

Planung und Simulation von Patchimplantaten zur intrakardialen Korrektur angeborener Herzfehler

Urte Rietdorf¹, Eugénie Riesenkampff², Tobias Schwarz¹, Titus Kuehne²,
Hans-Peter Meinzer¹, Ivo Wolf^{1,3}

¹Abteilung für Medizinische und Biologische Informatik, DKFZ Heidelberg

²Abteilung Kinderkardiologie und Angeborene Herzfehler, DHZB Berlin

³Institut für Medizinische Informatik, Hochschule Mannheim

`u.rietdorf@dkfz.de`

Kurzfassung. Chirurgische Korrekturen durch Rastelli-artige Operationen bei angeborenen Herzfehlern wie dem Double Outlet Right Ventricle (DORV) oder einer Transposition der großen Arterien (TGA) erfordern eine möglichst genaue Kenntnis der Anatomie des Herzens. Bei diesem Eingriff werden Fehlsprünge der großen Gefäße korrigiert, in dem mit Hilfe eines Patches eine tunnelartige Verbindung geschaffen wird, um so das Blut des linken Ventrikels in die Aorta zu leiten und gleichzeitig den Ventrikelseptumdefekt (VSD) zu verschließen. Die Planung des Patches muss unter Berücksichtigung der Anatomie erfolgen, um die Funktion nicht zu gefährden. So darf durch den Tunnel weder die Trikuspidalklappe noch der rechtsventrikuläre Ausflusstrakt behindert werden. Zur genaueren Visualisierung der Anatomie und zur Planung des Tunnels wurde daher eine Software entwickelt. Mit dieser ist es möglich, den Tunnel innerhalb des Herzens vom linken Ventrikel zum Gefäßsprung durch den VSD dreidimensional zu planen, interaktiv zu verschieben und sich abschließend einen zweidimensionalen Schnittplan zur Konstruktion des Tunnelpatches zu erstellen. Auf diese Weise können Prozeduren bezüglich ihrer technischen Machbarkeit präoperativ evaluiert werden.

1 Einleitung

Bei schweren Fehlbildungen des Herzens kann es durch eine fehlende Trennung des arteriellen und venösen Blutkreislaufes zu Funktionsbeeinträchtigungen der Herzfunktion kommen. Durch Anomalien des Ursprungs der großen Gefäße, wie sie beim Double Outlet Right Ventricle (DORV) oder einer Transposition der großen Arterien (TGA) vorkommen, sind die Blutflussverhältnisse oft so beeinträchtigt, dass ein normales Leben des Patienten nicht möglich ist. Zur chirurgischen Korrektur dieser Herzfehler gibt es die Option der Rastelli-artigen Operation. Hierbei wird der linke Ventrikel durch die Implantation eines Patchmaterials tunnelartig mit der Aorta durch den VSD verbunden (Abb. 1). Durch dieses Verfahren wird ein normaler Blutkreislauf etabliert.

Die Schwierigkeit dieser Operation liegt darin, die Lage und Form des einzusetzenden Patchmaterials so zu planen, dass wichtige Strukturen wie der Ausflusstrakt des rechten Ventrikels oder die Atrio-Ventrikuläre Klappe nicht beeinträchtigt werden. Derzeit erfolgt die Planung des Eingriffes einzig auf der Analyse der Bilddaten. Eine Softwarelösung zur Visualisierung der intrakardialen dreidimensionalen Struktur und zur Planung der Operation mit Patchvorschlag existiert nicht [1].

