

**Vergleichende Untersuchung  
verschiedener temporärer myokardialer Stimulationselektroden  
in Bezug auf Zuverlässigkeit und Funktionalität  
nach Herzoperationen**

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Vorgelegt von Raed Aser  
aus Amman / Jordanien

Gießen 2011

**Aus der Klinik für Herz-, Kinderherz- und Gefäßchirurgie  
Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen  
Direktor: Prof. Dr. med. A. Böning**

Gutachter: Prof. Dr. med. A. Böning  
Gutachter: Prof. Dr. med. A. Erdogan

Tag der Disputation: 22.11.2011

**meinen Eltern**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung und Fragestellung</b> .....	6
1.1 Die Entwicklung der modernen Herzchirurgie .....	6
1.2 Intraoperative Herzrhythmusstörungen.....	6
1.3 Postoperative Herzrhythmusstörungen .....	7
<b>1.4 Der interne Herzschrittmacher</b> .....	8
1.4.1 Komponenten des Herzschrittmachers.....	8
1.4.2 Funktionsweise des Herzschrittmachers .....	9
1.4.3 Der „NASPE“ Code.....	9
<b>1.5 Der externe Herzschrittmacher</b> .....	10
1.5.1 Transvenöse Elektrode.....	10
1.5.2 Epikardiale Drähte.....	10
1.5.3 Transkutanes Pacing.....	11
<b>1.6 Fragestellung</b> .....	12
<b>2 Material und Methoden</b> .....	13
<b>2.1 Patienten und Ein- und Ausschlusskriterien</b> .....	13
<b>2.2 Aufklärung der Patienten und Randomisierung in die Studiengruppen</b> .....	14
<b>2.3 Die Parameter</b> .....	16
2.3.1 Elektrokardiogramm (EKG).....	16
2.3.2 Reizschwelle (Pacing).....	16
2.3.3 Wahrnehmung (Sensing).....	16
2.3.4 Laborparameter.....	17
<b>2.4 Die Messzeitpunkte</b> .....	17
<b>2.5 Die myokardialen Stimulationselektroden</b> .....	18
2.5.1 Osypka TME4.....	18
2.5.2 Medtronic 6495/2M.....	20
<b>2.6 Das Schrittmacheranalysegerät OSYPKA Pace 203 H</b> .....	22
<b>2.7 Implantation der Schrittmacherdrähte und OP-Verlauf</b> .....	24
<b>2.8 Statistische Auswertung</b> .....	25
<b>3 Ergebnisse</b> .....	26
<b>3.1 Patientenalter und -geschlecht</b> .....	26
<b>3.2 Reizschwelle (Pacing)</b> .....	26
3.2.1 Reizschwelle am Ventrikel.....	26
3.2.2 Reizschwelle am Vorhof.....	28

	5
<b>3.3 Wahrnehmung (Sensing)</b> .....	29
3.3.1 Wahrnehmung am Ventrikel.....	29
3.3.2 Wahrnehmung am Vorhof.....	30
<b>3.4 Laborparameter</b> .....	31
3.4.1 C-reaktives Protein.....	31
3.4.2 Leukozyten.....	33
<b>4 Diskussion</b> .....	34
<b>4.1 Reizschwelle an Vorhof und Ventrikel</b> .....	34
<b>4.2 Wahrnehmung an Vorhof und Ventrikel</b> .....	36
<b>4.3 Implantationslokalisierung</b> .....	37
<b>4.4 Entzündungsreaktion</b> .....	40
<b>4.5 Handhabung der Elektroden</b> .....	42
<b>4.6 Limitationen der Studie</b> .....	44
<b>5 Zusammenfassung</b> .....	44
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	46
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	54
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	55
<b>Eidesstattliche Versicherung</b> .....	56
<b>Poster</b> .....	57
<b>Danksagung</b> .....	59

## **1. Einleitung und Fragestellung**

### **1.1 Die Entwicklung der modernen Herzchirurgie**

Die erste erfolgreiche operative Behandlung einer Stichwunde des Herzens durch Ludwig Rehn (1896) in Frankfurt am Main demonstrierte den Beginn der Herzchirurgie (Rehn L. (1897)).

Die weitere Entwicklung der Herzchirurgie war jedoch erst durch die Einführung der Oberflächenhypothermie durch W.G. Bigelow 1950 und der extrakorporalen Zirkulation 1953 durch J.H. Gibbon möglich. Durch diese Verfahren und deren kombinierte Anwendung war es möglich am stillstehenden Herzen zu operieren.

Zunächst wurden in den USA durch die Pioniere J.W. Kirklin und W. Lillehei (Kirklin et al.) angeborene Herzfehler, insbesondere Septumdefekte, operiert. R. Zenker operierte 1958 in Marburg als Erster in Deutschland einen Patienten mit Vorhofseptumdefekt mit der Herz-Lungen-Maschine.

Zwei Jahre später führte D. Harken den ersten Ersatz einer Aortenklappe durch. Ebenfalls 1960 ersetzte A. Starr erstmals eine Mitralklappe unter Verwendung der Herz-Lungen-Maschine.

