Die automatische Orientierung im Bildmaterial des Herzens - Anwendung in der klinischen Routine

A.Schroeder[1], A.M.Demiris[2], J.Albers[1], M.H.Makabe[2], G. Weisser [3], H.P.Meinzer[2], C.F.Vahl[1], S.Hagl[1]

[1] Chirurgische Klinik der Universität Heidelberg, Labor für Herzchirurgie,
Im Neuenheimer Feld 326, 69120 Heidelberg
Antje.Schroeder@urz.uni-heidelberg.de
[2] Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. Medizinische und Biologische Informatik,
Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg
[3] Universität Heidelberg, Klinikum der Stadt Mannheim, Institut für Klinische Radiologie,
Theodor-Kutzer-Ufer 1-3, 68167 Mannheim

Zusammenfassung: Die präoperative Planung cardiochirurgischer Eingriffe basierend auf standardisierten dreidimensionalen Rekonstruktionen eines vermuteten Defektes ist für den Herzchirurgen besonders wünschenswert. Um Verfahren zur Erstellung derartiger Ansichten allerdings in der klinischen Routine etablieren zu können, muß dieser Vorgang möglichst automatisch und mit einer intuitiv bedienbaren Oberfläche durchführbar sein. In folgenden Beitrag wird ein prototypisches System dazu vorgestellt.
Schlüsselwörter: Operationsplanung, Herzchirugie, Visualisierung, Segmentierung.

1 Einleitung und Motivation

In der Herzchirurgie bietet der Einsatz computerunterstützter Verfahren erheblich verbesserte Möglichkeiten zur präoperativen Planung eines Eingriffs. Die bisherige Planung wird entweder intraoperativ am offenen Herzen durchgeführt oder aber basiert auf zweidimensionalem Bildmaterial (Herzkatheterfilme, Angiographien) oder Schichtbildern, wie sie die Computer- und die Magnetresonanztomographie liefern. Beide Vorgehensweisen haben gravierende Nachteile.

Die intraoperative Planung ist unter zwei Gesichtspunkten problematisch. Erstens findet die Operation unter einem großen Zeitdruck statt, da der Patient an die Herz-Lungenmaschine angeschlossen ist und das Herz somit nicht durchblutet wird. Dieser Zustand sollte trotz Einsatz cardioprotektiver Lösungen nicht allzu lange beibehalten werden. Zweitens liegt das Herz, wenn es von der Blutversorgung abgekoppelt ist, erschlafft im Herzbeutel, so daß in dieser Situation die in vivo vorliegenden Verhältnisse nicht widergespiegelt werden. Dadurch erfordert der Eingriff ein hohes Maß an Erfahrung seitens des Operateurs. Zweidimensionales Bildmaterial kann die räumlichen Zusammenhänge komplexer cardialer Fehler nicht ausreichend abbilden, so daß eine

große Erfahrung zur Beurteilung erforderlich ist.

Diese Gründe zeigen deutlich, daß eine computerunterstützte Operationsplanung basierend auf standardisierten dreidimensionalen Rekonstruktionen für den Herzchirurgen in seiner täglichen Routine von großem Nutzen ist. Die hierzu entwickelte Vorgehensweise wird als problemorientierte Visualisierung bezeichnet. In Abhängigkeit von der Verdachtsdiagnose wird geeignetes Bildmaterial akquiriert. In diesem Bildmaterial werden das Herz und alle für die Verdachtsdiagnose relevanten intracardialen Strukturen segmentiert. Anschließend werden defektangepaßte Visualisierungen erstellt, die den Herzchirugen bei der Entscheidung für oder gegen eine Operationsstrategie unterstützen.

2 State of the Art

Die computerunterstützte Operationsplanung gewinnt in vielen Bereichen der Medizin zunehmend an Bedeutung. Mögliche Einsatzgebiete sind beispielsweise die Planung von Zugangswegen zu einem Tumor in der Neurochirurgie oder aber die Resektionsplanung von Lebertumoren [1]. Für die Herzchirurgie zeigten [2] und [3] den Nutzen, den eine präoperative Planung basierend auf 3D-Rekonstruktionen haben kann. Speziell zur Veranschaulichung komplexer morphologischer Zusammenhänge, wie sie bei angeborenen Herzfehlern vorliegen, eignet sich diese Art der Darstellung besonders gut. Es wird aber auch gleichzeitig der Nachteil fehlender Automatisierung erwähnt. Durch den großen zeitlichen Aufwand, der aufgrund der manuellen Segmentierung für die Erstellung dieser Ansichten notwendig ist, sind diese Verfahren in der täglichen Routine praktisch nicht einsetzbar. Es gibt zwar mittlerweile unterschiedlichste Anwendungsbereiche, die aber jeweils nur spezifische Fragestellung basierend auf Bildmaterial einer jeweils geeigneten Modalität behandeln. Beispielhaft sind die Bestimmung der linksventrikulären Masse in MR-Bilddaten [4] oder aber die Darstellung congenitaler Vitien, wie oben schon erwähnt. Die verwendeten Verfahren sind dabei allerdings nur auf die jeweilige Fragestellung zugeschnitten und erfordern trotz allem noch einen Großteil an Interaktion seitens des Benutzers.

