

Ein Bildverarbeitungssystem für die automatisierte Vermessung und quantitative Verlaufsdokumentation von pleuralen Verdickungen

Stefan Vogel¹, Thorsten Klein¹, Dietrich Meyer-Ebrecht¹,
und Thomas Kraus²

¹Lehrstuhl für Messtechnik und Bildverarbeitung,
RWTH Aachen, 52066 Aachen

²Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin,
Universitätsklinikum der RWTH Aachen, 52074 Aachen
Email: vogel@lfm.rwth-aachen.de
Internet: www.lfm.rwth-aachen.de/mesotheliom

Zusammenfassung. Zur Früherkennung von Pleuramesotheliomen wurde ein Bildverarbeitungssystem entwickelt, welches pleurale Verdickungen semiautomatisch lokalisiert, vermisst und dokumentiert. Durch den Vergleich der Befundungsergebnisse von aufeinanderfolgenden Untersuchungen können Veränderungen an einzelnen Verdickungen sofort erkannt werden, welche frühzeitig auf die Entstehung eines malignen Tumors hinweisen. Der Einsatz des computergestützten Bildverarbeitungssystems liefert zum einen genauere, besser vergleichbare Aussagen als die bisherige manuelle Auswertung und reduziert zum anderen den für die Befundung erforderlichen Zeitaufwand. Das entwickelte System wurde zur Verifizierung in die Klinik transferiert. Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und die Fehlertoleranz des Systems wurden in ersten Untersuchungen bestätigt.

1 Problemstellung

In Deutschland wurden bis 1993 in vielen Bereichen, vor allem in der Bau- und Fahrzeugindustrie, asbesthaltige Werkstoffe eingesetzt. Freie Asbestfasern in der Luft werden eingeatmet und gelangen zum Teil ins Lungenfell. Dort können sie sowohl gutartige als auch bösartige Verdickungen hervorrufen, die im weiteren Krankheitsverlauf Pleuramesotheliome ausbilden können. Die Latenzzeit zwischen der Asbestexposition und dem Ausbrechen eines Mesothelioms beträgt zehn bis 65 Jahre (durchschnittlich 35 Jahre) [1,2,3]. Da der Gipfel der Asbestbelastung Ende der 70er Jahre erreicht wurde, erwartet man bis ca. 2017 eine Steigerung der Neuerkrankungen von derzeit jährlich 600 Fällen auf 1.000 Fälle pro Jahr. Für die nächsten 30 Jahre werden insgesamt 250.000 Mesotheliomtote in Westeuropa prognostiziert [4].

Im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes wurde ein System zur Erfassung und Vermessung pleuraler Verdickungen in Spiral-CT-Scans entwickelt, dessen Einsatz die Früherkennung maligner pleuraler Tumoren erleichtert und deren frühzeitige Behandlung ermöglicht (siehe Abb. 1(a)). Vorrangiges Entwicklungsziel war es, ein Werkzeug für eine semiautomatische Lokalisierung und quantitative Vermessung zu erstellen und dieses zügig in die klinische Anwendung zu transferieren. Die verwendeten Bilddaten liegen im DICOM-Format vor.

2 Stand der Forschung

Eine Heilung des Pleuramesothelioms ist bisher nur in Einzelfällen möglich, wenn es gelingt, den Tumor in einem frühen Stadium zu erkennen. Zur Zeit liegt die mittlere Überlebenszeit nach der Erstdiagnose zwischen vier und 12 Monaten. Mit Hilfe der gegenwärtig entwickelten Therapien kann diese möglicherweise so weit erhöht werden, dass die 5-Jahres-Überlebensrate auf fast 40% ansteigt [3]. Die Früherkennung des malignen Tumors ist ein entscheidender Punkt, bei der die Low-Dose-Spiral-Computertomographie derzeit eine wesentliche Rolle spielt. Zur Befundung werden die CT-Aufnahmen nach pleuralen Verdickungen durchsucht, welche der Befunder abhängig von Größe und Form in Klassen einteilt. Die Ergebnisse werden in einen standardisierten Erfassungsbogen eingetragen [5,6]. Dies ist einerseits mit sehr hohem Aufwand verbunden, andererseits unterliegen die Auswertungsergebnisse aufgrund der subjektiven, visuellen Beurteilung hohen Schwankungen. Intra- und Interreadervariance- Untersuchungen zeigen, dass eine genaue und reproduzierbare Aussage über die quantitative Ausdehnung einer Pleuraverdickung nur schwer zu treffen ist. Der für die Früherkennung wichtige, reproduzierbare Vergleich der Befundungsergebnisse ist nur schwer erreichbar [6].