2 Material und Methoden

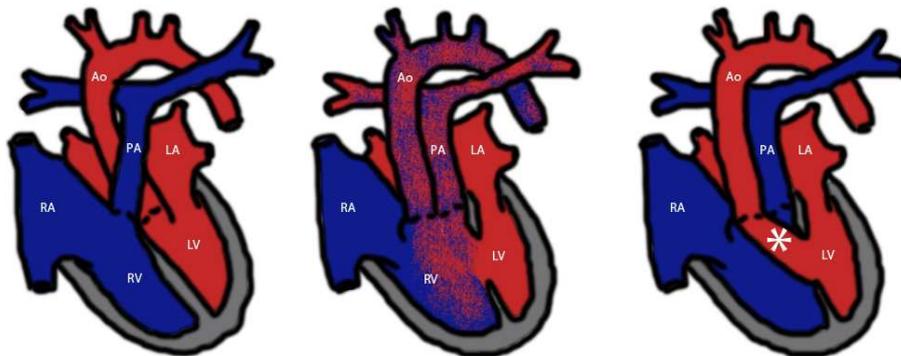
Um die Planung einer Rastelli-artigen Operation zu vereinfachen, wurde innerhalb des Medical Imaging und Interaction Toolkits MITK[2] eine Softwareapplikation erstellt. MITK ist ein Softwareframework zur Erstellung interaktiver medizinischer Applikationen, und basiert auf den Toolkits Imaging Toolkit ITK[3] und Visualization Toolkit VTK der Firma Kitware. Die Erstellung der Patchplanung erfolgt in drei Schritten:

1. Dreidimensionale Visualisierung der Herzstrukturen zur Analyse der Anatomie
2. Positionierung des Patchmaterials
3. Planung der Form des Patchmaterials

Abbildung 2 zeigt den Datensatz eines DORV vor der Planung eines Patches.

2.1 Visualisierung der Herzstrukturen

Die Orientierung innerhalb des schichtbasierten Herzdatensatzes zur Positionierung der Start- und Endbereiche des Patchmaterials kann sehr schwierig und



RA = Rechter Atrium; RV = Rechter Ventrikel; LA = Linker Atrium; LV = Linker Ventrikel; Ao = Aorta, PA = Pulmonalarterie, * = Tunnel

Abb. 1. Schematische Abbildung des Blutkreislaufs in einem gesunden Herzen (links), bei einem DORV (mitte), und nach einem Rastelli-artigen Eingriff (rechts).

aufwändig sein. Um die Positionierung des einzusetzenden Materials zu vereinfachen und somit eine adäquate Konstruktion zu ermöglichen, können die relevanten betroffenen Bereiche des Herzens, anhand derer geplant wird, als dreidimensionales Polygongitternetz dargestellt werden. Diese dreidimensionale Visualisierung ermöglicht das Setzen der Start- und Endpunkte des Patchmaterials in sowohl zwei- als auch dreidimensionalen Ansichten. Zur Generierung des Polygonmodells wird hierzu auf einem zuvor mittels eines Bounding Objects[4] definierten Ausschnittes des Datensatzes der schwellwertbasierte Marching-Cube Algorithmus[5] angewendet. Um zu vermeiden dass das Polygonnetz an den Bildkanten des definierten Bereiches abbricht, wird das neu erzeugte Bild der Region of Interest an den Rändern um einige dunkle Pixelreihen erweitert.

2.2 Positionierung des Tunnels

Soll ein Patchmaterial zur Konstruktion eines Tunnels eingesetzt werden, um so den Blutfluss des Herzens zu korrigieren, muss definiert werden, wo das Patchmaterial implantiert wird. Hierzu wird auf den erzeugten Oberflächenmodellen der Tunnelanfang und das Ende definiert, indem Punkte an den Start- und Endbereichen ringförmig um die Ausflussbereiche gesetzt werden. Dabei können die Punkte automatisch um einen Startpunkt herum gesetzt, anschließend jedoch manuell verschoben werden, um so neben der Position auch die Größe des zu erstellenden Tunnels zu beeinflussen. So kann beispielsweise unabhängig vom echten Ausmaß des VSDs bereits geplant werden, auf welchen Durchmesser er skaliert werden muss.

