

ZEITSCHRIFT FÜR

# HERZ-, THORAX- UND GEFÄSSCHIRURGIE

Herausgegeben von:

**Prof. Dr. R. Hetzer**

Direktor des Deutschen  
Herzzentrums Berlin  
Augustenburger Platz 1  
1000 Berlin 65

**Prof. Dr. B. J. Messmer**

RWTH-Aachen  
Direktor der Abteilung für  
Thorax-, Herz- und  
Gefäßchirurgie  
Pauwelsestraße  
5100 Aachen

**Prof. Dr. W. Sandmann**

Leiter der Abteilung für  
Gefäßchirurgie und Nierentransplantation  
Chirurgische Klinik und Poliklinik  
der Universität Düsseldorf  
Moorenstraße 5  
4000 Düsseldorf

**Prof. Dr. I. Vogt-Moykopf**

Ärztlicher Direktor der Thoraxklinik  
Thoraxchirurgische Abteilung  
Amalienstraße 5  
6900 Heidelberg

Schriftleitung:

**Prof. Dr. R. Hetzer**

**Dr. S. Schüler**

**Dr. M. Loebe**

Deutsches Herzzentrum Berlin  
Augustenburger Platz 1  
1000 Berlin 65

Beiratsmitglieder:

K. Alexander (Hannover)  
D. Birnbaum (Regensburg)  
N. Bleese (Hamburg)  
K. Bühlmeier (München)  
H. Dittrich (Münster)  
P. Lichtlen (Hannover)  
A. Lüdtker-Handjery (Berlin)  
K. Meßmer (München)

B. Nachbur (Bern)  
H. Oelert (Mainz)  
V. Schulz (Heidelberg)  
J.-R. Siewert (München)  
H. Warnke (Berlin)  
H. Wolff (Berlin)  
D. Krumhaar (Berlin)

