

Individuelle Templates für Rekonstruktionen des linken Herzventrikels

Stefan Feder^{1,2}, Volkmar Falk², Matthias Gutberlet³, Dirk Bartz¹

¹ICCAS, Universität Leipzig

²Klinik für Herzchirurgie, Herzzentrum Leipzig

³Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Herzzentrum Leipzig

`dirk.bartz@iccas.de`

Kurzfassung. Bei krankhaften Vergrößerungen des linken Herzventrikels kann eine chirurgische Ventrikelrekonstruktion zur Verbesserung der Herzleistung beitragen. Die dabei erstellte Ventrikelgeometrie ist von entscheidender Bedeutung. Diese Studie befasst sich mit der computerbasierten Planung von individuellen Schablonen (Templates) für Ventrikelrekonstruktionen. Ziel ist es aus Cardio-CT-Daten, präoperativ, patientenindividuelle 3D-Modelle für Ventrikeltemplates zu erstellen. Hierfür wird aus CT-Daten der linksventrikuläre Blutpool segmentiert und daraus das Ventrikeltemplate modelliert. Dies geschieht anhand von zwei Kriterien: dem physiologischen Ventrikelfüllungsvolumen und der hämodynamisch günstigen ellipsoiden Form. Es konnten 20 3D-Templatmodelle mit einem durchschnittlichen Volumen von 144 ml erstellt werden. Die ellipsoide Form konnte durch manuelle Modellierung erreicht werden. Der Nachweis verbesserter Operationsergebnisse muss in nachfolgenden klinischen Studien erbracht werden.

1 Einleitung

Im Falle eines Myokardinfarktes oder einer strukturellen dilatativen Herzmuskelkrankung kommt es zu Veränderungen der Geometrie des linken Herzventrikels, beispielsweise einer aneurysmatischen Erweiterung oder einer globalen Vergrößerung des Ventrikels [1]. Die Ventrikelrekonstruktion ist eine chirurgische Option, mit deren Hilfe Patienten mit vergrößertem linken Ventrikel eine verbesserte Ventrikelgeometrie und somit eine verbesserte Herzleistung gewährleistet werden soll [2]. Zur Abschätzung der entstehenden Ventrikelgeometrie werden momentan intraoperativ standardisierte Ballons im Ventrikel positioniert. Diese dienen als vereinheitlichte Schablone für die geometrische Form und das optimierte Volumen des Ventrikels. Trotz dieser Schablonen ist die postoperative Herzgeometrie häufig hämodynamisch ungünstig und erreicht daher nicht das optimale medizinische Ergebnis. Zur Verbesserung der operativ erstellten Ventrikelgeometrie sollen patientenindividuell modellierte Ventrikelschablonen, sogenannte Templates, beitragen. Ziel dieser Arbeit ist es, anhand von Cardio-CT-Daten, präoperativ, individuelle 3D-Ventrikeltemplatmodelle für den operativen Einsatz zu erstellen.

2 Material und Methoden

Es wurden enddiastolische, kontrastmittelgestützte und hochauflösende Cardio-CT-Datensätze von 20 Patienten mit Ventrikulaneurysma oder dilatativer Kardiomyopathie für die Studie ausgewählt. Im ersten Schritt wurden mit Hilfe der Segmentierungssoftware Segmeda [3] jeweils der linksventrikuläre enddiastolische Blutpool segmentiert. Dieser hebt sich aufgrund der Kontrastmittelfüllung gut von seiner Umgebung ab und kann so einfach mit einem auf Grauwerten basierenden 3D-Regiongrowing segmentiert werden. Lediglich auf Klappenebene muss hier manuell nachsegmentiert werden. Als Ergebnis erhält man einen "Ausguss" des linken Ventrikels. Das Template wird nun aus dem segmentierten Blutpool manuell und Schicht für Schicht modelliert. Hierfür wird per Hand das überschüssige Ventrikelvolumen von der Segmentierung ausgeschlossen (Abb. 1). Um eine möglichst gleichmäßige Form zu erhalten wird während der Modellierung der bearbeitete Teil jedes Schnittbildes per Maske auf die darauffolgende Schicht projiziert und dient so als Vorlage [4]. Die Templates werden anhand der Kriterien Volumen und Form modelliert. Als angestrebtes Volumen gilt das annähernd physiologische enddiastolische Ventrikelvolumen von 152 ± 33 ml [3]. Die hämodynamisch günstigste Form ist das Ellipsoid und dient somit als Vorlage für die Templates [5]. Aufgrund der manuellen Modellierung können die individuell unterschiedlichen Ausprägungen der jeweiligen Herzmuskelerkrankung beachtet werden und im Segmentiervorgang berücksichtigt werden.