Zwischen Start- und Endring werden durch eine Pose-Interpolation[6] eine beliebige Anzahl weiterer ringförmig angeordneter Punkte erzeugt. Diese definieren die Tunnelwand. Nach Abschluss der Ringpositionierung werden alle den Tunnel definierenden Punkte in ein Oberflächenmodell integriert, welches dem Anwender den Tunnel dreidimensional visualisiert.

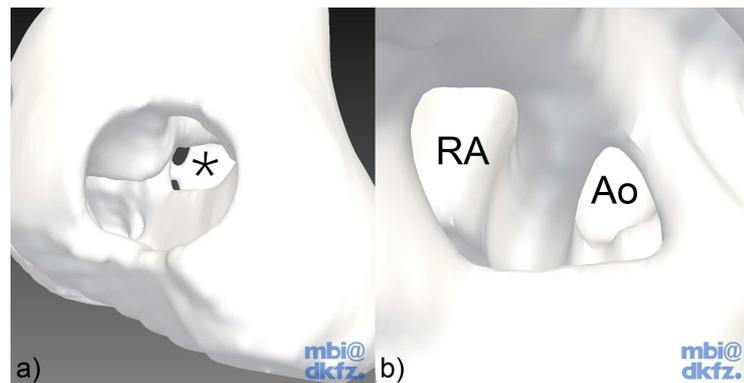


Abb. 2. Darstellung eines DORV. (a); Blick in den RV auf den VSD; (b): Blick aus dem LV durch den VSD auf die Ao.

2.3 Planung der Grösse und Form

Um den Patch entsprechend seiner Form und Größe vorbereiten zu können, muss ein zweidimensionaler Schnittplan des Tunnels erstellt werden. Hierzu werden entlang der Tunnelmittellinie die Umfänge ermittelt. Unter Berücksichtigung der Krümmung des Tunnels werden die Mittellinienpositionen und dazugehörigen Umfänge in ein Diagramm übertragen, und als Schnittvorschlag ausgegeben.

