Dreidimensionales Strain Rate Imaging des Herzmuskels mit Hilfe der Tissue Doppler Echokardiographie

Mark Hastenteufel[1], Ivo Wolf[1], Raffaele De Simone[2], Sibylle Mottl-Link[2], Hans-Peter Meinzer[1]

[1]Abteilung für Medizinische und Biologische Informatik
Deutsches Krebsforschungszentrum
Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg
[2]Chirurgische Universitätsklinik Heidelberg, Abt. Herzchirurgie
Im Neuenheimer Feld 110, 69120 Heidelberg
Email: M.Hastenteufel@dkfz.de

Zusammenfassung. Die Kenntnis des Bewegungs- und Kontraktionsmusters des Herzmuskels liefert wichtige diagnostische Informationen über potentielle Vitalitätsstörungen. Mittels Tissue Doppler Echokardiographie können lokale Geschwindigkeiten innerhalb des Myokards bestimmt werden. Daraus lassen sich lokale Kontraktionsmaße, Strain und Strain Rate, bestimmen. Wir stellen Methoden zur dreidimensionalen Visualisierung und Quantifizierung der Herzvitalität mittels Tissue Doppler Echokardiographie und Strain Rate Imaging vor. Die Verfahren sind in einem bereits in der klinischen Routine befindlichen Software-Tool integriert.

1 Einleitung

Das Herz beschreibt in einem Zyklus ein komplexes dreidimensionales Bewegungsmuster. Die Kenntnis dieses Bewegungsmusters, insbesondere im Herzmuskel (Myokard) des linken Ventrikels liefert wertvolle diagnostische Informationen über mögliche Vitalitätsstörungen, wie z.B. Herzkranzgefäßverengung oder myokardiale Ischämie. Geschwindigkeiten innerhalb des Myokards zur Bestimmung des Bewegungsmusters können mit Hilfe der Tissue Doppler Echokardiographie, auch Tissue Velocity Imaging (TVI) oder Doppler Myocardial Imaging (DMI) genannt, gewonnen werden. Sie verspricht ein wertvolles Tool zur quantitativen und qualitativen Diagnostik regionaler Wandbewegungsstörungen zu werden.

Strain Rate Imaging (SRI) ist eine neue, auf der Tissue Doppler Echokardiographie aufbauende Technik zur Diagnose der Myokardvitalität. Hier werden in Ergänzung zu den Geschwindigkeitsinformationen lokale Kontraktionsmaße bestimmt. Bisher wurden lediglich Verfahren zum eindimensionalen und zweidimensionalen SRI vorgestellt. Aufgrund der dreidimensionalen Natur der Herzwandbewegung kann ein dreidimensionales Strain Rate Imaging zusätzliche wertvolle diagnostische Informationen über das lokale Kontraktionsverhalten zur

Verfügung stellen. Wir stellen Methoden zur Berechnung von Strain Rates auf dreidimensionalen echokardiographischen Aufnahmen sowie entsprechende Visualisierungsmethoden vor.

2 State of the Art

Bei der in [1] beschriebenen Tissue Doppler Echokardiographie werden im Gegensatz zur herkömmlichen Doppler Echokardiographie hohe Geschwindigkeiten herausgefiltert und nur die niedrigen dargestellt. Unter Ausnutzung der so gewonnenen Geschwindigkeitsinformation können Strain Rates mittels räumlicher Geschwindigkeitsgradienten (Myocardial Velocity Gradient, MVG) bestimmt werden. Dies wird bisher für eindimensionale M-Mode [2] und zweidimensionale B-Mode Akquisitionen [3] beschrieben. Normwerte für Strain und Strain Rate werden in [4] definiert.

3 Datenakquirierung

Dynamische dreidimensionale (bzw. 3D+t oder 4D) Tissue Doppler Daten werden transösophageal bzw. transthorakal mittels Rotationssonde eines Sonos 5500 DSR Ultraschallgerätes (Philips, zuvor Agilent, Andover, USA) akquiriert. Die Daten können entweder mit Hilfe einer MO oder eines LAN Interfaces auf einen PC übertragen und mit dem in unserer Abteilung entwickelten Software-Tool EchoAnalyzer [5] dargestellt und weiterverarbeitet werden.

