

Journal für
Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislaufkrankungen

**Evaluierung der valvulären
Aortenstenose: ein kritischer
Vergleich nichtinvasiver
echokardiographischer und invasiver
Diagnostik**

Schuchlenz H

Journal für Kardiologie - Austrian

Journal of Cardiology 1999; 6 (1)

18-20

Offizielles Organ des
Österreichischen Herzfonds



Member of the ESC-Editors' Club



Indexed in EMBASE/Excerpta Medica/Scopus

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

Online-Datenbank mit
Autoren- und Stichwortsuche

Member of the



www.kup.at/kardiologie

Krause & Pachernegg GmbH · VERLAG für MEDIZIN und WIRTSCHAFT · A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031105M, Verlagspostamt: 3002 Purkersdorf, Erscheinungsort: 3003 Gablitz

2012: Abo-Aktion zum Kennenlernen

Wenn Sie Arzt sind, in Ausbildung zu einem ärztlichen Beruf, oder im Gesundheitsbereich tätig, haben Sie die Möglichkeit, die elektronische Ausgabe dieser Zeitschrift kostenlos zu beziehen.

Die Lieferung umfasst 4–6 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Das e-Journal steht als PDF-Datei (ca. 5–10 MB) zur Verfügung und ist auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

Inkludiert im PDF sind im Laufe des Jahres eine Serviceseite für Vortragende, mit direktem Zugriff auf hochauflösende Grafiken und – so vorhanden – embedded Video-Clips.

Bestellung kostenloses e-Journal Abo



Evaluierung der valvulären Aortenstenose: Ein kritischer Vergleich nichtinvasiver echokardiographischer und invasiver Diagnostik

H. Schuchlenz

Aortic valve replacement prolongs life in symptomatic patients with severe aortic stenosis. It is essential to identify correctly those patients with critical aortic stenosis (aortic valve area < 0.75 cm²) requiring valve replacement in the presence of symptoms. Cardiac catheterization is the traditional method of assessing the severity of aortic stenosis and it is the usual „gold standard“ to which other techniques are compared. The peak to peak transvalvular gradient and the cardiac output are measured directly, and the Gorlin formula is used to calculate aortic valve area. Doppler echocardiography provides an accurate assessment of maximal instantaneous and mean aortic gradients by direct measurement of aortic velocity. The aortic valve area is calculated by the continuity equation. Recently, planimetry of the anatomic aortic valve area by multiplane transesophageal echocardiography has proved to be a reliable flow independent method. Although most of the time there is excellent correlation between echocardiography and cardiac catheterization, significant discrepancies may occur. The following discussion will focus on the assessment of the severity of aortic stenosis by echocardiography and cardiac catheterization and the potential sources of discordant results. J Kardiol 1999; 6: 18–20.

Die valvuläre Aortenstenose ist der häufigste Herzklappenfehler im Erwachsenenalter. Der Aortenklappenersatz verlängert Leben und verbessert Lebensqualität bei Patienten mit symptomatischer kritischer Aortenstenose. Die exakte hämodynamische Beurteilung dieses Vitiums ist daher von wichtiger klinischer Bedeutung v. a. für die zunehmende Anzahl von alten Patienten mit degenerativer Aortenstenose aber auch für jüngere Patienten mit kongenitaler oder rheumatischer Aortenstenose. Weiters ist das Wissen des Schweregrades der Aortenstenose auch für asymptotische Patienten bei der Wahl des Narkoseverfahrens von vitaler Bedeutung, wenn diese sich einem nicht kardiochirurgischen Eingriff unterziehen müssen oder Frauen im gebärfähigem Alter eine Schwangerschaft durchlaufen.

Die haemodynamische Konsequenz einer Klappenstenose ist der Aufbau eines meßbaren Druckgradienten. Die traditionelle Methode zur Abklärung des Schweregrades der Aortenstenose ist seit langer Zeit die invasive Diagnostik mittels Herzkatheter. Diese Technik stellt den sogenannten „gold-standard“ dar, mit welcher neuere nichtinvasive, echokardiographische Techniken verglichen werden. In der folgenden Arbeit wird unter Bedachtnahme auf die aktuelle Literatur und eigene Erfahrungen die Evaluierung der valvulären Aortenstenose mittels Echokardiographie und Herzkatheter analysiert und die möglichen Fehlerquellen beider Techniken diskutiert.