**Bandinhaltsverzeichnis  
Band 5 (1991)**



**Steinkopff Darmstadt**

# Bandinhaltsverzeichnis

<b>Editorial</b> .....	51, 149	Knopp W, Dasbach G, Voss B, Muhr G, Müller K-M (Bochum) Experimentelle mikrochirurgische Laseranastomosierung: Morphologische Befunde .....	292
Anyanwu E, Schlüter M, Bauer E, Bickel J (Heidelberg) Chirurgie der Brustwandmetastasen: Brustwandrekonstruktion .....	165	Konertz W, Schwammenthal E, Hachenberg T, Spital G, Breithardt G, Scheld HH (Münster) Pulmonalklappenlograft in Aortenposition – Frühergebnisse bei 30 konsekutiven Patienten .....	68
Becker HD (Heidelberg) Leistung und Grenzen der Bronchoskopie in der Diagnostik von Lungentumoren – 20 Jahre später. Was erwartet der Thoraxchirurg vom Endoskopeur? .....	201	Kuhn H (Münster) Epidemiologie, Verlaufsformen und Prognose der dilatativen Kardiomyopathie (DCM) ....	1
Bertsch G, Silber RE, Habscheid W, Elert O (Würzburg) Problematik und Therapie tracheobronchialer Komplikationen nach Einlage von Magensonden .....	272	Kuppe H, Schüler S, Friedel N, Schäfer P, Schmucker P (Berlin) Rechtsventrikuläre Funktion während aortokoronarer Bypassoperation .....	123
Bischoff HG, Branscheid D, Probst G (Heidelberg) Chirurgische Therapie beim malignen Pleuraerguß .....	173	Lamp B, Karbenn U, Kerber S, Hamann P, Konertz W, Breithardt G, Scheld HH (Münster) Echokardiographisch gesteuerte Endomyokardbiopsie nach orthotoper und heterotoper Herztransplantation .....	38
Böttger T, Schäfer W, Junginger T (Mainz) Konservative oder operative Therapie der Ösophagusperforation ....	236	Lieback E, Nawrocki M, Meyer R, Vilser J, Bellach J, Hetzer R (Berlin) Erkennung einer Abstoßungsreaktion nach Herztransplantation durch echokardiographische Gewebedifferenzierung .....	207
Bülzebrück H, Gsagnet G, Drings P (Heidelberg) Ein multivariates Prognosemodell für Patienten mit nichtkleinzelligem Bronchialkarzinom (NSCLC) ohne tumorspezifische Therapie .....	191	Lüdtko-Handjery A (Berlin-Spandau) Der Fibrinkleber in der Behandlung postoperativer Lymphfisteln nach gefäßchirurgischen Eingriffen .....	135
Carrel T, Pasic M, Laske A, Kaufmann U, Bertel O, Gallino A, Jenni R, Niederhäuser U, Schönbeck M, Bauer E, von Segesser L, Turina M (Zürich) Resultate der invasiven Untersuchung des perioperativen Myokardinfarktes in der Koronarchirurgie .....	247	Mayer E, Iversen, S, Drexler M, Neufang A, Oelert H (Mainz) Therapie des postoperativen low cardiac output Syndroms mit dem Phosphodiesterasehemmer Enoximone .....	214
Drings P (Heidelberg) Diagnostik und Staging als Grundlage für die Therapieplanung beim Bronchialkarzinom	151	Minami K, Damsch R, Inoue K, Körfer R (Bad Oeynhausen) Messungen der zerebralen Perfusionsreserve durch Transcraniale Dopplersonographie bei Patienten mit hochgradiger Carotisstenose und koronarer Herzerkrankung: Diagnostische Wertigkeit und therapeutische Konsequenz .....	17
Engelmann C, Liedtke D, Hennig R (Berlin) Chirurgische Technik bei erworbenen benignen ösophagotrachealen Kommunikationen mit Trachealstenose und -malazie	281	Olah D, Duff C, Radimsky S, Brunner U (Zürich) Natürlicher Verlauf und prophylaktische Operation beim femoro-poplitealen Aneurysma .....	244
Figulla HR, Kreuzer H (Göttingen) Prognostische Indices der dilatativen Kardiomyopathie, der Wert der Endomyokombiopsie .....	12	Paul KP, Branscheid D, Swoboda L, Toomes H (Heidelberg/Gerlingen) Retrospektive Untersuchung über den Einfluß der Metastasenresektion auf die Lungenfunktion pädiatrischer Patienten .....	185
Friedel G, Linder A, Toomes H (Gerlingen) Sternumverschluß mit resorbierbarem Nahtmaterial .....	162	Pfannschmidt J, Kuhn-Regnier F (Köln) Akutes Nierenversagen bei kritisch kranken Patienten nach herzchirurgischen Eingriffen: klinische Erfahrungen mit der kontinuierlichen venovenösen Hämofiltration .....	288
Geiger A, Konertz W, Hammel D, Hachenberg T, Kececioğlu D, Scheld HH (Münster) Chirurgischer Verschluß des persistierenden Ductus arteriosus auf der Frühgeborenen-Intensivstation .....	257	Schirren J, Krysa S, Bülzebrück H, Horn M, Branscheid D, Drings P (Heidelberg) Das kleinzellige Bronchialkarzinom – eine Operationsindikation? .....	260
Graf H-J, Stamatis G, Konietzko N (Essen-Heidhausen) Einseitige Bullektomie bei Patienten mit Lungenemphysem auf dem Boden eines schweren Alpha-1-Pi-Mangels unter Substitution .....	28	Schlosser V, Fraedrich G, Schönbach B (Freiburg) Aortenaneurysma und koronare Herzerkrankung. Strategie für Diagnose und Behandlung .....	81
Havel M, Laufer G, Simon P, Owen A, Magometschnigg H (Wien) Akute aortokoronare Bypassoperation (ACBP) nach mißlungener perkutaner Katheterdilatation (PTCA) .....	253	Schmid T, Landry G, Southard JH, Belzer FO (Wisconsin/Innsbruck) Ein neues Modell zum Studium der Herzpräservierung .....	42
Hoffmann M, Minami K (Bad Oeynhausen) Eine Rarität: Pneumothorax mit pleuropleuraler Fistel .....	145	Schnabel PhA, Bach F, Bartels U, Ramsauer B, Richter J, Schmiedl A, Gebhard MM, Bretschneider HJ (Göttingen) Limitierung einer Beurteilung subendokardialer Strukturprotektion anhand von Nadelbiopsien .....	53
Hümmler S, Fraedrich G, Schlosser V (Freiburg) Familiäres Myxom-Syndrom – ein Fallbericht .....	45	Sievers H-H, Leyh R, Jahnke A, Weyand M, Herrmann G, Simon R, Bernhard A (Kiel) Vorhofanatomie und AV-Klappenfunktion einer alternativen Herztransplantationstechnik. Eine echokardiographische Studie im Vergleich zum Standardtransplantationsverfahren .....	23
Iberer F, Wasler A, Tscheliessnigg KH, Metzler H, Rehak P, Kleinert M, Popper H, Auer T, Gombotz H, Petutschnigg B, Rödl S, Giegerl E (Graz) Prostaglandin E1 in der Herztransplantation – Prävention des Rechtsherzversagens und der Abstoßung .....	33	Sievers H-H, Scheewe J, Bernhard A (Kiel) Eine neue dreiflügelige mechanische Herzklappenprothese. Druckgradienten und Strömungsmuster in stationärer Strömung	91
Iversen S, Hake U, Jakob H, Schmiedt W, Oelert H (Mainz) Die thromboembolische pulmonale Hypertonie. Chirurgische Behandlung durch bilaterale pulmonale Thrombenarteriektomie .....	100	Silber R, Engelmaier S, Elert O (Würzburg) Einfluß von prognostischen Faktoren auf die Überlebensrate in der operativen Entfernung von Lungenmetastasen .....	115
Kantartzis M, Preusse CJ, Winter J, Klein M, Schulte H, Bircks W (Düsseldorf) Intubationsbedingte Tracheobronchial-Verletzungen .....	277		
Klein M, Kantartzis M, Winter J, Schulte H, Bircks W (Düsseldorf) Spätkorrektur nach posttraumatischer Bronchosruptur .....	233		

Stoelben E, Männle C, Zimmermann G, Bauer HG (Heidelberg) Herzluxation nach rechtsseitiger Pneumonektomie mit Erweiterung an Herzbeutel und der oberen Einflußbahn: Beschreibung von 4 Fällen .....	227
Vahl CF, Tanzeem A, Böhrer H, Fleischer F, Hagl S (Heidelberg) Postoperatives Psychosyndrom und „low-flow, low-pressure“-Perfusion .....	75
Vogel M, Freedom RM, Smallhorn JF, Burrows P, Williams WG, Trusler GA (Toronto) Morphologische Variationen bei 37 Patienten mit Taussig-Bing-Herzen und deren Bedeutung für die chirurgische Behandlung .....	110
Wagner R, Skupin M, Blum U, Zegelmann M, Satter P (Frankfurt) Protektion der Tunica intima von Bypass-Venen während der intraoperativen Aufbewahrung von der Entnahme bis zur Implantation unter Berücksichtigung des Mediums, der Temperatur und der Zeit .....	221
Walter M, Erasmi H, Pichlmaier H (Köln) Chirurgie der Lungenmetastasen — Eine Standortbestimmung .....	267
Wiebel M, Gehling U, Jackowski M, Schulz V (Heidelberg) Die nicht-invasive intermittierende Selbstbeatmung. Ein neues Verfahren in der Therapie der respiratorischen Insuffizienz .....	178
Zenati M, Conforti A, Fabbri A, Muneretto C, Casarotto D (Verona) Lokale Immunsuppression — ein neues Konzept zur Abstoßungsprophylaxe in der Organtransplantation .....	139

Zerkowski H-R, Brodde O-E, Reidemeister J Chr (Essen) Therapie des Herzversagens im Rahmen der kardiovaskulären Chirurgie .....	85
Zwissler B, Vidal Melo MF, Messmer K (München/Rio de Janeiro) Messung der rechtsventrikulären Auswurffraktion mittels Thermodilution bei pulmonaler Hypertension und rechtsventrikulärer Ischämie. Methodische Aspekte während der Beatmung .....	129