3 Präoperative Planung in der klinischen Routine

Wie zuvor gezeigt, ist eine computerunterstützte Operationsplanung wünschenswert. Um allerdings derartige Verfahren in die klinische Routine bringen zu können, müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein. Zum einen sollten die Verfahren mit möglichst wenig Benutzerinteraktion ablaufen. Zum anderen müssen sie in eine intuitiv bedienbare Benutzeroberfläche integriert sein.

3.1 Orientierung im Bildmaterial als Voraussetzung für eine Automatisierung

Für die Erstellung der standardisierten Rekonstruktionen sind zwei Arbeitsschritte notwendig, zum einen die Segmentierung aller relevanten Strukturen im Bildmaterial und

zum anderen eine geeignete Wahl der Beleuchtungsparameter für den Visualisierungsprozeß. Um den damit verbundenen Zeitaufwand zu reduzieren, wird eine automatische Orientierung im Bildmaterial benötigt, die das Auffinden aller für den vermuteten Defekt relevanten Strukturen ermöglicht. Dazu ist es notwendig, das anatomische Wissen in geeigneter Weise algorithmisch abzubilden, so daß es auf Bildmaterial beliebiger Modalitäten und beliebiger Schichtorientierung anwendbar ist.

Diese Orientierung muß drei Aufgaben erfüllen:

- die Identifikation der ROI (Herz) innerhalb der Schichten,
- die Einordnung der Schichten hinsichtlich ihrer Lage innerhalb des Herzens,
- die Identifikation aller relevanten intracardialen Strukturen.

Dies geschieht durch die Ausnutzung der im DICOM-Bildheader vorhandenen Informationen und durch die Anwendung von Merkmalen wie Lage, Form und Kontrast auf das Bildmaterial [5]. Die somit gewonnenen Informationen werden unterstützend sowohl für die Segmentierung intracardialer Strukturen eingesetzt als auch zur Wahl geeigneter Visualisierungsparameter wie Standpunkt und Blickrichtung herangezogen.

3.2 Benutzeroberfläche

Die entwickelten Algorithmen wurden mitsamt einer ergonomischen, graphischen Benutzeroberfläche (Abb. 1) in ein prototypisches System integriert, dessen Ziel die Erstellung standardisierter Ansichten eines vermuteten Defekt ist. Nach Festlegung der Diagnose erhält der Anwender eine Taskliste, die ihm diagnoseabhängig alle relevanten Arbeitsschritte vorschlägt. Zunächst muß unabhängig von der Diagnose das Ventrikelseptum durch drei Punkte markiert werden. Diese dienen als Anhaltspunkt für den weiteren Orientierungsprozeß, der auf der Ausnutzung räumlicher Zusammenhänge und anatomischen Wissens sowie der Erkennung von Formmerkmalen beruht. Anschließend wird das Herz als ROI segmentiert. Diese Segmentierung ist an die im Rahmen des SFB 414, Informationstechnik in der Medizin „Rechner- und sensorgestützte Chirurgie“ entwickelten Algorithmen angelehnt und beruht auf der adaptiven Segmentierung [6], bei der die Segmentierung des Herzens über die Innenkontur der leicht identifizierbaren Lungen erfolgt. Nach und nach werden alle für die Diagnose relevanten intracardialen Strukturen segmentiert. Die Segmentierungsergebnisse können interaktiv korrigiert werden (Illusionskanten, Konturverfolgung, Region Growing). Abschließend werden die Parameter für den Visualisierungsalgorithmus berechnet. Es werden zunächst standardisierte Ansichten (Rundflüge um einen Defekt, Annäherung an einen Defekt) generiert, die der Benutzer durch Variation von Standpunkt und Blickrichtung interaktiv an die spezifische Morphologie anpassen kann.

