

Anaesthesist 2012 · 61:875–882  
 DOI 10.1007/s00101-012-2088-z  
 Eingegangen: 19. Januar 2012  
 Überarbeitet: 31. August 2012  
 Angenommen: 3. September 2012  
 Online publiziert: 19. Oktober 2012  
 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

A. Ender<sup>1</sup> · S. Eibel<sup>1</sup> · E. Hasheminejad<sup>1</sup> · M. Scholz<sup>3</sup> · U.X. Kaisers<sup>2</sup> · C. Mukherjee<sup>1</sup> · J. Ender<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin II, Herzzentrum, Universität Leipzig

<sup>2</sup> Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Medizinische Fakultät, Universität Leipzig

<sup>3</sup> Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie, Universität Leipzig

# „Real-time-3-dimensional-full-volume“-Datensatz

## Nutzen in der problemfokussierten intraoperativen transösophagealen Echokardiographie

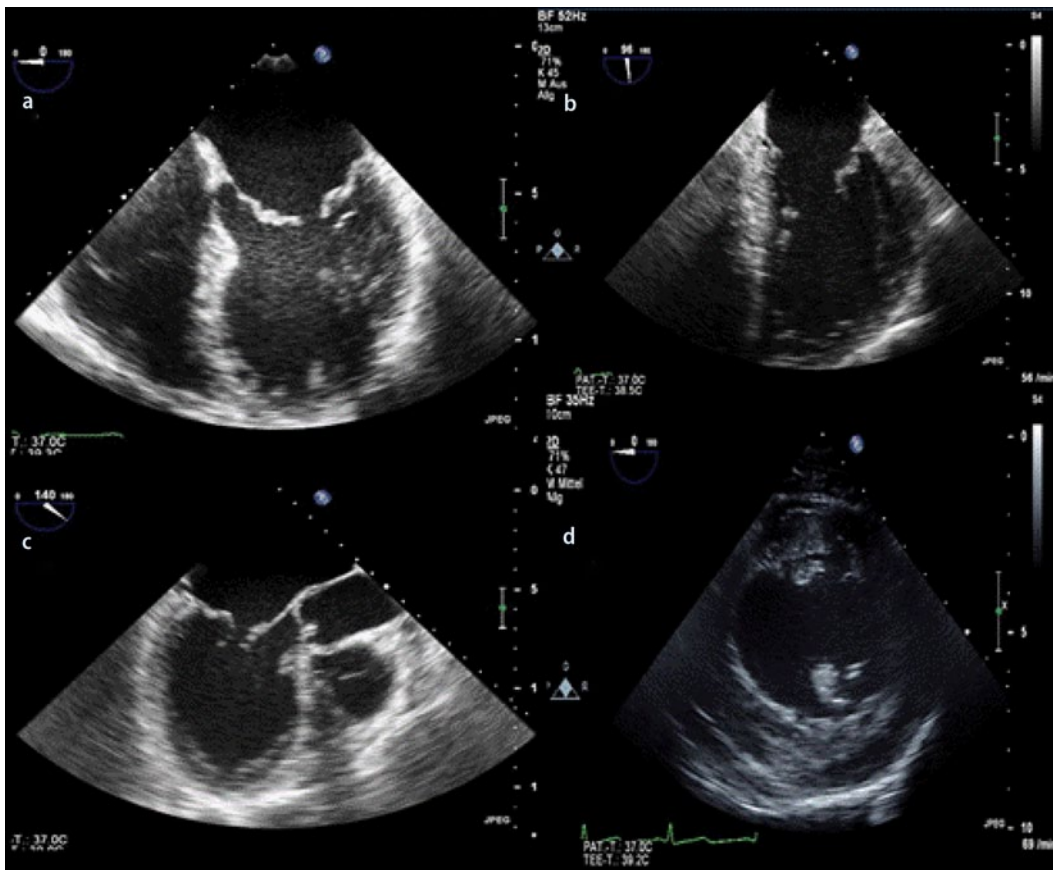
Abkürzungen	
AKA	Aortenklappenannulus
LA	linker Vorhof (Atrium)
LVEF	linksventrikuläre Ejektionsfraktion
LVIDd	linksventrikulärer Innendurchmesser in Diastole
LVIDs	linksventrikulärer Innendurchmesser in Systole
LVLd	linksventrikulärer Längsdurchmesser in Diastole
LVLs	linksventrikulärer Längsdurchmesser in Systole
LVOT	linksventrikulärer Ausflusstrakt („outflow tract“)
MKA	Mitralklappenannulus
PWT	posteriore Wanddicke („posterior wall thickness“)
RA	rechter Vorhof (Atrium)
RV-FAC	rechtsventrikuläre „fractional area change“
RVIDd	rechtsventrikulärer Innendurchmesser in Diastole
RVIDs	rechtsventrikulärer Innendurchmesser in Systole
RVLd	rechtsventrikulärer Längsdurchmesser in Diastole
RVLs	rechtsventrikulärer Längsdurchmesser in Systole
SWT	septale Wanddicke („septal wall thickness“)
TKA	Trikuspidalklappenannulus

**Für die umfassende intraoperative transösophageale Echokardiographie (TEE), die zahlreiche quantitative Messungen der Herzkammern und -klappen in die Untersuchung einbezieht, steht in vielen Fällen nicht ausreichend Zeit zur Verfügung. Die „Real-time-3-dimensional“ transösophageale Echokardiographie (RT-3D-TEE) mit dem „Full-volume“ (FV)-Modus erlaubt nun zum ersten Mal, Datensätze des gesamten Herzens innerhalb von 4 Herzschlägen aufzunehmen, die dann sowohl online als auch offline analysiert werden können.**

### Hintergrund

Die 2-dimensionale transösophageale Echokardiographie (2D-TEE) ist eine wertvolle Methode zur Beurteilung der Anatomie und der Funktion des Herzens. Eine umfassende 2D-TEE-Untersuchung während eines herzchirurgischen Eingriffs kann neue und relevante Informationen über pathologische Veränderungen liefern, die sowohl das chirurgische als auch das anästhesiologische Handeln beeinflussen [1, 2]. Zur Einschätzung der Größe der Herzhöhlen sowie der rechts- und linksventrikulären Funktion dient die Erhebung verschiedener Parameter,

die in den Richtlinien der American Society of Echocardiography (ASE) und der European Association of Echocardiography (EAE) zusammengefasst und erläutert werden [3]. So kann mit der Messung des linksventrikulären Innendurchmessers der Füllungsstatus und mit Bestimmung der Ejektionsfraktion die systolische Funktion des Herzens beurteilt werden [3]. Nach den Leitlinien der ASE und der Society of Cardiovascular Anesthesiologists (SCA) sind zahlreiche Standardschnitte erforderlich, um eine umfassende intraoperative TEE-Untersuchung durchzuführen [4]. Nach einer Umfrage an deutschsprachigen kardiointensivmedizinischen Abteilungen nehmen jedoch nur 17% der Abteilungen eine umfassende intraoperative Untersuchung vor [5]. Als Grund für die Unterlassung wurde in 48% der Abteilungen Zeitmangel genannt. Die für die echokardiographische Untersuchung zur Verfügung stehende Zeit wurde in dieser Umfrage mit 5–10 min angegeben. Eine komplette intraoperative Beurteilung der Anatomie und Funktion des Herzens sollte jedoch auch nach den Richtlinien der European Association of Cardiothoracic Anaesthesiologists (EACTA) und der European Association of Echocardiography (EAE) nur mithilfe der geeigneten 2D-Standardschnitte erfolgen [6]. Mithilfe der RT-3D-FV-TEE



