

Journal für **Kardiologie**

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislauserkrankungen

Funktionsanalyse der rechten Herzkammer bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern mithilfe der Conductance-Technik

Apitz C, Sieverding L, Latus H

Uebing A, Kerst G, Baden W

Girisch M, Hofbeck M

Journal für Kardiologie - Austrian

Journal of Cardiology 2009; 16

(7-8), 264-269

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche



Offizielles
Partnerjournal der ÖKG



Member of the ESC-Editor's Club



Offizielles Organ des
Österreichischen Herzfonds



ACVC
Association for
Acute CardioVascular Care

In Kooperation
mit der ACVC

Indexed in ESCI
part of Web of Science

Indexed in EMBASE

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031105M,

Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21

Preis: EUR 10,-

Veranstaltungskalender

Hybrid-Veranstaltungen der Herausgeber des **Journals für Kardiologie**

Finden Sie alle laufend aktualisierten Termine
auf einem Blick unter

www.kup.at/images/ads/kongress.pdf

Funktionsanalyse der rechten Herzkammer bei Kindern mit angeborenen Herzfehlern mithilfe der Conductance-Technik

C. Apitz, L. Sieverding, H. Latus, A. Uebing, G. Kerst, W. Baden, M. Girisch, M. Hofbeck

Kurzfassung: *Hintergrund:* Die komplexe Anatomie und die Abhängigkeit von Vor- und Nachlast machen die Bestimmung der rechtsventrikulären Funktion zu einer diagnostischen Herausforderung. Die sogenannte Conductance-Katheter-Technik erlaubt die zuverlässige Bestimmung der Funktion der linken Herzkammer. Ziel unserer Studie war die Evaluation der Conductance-Technik für die Funktionsanalyse des rechten Ventrikels.

Patienten und Methode: Bei 13 pädiatrischen Patienten wurden nach Operation einer rechtsventrikulären Ausflussbahnobstruktion im Säuglings- bzw. Kleinkindalter Druck-Volumen-Kurven des rechten Ventrikels im Lebensalter von im Mittel 12,7 Jahren (7,5–17,9 Jahre) mithilfe von Conductance-Kathetern aufgezeichnet. Als Maß für die myokardiale Kontraktilität des rechten Ventrikels wurde die endsystolische Druck-Volumen-Beziehung (Elastance) unter Reduktion der Vorlast durch kurzzeitige Inflation eines Ballonkatheters in der unteren Hohlvene bestimmt. Zur Untersuchung der kontraktilen Reserve diente die Steigerung der Elastance während intra-venöser Applikation von Dobutamin.

Ergebnisse: Mithilfe der Conductance-Technik konnten bei allen Patienten reproduzierbare Druckvolumenkurven des rechten Ventrikels er-

hoben werden. Ernsthafte Nebenwirkungen traten während der Untersuchung nicht auf. Dobutamin führte im Vergleich zu den Ruhebedingungen zu einem signifikanten Anstieg der systolischen Funktionsparameter dP/dt max und der endsystolischen Elastance.

Schlussfolgerung: Die Conductance-Technik ermöglicht auch bei der rechten Herzkammer die lastunabhängige Quantifizierung der myokardialen Kontraktilität und der kontraktilen Reserve und liefert damit bei Patienten mit angeborenen Herzfehlern zusätzliche Informationen zur verbesserten Beurteilung der Funktion des rechten Ventrikels.

Abstract: Functional Assessment of the Right Ventricle in Children with Congenital Heart Disease by Means of Conductance Technique. *Background:* Evaluation of the right ventricular function in patients with congenital heart disease is an essential component of clinical management. The complex geometry of the right ventricle and the load-dependency make this a challenging task. Since the conductance catheter technique has facilitated evaluation of the left ventricular contractile state, the aim of

this study was to determine whether this technique is similarly useful for the right ventricle.

Patients and Methods: Pressure-volume loops by conductance catheters were recorded in 13 pediatric patients late after right ventricular outflow tract surgery (mean age 12.7 years; 7.5–17.9 years) during routine diagnostic cardiac catheterization. Load-independent indexes of right ventricular function were derived at baseline level and following dobutamine infusion. Contractility was calculated by the slope of the endsystolic pressure-volume relation. Increase in contractility after dobutamine infusion determined the contractility reserve function of the right ventricle.

Results: Right ventricular pressure-volume loops generated with the conductance catheter were reproducible in all patients. There were no serious adverse events. Administration of dobutamine resulted in a significant increase of heart rate, cardiac index, dP/dt max and elastance.

Conclusions: Conductance catheter technique enables load-independent evaluation of contractility indexes for the right ventricle and provides additional information to assess right ventricular function in patients with congenital heart disease. **J Kardiologie 2009; 16: 264–9.**

■ Einleitung

Zahlreiche angeborene Herzfehler gehen insbesondere im Langzeitverlauf nach Korrekturoperation mit einer Funktionseinschränkung der rechten Herzkammer einher. Die Analyse der rechtsventrikulären Funktion nimmt daher bei der Betreuung von Patienten mit angeborenen Herzfehlern, besonders auch in der Gruppe der Jugendlichen und jungen Erwachsenen mit angeborenen Herzfehlern, einen besonderen Stellenwert ein. Die Funktion der rechten Herzkammer kann in unterschiedlicher Weise kompromittiert sein. So führt eine erhöhte Nachlast, wie im Fall einer pulmonalen Hypertonie, zu einer Druckbelastung der rechten Herzkammer. Eine Pulmonalklappeninsuffizienz führt dagegen zu einer vermehrten Volumenbelastung und im Langzeitverlauf zu einer Erweiterung der rechten Herzkammer [1]. Seltener ist der rechte Ventrikel in Systemposition, wie beispielsweise beim hypoplasti-

schen Linksherzsyndrom oder bei der d-Transposition der großen Arterien nach Vorhofumkehr-Operation, was durch die erhöhte Nachlast des Systemkreislaufs im Langzeitverlauf ebenfalls zum Rechtsherzversagen führen kann [2].

