhängig davon treten aber bei niedrigeren mA-Werten die sogenannten „Photon-Starvation-Artefakte“ in den paravertebralen Lungenanteilen häufiger auf. Diese spielen aber erst jenseits des 10. Lebensjahres eine bedeutende Rolle. Bei kooperativen Kindern vor dem 10. Lebensjahr kann daher auch bei sehr niedrigeren mA-Werten noch eine ausreichende Bildqualität erzielt werden (Lucaya, Piqueras et al. 2000). Auch F. R. Long konnte in seiner Studie über CF-Patienten zeigen, dass Scannen bei Atemstillstand nach tiefer Inspiration entscheidend zur Bildqualität beiträgt und eine Dosisreduktion ermöglicht (Long 2005).

Unter optimalen Untersuchungsbedingungen ist somit eine Dosisersparung möglich, zusätzlich werden für den Patienten strahlenbelastende Wiederholungsuntersuchung vermieden. Aus diesem Grund wurden Kinder, die zu klein oder zu krank waren um zu kooperieren, in Sedierung oder Narkose untersucht.

6.2.2 High-Resolution-CT

1982 wurde von Todo, Itho u. anderen das High-Resolution-CT der Lunge als spezielles Untersuchungsverfahren erstmals eingesetzt (Webb 2001). Mit der Weiterentwicklung der CT-Technologie –Rotation im Subsekundenbereich- war es möglich, pathologisch anatomische Details bei diffusen Lungenerkrankungen noch präziser abzubilden.

Mittlerweile sind im HRCT feinste Details von normalem und verändertem Lungeninterstitium und die charakteristischen Merkmale sowohl lokalisierter,

als auch diffuser parenchymatöser Veränderungen exzellent darstellbar (Webb 2001, Garcia-Pena und Lucaya 2004).

Erkrankungen der kleinen Atemwege und des Lungenparenchyms stellen die Hauptindikation für HRCT-Untersuchungen dar. Die Differenz zwischen zentralen und peripheren Atemwegen ist bei Kindern besonders groß. Dadurch erklärt sich der erhöhte Atemwegswiderstand im Vergleich zum Erwachsenen. In Folge der kleineren Atemwegsdurchmesser reichen schon kleine Mengen Schleim oder eine geringe ödematöse Schwellung der Bronchialwand aus, um sie vollständig zu verlegen. Außerdem kollabieren die Bronchien schneller, was Atelektasen und „Air-Trapping“ verursachen kann (Sibtain 2004). Die kleinen Atemwege sind auf Grund ihres großen Gesamtquerschnittes nur für 25% des Atemwegswiderstandes verantwortlich, deshalb kommt es in der Regel erst bei fortgeschrittener Affektion der kleinen Luftwege zur messbaren Veränderungen der Lungenfunktionsparameter und zum Auftreten einer klinischen und funktionellen Symptomatik. Die HRCT-Untersuchung füllt hier also ein diagnostisches Vakuum aus, da sie früh geringste morphologische Veränderungen darstellen kann. Die HRCT ist das wichtigste diagnostische Untersuchungsverfahren für Patienten mit obstruktiver und restriktiver Lungenerkrankung unklarer Genese.

Durch die hohe Ortsauflösung, ist eine genaue Zuordnung morphologischer Strukturen zu anatomischen Kompartimenten des Lungenparenchyms möglich. Veränderungen sind somit früher sichtbar. Die HRCT ist also, was die Diagnostik von Lungenerkrankungen angeht, sensibler und spezifischer als andere Untersuchungsverfahren und spielt somit gerade in der Frühdiagnostik eine wichtige Rolle (Garcia-Pena and Lucaya 2004).

Auch in der Radiologischen Abteilung des Dr. v. Haunerschen Kinderspitals wurden Patienten mit einer interstitiellen Lungenerkrankung generell mittels HRCT untersucht. Sie stellten, gefolgt von Patienten mit zystischer Fibrose,

die größte Gruppe im untersuchten Krankengut dar. Auch im Haunerschen Kinderspital wurde die Frage nach Bronchiektasen immer mit dem HRCT beantwortet.

Um das Bildrauschen zu minimieren, werden bei Erwachsenen eine Aufnahmespannung von 120-140kV und mAs-Werte bis über 200 eingesetzt. In unserer Klinik wurden 130kV Röhrenspannung angelegt und 100mAs eingesetzt, was deutlich niedriger ist als die teilweise empfohlenen 200mAs. Auf der anderen Seite setzt Frederick R. Long in seiner Studie bei CF-Patienten nur 80mA bei 120kV ein und berichtet, dass in seinem Department Kinder mit zystischer Fibrose nur noch mit 10-20 mAs bei 100kV untersucht werden. P.A. de Jong zeigt in einer weiteren Studie, dass man im Tierexperiment beim Einsatz von nur 5mAs bei der Messung von Bronchiallumina denen bei 100mAs entsprechende Werte erhält. (Long 2005; Jong 2006) Auch Bhalla hat bei seiner Scoring-Untersuchung von CF-Patienten einzelne Patienten mit 20 mAs bei 120 kV untersucht. (Bhalla, Turcios et al. 1991) Kuhn ist der Meinung dass mit 40 mAs bei Kindern eine gute HRCT-Bildqualität erreicht werden kann und dass wahrscheinlich ein weiteres Absenken des Röhrenstromes möglich sei. (Kuhn and Brody 2002) Hier ist kritisch anzumerken, dass in diesen Publikationen keine Aufschlüsselung der Patienten nach dem Alter erfolgte. Auf Grund der dickeren Kortikalis der Schulterblätter und des Humerus ist bei größeren Kindern zur Abbildung der oberhalb der Trachealbifurkation gelegenen Lungenabschnitte ein höherer Röhrenstrom erforderlich. Aus der eigenen Erfahrung darf bezweifelt werden, ob bei Kindern über 8 Jahren die Dosis soweit reduziert werden kann um eine noch ausreichende Bildqualität zu erreichen. Die Studie von Coppenrath hat gezeigt, dass bei Erwachsenen mit einer Dosisreduktion von 100mAs auf 10mAs ein Grenzbereich erreicht zu sein scheint, bei dem speziell in der Lungenperipherie Bildqualitätsverluste auftreten können, welche die Beurteilbarkeit deutlich einschränken