In einem weiteren Schritt wird der Herzmuskel ebenfalls per 3D-Regiongrowing segmentiert, um Herzwandbeschaffenheit und Lage der Pappilarmuskeln abschätzen zu können. Aufgrund der komplexen Struktur des Herzmuskels und der nur gering abweichenden Grauwertunterschiede zwischen Myokard und umliegendem Gewebe muss hier manuell nachsegmentiert werden um das ausgedünnte Myokard sowie die Papillarmuskeln darzustellen. Um avitales Herzmus-

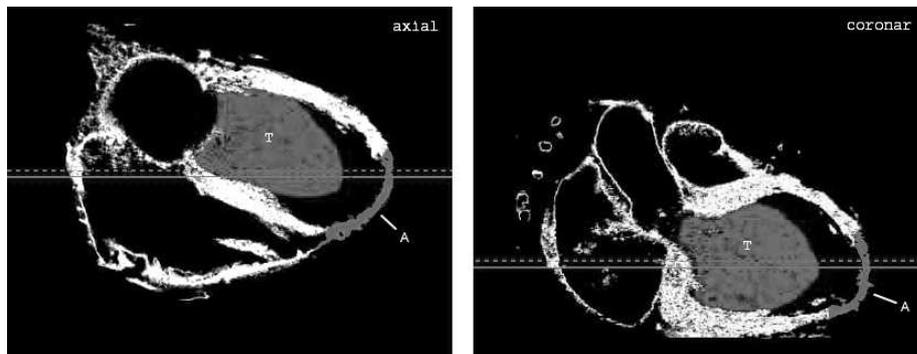


Abb. 1. Das individuell angepasste Template (T) ist in zwei Ebenen innerhalb des linken Ventrikels zu sehen. Die durchgezogenen Linien kennzeichnen die Schnittebene in der jeweils anderen Projektion. An der Herzspitze ist das akinetische Narbengewebe (A) gekennzeichnet.

kelgewebe zu verdeutlichen werden "late-enhancement" MRT-Daten [6] die der Visualisierung von Narbengewebe dienen, beurteilt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse über akinetisches Narbengewebe werden auf die CT-Daten projiziert und fließen so in den Segmentiervorgang ein (Abb. 1). Die Fusion der CT und MRT Daten wird zurzeit noch manuell vorgenommen.

3 Ergebnisse

Es konnten alle 20 Cardio-CT-Datensätze nach dem oben beschriebenen Schema ausgewertet werden und daraus 3D-Template-Modelle für Ventrikelrekonstruktionen erstellt werden (Abb. 2). Die erstellten Modelle haben ein durchschnittliches Volumen von 144 ml. Das durchschnittliche linksventrikuläre Volumen der segmentierten Herzdatensätze beträgt 343 ml (Abb. 2, Datensatz 21). Dies entspricht einer durchschnittlichen Ventrikelverkleinerung um 58%. Die geforderte ellipsoide Form konnte aufgrund der manuellen Modellierung entsprechend erreicht werden (Abb. 3). Die Erkenntnisse der "late-enhancement" MRT Untersuchungen konnten auf die Datensätze übertragen und farblich markiert werden.