Die Volumenbestimmung und Funktionsanalyse des rechten Ventrikels durch konventionelle bildgebende Verfahren wird erschwert durch die Komplexität seiner anatomischen Verhältnisse [3]. Bildgebende Verfahren wie die Cineangiokardiographie und die Echokardiographie erlauben die rechtsventrikuläre Volumenbestimmung anhand von Korrekturfaktoren, die in Anlehnung an geometrische Modelle entwickelt wurden, die allerdings bei Veränderungen der Ventrikelgeometrie beispielsweise durch eine ausgeprägte Volumenbelastung durch Pulmonalinsuffizienz fehlerhaft sind [4]. Die Kernspintomographie wird heutzutage als der „Goldstandard“ zur Bestimmung des rechtsventrikulären Volumens angesehen [5]. Allerdings verhindert die lange Akquisitionszeit eine Echtzeit-Volumenmessung. Veränderungen des Schlagvolumens über den Verlauf mehrerer Systolen können nicht analysiert werden. Außerdem können nicht alle Patienten mithilfe der Kernspintomographie untersucht werden (z. B. Untersuchungen von Patienten mit implantiertem Schrittmacheraggregat oder mit fixen Zahnspangen sind mit MRT nur bedingt möglich).

Eingelangt am 12. August 2008; angenommen nach Revision am 20. Oktober 2008. Aus der Abteilung Kinderheilkunde II (Kardiologie, Intensivmedizin, Pulmologie), Universitätsklinikum Tübingen

Korrespondenzadresse: Dr. med. Christian Apitz, Abteilung Kinderheilkunde II (Kardiologie, Intensivmedizin, Pulmologie), Universitätsklinikum Tübingen, Hoppe-Seyler-Straße 1, D-72076 Tübingen, E-Mail: christian.apitz@med.uni-tuebingen.de

Die Conductance-Katheter-Technik erlaubt die Echtzeit-Bestimmung des Ventrikelvolumens durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit des Blutes in der Kammer und dadurch bei entsprechender Änderung der Lastbedingungen des Myokards mit zeitgleicher Aufzeichnung des Druckes die lastunabhängige Ventrikelfunktionsanalyse [6]. Untersuchungen von Baan et al. [7] haben die Zuverlässigkeit der Methode bei der Bestimmung der Funktion der linken Herzkammer analysiert. Ziel unserer Studie war die Beantwortung der Frage, ob die Conductance-Technik auch für die Bestimmung der rechtsventrikulären Funktion weiterführende Informationen liefert.

■ Methodik

Studiendesign

Es handelte sich um eine prospektive, nicht randomisierte Open-Label-Studie. Die Studie war von der fakultätsinternen Ethikkommission genehmigt worden.

Eingeschlossen wurden Kinder jenseits des Kleinkindalters (> 5 Jahre) mit Hinweisen auf eine rechtsventrikuläre Druck- und/oder Volumenbelastung, bei denen zur hämodynamischen Evaluierung eine Herzkatheteruntersuchung indiziert war.

Studienprotokoll

Nach Durchführung der notwendigen diagnostischen Messungen, aber vor den angiographischen Darstellungen, erfolgte die Untersuchung mit der Conductance-Technik. Hierzu wurde über die Femoralvene der Conductance-Katheter eingeführt und die rechte Herzkammer sondiert. Da der Katheter kein Innenlumen besitzt, wurde er über eine lange Einführungsschleuse im rechten Ventrikel positioniert, die sonst zur Einführung eines Vorhofseptumdefekt-Okkludersystems verwendet wird. Die korrekte Lage des Katheters wurde anschließend unter Durchleuchtung kontrolliert (Abb. 1).

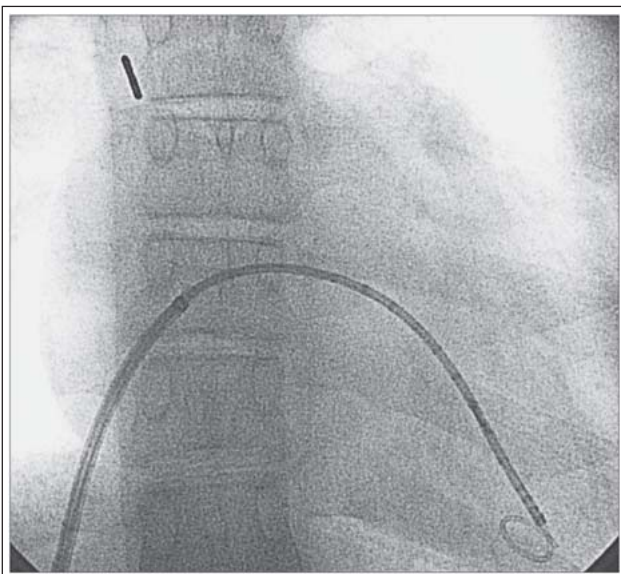


Abbildung 1: Kontrolle der Lage des Katheters unter Durchleuchtung in anteroposteriorer Projektion. Typische Position des Conductance-Katheters von der unteren Hohlvene kommend transtrikuspidal im Apex des rechten Ventrikels liegend. Kalibrierungs- und Markierungsmarkierungen sind in der Projektion auf die obere Hohlvene zu sehen.