(Coppenrath, Mueller-Lisse et al. 2004). Garcia-Pena empfiehlt für Kinder unter 14 Jahren 40mAs bei 90kV und für Jugendliche ab 14 Jahren 20mAs bei 120kV. Durch die Reduktion der Röhrenspannung von 120kV auf 90kV konnte eine Dosisreduktion von 47% erzielt werden. (Garcia-Pena and Lucaya 2004). Zur Untersuchung dorsal und unmittelbar paravertebral gelegener Lungenabschnitte und bei der Untersuchung stark übergewichtiger Patienten muss insbesondere der Röhrenstrom erhöht werden. So müssen weitere Untersuchungen zeigen, ob auch beim HRCT durch weitere Reduktion des Röhrenstroms und der Röhrenspannung bei ausreichender Bildqualität weiter Dosis reduziert werden kann.

Um bewegungsbedingte Artefakte zu minimieren, ist die kürzest mögliche Rotationszeit, abhängig vom Scanner zwischen 0,5-1 Sekunde angezeigt. Kuhn empfiehlt im Sinne der Dosisreduktion, die schnellst mögliche Rotationszeit zu wählen oder die Röhre um weniger als 360 Grad rotieren zu lassen (Kuhn and Brody 2002). Owens schlägt vor, für HRCT-Untersuchungen bei Kindern eine Röhrenrotationszeit von 0,75 Sekunden nicht zu überschreiten (Owens 2004). Um das räumliche Auflösungsvermögen zu optimieren, ist es nötig, die dünnste Schicht-Kollimation zu verwenden. In vielen HRCT-Routineprotokollen werden zur Diagnosestellung die Schichten in 10mm Intervallen von der Lungenspitze bis zum Zwerchfell gefahren, was eine relativ hohe Strahlenbelastung darstellt. Kuhn empfiehlt in seiner Arbeit 10mm Intervalle für über 10-Jährige, 7mm Intervalle für Kinder im Alter von 2-10 Jahre und 5mm Intervalle für jüngere (Kuhn and Brody 2002). Owens schlägt vor 15-20mm Intervalle zu wählen (Owens 2004). De Jong kommt in seiner Arbeit bei CF-Patienten zu dem Schluss, dass ein Schichtabstand von mehr als 20mm unvorteilhaft wäre, weil zu viele pathologische Veränderungen übersehen würden (Jong 2006). Garcia-Pena konstatiert in ihrer Arbeit, dass bei bekannter fokaler Pathologie gezielt gelegte Einzelschichten über einen kleinen Lungenabschnitt wesentlich mehr Information erbringen als eine

konventionelle Röntgenaufnahme in zwei Ebenen mit vergleichbarer Dosis. Muss bei Kontrolluntersuchungen die ganze Lunge untersucht werden, schlägt Owens 20mm Intervalle vor. Im Gegensatz zu de Jong sind die Autoren der Meinung, dass dadurch keine wesentlichen Informationen verloren gehen (Garcia-Pena and Lucaya 2004). In der Radiologischen Abteilung des Dr. v. Haunerschen Kinderspitals betrug die Rotationszeit in der Regel 1 Sekunde. In wenigen Ausnahmen wurden mit einer 270°-Rotation kürzere Zeiten, 0,65 s verwendet. Es wurden 1mm-Schichten gescannt. Festgelegte Routineprotokolle, mit der entsprechend hohen Strahlenbelastung, bei denen die gesamte Lunge in 1-mm-Intervallen von der Lungenspitze bis zum Zwerchfell durchgescannt wird, wurden nicht verwendet, sondern jede Untersuchung nach Lage und Anzahl der Schichten individuell geplant, um so mit möglichst geringer Anzahl an Schichten und damit geringer Strahlenbelastung die entscheidenden pathologischen Veränderungen abzubilden. Dies ist ein ganz entscheidender Punkt, da in der Praxis oft die wesentlich strahlenbelastenderen Routineprotokolle verwendet werden, mit denen unselektiv der gesamte Thorax gescannt wird. Auch in der Arbeit von de Jong wurden die Schichten unselektiv gelegt, und es bleibt letztendlich unklar, ob die bei reduzierter Schichtenzahl nicht abgebildeten Veränderungen wesentliche neue Aspekte erbracht hätten, die das Therapiekonzept beeinflusst hätten (Jong 2006).

Normalerweise werden auch HRCTs bei tiefer Inspiration und Atemstillstand durchgeführt. Bei Patienten mit obstruktiven Lungenerkrankungen und/oder Fehlbildung der Atemwege werden gegebenenfalls auch Untersuchungen nach forcierter Expiration durchgeführt. Dies erleichtert bei inhomogenen Verdichtungen die Unterscheidung von obstruktiven und infiltrativen Erkrankungen. Air-Trapping stellt sich in einer Expirationsuntersuchung als Region mit erhöhter Transparenz dar, während sich infiltrative Veränderungen als Verdichtung zeigen. Außerdem kann damit die Bronchialwandstabilität

