

Klinische Anwendung verschiedener Segmentierungsverfahren in der Live-3D Echokardiographie Evaluation im Vergleich zum MRT

Sibylle Mottl-Link¹, Waldemar Hosch², Ivo Wolf³, Mark Hastenteufel³,
Tina Schwarz³, Hans-Peter Meinzer³, Siegfried Hagl¹ und Raffaele De Simone¹

¹Herzchirurgische Klinik, Universität Heidelberg, 69120 Heidelberg

²Radiologische Klinik, Universität Heidelberg, 69120 Heidelberg

³Abteilung für Medizinische und Biologische Informatik,
Deutsches Krebsforschungszentrum, 69120 Heidelberg

Email: s.link@dkfz.de

Zusammenfassung. Die linke Herzfunktion wurde mittels handelsüblicher Software zur manuellen (CardioView, Tomtec) und semi-automatischen Segmentierung (4D-LV-Analysis, Tomtec) bei 30 Patienten vor Herzoperation untersucht. Analysiert wurden linksventrikuläre Volumina und Ejektionsfraktionen in Live-3D Echokardiographiedaten im Vergleich zur Magnetresonanztomographie. Beim Handling und der Genauigkeit schnitt die manuelle Segmentierung besser ab als die semi-automatische. Der Grund hierfür lag in der Notwendigkeit des Setzens multipler Landmarken beim semi-automatischen Verfahren sowie an der rauschintensiven Ultraschall-Bildqualität vor allem in der Diastole. Nach semi-automatischer Segmentierung wäre somit eine Nachkorrektur durch einen erfahrenen Untersucher notwendig. Zur Ökonomisierung des Prozessablaufs wird eine Umkehr der Reihenfolge von manueller und automatischer Komponente empfohlen.

1 Einleitung

Im Vergleich zu bisherigen rotationellen [1] oder freihand 3-dimensionalen [2] Ultraschallverfahren zeichnet die Live-3D Echokardiographie ein kontinuierlicher, pyramidenförmiger Datensatz aus, der anders als bisher keine Informationslücken aufweist [3]. Die dadurch gegebene Möglichkeit des beliebigen Einstellens virtueller Ebenen im 3-D+t Datensatz erleichtert dem Untersucher die Auswahl optimaler Ansichten zur Endokardabgrenzung. Die Auswurffraktion der linken Herzkammer wird nach Bestimmung der linksventrikulären Volumina in der Systole bzw. der Diastole errechnet.

Bisherige Veröffentlichungen berichteten sowohl für die manuelle als auch für die semi-automatische Segmentierung von exzellenten Korrelationen im Vergleich zu Ergebnissen der Magnetresonanztomographie (MRT) [4-5]. Allerdings

erfolgte ein Ausschluss aller Patienten mit „schlechter Schallqualität“. Die Segmentierung erfolgte lediglich durch Echokardiographie-Experten, nicht jedoch durch wenig oder nicht geübte Untersucher. Darüber hinaus wurde die automatische Endokardkonturdetektion (4D-LV-Analysis, Tomtec) so oft nachkorrigiert und wiederholt, bis für den Experten zufrieden stellende Ergebnisse erzielt wurden. Bisher wurde jedoch nicht untersucht, wie die Ergebnisse der semi-automatischen Segmentierung ohne Nachkorrektur ausfallen und in welchem Bereich bzw. Umfang Nachkorrekturen durch den Untersucher notwendig sind. Zwei kommerziell erhältliche Segmentierungsverfahren für die manuelle bzw. semi-automatische Endokardabgrenzung zur Bestimmung der linksventrikulären Funktion mittels nicht-invasiver Live-3D Echokardiographie wurden in Hinblick auf Handhabung und Genauigkeit im klinischen Alltag getestet.

Von diesen klinischen Erfahrungen werden Kenntnisse erwartet, die wegweisend für die Neuentwicklungen von Segmentierungsverfahren für Ultraschalldaten sein können.