**Abb. 1** ◀ Standardschnitte der 2-dimensionalen transösophagealen Echokardiographie. **a** Mittösophagealer Vierkammerblick; **b** mittösophagealer Zweikammerblick; **c** mittösophageale lange Achse; **d** transgastrische mitpapilläre kurze Achse

ermittelte Datensätze des gesamten Herzens können innerhalb von 4 Herzschlägen aufgenommen und dann sowohl online als auch offline analysiert werden [7]. Die Hypothese der vorliegenden Studie war, dass ein RT-3D-TEE-Datensatz des gesamten Herzens eine Offline-Quantifizierung der meisten Parameter erlaubt, die gemäß den Richtlinien der ASE, EAE und EACTA notwendig sind. Zur Überprüfung der Hypothese wurde:

1) untersucht, welche der geforderten Parameter der Herzkammern und Herzklappen mit einem RT-3D-FV-Datensatz gemessen werden können, und

2) ein Vergleich dieser Messungen mit den Messungen aus den 2D-Standard Schnitten durchgeführt.

## Material und Methode

Nach Zustimmung der örtlichen Ethikkommission (Nr. 321-10-08112010) und schriftlicher Einwilligung wurden 50 Patienten, die sich einer chirurgischen Mitralklappenrekonstruktion unterzogen, in die Studie aufgenommen. Nach Ein-

leitung der Narkose wurde eine X7-2t-TEE-Sonde (Fa. Philips, Niederlande) in den Ösophagus eingeführt und eine umfassende TEE-Untersuchung nach den Richtlinien der ASE/SCA vorgenommen ([4]; iE33, Fa. Philips, Niederlande). Zusätzlich wurde ein 3D-FV-TEE-Datensatz, basierend auf dem mittösophagealen Vierkammerblick, erstellt. Um Beatmungsartefakte zu vermeiden, wurde diese Untersuchung in Apnoe über einen Zeitraum von 4 Herzschlägen durchgeführt. Dabei wurde darauf geachtet, möglichst den ganzen rechten und linken Ventrikel in den 3D-Datensatz einzubeziehen. Alle Messungen, sowohl der 2D-TEE als auch der RT-3D-TEE, erfolgten offline. Die Messungen der 2D-Standardschnitte wurde mit Image Arena® (Fa. TomTec, München) durchgeführt. Zur Quantifizierung der Herzkammern und Herzklappen wurden der mittösophageale Vierkammer-, Zweikammer- und Langeachsenblick benutzt. Im mittösophagealen Vierkammerblick erfolgten die Bestimmungen des Durchmessers des rechten (RA) und linken Vorhofs (LA), des Trikus-

pidalklappenannulus (TKA), des rechtsventrikulären Längs- (RVLD) und Querdurchmessers (RVID) sowie die Messungen der linksventrikulären Ejektionsfraktion (LVEF) und der rechtsventrikulären „fractional area change“ (RV-FAC). Im mittösophagealen Zweikammerblick wurden der linksventrikuläre Längs- (LVL) und der Innendurchmesser (LVID) gemessen. Im mittösophagealen linksventrikulären Langeachsenblick wurde der Durchmesser des linksventrikulären Ausflusstrakts (LVOT) und der Aortenklappenannulus bestimmt. Die Messungen der posterioren (PWT) und septalen Wanddicke (SWT) des linken Ventrikels erfolgten im transgastrischen mitpapillären Kurzeachsenblick (▣ **Abb. 1**). Für die Messungen aus dem 3D-Datensatz wurde die Software Qlab® (Fa. Philips, Niederlande) verwendet. Mithilfe dieser Software ist es möglich, den gespeicherten 3D-Datensatz in koronarer Ebene (▣ **Abb. 2a**), sagittaler Ebene (▣ **Abb. 2b**) und transversaler Ebene (▣ **Abb. 2c**) abzubilden. Das ermöglicht die Darstellung des mittösophagealen Vierkammer- (▣ **Abb. 2a**), Zwei-

A. Ender · S. Eibel · E. Hasheminejad · M. Scholz · U.X. Kaisers · C. Mukherjee · J. Ender

**„Real-time-3-dimensional-full-volume“-Datensatz.  
Nutzen in der problemfokussierten intraoperativen transösophagealen Echokardiographie****Zusammenfassung**

**Hintergrund.** Die umfassende intraoperative transösophageale Echokardiographie (TEE) bezieht zahlreiche quantitative Messungen der Herzkammern und -klappen, basierend auf mehreren Standardschnitten, in die Untersuchung ein. Aufgrund von Zeitmangel beschränken sich die Untersucher in den meisten deutschen Zentren während kardiochirurgischer Eingriffe allerdings auf eine problemfokussierte intraoperative Untersuchung, die es nicht erlaubt, das gesamte Repertoire auszuschöpfen. Ziel der vorgestellten Studie war es: 1) zu untersuchen, welche Parameter an einem „Real-time-3-dimensional-full-volume“- (RT-3D-FV)-Datensatz gemessen werden können, und 2) diese Messungen mit denen aus den 2D-Standardschnitten zu vergleichen.

**Material und Methode.** Bei Patienten, die sich einer chirurgischen Mitralklappenrekonstruktion unterzogen, wurde nach Narkoseeinleitung zunächst eine umfassende 2-dimensionale (2D-)TEE nach den Richtlinien der American Society of Echocardiography (ASE) und der Society of Cardiovascular Anesthesiologists (SCA) durchgeführt. Zusätzlich wurde ein RT-3D-FV-Datensatz, ausgehend vom mittösophagealen Vierkammerblick, aufgenommen (iE33, Fa. Philips, Niederlande). Die digital gespeicherten Daten dienten der Quantifizierung der Herzkammern und Herzklappen. Alle Messungen der 2D- und 3D-TEE-Untersuchung wurden offline von 2 unabhängigen Untersuchern durchgeführt.