Die Koronarchirurgie trat erst 1967 ihren Siegeszug an. Die Entwicklung der direkten Myokardrevaskularisation wird R. Favaloro zugeschrieben. Dabei werden Stenosen der Koronararterien durch körpereigene Venen oder Arterien überbrückt. Diese sogenannten aortokoronaren Bypassoperationen machen heute den überwiegenden Teil aller herzchirurgischen Operationen aus.

### **1.2 Intraoperative Herzrhythmusstörungen**

Bei Herzoperationen mit Einsatz der Herz-Lungen-Maschine und kardioplegischem Herzstillstand tritt häufig bei der Entwöhnung von der Herz-Lungen-Maschine eine Situation ein, in der eine Bradykardie verhindert, dass das Herz den Kreislauf selbständig aufrechterhalten kann. Als Ursache dafür kommen mehrere Faktoren in

Betracht: präoperative bradykardisierende Medikation, Ischämiefolge, Störungen im Elektrolythaushalt, chirurgische (mechanische) Ursachen. Wenn in einer solchen Situation eine zu langsame Herzfrequenz mittels elektrischer Stimulation gesteigert wird, gelingt die Entwöhnung von der Herz-Lungen-Maschine (Breivik et al.), (Scherhag et al.), (Wirtz et al.).

### **1.3 Postoperative Herzrhythmusstörungen**

Eine der häufigsten Komplikationen nach Operationen am Herzen sind Rhythmusstörungen, welche sich vielfältig präsentieren können. Es kann sowohl zu einer zu langsamen als auch zu einer zu schnellen Herzaktion kommen. Kombiniert mit diesen als Bradykardie bzw. Tachykardie bezeichneten Zuständen können andere Arrhythmien auftreten. Durch die Behandlung mit Antiarrhythmika kann es zu weiteren Rhythmusstörungen kommen.

Vorhofflimmern ist mit 11 bis 44% die am häufigsten in der Literatur angegebene Arrhythmie in der frühen postoperativen Phase nach Operationen am offenen Herzen (Andrews et al.), (Borzak et al.), (Brandt et al.), (Chauhan et al.), (Cox et al.), (Daoud et al.), (Fan et al.), (Frost et al.), (Funck et al.), (Schweikert et al.).

Im Vergleich dazu wurde das Risiko postoperativen Vorhofflimmerns nach nicht-kardialen Operationen mit 4% angegeben (Caretta et al.), (Chauhan et al.), (Ommen et al.).

Trotz großer Fortschritte in der operativen Technik, Anästhesie und der Kardioprotektion (Aranki et al.), (Butler et al.), (Ommen et al.), (Sato et al.) konnte in den vergangenen Jahren keine wesentliche Verringerung der Inzidenz postoperativen Vorhofflimmerns erreicht werden.

Das Auftreten von Vorhofflimmern wird mit einer Häufung am zweiten und dritten postoperativen Tag beschrieben (Bharucha et al.), (Blommaert et al. 1999), (Gomes et al.), (Misier et al.).

Die wichtigsten Komplikationen, die aus solch einer Rhythmusstörung heraus resultieren können, sind die akute kardiale Dekompensation, thrombembolische Prozesse bzw. antikoagulationsbedingte hämorrhagische Komplikationen (Andrews et al.), (Creswell et al.), (Ommen et al.).

Die Inzidenz an postoperativen bradykarden Rhythmusstörungen, die zur Implantation eines permanenten Schrittmachersystems führen, wird in der Literatur mit 2,1% angegeben (Del Rizzo et al.), (Cordon et al.).

Es gibt deutliche Unterschiede in der postoperativen Schrittmacher-Bedürftigkeit je nach Art des herzchirurgischen Eingriffs: so beträgt die Inzidenz nach koronaren Bypassoperation unter einem Prozent, aber nach Eingriffen an den Herzklappen nahezu fünf Prozent (Cordon et al.).

#### **1.4 Der interne Herzschrittmacher**

A. Senning implantierte 1958 in Stockholm den ersten permanenten Herzschrittmacher (Elmqvist et al.).

Zum Zeitpunkt der Implantation war die Entwicklung des Systems noch ganz am Anfang. Die Implantation eines von zwei vorhandenen Prototypen erfolgte nur auf massives Drängen der Ehefrau des betroffenen Patienten und gegen den Rat der Stockholmer Kardiologen, gegen welche sich der Chirurg Senning schließlich durchsetzte. Der Patient, der damals 43 Jahre alte Arne Larsen, überlebte weitere 43 Jahre und erlebte die Entwicklung des Herzschrittmachers am „eigenen Leibe“. Bis zu seinem Tod wurden ihm 22 verschiedene Systeme implantiert.

##### **1.4.1 Komponenten des Herzschrittmachers**

Herzschrittmachersysteme bestehen aus einer Batterie mit elektronischer Steuerung und Elektroden, die den Strom an den Herzmuskel liefern. Diese Komponenten sind bei sämtlichen Systemen, also bei sowohl implantierbaren oder permanenten, als auch bei externen oder temporären Systemen notwendig.