Die Conductance-Funktionsanalyse der rechten Herzkammer erfolgte mithilfe des Hardware- und Software-Pakets Cardiac Function Lab 512 und den Conductance-Kathetern 71083-PN und 41063-PN der Firma CD Leycom, Zoetermeer, NL.

Mithilfe der kombinierten Druck-Volumen-Katheter aufgezeichneten Druck- und Volumensignale wurden über eine Analog-digital-Wandlerkarte digitalisiert und zur späteren Auswertung auf einem Personalcomputer gespeichert.

Um einen Einfluss der Atmung auf das Füllungsverhalten der rechten Herzkammer auszuschließen, erfolgten alle Messungen im Atemstillstand von je ca. 10 Sekunden. Bei allen Patienten erfolgte die Untersuchung in Intubationsnarkose.

Zur Ermittlung lastunabhängiger Parameter der Herzkammerfunktion erfolgte während der Aufzeichnung der Druck- und Volumenkurven eine Reduktion der Vorlast. Diese wurde durch eine kurzzeitige, ca. 10 Sekunden dauernde, Inflation eines Ballonkatheters erzielt, der zuvor in die untere Hohlvene eingebracht wurde. Wir benutzten hierfür einen PTS Sizing Balloon Katheter (Fa. Numed Inc.) mit der Größe 20–25 mm. Diese Katheter werden beispielsweise auch zum sogenannten Balloon-Sizing zur Vorbereitung des katheterinterventionellen Verschlusses von Vorhofseptumdefekten verwendet. Die Inflation des Ballonkatheters wurde unter Durchleuchtung durchgeführt, um eine korrekte Position des Ballons kurz vor der Einmündung der unteren Hohlvene in den rechten Vorhof zu dokumentieren. Zur Kontrolle der Effektivität der Ballonokklusion diente der Nachweis der Reduktion der enddiastolischen Volumina anhand der Druck-Volumen-Kurven. Dieses Manöver wurde unter Ausgangsbedingungen sowie unter positiv inotroper Stimulation durch Dobutamin in einer Dosis von maximal 10 µg/kg/min durchgeführt.

■ Aufbau der verwendeten Katheter und Prinzip Conductance-Technik

Bei dem Conductance-Katheter handelt es sich um einen Katheter, der an dem Ende, das in der Herzkammer zu liegen kommt, abhängig von der Größe des Katheters 10–12 Elektroden trägt (Abb. 2). Über den integrierten Drucksensor des Katheters lässt sich wie mit einem gewöhnlichen Herzkatheter der Innendruck der Herzkammer messen. Doch zugleich, über die übrigen Elektroden, gestattet dieser Katheter auch eine Volumenmessung. Man nutzt dabei die Tatsache aus, dass Blut elektrisch leitfähig ist (160 Ohm), die Wände der



Abbildung 2: Conductance-Katheter zur simultanen Aufzeichnung von Druck und Volumen.

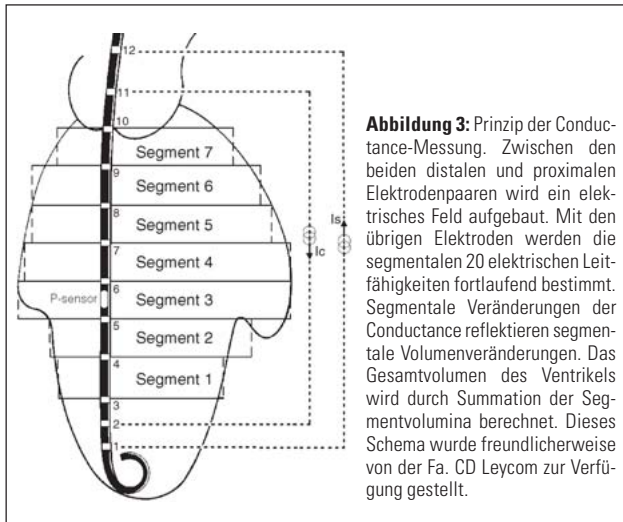


Abbildung 3: Prinzip der Conductance-Messung. Zwischen den beiden distalen und proximalen Elektrodenpaaren wird ein elektrisches Feld aufgebaut. Mit den übrigen Elektroden werden die segmentalen 20 elektrischen Leitfähigkeiten fortlaufend bestimmt. Segmentale Veränderungen der Conductance reflektieren segmentale Volumenveränderungen. Das Gesamtvolumen des Ventrikels wird durch Summation der Segmentvolumina berechnet. Dieses Schema wurde freundlicherweise von der Fa. CD Leycom zur Verfügung gestellt.

Herzkammer hingegen als Nichtleiter zu betrachten sind (400 Ohm).

Durch die sogenannte Dualfeld-Anregung wird über 2 Elektrodenpaare ein elektrisches Wechselfeld mit einer genau definierten Stärke (30 μ A, 20 kHz) erzeugt. Dieses Feld breitet sich innerhalb des leitenden Blutvolumens aus, wobei seine örtliche Stärke von der Verteilung des Blutes, also vom leitenden Querschnitt der Herzkammer, abhängt. Diese örtlichen Feldstärken werden von den übrigen Zwischenelektroden gemessen (Abb. 3). Die segmentale Conductance kann mithilfe des Ohm'schen Gesetzes bestimmt werden. Man nützt dabei die Tatsache, dass die Leitfähigkeit des Blutes proportional zum Ventrikelvolumen ist.

Nun ändert sich während jeder Herzaktion das Blutvolumen innerhalb der Kammer und damit auch die Feldstärke am Ort der Empfangselektroden, so dass man umgekehrt aus den gemessenen Änderungen der Feldstärke an den Zwischenelektroden auch die regionalen und daraus wiederum die gesamten Änderungen des Blutvolumens innerhalb der Herzkammer ermitteln kann. Die segmentalen Veränderungen der Conductance reflektieren die segmentalen Volumenänderungen. Das Gesamtventrikelvolumen wird als Summe der Segmentvolumina berechnet.