#### Kurzmitteilung

Canestri F (Böblingen/Mailand) Kontrolle von CO <sub>2</sub> Lasern während chirurgischer Eingriffe .....	48
---	----

Autorenregister zu Band 5 (1991) .....	298
--	-----

Stichwortregister (in Deutsch) zu Band 5 (1991) .....	299
---	-----

Stichwortregister (in Englisch) zu Band 5 (1991) .....	301
--	-----

#### In 1991 ist folgendes Supplement zur Zeitschrift erschienen:

W. Konertz, H. H. Scheld (Hrsg.)  
Die modifizierte Fontan-Operation

## Messung der rechtsventrikulären Auswurffraktion mittels Thermodilution bei pulmonaler Hypertension und rechtsventrikulärer Ischämie. Methodische Aspekte während der Beatmung\*)

B. Zwissler<sup>1</sup>, M. F. Vidal Melo<sup>2</sup> und K. Messmer<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut für Anästhesiologie, Ludwig-Maximilians-Universität München, Klinikum Großhadern, München

<sup>2</sup> Programa de Engenharia Biomedica/Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

<sup>3</sup> Institut für Chirurgische Forschung, Ludwig-Maximilians-Universität München, Klinikum Großhadern, München

**Measurement of thermodilution right ventricular ejection fraction in pulmonary hypertension and right ventricular ischemia. Methodological aspects during mechanical ventilation.\***

**Summary:** We investigated the methodological variability of the "fast-response" thermodilution technique in measuring right-ventricular (RV) ejection fraction (RVEF) and RV enddiastolic volume (RVEDV) in six anesthetized and ventilated dogs with RV-ischemia and pulmonary hypertension (PH). RVEF and RVEDV (REF-1, Baxter Corp.) were assessed in triplicate at two ventilatory rates (12 and 25/min, AF12 and AF25) and three timepoints of injection (end-expiratory, EE; end-inspiratory, EI; random injection, RD) as well as during apnea (AP).

RVEF averaged  $25 \pm 6\%$ ; the coefficient of variation (CV) of triplicate measurements of RVEF was  $5.7 \pm 3.0\%$ . At AF25, RVEF was higher with EI injection ( $29 \pm 1\%$ ) than with RD injection ( $27 \pm 5\%$ ;  $p < 0.05$ ). CV was significantly higher at RD ( $7.4 \pm 4.5\%$ ) than at EI ( $4.5 \pm 1.9\%$ ) or EE ( $3.8 \pm 2.8\%$ ). RVEDV averaged  $70 \pm 17$  ml at a CV of  $6.5 \pm 3.4\%$  and was higher at AP ( $75 \pm 19$  ml) than at AF12 or AF25 ( $71 \pm 18$ ;  $p < 0.05$ ). CV of RVEDV was independent from the timepoint of injection and ventilatory rate.

The study shows that measurements of RVEF and RVEDV by means of "fast-response" thermodilution technique may be performed with high reproducibility, despite RV-ischemia and PH. However, measurements may be influenced by both the ventilatory rate and the timepoint of injection. By using a phase-selected mode of injection (e.g., end-expiratory, end-inspiratory) the reproducibility of RVEF measurements may be increased.

**Zusammenfassung:** Wir untersuchten die methodische Variabilität der 'fast-response'-Thermodilutions-Technik zur Messung von rechtsventrikulärer (RV) Auswurffraktion (RVEF) und rechtsventrikulärem enddiastolischem Volumen (RVEDV) bei 6 anästhesierten und beatmeten Hunden mit RV-Ischämie und pulmonaler Hypertension (PH). RVEF und RVEDV (REF-1, Fa. Baxter) wurden bei Beatmungsfrequenzen von 12 und 25/min zu je drei Injektionszeitpunkten (Endexpiration; Endinspiration; zufällig über den Atemzyklus verteilt) sowie während Apnoe bestimmt (3fach-Werte).

Die RVEF betrug im Mittel  $25 \pm 6\%$ , der Variationskoeffizient der Einzel-

### Einführung

Ein funktionell intakter rechter Ventrikel (RV) ist für die Aufrechterhaltung stabiler hämodynamischer Verhältnisse bei intensivmedizinischen (9, 15, 18, 20) und kardiochirurgischen Patienten (4, 10, 19, 24) von wesentlicher Bedeutung. Die bei diesen Patienten erforderliche verlässliche Funktionsdiagnostik des RV war jedoch wegen der geringen Validität der klinisch verfügbaren Monitoring-Methoden (z. B. Messung des ZVD) bislang nicht möglich (26).

Mit der 'fast-response'-Thermodilutionstechnik steht seit wenigen Jahren eine Methode zur Verfügung, mittels derer das Herzzeitvolumen (HZV) und ohne zusätzlichen apparativen und logistischen Aufwand auch die Auswurffraktion des rechten Ventrikels (RVEF) und dessen enddiastolisches Volumen (RVEDV) bestimmt werden können (14, 16, 17). Gemessen wird dabei wie für die Bestimmung des HZV mit Hilfe des Thermodilutionsverfahrens. Neu ist, daß in den eingeschwemmten Pulmonalkatheter ein trägheitsarmer Thermistor integriert ist, mit dem nach Injektion der KälteLösung die Änderungen der Temperatur in der Arteria pulmonalis kontinuierlich Schlag für Schlag registriert werden können. Aus dem Ausmaß der Temperaturänderung je Schlag lassen sich

\*) mit Unterstützung des Sonderforschungsbereiches 320/C3 der DFG

messungen (CV) lag bei  $5,7 \pm 3,0\%$ . Bei einer Beatmungsfrequenz von 25/min und endinspiratorischer Injektion des Kältebolus war RVEF höher ( $29 \pm 1\%$ ) als bei zufälliger Injektion ( $27 \pm 5\%$ ,  $p < 0,05$ ). Der Variationskoeffizient war bei zufälliger Injektion signifikant höher ( $7,4 \pm 4,5\%$ ) als bei endinspiratorischer ( $4,5 \pm 1,9\%$ ) oder endexpiratorischer Injektion ( $3,8 \pm 2,8\%$ ). Das RVEDV betrug im Mittel  $70 \pm 17$  ml und war während Apnoe höher ( $75 \pm 19$  ml) als bei Beatmung ( $71 \pm 18$ ;  $p < 0,05$ ). Der CV von RVEDV war unabhängig von Injektionszeitpunkt und Beatmungsfrequenz und betrug im Mittel  $6,5 \pm 3,4\%$ .