Herzkathetertechnik

Der Schweregrad der Aortenstenose (AS) wird traditioneller Weise durch den invasiv bestimmten transvalvulären „peak to peak“ Gradienten und den mittleren transvalvulären Druckgradienten definiert. Da der Schweregrad der Aortenstenose nicht immer mit dem Gradienten korreliert – das Ausmaß der Druckdifferenz ist auch durch die linksventrikuläre Funktion (LVF) bestimmt – sollte man vor allem bei eingeschränkter LVF immer die Aortenklappenöffnungsfläche (AVA) mittels Gorlinformel berechnen [1] (Tab. 1):

$$AVA = \frac{CO / (SEP \times HF)}{44,5 \times \sqrt{MP}}$$

AVA = Aortic valve area; CO = Cardiac output; SEP = Systolic ejection period; MP = Mean pressure gradient.

Die optimale Druckregistrierung sollte mit einem bilumigen Katheter (distales Ostium im linken Ventrikel, proximales

Ostium in der Aorta ascendens), welcher retrograd über die Aortenklappe geführt wird, erfolgen (Abb. 1). Allein diese Technik erlaubt die exakte simultane Registrierung der transvalvulären Druckdifferenz mit den wenigsten Fehlerquellen. Als Alternative kann man die Druckdifferenz über die Katheterrückzugkurve berechnen (Abb. 2), wobei zu beachten ist, daß der Katheter mindestens 2 cm distal der Stenose plaziert wird, um das physikalische Phänomen der „Druckerholung“ zu umgehen, welches unter anderem auch Ursache für eine mögliche Diskrepanz zwischen Dopplergradienten und Kathetergradienten sein kann [2–4].

Tabelle 1: Schweregradeinteilung der Aortenstenose.

Aortenklappenöffnungsfläche (AVA)	
Normal	2,5–4,5 cm ²
Geringe Aortenstenose	1,1–1,9 cm ²
Mäßige Aortenstenose	0,75–1,0 cm ²
Kritische Aortenstenose	< 0,75 cm ²

Bezogen auf die Körperoberfläche AVA/KO = AVA index

AVA index ≤ 0,45 = kritische Aortenstenose

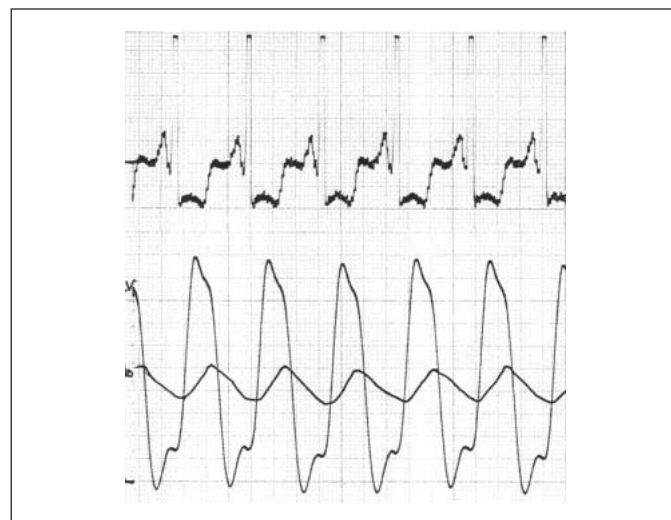


Abbildung 1: Simultane Druckregistrierung des transvalvulären Druckgradienten mit bilumigen Pigtailkatheter.

Von der II. Medizinischen Abteilung, LKH-Universitätsklinikum Graz

Korrespondenzadresse: Dr. med. Herwig Schuchlenz, II. Medizinische Abteilung, Kardiopulmonales Department, LKH und Universitätsklinikum Graz, A-8036 Graz, Auenbruggerplatz 15

Ein peripherer arterieller Zugang, wie zum Beispiel die Schleiße in der Arteria femoralis, darf nicht zur Druckdifferenzregistrierung herangezogen werden, da es bekannter Weise zu einer peripheren systolischen Druckverstärkung von 20–50 mmHg kommt (siehe auch Abb. 2).

Eine Reihe von *in vitro* und *in vivo* Studien haben bewiesen, daß die Gorlinformel zur Berechnung der Aortenstenose – entgegengesetzt der Meinung der Erfinder – unter bestimmten Bedingungen doch flußabhängig ist [5–12]. Vor allem im Bereich eines niedrigen Herzzeitvolumens (HZV) kommt es zu einer klinisch bedeutsamen Unterschätzung der AVA. Überdies hat die Berechnung der Aortenstenose nach Gorlin und Gorlin weitere Limitationen durch die Messung des HZV, welches in die Formel miteinbezogen wird. Die Methode nach Fick liefert zwar die genauesten Ergebnisse zur Beurteilung des HZV, bedarf allerdings einer genauen Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs und wird in der klinischen Routine nicht verwendet. Die allgemein gebräuchliche Thermodilutionsmethode verliert ihre Genauigkeit bei niedrigem HZV und in der Gegenwart einer wirksamen Trikuspidalinsuffizienz [13]. Ebenso kann die Gorlinformel nicht bei einer kombinierten mäßiggradigen oder schweren Aorteninsuffizienz angewandt werden.