**Ergebnisse.** Nach Zustimmung der Ethikkommission und schriftlicher Einwilligung wurden 50 Patienten (31 männlich/19 weiblich) mit

einem mittleren Alter von  $59,4 \pm 11,5$  Jahren in die Studie aufgenommen. Mit Ausnahme der Messungen des Sinus Valsalvae und des sinutubulären Übergangs konnten alle erforderlichen Messungen im RT-3D-FV-Datensatz vorgenommen werden. Es fand sich dabei eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus den 2D-TEE-Untersuchungen.

**Schlussfolgerung.** Bei problemfokussierter TEE-Untersuchung erlaubt die zusätzliche Aufnahme eines RT-3D-FV-Datensatzes die meisten der geforderten Messungen zur Quantifizierung der Herzkammern und der Herzklappen.

**Schlüsselwörter**

Aortenklappe · Mitralklappe · Trikuspidalklappe · Herzvorhof · Herzkammern

**Real-time 3 dimensional full volume data set.  
Benefits in problem focused intraoperative transesophageal echocardiography****Abstract**

**Background.** Comprehensive intraoperative transesophageal echocardiography (TEE) includes various measurements for quantification of cardiac chambers and valves based on multiple two dimensional (2D) standard views. Due to shortness of time during cardiac surgery most centres in Germany only carry out problem focused intraoperative examinations which does not allow the complete repertoire of measurements to be exhausted. The aim of this study was to investigate which measurements for cardiac chamber and valve quantification can be performed with the acquisition of a real-time 3D full volume (RT-3D-FV) data set and to compare these measurements with those based on standard 2D views.

**Materials and methods.** In patients undergoing elective surgical mitral valve repair a comprehensive 2D TEE examination according to the guidelines of the American Society of Echocardiography (ASE) and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists (SCA) was performed after induction of anesthesia. Additionally, a RT-3D-FV TEE data set based on the midesophageal four chamber view was recorded (iE 33, Philips, Netherlands). All measurements of the 2D TEE and the RT-3D-FV dataset (Qlab) were performed offline by two independent examiners.

**Results.** After approval by the local ethic committee and obtaining written informed consent 50 patients (31 male and 19 female) with a mean age of  $59.4 \pm 11.5$  years were en-

rolled in this study. All measurements recommended for chamber and valve quantification could be performed on the basis of the RT-3D-FV data set except for measurements of the sinus of Valsalva and the sinotubular junction. There was good correlation between the results of the two methods.

**Conclusions.** For intraoperative problem focused TEE examinations the acquisition of an additional RT-3D-FV TEE data set allows accurate measurement of most of the recommended chamber and valve quantification parameters.

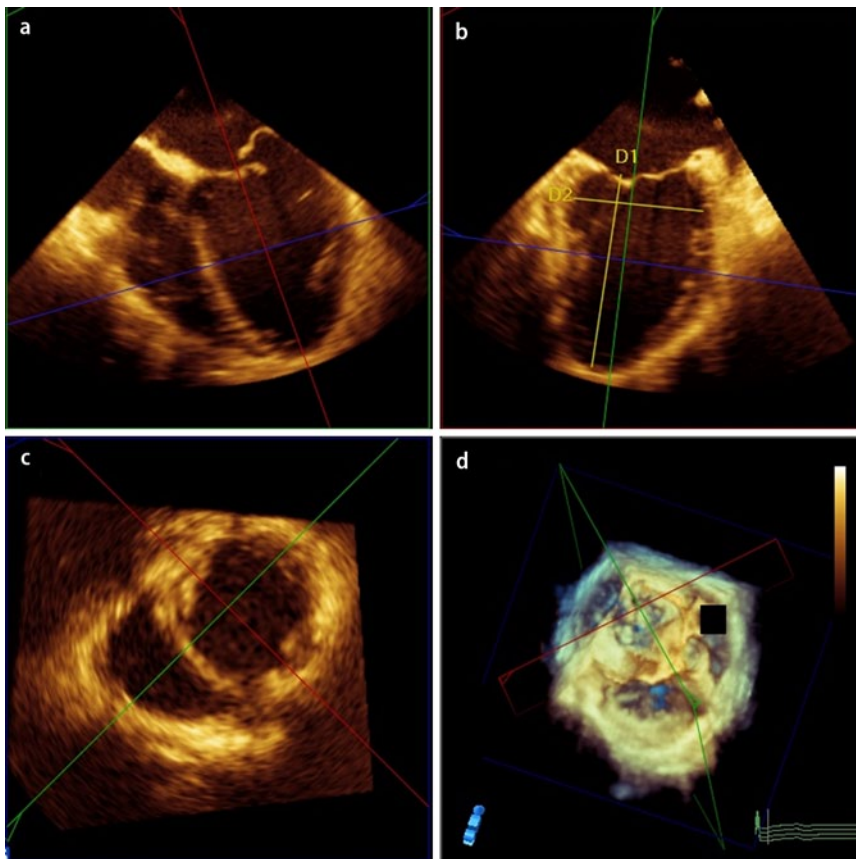
**Keywords**

Aortic valve · Mitral valve · Tricuspid valve · Heart atrium · Cardiac ventricles

kammer- (■ **Abb. 2b**) und Langeachsenblicks (■ **Abb. 3b**). Durch die Korrektur der langen Achse kann ein „foreshortening“ vermieden werden. Dies resultiert in der optimalen Einstellung der Standardschnitte in Systole und Diastole. Der rechte untere Quadrant zeigt das 3D-Bild mit den 3 Schnittebenen (■ **Abb. 2d**, ■ **Abb. 3d**). Messungen in den 3 Quadranten, die die 2D-Schnittbilder darstel-

len, wurden in Endsystole und Enddiastole nach den gültigen Empfehlungen der ASE durchgeführt [3]. Für die Analyse der Volumina des linken Ventrikels wurde die Software 3DQ-Advanced (Fa. Philips, Niederlande) benutzt. Sämtliche Messungen in den 2D gewonnenen Standardschnitten wurden manuell vorgenommen. Bei den Standardschnitten, basierend auf dem 3D-Datensatz,

wurde für die LVEF-Bestimmung die automatische Konturerkennung verwendet, manuell jedoch nachkorrigiert; alle anderen Messungen erfolgten auch hier manuell. Die Übereinstimmung der 2D- und der 3D-Messungen (■ **Tab. 1**), die Intra- und Interobserver-Konkordanz wurden mithilfe des Konkordanzkorrelationskoeffizienten bewertet („concordance correlation coefficient“, CCC;