Kalibrierung

Zur Kalibrierung der Volumenmesswerte erfolgte die gleichzeitige Herzzeitvolumen-Messung mit dem Thermodilutionsverfahren mithilfe der Picco-Methode (Fa. Pulsion, München, D). Dieses Verfahren ist eine gut etablierte Referenzmethode zur invasiven Bestimmung des Herzzeitvolumens [8]. Hierbei wurden bei allen Patienten 4F-Pulsiocath-Thermodilutionskatheter mit einer Länge von 16 cm verwendet, welche über eine arterielle Schleuse in der Arteria femoralis eingeführt wurden. Nach zentralnervöser Injektion des Indikators (gekühlte isotone Kochsalzlösung) misst der Thermistor in der Spitze des arteriellen Katheters die Temperaturveränderungen stromabwärts. Das Herzzeitvolumen wird durch die Analyse der Thermodilutionskurve nach einem modifizierten Stewart-Hamilton-Algorithmus berechnet [8].

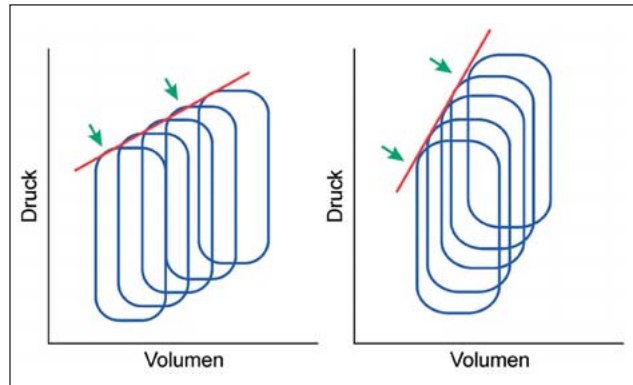


Abbildung 4: Schematische Darstellung einer Gruppe von Druck-Volumen-Kurven während Reduktion der Vorlast bei Ruhebedingungen (links im Bild) und unter Dobutamin (rechts im Bild). Typischerweise bewegen die Kurven sich im Diagramm während des Vorlastmanövers nach links. Unter Dobutamin ist die Steigung der Geraden (Pfeile) der endsystolischen Druck-Volumen-Beziehung (Elastance) beim Gesunden signifikant steiler als unter Ruhebedingungen als Ausdruck der kontraktilen Reserve. Mod. nach [Penny DJ. The basics of ventricular function. Cardiol Young 1999; 9: 210–23].

Datenauswertung

Neben Herzfrequenz und Herzzeitvolumen, sowie intrakardialen endsystolischen und enddiastolischen Drucken und Volumina wurden mithilfe der Conductance-Katheter-Methode als Maß für die systolische Funktion des rechten Ventrikels die Ejektionsfraktion (Schlagvolumen/enddiastolisches Volumen) und die maximale Anstiegsgeschwindigkeit des rechtsventrikulären Druckes (dp/dt max) gemessen. Als vorlastunabhängiges Maß für die myokardiale Kontraktilität des rechten Ventrikels wurde die endsystolische Druck-Volumen-Beziehung (Elastance) unter Reduktion der Vorlast durch kurzzeitige Inflation eines Ballonkatheters in der unteren Hohlvene bestimmt. Zur Untersuchung der kontraktilen Reserve diente die Steigerung der Elastance in Prozent während intravenöser Applikation von Dobutamin (Abb. 4).

Die statistische Auswertung erfolgte mithilfe der Mittelwertberechnung und Standardabweichung. Zur Bestimmung der Signifikanzen wurde der gepaarte Students-t-Test benutzt, $p < 0,05$ wurde als statistisch signifikant angesehen.

Ergebnisse

Bei 13 Patienten (mittleres Alter 12,7 Jahre $\pm$ 3,3 Jahre; Range 7,5–17,9 Jahre; mittleres Gewicht 42,8 kg $\pm$ 18,7 kg; Range 18–73 kg) wurden im Rahmen einer diagnostischen Herzkatheteruntersuchung Druck-Volumen-Kurven des rechten Ventrikels mithilfe von Conductance-Kathetern aufgezeichnet. Bei allen Patienten bestand ein operierter angeborener Herzfehler: Fallot-Tetralogie bei 10 Patienten, bei jeweils einem Patient eine Pulmonalatresie mit Ventrikelseptumdefekt, eine Pulmonalstenose oder ein „Double outlet left ventricle“ (Tab. 1). Das Alter zum Zeitpunkt der Operation hatte im Mittel 1,5 Jahre (1 Monat–4,5 Jahre) betragen. Bei 5 Patienten war dabei eine sogenannte transanuläre Patchplastik, d. h. eine pulmonalklappenringweiternde Operation, in 6 Fällen (teils in Kombination mit einer transanulären Patchplastik) eine partielle oder komplette Pulmonal-Valvektomie und bei zwei Kindern die Anlage eines rechtsventrikulär-pulmonalarteriellen Conduits erforderlich. Diese Opera-

