Klinische Erprobung eines echokardiographischen Auswertesystems

Ivo Wolf, Raffaele De Simone*, Gerald Glombitza,
Kilian Lorenz, Hans-Peter Meinzer

Deutsches Krebsforschungszentrum, Abt. MBI / H0100
Im Neuenheimer Feld 280, 69120 Heidelberg
*Chir. Universitätsklinik Heidelberg, Abt. Herzchirurgie
Im Neuenheimer Feld 110, 69120 Heidelberg
Email: I.Wolf@dkfz.de

Zusammenfassung. Dreidimensionale Doppler-echokardiographische Verfahren liefern eine Vielzahl qualitativ hochwertiger diagnostischer Informationen. Die Funktionen eines von uns entwickelten integrierten echokardiographischen Auswertesystems und erste Erfahrungen seines klinischen Einsatzes werden präsentiert.

1 Einleitung

Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems sind eine der häufigsten Todesursachen in hochentwickelten Gesellschaften. Entsprechend hoch ist das medizinische Interesse an geeigneten, möglichst quantitativen Diagnosemöglichkeiten. Die transösophageale, dreidimensionale Doppler-Echokardiographie verspricht gegenüber anderen Verfahren genauere und schonendere Messungen diagnostischer Parameter.

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit dreidimensionaler Doppler-ultraschallbasierter Methoden wurde von uns ein integriertes Auswertesystem entwickelt, das nun in die klinische Erprobung geht. Dazu gehört auch der Einsatz direkt im Operationssaal.

2 Material und Methoden

Verarbeitet werden transösophageale, drei- bzw. vierdimensionale echokardiographische Daten. Die transösophageale Doppler-Echokardiographie ist ein Ultraschallverfahren, bei dem der Ultraschallkopf durch die Speiseröhre eingeführt wird. Neben der Abbildung des Gewebes gewinnt man gleichzeitig mit Hilfe des Dopplereffekts Informationen über die Bewegung von Objekten, insbesondere von Blut. Drei- bzw. vierdimensionale Aufnahmen werden meist mittels Rotationsakquisition realisiert, d. h. es wird – EKG-getriggert – eine zweidimensionale Schicht über alle Zeitpunkte aufgenommen und dann um einen bestimmten Winkelschritt weiterrotiert. Das Ergebnis ist eine Aufnahme in Zylinderkoordinaten.

Die Funktionen des Auswertesystem werden im Folgenden vorgestellt. Einige der Verfahren der in Zusammenarbeit mit der Herzchirurgischen Abteilung der Universi-

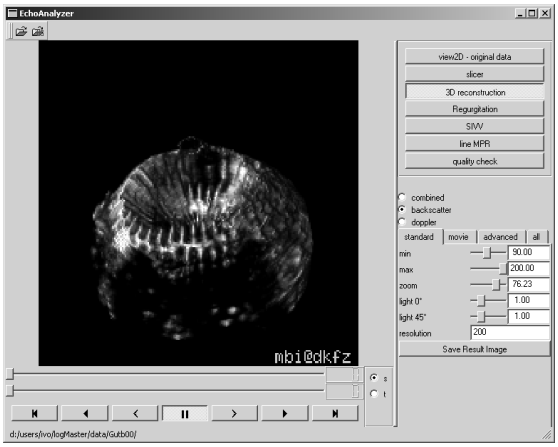

Abb. 1. Die Oberfläche des Auswertesystems.

tät Heidelberg entwickelten Verfahren wurden bereits früher beschrieben [1,2,4]. Durch die Integration dieser Methoden in ein vom Arzt selbstständig bedienbares System ist nun jedoch erstmals eine ausführlichere Erprobung im Routine-Einsatz möglich (Abb. 1).