**Abb. 2** ▲ „Real-time-3-dimensional-full-volume“-Datensatz in QLab®. **a** Mittösophagealer Vierkammerblick; **b** mittösophagealer Zweikammerblick LVIDd linksventrikulärer Innendurchmesser (D2), LVL linksventrikulärer Längsdurchmesser (D1); **c** transgastrische mitrapapilläre kurze Ache; **d** 3D-Volumen-renderertes Bild mit den Schnittebenen

Tab. 2, 3; [8]). Die Interobserver-Konkordanz wurde ermittelt, indem 2 unabhängige Untersucher die Messungen bei allen 50 Patienten durchführten. Hierbei erfolgte zunächst die Messung aller Parameter im 2D-Datensatz. Nach einer 4-wöchigen Pause wurde dann die Messung aller Parameter aus dem 3D-Datensatz vorgenommen. Für die Intraobserver-Konkordanz wurden 25 Patienten im Abstand von 3 Monaten zum 2. Mal gemessen und die jeweiligen Ergebnisse miteinander verglichen. Auch hier erfolgte eine Pause von 4 Wochen zwischen der Messung aus dem 2D- und dem 3D-Datensatz. Der CCC kann Werte zwischen  $-1$  und  $+1$  annehmen und ist maximal, wenn die mittlere Differenz der beiden Gruppen  $0$  (kein Bias) und die Korrelation  $1$  ist. Ein CCC-Wert  $<0,3$  zeigt eine schlechte,  $0,3-0,49$  eine mäßige,  $0,5-0,69$  eine gute und  $>0,7$  eine sehr gute Konkordanz.

Zum Vergleich der beiden Messungen wurde zusätzlich bei den Bestimmungen

von LVEF, RV-FAC, des Durchmessers des LA und RA sowie den Bestimmungen des Mitralklappenanus (MKA) und des Aortenklappenanus (AKA) eine Bland-Altman-Analyse durchgeführt. Quantitative Größen werden mithilfe von Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung charakterisiert. Die statistische Analyse erfolgte mittels SPSS 19.0 (Fa. IBM Corporation, New York).

## Ergebnisse

Fünzig Patienten (31 männlich/19 weiblich) mit einem mittleren Alter von  $59,4 \pm 11,5$  Jahren zur elektiven chirurgischen Mitralklappenrekonstruktion wurden in die Studie aufgenommen. Die mittlere Körpergröße der Teilnehmer betrug  $172,8 \pm 9,3$  cm und das mittlere Körpergewicht  $76,7 \pm 12,7$  kg. Die Konkordanzwerte der jeweiligen Messungen mithilfe von 2D und 3D sowie die Anzahl der Patienten, bei denen die jeweilige Messung sinn-

voll durchgeführt werden konnten zeigt Tab. 2.

Basierend auf den 2D-TEE-Standard-schnitten konnten alle Messungen durchgeführt werden. Der Sinus Valsalvae und der sinutubuläre Übergang konnten im 3D-Datensatz nicht vermessen werden und sind deshalb in Tab. 1 nicht aufgeführt. Mithilfe des RT-3D-FV-Datensatzes konnten LVEF, die linksventrikuläre Länge in Systole (LVLs) und Diastole (LVLd) und der MKA bei allen Patienten gemessen werden. Bei über 90% der Patienten konnte der linksventrikuläre Innendurchmesser in Diastole (LVIDd) und Systole (LVIDs), der rechtsventrikuläre Innendurchmesser in Diastole (RVIDd) und Systole (RVIDs), der Durchmesser des linken Vorhofs (LA), der Aortenklappenanus (AKA), die rechtsventrikuläre Fractional area change (RV-FAC), die rechtsventrikuläre Länge in Diastole (RVLd), die diastolische Wanddicke des Septums (SWT) und der linksventrikulären Hinterwand (PWT) sowie des Trikuspidalklappenanus (TKA) gemessen werden. Der Durchmesser des rechten Vorhofs (RA) konnte nur in 66% der Patienten bestimmt werden.

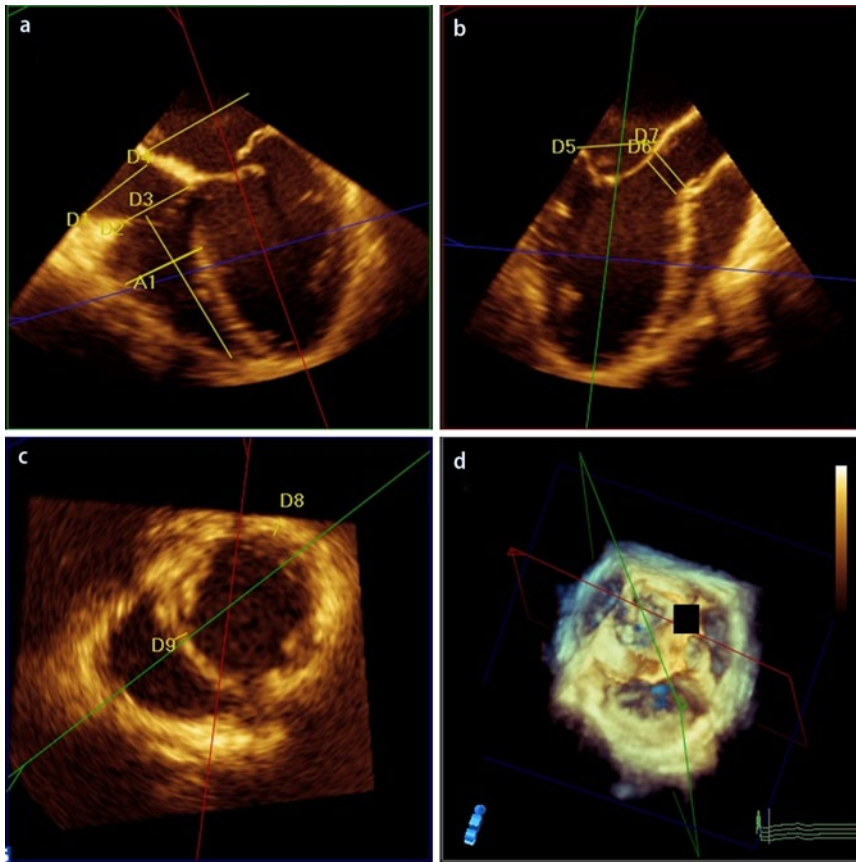
Im RT-3D wurde der LVLd und der LVLs gegenüber der 2D-Messung signifikant überschätzt, wohingegen der LVIDd, RVIDd, RVIDs, RA und der LVOT signifikant unterschätzt wurden (Tab. 1).

Die meisten Messungen zeigten eine gute Konkordanz (CCC  $0,5-0,69$ ). Nur die Messung des RVIDd wies eine mäßige Konkordanz (CCC  $0,48$ ) auf, während die Messungen von LVLd, LA quer, RVLs, LVOT und AKA eine sehr gute Konkordanz hatten (CCC  $>0,69$ ).