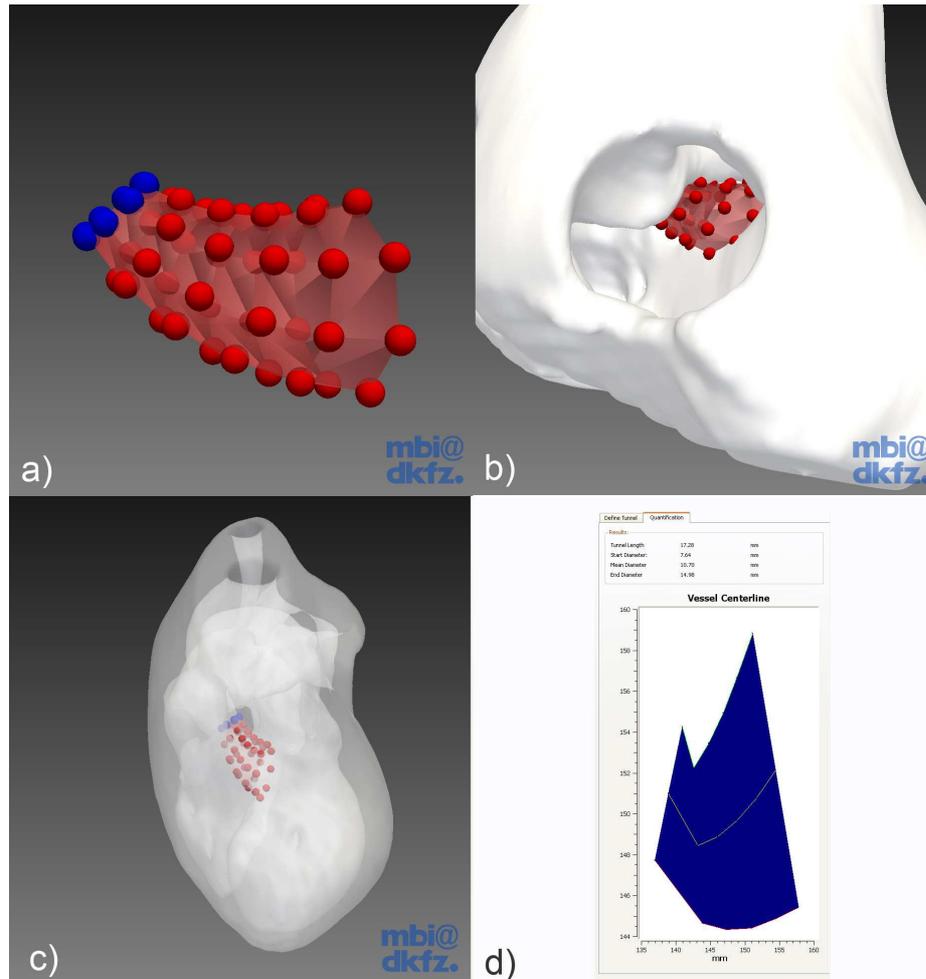


Abb. 3. Konstruierter Tunnel zwischen dem Aortenursprung und dem linken Ventrikel durch den Ventrikelseptumdefekt. (a): konstruierter Tunnel; (b): Ansicht von außerhalb des RVs; (c): Ansicht von schräg oben; (d): Quantifizierung des Tunnels und Patchvorschlag.

3 Ergebnis

Entstanden ist eine Software, mit der eine interaktive, dreidimensionale Planung eines Patches zur Konstruktion eines intrakardialen Tunnels ermöglicht wird. Dazu werden anhand der akquirierten MRT-Daten die vom Anwender definierte Bereiche des Herzen als dreidimensionale Oberflächenmodelle visualisiert. Anhand dieser kann anschließend der Verlauf des Tunnels definiert, manipuliert und visualisiert werden. Nach abgeschlossener Planung des Tunnels wird dieser in ein zweidimensionales Schnittmuster umgerechnet und ausgegeben, um eine Vorlage zur Erstellung des Patches zu liefern. Abbildung 3 zeigt den generierten Tunnel zwischen dem linken Ventrikel und der Aorta in verschiedenen Ansichten, sowie die Quantifikation des Tunnels und den zweidimensionalen Patchvorschlag.

4 Diskussion

Mit Hilfe der entwickelten Software ist es möglich, angeborene kardiale Anomalien wie DORV oder TGA als dreidimensionale Polygondaten darzustellen. Anhand dieser Visualisierung kann interaktiv ein Tunnel zur Rastelli-artigen chirurgischen Korrektur des Herzfehlers geplant und simuliert werden. Der entstandene Tunnel wird quantifiziert und als Patchvorschlag visualisiert, um den Chirurgen bereits präoperativ bei der Planung des Eingriffs zu unterstützen. Dadurch soll eine Prozedur bezüglich ihrer technischen Machbarkeit präoperativ evaluiert werden und idealer Weise die intraoperative Eingriffszeit vermindert und Risiken vermieden werden.

Literaturverzeichnis

1. Schumacher G, Hess J, Bühlmeier K. Klinische Kinderkardiologie Diagnostik und Therapie der angeborenen Herzfehler. 4th ed. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2008.
2. Wolf I, Vetter M, Wegner I, et al. The medical imaging interaction toolkit (MITK). *Med Image Anal.* 2005;9:594–604.
3. Ibanez L, Schroeder W. The ITK Software Guide. Insight Software Consortium; 2003.
4. Vetter M, Neuhaus J, Wegner I, et al. Bounding-object segmentation. *Proc SPIE.* 2005;5747:1628–35.
5. Lorensen WE, Cline HE. Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. *Com Graph.* 1987;21(4):163–9.
6. Rossignac JR, Kim JJ. Computing and visualizing pose-interpolating 3D motions. *Computer-Aided Design.* 2001;33(4):279–91.