beurteilt werden. Siegel konnte in Ihrer Studie zeigen, dass bei der Diagnostik der Bronchiolitis obliterans, bzw. bei Erkrankungen der kleinen Atemwege Zusatzschichten in Expiration eine wichtige Ergänzung darstellt (Siegel, Bhalla et al. 2001). In einigen Röntgeninstituten werden grundsätzlich bei allen HRCT-Untersuchungen zusätzlich Aufnahmen in Expiration gemacht, da auch bei unauffälligem inspiratorischen HRCT erst in den expiratorischen Studien die pathologischen Befunde sichtbar werden. In anderen Kliniken wird diese Zusatzuntersuchung nur bei besonderen Indikationen eingesetzt. Owens empfiehlt drei zusätzliche Schichten in Expiration (Owens 2004). Die Expiration ermöglicht also die Differenzierung zwischen Air-Trapping, das definitionsgemäß auf Erkrankungen der kleinen Atemwege zurückzuführen ist, und dem Bild der Mosaikperfusion, der meist vaskuläre Ursachen zu Grunde liegen. Bei Patienten, die nicht in der Lage sind die Luft anzuhalten, wie z. B. Kinder, können zur Simulation einer Expirationsaufnahme, Aufnahmen in Seitenlage, mit Lage auf der betroffenen Seite durchgeführt werden. Durch die Schwerkraft wird die Atemexkursion der betroffenen unten liegenden Seite eingeschränkt und die Luft entweicht (Choi, Choi et al. 2002, Grosse 2005). In der Regel werden die Untersuchungen in Rückenlage durchgeführt. Um zwischen einer basalen Minderbelüftung einer sogenannten basalen Dichte, bzw. subpleuralen Linie oder einer echten Pathologie zu unterscheiden, ist es notwendig, eine Untersuchung in Bauchlage durchzuführen. Außerdem können in manchen Fällen dorsal gelegene Veränderungen in Bauchlage besser dargestellt werden (Webb 2001).

Auch in unserem Krankengut wurden 6 Patienten mit Cystischer Fibrose zusätzlich in Expiration untersucht. Routinemäßige Untersuchungen aller Patienten in In- und Expiration würde eine unnötige und vermeidbare Strahlenbelastung bedeuten. Im Untersuchungszeitraum gab es auch eine Untersuchung in Rechts- und Linksseitenlage. In unserem Krankengut wurden keine Untersuchungen in Bauchlage durchgeführt.

Wie die Spiral-CTs werden, aus den weiter oben bereits erläuterten Gründen, auch die HRCTs normalerweise in Atemstillstand nach tiefer Inspiration durchgeführt. Ambrosino vertritt allerdings die Meinung, man würde in HRCT-Technik unter Verwendung von 40-80mA auch ohne Luft-Anhaltetechnik ausreichend gut beurteilbare Ergebnisse bekommen (Ambrosino, Genieser et al. 1994). Garcia-Pena kommt in ihrer Arbeit zu dem Schluß, dass man mit den neuen, schnelleren CT-Scannern vielen Kindern die Narkose ersparen kann (Garcia-Pena and Lucaya 2004). Bei dieser Technik kommt der Unterschied zwischen normalen Strukturen und pathologischem Bindegewebe und zwischen normal belüftetem Lungenparenchym und Atelektasen wesentlich deutlicher zur Darstellung.

Im Dr. von Haunerschen Kinderspital wurden auch für die HRCT-Untersuchung Kinder, die zu klein oder zu krank waren um zu kooperieren, leicht sediert oder narkotisiert. Wurde von diesem Prinzip abgewichen, hatte dies unter Umständen auch bei uns eine Wiederholungsuntersuchung (2 Fälle) mit der entsprechend höheren Strahlenbelastung zur Folge. Leider musste allerdings auch bei einem narkotisierten Kind ein Teil der Untersuchung wiederholt werden, weil es nicht gelungen war eine Atempause zu erzeugen. Es ist in der Kinderradiologie eine alters- und auf das einzelne Kind bezogene Untersuchungsplanung erforderlich, um in der Praxis eine wirklich minimale Strahlendosis und ein qualitativ sehr gutes Untersuchungsergebnis zu erreichen.

Bei Patienten mit Cystischer Fibrose gehören HRCT-Untersuchungen mittlerweile zum Standard (Unsinn 2003). Das HRCT ist ein geeignetes Verfahren, um die Schwere der Erkrankung bei Cystischer Fibrose zu dokumentieren. Es ist nicht invasiv und kann ohne Kontrastmittel durchgeführt werden. Auch A.S. Brody konnte in seiner Studie über Cystische Fibrose zeigen, dass das HRCT, welches frühzeitig kleinste Veränderungen aufzeigt, und damit schnell das Einleiten einer effektiven Therapie ermöglicht

und ferner den Verlauf der Erkrankung positiv beeinflusst (Brody, Molina et al. 1999).

Auch im untersuchten Krankengut stellen Patienten mit den unterschiedlichsten interstitiellen Lungenerkrankungen die größte Gruppe dar. Zum einen werden HRCT-Untersuchungen anstatt eines Volumen-CTs durchgeführt, wenn etwa Veränderungen des Lungenparenchyms im Vordergrund stehen. Zum anderen wird das HRCT aber auch zusätzlich zu einem Volumen-CT benötigt, z.B. wenn sowohl pulmonale, als auch mediastinale Strukturen beurteilt werden müssen (Webb 2002).

Auch im untersuchten Krankengut wurden einige speziell ausgewählte Patienten zusätzlich zum Spiral-CT mittels HRCT untersucht.

Obwohl für das HRCT ein größerer Einsatz von Röhrenstrom und Röhrenspannung nötig ist, liegt auf Grund der geringen Schichtdicke der CTDI_w auf einem niedrigerem Niveau als der CTDI_{vol} bei einer Spiral-CT-Untersuchung des gesamten Thorax, bei welcher der eingesetzte Röhrenstrom an die Größe des zu untersuchenden Volumens angepasst ist. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass bei der im Dr. von Haunerschen Kinderspital eingesetzten HRCT-Technik ein vergleichsweise großer Schichtabstand verwendet wurde, sodass die Unterschiede des CTDI_w/vol deutlich höher sind, als dies bei der rein nominellen Angabe des CTDI_w für die Einzelschicht der Fall wäre. Bei individueller Planung mit geringer Anzahl an Schichten, liegt dann vor allem auch das Dosis-Längenprodukt des HRCTs unter dem des Spiral-CTs. Je größer das Untersuchungsvolumen des Spiral-CTs, desto mehr weicht das Dosislängenprodukt von dem eines HRCTs mit geringer Anzahl an Schichten ab. Es erscheint daher sinnvoll, vor allem Kontrolluntersuchungen von Patienten mit Cystischer Fibrose, die ein Großteil der zu untersuchenden Patienten darstellt, mittels HRCT mit individuell geplanten Einzelschichten zu untersuchen. Denn mit steigender Schichtanzahl, steigt auch das Dosis-Längenprodukt des HRCT und bei einer unselektiven

Untersuchung des gesamten Thorax in HRCT-Technik, würde das DLP des HRCT über dem des Spiral-CT liegen.