2 Methoden

Bei 30 Patienten vor Herzoperation wurde jeweils eine Magnetresonanztomographie und eine Untersuchung mittels Live-3D Echokardiographie durchgeführt. Die handelsübliche Software CardioView (Tomtec, Unterschleißheim) zur manuellen Segmentierung (MANU) und 4D-LV-Analysis (Tomtec, Unterschleißheim) zur semi-automatischen Segmentierung (AUTO) der Endokardgrenzen wurde zur Bestimmung der linksventrikulären endsystolischen (ESV) und enddiastolischen Volumina (EDV), sowie der Ejektionsfraktion (EF) verwendet. Beide Systeme erlauben die Segmentierung auf multiplanar rekonstruierten Schichten, die durch ein Schwenken der virtuellen Ultraschallpyramide definiert werden. Bei der automatischen Endokard-Konturfundung (AUTO) ist zunächst das Setzen der Landmarken für die Mitralklappe, Aortenklappe und Apex, sowie für den Mitralannulus in allen vier rotationell rekonstruierten Schichten sowohl in der Diastole als auch in der Systole nötig. Anhand der Eingaben zum Mitralannulus und des Apex wurde vom System jeweils eine Ellipse vorgeschlagen, von der aus sich eine automatische Kontur an das Endokard anlegte (Abb. 1). Diese wurde nicht manuell nachkorrigiert. Die semi-automatische Segmentierung der Endokardgrenzen erfolgte durch 3 verschiedene Untersucher, die sich hinsichtlich ihres Erfahrungslevels in der Echokardiographie unterschieden.

In Gegensatz dazu wurde bei der manuellen Segmentierung (MANU) die Endokardkontur durch das Nachzeichnen des Endokards in vier rotationellen Schichten bestimmt (Abb. 2).

3 Ergebnisse

Die Rekonstruktionszeit nach Datentransfer mittels MANU ($2 \text{ min} \pm 11 \text{ s}$) war signifikant ($p < 0.001$) kleiner als die mittels AUTO ($3 \text{ min } 36 \text{ s} \pm 18 \text{ s}$).

Abb. 1. Arbeitsschritte für die semi-automatische Segmentierung mittels 4D-LV-Analysis mit Setzen der Landmarken, Generierung von Ellipsen, automatischer Konturfindung und 3-dimensionalem Ergebnis.