Echokardiographie

Durch direkte Messung der maximalen Geschwindigkeit des transvalvulären Blutflusses ermöglicht die Dopplerechokardiographie (Abb. 3) nach der modifizierten Bernoulli-Gleichung ($\Delta p = 4 \times v_{\text{max}}^2$) die Berechnung des maximalen instantanen Druckgradienten [14, 15]. Der mittlere transvalvuläre Druckgradient errechnet sich über die Mittelung der instantanen maximalen Gradienten während der Austreibungszeit. Eine Spitzengeschwindigkeit > 4,5 m/sec (81 mmHg max Gradient) bzw. ein Mitteldruck > 50 mmHg ist in der Regel spezifisch für eine kritische Aortenstenose, außer es liegt eine begleitende mäßige oder schwere Aorteninsuffizienz vor, die durch das erhöhte Schlagvolumen für die Flußbeschleunigung verantwortlich ist. Andererseits kann man bei einer transvalvulären Geschwindigkeit von < 3,0 m/sec (36 mmHg max Gradient) – optimale Schallqualität und Schallwinkel vorausgesetzt – eine kritische Aortenstenose ausschließen, wenn ein normales Herzzeitvolumen bzw. eine gute linksventrikuläre Pumpfunktion vorliegt.

Bei Patienten mit kombinierter Aorteninsuffizienz, eingeschränkter linksventrikulärer Pumpfunktion und Flußgeschwindigkeiten zwischen 3,0 m/sec und 4,5 m/sec (Graubereich) ist es unabdingbar, die Aortenstenose mittels Kontinuitätsgleichung zu evaluieren, da der Gradient stark vom Schlagvolumen abhängt und mit Hilfe dieser Gleichung auch der Fluß mitberücksichtigt wird [15–18]. Die isolierte Anwendung der modifizierten Bernoulli-Gleichung würde somit bei schlechter Pumpfunktion zu einer Unterschätzung bzw. bei erhöhtem Schlagvolumen zu einer Überschätzung des Schweregrades der Aortenstenose führen. Zur Berechnung der Aortenöffnungsfläche (AVA) nach der Kontinuitätsgleichung müssen folgende Meßwerte bestimmt werden:

1. Die prästenotische Maximalgeschwindigkeit (Geschwindigkeitszeitintegral VTI_1) mittels gepulstem Doppler.
2. Die intrastenotische Maximalgeschwindigkeit (Geschwindigkeitszeitintegral VTI_2) mittels continuous-wave-Doppler.
3. Die Weite des linksventrikulären Ausflußtraktes (LVOT) unmittelbar unterhalb der Aortenklappe ($D = r^2 \times \pi$).

$$AVA \text{ (Kontinuitätsgleichung)} = \frac{VTI_1 \times D_{LVOT}}{VTI_2}$$

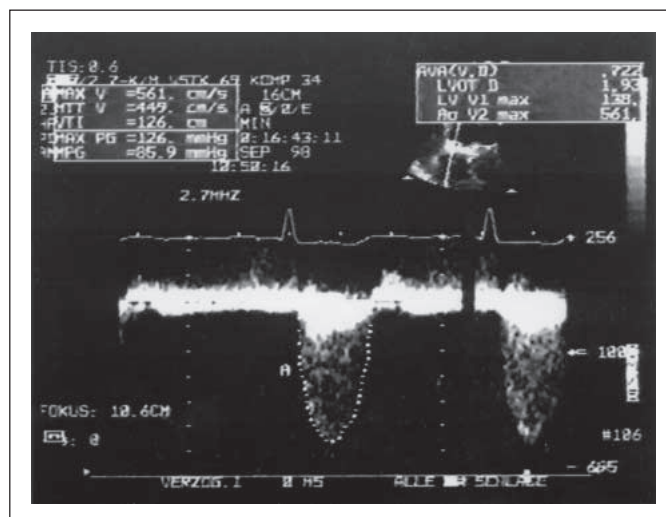


Abbildung 3: Dopplerechokardiographische Evaluierung der Aortenstenose (Maximaler instantaner und mittlerer Gradient, Aortenklappenöffnungsfläche nach der Kontinuitätsgleichung).