Die Ergebnisse zeigen, daß Messungen von RVEF und RVEDV mittels 'fast response'-Thermodilution auch bei RV-Ischämie und PH mit guter Reproduzierbarkeit durchgeführt werden können. Die Messungen können jedoch sowohl durch die Beatmungsfrequenz als auch den Injektionszeitpunkt beeinflusst werden. Dabei läßt sich durch Wahl eines geeigneten Injektionsmodus (z. B. End-Expiration, End-Inspiration) die Reproduzierbarkeit der RVEF-Messungen erhöhen.

**Schlüsselwörter:** Rechtsventrikuläre Auswurfraction; Thermodilution; rechtsventrikuläre Ischämie; pulmonale Hypertension

**Key words:** Right-ventricular ejection fraction; thermodilution; right-ventricular ischemia; pulmonary hypertension

RVEF und RVEDV berechnen (14, 16, 17). Das Verfahren wurde in den letzten Jahren mehrfach validiert; dabei ist eine gute Übereinstimmung mit anderen Techniken gefunden worden (11).

Kürzlich wurde allerdings über beträchtliche Schwankungen der Meßwerte während mechanischer Beatmung in Abhängigkeit von der Beatmungsfrequenz und dem Zeitpunkt der Kältebolus-Applikation berichtet (1, 2). Unbekannt ist bislang, inwieweit Veränderungen von Beatmungsfrequenz und Injektionszeitpunkt die Meßwerte von RVEF und RVEDV bei gleichzeitiger pulmonaler Hypertension (PH) und RV-Ischämie beeinflussen. Die Beantwortung dieser Frage ist von klinischem Interesse, da Messungen von RVEF und RVEDV insbesondere bei beatmeten, kardiochirurgischen und intensivmedizinischen Patienten durchgeführt werden (3–6, 9, 11, 24), bei denen infolge Myokardischämie und/oder PH häufig Funktionsstörungen des RV vorliegen.

## Material und Methodik

### Modell

Die Untersuchungen wurden an 6 Hunden ( $21 \pm 1$  kg) durchgeführt.

Nach Prämedikation mit Propiomazin (Combelen, 1–1.5 mg/kg i.m.) und Narkoseeinleitung durch i.v. Gabe von Pentobarbital (Nembutal, 20 mg/kg), Piritramid (Dipidorol, 0,75 mg/kg) und Alcuronium (Alloferin, 0,25 mg/kg) wurden die Tiere intubiert und kontrolliert mit einer Frequenz von 12/min, einem Hubvolumen von 15 ml/kg und einer  $FiO_2$  von 1,0 beatmet (Servo 900C, Siemens-Elma, Sw). Die Anästhesie wurde durch kontinuierliche Infusion von Pentobarbital (5 mg/kg/h), Piritramid (150 µg/kg/h) und Alcuronium (75 µg/kg/h) aufrechterhalten. Zur Messung des mittleren arteriellen Druckes (MAP) wurde ein flüssigkeitsgefüllter Katheter (PP270, Portex, Hythe, GB) in der Aorta abdominalis plaziert. Mittlerer pulmonalarterieller Druck (PAP), Herzzeitvolumen (HZV), RVEF und RVEDV wurden mit Hilfe eines über die rechte Vena jugularis externa unter Röntgenkontrolle in die A. pulmonalis eingeschwenkten RVEF-Katheters (Modell 93A-431-75FG, Baxter Healthcare Corp, Santa Ana, CA) gemessen. Die Induktion der RV-Ischämie erfolgte nach rechtsseitiger Thorakotomie und Perikardiotomie durch Ligatur der rechten Koronararterie ca. 1 cm nach deren Abgang aus der Aorta. Anschließend wurden

Perikard und Thorax verschlossen; durch Injektion von Ölsäure (0,01 ml/kg) in den rechten Vorhof sowie repetitive Mikroembolisierung der Lunge mittels 100 µm Glasmikrosphären (0,5 g/kg) wurde eine pulmonale Hypertension mit einem Spitzen-PAP von ca. 35–40 mmHg erzeugt (siehe (27)).

### 'Fast-response'-Thermodilution

Die Grundlage der 'fast-response'-Thermodilutionstechnik wurde bereits mehrfach detailliert dargestellt (7, 14, 16, 17, 25). Der von uns verwendete RVEF-Katheter besitzt an seiner Spitze einen trägheitsarmen Thermistor (50–100 ms), mit dem Änderungen der Temperatur in der A. pulmonalis nach Injektion der Kältelösung kontinuierlich Schlag für Schlag erfaßt werden können. Ein Meßwert-Computer (REF-1, Baxter Healthcare Corp., Santa Ana, CA, USA), ermittelt aus der monoexponentiellen Thermodilutionskurve mehrerer konsekutiver Herzschläge EKG-getriggert die Temperaturwerte zum Zeitpunkt der R-Zacke (Enddiastole) und berechnet hieraus RVEF und RVEDV (Formel siehe (25)). Für jede Messung wurden 5 ml einer eisgekühlten 0,9% NaCl-Lösung innerhalb von 1,5–2 s manuell in den rechten Vorhof injiziert. Die Temperatur des Injektates wurde unmittelbar distal der Injektionsöffnung des Katheters kontrolliert (CO-Set, American Edwards Laboratories, Irvine, CA, USA). Messungen, bei denen eine Fehlermeldung seitens des Gerätes erfolgte ('irregular ECG pattern', 'unsteady baseline', 'post-bolus out of range' etc.), wurden verworfen und die Injektion wiederholt.