Die Rolle des MRT in der Diagnostik pathologischer Lungenbefunde ist vor allem in der Beurteilung der Lungenperfusion, bei Atelektasenbildung und in der Bewertung einer pulmonalen Hypertonie vielversprechend. Gerade diese Befunde können in der CT-Diagnostik nur teilweise abgebildet werden (Puderbach and Kauczor 2008).

6.2.3 Analyse der Bildqualität beim HRCT

Laut Brody ist es nicht in erster Linie entscheidend, unterschiedliche CT-Scanner hinsichtlich der Dosis für eine bestimmte Untersuchung bei einer bestimmten Einstellung zu vergleichen, sondern hinsichtlich der Dosis für die Erzielung einer bestimmten Bildqualität. Bildqualität setzt sich in seinen Augen aus mehreren Komponenten zusammen; aus dem Rauschen, Artefakten, Hochkontrastauflösung, Diskrimination von Strukturen im Niedrigkontrastbereich und Schärfe. Für entscheidend hält er jedoch nur diejenigen Komponenten, die eine Pathologie vortäuschen (Brody 2002).

Zur optimalen Diagnostik zählt nicht nur die ausgereifte Scan-Technik, sondern auch ein spezieller Rekonstruktionsalgorithmus. Dieser ist beim HRCT ein kantenbetonter Algorithmus. Innerhalb des HRCT-Algorithmus wurde der Filter mit der stärksten Kantenbetonung verwendet um die höchste räumliche Auflösung zu erreichen. Darüber hinaus spielt die Fensterung eine entscheidende Rolle um die Feinstruktur der Lunge realitätsnah darzustellen. Das sogenannte „Fenster“ definiert sich durch seine Weite und seine Lage. Erstere bestimmt den Bildkontrast, Letztere die Helligkeit. Ein engeres Fenster führt zur Kontrastanhebung und verbesserten Darstellung kontrastarmer Strukturen, ein weiteres Fenster zu einer Kontrastreduktion und verbesserten Darstellung von Strukturen mit stark verschiedenen CT-Werten, wie z.B. Knochen oder Lungenparenchym. Durch Wahl einer niedrigen

Fensterlage wird das Bild heller und Strukturen mit geringer Dichte wie zum Beispiel Lungenparenchym werden besser sichtbar. Bei der Bildrekonstruktion bestimmt der Faltungskern das Verhältnis von Ortsauflösung zu Bildrauschen. Eine hohe Kontrastauflösung ist für die Detektion von Läsionen in parenchymatösen Organen wichtig, eine hohe Ortsauflösung dagegen für die Darstellung feinsten morphologischer Veränderungen in der Lunge (Prokop 2007). Ein high-resolution Algorithmus reduziert Unschärfen und steigert die räumliche Auflösung. Kuhn schlägt sowohl einen high-resolution-Algorithmus als auch ein Weichteilfenster vor (Kuhn and Brody 2002). Es sollte die größte zur Verfügung stehende Matrix, z.B. 512^2 gewählt werden. Marchac verwendet in seiner Studie über pädiatrische Asthmapatienten zur Beurteilung der Bronchialeinheiten auf 5 verschiedenen Ebenen ebenfalls eine 512×512 Matrix, Lungenfenster mit einer Fensterlage von -600 sowie einer Fensterbreite von 1600 HU (Marchac, Emond et al. 2002). Während Jensen in seiner Asthmastudie eine Fensterlage von -700 mit einer Fensterweite von $1500-1750$ HU verwendet (Jensen, Lynch et al. 2002). Bhalla wählte für seine Scoring-Untersuchung von Patienten mit Cystischer Fibrose einem Fenster von $+35$ mit einer Weite von 500 HU für das Mediastinum und -700 mit einer Weite von 2000 HU zur Beurteilung des Lungenparenchyms (Bhalla, Turcios et al. 1991). Wenn zur Bildbeurteilung das falsche Fenster, oder nur ein Standard-Lungenfenster (FB 1500 , FL -500) gewählt wird, können nicht alle pathologischen Strukturen sicher erkannt werden. Andererseits sollte man, um die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Untersuchungen gewährleisten zu können, immer ein sogenanntes Standardfenster anwenden, sowie je nach Fragestellung engere Fenster zur Lungenbeurteilung verwenden. Bildqualität setzt sich aus einer komplexen Interaktion unterschiedlicher Parameter (Rekonstruktionsalgorithmus, Bildmatrix, Fensterung etc.) zusammen (Frush 2002).

Das wahrnehmbare Bildrauschen wird halbiert, wenn die Fensterbreite verdoppelt wird. Bei einem sehr breiten Fenster (Lunge, Knochen) ist das Bildpunktrauschen weniger auffällig als bei einem engen Fenster. Da bei Säuglingslungen der Anteil des Interstitiums am Lungenvolumen höher ist, als bei größeren Kindern oder Jugendlichen, muss die Fensterbreite hier angepasst werden (Honnef, Wildberger et al. 2004). Eine enge Fensterwahl empfiehlt sich bei älteren Kindern und Erwachsenen lediglich zur Diagnostik emphysematöser Veränderungen (Prokop 2007).