Die heute zur Befundung eingesetzten Workstations werden lediglich als Werkzeug zur Visualisierung der CT-Scans eingesetzt und erleichtern es dem Befunder, die Ergebnisse in Formulare einzutragen. Systeme, welche pleurale Verdickungen automatisiert erfassen und vermessen, sind zur Zeit noch nicht verfügbar.

3 Wesentlicher Fortschritt durch den Beitrag

Der Einsatz eines computergestützten Bildverarbeitungssystems bei der Befundung liefert genauere Aussagen und verkürzt die Bearbeitungszeit. Verbesserungen der Genauigkeit sind aufgrund der quantitativen Verarbeitung der Bilddaten zu erwarten, da prinzipbedingt quantitative, objektive Messwerte berechnet werden. Die anhand der Messwerte erstellten Befundungsergebnisse sind reproduzierbar und Vergleiche von Nachfolgeuntersuchungen können einfach durchgeführt werden. Die erzeugte Verlaufsdokumentation erleichtert es dem Befunder, eine sich verändernde Verdickung frühzeitig zu erkennen, welche auf die Entstehung eines malignen Tumors hinweist. Dadurch können Therapiemaßnahmen

frühzeitig eingeleitet werden, was die Lebenserwartung und die Lebensqualität des Patienten steigert. Durch eine automatisierte Lokalisierung der Verdickungen wird der für die Auswertung erforderliche Zeitaufwand erheblich reduziert. Trotz Automatik behält der Arzt jederzeit die Kontrolle über die ablaufenden Prozesse und kann, falls nötig, korrigierend eingreifen.

4 Methoden

Im Folgenden werden die Algorithmen vorgestellt, mit denen die Verdickungen im CT-Scan lokalisiert, deren Konturen extrahiert und die charakteristischen Größen (Volumen und maximale Dicke) berechnet werden. Die 3D-Koordinaten der Bildvoxel und die zugehörigen Hounsfield Werte werden den DICOM-Daten entnommen. Der Anwender gibt quaderförmige dreidimensionale Bereiche (dreidimensionale „regions of interest“, 3D-ROI) im CT-Scan grob vor. Jede dieser 3D-ROI besteht aus mehreren übereinanderliegenden zweidimensionalen Bildausschnitten (2D-ROI).

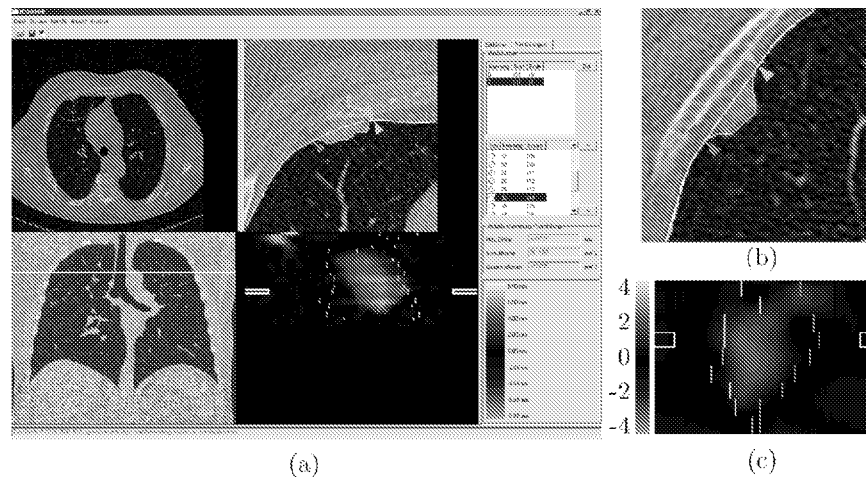
Zunächst werden die DICOM-Bilder jeder 2D-ROI durch eine Schwellwert-Operation (-550 HU) binarisiert (vgl. [7,8]). Die durch Bildrauschen hervorgerufenen Artefakte werden anschließend mittels morphologischer Operationen reduziert [8]. Daraufhin wird die Trennkante zwischen Lungen- und Brustgewebe durch einen Kantenfindungsalgorithmus detektiert, d.h. die Pleura wird in den Einzelbildern lokalisiert.