4 Strain und Strain Rate

Die Deformation eines Objektes in Bezug auf den Ausgangszustand bezeichnet man als Strain. Man unterscheidet zwischen *Langrange Strain*

$$\epsilon(t) = \frac{L(t) - L_0}{L_0} \tag{1}$$

und *Natural Strain*

$$\epsilon_N(t) = \int_{t_0}^{t} d\epsilon_N(t) = \int_{t_0}^{t} \frac{L(t+dt) - L(t)}{L(t)} \tag{2}$$

Hierbei bezeichnet $L(t)$ die Objektlänge nach Deformation und L_0 den Ausgangszustand [6].

Strain Rate ist die Änderungsgeschwindigkeit des Strains und entspricht somit der zeitlichen Ableitung. Die (Natural) Strain Rate innerhalb des Herzmuskels kann mittels Tissue Doppler als myokardialer Geschwindigkeitsgradient auf dem Schallstrahl berechnet werden zu

$$\dot{\epsilon}_N = sr = \frac{v_1 - v_2}{x} \tag{3}$$

wobei v_1 und v_2 gegebene Geschwindigkeiten an zwei Punkten und x die Distanz der beiden Punkte darstellt [3]. Die Strain Rate stellt ein Maß für die lokale Kontraktion dar. Eine weitere Möglichkeit zur Berechung der Strain Rate liegt in der Bestimmung der Steigung der Regressionsgerade durch die Geschwindigkeiten zwischen zwei Punkten [2].

Zu beachten ist, dass die gemessene Geschwindigkeit v_m nicht der wahre Geschwindigkeitsvektor v sondern nur die Projektion $< v, n_t >$ des wahren Vektors auf den Transducernormalenvektor $n_t(x, y, z)$ ist, welcher in Richtung des Schallkopfes zeigt. Somit wird auch die Strain Rate ohne Winkelkorrekturverfahren nur in Richtung des Schallkopfes bestimmt. Berechnungen von Strain Rates aus einem Langachsenschnitt (longitudinale Kontraktion) sowie einem Kurzachsenschnitt (radiale Kontraktion) ergeben zwei physikalisch unterschiedlich zu interpretierende Kontraktionsrichtungen des Herzmuskels. Bei einer Berechung von Strain Rates auf dreidimensionalen Daten ist somit darauf zu achten, dass die Schnittrichtung bei allen Rotationswinkeln dieselbe ist. Mittels Rotationsakquisition kann somit nur die longitudinale Kontraktion in drei Dimensionen berechnet werden, da der linke Ventrikel nur in dieser Richtung rotationssymmetrisch ist.

5 Visualisierung

Die Tissue Doppler bzw. Strain Rate Daten können einzeln oder kombiniert mit den Backscatter Daten (Morphologie) zweidimensional dargestellt werden. Eine Auswahl verschiedener Look-Up Tabellen zur differenzierten Darstellung ist möglich. Zur *curved M-Mode* Darstellung kann der Benutzer einen Linienzug angeben. Die auf dieser Linie liegenden Geschwindigkeiten bzw. Strain Rates werden entsprechend farbkodiert als M-Mode dargestellt. Desweiteren ist eine farbgetreue, dynamische Volumenvisualisierung der akquirierten Tissue Doppler Daten, der berechneten Strain Rate Daten sowie von kombinierten Backscatter+TD und Backscatter+SR Daten mit Hilfe des Heidelberger Raytracing Modells [7] möglich.