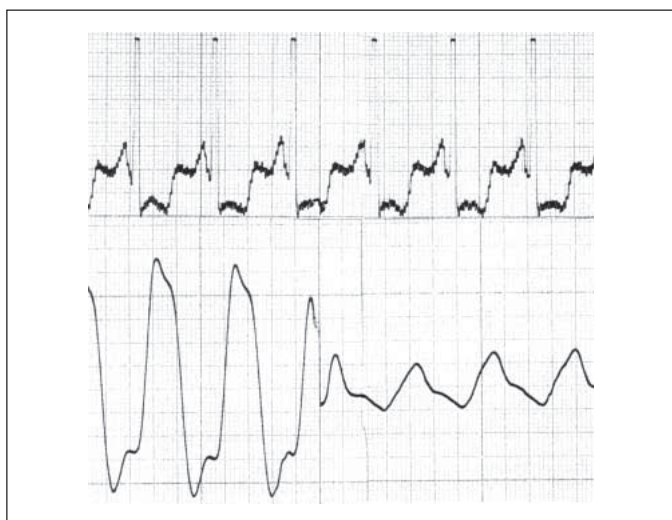


Abbildung 2: Druckregistrierung des transvalvulären Druckgradienten mittels „Katheterrückzugskurve“. Man beachte den kontinuierlichen Druckanstieg in der Aorta mit zunehmender Entfernung von der Klappenebene.

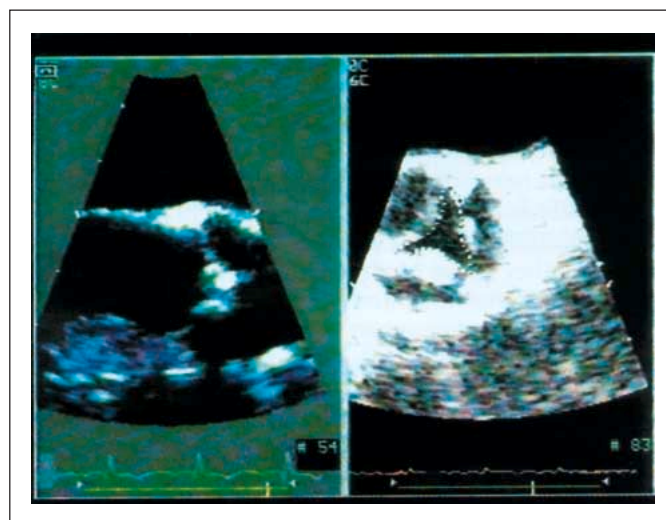


Abbildung 4: Transösophageale echokardiographische planimetrische Evaluierung der Aortenstenose im rechten Bildabschnitt, Orientierung über die optimale Schnittführung in der Längsachse im Bild links.

Auch wenn man mittels der Kontinuitätsgleichung den Einfluß verschiedener Flußzustände durch die prästenotische Geschwindigkeit mitberücksichtigt, muß dennoch betont werden, daß auch diese Methodik – wenn auch geringer als invasive Methodik – nicht vollkommen flußunabhängig ist [19, 20]. Vor allem im Bereich von deutlich herabgesetzten HZV kann es zu Unterschätzungen der AVA bzw. Überschätzung des Stenosegrades kommen. Bedingt wird dies durch veränderte Profile der Vena contracta und durch verminderte Mobilität der verkalkten Taschenklappen bei niedrigen Durchflußraten. Durch Einsatz der Stress-Echokardiographie und der planimetrischen Evaluierung mittels multiplaner TEE können diese „Schwachstellen“ reduziert werden (Abb. 4) [12, 20].