### Protokoll

Im Anschluß an eine 50–70minütige Stabilisierungsphase nach Ende der Mikroembolisierung wurden an jedem Tier sieben Meßserien zu je 3 Einzelmessungen von RVEF und RVEDV durchgeführt. Die Meßserien unterschieden sich hinsichtlich des Zeit-

punktes der Kältebolus-Injektion im Atemzyklus sowie der Beatmungsfrequenz. Die Injektion erfolgte a) nach Ende des Abfalls des Atemwegsdruckes (Endexpiration, EE), b) nach Anstieg des Atemwegsdruckes (Endinspiration, EI) sowie c) zufällig über den Atemzyklus verteilt (Random, RD). Die Messungen a–c wurden bei einer Beatmungsfrequenz von 12 und 25 Hüben/min durchgeführt (AF12 und AF25). Eine siebte Meßserie wurde  $\approx 15$  s nach Diskonnektion des Tubus vorgenommen (Apnoe, AP). Die Reihenfolge der Meßserien war zufällig gewählt. Nach Abschluß dieser Messungen zur Methode der RVEF-Diagnostik wurden bei den Tieren zusätzliche Untersuchungen zur Myokardfunktion während PH und Beatmung vorgenommen, über die an anderer Stelle berichtet werden wird.

#### Auswertung und Statistik

Aus den 3fach-Bestimmungen von RVEF und RVEDV wurden zunächst für jedes Experiment und jede Meßserie der Mittelwert (MW) und – als Maß der Reproduzierbarkeit der Einzelmessungen – der Variationskoeffizient in Prozent (CV = Standardabweichung / Mittelwert  $\cdot 100$ ) errechnet. Die so gewonnenen Daten der 6 Experimente wurden wie folgt zusammengefaßt (MW  $\pm$  SD): Analyse A  $\rightarrow$  getrennt nach Injektionszeitpunkt (3 Gruppen: EE, EI, RD), aber unabhängig von der Beatmungsfrequenz (n = 12 je Gruppe); Analyse B  $\rightarrow$  getrennt nach Beatmungsfrequenz (3 Gruppen: AF25, AF12, AP), aber unabhängig vom Injektionszeitpunkt (n = 18 je Gruppe, bei Apnoe n = 6); Analyse C  $\rightarrow$  getrennt nach Beatmungsfrequenz und Injektionszeit-

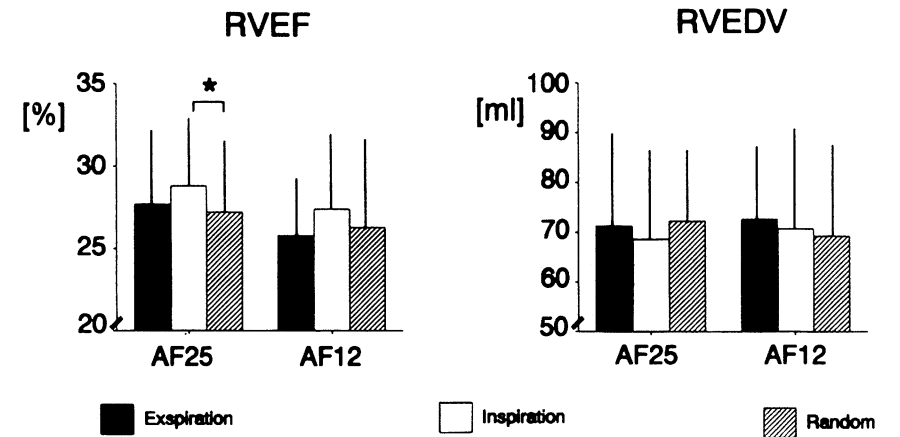


Abb. 2. RVEF und RVEDV in Abhängigkeit von Beatmungsfrequenz und Injektionszeitpunkt (Analyse C). Daten sind Mittelwerte  $\pm$  SD (n = 6); \* = p < 0,05. AF12 = Beatmungsfrequenz 12/min, AF25 = Beatmungsfrequenz 25/min

fizient in Prozent (CV = Standardabweichung / Mittelwert  $\cdot 100$ ) errechnet. Die so gewonnenen Daten der 6 Experimente wurden wie folgt zusammengefaßt (MW  $\pm$  SD): Analyse A  $\rightarrow$  getrennt nach Injektionszeitpunkt (3 Gruppen: EE, EI, RD), aber unabhängig von der Beatmungsfrequenz (n = 12 je Gruppe); Analyse B  $\rightarrow$  getrennt nach Beatmungsfrequenz (3 Gruppen: AF25, AF12, AP), aber unabhängig vom Injektionszeitpunkt (n = 18 je Gruppe, bei Apnoe n = 6); Analyse C  $\rightarrow$  getrennt nach Beatmungsfrequenz und Injektionszeit-

punkt (6 Gruppen, n = 6 je Gruppe). Bei Vorliegen einer signifikanten F-Statistik in der Varianzanalyse (p < 0,05) wurden Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen der Analysen A-C nach Tukey ermittelt und der  $\alpha$ -Fehler für multiple Vergleiche korrigiert (Programm SAS 6.03, SAS Institute Inc., Cary, NC; PROC GLM/TUKEY). P < 0,05 wurde als signifikant angesehen.

#### Ergebnisse

Die Ausgangswerte von Herzfrequenz, MAP, PAP und HZV nach RCA-Okklusion betragen  $130 \pm 16$   $\text{min}^{-1}$ ,  $97 \pm 15$  mmHg,  $11 \pm 2$  mmHg bzw.  $2,6 \pm 0,8$  l/min. Induktion der pulmonalen Hypertension führten bei konstantem HZV ( $2,6 \pm 0,6$  l/min) zu einer Erhöhung des PAP auf  $26 \pm 4$  mmHg und der HF auf  $147 \pm 18$   $\text{min}^{-1}$  sowie zu einem Abfall des MAP auf  $80 \pm 8$  mmHg. Die methodischen Messungen zum Einfluß von Beatmungsfrequenz und Injektionszeitpunkt auf die Variabilität von RVEF und RVEDV wurden während PH durchgeführt.