2.1 Zweidimensionale Visualisierung

Zunächst erlaubt das Auswertesystem die Darstellung der Aufnahmen in der vom Ultraschallgerät gewohnten, zweidimensionalen Form. Zusätzlich lassen sich Geschwindigkeits- und Turbulenz-Information aus dem Dopplersignal auch separat anzeigen. Bei Rückströmungen infolge von Herzklappendefekten, sogenannten Regurgitationsjets, treten starke Turbulenzen auf, die durch separate Darstellung der Turbulenz-Information von sekundären Verdrängungsflüssen gut abgegrenzt werden können. Außerdem sind Schnittbild-Darstellungen in anderen als den ursprünglich aufgenommenen Ebenen möglich (multiplanare Rekonstruktion).

2.2 Dreidimensionale Rekonstruktion

Die Visualisierung der drei- oder vierdimensionalen Daten mit Hilfe von Raytracing ist eine weitere Funktion des Systems. Als Raytracer kommt eine angepasste Version des Heidelberger Raytracing Modells zum Einsatz [1].

Die 3D-Darstellung erfolgt mit denselben Farben wie im zweidimensionalen Fall und kann zwischen kombinierter Gewebe/Doppler-, nur Gewebe- und nur Doppler-Darstellung umgeschaltet werden. Das Volumen – bzw. bei vierdimensionalen Daten die Serie von Volumen – lässt sich auf einem heute handelsüblichen PC interaktiv drehen. Vierdimensionale Daten werden in ihrer zeitlichen Abfolge abgespielt.

Durch die dreidimensionale Rekonstruktion lassen sich Form und Ursprung von Regurgitationsjets bestimmen und damit die Ursache von Herzklappendefekten näher eingrenzen.

Die Entscheidungsgrundlage, ob eine Rekonstruktion einer defekten Herzklappe möglich ist oder ein Ersatz der Herzklappe vorgenommen werden muss, wird durch die dreidimensionale Darstellung verbessert. Die häufig asymmetrischen Regurgitationsjets sind in zwei Dimensionen nur unzureichend zu beurteilen.

Die Diagnose, dass eine Rekonstruktion der Herzklappe möglich ist und daher auf den Einsatz einer Herzklappenprothese verzichtet werden kann, bedeutet einen deutlichen Vorteil für den Patienten. Natürliche Herzklappenprothesen verkalken und degenerieren mit der Zeit, haben also nur begrenzte Lebensdauern, während die praktisch unbegrenzt haltbaren Kunststoffprothesen lebenslang die Einnahme von Gerinnungshemmern zur Thromboseprävention erfordern. Rekonstruktionen werden vor allem bei Mitral- und Trikuspidalklappen vorgenommen, da bei Aortenklappen die Erfolgsrate niedrig ist.

Die Interaktivität des Auswertesystems erlaubt nun auch den Einsatz der Methode direkt im Operationssaal. Insbesondere ist also die Kontrolle einer Rekonstruktionsmaßnahme noch vor Schließung des Thorax möglich.

2.3 Ejektionsfraktion

Neben diesen mehr qualitativen Methoden verfügt das Auswertesystem auch über mehrere quantitative Messfunktionen.

Ein wichtiger diagnostischer Parameter ist die Ejektionsfraktion, die als Verhältnis zwischen endsystolischem und enddiastolischem Volumen des linken Ventrikels oder rechten Ventrikels (rechtsventrikuläre Ejektionsfraktion) definiert und ein Maß für die Herzleistung ist. Die Änderung der Ejektionsfraktion durch einen operativen Eingriff ist bei der Revitalisierung von minderversorgten Herzmuskelarealen durch eine Bypassoperation interessant. Bei erfolgreichem Verlauf der Operation nehmen die durch den Bypass nun ausreichend mit Blut versorgten Bereiche des Herzmuskels wieder an der Kontraktion teil, was zu einer Erhöhung der Herzleistung und somit der Ejektionsfraktion führt. Auch hier ist ein interoperativer Einsatz bei offenem Thorax zur Kontrolle des Operationserfolgs wünschenswert.