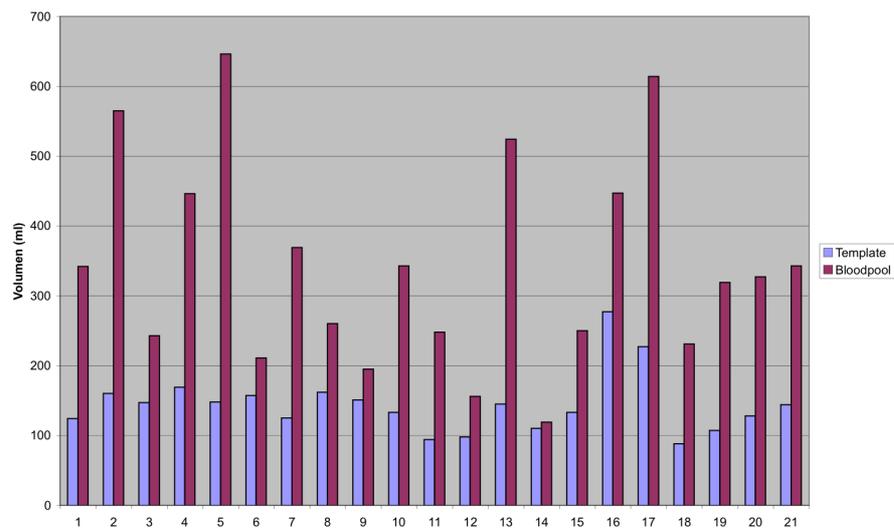


Abb. 2. Volumen der ausgewerteten Ventrikel sowie der modellierten Templates, wobei der Datensatz 21 den jeweiligen Durchschnittswert kennzeichnet.

4 Diskussion

Die Erstellung patientenindividueller Templatemodelle aus Cardio-CT-Daten ist durch die Anwendung der hier dargestellten Methode geglückt. Denkbare Vorteile der Templates sind eine verbesserte präoperative Geometrie- und Volumenplanung, die an die individuellen Unterschiede und Ausprägungen der Herzmuskelkrankungen der Patienten angepasst werden kann. So kann ein Template für einen Patienten mit einem rein sacculären Herzmuskelaneurysma, außer im Bereich des Aneurysmas, im wesentlichen dem präoperativen linksventrikulären Blutpool entsprechen, während ein global dilatierter Ventrikel einer Neumodellierung der gesamten Ventrikelgeometrie bedarf. Durch diese individuelle Anpassung sollen mit Hilfe der Templates verbesserte Operationsergebnisse erreicht werden.

Das in der Studie erreichte durchschnittliche Templatevolumen von 144 ml liegt im Rahmen des von Cherniavsky et al. [7] beschriebenen gewünschten Ventrikelvolumen von 152 ± 33 ml. Das annähernd physiologische Ventrikelvolumen gewährleistet dem Patienten aufgrund der verringerten Volumenbelastung und der daraus resultierenden Abnahme der Ventrikelwandspannung eine Entlastung des Myokards und somit eine Verbesserung der Ejektionsfraktion. Lediglich zwei Templatemodelle sind größer als dieses geforderte Volumen und bedürfen einer