Die Fenstereinstellung beeinflusst die Beurteilung von Bronchialdurchmessern, z.B. erhöhen enge Fensterbreiten die Dicke der Bronchialwände bei gleichzeitiger Reduktion der abgebildeten Bronchiallumina (Bankier 1996, Grosse 2005).

Weite Fenster reduzieren den Kontrast der parenchymatösen Strukturen in der Lungenperipherie und lassen bindegewebigen Strukturen des Lungeninterstitiums zarter erscheinen. Andererseits ermöglichen sie eine genauere Differenzierung bei flächenhafter Verschattung und verdeutlichen die Beziehung peripherer parenchymatöser Strukturen zur viszeralen Pleura.

Fensterweiten unter 1000HU sind somit zur detaillierten Lungenbetrachtung besser geeignet, weil sie den Kontrast übermäßig verstärken und Dichteanhebungen im Lungeninterstitium sowie in den peripheren Alveolarräumen (Milchglasmuster) prominenter erscheinen lassen. Niedrige Fenstereinstellungen mit geringer Weite können auch zur Darstellung eines Lungenemphysems bzw. zur Darstellung eines Mosaikmusters nützlich sein (Webb 2002). Zur Beurteilung des Mediastinums, der Lungenhili und der Pleura ist das Weichteilfenster am besten geeignet.

Zur Bildbetrachtung wählte ich die größtmögliche zur Verfügung stehende Darstellungsform. Eine Einbildteilung, 512x512 er Matrix und den high-resolution Modus. Auch in der vorliegenden Untersuchung wurden die Lungen

von Kindern bis zum 14. Lebensjahr in einem engeren Fenster (FB 1250, FL-450) betrachtet, als die der älteren Jugendlichen. Die Herzbewegung und die Pulsation des Aortenbogens hat eine sehr große Auswirkung auf das angrenzende Lungenparenchym. Dabei sind vor allem die Lingula und die ventralen Abschnitte des linken Unterlappens betroffen. Geringer ist der Einfluss der Pulsation im Bereich des Aortenbogens auf den angrenzenden linken Oberlappen. Der am wenigsten beeinträchtigte Anteil der Lunge ist der rechte Oberlappen.

Obwohl gerade bei den unter 7-jährigen Kindern ein hoher Anteil an Untersuchungen zu finden war, bei denen die beurteilten Strukturen unscharf bzw. sogar als Doppelkontur abgebildet waren, waren trotz dieser Hindernisse alle Untersuchungen zur Diagnosestellung ausreichend. Qualitäts limitierender Faktor war zum einen die Atembewegung der meist schwerstkranken Kinder. Durch eine noch strengere Indikationsstellung zur Sedierung, bzw. Narkose, ließe sich dieser Punkt sicher weiter verbessern. Unter dem Gesichtspunkt, dass aber auch eine Narkose für ein Kind ein belastendes Ereignis ist, und dass auch die qualitativ schlechteren Untersuchungen zur Diagnosefindung ausreichen, wird es immer ein Abwägen bleiben. Der zweite wohl noch schwerwiegenderer Faktor, der einen großen Einfluß auf die Qualität der Untersuchung hat, ist das Herz und die Aorta. Die Pulsationsbewegungen des verhältnismäßig großen Herzen spielt im kleinen Thorax eines Kindes oder gar Säuglinges eine noch größere Rolle, als beim Erwachsenen, ebenso die Aortenpulsation. So ließ sich auch in Untersuchungen ohne Atembewegung eine deutliche vom Herzen verursachte Bewegungsunschärfe nachweisen. Je ausgeprägter sich der fibrotische Parenchymbau zeigte, desto weniger anfällig war das dann steifere Lungengewebe gegenüber den Bewegungseinflüssen des Herzens.

Sowohl die Unschärfe auf Grund der Atembewegung, als auch diejenige auf Grund der Herzbewegung, kann durch den Einsatz schnellere Scanner verringert aber nicht ganz ausgeschaltet werden. Minimieren ließe sich die Bewegungsunschärfe nur durch eine EKG getriggerte Untersuchung. Dies würde aber die Dosis sehr stark erhöhen und bleibt nur dem CT des Herzens vorbehalten.

6.3 Schlussfolgerung

Atembewegung, Lungenvolumen und Scan-Technik haben einen Einfluss auf die Bildqualität eines Spiral-CT des Thorax und eines HRCT der Lunge. Die Wahl der Einstellparameter durch den Anwender bestimmt die Dosis, aber zu einem wesentlich geringeren Teil die Bildqualität. Die Lunge als ideales Hochkontrastorgan lässt eine deutliche Dosisreduktion zu, was in der CT-Diagnostik des kindlichen Thorax unbedingt berücksichtigt werden muß.

Es widerspricht dem ALARA-Prinzip, Kinder mit den gleichen Scanparametern zu untersuchen wie Erwachsene (Slovis 2002). Auf Grund der geringeren Körperdurchmesser und der geringeren Absorption, bekämen die in der Tiefe liegenden Organe mehr Dosis ab, als bei einem Erwachsenen. Der kleine Körper wäre einer wesentlich höheren Belastung ausgesetzt als der eines Erwachsenen. In jedem Fall muss die Thorax-CT-Untersuchung eines Kindes individuell geplant und den speziellen Gegebenheiten im Einzelfall angepasst werden, beginnend mit der strengen Indikationsstellung, über die individuelle Planung und Durchführung der Untersuchung, bis hin zu der Entscheidung, ob eine Narkose oder Sedierung nötig ist, die Bewegungsartefakte ausschaltet und damit strahlenbelastende Wiederholungs-Untersuchungen vermeidet. Ob mit den in der Radiologischen Abteilung des Dr. v. Haunerschen Kinderspitals eingesetzte Röhrenstromanpassung schon die untere Grenze erreicht ist, und