Die Bland-Altman-Analyse für LVEF, RV-FAC, LA- und RA Durchmesser ergab keine Unterschiede (Abb. 4).

## Zeitaufwand für die Aufnahme des RT-3D-Datensatzes

Der Zeitaufwand für die Aufnahme der 2D-Standardansichten ohne gesonderte Darstellung der pathologischen Strukturen im Zoom-Modus betrug  $8,5 \pm 4,9$  min. Der zusätzliche Zeitaufwand für den RT-3D-FV-Datensatz betrug die Zeit von 4 aufeinanderfolgenden Herzschlägen, war



**Abb. 3** ▲ „Real-time-3-dimensional-full-volume“-Datensatz in QLab®: 2D-Schnittebene aus dem RT-FV-Datensatz mit den jeweiligen Messungen: **a** mittösophagealer Vierkammerblick, A1 rechtsventrikulärer Innendurchmesser (RVID), D1 Durchmesser rechter Vorhof, D2 Trikuspidalklappenannulus, D3 Längsdurchmesser rechter Ventrikel, D4 Durchmesser linker Vorhof; **b** mittösophagealer linksventrikulärer Längsachsenblick, D5 Mitralklappenannulus (MKA), D6 Durchmesser linksventrikulärer Ausflusstrakt (LVOT), D7 Aortenklappenannulus (AKA); **c** transgastrische mitrapapilläre kurze Ache D8 posteriore Wanddicke (PWT), D9 Septale Wanddicke (SWT); **d** 3D-Volumen-gerendertes Bild mit den Schnittebenen

also abhängig von der Herzfrequenz des Patienten.

### Zeitaufwand für die Offline-Messung

Der Zeitaufwand für die Messungen in den 2D-TEE-Schnitten betrug  $9,6 \pm 3,7$  min im Gegensatz zu  $13,7 \pm 2,9$  min für die Messungen im RT-3D-FV-Datensatz ( $p < 0,05$ ).

Die Intra- und Interobserver-Konkordanzen zeigten nur bei der Messung der SWT signifikante Unterschiede zwischen 2D- und 3D-Messungen (■ Tab. 3, 4). Hierbei fanden sich für die 2D-Messungen jeweils bessere Konkordanzen. Ansonsten wiesen beide Methoden für die meisten Parameter mäßig bis gute Konkordanzen auf (■ Tab. 2).

### Diskussion

Die Studie zeigt:

1. dass die meisten Messungen zur Quantifizierung der Herzkammern und der Herzklappen mithilfe eines RT-3D-FV-Datensatzes durchgeführt werden können und

2. dass die Messungen, basierend auf dem RT-3D-Datensatz, bis auf wenige Ausnahmen eine gute Konkordanz zu den Messungen, basierend auf den 2D-TEE-Aufnahmen, zeigen.

Die relativ großen Abweichungen im linksventrikulären Längsdurchmesser mit einer Überschätzung im RT-3D gegenüber der 2D-TEE-Untersuchung sind am ehesten dadurch bedingt, dass im RT-3D-Datensatz das sog. Foreshortening korrigiert werden kann. Hierbei handelt es sich um eine mögliche Fehlerquelle bei der

Messung eines 3D-Objekts mithilfe einer 2D-Untersuchungsmethode. So kommt es z. B. bei der Bestimmung der Längsachse des linken Ventrikels zu einer falsch-zu-kurzen Messung, wenn die Längsachse in der 2D-Darstellung fälschlich „verkürzt“ abgebildet wird. Im 3D-Datensatz des linken Ventrikels kann die Längsachse vor der Messung korrigiert werden; im gespeicherten 2D-Datensatz dagegen nicht mehr. Genauere Volumenmessungen lassen dann natürlich auch eher Rückschlüsse auf Vor- und Nachlastbedingungen zu. Dies wiederum ist bei jedem Patienten, der sich einer Operation mit großen Volumenverschiebungen unterzieht, bzw. bei Patienten mit kardialen Risikoprofil von großer Bedeutung für das intraoperative Management.

In einer Vergleichsstudie von 2D transthorakalen, 3D transthorakalen und Magnetresonanzaufnahmen kommen Jenkins et al. [9] zu ähnlichen Ergebnissen. Der signifikante Unterschied bei der Messung des Querdurchmessers des rechten Vorhofs, der RVIDd und RVIDs, könnte dadurch bedingt sein, dass im 3D-Datensatz Anteile des rechten Herzens, speziell bei der vorliegenden Patientenselektion, nur ungenügend zur Darstellung kamen.

Eine intraoperative TEE-Untersuchung bei kardiochirurgischen Patienten führt zu einer Änderung des chirurgischen Vorgehens in 4–15% der Fälle [1, 10]. Klein et al. [1] unterschieden in ihrer Studie noch zwischen vorhersagbaren (10%) und nichtvorhersagbaren (5%) Änderungen. Vorhersagbare Änderungen waren die erneute Evaluierung einer bereits präoperativ bekannten, jedoch nicht ausreichend quantifizierten pathologischen Veränderung; dagegen war eine nichtvorhersagbare Änderung durch eine präoperativ nichtbekannte Störung bedingt. Diese Untersuchungen unterstreichen die Bedeutung einer umfassenden TEE-Untersuchung.

In 35 [11] bis 65% [5] der Zentren wird die perioperative TEE-Untersuchung von dem Anästhesisten durchgeführt, der auch für die Narkosedurchführung verantwortlich ist. Zusammen mit dem Zeitmangel bei der Durchführung der perioperativen TEE-Untersuchung kann die Qualität der 2D-Untersuchung speziell bei wenig erfahrenen Untersuchern leiden. Limitationen in der 2D-Echokardio-

**Tab. 1** Mittelwerte und Standardabweichung 3- vs. 2-dimensionalen transösophagealen Echokardiographie

Parameter	Anzahl (n) der Patienten (3D/2D)	Mittelwert ± Standardabweichung	
		3D	2D
LVEF (%)	50/50	53,4±10,8	54,8±9,8
LVLd* (cm)	50/50	8,2±1,5	8,0±0,9
LVLs* (cm)	50/50	7,1±1,0	6,8±1,0
LVIDd* (cm)	49/50	5,4±0,8	5,9±0,8
LVIDs (cm)	50/50	4,0±0,7	4,0±0,8
LA (cm)	48/50	4,5±1,0	4,3±0,9
RV-FAC (%)	42/50	31,6±0,9	32,0±0,9
RVLd (cm)	48/50	6,9±1,0	6,6±1,0
RVLs (cm)	50/50	5,7±1,1	5,5±1,0
RVIDd* (cm)	48/50	3,6±0,8	3,8±0,8
RVIDs (cm)	48/50	2,9±0,6	2,9±0,7
RA* (cm)	33/50	3,6±0,7	3,9±0,8
TKA (cm)	40/50	3,7±0,8	4,2±0,6
MKA (cm)	50/50	4,0±0,7	3,9±0,6
LVOT (cm)	50/50	2,0±0,3	2,1±0,3
AKA (cm)	48/50	2,4±0,3	2,3±0,3
SWT (cm)	46/50	0,9±0,2	0,9±0,2
PWT (cm)	46/50	0,8±0,1	0,8±0,2

