Segmentabhängige Bestimmung von quantitativen Funktionsparametern aus dem CT der Lunge

Dominik Böhm, Stefan Krass, Dirk Selle, Hans-Holger Jend* und Heinz-Otto Peitgen

Mevis, Centrum für Medizinische Diagnosesysteme
und Visualisierung, Bremen
*Zentrum für Radiologie, Zentralkrankenhaus Bremen-Ost, Bremen
Email: boehm@mevis.de

Zusammenfassung: Zielsetzung dieses Beitrages ist die segmentabhängige Bestimmung von quantitativen CT-Funktionsparametern zur verbesserten Abschätzung der postoperativen Lungenfunktion vor Lungenresektionen auf Grundlage der patientenindividuellen Lungensegmente. In einem ersten Schritt werden die Lungensegmente berechnet und dann in einem zweiten Schritt hierfür folgende CT-Funktionsparameter bestimmt: Mittlere Lungendichte, Emphysemindex und Fibroseindex. In einer Machbarkeitsstudie wurden die Funktionsparameter für die einzelnen Segmente und deren Schwankung berechnet.

1 Einleitung, medizinischer Hintergrund

Das Bronchialkarzinom ist die häufigste Krebstodesursache. Die Resektion von Teilen des erkrankten Lungengewebes ist die einzige Therapieform, die die Überlebenswahrscheinlichkeit deutlich verbessert und dem Patienten eine Aussicht auf Heilung bietet. Die Entfernung des betroffenen Lungenlappens (Lobektomie) gilt heute als Standard. In frühen Tumorstadien, aber auch bei stark eingeschränkter Lungenfunktion, kann die Entfernung kleinerer Bereiche, wie z. B. einzelner Segmente (Segmentektomie), indiziert sein.

Um das Operationsrisiko und die postoperativen Beeinträchtigungen für den Patienten so gering wie möglich zu halten, ist es erforderlich, die postoperative Lungenfunktion bestmöglich abzuschätzen, insbesondere dann, wenn zusätzliche kardiale Erkrankungen vorliegen. Die dazu notwendige lokale Quantifizierung der Lungenfunktion erfolgt heute in der Regel durch szintigraphische Perfusionsmessungen, die nur eine zweidimensionale Projektion der Lunge liefern und mit einer relativ hohen Strahlenbelastung verbunden sind. Da auch quantitative Parameter der Computertomographie (mittlere Lungendichte, Emphysemindex, ...) mit der Lungenfunktion korrelieren[1, 2, 3], erlaubt die Bestimmung der Lungenlappen und der Lungenlappensegmente eine lappen- und segmentabhängige Quantifizierung der Lungenfunktion. Ziel der vorgestellten Arbeit ist die segmentabhängige Bestimmung von quantitativen CT-Funktionsparametern zur verbesserten Planung von Lungenresektionen.

2 Methode

Die Algorithmen zur Approximation der Lungensegmente bestehen aus den folgenden Schritten [4] und sind in Abbildung 1 in einer Übersicht dargestellt:

1. Segmentierung des Lungenparenchyms mit einem Region-Growing-Algorithmus und anschließenden morphologischen Operationen (closing).
2. Vorverarbeitung mit kantenerhaltendem Sigma-Filter
3. Segmentierung des Bronchialbaumes mit einem schwellwertbasierten Regionenwachstumsverfahren mit automatischer Ermittlung des optimalen Schwellwertes.
4. Skelettierung des segmentierten Bronchialbaumes mit einem Thinning-Verfahren unter besonderer Berücksichtigung der Anisotropie der Voxel und Überführung in eine Graphenrepräsentation
5. Automatische Analyse des Baumes und Identifikation der Segmentbronchien
6. Approximation der Lungensegmente aus den Segmentbronchien und dem segmentierten Lungenparenchym mit Wachstumsmodellen.

Darüber hinausgehend werden in einem zweiten Schritt für die approximierten Segmente Dichtehistogramme in einem Intervall von –1024 HU bis –400 HU (Lungenparenchym) berechnet und daraus die folgenden CT-Funktionsparameter bestimmt (siehe auch Abbildung 2):

- Mittlere Lungendichte (MLD): Mittelwert des Histogramms.
- Emphysemindex: Hier definiert als Anteil der Voxel mit einer Dichte unterhalb von –860 HU
- Fibroseindex: Hier definiert als Anteil der Voxel mit einer Dichte oberhalb von –760 HU.

Die so für jedes Segment gewonnenen Funktionsparameter können in einer 2D-Darstellung als Parameterbilder in die Originaldaten eingeblendet werden. Eine 3D-Darstellung zur übersichtlichen Darstellung der räumlichen Verteilung der Ergebnisse ist ebenfalls möglich. Zur Abschätzung der postoperativen Lungenfunktion sollen die zu resezierenden Parenchymvolumina mit den quantitativen CT-Parametern gewichtet werden.