Es folgt die Bestimmung der beiden Punkte in jeder 2D-ROI, zwischen denen der Verlauf der Pleurakante von ihrem idealtypischen Verlauf abweicht, den sie ohne die Verdickung hätte (Start- bzw. Endpunkt der Verdickung, siehe Abb. 1(b)). Das hierfür entwickelte Verfahren ermittelt die Ausdehnung der Konkavität, welche die Verdickung im Lungengewebe hervorruft. Der idealtypische Verlauf der Pleura zwischen Start- und Endpunkt der Verdickung wird durch eine Spline-Interpolation berechnet. Als Ergebnis liegen die 3D-Koordinaten der Voxel vor, welche die Verdickungsoberfläche bilden. Diese Koordinaten werden zur Berechnung von Volumen und maximaler Dicke verwendet werden [9].

Um dem Anwender einen dreidimensionalen Eindruck der Verdickung zu vermitteln, wurde die in Abb. 1(c) gezeigte Projektionsansicht entwickelt, welche die Verdickung vom Zentrum des Lungenflügels gesehen darstellt. Das Projektionsbild zeigt das dem Betrachter entgegenkommende Verdickungsrelief, dessen Dicke sich aus der Einfärbung ablesen lässt. Durch den Vergleich von Projektionsbildern derselben Verdickung aus aufeinanderfolgenden Untersuchungen ist leicht zu erkennen, ob und wie sich die Verdickung mit der Zeit verändert. Daher ist das Projektionsbild ein wichtiges Hilfsmittel, das die Früherkennung von Tumoren erleichtert.

Die Verarbeitungsergebnisse (3D-Koordinaten, charakteristische Größen) werden in einer Datenbank abgelegt. Ferner werden sowohl Schnittbilder als auch Projektionsbilder der gefundenen Verdickungen gespeichert. Damit wird zum einen der Krankheitsverlauf dokumentiert, zum anderen sind Veränderungen von

Abb. 1. (a) Benutzerschnittstelle des entwickelten Systems (b) Segmentierte 2D-ROI. *gelb*: Pleura, *weiß*: Spline-Interpolation des idealtypischen Pleuraverlaufs, *magenta*, *türkis*: Start- und Endpunkt der Verdickung (c) Projektionsbild, Dicken in mm



Verdickungen sowohl aus den Messwerten als auch durch visuellen Vergleich der Bilder sofort erkennbar.

5 Ergebnisse

Die Reproduzierbarkeit des Messvorgangs an einer Verdickung wird durch die Robustheit der Algorithmen gegenüber Variationen der manuell gewählten 3D-ROI bestimmt. Um nachzuweisen, dass die berechneten Messwerte unabhängig von der manuellen Wahl der 3D-ROI sind, wurden bisher zwei Testalgorithmen implementiert. Beide Verfahren laden die Ergebnisse einer zuvor durchgeführten Untersuchung und verändern die vom Benutzer vorgegebenen Parameter in mehreren Schritten. Die Ergebnisse werden in einer Datenbank abgelegt. Der erste Test soll zeigen, dass die Messwerte unabhängig von der Lage einer Verdickung innerhalb der 3D-ROI sind. Dazu wird das Zentrum jeder Verdickung in der Transversalebene verschoben. Der andere Test stellt sicher, dass die Größe der quaderförmigen 3D-ROI keinen Einfluß auf die Messwerte hat, sofern eine Mindestgröße eingehalten wird.

