

**Aus dem Lehrstuhl  
für Herz-, Thorax- und herznahe Gefäßchirurgie  
Direktor Prof. Dr. Christof Schmid  
der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg**

**PERFORATIONEN DES HERZENS UND DER GROßEN GEFÄßE  
NACH KARDIOVASKULÄREN INTERVENTIONEN – 5 JAHRES  
ANALYSE**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin  
der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
**MUDr. Zdeněk Provazník**

Mai 2018

**Aus dem Lehrstuhl  
für Herz-, Thorax- und herznahe Gefäßchirurgie  
Direktor Prof. Dr. Christof Schmid  
der Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg**

**PERFORATIONEN DES HERZENS UND DER GROßEN GEFÄßE  
NACH KARDIOVASKULÄREN INTERVENTIONEN – 5 JAHRES  
ANALYSE**

Inaugural – Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin  
der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
**MUDr. Zdeněk Provazník**

Mai 2018

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter: PD Dr. Bernhard Flörchinger

2. Berichterstatter: PD Dr. Sigrid Wittmann

Tag der mündlichen Prüfung: 03.09.2018

**Die dieser Zusammenfassung zugrundeliegende Promotionsarbeit wurde  
unter dem Titel**

**“Perforation of myocardial wall and great vessels after cardiovascular  
interventions—a 5-year analysis”**

**Autoren: Zdeněk Provazník, Andreas Holzamer, Daniele Camboni,  
Leopold Rupprecht, Markus Resch, Sigrid Wittmann, Christof Schmid,  
Bernhard Floerchinger**

**Journal of Thoracic Disease, J Thorac Dis 2017;9(12): pp5288-5294**

**(Impact Factor 2016: 2.365) publiziert.**

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>I. Hintergrund .....</b>	<b>6</b>
<b>II. Methoden .....</b>	<b>7</b>
<b>III. Ergebnisse .....</b>	<b>8</b>
<b>Patientenkollektiv .....</b>	<b>8</b>
<b>Lokalisation und primäre Prozedur .....</b>	<b>8</b>
<b>Klinisches Erscheinungsbild .....</b>	<b>10</b>
<b>Therapie und Schweregrad der Verletzung .....</b>	<b>10</b>
<b>IV. Diskussion .....</b>	<b>11</b>
<b>V. Zusammenfassung .....</b>	<b>17</b>
<b>VI. Quellenverzeichnis .....</b>	<b>18</b>
<b>VII. Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>21</b>
<b>VIII. Danksagung .....</b>	<b>22</b>

## I. Hintergrund

Verletzungen des Herzens und großer intrathorakaler Gefäßen gehören zu schweren und lebensbedrohlichen Ereignissen. Traumatische Verletzungen des Herzens sind assoziiert mit einer hohen Mortalität bis zu 80%. In einer Arbeit von Kutsukata [3], die die Morphologie von stumpfen Verletzungen des Herzens nach Verkehrsunfällen analysiert hat, wiesen lediglich 12 Patienten von insgesamt 2673 erfassten Verletzten, die zwischen Februar 2009 und April 2010 stationär in einem Krankenhaus aufgenommen wurden, eine kardiale Perforation auf. Somit stellen kardiale Verletzungen traumatischer Genese eine vergleichsweise seltene Entität.

Im Gegensatz dazu stellen iatrogene Perforationen eine in jüngerer Zeit „neue“ Entität dar. In letzten Jahren ersetzen zunehmend weniger invasive interventionelle Eingriffe chirurgische Operationen und neue Interventionen und diagnostische Prozeduren am Herz sind mehr und mehr etabliert, damit steigt auch die Zahl von iatrogenen Perforationen bei diesen Prozeduren und mittlerweile sind diese im Vergleich zu den traumatischen epidemiologisch im Vordergrund. Abgesehen von Herzkatheteruntersuchungen gehören zu den Interventionen Herzschrittmacher-, Cardioverter-Defibrillator- und kardiale Resynchronisationstherapie- (CRT – D) Implantationen. Anlage von extrakorporalen Kreislauf-Unterstützung-Systemen (ECMO) sind ebenso mit einem Risiko einer kardialen Perforation verbunden. In der letzten Dekade haben ebenso die Zahlen Katheter-gestützter Verfahren in Bereich der Aortenklappe (TAVI) und der Mitralklappe (z.B. MitraClip) zugenommen. Katheter-gestützter Aortenklappenersatz (TAVI) sowie weitere Katheter-gestützte Interventionen und deren Komplikationen sind im Rahmen der Qualitätssicherung in der klinischen Praxis streng beobachtet, andere auch weniger invasive Prozeduren sind aber deutlich weniger kontrolliert und es gibt wenig wissenschaftlichen Informationen über deren Komplikationen [2, 9].