RVEF und RVEDV betragen zu diesem Zeitpunkt im Mittel  $25 \pm 6\%$  und  $70 \pm 17$  ml. Der Injektionszeitpunkt per se (Analyse A) hatte keinen Einfluß auf die absolute Höhe von RVEF und RVEDV (Abb. 1a). Hinsichtlich der Beatmungsfrequenz (Abb. 1b) fand sich ein signifikant höheres RVEDV während Apnoe (75

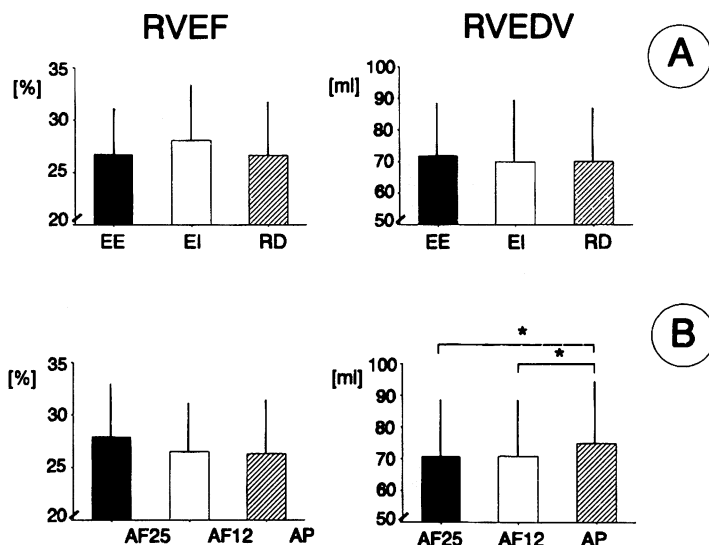


Abb. 1. RVEF und RVEDV in Abhängigkeit von Injektionszeitpunkt (Abb. 1a; Analyse A) bzw. Beatmungsfrequenz (Abb. 1b, Analyse B). Daten sind Mittelwerte  $\pm$  SD. \* = p < 0,05. EE = Injektion des Kältebolus während End-Expiration (n = 12), EI = Injektion während End-Inspiration (n = 12), RD = zufällige Injektion (n = 12), AF25 = Injektion während Beatmung mit 25 Hüben/min (n = 18), AF12 = Injektion während Beatmung mit 12 Hüben/min (n = 18), AP = Injektion während Apnoe (n = 6)

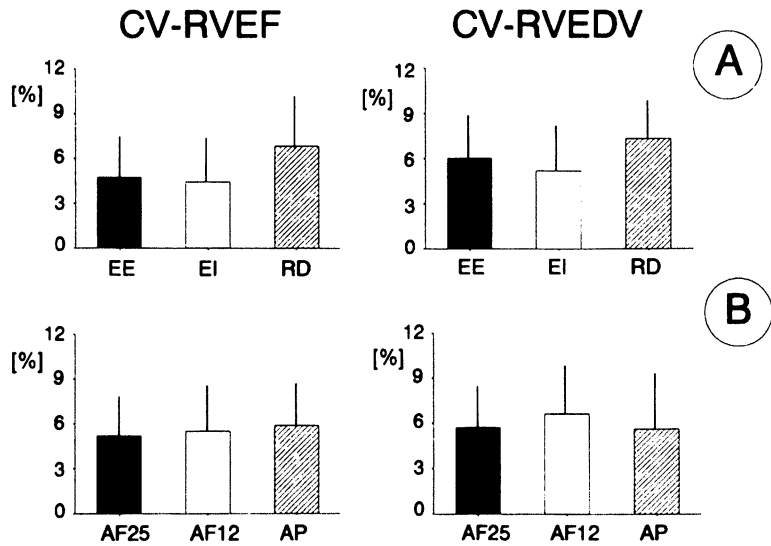


Abb. 3. Variationskoeffizient von RVEF (CV-RVEF) und RVEDV (CV-RVEDV) in Abhängigkeit von Injektionszeitpunkt (Abb. 3a, Analyse A) bzw. Beatmungsfrequenz (Abb. 3b, Analyse B). (Weitere Informationen siehe Legende zu Abb. 1).

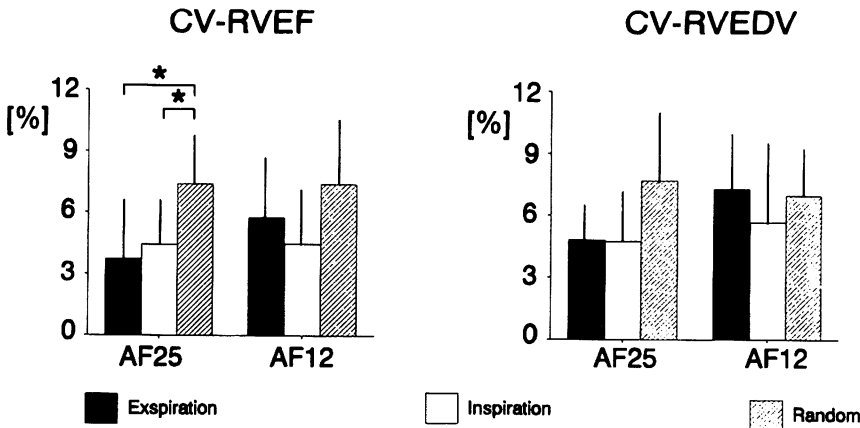


Abb. 4. Variationskoeffizient von RVEF (CV-RVEF) und RVEDV (CV-RVEDV) in Abhängigkeit von Beatmungsfrequenz und Injektionszeitpunkt (Analyse C). (Weitere Informationen siehe Legende zu Abb. 2).

