Die Problemorientierte Segmentierung des Herzens am Beispiel des Myocardödems

A. Schroeder[a], M.H. Makabe[a], J. Albers[b], R. Möckel[c], H.-P. Meinzer[a]

[a] Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. Medizinische und Biologische Informatik,
Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg
[b] Chirurgische Klinik der Universität Heidelberg, Klinik für Herzchirurgie,
Im Neuenheimer Feld 110, 69120 Heidelberg
[c] Universität Heidelberg, Klinikum der Stadt Mannheim, Institut für Klinische Radiologie,
Theodor-Kutzer-Ufer 1-3, 68167 Mannheim
e-Mail: A.Schroeder@DKFZ-Heidelberg.de

Zusammenfassung: Eine nichtinvasive Erkennung myocardialer Ödeme stellt für den Herzchirurgen gerade im Bereich der Frühdiagnostik und der Verlaufskontrolle ein wichtiges Hilfsmittel dar. In einer Studie, die sich mit der Identifikation von Ödemen in Bildern beschäftigt, wurden von sechs explantierten Schweineherzen (drei mit und drei ohne Ödem) MR-Aufnahmen erstellt und mit Methoden der Bildverarbeitung ausgewertet. Darin ergab sich, daß es generell möglich ist, qualitative Aussagen über das Vorhandensein myocardialer Ödeme zu machen.

Schlüsselwörter: Myocardiales Ödem, Schwellwertverfahren, 3D-Rekonstruktion

1 Einleitung und Motivation

Für die Herzchirurgie spielt die frühzeitige Erkennung myocardialer Ödeme unter den Gesichtspunkten:

- Frühdiagnostik und
- Verlaufskontrolle

eine wichtige Rolle.

Ödeme treten u.a. aufgrund einer Mangeldurchblutung (Ischämie) auf. Die betroffenen Zellen werden nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt, wodurch es im weiteren Verlauf zu einer Wassereinlagerung kommt, die eine Schädigung der entsprechenden Zellen zur Folge hat. Gründe dafür sind beispielsweise Herzinfarkte, Abstoßungsreaktionen nach Herztransplantationen, Vergiftungen oder Reaktionen auf eine Strahlentherapie.

Aufgrund der großen klinischen Relevanz dieser Fragestellung wurde untersucht, ob sich Ödeme mit Hilfe geeigneter bildgebender Verfahren darstellen und anschliessend mit Methoden der Bildverarbeitung auswerten lassen. Auf diese Art ist eine nichtinvasive Diagnostik möglich ist. In diesem Zusammenhang interessieren den

Herzchirurgen die Lage des Ödems innerhalb der Herzwand (subendo-, subepicardial, intra-, transmural) sowie dessen Größe, um den Schweregrad beurteilen zu können. Neben diesen beiden Informationen ist auch die Topographie, also die Lokalisation innerhalb des Herzens, hinsichtlich der Beurteilung möglicher Funktionsstörungen bzw. der Bypassfähigkeit ein wichtiger Parameter [1].

2 State of the Art

Die Identifikation myocardialer Ödeme wurde bisher hauptsächlich in vitro experimentell am Tiermodell durchgeführt. Die dabei angewandten Verfahren beruhen auf der Berechnung des myocardialen Wassergehaltes und der linksventrikulären Masse. Der myocardiale Wassergehalt berechnet sich aus der Differenz zwischen Feucht- und Trockengewicht. Zur Berechnung der linksventrikulären Masse werden u.a. 2D-Echoaufnahmen verwendet. Anhand eines Ellipsenmodells berechnet man aus zwei aufeinander senkrechtstehenden Längsachsenschnitten mit Hilfe der Simpson-Regel das Volumen. Da es sich hierbei nicht um ein dreidimensionales Verfahren handelt, sondern Modellannahmen über die Geometrie zugrundegelegt werden, ist dieses Vorgehen fehleranfällig. Bei vorhandenen Ödemen nehmen der myocardiale Wassergehalt und die linksventrikuläre Masse erhöhte Werte an, wodurch es ebenfalls zu einer erhöhten Wandsteifheit kommt [2]. Diese tritt als diastolische Funktionsstörung in Erscheinung und ist somit eine der am frühesten erkennbaren Veränderungen.

Durch die Weiterentwicklungen im Bereich der Magnetresonanztomographie können Ödeme nunmehr mit Hilfe der STIR (Short Time Inversion Recovery)-Sequenz dargestellt und für eine Herzinfarktlokalisation herangezogen werden [3].

3 Segmentierung der Ödeme

Als Grundlage für die Erkennung myocardialer Ödeme mit Mitteln der digitalen Bildverarbeitung dienten sechs explantierte Schweineherzen. Drei der Herzen wurden direkt nach der Entnahme mit BDM, einer Cardioplegie-Lösung die bekanntermaßen Ödeme verursacht, perfundiert, um zu gewährleisten, daß Ödeme im Bildmaterial vorhanden sind. Die übrigen drei Herzen wurden zur Kontrolle mit einer Standardlösung perfundiert, die keine Ödeme verursacht.