Die vorliegende retrospektive Arbeit analysiert Patienten mit iatrogenen Perforationen des Herzens und der zentralen Gefäße, die im Zeitraum von fünf Jahren in der herzchirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Regensburg behandelt wurden. Morphologie, Lokalisation, Diagnostik, Therapie, Gerinnung im Zeitpunkt der Perforation und klinische Manifestation wurden analysiert, ebenso die Mortalität dieser Komplikation bei iatrogenen Prozeduren.

## **II. Methoden**

Alle Patienten vom April 2011 bis März 2016 mit iatrogenen kardialer Läsion, die in der Klinik für Herz-, Thorax- und herznahe Gefäßchirurgie des Universitätsklinikums Regensburg betreut worden sind (44 Patienten), wurden eingeschlossen. Komplikationen nach transapikalem Katheter-gestütztem Aortenklappenersatz (TA – TAVI) wurden ausgeschlossen, da bei dieser Prozedur der transmurale Zugang durch die Herzpitze nicht als Komplikation, sondern als Zugangsweg zu werten ist. Ebenso wurden keine Patienten mit koronar-arteriellen Perforationen nach diagnostischem oder therapeutischem Herzkatheter eingeschlossen, da aus unserer Sicht die Perforation eines Koronargefäßes im Rahmen einer Koronarintervention eine eigenständige Entität darstellt [5].

Die statistische Analyse wurde mit GraphPad Prism 6.07 (GraphPad, Inc., San Diego, CA, USA) durchgeführt. Die deskriptiven Ergebnisse (Mittelwert mit der Standardabweichung) wurden mittels Mann – Whitney Test errechnet. Ein p-Wert kleiner 0,05 wurde als statistisch signifikant betrachtet.

### **III. Ergebnisse**

#### **Patientenkollektiv:**

Es wurden 44 Patienten (davon 17 männlich und 27 weiblich) in unsere Studie eingeschlossen. Das mittlere Alter war 76+/-13 Jahren. Siebenundzwanzig Patienten (61,4%) erlitten die iatrogene Perforation in unserem Krankenhaus und siebzehn Patienten (38,6%) wurden zur weiteren Therapie von externen Krankenhäusern zugewiesen.

#### **Lokalisation und primäre Prozedur:**

Neun von den „Haus-internen“ Patienten erlitten eine penetrierende Verletzung nach einem transfemorale Katheter gestützten Aortenklappenersatz (TAVI, mit einer Inzidenz von 1,4% / 9 von 642 Patienten), sechs Patienten nach Implantation eines permanenten Herzschrittmachers (mit Inzidenz 0,4%, 6 von 1579 Patienten), drei Fälle nach Anlage eines extrakorporalen Membranoxygenierung-Systems (ECMO) sowie drei Patienten nach Platzieren temporärer Schrittmacherelektroden und drei Patienten nach Perikardpunktion.

Siehe Tabelle 1.

<b>Lokalisation der Perforation</b>	<b>n (insgesamt n=44)</b>
Linker Ventrikel	8
Rechter Ventrikel	26
Linkes Atrium	1
Rechtes Atrium	2
Andere	7
<b>Primärer Eingriff</b>	<b>n (insgesamt n=44)</b>
SM / ICD Sonde	16
TAVI	9
Ventrikulographie	3
ECMO Anlage	3
Hämodialysekatheter	2
Pigtail Katheter	6
Sonden Laserextraktion	2
Electrophysiologische Untersuchung	1
CRT - D Sonden	1
Linkes Herzohr Verschluss-System	1

Tab. 1: Lokalisation der Perforation und primärer Eingriff (SM – Schrittmacher, ICD - implantable cardioverter defibrillator, TAVI - Transcatheter Aortic Valve Implantation, CRT – D - cardiac resynchronisation therapy – defibrillator, ECMO - extracorporeal membrane oxygenation).