4 Ergebnisse

Dieses Verfahren wurde auf Bildmaterial verschiedener Modalitäten (MR und EBT), beliebiger Schichtorientierung und unterschiedlicher Sequenzen angewendet. Auf diese Art war die Beurteilung verschiedener cardialer Defekte möglich. Es konnten bei-

Abb. 1: Prototyp der Benutzeroberfläche

spielsweise Lage und Größe eines Vorhofseptumdefekts (Abb. 2) oder die Lage und Ausdehnung eines Vorhoftumors (Abb. 3) qualitativ untersucht und dreidimensional dargestellt werden. Das System findet in der klinischen Routine in der letzten Phase der Operationsplanung Anwendung. Nachdem eine dem Defekt angepaßte Bildakquisition durchgeführt worden ist, wird das System für die Planung des Eingriffs eingesetzt und unterstützt somit den Chirurgen bei der Entscheidung für eine Operationsstrategie.

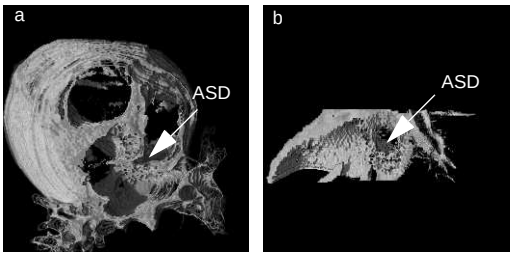

Abb. 2: Zwei unterschiedliche Ansichten eines Vorhofseptumdefektes (ASD). Aufsicht (a) und Blick vom rechten in den linken Vorhof (b)

5 Ausblick

Durch den Einsatz eines Systems, wie es hier vorgestellt wurde, wird es möglich, eine präoperative Operationsplanung basierend auf standardisierten 3D-Rekonstruktionen durchzuführen. Bei der bisherigen Implementierung handelt es sich allerdings nur um ein protypisches System, dessen Einfachheit der Bedienung und Praktikabilität in der klinischen Routine noch evaluiert werden müssen. Aus diesem Grund ist eine Akzep-

tanzstudie in einer herzchirurgischen Abteilung geplant.

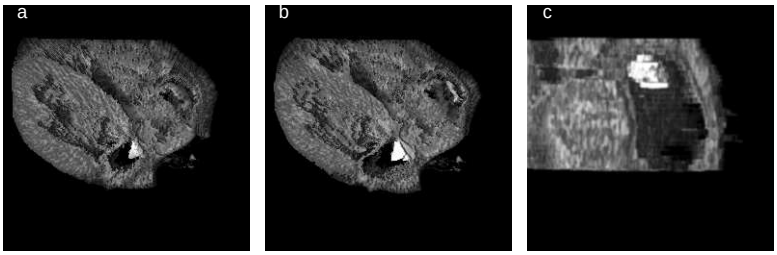

Abb. 3: Unterschiedliche Ansichten eines Vorhoftumors. Aufsicht (a und b) und Blick in den linken Vorhof hinein (c)

Danksagung

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

Literatur

1. Glombitza G, Lamade W, Demiris AM, Göpfert MR, Mayer A, Bahner ML, Meinzer HP, Wunsch C, Lehnert T, Herfarth C: Technical Aspects of Virtual Liver Resection Planning. International Journal of Medical Informatics, (in print).
2. Vahl CF, Meinzer HP, Hagl S: Three-Dimensional Presentation of Cardiac Morphology. The Thoracic and Cardiovascular Surgeon, Vol 39 (Suppl III), (1991), 198-204.
3. Vannier MW, Gutierrez FR, Laschinger JC: Three Dimensional Magnetic Resonance Imaging. Topics in Magnetic Resonance Imaging, 2(2), (1990), 61-65.
4. Balzer P, Furber A, Cavaro Menard C, Croue A, Tadei A, Geslin P, Jallet P, Le Jeune JJ: Simultaneous and Correlated Detection of Endocardial and Epicardial Borders on Short Axis MR Images for the Measurement of Left Ventricular Mass. Radiographics, 18(4), (1998), 1009-1018.
5. Schroeder A, Demiris AM, Alber J, Meinzer HP: Hierarchische Identifikation von Merkmalen zur automatischen Orientierung im Bildmaterial des Herzens. In Lehmann T, Metzler V, Spitzer K, Tolxdorff T (Eds). Informatik Aktuell - Bildverarbeitung für die Medizin 1998 - Algorithmen, Systeme, Anwendungen. Berlin Heidelberg, New York: Springer (1998), 244-247.
6. Makabe MH, Albers J, Schroeder A, Heiland M, Vahl CF, Meinzer HP. Adaptive segmentation and standardized visualization of aortic stenosis in tomographical image data for cardiac surgery planning. In: Lemke HU, Vannier MW, Inamura K, Farman A (Eds). CAR'98 - Computer Assisted Radiology and Surgery. Amsterdam: Elsevier (1998) 753-758.