Quantifizierung von Lungenarterienvolumina und perivaskulären Fibrosierungen bei Patienten mit fibrosierenden Lungengerüstveränderungen

Helmut König[1], Jens J. Froelich[1], Lennard Knaak[2], Wolf Spindler[3], Stefan Krass[3], Heinz-Otto Peitgen[3], Klaus J. Klose[1]

[1]Philipps Universität Marburg, Abteilung für Strahlendiagnostik
Baldingerstraße, 35033 Marburg
[2]Philipps Universität Marburg, Zentrum für Innere Medizin
Baldingerstraße, 35033 Marburg
[3]MeVis, Centrum für Medizinische Diagnosesysteme und Visualisierung GmbH
Universitätsallee 29, 28359 Bremen
Email: koenig1@mailer.uni-marburg..de

Zusammenfassung. Prospektiv wurden je fünf Patienten mit cardiopulmonalem Normalbefund und Lungenfibrose mittels Thorax Spiral-Computertomographie (CT) und Rechtsherzkatheteruntersuchung zur Abklärung eines obstruktiven Schlafapnoesyndroms bzw. pulmonaler Hypertonie untersucht. In den Spiral-CT-Volumendatensätzen wurden seitengetrennt die Lungen segmentiert. Anschließend wurde der pulmonalarterielle Gefäßbaum mit einem Gefäßverfolgungsalgorithmus rekonstruiert. Das auf Body Mass Index (BMI) normierte Lungenvolumen ist bei Lungenfibrosepatienten verringert ($p<0,01$). Das durch den Gefäßverfolgungsalgorithmus erhaltene Volumen, setzt sich bei Lungenfibrosen aus den Volumina der Pulmonalarterien, perivaskulärem Ödem und fibrotischen Einlagerungen zusammen und nimmt gegenüber Normalbefunden zu ($p<0,01$). Die Korrelation zwischen pulmonalarteriellem Mitteldruck und den auf BMI normierten Volumina beträgt: Pearson $r=0,73$, $p=0,02$.

Schlüsselwörter: Spiral-CT, Segmentierung, Pulmonalarterielles Gefäßvolumen, Lungenvolumen

1Einleitung

Die Studie sollte zeigen, ob die Thorax Spiral-Computertomographie für die Beantwortung folgender Fragen geeignet ist:

0 Korrelieren volumetrische Daten mit funktionellen cardiopulmonalen Parametern?
1 Läßt sich das Ausmaß von Lungenfibrosen quantifizieren?

1.1Beurteilung des pulmonalarteriellen Drucks

Standarduntersuchungsverfahren und invasive Methode zur Bestimmung des pulmonalarteriellen Drucks ist die Rechtsherzkatheteruntersuchung, bei der ein Katheter über die Vena cava superior, Herzvorhof und -kammer in die Lungenarterie vorgeschoben wird. Lungenfibrosen führen als interstitielle Lungenerkrankung häufig zu

pulmonaler Hypertonie. Untersucht wurde deshalb, ob der pulmonalarterielle Druck als funktioneller Parameter durch ein nichtinvasives Untersuchungsverfahren geschätzt werden kann.

Bisher gebräuchliche Kriterien zur Beurteilung einer pulmonalarteriellen Druckerhöhung sind u.a.:

0 Erweiterung des Ramus descendens der rechten Arteria pulmonalis im Thoraxröntgenbild. Hier ist nur eine grobe Schätzung des Drucks möglich. Die Beurteilbarkeit der Gefäßweite ist durch projektionsbedingte Überlagerungen der Zielstruktur limitiert.

1 Computertomographische Messung der Weite des Truncus pulmonalis und der Pulmonalarterienhauptstämme. Im Schnittbild ist eine überlagerungsfreie Darstellung der genannten Gefäße möglich. Von den arteriellen Gefäßweiten kann auf die Höhe des Lungengefäßdruckes geschlossen werden [1,2,3]. Darstellung und quantitative Auswertung des Gefäßbaums und parenchymatöser Veränderungen sind mit den beschriebenen Methoden nicht möglich.

1.2Gefäßanatomie der Lunge

Aus der rechten Herzkammer geht der Truncus pulmonalis als gemeinsamer Gefäßstamm der rechten und linken Lungenarterie hervor. Die Lungenarterien verzweigen in Segment- und Subsegmentbronchien begleitende Äste (Abb. 1) und enden in kapillären Netzen, die in den Alveolarwänden liegen. Lappenbronchien führen bei der linken Lunge zu Ober- und Unterlappen, rechts zusätzlich zum Mittellappen. Die Lungenlappen sind durch Fissuren getrennt, in deren Bereich gefäßarme Zonen liegen.