Die häufigste Lokalisation einer Perforation war die rechtsventrikuläre Wand (n=26, 59,1%), der linke Ventrikel wurde bei 8 Patienten verletzt (18,2%). Seltener kamen die Perforation von Vorhöfen (2 rechtsatriale, 1 linksatriale) und von zentralen Gefäßen (2 vena brachiocephalica, 1 vena cava superior und 1 sinus coronarius) vor. Drei von den TAVI Patienten erlitten Lacerationen des Aortenklappen-Anulus.

### **Klinisches Erscheinungsbild:**

In unserem Patientenkollektiv wurde die Diagnose bei 27 Patienten unmittelbar nach der primären Intervention gestellt, davon mussten 24 Patienten unmittelbar therapiert werden und drei wurden innerhalb von 24 Stunden behandelt. Bei 3 Patienten wurde die Diagnose sogar später als nach einer Woche gestellt. 63,6% (n=28) Patienten entwickelten Symptome einer Herztamponade (mit hämodynamischer Instabilität mit Hypotonie, Tachykardie, Oligurie), die häufiger im Fall einer Linksventrikulären Perforation (87%, 7 von 8 Patienten) im Vergleich zur rechtsventrikulären Verletzung (55,6%) und Verletzung von zentralen Gefäßen (54,5%) vorkam.

### **Therapie und Schweregrad der Verletzung:**

Sechzehn Patienten (36,4%) mussten reanimiert werden und bei drei Patienten davon erfolgte Anlage einer ECMO. Sieben und zwanzig Patienten (61,4%) wurden offen über mediane Sternotomie operiert, bei neun Patienten (20,5%) erfolgte eine Perikardpunktion und bei 2 Patienten (4,5%) wurde eine subxiphoidale Drainagen Anlage durchgeführt. Bei 7 Patienten konnte bei stabiler Hämodynamik ein konservatives Procedere gewählt werden.

Die häufigste Ursache einer linkventrikulären (LV) Verletzung war Perforation im Rahmen von Katheter-gestützter Aortenklappenersatz (6 Fälle von 8 LV

Perforationen). Eine Perforation kam bei Ventrikulographie und eine bei Anlage einer ECMO vor. Alle linksventrikulären Perforationen wurden offen chirurgisch über mediane Sternotomie bei dramatischem Verlauf behandelt, was spiegelt die schlechte Prognose mit Mortalität von 75% (6 von 8 Patienten), die zeigte sich noch relativ schlechter bei den Patienten mit Perforation nach TAVI (83,3%, 5 von 6 Patienten).

Eine rechtsventrikuläre Perforation kam meistens in der Folge von Herzschrittmacher oder Kardioverter Defibrillator Sonden Implantation vor (50%, 13 von 26 Patienten). Bei einer Perikardpunktion kann anatomisch bedingt der rechte Ventrikel punktiert werden. Diese Ursache repräsentiert 23,1% (n=6) von rechtsventrikulären (RV) Perforationen in unserem Patienten Kollektiv. Weitere Interventionen waren Einschwemmen von temporärem Schrittmacher (n=3), Rechts-Herzkatheter (n=2), ECMO Anlage (n=1) und elektrophysiologische Untersuchung (n=1).

Im Vergleich zu linksventrikulären Perforationen wurden nur 50% (n=13) der Fälle chirurgisch über Sternotomie behandelt, sechs Patienten wurden mittels Perikardpunktion versorgt und sieben Patienten wurden konservativ behandelt.

Alle Patienten mit Verletzung von zentralen venösen Strukturen wurden chirurgisch behandelt.

#### **IV. Diskussion**

Die iatrogene kardiale Perforation ist im Klinikum der Universität Regensburg mit dem Versorgungsauftrag einer Klinik der Maximalversorgung eine Komplikation mit Inzidenz von ca. 10 Patienten pro Jahr und stellt damit keine häufige, eine jedoch im klinischen Alltag einer universitären herzchirurgischen Abteilung mit überregionalem Versorgungsgebiet gängige Komplikation dar. Im Vergleich zu traumatischen Verletzungen ist die Prognose dank auch

unmittelbarer Behandlungserreichbarkeit besser. Die Mortalität bei den traumatischen Perforationen nähert sich zu 80% [3, 4]. Die Gesamt-Mortalität von 25% nach iatrogenen Prozeduren unterstreicht den lebensbedrohlichen Charakter dieser Komplikation. Der Hauptfaktor, der die Prognose beeinflusst, ist neben allgemein Patienten-bezogenen Faktoren wie Alter und Komorbiditäten, die Lokalisation und der Schweregrad der Perforation. Je nach Lokalisation und Größe einer Perforation kann das klinische Bild vom wenig symptomatischem Verlauf bis hämodynamischer Instabilität mit notwendiger Reanimation variieren.