Zur Messung von Volumina von Herzhohlräumen steht eine Segmentierungsfunktion zur Verfügung, die weitgehend automatisch abläuft [2]; falls notwendig, ist eine interaktive Korrektur möglich. Eine solche dreidimensionale Vorgehensweise bei der Volumenbestimmung verspricht eine höhere Zuverlässigkeit als die heute noch häufig zum Einsatz kommenden zweidimensionalen Abschätzungen.

Zur Evaluation der Methodengenauigkeit führen wir einen Vergleich mit kathetergestützten Verfahren durch. Zum einen ist dies die Thermodilution, bei der ein Bolus eisgekühlter NaCl-Lösung in den Vorhof injiziert wird. Aus dem Temperaturverlauf lässt sich die Ejektionsfraktion berechnen. Als zweite Vergleichsmethode wird ein modifizierter Pulmonaliskatheder verwendet, einer Weiterentwicklung des Vigilance®-Systems der Firma Baxter Healthcare (Irvine, USA), mit dem kontinuierliche Ejektionsfraktionsmessungen durchführbar sind. Untersucht werden 30 kardiochirurgische Patienten, die sich einer aortokoronaren Bypassoperation mit hypothermer extrakorporaler Zirkulation unterziehen müssen.

2.4 Schlagvolumen

Das Schlagvolumen ist das je Herzzyklus vom Herzen in den Körper gepumpte Blut und ist ebenfalls im Rahmen von Bypassoperationen von Interesse. Bei Abwesenheit von Regurgitation kann es als Differenz aus enddiastolischem und endsystolischem Volumen bestimmt werden.

Neben der Messung mittels der soeben erwähnten Segmentierungsfunktion besteht eine andere Möglichkeit zur Bestimmung des Schlagvolumens in der Integration der Geschwindigkeitsinformation des Dopplersignals über Halbkugeloberflächen während der Diastole. Diese sogenannte SIVV-Methode (Spherical Integration of Velocity Vectors) [3] ist ebenfalls in das Auswertesystem integriert. Der Vorteil der SIVV-Methode ist, dass sie auch dann eingesetzt werden kann, wenn das linksventrikuläre Volumen nicht komplett abgebildet wurde. Die Genauigkeit der Methode bei Einsatz des von uns verwendeten Ultraschallgeräts HP Sonos 5500 wird derzeit durch Messungen an einem Flussphantom überprüft.

2.5 Regurgitationsvolumetrie

Die erwähnte Segmentierung von Herzhohlräumen kommt innerhalb des Auswertesystems auch bei der Berechnung eines quantitativen Parameters für das Volumen des Regurgitationsjets zum Einsatz. Hierbei dürfen nur Strömungen, die im Vorhof auftreten, in die Berechnung einbezogen werden; der Vorhof muss also segmentiert werden. Die Trennung des eigentlichen Regurgitationsjets von sekundären Verdrängungsflüssen erfolgt unter Einbeziehung der im Dopplersignal enthaltenen Turbulenz-Information mit einem automatischen Schwellwertverfahren [1], das gegebenenfalls manuell korrigiert werden kann.

2.6 Flussprofildarstellung

Schließlich kann mit dem Auswertesystem auf der erwähnten multiplanaren Rekonstruktion die Verteilung der Geschwindigkeiten analysiert werden. Mit Hilfe des Dopplereffekts lässt sich nur die Geschwindigkeitskomponente in Richtung des Schallkopfs bestimmen. Diese Projektion des Geschwindigkeitsvektors auf die Schallrichtung kann in gewissen Grenzen korrigiert werden, wenn aus dem Strömungsbild die wahre Geschwindigkeitsrichtung abgelesen werden kann und für die Korrektur vorgegeben wird [4]. Die korrigierte Geschwindigkeitsverteilung lässt sich als Höhenprofil darstellen. Außerdem ist ein Vergleich mit theoretischen Strömungsverteilungen über Anpassung der Parameter der theoretischen Verteilung an die Messdaten möglich.