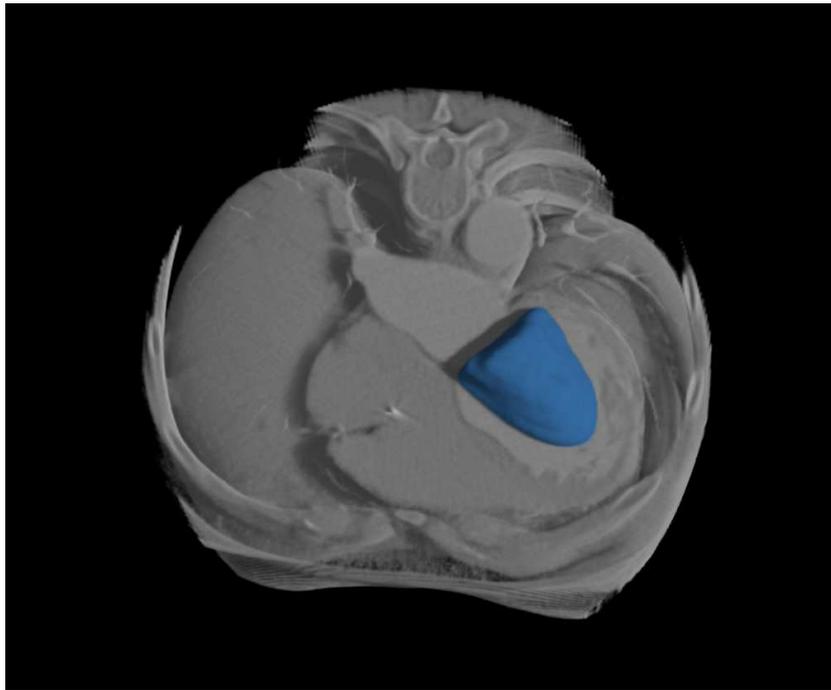


Abb. 3. 3D-Rekonstruktion eines Templates innerhalb einer Thorax Rekonstruktion

weiteren Nachsegmentierung. Fünf Templatemodelle weisen einen gering kleineren Wert auf. Bei diesen Modellen lag das präoperative Ausgangsventrikelvolumen aufgrund sacculärer Ventrikulaneurysmen schon unter dem Durchschnitt. Kritisch zu diskutieren ist die noch manuelle Modellierung der Templatemodelle, die zwar individuelle Besonderheiten der Erkrankungen berücksichtigt, allerdings tendenziell ungenau ist und der persönlichen Einschätzung des Modellierers unterliegt. Hierbei soll künftig eine variable ellipsoide Schablone, anhand derer das Template aus dem segmentierten Blutpool modelliert wird, hilfreich sein. Des Weiteren birgt die rein gedankliche Fusion der CT- und Late-Enhancement-MRT-Daten Potential für Ungenauigkeiten und Inkonsistenzen. Dies soll durch eine softwaregestützte Fusion der Daten verbessert werden. Somit wäre eine präzisere Übertragung der avitalen Myokardabschnitte von MRT- auf CT-Daten möglich. Diese Zusatzinformationen können dem Chirurg präoperativ ein komplexes Bild seines Operationsgebietes liefern und so zum verbesserten postoperativen Ergebnis beitragen. Neben den Verbesserungen der oben erwähnten technischen Einschränkungen sind in naher Zukunft die Erstellung und der Einsatz eines realen Templates auf Basis der Planung mittels 3D-Rapid-Prototyping [8] geplant. Im Anschluss soll insbesondere geklärt werden, ob es durch den klinischen Einsatz der individuell angepassten Templates zu tatsächlichen Verbesserungen der Operationsergebnisse gegenüber der bisherigen Vorgehensweise kommt.

Literaturverzeichnis

1. Zardini P, Marino P, Golia G, et al. Ventricular remodelling and infarct expansion. *Am J Cardiol.* 1993;72:96G–106G.
2. Menicanti L, Di Donato M. The dor procedure: What has changed after fifteen years of clinical practice? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2002;124:886–890.
3. Bartz D, Orman J, Gürvit O. Accurate volumetric measurements of anatomical cavities. *Methods Inf Med.* 2004;43(4):331–335.
4. Salah Z, Orman J, Bartz D. Live-wire revisited. *Proc BVM.* 2005; p. 158–162.
5. Buckberg G. Basic science review: The helix and the heart. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2002;124:863–883.
6. Gerber B, Garot J, Bluemke D, et al. Accuracy of contrast-enhanced magnetic resonance imaging in predicting improvement of regional myocardial function in patients after acute myocardial infarction. *Circulation.* 2002;106:1083.
7. Cherniavsky A, Karaskov A, Mechanenko A, et al. Preoperative modelling of an optimal left ventricle volume for surgical treatment of ventricular aneurysms. *Eur J Card Thorac Surg.* 2001;20:777–782.
8. Jacobs S, Grunert R, Mohr F, et al. 3D-imaging of cardiac structures using 3D heart models for planning in heart Surgery: A preliminary study. *Interact Cardio Vasc Thorac Surg.* 2008;7:6–9.