Die Verletzung von Koronararterien im Rahmen von Koronarinterventionen hat in der verfügbaren Literatur eine gute Prognose: Die Inzidenz einer Tamponade-Symptomatik beträgt in der Arbeit von Fejka et al. nur 0,12% (31 Perforationen von 25697 PCI-Prozeduren) und nur ein Drittel wird chirurgisch behandelt. Die meisten Patienten werden mittels Perikardpunktion oder Stentimplantation erfolgreich behandelt. Im Fall einer persistierenden Blutung und Tamponade steigt aber die Mortalität deutlich (42%) [5].

Im untersuchten Kollektiv waren Läsionen des linken Ventrikels am häufigsten mit schwerer Tamponadesymptomatik und Kreislaufinstabilität vergesellschaftet, korrespondierend mit der hohen Rate operativer Versorgung.

In sechs Fällen traten die lebensbedrohlichen, linksventrikulären Perforationen als Komplikation einer TAVI-Prozedur auf. In verschiedenen Studien wurde die Inzidenz einer Perforation im Rahmen von TAVI zwischen 0 und 7% beschrieben [9, 19, 20, 21]. Genereux beziffert in einer Meta-Analyse (16 Studien, mit insgesamt 3519 Patienten) die Inzidenz der Tamponade mit 0,6-4,6%. Als häufigster Mechanismus der Perforation im Rahmen von Katheter gestütztem Aortenklappenersatz zeigte sich die Manipulation mit dem Seldinger- Draht ("stiff wire"), der für die Platzierung der Klappenprothese nötig ist. Weitere Komplikationen entstehen durch Überdehnung und Ruptur des Aortenannulus.

Trotz unmittelbarer Diagnose durch intraoperatives invasives Monitoring und echokardiographischen Nachweis eines hämodynamisch relevanten Perikardergusses sowie trotz unmittelbarer chirurgischen Therapie erlitten 5 Patienten in unserem Kollektiv Multiorganversagen und hypoxische Hirnschäden. Die schlechte Prognose wird ebenso beeinflusst durch die Komorbidität von TAVI-Patienten. Diese sind gewöhnlich älter als 75 Jahre, im reduzierten Allgemeinzustand und haben oft etliche Nebenerkrankungen, mit hohem Risiko einer elektiver konventionellen Operation. Dementsprechend sind eine notfallmäßig durchgeführte Sternotomie bei Perikardtamponade und der damit einhergehenden Kreislaufdepression, mit dem sehr schlechten Outcome vergesellschaftet. Es ist sinnvoll, wie auch die internationalen Leitlinien empfehlen, diese Interventionen in einem Zentrum mit hoher Interventionszahl und unmittelbarer Verfügbarkeit eines herzchirurgischen Teams und der Möglichkeit extrakorporaler hämodynamischer Unterstützung durchzuführen [22]. Vorteilhaft ist die Durchführung in einem sogenannten Hybrid-Operationssaal, welcher die Vorteile eines chirurgischen Saales und eines Herzkatheter-Messplatzes kombiniert.

Rechtsventrikuläre Schrittmacher oder ICD - System Sonden Perforationen sind in der verfügbaren Literatur und auch in unserer Erfahrung die häufigsten iatrogenen Perforationen. Die tatsächliche Inzidenz ist jedoch angesichts einer unbekanntem Anzahl asymptomatischer klinischer Verläufe unterschätzt. Sterliński et al. [6] angeben eine Perforation Inzidenz von 0,5% ohne signifikanten Unterschied zwischen Schrittmacher und ICD Sonden in seiner Studie mit 2247 Sonden Implantationen bei 1419 Patienten. Eine andere retrospektive Analyse von 3815 Patienten von Migliore et al. [7] zeigte eine Inzidenz von rechtsventrikulärer Perforation von 0,4% (14 Patienten). Eine weitere Subanalyse beschreibt keinen Unterschied des Perforationsrisikos

zwischen Schrittmacher- (0,4%) und ICD Sonden (0,3%,  $p=1,0$ ) sowie zwischen aktiver (0,5%) und passiver (0,3%,  $p=0,3$ ) Sonden Fixierung.