Ein dritter Test bestimmt die Einflüsse der manuellen Korrektur von Start- und Endpunkt einer Verdickung. Nach dem Laden einer vorher durchgeführten Untersuchung werden diese beiden Punkte in jeder Schicht variiert. Die neu berechneten Verdickungsmaße werden zur späteren Auswertung in die Datenbank aufgenommen.

Erste Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit wurden erfolgreich durchgeführt. Die Fehlertoleranz-Analyse gab Hinweise darauf, wie stark die berechneten Messwerte von manuell angebrachten Korrekturen an Start- und Endpunkt der Verdickungen abhängen.

Die beschriebene Funktionalität wurde in enger Kooperation mit dem arbeitsmedizinischen Partner entwickelt und als Laborprototyp implementiert. Das System befindet sich derzeit zur Verifizierung des Verfahrens im klinischen Probebetrieb.

6 Ausblick

Das Ziel der weiteren Entwicklung ist ein im klinischen Routinebetrieb einsetzbares System zur vollautomatischen Erfassung und Vermessung pleuraler Verdickungen. Die Lokalisierung und Wiederauffindung sollen automatisch ablaufen, derart dass ein Eingreifen des Arztes nur im Ausnahmefall erforderlich ist. Die Prozesse sollen allerdings vom Befunder ausgelöst, kontrolliert und, falls erforderlich, korrigiert werden können. Nach Abschluss der Befundung sollen die Untersuchungsergebnisse in die DICOM-Datenstrukturen aufgenommen werden.

Literaturverzeichnis

1. Kraus T, Raithel HJ: Frühdiagnostik asbeststaubverursachter Erkrankungen. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin, 1998.
2. Rühle KH: Pleurale Erkrankungen: Diagnostik und Therapie. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, 1997.
3. Sugarbaker DJ, Norberto JJ, Bueno R: Current Therapy of Mesothelioma. In: Cancer Control Journal, Vol. 4, Nr. 4, H. Lee Moffit Cancer Center, Tampa, 1997.
4. Damião: Bericht über den Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 83/477/EWG des Rates über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Asbest am Arbeitsplatz. Europäisches Parlament, 2002.
5. Hering KG, Jacobsen M, Bosch-Galetke E, Eliehausen HJ, Hieckel HG, Hofmann-Preiß K, Jacques W, Jeremie U, Kotschy-Lang N, Kraus T, Menze B, Raab W, Raithel HJ, Schneider WD, Straßburger K, Tuengerthal S, Weitowitz HJ: Die Weiterentwicklung der Internationalen Staublungenklassifikation - von der ILO 1980 zur ILO 2000 und zur ILO 2000/Version Bundesrepublik Deutschland. Pneumologie 57: 576-584, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2003.
6. Carl T: Interreadervariance bei HRCT- und CXR-Befundung in einer Längsschnittstudie bei asbestexponierten Personen. Doktorarbeit am Institut für Arbeitsmedizin, RWTH Aachen, in Arbeit.
7. Della-Monta C, Großkopf S, Trappe F: Reproduzierbarkeit der Volumenmessung von Lungenrundherden in Mehrschicht-CT. In: Bildverarbeitung für die Medizin, S. 368-372, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2003.
8. Silva AC, Carvalho PCP, Nunes RA: Segmentation and Reconstruction of the Pulmonary Parenchyma. Vision and Graphics Laboratory, Institute of Pure and Applied Mathematics, Rio de Janeiro, 2002.
9. Vogel S: Semiautomatische Segmentierung, quantitative Vermessung und Verlaufsdokumentation von Pleuramesotheliomen in Spiral-CT-Bildsequenzen. Lehrstuhl für Messtechnik und Bildverarbeitung, RWTH Aachen, 2003.