Tabelle 1: Klinische Daten – Patientendaten

Pat.	Alter (J,M)	Gewicht (kg)	Diagnose	Art der OP	Alter bei OP (J,M)
1	10,8	33	TOF	TOF-Korrektur, partielle Valvektomie	0,7
2	17,4	57	PA/VSD	Z.n. WC-Anastomose am 3. Lebenstag, RV/PA-Conduit	3,7
3	9,10	20	PST	Z.n. BVP mit 8 Monaten, Valvektomie	1,7
4	12,9	41	TOF	TOF-Korrektur mit TAP, Valvektomie	0,2
5	17,5	73	TOF	TOF-Korrektur mit RVOTO-Plastik, Kommissurotomie	1,1
6	13,10	52	TOF	TOF-Korrektur mit RVOTO-Plastik	0,5
7	10,9	30	TOF	TOF-Korrektur mit Kommissurotomie	0,10
8	11,4	30	TOF	TOF-Korrektur, partielle Valvektomie	0,10
9	12,4	46	DOLV, PST	Z.n. RVPA-Conduit mit 6 Monaten, RV/PA-Re-Conduit	4,5
10	7,5	18	TOF	TOF-Korrektur mit TAP, Valvektomie	0,2
11	9,0	24	TOF	TOF-Korrektur mit TAP, Valvektomie	0,1
12	17,9	65	TOF	Z.n. WC-Anastomose mit 2 Jahren, TOF-Korrektur mit TAP	4,6
13	14,6	67	TOF	Z.n. ZAPS mit 7 Monaten, TOF-Korrektur mit TAP	2,9

J = Jahre, M = Monate; OP = Herzoperation; TOF = Fallot'sche Tetralogie; PST = Pulmonalstenose; PA/VSD = Pulmonalatresie mit Ventrikel-septumdefekt; DOLV = linker Doppelausstromventrikel; RVOTO = rechtsventrikuläre Ausflusstrakt-Obstruktion; WC = Waterston-Coolley; TAP = transanuläre Patchplastik; BVP = Ballonvalvuloplastie; RV/PA Conduit = rechtsventrikulär-pulmonalarterieller Conduit; ZAPS = zentraler aortopulmonaler Shunt

tionstechniken tragen in besonderem Maße zur Entwicklung einer Pulmonalklappeninsuffizienz bei.

Bei allen Patienten konnten mithilfe der Conductance-Technik reproduzierbare Druckvolumenkurven des rechten Ventrikels erhoben werden. Bei 12/13 Patienten konnte eine vollständige Messung nach Protokoll durchgeführt werden. In einem Fall musste die Messung wegen eines anhaltenden Bluthochdrucks trotz Dobutaminreduktion abgebrochen werden. Als leichte Nebenwirkungen traten im Einzelfall unter Dobutamingabe singuläre Extrasystolen auf. Bei Auftreten von Extrasystolen wurde die Aufzeichnung der Kurven wiederholt. Eine Messung während Extrasystolen wurde nicht durchgeführt, bzw. ein Mindestabstand von 3 Herzaktionen eingehalten. Schwerwiegende Komplikationen, wie z. B. ventrikuläre Tachykardien oder AV-Blockierungen traten nicht auf.

Die hämodynamischen Messwerte während Ruhebedingungen und unter Dobutamingabe sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Dobutamin führte im Vergleich zu den Ruhebedingungen erwartungsgemäß zu einem signifikanten Anstieg der Herzfrequenz und des indizierten Herzzeitvolumens. Das rechtsventrikuläre Schlagvolumen und die Ejektionsfraktion waren unter Dobutamin tendenziell höher als unter Ruhebedingungen. Einen signifikanten Anstieg zeigten die systolischen Funktionsparameter dP/dt max und die endsystolische Elastance. Die endsystolische Elastance lag im Mittel bei 0,39 mmHg/ml (0,15–1,32 mmHg/ml) unter Ruhebedingungen und bei 0,68 mmHg/ml (0,1–1,55 mmHg/ml) unter Dobutamingabe. In 4 Fällen fand sich kein signifikanter Anstieg der Elastance unter Dobutamin als Hinweis auf eine eingeschränkte kontraktile Reserve des rechten Ventrikels (Tab. 3). Es bestand keine Korrelation der kontraktiven Reserve mit dem enddiastolischen Volumen des rechten Ventrikels in der Kernspintomographie und der QRS-Dauer im Elektrokardiogramm (Abb. 5).

Tabelle 2: Hämodynamische Messwerte während Ruhebedingungen und unter Dobutamingabe (Mittelwerte und Standardabweichung)

Messwerte	Ruhe	Dobutamin	Signifikanz (p)
HF/min	54,4 (± 8,5)	82,2 (± 19,6)	0,0002
RVEDV (ml)	160,4 (± 43,5)	157,5 (± 46,4)	n. s.
RVESV (ml)	113,7 (± 56,5)	103,5 (± 56,1)	n. s.
RVSv (ml)	49,8 (± 34,7)	57,1 (± 33,7)	n. s.
RVEF (%)	40,1 (± 34,6)	51,4 (± 55,1)	n. s.
CI (l/min/m ²)	2,7 (± 0,39)	4,7 (± 0,77)	< 0,0001
RVPes (mmHg)	29,8 (± 12,1)	56,8 (± 24,3)	0,005
RVPed (mmHg)	6,4 (± 3,7)	7,6 (± 4,3)	n. s.
RVdP/dt max (mmHg/s)	239,2 (± 85,8)	415,6 (± 177,4)	0,005
Elastance (mmHg/ml)	0,39 (± 0,33)	0,68 (± 0,42)	0,02

HF = Herzfrequenz; RVEDV = enddiastolisches Volumen des rechten Ventrikels; RVESV = endsystolisches Volumen des rechten Ventrikels; RVSv = Schlagvolumen des rechten Ventrikels; RVEF = Ejektionsfraktion des rechten Ventrikels; CI = Cardiac Index; RVPes = endsystolischer Druck im rechten Ventrikel; RVPed = enddiastolischer Druck im rechten Ventrikel; RVdP/dt max = maximale Anstiegsgeschwindigkeit des rechtsventrikulären Drucks; HF/min = Herzfrequenz pro Minute; n. s. = nicht signifikant