Die Symptomatik von Sonden-Perforationen ist unterschiedlich. Nach zeitlichem Verlauf unterscheiden sich akute (innerhalb von 24 Stunden), subakute (zwischen 24 Stunden und einem Monat) und chronische (klinische Manifestation erst nach einem Monat) Verläufe. Zu den späterem gehören, eher als Symptom eines Perikardergusses, z.B. unspezifische, auch atemabhängige thorakale Schmerzen sowie Schrittmacher Fehlfunktion oder Perforationen der Pleura oder von Lungengewebe. So zeigte sich ein Beispiel in der eigenen Abteilung eines Patienten mit rezidivierenden Pleuraergüssen bei dem eine Sondenperforation erst durch Thorakoskopie als Ursache diagnostiziert wurde. Intraoperativ imponierte ein Perikard Fenster, das durch Bewegung der perforierten Sondenspitze entstand.

Bei zwei Patienten unseres Kollektives wurde die Vena brachiocephalica durch über die Vena jugularis eingebrachte Hämodialyse-Katheter perforiert. Da dieses Gefäß extraperikardial liegt, kann die Beurteilung der Perikard-Integrität schwierig sein. Auch Bildgebungs-Diagnostik mittels Computer Tomographie kann das Risiko einer Tamponade nach Katheterentfernung nicht immer zuverlässig vorhersagen. Bei einer stabilen Hämodynamik und bei fehlenden Zeichen einer manifesten Blutung kann eine einfache Entfernung des Katheters und weiteres hämodynamisches Monitoring erfolgen. Im Falle eines nachweisbaren Hämatoms mit engem räumlichen Bezug zum Perikardbeutel, aktiver Blutung oder hämodynamischer Instabilität sowie fehlender Möglichkeit einer Komprimierbarkeit von außen, ist eine offene chirurgische Behandlung sinnvoll [8]. Dies ist jedoch immer eine Einzelfall-Entscheidung, in jedem Falle sollte eine intensivmedizinische Überwachung der Betroffenen in einem herzchirurgischen Zentrum durchgeführt werden mit der Möglichkeit einer unmittelbaren chirurgischen Intervention, wenn erforderlich.

In Deutschland werden zunehmend extrakorporale Unterstützungssysteme im Sinne von veno-arteriellen oder veno-venöse ECMO-Systemen angewendet, wobei durch die Seldinger-geführte perkutane Platzierung die Gefahr einer Perforation besteht. Andere als vaskuläre Läsionen nach ECMO-Anlage sind selten. In der Arbeit von Pranikof und Subramanian [14, 15] wurde ein Fall einer Vena cava superior Perforation nach Anlage eines veno-venösen ECMO-Systems in einer Kohorte von 94 Patienten beschrieben und in einer Kohorte von 25 pädiatrischen Patienten wurden zwei Fälle von rechts-atrialen Läsionen diagnostiziert. Zur Minimierung des Perforation-Risikos sollte immer im Rahmen der Implantation eine transösophageale Echokardiographie zur Sichtung der Führungsdraht-Lage durchgeführt werden.

Die schnelle und richtige Diagnose einer iatrogenen Myokard- und Gefäß-Verletzung gehört besonders bei fulminanten klinischen Verläufen zu den entscheidenden prognostischen Faktoren. Transthorakale Echokardiographie ist ein wichtiges diagnostisches Instrument, jedoch Untersucher- und Situations-abhängig. Daher spielen weitere diagnostische Methoden wie zum Beispiel die Computer-Tomographie oder transösophageale Echokardiographie eine wichtige Rolle.

Bis zur definitiven Therapie der Perforation ist eine effektive Volumen-Therapie zur Erhaltung suffizienter ventrikulärer und atrialer Füllungsdrucke sowie eine Sicherung der Kreislaufparameter Herzfrequenz, Blutdruck und periphere Durchblutung/Sauerstoffsättigung mit Vasopressoren und Inotropen des Patienten notwendig. Die weitere therapeutische Strategie ist von der hämodynamischen Stabilität des Patienten und von der Lokalisation der Läsion abhängig. Im Allgemeinen sollten immer weniger invasive perkutane Maßnahmen bevorzugt werden. Diese können aber vor allem bei linksventrikulären Perforationen und bei schnell zunehmenden Perikarderguss nicht ausreichend sein. In diesem Fall ist nur

eine zügige offene Sternotomie die einzige definitive Therapie. Die meisten myokardialen Perforationen können am schlagenden Herzen versorgt werden. Große Läsionen besonders im Bereich des linken Ventrikels benötigen Anwendung einer Herz-Lungen-Maschine mit Herzstillstand.