Die Kenntnis der Geschwindigkeitsverteilung ist interessant für die Beurteilung von künstlichen Aortenklappen, die vermutlich aufgrund unnatürlicher Blutströmungen in ihrer unmittelbaren Umgebung zu einer Schädigung der Blutbestandteile und damit zu der erhöhten Thrombosegefährdung der Patienten führen [5].

In der Herzchirurgischen Abteilung der Universität Heidelberg wurden bisher 45 Aortenklappen (gesunde und ein- bzw. zweiflügelige Kunststoffprothesen) zum

Zwecke der Evaluation des Verfahrens und zur Klärung der Frage, welche Bauart und Orientierung beim Einbau optimal ist, echokardiographisch aufgenommen.

Beim Einsatz der letztgenannten Funktion stellte sich heraus, dass die Triggerung des verwendeten 4D-Ultraschall-Akquisitionssystem gelegentlich nicht exakt arbeitet. Um schnell beurteilen zu können, ob eine 4D-Aufnahme ausreichend korrekt getriggert wurde, wurde ein Bewertungsverfahren entwickelt. Hierzu werden die Bildlinien auf der Achse des zylindersymmetrischen Aufnahmebereichs miteinander korreliert.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Das beschriebene echokardiographische Auswertesystem enthält eine Vielzahl von Funktionen zur Diagnose der Herzfunktion. Alle Komponenten des Systems sind in eine gemeinsame Oberfläche integriert, um eine möglichst einfache Benutzung zu gewährleisten. Hierdurch ist die Grundlage für eine ausführliche klinische Erprobung gelegt, die zur Zeit zunächst in der Herzchirurgischen Abteilung der Universität Heidelberg durchgeführt wird. Nach dieser ersten Erprobungsphase ist an die Weitergabe des Prototypen an andere Institutionen zwecks multizentrischer Evaluation gedacht.

Durch den Einsatz der auf C++ beruhenden GUI-Klassenbibliothek Qt ist die Software sowohl auf Windows- als auch auf Unix-Rechnern lauffähig. Die Anforderungen an das Rechnersystem beschränken sich auf die Leistung eines heute üblichen low-cost PC-Systems. Bei Verfügbarkeit von DICOM-fähigen 3D-Ultraschallsystemen mit der Möglichkeit der getrennten Speicherung von Gewebe- und Dopplerdaten kann eine einfache Integration als PlugIn in die radiologische Workstation CHILI erfolgen.

Das Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 414 „Informationstechnik in der Medizin – Rechner- und Sensorgestützte Chirurgie“ gefördert.

4 Literatur

1. Glombitza G, De Simone R, Merdes M, Mayer A, Vahl CF, Hagl S, Meinzer HP: Three-dimensional visualization and volumetric assessment of valvular regurgitant jets in echocardiography. Proceedings Computer Assisted Radiology and Surgery ’98, Tokyo, 170-175, 1998.
2. Wolf I, Glombitza G, De Simone R, Meinzer HP: Automatic segmentation of heart cavities in multidimensional ultrasound images. Proc. SPIE Medical Imaging 2000: Image Processing, Kenneth M. Hanson (ed), Vol. 3979, 273-283, 2000.
3. Brandberg J, Janerot-Sjöberg B, Ask P: Increased accuracy of echocardiographic measurement of flow using automated spherical integration of multiple plane velocity vectors. Ultrasound in Med. & Biol., 25(2):249-257, 1999.
4. Wolf I, Glombitza G, De Simone R, Meinzer HP: Modellbasierte Analyse der Blutfluss-Dynamik in der Aorta mittels Doppler-Echokardiographie. In: Horsch A, Lehmann T (Hrsg.): Bildverarbeitung für die Medizin 2000, 299-303. Springer-Verlag, Berlin, 2000.
5. Schmid-Schönbein H, Born GVR, Richardson PD, et al.: Rheology of thrombotic processes in flow: The interaction of erythrocytes and thrombocytes subjected to high flow forces. Biorheology, 18:415-444, 1981.