Die derart vorbehandelten Herzen wurden in der jeweiligen Cardioplegielösung im MR aufgenommen. Dazu wurde die in Abschnitt 2 erwähnte STIR-Sequenz verwendet. Bei dieser Sequenz handelt es sich um eine T1-gewichtete Sequenz, die allerdings nicht das T1-Signal darstellt, sondern vielmehr den Unterschied zwischen Geweben mit verschiedenen T1-Zeiten hervorhebt. Daher ist sie gut geeignet, Ödeme darzustellen, die im resultierenden Bildmaterial heller erscheinen als das umliegende Myocard.

Das Datenmaterial mußte zunächst einer geeigneten Vorverarbeitung unterzogen werden. Deren Ziel bestand in der Trennung des Myocards von der umgebenden Cardioplegie und der Segmentierung des Ödems innerhalb des Myocards.

Die Segmentierung des Herzens erfolgte durch eine Kombination aus einem

Schwellwertverfahren zur Ausblendung der das Herz umgebenden Cardioplegielösung und einer anschließenden Connected-Component-Analyse zur Elimination des Rauschens außerhalb der ROI. Das Ödem innerhalb des Myocards wurde durch ein Schwellwertverfahren segmentiert. Da dabei aber das Problem der Partialvolumeneffekte beim Übergang von Myocard zur Cardioplegie eine Falschklassifikation der Pixel in den Randbereichen zur Folge hatte, wurden diese mit Hilfe eines datenangepaßten Schwellwertes, der auf das zugehörige Absolutgradientenbild angewendet wurde, eliminiert. Im Anschluß an die Segmentierung, bei der allen Ödempixeln ein verglichen mit dem Myocard extrem hoher Grauwert zugewiesen worden ist, wurde eine Visualisierung mit dem Heidelberger Raytracing-Verfahren [4] durchgeführt. Anhand dieser 3D-Rekonstruktionen aus verschiedenen Blickrichtungen soll die räumliche Lage und Ausdehnung beurteilt werden.

Neben der Auswertung des Bildmaterials wurde nach Durchführung der Bildakquisition eine myocardiale Trockengewichtsbestimmung durchgeführt, um zu überprüfen, ob in den drei Herzen aus der BDM-Gruppe Ödeme vorhanden waren. Dazu wurde das Gewicht der Myocard-Proben aus definierten Regionen (Vorderwand, Hinterwand, Septum, rechter Ventrikel, Apex) vor und nach dem Austrocknen (3 Stunden bei 80^{o}C) verglichen.

4 Ergebnisse

Im vorangegangenen Abschnitt wurde ein Vorgehen beschrieben, um myocardiale Ödeme in MR-Aufnahmen darzustellen und sie mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung zu segmentieren und 3D zu rekonstruieren. Wendet man das beschriebene Verfahren auf das Bildmaterial der explantierten Herzen an (Abb. 1b) so erkennt man nach der Segmentierung (Abb. 1c) subepicardiale Ödeme, deren räumliche Verteilung sich hauptsächlich über die Wand des linken Ventrikel bis hinein in das Septum erstreckt (Abb. 2). In den Aufnahmen der Kontrollherzen zeigen sich erwartungsgemäß keine Ödeme.

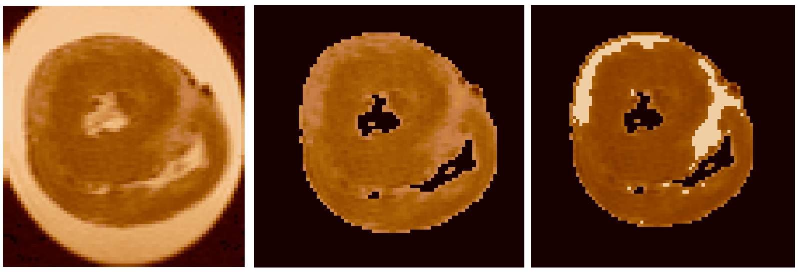

Abb. 1: Segmentierung der Daten: (a) Originalschicht, (b) nach Segmentierung des Herzens, (c) nach Segmentierung des Ödems (hell dargestellt)

Diese Ergebnisse decken sich qualitativ mit denen der Trockengewichtsbestimmung. Bei den ödematösen Herzen ergab sich die erwartete Reduktion des Gewichtes nach Austrocknen der Myocardproben, die sich bei den Herzen ohne Ödem nicht zeigte.