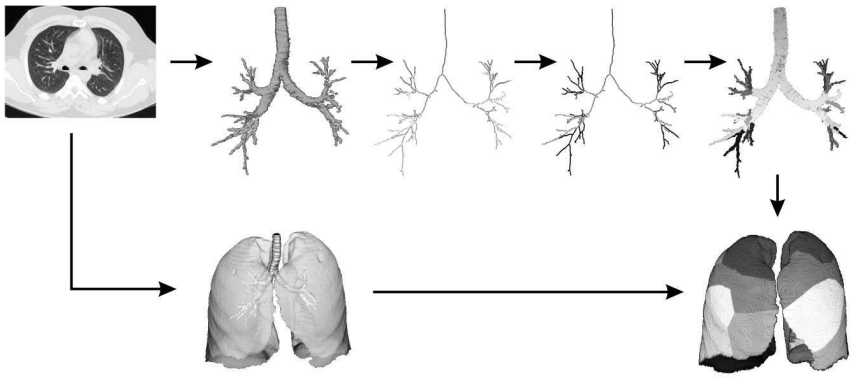

Abbildung 1: Ausgehend von den CT-Schichten wird der Bronchialbaum segmentiert, skelettiert und analysiert. Aus den identifizierten Segmentbronchien und dem segmentierten Lungenparenchym werden die Lungensegmente approximiert.

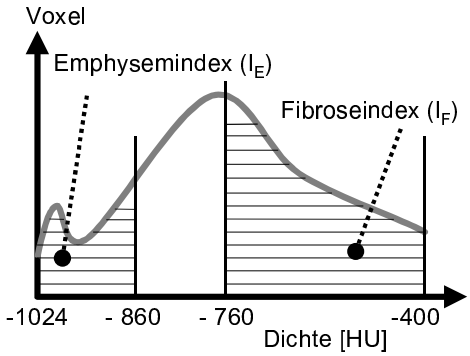

Abbildung 2: Berechnung von Emphysem- und Fibroseindex aus dem Grauwerthistogramm der Lungensegmente.

In einer Machbarkeitsstudie wurde die Methode auf einen Multislice CT Datensatz einer Patientenlunge angewandt. Die Datenakquisition erfolgte mit einem Siemens Somatom Plus 4 VZ (Schichtdicke: 1,25 mm, 512 x 512 x 300 Voxel, 0,56 mm x 0,56 mm x 1 mm Voxelgröße) am Institut für Diagnostische Radiologie der Universität Erlangen-Nürnberg. Aus dem Datensatz wurden die Segmente gemäß dem vorgestellten Verfahren approximiert und für jedes Segment die drei beschriebenen quantitativen CT-Funktionsparameter und deren Schwankung berechnet.

3 Ergebnisse

Die Segmentierung des Bronchialbaumes war mindestens bis zur fünften Verzweigungsgeneration möglich. Für die daraus approximierten Segmente (Abbildung 3) kann, wie frühere Validierungsstudien gezeigt haben [5], eine Genauigkeit von ca. 80% angenommen werden. Diese Genauigkeit ist bei der Interpretation der segmentbezogenen quantitativen CT-Funktionsparameter zu berücksichtigen. Es ergaben sich die in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführten Werte. Abbildung 4 zeigt in einer Schicht eine Parameterdarstellung der segmentbezogenen mittleren Lungendichte.

Tabelle 1. CT-Funktionsparameter.

	Minimum	Median	Maximum
Mittlere Lungendichte [HU]	-896,5	-852,6	-819,2
Emphysemindex	42,0 %	62,2 %	83,9 %
Fibroseindex	4,8 %	8,7 %	20,7 %