6 Ergebnisse

Mit unseren entwickelten Methoden ist ein Strain Rate Imaging mit Hilfe der Tissue Doppler Echokardiographie in drei Dimensionen möglich. Die Tissue Doppler und Strain-Rate Bilder können in verschiedenen Modi, inklusive farbgetreuer Volumenvisualisierung dargestellt werden. Hiermit wird dem Arzt ein wertvolles Tool zur Diagnose potentieller Herzwandbewegungsstörungen an die Hand gegeben.

7 Diskussion und Ausblick

Wir haben transösophageale 3D+t Tissue Doppler Aufnahmen akquiriert und daraus dreidimensionale Strain Rate Bilder bestimmt. Die Visualisierung dieser

TD und SR-Bilder liefert ein besseres Verständnis des komplexen, dreidimensionalen Bewegungsmusters des Herzmuskels und ist somit ein wertvolles Hilfsmittel zur Diagnose und Therapie. Das Verfahren ist dadurch limitiert, dass aktuelle Ultraschallgeräte die Geschwindigkeiten nur entlang des Schallstrahls bestimmen können. Die gemessene Geschwindigkeit ist somit nur die Projektion des tatsächlichen Geschwindigkeitsvektors auf den Schallstrahl. Hiermit ergibt sich eine große Winkelabhängigkeit der gemessenen Geschwindigkeiten und der daraus berechneten Strain Rates. Die echte dreidimensionale Bewegung wird durch den Strain Rate Tensor $V_{ij} = \frac{1}{2}(\frac{\delta v_i}{\delta x_j} + \frac{\delta v_i}{\delta x_j})$ beschrieben. Unsere weitere Forschung wird sich auf die Bestimmung eines dreidimensionalen Geschwindigkeitfeldes richten. Hierzu wird momentan einerseits der Einsatz von Methoden aus der linearen Elastizitätstheorie, Feder-Masse Modelle, interpolationsbasierte Rekonstruktionsverfahren sowie Speckle-Tracking Methoden untersucht. Andererseits soll untersucht werden, ob eine Beschallung von unterschiedlichen Positionen zur Rekonstruktion des Geschwindigkeitfeldes unter Verwendung eines Trackingsystemes möglich ist. Gelingt es, ein echt dreidimensionales Geschwindigkeitsfeld innerhalb des Myokards zu bestimmen, wäre die Limitation der Winkelabhängigkeit beseitigt und eine Bestimmung des kompletten Strain sowie Strain Rate Tensors möglich.

8 Danksagung

Die Forschungsarbeit wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 414 "Informationstechnik in der Medizin - Rechner und Sensorgestützte Chirurgie" gefördert.

Literatur

1. McDicken WN, Sutherland GR, Moran CM, Gordon LN: Colour Doppler velocity imaging of the myocardium. Ultrasound Med Biol 18:651-654, 1992
2. Uematsu M, Miyatake K, Tanaka N et al.: Myocardial Velocity Gradient as a New Indicator of Regional Left Ventricular Contraction: Detection by a Two-Dimensional Tissue Doppler Imaging Technique. J Am Coll Cardio 26(1):217-23, 1995
3. Heimdal A, Støylen A, Torp H, Skærpe T: Real-time Strain Rate Imaging of the Left Ventricle by Ultrasound. J Am Soc Echocardio 11:1013-1019, 1998
4. Kowalski M, Kukulski T, Jamal F et al.: Can Natural Strain and Strain Rate Quantify Regional Myocardial Deformation? A Study in Healthy Subjects. Ultrasound Med Biol 27(8):1087-1097, 2001
5. Wolf I, De Simone R, Glombitza G, Meinzer HP: EchoAnalyzer - A System for Three-Dimensional Echocardiographic Visualization and Quantification. Proc. CARS 2001: 902-907, 2001
6. D'Hooge J, Heimdal A, Jamal F et al.: Regional Strain and Strain Rate Measurement by Cardiac Ultrasound: Principles, Implementation and Limitations. Eur J Echocardio 1:154-170, 2000
7. Meinzer HP, Meetz K, Scheppelmann D et al.: The Heidelberg Raytracing Model. Computer Graphics 11(6):34-43, 1991