Nicht zuletzt spielt eine physiologische Gerinnung eine wichtige Rolle und kann bei kleinen Läsionen den Patienten vor weiteren invasiven Maßnahmen bewahren. Patienten nach kardiologischer Intervention sind aber oft mit Antikoagulantien oder Thrombozyten-Inhibitoren therapiert. Die Thrombozyten-Aggregation-Hemmung ist auch als Risikofaktor für eine Perikard-Tamponade nach Sondenimplantation zu werten. Sterlinski et al. haben in einer Auswertung von 2247 implantierten Sonden in 1419 Patienten untersucht; hier wies ein Patient von insgesamt acht Patienten mit gesicherten Sonden-Perforationen eine hochdosierte unfraktionierte Heparin-Therapie auf [6]. Das Erreichen einer suffizienten Gerinnungssituation mittels Substitution von Gerinnungskomponenten ist der erste Schritt zur Therapie aller Blutungskomplikationen insbesondere bei Perforationen beider Atrien und des rechten Ventrikels. Im Falle einer Perforation des Linken Ventrikels erscheint die Optimierung des Gerinnungsstatus ebenso notwendig, aber ist zur Versorgung der zugrunde-liegenden Läsion nicht ausreichend und sollte daher eine operative Therapie nicht verzögern. Zur Analyse der Störung der Gerinnung kann die ROTEM – Analyse dienen. Die Substitution kann dann gezielt zum Ausgleich der erfassten Faktoren-Defizite erfolgen.

Die Hauptlimitation dieser retrospektiven Analyse ist die Vorselektion von Patienten, die in unser herzchirurgisches Zentrum zugewiesen wurden. So konnten die meisten Patienten mit milder Symptomatik, die in externen Häusern behandelt wurden, nicht eingeschlossen werden.

## **V. Zusammenfassung**

Iatrogene Perforationen von Myokard oder von zentralen Gefäße sind eine seltene, jedoch gängige Komplikationen in der kardiologischen und herzchirurgischen Praxis eines überregionalen Krankenhauses der Maximalversorgung. Die Mortalität variiert je nach betroffener Struktur. Trotz schneller aggressiver Behandlung ist die Mortalität als hoch anzusehen und durch die hämodynamische Kompromittierung im Rahmen der Perikardtamponade-Symptomatik und die hohe Komorbidität der betroffenen Patienten verursacht.

## VI. Quellenverzeichnis

1. Kuck KH, Hindricks G, Padeletti L, et al. EHRA white book 2014. 2014:197-206.
2. Beckmann A, Funkat AK, Lewandowski J, et al. Cardiac Surgery in Germany during 2014: A Report on Behalf of the German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery. *Thorac Cardiovasc Surg* 2015;63:258-69.
3. Kutsukata N, Sakamoto Y, Mashiko K, et al. Morphological evaluation of areas of damage in blunt cardiac injury and investigation of traffic accident research. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2012;60:31-5.
4. Sassone B, Gabrieli L, Boggian G, et al. Management of traumatic implantable cardioverter defibrillator lead perforation of the right ventricle after car accident: a case report. *Europace* 2009;11:961-2.
5. Fejka M, Dixon SR, Safian RD, et al. Diagnosis, management, and clinical outcome of cardiac tamponade complicating percutaneous coronary intervention. *Am J Cardiol* 2002;90:1183-6.
6. Sterliński M, Przybylski A, Maciag A, et al. Subacute cardiac perforations associated with active fixation leads. *Europace* 2009;11:206-12.
7. Migliore F, Zorzi A, Bertaglia E, et al. Incidence, management, and prevention of right ventricular perforation by pacemaker and implantable cardioverter defibrillator leads. *Pacing Clin Electrophysiol* 2014;37:1602-9.
8. Ko SF, Ng SH, Fang FM, et al. Left brachiocephalic vein perforation: computed tomographic features and treatment considerations. *Am J Emerg Med* 2007;25:1051-6.
9. Masson JB, Kovac J, Schuler G, et al. Transcatheter aortic valve implantation: review of the nature, management, and avoidance of procedural complications. *JACC Cardiovasc Interv* 2009;2:811-20.