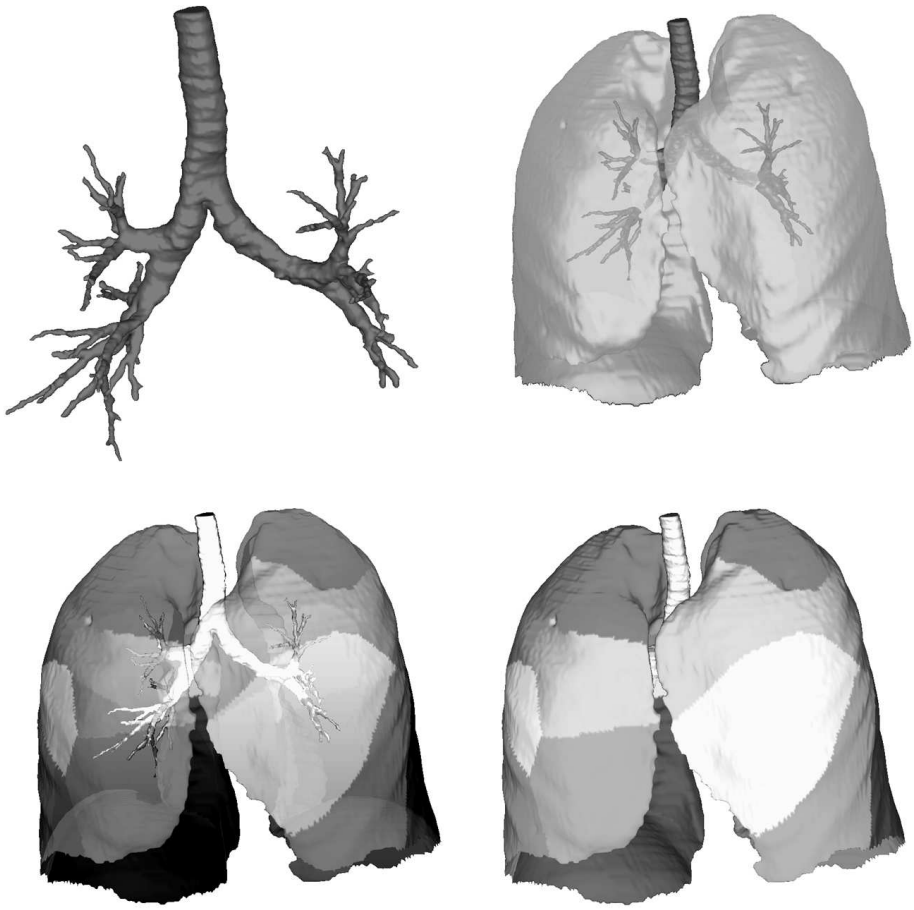

Abbildung 3: *Oben links:* Segmentierter Bronchialbaum *Oben rechts:* Bronchialbaum im Lungenparenchym. *Unten links und rechts*: Lungensegmente mit Bronchialbaum.

4 Diskussion

Die hier vorgestellte Methode zur Bestimmung lokaler segmentbezogener CT-Funktionsparameter lässt eine präzisere Abschätzung der postoperativen Lungenfunktion erwarten. Die Berücksichtigung lokaler CT-Funktionsparameter für verschiedene Resektionsszenarien unterstützt die Abschätzung der postoperativen Lungenfunktion besser als globale Werte für die gesamte Lunge. In der Machbarkeitsstudie zeigte sich eine Erhöhung der MLD in aufgrund der Patientenlagerung tiefer liegenden Segmenten. Diese Effekte müssen bei der segmentbezogenen Quantifizierung durch CT-Parameter berücksichtigt werden. Eine Korrelation dieser Ergebnisse mit

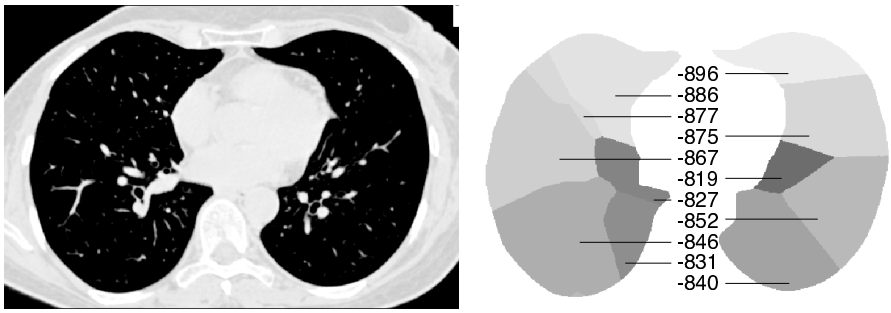

Abbildung 4: *Links:* CT-Schicht. *Rechts:* Parameterdarstellung der mittleren Lungendichte je Segment, Wert in HU.

der Perfusionsszintigraphie und der postoperativen Lungenfunktion ist Gegenstand zukünftiger Studien.

5 Literatur

1. Kalender WA, Rienmuller R, Seissler W, Behr J, Welke M, Fichte H. Measurement of pulmonary parenchymal attenuation: use of spirometric gating with quantitative CT. Radiology 1990;175:265-8.
2. Wu MT, Chang JM, Chiang AA, et al. Use of quantitative CT to predict postoperative lung function in patients with lung cancer. Radiology 1994;191:257-62.
3. Krass S, Meyer C, Jend HH, Peitgen HO. Quantitative CT in COPD patients by combination of emphysema and fibrosis index. RSNA 2000, Chicago.
4. Boehm D, Krass S, Kriete A, Rau WS, Selle D, Jend HH, Peitgen HO. Segmentbestimmung im Computertomogramm der Lunge: In-vitro Validierung. In: Horsch A, Lehmann T, eds. Bildverarbeitung für die Medizin 2000. Berlin: Springer, 2000:168-172.
5. Krass S, Selle D, Boehm D, Jend HH, Kriete A, Rau WS, Peitgen HO. Determination of bronchopulmonary segments based on HRCT data . In: Lemke HU, Vannier MW, Inamura K, Farman AG, Doi K, eds. Computer Assisted Radiology and Surgery. Amsterdam: Elsevier, 2000:584-589.