Das Verhältnis der maximalen Geschwindigkeit im linksventrikulären Ausflußtrakt zur maximalen aortalen Geschwindigkeit stellt eine verlässliche Alternative zur Kontinuitätsgleichung dar, wenn der Durchmesser des linksventrikulären Ausflußtraktes nicht exakt vermeßbar ist. Eine Ratio $< 0,26$ stellt einen verlässlichen Marker für eine kritische Aortenstenose dar. Obwohl eine Vielzahl von Studien eine exzellente Korrelation zwischen dopplerechokardiographischer und invasiver Evaluierung der Aortenstenose beweisen konnten, kommt es in der täglichen Praxis dennoch immer wieder zu signifikanten Unterschieden, die zu Konflikten in der klinischen Entscheidungsfindung führen. Die besten Korrelationen konnten für den mittleren Gradienten und für den maximalen instantanen Gradienten erzielt werden. Der dopplerechokardiographisch errechnete maximale instantane Druckgradient und der invasiv gemessene „peak to peak“ Gradient sollten nicht verglichen werden. Während der maximale instantane Doppler-Gradient den augenblicklichen Druckunterschied zwischen linken Ventrikel und Aorta darstellt, ist der invasiv gemessene „peak to peak“ Gradient eine theoretische Konstruktion, da der maximale systolische Druck in der Aorta typischerweise später als der systolische linksventrikuläre Spitzendruck entsteht.

Ein weiterer Grund für eine mögliche Diskrepanz zwischen Dopplergradienten und Kathetergradienten kann durch die sogenannte „pressure recovery“ („Druckerholung“, bzw. Druckzunahme distal der Stenose) bedingt sein.

Zu einer Überschätzung des Gradienten durch die Dopplerechokardiographie, erklärbar durch die Druckerholung distal der Stenose, kann es kommen, da man mit dem continuous-wave-Doppler die maximale Geschwindigkeit in der „Vena contracta“ nahe der Stenose mißt, währenddessen das Katheterostium zur Druckdifferenzmessung meist weiter distal liegt, wo bereits eine „Druckerholung“, das heißt Druckzunahme stattgefunden hat. Das Phänomen der „pressure recovery“ kann vor allem bei mäßiger AST mit zentralem Jet und bei kleiner Aorta (< 3 cm) klinisch relevant werden [21]. Die multiplane transösophageale Echokardiographie ermöglicht überdies eine direkte „planimetrische“ Vermessung der Aortenklappenöffnungsfläche. Diese Methodik stellt eine verlässliche Alternative zur transthorakalen Echokardiographie dar, wenn schlechte Schallbedingungen eine seriöse Beurteilung nicht möglich machen. Eine kürzlich erschienene Studie konnte zeigen, daß sich unter verschiedenen Flußbedingungen die planimetrisch ermittelte AVA mittels multiplaner transösophagealer Echokardiographie im Gegensatz zur invasiv mittels Gorlinformel errechneten AVA nicht signifikant veränderte [12]. Allerdings wird die Genauigkeit dieser Technik durch stark verkalkte Klappen beziehungsweise durch die entstehenden Schallschatten limitiert. Weiters ist bei der Planimetrie der Aortenklappe bei einem Doming, wie

es häufig bei bikuspiden Klappen vorkommt, ähnlich wie bei der Planimetrie der Mitralklappe darauf zu achten, die richtige Ebene der trichterförmigen Stenose zu finden.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden daß keine der oben genannten Methoden perfekt ist. Wenn man aber die Grenzen und Ungenauigkeiten der Gorlinformel mit denen der Echokardiographie vergleicht, muß man doch den Schluß ziehen, daß die invasive Methode mehr potentielle Fehlerquellen aufweist als die nichtinvasive Methode. Geschick und Erfahrung in echokardiographischer Technik vorausgesetzt, sollte der Herzkatheter bei Patienten mit schwere Aortenstenose auf die Koronarangiographie beschränkt bleiben.

Literatur:

1. Gorlin R, Gorlin G. Hydraulic formula for calculation of area of stenotic mitral valve, other cardiac valves and central circulatory shunts. *Am Heart J* 1951; 41: 1–29.
2. Völker W, Reul H, Stelzer T, Schmidt A, Karsch KR. Pressure recovery in aortic stenosis: an in vitro study in a pulsatile flow model. *J Am Coll Cardiol* 1992; 20: 1585–93.
3. Baumgartner H, Schima H, Tulzer G, Kühn P. Effect of stenosis geometry on the Doppler-catheter gradient relation in vitro: a manifestation of pressure recovery. *J Am Coll Cardiol* 1993; 21: 1018–25.
4. Laskey WK, Kussmaul WG. Pressure recovery in aortic valve stenosis. *Circulation* 1994; 89: 116–21.
5. Cannon SR, Richards KL, Rawford M. Hydraulic estimation of stenotic orifice area: a correction of the Gorlin formula. *Circulation* 1985; 71: 1170–8.
6. Casale PN, Palacios IF, Abascal VM, et al. Effects of dobutamine on Gorlin and continuity equation valve areas and valve resistance in valvular aortic stenosis. *Am J Cardiol* 1992; 70: 1175–9.
7. Bache RJ, Wand Y, Jörgensen CR. Hemodynamic effects of exercise in isolated valvular aortic stenosis. *Circulation* 1971; 44: 1003–13.
8. Wyman RM, Diver DJ, Lorell BH. The effects of increasing inotropy and transvalvular flow on Gorlin formula aortic valve area calculations in aortic stenosis [abstract]. *Circulation* 1988; Suppl II: II-124.
9. Paulus WJ, Sys SU, Heyndrickx GR, Andries E. Orifice variability of the stenotic aortic valve: evaluation before and after balloon aortic valvuloplasty. *J Am Coll Cardiol* 1991; 17: 1263–9.
10. McCriskin JW, Herman RL, Spaccavento LJ, Tomlinson GC. Isoproterenol infusion increases Gorlin formula aortic valve area in isolated aortic stenosis [abstract]. *J Am Coll Cardiol* 1988; 11 (Suppl A): 63A.
11. Burwash IG, Thomas DD, Sadahiro M, et al. Dependence of Gorlin formula and continuity equation valve areas on transvalvular volume flow rate in aortic stenosis. *Circulation* 1994; 89: 827–35.
12. Tardiif JC, Rodrigues AG, Hardy JF, et al. Simultaneous determination of aortic valve area by the Gorlin formula and by transesophageal echocardiography under different transvalvular flow conditions. *J Am Coll Cardiol* 1997; 29: 1296–302.
13. Grondelle AV et al: Thermodilution method overestimates low cardiac output in humans. *Am J Physiol* 1983; 245 (Heart Circ Physiol 14): H690.
14. Currie PJ, Seward JB, Reeder GS, et al. Continuous-wave Doppler echocardiographic assessment of severity of calcific aortic stenosis: A simultaneous Doppler-catheter correlative study in 100 adult patients. *Circulation* 1985; 71: 1162.
15. Skaerpe T, Hegrenaes L, Hatle L. Noninvasive estimation of valve area in patients with aortic stenosis by Doppler ultrasound and two-dimensional echocardiography. *Circulation* 1985; 72: 810–8.
16. Richards K, Cannon S, Miller J, Crawford M. Calculation of aortic valve area by Doppler echocardiography: a direct application of the continuity equation. *Circulation* 1986; 73: 964–9.
17. Oh J, Taliencio C, Holmes D, Reeder G, Bailey K, Seward J, Tajik J. Prediction of the severity of aortic stenosis by Doppler aortic valve area determination: prospective Doppler-catheter correlation in 100 patients. *J Am Coll Cardiol* 1988; 11: 1227–34.
18. Harrison M, Gurley J, Smith M, Grayburn P, DeMaria A. A practical application of Doppler echocardiography for the assessment of severity of aortic stenosis. *Am Heart J* 1988; 115: 622–8.
19. DeGroff CG, Shandas R, Valdes-Cruz L. Analysis of the effect of flow rate on the Doppler continuity equation for stenotic area calculations. *Circulation* 1988; 97: 1597–605.
20. Bermejo J, Garcia-Fernandez MA, Torrecilla EG, et al. Effects of dobutamine on Doppler echocardiographic indexes of aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol* 1996; 28: 1206–13.
21. Niederberger J, Schima H, Maurer G, Baumgartner H. Importance of pressure recovery for the assessment of aortic stenosis by Doppler ultrasound. *Circulation* 1996; 94: 1934–40.

ABONNEMENTBESTELLUNG

JOURNAL FÜR KARDIOLOGIE

Achtung Aktion: Abonnement e-Journal derzeit bis auf Widerruf kostenlos!

 **DAZU HIER KLICKEN**

Hiermit bestelle ich
ein Jahresabonnement
(mindestens 6 Ausgaben)

- als Printversion zum Preis von
€ 60,-*
- als e-Journal (das Gesamt-PDF
erhalte ich per Download zum
Preis von € 60,-)
- als Printversion und e-Journal
zum Preis von € 60,-*

Zutreffendes bitte ankreuzen

* im Ausland zzgl. Versandkosten
Stand 1.1.2012

Name

Anschritt

E-Mail

Datum, Unterschrift

Einsenden oder per Fax an:

Krause & Pachernegg GmbH, Verlag für Medizin und Wirtschaft
A-3003 Gablitz, Mozartgasse 10
FAX: +43/(0)2231/612 58-10

 **ELEKTRONISCHE BESTELLUNG**

Bücher & CDs
Homepage: www.kup.at/buch_cd.htm