ob durch Reduzierung der Röhrenspannung weiter Dosis eingespart werden kann, müsste mittels weiterer Studien weiter untersucht werden. Bei Kontrolluntersuchungen, bei denen es unter Umständen ausreicht, eine begrenzte Anzahl von Schichten zu scannen, um das Ausmaß der Veränderung erkennen zu können und es eventuell Sinn macht, die am schwersten betroffenen Bereiche am meisten zu erfassen, bietet das HRCT eine geeignete Methode, mit der man bei individueller Planung und Limitierung der Anzahl der Schichten Dosis sparen kann. Da beim HRCT sowohl der CTDI_w/CTDI_{vol}, als auch, auf Grund der wesentlich geringeren Anzahl an Schichten, das DLP niedriger ist, als beim Spiral-CT ist hier eine Einsparung der Gesamtdosis möglich. Limitiert wird die Abbildungsqualität in erster Linie durch Bewegungsartefakte. Die Bewegungsartefakte sind zum einen durch die Atembewegung der oft schwerst kranker Kinder bedingt, die einerseits auf Grund ihres geringen Alters, andererseits auf Grund der Schwere ihrer Erkrankung nicht in der Lage sind, den Atemrhythmus einzuhalten, den eine HRCT-Untersuchung erfordert. Ein zusätzlicher Faktor sind die durch die Herzbewegung verursachten Pulsationsartefakte sowie die Aortenpulsation. Bei den schnelleren Multislice-CT-Scanner werden sich vor allem Atembewegungen weniger stark auf die Bildqualität auswirken. Der Einfluß der Herzbewegung ließe sich in erster Linie durch eine EKG-getriggerte Untersuchung minimieren. Letztendlich konnte gezeigt werden, dass auch mit Hilfe der bewegungsunscharfen Untersuchungen eine Diagnosestellung häufig möglich war, wenn auch nicht alle Einzelheiten klar dargestellt werden konnten. Bei allem Für und Wider muss immer auch bedacht werden, dass auch eine Narkose, ein für ein Kind belastendes Ereignis ist.

7. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, in der radiologischen Abteilung einer großen Universitätskinderklinik den Stand der Thorax-CT-Untersuchungen zu erheben und die Bildqualität von HRCT-Untersuchungen der Lunge zu beurteilen.

Alle in den Jahren 2003 und 2004 durchgeführten Untersuchungen wurden analysiert. Einzelne Scanparameter wurden aufgearbeitet, das Patientengut den unterschiedlichen CT-Untersuchungstypen zugeordnet. Die Spiral-CT-Untersuchungen u. HRCT-Untersuchungen wurden hinsichtlich CTDI und DLP verglichen. Im 2. Teil der Untersuchung wurde die Bildqualität der HRCT-Untersuchungen analysiert. Insgesamt wurden 533 Thorax-CT-Untersuchungen ausgewertet. 379 davon waren Spiral-CTs, 66 HRCTs. Die Altersbreite erstreckte sich von 2 Tagen bis 38 Jahren, 60% der Patienten umfassten Altersbereiche von 1-5 Jahren, bzw von 10-15 Jahren. In allen untersuchten Altersklassen stellten die Spiral-CT-Untersuchen die größte Gruppe dar, während die HRCT-Untersuchungen überwiegend in der Gruppe der 5-10-Jährigen, bzw. der über 15-Jährigen durchgeführt wurden. In der Regel wurden die Spiral-CT-Untersuchungen mit Kontrastmittel durchgeführt. Abgesehen von einer Patientin, wurden alle Spiral-CTs in Rückenlage und tiefer Inspiration durchgeführt. Mit Erreichen des 7. Lebensjahres, ab dem die meisten Kinder in der Lage sind zu kooperieren, sinkt die Notwendigkeit für Narkosen ab. Je kleiner die Kinder und damit auch das zu untersuchende Volumen, desto geringer auch die Schichtkollimation, um die kleinen Strukturen optimal zu erfassen. Lungenmetastasen, Lymphome und schwere entzündliche Erkrankung von Lunge, Bronchien und Pleura stellen mit Abstand die Hauptindikationen für das Spiral-CT pädiatrischer Patienten dar. Die Röhrenspannung betrug bei allen Spiral-CTs 120kV. Mit steigendem Alter und damit steigendem Untersuchungsvolumen steigt der eingesetzte Röhrenstrom. Parallel zum Röhrenstrom steigt der CTDI. Die Hauptindikationen

für das HRCT stellten interstitielle Lungenerkrankungen, hauptsächlich mit der Frage nach Bronchiektasen und Verlaufskontrollen bei Patienten mit Cystischer Fibrose dar. In besonderen Einzelfällen wurden HRCT-Untersuchungen zusätzlich zum Spiral-CT durchgeführt. Die Röhrenspannung betrug bei allen HRCT-Untersuchungen 130kV und bis auf Einzelfälle betrug der Röhrenstrom 100mA. Abgesehen von wenigen Ausnahmen mit einer Scanzeit von 0,65 Sekunden betrug die Scanzeit 1 Sekunde. Bei 10 meist volljährigen Patienten wurden mehr als 10 Schichten gescannt. In einem Einzelfall waren es nur 3, aber im Normalfall waren es 5-8 Einzelschichten je nach Thoraxgröße. Lediglich 6 der 66 HRCT-Untersuchungen wurden in Sedierung oder Narkose durchgeführt. Alle HRCTs wurden ohne Kontrastmittel durchgeführt. 6 Patienten wurden in In- und Expiration untersucht, ein Patient in Rechts- und Linksseitenlage. Die ermittelten CTDI-Werte der einzelnen Altersklassen lagen ebenso wie das DLP niedriger als beim Spiral-CT. Bei der Analyse der Bildqualität der HRCT-Untersuchungen zeigten sich Bewegungsartefakte auf Grund der Herz- und Aortenpulsation vor allem links auf Herzhöhe ventral, gefolgt von links auf Herzhöhe dorsal. Die Abbildungsqualität der rechten Lunge war insgesamt besser. Die meisten Störungen waren aber auch hier auf Herzhöhe ventral zu erkennen und in zweiter Linie in den posterobasalen Anteilen der Lunge.