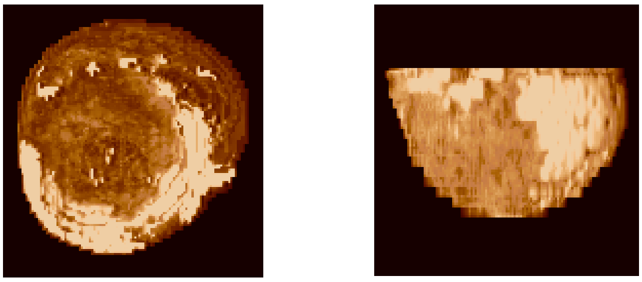

Abb. 2: 3D-Rekonstruktion des Myocardödems in einem Kurzachsenschnitt unterhalb der Klappenebene und in einer Frontalansicht

5 Diskussion und Ausblick

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde gezeigt, daß es generell möglich ist, mit Hilfe geeigneter bildgebender Verfahren und digitaler Nachbearbeitung der Bilder Hinweise auf das Vorhandensein myocadialer Ödeme zu erhalten.

Dabei handelt es sich um eine Methode, die dem Herzchirurgen die Möglichkeit bietet, nichtinvasiv das Herz auf Ödeme hin zu untersuchen. Somit kann das Verfahren in einem zweiten Schritt auch in vivo für die Patientenbehandlung getestet werden. Um diese Vorgehensweise in die klinische Routine integrieren zu können, sind sowohl von Bildgebungs- als auch der Bildverarbeitungsseite noch einige Probleme zu lösen.
Seitens der Bildgebung sind dabei vor allem die Reduktion der Aufnahmezeiten und der Partialvolumeneffekte zu nennen. Die verwendete STIR-Sequenz kann nur im Singleslice-Modus bei Atemanhalt gefahren werden. Bei einer Akquisitionsdauer von 15-20 Sekunden pro Schicht stellt dies besonders für herzkranke Patienten eine Belastung dar, da für eine anschließende quantitative Auswertung das gesamte Herz abgebildet sein muß. Aufgrund der genannten Partialvolumeneffekte ist es in den Randbereichen nicht eindeutig möglich, die Pixel dem Ödem zuzuordnen. Somit sind quantitative Aussagen über dessen Größe derzeit nicht möglich. Da diese Effekte aufnahmebedingt sind und selbst bei geringeren Schichtdicken als den derzeitigen 5mm nicht umgangen werden können, muß eine Strategie entwickelt werden, anhand der man die einzelnen Ödempixel gewichtet. Da auch noch nicht bekannt ist, welche Ausdehnung Ödeme beim Patienten verglichen mit den hier dargestellten haben, muß geklärt werden, wie sich Partialvolumeneffekte auf Ödeme geringer Ausdehnung auswirken. Wenn diese Probleme gelöst sind, kann zu einer quantitativen Auswertung der Ödeme übergegangen werden, so daß eine objektive Beurteilung möglich ist.

Die in dieser Studie verwendeten Schwellwertverfahren, um das Herz von der Cardioplegie zu trennen, sind auf in-vivo-Aufnahmen, auf denen das Herz aus dem umgebenden Brustkorb segmentiert werden muß, nicht übertragbar. Außerdem werden bei den derzeit möglichen Schichtdicken für die 3D-Rekonstruktion geeignete Interpolationsverfahren benötigt, um die Auflösung in der dritten Raumrichtung an die Auflösung in der Schichtebene anzupassen. Nur so können realitätsnahe Abbildungen erzeugt werden, anhand derer der Schweregrad der Ödeme beurteilt werden kann.

6 Zusammenfassung

Da für die Herzchirurgie der Nachweis von Myocardödemen ein wichtiges Hilfsmittel darstellt, um beispielsweise Abstoßungsreaktionen nach Herztransplantationen rechtzeitig zu erkennen, wurde hier ein nichtinvasives Verfahren beschrieben. Dieses wurde an sechs explantierten Schweineherzen, von denen drei künstlich mit Ödemen versehen worden sind, getestet. Die Herzen wurden mit der STIR-Sequenz im MR aufgenommen, anschließend mit einem Schwellwertverfahren segmentiert und 3D rekonstruiert. Diese Bilder ermöglichen dem Herzchirurgen qualitative Aussagen über das Ödem zu machen.

Danksagung

Diese Arbeit wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 414, Informationstechnik in der Medizin „Rechner- und Sensorgestützte Chirurgie “ gefördert.

Literatur

1. Albers J, Makabe MH, Schroeder A, Heiland M, Meinzer HP, Vahl CF, Hagl S: Cardiale MR in der Herzchirurgie - Forderungen des Herzchirurgen an die cMR-Bildgebung am Beispiel der 3D-Rekonstruktion des Myocardödems. Aktuelle Radiologie 7(6): S. 361-262 (1997).
2. Spotnitz HM, Hsu DT: Myocardial Edema: Importance in the Study of Left Ventricular Function. Advances in Cardiac Surgery, Mosby Year Book, Vol. 5, S. 1-25, (1994).
3. Voigtländer T, Kreitner KF, Wittlinger T, Kalden P, Möbius S, Thelen M, Meyer J: Neue Aspekte in der MR-Diagnostik von Herzinfarkten. Aktuelle Radiologie 7(6) (1997).
4. Meinzer HP, Metz K, Scheppelmann D, Engelmann U, Baur HJ: The Heidelberg Raytracing Model. IEEE Computer Graphics & Applications, Nov. 1991, S. 34-43 (1991).