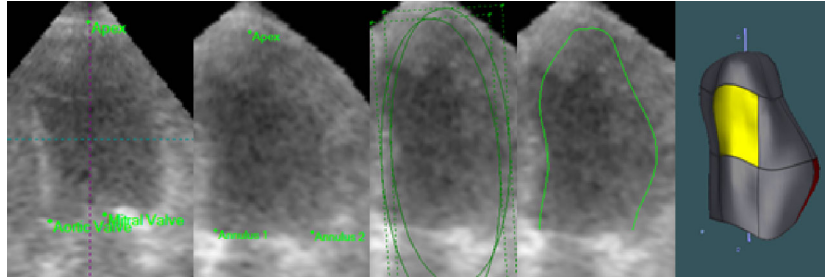
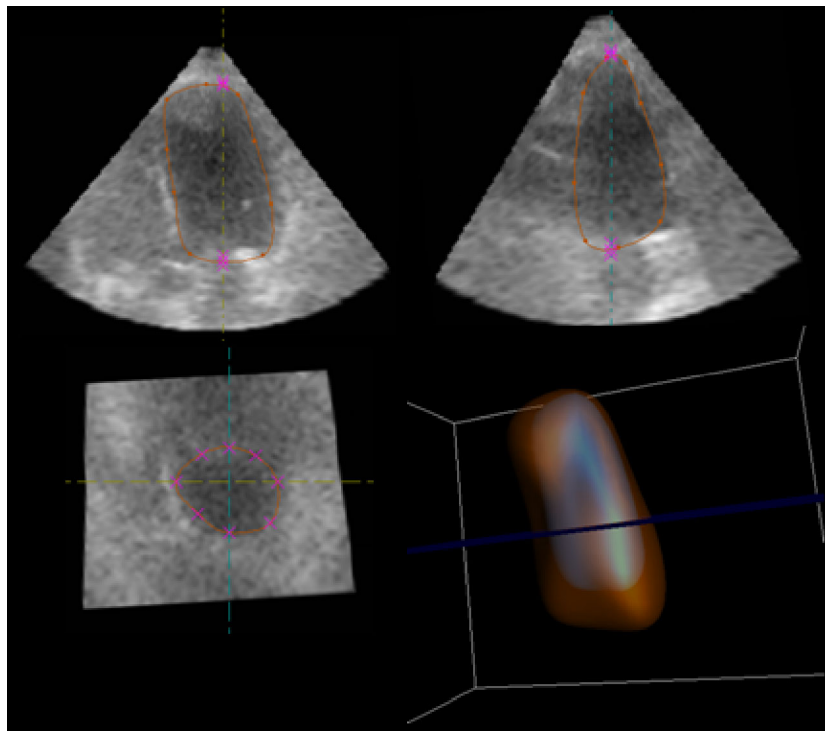
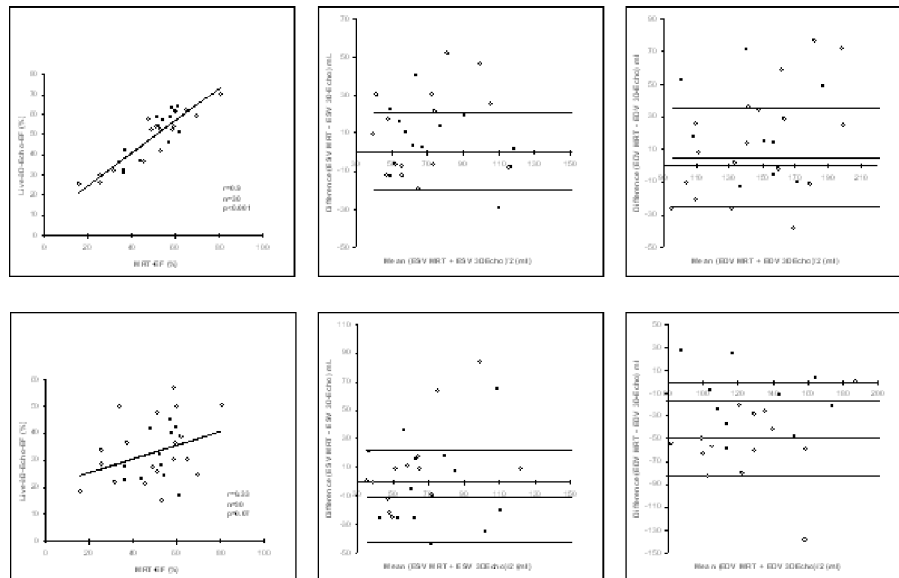


Abb. 2. Manuelle Segmentierung in vertikalen, rotationellen Schichten mittels Cardio-View. *Unten links:* Ergebnis der manuellen Segmentierungsschritte in der horizontalen Schicht. *Unten rechts:* Ergebnis der Systole (blau) und Diastole (rot)



Darüber hinaus zeigte MANU ($r=0.9$, $p<0.001$, $SEE= 1.2\%$) bessere Korrelationen und Genauigkeiten (Abb. 3) für die Ejektionsfraktion (EF) als AUTO ($r=0.33$, $p=0.07$, $SEE=2.8\%$). Im Vergleich zum MRT wurde die EF bei AUTO (Mean/SD diff. $-16.6 \pm 15\%$) mehr unterschätzt als mittels MANU (Mean/SD

Abb. 3. *Oben:* manuelle Segmentierung (MANU) *Unten:* semi-automatische Segmentierung (AUTO) *Links:* Korrelation der Ejektionsfraktion zwischen MRT und Live-3D Echokardiographie (3DEcho) *Mitte und rechts:* Differenzen gegen Mittelwerte von end-systolischen bzw. enddiastolischen Volumina mittels MRT und 3DEcho nach Bland-Altman



diff. $-0.9 \pm 6.3\%$). Dies lag an einer deutlichen Unterschätzung des enddiastolischen Volumens mittels AUTO im Vergleich zum endsystolischen Volumen. Insgesamt war die Bestimmung der Volumina (Abb. 3) bei MANU (Mean/SD diff. ESV. 0.5 ± 32.6 ml; EDV: 4.8 ± 47.2 ml) genauer als bei AUTO (Mean/SD diff. ESV. -10.5 ± 51.3 ml; EDV: -49.4 ± 52.8 ml).