± 19 ml) verglichen mit den Beatmungsfrequenzen 12 und 25/min (71 ± 18 ml, p < 0,05), wohingegen RVEF durch die Beatmungsfrequenz nicht beeinflusst wurde.

Allerdings war — wie Abb. 2 zeigt — RVEF bei einer Beatmungsfrequenz von 25/min und endinspiratorischer Injektion signifikant höher (29 ± 5%) als bei gleicher Beatmungsfrequenz, aber zufälliger Injektion (27 ± 5%, p < 0,05).

Die Variationskoeffizienten der 3fach-Messungen von RVEF und

RVEDV betragen im Mittel 5,7 ± 3,0% bzw. 6,5 ± 3,4% und wurden weder durch Änderungen der Beatmungsfrequenz noch des Injektionszeitpunktes per se beeinflusst (Abb. 3a, b).

Bei getrennter Analyse der Effekte des Injektionszeitpunktes in Abhängigkeit von der Beatmungsfrequenz (Abb. 4) ergab sich jedoch bei einer Beatmungsfrequenz von 25/min ein höherer Variationskoeffizient der RVEF bei zufälliger Injektion des Kältebolus (7,4 ± 4,5%) verglichen

mit endinspiratorischer (4,5 ± 1,9%, p < 0,05) oder endexpiratorischer Injektion (3,8 ± 2,8%, p < 0,05).

### Diskussion

Im Rahmen des RV-Monitorings hat die Messung von RVEF und RVEDV mittels 'fast-response'-Thermodilution in den letzten Jahren zunehmende Bedeutung erlangt (8, 11). Ähnlich wie das mittels konventioneller Thermodilution gemessene Herzzeitvolumen (12) unterliegen jedoch auch RVEF und RVEDV während mechanischer Beatmung methodisch bedingten Schwankungen der Meßwerte (1). Unklar war bislang, inwieweit Beatmungsfrequenz und Injektionszeitpunkt bei manifester RV-Ischämie und pulmonaler Hypertension die absoluten Werte von RVEF und RVEDV sowie deren Reproduzierbarkeit beeinflussen können.

Da während RV-Ischämie und PH die Möglichkeiten des RV, Änderungen der Nachlast durch Anpassung von Vorlast und/oder Kontraktilität zu kompensieren, weitgehend erschöpft sind (11), lag die Vermutung nahe, daß in dieser Situation die durch mechanische Beatmung ausgelösten zyklischen Schwankungen der RV-Nachlast die Messung von RVEF und RVEDV stärker beeinflussen können als bei intaktem RV und normaler pulmonaler Strombahn (1).

Entgegen unserer Hypothese zeigte sich jedoch in der vorliegenden Studie mit mittleren Variationskoeffizienten von 5,7 ± 3,0% für RVEF und 6,5 ± 3,4% für RVEDV eine sehr hohe Reproduzierbarkeit der Thermodilutionsmessungen. Die bislang hierfür in der Literatur angegebenen Werte schwanken zwischen 7,1% und ≈ 23% (1, 2, 7, 13, 22, 23).

Eine signifikante Verschlechterung der Reproduzierbarkeit der RVEF ergab sich, wenn bei einer Beatmungsfrequenz von 25/min die Injektion der Kältebolus zufällig während des Atemzyklus erfolgte. In ähnlicher Weise ist von Jansen et al. bei zufälliger Injektion des Kältebolus eine schlechtere Reproduzierbarkeit des mittels Thermodilution bestimmten HZV gezeigt worden (12).

Ebenso wie der Variationskoeffizient unterlagen auch die absoluten Werte von RVEF und RVEDV in Abhängigkeit von der Beatmungsfrequenz und dem Injektionszeitpunkt nur relativ geringen Schwankungen. Das während Apnoe im Vergleich zu den Beatmungsfrequenzen von 12 und 25/min signifikant höhere RVEDV ist dabei wahrscheinlich auf eine Verminderung des venösen Rückstromes als Folge des während mechanischer Beatmung erhöhten intrathorakalen Druckes zurückzuführen.

Nur schwer zu erklären ist allerdings die bei inspiratorischer Injektion verglichen mit zufälliger Injektion signifikant höhere RVEF; Inflation der Lungen bewirkt normalerweise einen Anstieg der RV-Nachlast und damit eine Reduktion, nicht jedoch eine Zunahme der RVEF (21). Im Falle einer durch Lungeninsufflation ausgelösten Abnahme der RV-Füllung könnte die Erhöhung der RVEF einen Versuch des RV darzustellen, sein Schlagvolumen aufrecht zu erhalten. Es ist jedoch unwahrscheinlich, daß dieser Mechanismus in unserer Versuchsserie eine Rolle gespielt hat, da RVEDV zu den verschiedenen Injektionszeiten nicht signifikant unterschiedlich war. Die Ursache der während Inspiration höheren RVEF muß damit gegenwärtig offen bleiben.

Obwohl die vorliegende Untersuchung gezeigt hat, daß die mittels 'fast-response'-Thermodilution ermittelten Werte von RVEF und RVEDV sowohl durch Veränderungen der Beatmungsfrequenz (RVEDV) als auch durch Veränderung des Injektionszeitpunktes (RVEF) beeinflusst werden können, waren die absoluten Änderungen gering und von fraglicher klinischer Relevanz. Die gute Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse (Variationskoeffizient unter allen Bedingungen < 7%) deutet darauf hin, daß die Messung von RVEF und RVEDV auch während Beatmung und trotz Vorliegens einer pulmonalen Hypertension und rechtsventrikulärer Ischämie nur mit geringen methodischen Schwankungen behaftet ist und somit eine valide

Funktionsdiagnostik des RV erlaubt. Durch Wahl eines atemzyklusgetriggerten Injektionsmodus (z. B. Endexpirations-, Endinspiration) kann dabei die Reproduzierbarkeit der RVEF-Messungen weiter verbessert werden.