AKA Aortenklappenannulus, LA linker Vorhof (Atrium), LVEF linksventrikuläre Ejektionsfraktion, LVIDd linksventrikulärer Innendurchmesser in Diastole, LVIDs linksventrikulärer Innendurchmesser in Systole, LVLd linksventrikulärer Längsdurchmesser in Diastole, LVLs linksventrikulärer Längsdurchmesser in Systole, LVOT linksventrikulärer Ausflusstrakt („outflow tract“), MKA Mitralklappenannulus, PWT posteriore Wanddicke („posterior wall thickness“), RA rechter Vorhof (Atrium), RV-FAC rechtsventrikuläre „fractional area change“, RVIDd rechtsventrikulärer Innendurchmesser in Diastole, RVIDs rechtsventrikulärer Innendurchmesser in Systole, RVLd rechtsventrikulärer Längsdurchmesser in Diastole, RVLs rechtsventrikulärer Längsdurchmesser in Systole, SWT septale Wanddicke („septal wall thickness“), TKA Trikuspidalklappenannulus.\*p<0,05.

**Tab. 2** Konkordanzkorrelationskoeffizienten der 2- vs. 3-dimensionalen transösophagealen Echokardiographie

Parameter	Anzahl (n) der Patienten (3D/2D)	CCC	95%-Konfidenzintervall von CCC	Bias	p-Wert Bias
LV EF (%)	50/50	0,54	0,38–0,66	–0,09	0,91
LVLd* (cm)	50/50	0,80	0,71–0,86	–2,16	<0,001
LVLs* (cm)	50/50	0,60	0,24–0,81	–1,97	0,011
LVIDd*(cm)	49/50	0,63	0,49–0,73	2,51	<0,001
LVIDs (cm)	50/50	0,61	0,47–0,72	0,45	0,39
LA (cm)	48/50	0,79	0,70–0,86	–0,08	0,87
RV-FAC (%)	42/50	0,65	0,52–0,74	0,28	0,68
RVLd (cm)	48/50	0,57	0,35–0,74	–0,75	0,36
RVLs (cm)	50/50	0,61	0,45–0,73	–0,76	0,31
RVIDd* (cm)	48/50	0,48	0,32–0,60	1,66	0,010
RVIDs*(cm)	48/50	0,59	0,47–0,69	1,15	0,014
RA* (cm)	33/50	0,54	0,33–0,69	2,52	<0,001
TKA (cm)	40/50	0,54	0,31–0,71	0,56	0,31
MKA (cm)	50/50	0,54	0,31–0,70	–0,83	0,075
LVOT* (cm)	50/50	0,74	0,64–0,82	0,38	0,018
AKA (cm)	48/50	0,72	0,60–0,80	–0,20	0,26
SWT (cm)	46/50	0,54	0,40–0,66	0,08	0,65
PWT (cm)	46/50	0,66	0,54–0,76	0,03	0,82

Bias <0 bedeutet höhere Werte bei 3D. AKA Aortenklappenannulus, LA linker Vorhof (Atrium), LVEF linksventrikuläre Ejektionsfraktion, LVIDd linksventrikulärer Innendurchmesser in Diastole, LVIDs linksventrikulärer Innendurchmesser in Systole, LVLd linksventrikulärer Längsdurchmesser in Diastole, LVLs linksventrikulärer Längsdurchmesser in Systole, LVOT linksventrikulärer Ausflusstrakt („outflow tract“), MKA Mitralklappenannulus, PWT posteriore Wanddicke („posterior wall thickness“), RA rechter Vorhof (Atrium), RV-FAC rechtsventrikuläre „fractional area change“, RVIDd rechtsventrikulärer Innendurchmesser in Diastole, RVIDs rechtsventrikulärer Innendurchmesser in Systole, RVLd rechtsventrikulärer Längsdurchmesser in Diastole, RVLs rechtsventrikulärer Längsdurchmesser in Systole, SWT septale Wanddicke („septal wall thickness“), TKA Trikuspidalklappenannulus.\*p<0,05.