Im Gegensatz zur bekannten Untersucherabhängigkeit der manuellen Segmentierung, zeigte die semi-automatische ohne manuelle Nachkorrektur für alle Untersucher ähnliche ungenaue Ergebnisse vor allem des enddiastolischen Volumens (wenig erfahrener Untersucher: Mean/SD diff. ESV. -3.5 ± 54.6 ml; EDV: -34.3 ± 59.8 ml / unerfahrener Untersucher: Mean/SD diff. ESV. -0.85 ± 60 ml; EDV: -34.9 ± 64.1 ml).

4 Diskussion

In Hinblick auf das praktische Handling inklusive Rekonstruktionszeit, sowie auf die Genauigkeit von Volumina und Ejektionsfraktion schnitt die manuelle Segmentierung besser als die semi-automatische ab. Allerdings erlaubt die manuelle Segmentierung mittels CardioView keine Analyse der Zeiträume zwischen Diastole und Systole und keine Analyse verschiedener Wandareale, wie sie nach semi-automatischer Segmentierung möglich wäre. Die Analyse regionaler Wandbewegungsstörungen sind jedoch insbesondere bei der Beurteilung des Nutzens

von chirurgischen Interventionen sowie der Schrittmachertherapie von entscheidender klinischer Relevanz. [6,7]

Umständlich an der semi-automatischen Segmentierung war die Erfordernis des Setzens der Landmarken in allen Schichten, sowie jeweils in Diastole und Systole. Das Hauptproblem der semi-automatischen Segmentierung liegt jedoch in der Enddiastole. Hier erfährt das Herz seine größte Ausdehnung, wobei die Endokardgrenzen von Rauschartefakten überlagert werden. Diese haben zum einen die Ursache in der Überlagerung durch die mit Luft gefüllte Lunge, zum anderen durch Ungenauigkeiten im äußersten Randbereich der Ultraschallpyramide.

Nach semi-automatischer Segmentierung ist also insbesondere in der Diastole eine manuelle Nachkorrektur durch den erfahrenen Untersucher notwendig. Zur Ökonomisierung des Prozessablaufs wäre eine Umorganisation im Segmentierungsablauf wie beispielsweise die Umkehr der Reihenfolge von manueller und automatischer Komponente denkbar.

Danksagung. Dieses Projekt wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft mit Mitteln des Sonderforschungsbereiches 414, Teilprojekt H1 finanziert.

Literaturverzeichnis

1. Acar P, Maunoury C, Antonietti T, Bonnet D, Sidi D, Kachaner J. Left ventricular ejection fraction in children measured by three-dimensional echocardiography using a new transthoracic integrated 3D-probe: A comparison with equilibrium radionuclide angiography. *Eur Heart J* 1998;19:1583–1588.
2. Hibberd MG, Chuang ML, Beaudin RA, Riley MF, Mooney MG, Fearnside JT, et al. Accuracy of three-dimensional echocardiography with unrestricted selection of imaging planes for measurement of left ventricular volumes and ejection fraction. *Am Heart J* 2000;140(3):469–475.
3. Wang XF, Deng YB, Nanda NC, Deng J, Miller AP, Xie MX. Live three-dimensional echocardiography: imaging principles and clinical application. *Echocardiography* 2003;20(7):593–604.
4. Kuhl HP, Schreckenber M, Rulands D, Katoh M, Schafer W, Schummers G, et al. High-resolution transthoracic real-time three-dimensional echocardiography: quantitation of cardiac volumes and function using semi-automatic border detection and comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2004;43(11):2083–2090.
5. Jenkins C, Bricknell K, Hanekom L, Marwick TH. Reproducibility and accuracy of echocardiographic measurements of left ventricular parameters using real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2004;44(4):878–886.
6. van der Heide JA, Mannaerts HF, Spruijt HJ, van Campen LM, de Cock C, Visser CA, et al. Noninvasive mapping of left ventricular electromechanical asynchrony by three-dimensional echocardiography and semi-automatic contour detection. *Am J Cardiol* 2004;94(11):1449–1453.
7. Krenning BJ, Szili-Torok T, Voormolen MM, Theuns DA, Jordaens LJ, Lancee CT, et al. Guiding and optimization of resynchronization therapy with dynamic three-dimensional echocardiography and segmental volume-time curves: a feasibility study. *Eur J Heart Fail* 2004;6(5):619–625.