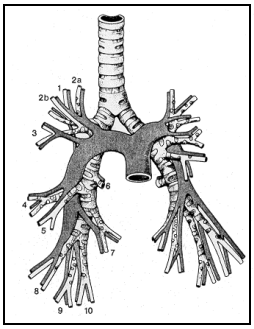

Abb. 1 Segmentbronchien und begleitende Arterien (nach von Hayek [4])

Lungenvenen bringen das oxygenierte Blut zum linken Vorhof des Herzens. Sie verlaufen unabhängig von zentral gelegenen Bronchien sowie den begleitenden Lungenarterienästen zwischen den bronchopulmonalen Segmenten und schließen sich den Hauptstämmen der Bronchien nur zentral am Lungenhilus an. Im Gegensatz zu den beschriebenen Pulmonalgefäßen (Vasa publica), die am Gasaustausch beteiligt sind, versorgen Bronchialgefäße (Vasa privata) die bindegewebigen Anteile der Lunge.

2Material und Methode

Je 5 Normalbefunde und computertomographisch gesicherte Lungenfibrosen wurden untersucht. 3 von 5 Patienten der Lungenfibrosegruppe wiesen eine Erhöhung des pulmonalarteriellen Mitteldrucks von mindestens 20 mmHg auf (oberer Normwert der Rechtsherzkatheteruntersuchung: 18 mmHg).

2.1Untersuchungsverfahren

Die Spiral-CT Untersuchung des Thorax wurde an einem Siemens Somatom Plus 4 Computertomographen mit folgenden Untersuchungsparametern durchgeführt: Röhrenspannung 140 kV, Stromstärke-Zeitprodukt 210 mAs, Rotationszeit des Röntgenstrahlenfächers 0,75 s, Inkrement 2mm. Intravenös wurden 80 ml Kontrastmittel mit einer Flußgeschwindigkeit von 2,5 ml/s gegeben. Die Zahl der Schichtbilder, die aus dem Volumendatensatz rekonstruiert wurden, lag je nach Körpergröße zwischen 110 und 148 bei einer Bildmatrix von 512 x 512 Pixeln mit 12 Bit Graustufentiefe.

Rechtsherzkatheteruntersuchung und Spirometrie wurden in üblicher Weise durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war die diagnostische Klärung von Schlafapnoesyndromen bzw. pulmonalen Hypertonien. Das Studienprotokoll wurde durch die Ethikkommission des Universitätsklinikums Marburg genehmigt.

2.2Segmentieren des bronchoalveolären Volumens und Lungenarterienrekonstruktion

Entwicklung und Implementierung der verwendeten Bildverarbeitungsalgorithmen und IlabMed-Software erfolgte durch das Centrum für Medizinische Diagnosesysteme und Visualisierung GmbH (MeVis).

Zunächst wurde die rechte und linke Lunge (bronchoalveoläres Volumen) seitengetrennt mit einem einfachen Schwellwertverfahren und anschliessendem Closing segmentiert (Abb. 2 links). Die Bildmatrix wurde hierzu auf ein Viertel der Originalgröße skaliert. Mit diesem Schritt wurden für die weitere Bildverarbeitung irrelevante Umgebungsstrukturen wie mediastinale Organe und knöcherner Thorax entfernt, um ein Auslaufen bei der Rekonstruktion des pulmonalarteriellem Gefäßbaums zu verhindern und das bronchoalveoläre Volumen zu bestimmen.

Anschliessend wurde ein Saatvoxel hilusnah im Hauptstamm der Arteria pulmonalis gesetzt. Durch den verwendeten Gefäßverfolgungsalgorithmus [5,6] wird der Gefäßbaum rekonstruiert (Abb. 2 rechts). Vom Saatvoxel ausgehend, wird überprüft, ob die angrenzenden Voxel (26er-Nachbarschaft) zum Objekt gehören (Grauwertintervall von 424 bis 4096). Es entwickelt sich eine Wellenfront, deren Ausdehnungsrichtung durch Markierung und Bestimmung der Eingangsrichtung der in der Wellenfront enthaltenen Voxel festgelegt wird. Die Teilungsstellen der Wellenfront bilden die Knotenpunkte des symbolischen Baums und dienen zur Unterscheidung von Gefäßabschnitten und -ästen [6]. Durch diese Analyse können nicht zum Gefäßbaum gehörige Strukturen (z.B. Teile der Trachea) entfernt werden, die somit nicht in die Volumenberechnung eingehen.

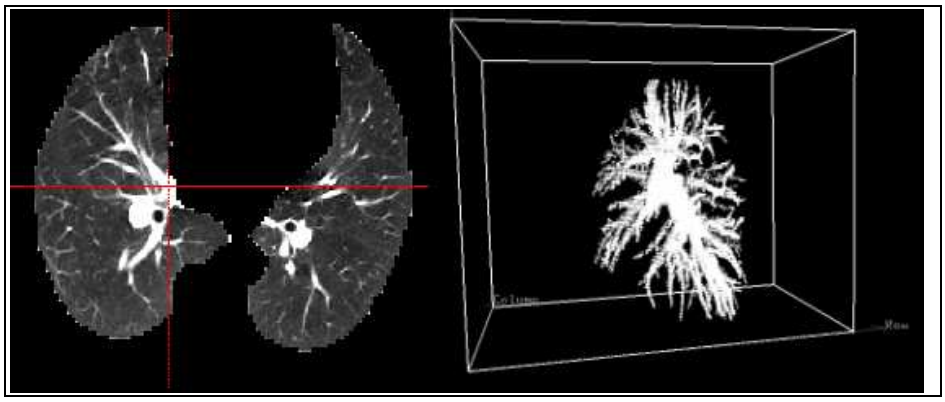

Abb. 2 Segmentieren der Lunge und Rekonstruktion des Gefäßbaums

3Erste Ergebnisse

Bei der Lungenfibrosegruppe ist gegenüber cardiopulmonalen Normalbefunden:

0 das auf Body Mass Index normierte Lungenvolumen verringert (Wilcoxon-Mann-Whitney $U=0,0$, $p<0,01$)

1 das durch den Gefäßverfolgungsalgorithmus segmentierte, auf BMI normierte Volumen, das sich aus den Volumina der Pulmonalarterien, perivaskulärem Ödem und fibrotischen Einlagerungen zusammensetzt erhöht (Wilcoxon-Mann-Whitney $U=0,0$, $p<0,01$)

2 Zwischen den Spirometriewerten Vitalkapazität (Volumen zwischen maximaler Ein- und Ausatmung) und FEV1% (prozentualer Anteil der forcierten expiratorischen Einsekundenkapazität an der Vitalkapazität) bestehen keine signifikanten Unterschiede. (Vitalkapazität: $U=9,0$ $p=0,90$, FEV1% $U=8,0$ $p=0,73$)

3 Pulmonalarterieller Mitteldruck und die unter 2 beschriebenen, auf BMI normierten Volumina korrelieren: Pearson $r=0,73$, $p=0,02$.

4Diskussion

Mit dem vorgestellten Verfahren war die Darstellung der Lungenarterien und quantitative Auswertung der beschriebenen Volumina bei allen Patienten möglich. Die computertomographische Bildacquisition kann, um atmungsbedingte Bewegungsartefakte auszuschließen, in Inspiration und Apnoe durchgeführt werden. Die Darstellung des Gefäßbaums zur morphologischen Beurteilung und quantitativen Auswertung ist in guter Qualität möglich.

Das bronchoalveoläre Volumen nimmt bei Lungenfibrosen ab. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Abnahme der totalen Lungenkapazität und Vitalkapazität bei restriktiven Lungenerkrankungen. Spirometrisch bestand jedoch kein signifikanter Unterschied der Vitalkapaziät zu Normalbefunden. Dies ist wahrscheinlich durch die

geringe Fallzahl und die relativ hohe Varianz der Vitalkapazitätswerte in der Fibrosegruppe bedingt. Die Totalkapazität der Lunge wurde nicht bestimmt.

Die Zunahme des mit dem Gefäßverfolgungsalgorithmus rekonstruierten Volumens bei perivaskulären fibrotischen Einlagerungen verspricht einen Ansatz zur Quantifizierung des Schweregrades von Lungenfibrosen und, durch die Korrelation mit der Höhe der pulmonalarteriellen Druckwerte, die nichtinvasive Schätzung des pulmonalarteriellen Drucks. Die Darstellung der Gefäße ist darüber hinaus für die Beurteilung von Gefäßveränderungen bei pulmonalen Hypertonien, Embolien und interstitiellen Lungenerkrankungen medizinisch von Interesse. Für die Differenzierung einzelner Erkrankungsfaktoren ist eine größere Fallzahl und die Aufnahme von Fällen primär arterieller Hypertonie notwendig.

5Literatur

1. Kuriyama K, Gamsu G, Stern RG, Cann CE, Herfkens RJ, Brundage BH: CT-determined pulmonary artery diameters in predicting pulmonary hypertension. Invest Radiol, 19: 16-22, 1984.
2. Moore NR, Scott JP, Flower CDR, Higenbottam TW: The relationship between pulmonary artery pressure and pulmonary artery diameter in pulmonary hypertension. Clinical Radiology, 39: 486-489, 1988.
3. Haimovici JB Ackman, Trotman-Dickenson B, Halpern EF, Dec GW, Ginns LC, Shepard JO, McLoud TC: Relationship between pulmonary artery diameter at computed tomography and pulmonary artery pressures at right-sided heart catheterization. Acad Radiol, 4:327-334, 1997.
4. von Hayek H: Die menschliche Lunge. Berlin, 2. Auflage 1970.
5. Zahlten C, Jürgens H, Evertsz CJG, Leppek R, Peitgen H-O, Klose KJ: Portal vein reconstruction based on topology. Eur J Radiol, 19: 96-100, 1995.
6. Zahlten C, Jürgens H, Peitgen H-O: Reconstruction of branching blood vessels from CT-data. In Göbel M, Müller H, Urban B (Hrsg.): Visualization in Scientific Computing. Springer Verlag, Wien, 41-52, 1995.