Bei Kontrolluntersuchungen mittels HRCT, bei gezielt geplanter Anzahl und Lage der Schichten und unter optimalen Untersuchungsbedingungen (einem kooperierenden, bzw. sedierten oder gar narkotisierten Kind) wird weniger Gesamtdosis appliziert. Die Kontrolluntersuchungen mittels HRCT sind demnach weniger strahlenbelastend als das Spiral-CT. Limitierende Faktoren für die Bildqualität sind zum einen die Atembewegung des nicht kooperationsfähigen Kind, zum anderen die pulsierende Bewegung des

Herzens und der großen Gefäße, die im kleinen Thorax eines Kindes eine noch größere Rolle spielt als beim Erwachsenen.

8. Literaturverzeichnis

Ambrosino, M. M., N. B. Genieser, et al. (1994). "Feasibility of high-resolution, low-dose chest CT in evaluating the pediatric chest." Pediatr Radiol 24(1): 6-10.

Bankier, A. A. F., D.; Mallek, R.; Windisch, A.; Winkelbauer, F. W.; Kontrus, M.; Havelec, L.; Herold C. J.; Hübsch, P. (1996). "Bronchial Wall Thickness: Appropriate Window Settings for Thin- Section CT and Radiologic- Anatomic Correlation. ." Radiol 199(3): 831-836.

Bhalla, M., N. Turcios, et al. (1991). "Cystic fibrosis: scoring system with thin-section CT." Radiology 179(3): 783-788.

Brenner, D. J. (2001). "Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT." AJR 176(2): 289-296.

Brenner, D. J. (2002). "Estimating cancer risks from pediatric CT: going from the qualitative to the quantitative." Pediatr. Radiol 32(4): 228-231.

Brody, A. S. (2002). "CT scanner design and patient radiation exposure." Pediatr Radiol 32(4): 268-271.

Brody, A. S., P. L. Molina, et al. (1999). "High-resolution computed tomography of the chest in children with cystic fibrosis: support for use as an outcome surrogate." Pediatr Radiol 29(10): 731-735.

Bundesärztekammer, V. d. (2008). "Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in der Röntgendiagnostik bzw. Computertomographie." Deutsches Ärzteblatt / Ärztliche Mitteilungen 105(10): A-536/B-480/C-468.

Choi, S. J., B. K. Choi, et al. (2002). "Lateral decubitus HRCT: a simple technique to replace expiratory CT in children with air trapping." Pediatr Radiol 32(3): 179-82.

Copley, S. J., M. Coren, et al. (2000). "Diagnostic accuracy of thin-section CT and chest radiography of pediatric interstitial lung disease." AJR Am J Roentgenol 174(2): 549-54.

Coppenrath, E., U. G. Mueller-Lisse, et al. (2004). "[Low-dose spiral CT of the lung in the follow-up of non-malignant lung disease]." RÖFO 176(4): 522-8.

Fearon, T. (2002). "CT dose parameters and their limitations." Pediatr Radiol 32(4): 246-249.

Frush, D. P. (2002). "Pediatric CT: practical approach to diminish the radiation dose." Pediatr. Radiol 32(10): 714-717.

Frush, D. P. (2004). "Review of Radiation Issues for Computed Tomographie." Seminars in Ultrasound, CT, MRI 25(1): 17-24.

Garcia-Pena, P. and J. Lucaya (2004). "HRCT in children: technique and indications." Eur Radiol 14(L13-L30).

Greess, H. (2004). "Dosisautomatik bei der Mehrzeilenspiral-CT: Phantommessungen und klinische Ergebnisse." RÖFO 176(6): 862-869.

Grosse, C. (2005). "CT-Morphologie und -Diagnostik von Atemwegserkrankungen." Radiologie up2date 5: 361-385.

Hall, E. J. (2002). "Introduction to session I." Pediatr. Radiol 32(4): 225-227.

Honnef, D., J. E. Wildberger, et al. (2004). "[Multislice spiral CT (MSCT) in pediatric radiology: dose reduction for chest and abdomen examinations]." Rofo 176(7): 1021-30.

Huda, W. (2002). "Effective doses to adult and pediatric patients." Pediatr. Radiol 32: (4) 272-279.

ICRP (1990). "International Commission on Radiation protection, Publication 60, Oxford." Pergamon Press, 1991.

ICRP (1977) "International Commission on Radiation protection." JAICRP 1(3): 1-76.

Jensen, S. P., D. A. Lynch, et al. (2002). "High-resolution CT features of severe asthma and bronchiolitis obliterans." Clin Radiol 57(12): 1078-85.

Jong, d. P. A. (2006). "Computed tomography dose and variability of airway dimension measurements: how low can we go?" Pediatr Radiol 36(10): 1043-1047.

Jong, d. P. A. (2006). "Dose reduction for CT in children with cystic fibrosis: is it feasible to reduce the number of images per scan." Pediatr Radiol 36(1): 50-53.

Kleinerman, R. A. (2006). "Cancer risks following diagnostic and therapeutic radiation exposure in children." Pediatr Radiol **36** (Suppl 2): 121-125.

Kuhn, J. P. and A. S. Brody (2002). "High-resolution CT of pediatric lung disease." Radiol Clin North Am **40**(1): 89-110.

Long, F. R. (2005). "Comparison of quiet breathing and controlled ventilation in the high-resolution CT assessment of airway disease in infants with cystic fibrosis." Pediatr Radiol **35**(11): 1075-1080.

Lucaya, J., J. Piqueras, et al. (2000). "Low-dose high-resolution CT of the chest in children and young adults: dose, cooperation, artifact incidence, and image quality." AJR Am J Roentgenol **175**(4): 985-992.

Marchac, V., S. Emond, et al. (2002). "Thoracic CT in pediatric patients with difficult-to-treat asthma." AJR Am J Roentgenol **179**(5): 1245-1252.