Diskussion

Wegen seiner komplexen Geometrie galt die Funktionsanalyse des rechten Ventrikels schon immer als eine Herausforderung. Während die Form der linken Herzkammer einem Ellipsoid gleicht, hat der rechte Ventrikel aus seitlicher Betrachtung eine mondsichelähnliche Form und von anterior erscheint er annähernd dreieckig zu sein. Neben der Anatomie der Herzkammer müssen die variablen Auswirkungen der Lastbedingungen, der Atmung und des Krankheitsverlaufes bei der Analyse mitberücksichtigt werden und verhindern die Anwendung der Indizes, die bei der linksventrikulären Funktionsanalyse mithilfe von konservativen bildgebenden Verfahren Verwendung finden.

Tabelle 3: Messwerte für die Elastance während Ruhebedingungen und unter Dobutamingabe. Angabe der Steigerung der Elastance in Prozent. Hochsignifikante Steigerung der Elastance bei den Patienten 1–8 ($p = 0,005$). Keine relevante Steigerung bei den Patienten 9–12 (rote Umrahmung). Bei Patient 13 sind wegen des Abbruchs der Untersuchung keine Daten unter Dobutamin vorhanden.

Patient	Elastance (mmHg/ml) in Ruhe	Elastance (mmHg/ml) unter Dobutamin	Steigerung (%)
1	0,60	1,55	158
2	0,15	0,34	127
3	0,54	1,16	115
4	0,20	0,58	190
5	0,28	0,64	129
6	0,16	0,24	50
7	0,26	0,48	85
8	0,17	1,05	518
9	0,22	0,10	–
10	0,56	0,64	14
11	1,32	1,00	–
12	0,32	0,39	22
13	0,60	Keine Daten	Keine Daten

Nicht-invasive Methoden wie die Kernspintomographie oder die dreidimensionale Echokardiographie können das enddiastolische und endsystolische Volumen und die Ejektionsfraktion eines Ventrikels zuverlässig bestimmen [9, 10]. Aber diese Parameter sind extrem lastabhängig. Dies ist vor allem bei angeborenen Herzfehlern relevant, die nicht selten mit einer rechtsventrikulären Druck- oder Volumenbelastung assoziiert sind. Die Aufzeichnung der Druck-Volumen-Beziehung mithilfe der Conductance-Technik erfolgte in unserer Studie während Reduktion der Vorlast und erlaubte damit eine vorlastunabhängige Messung der Kontraktilität. Um den Einfluss der Atmung auf das Füllungsverhalten der rechten Herzkammer auszuschließen, erfolgten alle Messungen in kurzem Atemstillstand während Intubationsnarkose.

Als Maß für die myokardiale Kontraktilität des rechten Ventrikels wurde die endsystolische Druck-Volumen-Beziehung (Elastance) verwendet. Untersuchungen am linken Ventrikel haben gezeigt, dass eine enge Beziehung zwischen der endsystolischen Druck-Volumen-Beziehung und der Kraft-Länge-Beziehung der isolierten Herzmuskelzelle bzw. einer einzelnen Papillarmuskelfaser besteht. Weil die maximale Kraft, die durch eine Herzmuskelzelle mit einer vorgegebenen Länge entwickelt wird, repräsentativ für ihre kontraktile Funktion ist, ist es allgemein akzeptiert, dass die endsystolische Druck-Volumen-Beziehung die zuverlässigste Darstellung der mechanischen kontraktile Performance des Myokards darstellt, die man in vivo, also im intakten Kreislauf, erhalten kann [11, 12].

Conductance-Studien, die den rechten Ventrikel betreffen, sind bislang nur vereinzelt durchgeführt worden [13–16]. Die Arbeitsgruppe aus Toronto um Professor Andrew Redington hat weltweit die größte Erfahrung mit der Anwendung der Conductance-Technik an der rechten Herzkammer und führte erstmals auch rechtsventrikuläre Conductance-Messungen

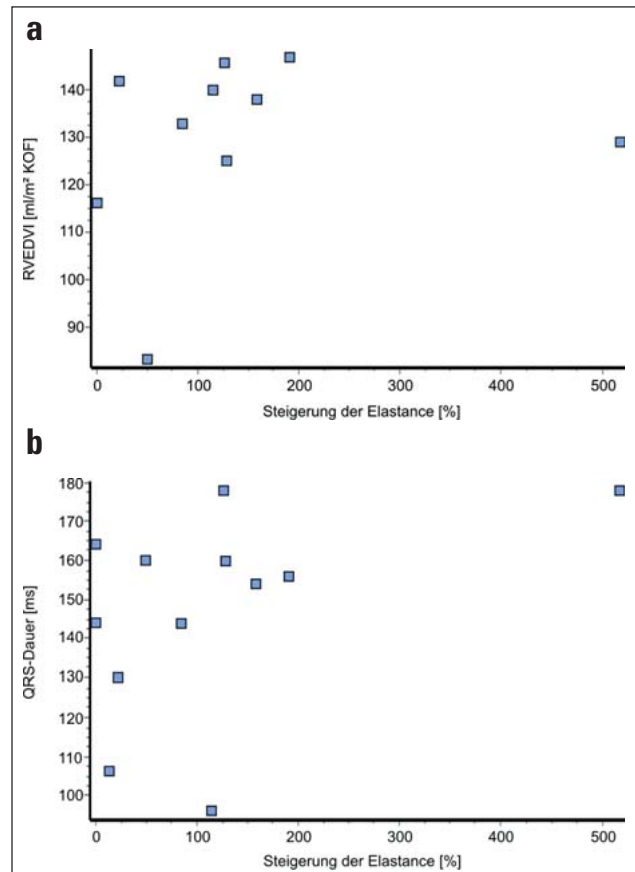


Abbildung 5: Beziehung zwischen Steigerung der Elastance in Prozent und in Bezug auf die Körperoberfläche indiziertem enddiastolischem Volumen des rechten Ventrikels (RVEDVI) in der Kernspintomographie (bei 10/12 Patienten vorhanden) (a), sowie der QRS-Dauer im Elektrokardiogramm (b).