10. Généreux P, Head SJ, Van Mieghem NM, et al. Clinical outcomes after transcatheter aortic valve replacement using valve academic research consortium definitions: a weighted meta-analysis of 3,519 patients from 16 studies. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:2317-26.
11. van Gijn MS, Frijns D, van de Glind EM, et al. The chance of survival and the functional outcome after inhospital cardiopulmonary resuscitation in older people: a systematic review. *Age Ageing* 2014;43:456-63.
12. Taylor J. ESC/EACTS Guidelines on the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 2012;33:2371-2.
13. Karagiannidis C, Brodie D, Strassmann S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation: evolving epidemiology and mortality. *Intensive Care Med* 2016;42:889-96.
14. Prankoff T, Hirschl RB, Remenapp R, et al. Venovenous extracorporeal life support via percutaneous cannulation in 94 patients. *Chest* 1999;115:818-22.
15. Subramanian S, Vafaezadeh M, Parrish AR, et al. Comparison of wire-reinforced and non-wire-reinforced dual-lumen catheters for venovenous ECMO in neonates and infants. *ASAIO J* 2013;59:81-5.
16. Bodson L, Bouferrache K, Vieillard-Baron A. Cardiac tamponade. *Curr Opin Crit Care* 2011;17:416-24.
17. Lehmann S, Schröter T, Lehmann A, et al. Pericardial effusion. Differential diagnostics, surveillance and treatment. *Chirurg* 2011;82:1001-7. Erratum in: *Chirurg* 2012;83:37. Thomas, S [corrected to Schröter, T]; Leontyev, S [corrected to Leontyev, S].
18. Petrov I, Dimitrov C. Closing of a right ventricle perforation with a vascular closure device. *Catheter Cardiovasc Interv* 2009;74:247-50.

19. E. Grube, G. Schuler, L. Buellesfeld, et al. Percutaneous aortic valve replacement for severe aortic stenosis in high-risk patients using the second- and current third-generation self-expanding CoreValve prosthesis: device success and 30-day clinical outcome. *J Am Coll Cardiol*, 50 (2007), pp. 69-76.
20. J.G. Webb, S. Pasupati, K. Humphries, et al. Percutaneous transarterial aortic valve replacement in selected high-risk patients with aortic stenosis. *Circulation*, 116 (2007), pp. 755-763.
21. T. Walther, P. Simon, T. Dewey, et al. Transapical minimally invasive aortic valve implantation: multicenter experience. *Circulation*, 116 (2007), pp. I240-I245
22. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease, Helmut Baumgartner Volkmar Falk Jeroen J Bax Michele De Bonis Christian Hamm Per Johan Holm Bernard Iung Patrizio Lancellotti Emmanuel Lansac Daniel Rodriguez Muñoz et al. *European Heart Journal*, Volume 38, Issue 36, 21 September 2017, Pages 2739–2791

**Abkürzungsverzeichnis**

CRT – D, cardiac resynchronisation therapy – defibrillator

ECMO, extracorporeal membrane oxygenation

TAVI, Transcatheter Aortic Valve Implantation

TA – TAVI, Trans Apical Transcatheter Aortic Valve Implantation

TF – TAVI, Trans Femoral Transcatheter Aortic Valve Implantation

LV, linkventrikulär

RV, rechtsventrikulär

TAVR, Transcatheter Aortic Valve Replacement

ICD - implantable cardioverter defibrillator

PCI – percutaneous coronary intervention

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank nachstehenden Personen entgegenbringen.

Zunächst möchte ich mich bei Herren Priv.- Doz. Dr.med. Bernhard Flörchinger bedanken. Mein Dank gilt für die freundliche Hilfe und Betreuung, für die Motivation und nette Unterstützung nicht nur bei der Anfertigung dieser Schrift, sondern auch bei der tagtäglichen klinischen Arbeit. Dank ihm bin ich auch bei der Herzchirurgie geblieben.

Ich möchte meinen Dank auch Herren Prof. Dr.med. Christof Schmid für den zahlreichen Rat entgegenbringen.

Weiter möchte ich mich bei Frau Priv.- Doz. Dr. med. Sigrid Wittmann, Herren Dr. med. Andreas Holzamer, Dr. med. Leopold Rupprecht,

Priv. – Doz. Dr. med. Daniele Camboni und Priv. Doz. Dr. med. Markus Resch bedanken.

Nicht zu Letzt gehört mein Dank meiner Frau MUDr. Monika Provazníková für ihre hilfreiche Unterstützung und ihr Verständnis bei der Anfertigung dieser Arbeit.