Nagel, H. (2002) 3. Auflage. "Strahlenexposition der Computertomographie." CJB Publications, Hamburg.

Owens, C. (2004). "Radiology of diffuse interstitial pulmonary disease in children." Eur Radiol **14** Suppl 4: L2-12.

Paterson, A., D. P. Frush, et al. (2001). "Helical CT of the body: are settings adjusted for pediatric patients?" AJR Am J Roentgenol **176**(2): 297-301.

Prokop, M., Galanski, M., Schaefer-Prokop, C., Molen, A.J. van der (2007) 2. Auflage. "Ganzkörper-Computertomographie." Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

Puderbach, M. and H.-U. Kauczor (2008). "Can lung MR can replace lung CT?" Pediatr. Radiol **38**: Suppl. 3:439-451.

Rogalla, P., B. Stover, et al. (1999). "Low-dose spiral CT: applicability to paediatric chest imaging." Pediatr Radiol **29**(8): 565-569.

Ron, E. (2002). "Lets not relive the past: a review of cancer risk after diagnostic or therapeutic irradiation." Pediatr. Radiol **32**(10): 739-744.

Röntgen-Verordnung (2003). "§23 Neufassung v. 30.04.2003." BGBL S. 604.

Schneider, K., B. Kammer, et al. (2003). "Dosisreduktion in der Computertomographie (CT) durch patientenadaptierte Dosis-Regelung." Radiologe **43**(10): 878-889.

Sibtain (2004). "HRCT in small and large airways diseases." Eur Radiol 14: Suppl 4 L31-L43.

Siegel, M. J., S. Bhalla, et al. (2001). "Post-lung transplantation bronchiolitis obliterans syndrome: usefulness of expiratory thin-section CT for diagnosis." Radiology 220(2): 455-462.

Siegel, M. J., S. S. Sagel, et al. (1982). "The value of computed tomography in the diagnosis and management of pediatric mediastinal abnormalities." Radiology 142(1): 149-155.

Slovis, T. L. (2002). "The ALARA (as low as reasonably achievable) concept in pediatric CT intelligent dose reduction. Multidisciplinary conference organized by the Society of Pediatric Radiology. August 18-19, 2001." Pediatr Radiol 32(4): 219-220.

Stephan, G., Schneider, K., Panzer, W., Walsh, L., Oestereicher, U. (2007). "Enhanced yield of chromosome aberrations after CT examinations in paediatric patients." Intl J Radiat Biol. 83(5): 281-287

Suess, C. and X. Chen (2002). "Dose optimization in pediatric CT: current technology and future innovations." Pediatr Radiol 32: 729-734.

Thomas, K. E., C. M. Owens, et al. (2000). "Efficacy of chest CT in a pediatric ICU: a prospective study." Chest 117(6): 1697-1705.

Unsinn, K. M. (2003). "Hochauflösende Computertomographie der Lunge bei Kindern und Jugendlichen." Radiologe 43(12): 1069-1074.

Webb, R. W. M. D. (2008). "High-Resolution CT of the Lung." Lippincott Williams and Wilkins. Philadelphia

Webb, R. W. M. D. (2001). "High-Resolution CT of the Lung." Lippincott Williams and Wilkins. Philadelphia

Wagner, L. K. (2002). "Practical dilemmas in implementing benefit-risk protocols." Pediatr Radiol 32(4): 238-241.

Willis, C. E. (2002). "Computed radiography: a higher dose?" Pediatr Radiol 32(10): 745-750.

9. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Schneider herzlich für die Überlassung des Themas, die Beratung während des Entstehens und die kritische Durchsicht und Korrektur dieser Arbeit danken. Besonders dankbar bin ich Herrn Kohn für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung sowie der Anfertigung der Graphiken. Weiterer Dank gilt Herrn Dr. Wallner für die Unterstützung in der Datenerhebung und die immer kritische Diskussion, die die Ausarbeitung begleitet hat.

Darüber hinaus geht ein großes Dankeschön an die MTAs in der betreuende Abteilung, die mir bei der Komplementierung des Datenmaterials hilfreich zur Seite standen.

Zum Abschluß möchte ich ganz besonders allen Freunden und meiner Familie, insbesondere meinem Vater danken, dass sie mich während der Entstehung dieser Arbeit so fabelhaft unterstützt haben.

10. Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Lochbühler
Vornamen	Nina Dorothee
Geburtsdatum	12.04.1975
Geburtsort	Jugendheim/Bergstrasse
Nationalität	deutsch
Familienstatus	ledig

Familiäre Daten

Eltern	Prof. Dr. med. Helmut Lochbühler, Kinderchirurg Dr. med. Hannelore Lochbühler, Anästhesistin
Geschwister	Kirsten Lochbühler

Schulbildung

1981 - 1990	Grundschule und Gymnasium Mannheim
1990 - 1994	Max-Planck-Gymnasium München Abschluss: Abitur

Studium

1994 - 2000	Studium der Humanmedizin an der Technischen Universität München 3. Staatsexamen Okt. 2001
-------------	---

Praktisches Jahr

1. Tertial	Prof. Dr. U. Stauffer Chirurgische Klinik des Kinderspitals der Universität Zürich
------------	--

2. Tertial

Prof. Dr. J. G. Wechsler

Krankenhaus der Barmherzigen Brüder München,
Innere Abteilung

3. Tertial

Prof. Dr. D. Jeschke Institut für Präventive und
Rehabilitative Sportmedizin TUM

AIP

April 2002 - Sept. 2004 Praxis für
Physikalische und Rehabilitative Medizin

Weiterbildung im Fach Radiologie

15.02.2005 – 30.06.2005

Prof. Dr. K. Schneider

Abt. für Pädiatrische Radiologie

Dr. v. Hauner'sches Kinderspital der LMU

(Drittmittelstelle befristet)

seit 01.07.2005

Dr. med. G. Luttke

Radiologie München im Rotkreuzklinikum

(Assistenzärztin)