beim Menschen durch [17–20]. Die bisherigen Ergebnisse der Conductance-Untersuchungen für den rechten Ventrikel sind vielversprechend, die Methode hat sich als zuverlässige Methode zur wissenschaftlichen Funktionsanalyse etabliert. Weitere umfangreiche Forschungsarbeiten sind allerdings erforderlich, um valide Aussagen bezüglich des klinischen Nutzens bei Patienten mit angeborenen oder erworbenen Herzfehlern zu gewährleisten.

Limitierend für die Verwendung als Routinemethode ist die Invasivität der Conductance-Technik, jedoch gehört in den meisten kinder-kardiologischen Zentren zu der diagnostischen Evaluation einer chronischen Druck- und Volumenbelastung der rechten Herzkammer durch residuelle Obstruktionen im rechtsventrikulären Ausflusstrakt oder durch eine chronische Pulmonalklappeninsuffizienz derzeit eine diagnostische Herzkatheteruntersuchung dazu, insbesondere wenn eine Re-Operation (z. B. Pulmonalklappenersatz) geplant werden muss, sodass eine Conductance-Untersuchung bei entsprechender Indikation in gleicher Sitzung erfolgen kann.

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass eine genaue Funktionsanalyse der rechten Herzkammer mithilfe der Conductance-Technik bei Patienten mit angeborenen Herzfehlern technisch ohne Probleme durchführbar ist und dass wichtige Funktionsparameter zur Beurteilung des rechten Ventrikels ohne schwerwiegende Komplikationen akquirierbar sind.

Interessanterweise fand sich bei 4 unserer Patienten kein signifikanter Anstieg der endsystolischen Volumenbeziehung unter Dobutamin, was auf eine beginnende Einschränkung der rechtsventrikulären Funktion hindeutet. Klinisch zeigten jedoch alle 4 Patienten keinerlei Anzeichen einer eingeschränkten Belastbarkeit. Auch fanden sich keine Korrelationen mit anderen Parametern für ein Rechtsherzversagen wie QRS-Dauer oder enddiastolischer Durchmesser des rechten Ventrikels. Somit scheint der Parameter der kontraktilen Reserve einen frühen Indikator für eine Funktionseinschränkung des rechten Ventrikels darzustellen. Jedoch sind weitere Untersuchungen mit einer größeren Patientenanzahl notwendig, um den prädiktiven Wert dieses Parameters zu erforschen. Erste Untersuchungen der kontraktilen Reserve mithilfe der Kernspintomographie demonstrieren, dass die Evaluation dieses Parameters bei entsprechender technischer Ausstattung auch mit dieser nicht-invasiven Methode möglich erscheint [21]. Ob das Lebensalter bei Korrekturoperation einen Einfluss auf die Ausbildung einer rechtsventrikulären Dysfunktion im Sinne einer eingeschränkten kontraktilen Reserve hat, lässt sich derzeit mit unserer relativ geringen Patientenanzahl nicht endgültig beantworten. Erwähnenswert ist aber, dass sich unter den 4 Patienten mit reduzierter kontraktiler Reserve die beiden am frühesten operierten Kinder und der am spätesten korrigierte Patient befanden. Der Zeitabstand zwischen Operation und aktueller Conductance-Untersuchung scheint bei diesem Patientenkollektiv aufgrund unserer Erfahrungen keine entscheidende prädiktive Rolle bei der Diagnosestellung einer rechtsventrikulären Dysfunktion zu spielen. Dies spiegelt sich auch in der Tatsache wider, dass es in der Langzeitbeobachtung von Erwachsenen mit im frühen Kindesalter operierter Fallot'scher Tetralogie eine hohe Zahl an Patienten mit ausgezeichnetem Operationsergebnis, nur geringen Residualbefunden und guter klinischer Belastbarkeit gibt, die keinerlei Einschränkungen der rechtsventrikulären Funktion zeigen.

Zukünftige Perspektive der Conductance-Technik ist einerseits die Etablierung dieser Methode in der Diagnostik spezieller klinischer Fragestellungen, beispielsweise wie in unserer Studie bei Patienten mit Fallot'scher Tetralogie zur präklinischen Evaluation einer rechtsventrikulären Dysfunktion und andererseits die Validierung nicht-invasiver Methoden wie z. B. der Kernspintomographie oder der Gewebedoppler-Echokardiographie zur Analyse der rechtsventrikulären Funktion, die dann in Zukunft möglicherweise die invasive Untersuchung bezüglich dieser Indikation überflüssig werden lassen.

Schlussfolgerungen

Unsere vorläufigen Erfahrungen aus der vorliegenden Studie mit einer relativ kleinen Patientenanzahl demonstrieren, dass die Funktionsanalyse mithilfe der Conductance-Katheter-Technik die Beurteilung der rechten Herzkammer verbessern kann und in der Lage ist, auch bereits frühe Anzeichen einer

rechtsventrikulären Dysfunktion, die nur unter einer Belastungssituation messbar sind, aufzuzeigen. Weitere Untersuchungen mit größeren Fallzahlen sind erforderlich, um nachzuweisen, ob diese Methode hilfreich ist, bereits früher eine notwendige therapeutische Intervention zu veranlassen und dadurch möglicherweise den Langzeitverlauf einzelner Patienten zu verbessern.