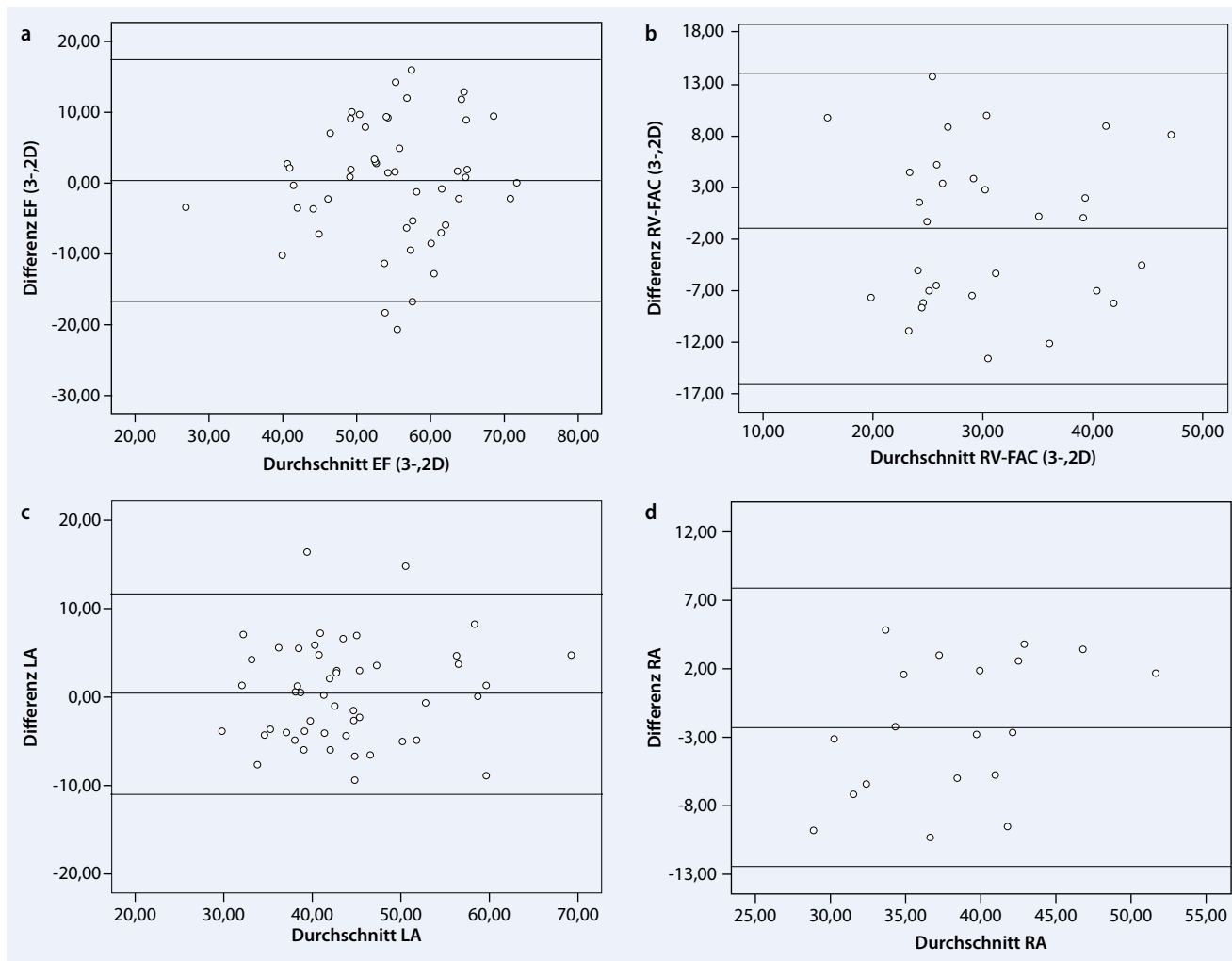
graphie sind meist dadurch bedingt, dass die Einstellung der Standardschnitte ungenügend ist, mit daraus folgenden Abweichungen bei linksventrikulären Messungen [9]. Die Aufnahme eines RT-3D-FV-Datensatzes am Beginn einer Untersuchung würde gewährleisten, dass ein großer Teil der Messungen zur Quantifizierung der Herzkammern und Herzklappen später offline erfolgen kann, auch wenn der Anästhesist im weiteren Verlauf mit der Stabilisierung des Patienten beschäftigt sein sollte. Nicht- oder schlecht aufgenommene 2D-Standardschnitte (z. B. mit Foreshortening), bedingt durch Zeitmangel des Anästhesisten, lassen sich auf keinen Fall offline auswerten.

Die Analyse dieses 3D-Datensatzes ist zeitlich aufwendiger als die Analyse von 2D-Messungen. Diese Aussage besteht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Jenkins et al. [9], die 2D transthorakale RT, 3D transthorakale und Magnetresonanzuntersuchungen miteinander verglichen. Die Analyse des aufgenommenen RT-3D-Datensatzes kann jedoch offline erfolgen, sobald es die klinische Situation erlaubt. Die Speicherung der TEE-Schnitte kann aber nur, wie bereits erwähnt, in einem begrenzten Zeitfenster vorgenommen werden.

Eine der wesentlichen Nachteile des RT-3D-FV-Datensatzes ist das Fehlen von dopplersonographischen Untersuchungen. Eine Aufnahme eines farbcodierten RT-3D-Datensatzes ist zwar möglich, würde aber wiederum mehr Zeit erfordern. Druckgradienten können zurzeit im RT-3D-FV-Datensatz nicht bestimmt werden. Allerdings ist bei normalem Annulusdurchmesser und normaler Beweglichkeit der Segel, deren Beurteilung im RT-3D-Datensatz sehr gut möglich ist, eine pathologische Flussbeschleunigung eher unwahrscheinlich.

Eine gute 3D-Bildqualität ist von einer guten Bildqualität im 2D-Verfahren abhängig. Die RT-3D-Echokardiographie unterliegt denselben physikalischen Gesetzen wie die 2D-Echokardiographie, und eine schlechte Endokarddetektion im 2D-TEE bedingt eine schlechte Bildqualität des 3D-Datensatzes [7].

Die Intra- und Interobserver-Konkordanz ist zwischen den Methoden vergleichbar. Die jeweils bessere Konkordanz



**Abb. 4** ▲ Bland-Altman-Plot für **a** linksventrikuläre Ejektionsfraktion (EF), **b** rechtsventrikuläre Fractional area change (RV-FAC), **c** Durchmesser linker Vorhof (LA), **d** Durchmesser rechter Vorhof (RA); LVEF-bias 2,5; „limit of agreement“ 16; „percentage error“ 4,6% RV-FAC-bias 0,7; Limit of agreement 17,6; Percentage error 10,2% Durchmesser LA 0,3; Limit of agreement 12; Percentage error 7% Durchmesser RA 1,5; Limit of agreement 12,6; Percentage error 3,8%

in der Bestimmung der LVEF für die 3D-Methode belegt noch einmal die Tatsache, dass Foreshortening im 3D im Gegensatz zu den 2D-TEE-Aufnahmen auch offline korrigiert werden kann.

### Limitationen der Studien

Eine wesentliche Limitation dieser Studie ist das Fehlen einer Referenzmethode. Dies führt dazu, dass nur Abweichungen der beiden Methoden voneinander beschrieben werden können.

Es wurden nur Patienten aufgenommen, die sich einer chirurgischen Mitralklappenrekonstruktion bei vorbestehender, chronischer Mitralklappeninsuffizienz unterzogen. Aufgrund dieser pathologischen Veränderung, die immer

mit einer Vergrößerung des linken Vorhofs und des linken Ventrikels einhergeht, ist es manchmal unmöglich, den rechten Ventrikel und den rechten Vorhof in den RT-3D-FV-Datensatz einzubeziehen. Es ist wahrscheinlich, dass bei Patienten mit normalen linksventrikulären Dimensionen mehr Anteile des rechten Herzens durch einen RT-3D-FV-Datensatz ausreichend erfasst und dementsprechend gemessen werden können.

Die Studie fokussiert auf die Bedeutung des zusätzlichen Nutzens des RT-3D-FV-Datensatzes in der intraoperativen Untersuchung vor dem chirurgischen Eingriff. Die Wahrscheinlichkeit und die Bedeutung, dass unbekannt pathologische Veränderungen in dieser Phase übersehen werden könnten, schätzen die Au-

toren höher ein als für die intraoperative Untersuchung nach dem chirurgischen Eingriff. Die 3D-Echokardiographie kann die 2D-Echokardiographie nicht ersetzen, stellt aber eine sinnvolle Ergänzung dar.