#### Literatur

1. Assmann R, Falke KJ (1987) Cyclic modulation of thermal right ventricular ejection fraction during controlled mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 13: 217–218
2. Assmann R, Falke KJ (1988) Pressure and volume assessment of right ventricular function during mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 14: 467–470
3. Biondi JW, Schulman DS, Soufer R, Matthey RA, Hines RL, Kay HR, Barash PG (1988) The effect of incremental positive end-expiratory pressure on right ventricular hemodynamics and ejection fraction. *Anesth Analg* 67: 144–151
4. Boldt J, Kling D, Hempelmann G (1988) Right ventricular ejection fraction in cardiac surgery patients. In: Vincent JL (Ed) *Update in Intensive Care and Emergency Medicine* 5. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp 263–267
5. Boldt J, Kling D, Thiel A, Scheld HH, Hempelmann G (1988) Revascularization of the right coronary artery: influences on thermodilution right ventricular ejection fraction (RVEF). *J Cardiothoracic Anesthesia* 2: 140–146
6. Boldt J, Kling D, von Bormann B, Scheld H, Hempelmann G (1988) Influence of PEEP ventilation immediately after cardiopulmonary bypass on right ventricular function. *Chest* 94: 566–571
7. Dhainaut JF, Brunet F, Monsallier JF, Villemant D, Devaux JY, Konno M, De Gournay JM, Armaganidis A, Iotti G, Huyghebaert M, Lanore JJ (1987) Bed-side evaluation of right ventricular performance using a rapid computerized thermodilution method. *Crit Care Med* 15: 148–152
8. Dhainaut JF, Brunet F, Villemant D (1987) Monitoring of right ventricular performance in the ICU. In: Vincent JL, Suter PM (Eds) *Update in Intensive Care and Emergency Medicine* 4. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp 336–341
9. Eddy AC, Rice CL, Anardi DM (1988) Right ventricular dysfunction in multiple trauma victims. *Am J Surg* 155: 712–715
10. Fonger JD, Borkon AM, Baumgartner WA, Achuff SC, Augustine S, Reitz BA (1986) Acute right ventricular failure following heart transplantation: Improvement with prostaglandin E1 and right ventricular assist. *J Heart Transplant* 5: 317–321
11. Hurford WE, Zapol WM (1988) The right ventricle and critical illness: a review of anatomy, physiology and clinical evaluation of its function. *Intensive Care Med* 14: 44–457
12. Jansen JRC, Schreuder JJ, Versprille A (1990) Reliability of cardiac output measurements by the thermodilution method. In: Vincent JL (Ed) *Update in Intensive Care and Emergency Medicine*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp 407–412
13. Jardin F, Gueret P, Dubourg O, Farcot JC, Margairaz A, Bourdarias JP (1985) Right ventricular volumes by thermodilution in the adult respiratory distress syndrome: a comparative study using two-dimensional echocardiography as a reference method. *Chest* 88: 34–39
14. Kay HR, Afshari M, Barash P, Webler W, Iskandrian A, Bemis C, Hakki AH, Mundth ED (1983) Measurement of ejection fraction by thermal dilution techniques. *J Surg Research* 34: 337–346
15. Knobel E, Fernandes CJ, Akamine N, Andrei AM, Plastino FRT, Kasinski N, Feher J (1987) Right ventricular influence on left ventricular performance in septic patients. *Crit Care Med* 15: 1158–1159
16. Martyn JAJ, Snider MT, Farago LF, Burke JF (1981) Thermodilution right ventricular volume: a novel and better predictor of volume replacement in acute thermal injury. *J Trauma* 21: 619–626
17. Martyn JAJ, Snider MT, Szyfelbein SK, Burke JF, Laver MB (1980) Right ventricular dysfunction in acute thermal injury. *Ann Surg* 191: 330–335
18. Parker MM, McCarthy KE, Ognibene FP, Parrillo JE (1990) Right ventricular dysfunction and dilatation, similar to left ventricular changes, characterize the cardiac depression of septic shock in humans. *Chest* 97: 126–131
19. Rabinovitch MA, Elstein J, Chu-Jeng Chiu R, Rose CP, Arzoumanian A, Burgess JH (1983) Selective right ventricular dysfunction after coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 86: 444–450
20. Schulman DS, Biondi JW, Zohgi S, Zaret BL, Soufer R (1990) Coronary flow limits right ventricular performance during positive end-expiratory pressure. *Am Rev Res Dis* 141: 1531–1537
21. Sibbald WJ, Driedger AA, Myers ML, Short AIK, Wells GA (1983) Biventricular function in the adult respiratory distress syndrome. Hemodynamic and



- radionuclide assessment, with special emphasis on right ventricular function. *Chest* 84: 126–134
22. Spinale FG, Zellner JL, Mukherjee R, Ferris SE, Crawford FA (1990) Thermodilution right ventricular ejection fraction — catheter positioning effects. *Chest* 98: 1259–1265
23. Urban P, Scheidegger D, Gabathuler J, Rutishauser W (1987) Thermodilution determination of right ventricular volume and ejection fraction: a comparison with biplane angiography. *Crit Care Med* 15: 652–655
24. Vilitanen A, Salmenperä M, Heinonen J (1990) Right ventricular response to hypercarbia after cardiac surgery. *Anesthesiology* 73: 393–400
25. Vincent JL, Thirion M, Brimioulle S, Lejeune P, Kahn RJ (1986) Thermodilution measurement of right ventricular ejection fraction with a modified pulmonary artery catheter. *Intensive Care Med* 12: 33–38
26. Zwissler B (1991) Monitoring der myokardialen Pumpfunktion: Methoden und ihr Stellenwert. In: Peter K, Hobhan J, Conzen P, Taeger K (Hrsg) *Der kardiale Risikopatient in der operativen Medizin*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York (in Druck)
27. Zwissler B, Forst H, Ishii K, Messmer K (1989) A new experimental model of ARDS and pulmonary hypertension in the dog. *Res Exp Med* 189: 427–438

Für die Verfasser:

Dr. med. Bernhard Zwissler, Institut für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Ludwig-Maximilians-Universität München, Klinikum Großhadern, Marchioninstr. 15, 8000 München 70