Danksagung

Diese Forschungsarbeit wurde im Auftrag der Fördergemeinschaft Deutsche Kinderherzzentren e.V. durchgeführt.

Literatur:

- Redington AN. Late problems of repaired tetralogy of Fallot – physiopathology of right ventricular failure. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu* 2006; 3–10.
- Roos-Hesselink JW, Meijboom FJ, Spitaels SE, van Domburg R, van Rijen EH, Utens EM, Mc Ghie J, Bos E, Bogers AJ, Simoons ML. Decline in ventricular function and clinical condition after Mustard repair for transposition of the great arteries (a prospective study of 22–29 years). *Eur Heart J* 2004; 25: 1264–70.
- Kass DA. Measuring right ventricular volumes. *Am J Physiol* 1988; 254: H619–H621.
- Lange PE, Onnasch D, Farr FL, Heintzen PH. Angiocardiographic right ventricular volume determination. Accuracy, as determined from human casts, and clinical application. *Eur J Cardiol* 1978; 8: 477–501.
- Jauhiainen T, Jarvinen VM, Kali PE, Poutanen VP, Penttilä A, Kupari M. MR gradient echo volumetric analysis of human cardiac casts: focus on the right ventricle. *J Comput Assist Tomogr* 1998; 22: 899–903.
- Baan J, Jong TTA, Kerkhof PLM, Moneme RJ, Van Dijk AD, Van der Velde ET, Koops J. Continuous stroke volume and cardiac output from intra-ventricular dimensions obtained with impedance catheter. *Cardiovasc Res* 1981; 15: 328–4.
- Baan J, Van der Velde ET, De Bruin HG, Smeenk GJ, Koops J, Van Dijk AD, Temmerman D, Senden J, Buis B. Continuous measurement of left ventricular volume in animals and humans by conductance catheter. *Circulation* 1984; 70: 812–23.
- Della Rocca G, Costa MG, Pompei L, Coccia C, Pietropaoli P. Continuous and intermittent cardiac output measurement: pulmonary artery catheter versus aortic transpulmonary technique. *Br J Anaesth* 2002; 88: 350–6.
- Helbing WA, Rebergen SA, Maliepaard C, Hansen B, Ottenkamp J, Reiber JH, deRoos A. Quantification of right ventricular function with magnetic resonance imaging in children with normal hearts and with congenital heart disease. *Am Heart J* 1995; 130: 828–37.
- Niemann PS, Pinho L, Balbach T, Galuschky C, Blankenhagen M, Silberbach M, Broberg C, Jerosch-Herold M, Sahn DJ. Anatomically oriented right ventricular volume measurements with dynamic three-dimensional echocardiography validated by 3-Tesla magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2007; 50: 1668–76.
- Baan J, Van der Velde ET, Steendijk P. Ventricular pressure-volume relations in vivo. *Eur Heart J* 1992; 13 (Suppl): 2–6.
- Burkhardt D, Sugiyama S, Yue DT, Sagawa K. Contractility-dependent curvilinearity of end-systolic pressure-volume relations. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 1987; 252: H1218–H1227.
- Danton MHD, Greil GF, Byrne JG, Hsin M, Cohn L, Maier SE. Right ventricular volume measurement by conductance catheter. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2003; 285: H1774–H1785.
- Dickstein ML, Yano O, Spotnitz HM, Burkhardt D. Assessment of right ventricular contractile state with the conductance catheter technique in the pig. *Cardiovasc Res* 1995; 29: 820–6.
- Solda P, Pantaleo P, Perlini S, Calciati A, Finardi G, Pinsky MR, Bernardi L. Continuous monitoring of right ventricular volume changes using a conductance catheter in the rabbit. *J Appl Physiol* 1992; 73: 1170–5.
- Stamato TM, Szwarc R, Benson LN. Measurement of right ventricular volume by conductance in closed-chest pigs. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 1995; 269: H869–H876.
- Bishop A, White P, Oldershaw P, Chaturvedi R, Redington A. The use of conductance catheters to assess human right ventricular volumes: in vitro and in vivo validation. *Eur Heart J* 1995; 16: 310.
- Chaturvedi R, Kilner PJ, White P, Bishop A, Szwarc R, Redington A. Increased airway pressure and simulated branch pulmonary artery stenosis increase pulmonary regurgitation after repair of tetralogy of Fallot. Real-time analysis with a conductance catheter technique. *Circulation* 1997; 95: 643–9.
- Redington AN, Oldershaw PJ, Shinebourne EA, Rigby ML. A new technique for the assessment of pulmonary regurgitation and its application to the assessment of right ventricular function before and after repair of tetralogy of Fallot. *Br Heart J* 1988; 60: 57–65.
- White PA, Bishop A, Conroy B, Oldershaw PJ, Redington AN. The determination of volume of right ventricular casts using a conductance catheter. *Eur Heart J* 1995; 16: 1425–9.
- Van den Berg J, Strengers JL, Wielopolski PA, Hop WC, Meijboom FJ, de Rijke YB, Boomsma F, Bogers AJ, Pattynama PM, Helbing WA. Assessment of biventricular functional reserve and NT-proBNP levels in patients with RV volume overload after repair of tetralogy of Fallot at young age. *Int J Cardiol* 2009; 133: 364–70.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

☒ Medizintechnik-Produkte



Neues CRT-D Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik



Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH



Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH



InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ Bestellung e-Journal-Abo

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

Impressum

Disclaimers & Copyright

Datenschutzerklärung