### Fazit für die Praxis

Die Aufnahme eines zusätzlichen RT-3D-FV-Datensatzes im Rahmen einer problemfokussierten intraoperativen TEE-Untersuchung bei herzchirurgischen Patienten benötigt nur wenig zusätzliche Zeit. Basierend auf diesem Datensatz lassen sich aber mit hinreichender Genauigkeit fast alle Messungen zur Quantifizierung der Herzkammern und Herzklappen offline durchführen.

**Tab. 3** „Concordance correlation coefficient“ der Intraobserver-Konkordanz

Parameter	ccc_2d	ccc_3d	p-Wert 2D vs. 3D
LVEF	0,42	0,50	0,85
LVLd	0,81	0,83	0,70
LVLs	0,59	0,52	0,69
LVIDd	0,66	0,66	0,96
LVIDs	0,50	0,64	0,52
LAquer	0,74	0,70	0,83
RV-FAC	0,60	0,23	0,47
RVLd	0,71	0,52	0,19
RVLs	0,73	0,73	0,98
RVIDd	0,40	0,14	0,54
RVIDs	0,45	0,49	0,87
RA	0,78	0,44	0,96
TKA	0,47	0,45	0,85
MKA	0,73	0,69	0,78
LVOT	0,61	0,66	0,59
AKA	0,68	0,65	0,83
SWT*	0,67	0,37	0,04
PWT	0,65	0,58	0,40

AKA Aortenklappenannulus, LA linker Vorhof (Atrium), LVEF linksventrikuläre Ejektionsfraktion, LVIDd linksventrikulärer Innendurchmesser in Diastole, LVIDs linksventrikulärer Innendurchmesser in Systole, LVLd linksventrikulärer Längsdurchmesser in Diastole, LVLs linksventrikulärer Längsdurchmesser in Systole, LVOT linksventrikulärer Ausflusstrakt („outflow tract“), MKA Mitralklappenannulus, PWT posteriore Wanddicke („posterior wall thickness“), RA rechter Vorhof (Atrium), RV-FAC rechtsventrikuläre „fractional area change“, RVIDd rechtsventrikulärer Innendurchmesser in Diastole, RVIDs rechtsventrikulärer Innendurchmesser in Systole, RVLd rechtsventrikulärer Längsdurchmesser in Diastole, RVLs rechtsventrikulärer Längsdurchmesser in Systole, SWT septale Wanddicke („septal wall thickness“), TKA Trikuspidalklappenannulus.  
\*p<0,05.

**Tab. 4** „Concordance correlation coefficient“ der Interobserver-Konkordanz

Parameter	ccc_2d	ccc_3d	p-Wert 2Dvs3D
LVEF	0,33	0,54	0,16
LVLd	0,75	0,74	0,78
LVLs	0,43	0,60	0,35
LVIDd	0,32	0,28	0,88
LVIDs	0,54	0,41	0,46
LAquer	0,42	0,48	0,58
RV-FAC	0,72	0,62	0,11
RVLd	0,54	0,57	0,89
RVLs	0,65	0,64	0,99
RVIDd	0,37	0,24	0,83
RVIDs*	0,28	0,52	0,05
RA	0,85	0,66	0,15
TKA	0,46	0,31	0,85
MKA	0,73	0,42	0,06
LVOT	0,63	0,64	0,87
AKA	0,44	0,46	0,86
SWT*	0,46	0,16	0,03
PWT	0,22	0,10	0,39

AKA Aortenklappenannulus, LA linker Vorhof (Atrium), LVEF linksventrikuläre Ejektionsfraktion, LVIDd linksventrikulärer Innendurchmesser in Diastole, LVIDs linksventrikulärer Innendurchmesser in Systole, LVLd linksventrikulärer Längsdurchmesser in Diastole, LVLs linksventrikulärer Längsdurchmesser in Systole, LVOT linksventrikulärer Ausflusstrakt (outflow tract), MKA Mitralklappenannulus, PWT posteriore Wanddicke (posterior wall thickness), RA rechter Vorhof (Atrium), RV-FAC rechtsventrikuläre Fractional Area Change, RVIDd rechtsventrikulärer Innendurchmesser in Diastole, RVIDs rechtsventrikulärer Innendurchmesser in Systole, RVLd rechtsventrikulärer Längsdurchmesser in Diastole, RVLs rechtsventrikulärer Längsdurchmesser in Systole, SWT septale Wanddicke (septal wall thickness), TKA Trikuspidalklappenannulus.

## Korrespondenzadresse

**Dr. J. Ender**

Abteilung für Anästhesiologie und  
Intensivmedizin II, Herzzentrum,  
Universität Leipzig  
Strümpellstr. 39, 04289 Leipzig  
joerg.ender@medizin.uni-leipzig.de

**Interessenkonflikt.** Der korrespondierende Autor gibt für sich und seine Koautoren an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

1. Klein AA, Snell A, Nashef SA et al (2009) The impact of intra-operative transoesophageal echocardiography on cardiac surgical practice. *Anaesthesia* 64:947–952
2. Kneeshaw JD (2006) Transoesophageal echocardiography (TOE) in the operating room. *Br J Anaesth* 97:77–84
3. Lang RM, Bierig M, Devereux RB et al (2005) Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr* 18:1440–1463
4. Shanewise JS, Cheung AT, Aronson S et al (1999) ASE/SCA guidelines for performing a comprehensive intraoperative multiplane transesophageal echocardiography examination: recommendations of the American Society of Echocardiography Council for Intraoperative Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force for Certification in Perioperative Transesophageal Echocardiography. *Anesth Analg* 89:870–884
5. Ender J, Erb J, Schirmer U et al (2009) Application of transesophageal echocardiography in German speaking cardiac anaesthesia departments: results of a survey. *Anaesthesiol Intensivmed* 50:121–126
6. Feneck R, Kneeshaw J, Fox K et al (2010) Recommendations for reporting perioperative transesophageal echo studies. *Eur J Echocardiogr* 11:387–393
7. Vegas A, Meineri M (2010) Three-dimensional transesophageal echocardiography is a major advance for intraoperative clinical management of patients undergoing cardiac surgery: a core review. *Anesth Analg* 110:1548–1573
8. Barnhart HX, Haber M, Song J (2002) Overall concordance correlation coefficient for evaluating agreement among multiple observers. *Biometrics* 58:1020–1027
9. Jenkins C, Leano R, Chan J, Marwick TH (2007) Reconstructed versus real-time 3-dimensional echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 20:862–868
10. Eltzhig HK, Rosenberger P, Löffler M et al (2008) Impact of intraoperative transesophageal echocardiography on surgical decisions in 12,566 patients undergoing cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 85:845–852
11. Lambert AS, Mazer CD, Duke PC (2002) Survey of the members of the cardiovascular section of the Canadian Anesthesiologists' Society on the use of perioperative transesophageal echocardiography: a brief report. *Can J Anaesth* 49:294–296