### 1.4.2 Funktionsweise des Herzschrittmachers

Durch die Abgabe von elektrischen Impulsen rufen Herzschrittmacher eine Depolarisation der Herzmuskelzellen hervor, welche durch eine Kettenreaktion die Kontraktion des Myokards hervorruft. Dabei wird durch eine exakte zeitliche Aufeinanderfolge der Impulse der Herzrhythmus aufrechterhalten (Wenke et al.).

### 1.4.3 Der „NASPE“ Code

Alle Schrittmacher werden in Bezug auf ihre Funktionsweise nach dem NASPE („North American Society of Pacing and Electrophysiology“) Code bezeichnet.

.

Der erste Buchstabe gibt an, wo der Impuls abgegeben wird:

V = Ventrikel,

A = Atrium

D = Dual (am Ventrikel und am Vorhof)

Der zweite Buchstabe gibt an, wo die Wahrnehmung (das Sensing) stattfindet:

V = Ventrikel

A = Atrium

D = Dual (am Ventrikel und am Vorhof)

O = keine Wahrnehmung

Der dritte Buchstabe gibt an, wie der Schrittmacher auf die Wahrnehmung reagiert:

I = Inhibiert

T = Triggert (alte Technologie)

D = Dual (wird inhibiert, triggert die Vorhoffrequenz)

O = keine Steuerung

Der vierte Buchstabe beschreibt die Programmierbarkeit

M = multiprogrammierbar (Das sind heute alle Schrittmacher.)

R = Frequenzanpassung durch einem integrierten Sensor

### 1.5 Der externe Herzschrittmacher

Externe Schrittmacher werden hauptsächlich auf kardiologischen und herzchirurgischen Intensivstationen verwendet. Die Stimulation kann über drei verschiedene Wege erfolgen:

### **1.5.1 Transvenöse Elektrode**

In der Medizin werden sie vorwiegend bei Patienten mit totalem AV Block eingesetzt, die mit einem ungenügenden Eigenrhythmus eintreffen. Diese Patienten treffen notfallmäßig ein, nach einer Synkope oder mit einer dekompensierten Herzinsuffizienz. Die Stimulation erfolgt zunächst nur am Ventrikel, über eine transvenös eingeführte provisorische Sonde. Diese Sonde kann entweder eine bipolare Elektrode oder mit einem Pulmonalkatheter kombiniert sein. Die Behandlung kann sehr rasch eingeleitet werden, die Implantation eines definitiven Schrittmachers kann dann in Ruhe indiziert werden.

Eine andere Situation ist die eines Herzinfarktpatienten: der Rhythmus erholt sich häufig, die Indikation für die definitive Herzschrittmacherimplantation ist selten. Der Patient braucht nur vorübergehend eine Stimulation.

### **1.5.2 Epikardiale Drähte**

Während Operationen am Herzen werden feine elektrische Drähte an der Oberfläche von Vorhof und Ventrikel fixiert. Diese werden an Kabel konnektiert, welche an einen Ein- oder Zweikammerschrittmacher angeschlossen werden können. Die elektrische Stimulation ist oft unmittelbar nach dem herzchirurgischen Eingriff notwendig.

Seit 1967 wird in der medizinischen Literatur berichtet (Harris et al.1967), (Harris et al.1968), (Waldo et al.1978), dass der routinemäßige Einsatz von temporären myokardialen Elektroden eine sichere und zuverlässige Methode ist, postoperativ auftretende Herzrhythmusstörungen zu diagnostizieren und zu therapieren.

Bei einer Herzoperation, bei der eine künstliche Zirkulation mit kardioplegischem Myokardschutz durchgeführt wird, in einer Situation also, in der häufig die

Herzleistung noch eingeschränkt ist, kommt einer adäquaten Herzfrequenz eine besondere Bedeutung zu (Dezemali et al.)(Breivik et al.).

Als Ursachen dieser Bradykardie kommen in Frage:

- Hypothermie
- Myokardperfusion mit kardioplegen Lösungen
- Präoperative antiarrhythmische Therapie (Betablocker, Kalziumantagonisten, Digitalis)
- Temporäre, intraoperative Ischämie
- Störungen im Elektrolythaushalt
- Chirurgische mechanische Ursachen

Steigert man eine relativ zu langsame Herzfrequenz mittels elektrischer Stimulation, wird eine entscheidende Verbesserung der Herzleistung erreicht.

So werden bei Patienten, die postoperativ eine Sinusbradykardie haben durch die AV-sequentielle Stimulation folgende Verbesserungen erreicht (Dezemali et al.), (Hartzler et al.), (Wigneswaran et al.):

- Erhöhung des Herzzeitvolumens um ca. 25 %
- Unterdrückung ektopischer ventrikulärer Aktivitäten
- Verbesserung der Nierendurchblutung
- Verbesserung der peripheren Blutversorgung

### **1.5.3 Transkutanes Pacing**

In Notfallsituationen ist es möglich, mittels großflächigen Hautelektroden das Myokard transkutan zu stimulieren.

## **1.6 Fragestellung**

Ziel dieser prospektiv-randomisierten Studie war es, die Zuverlässigkeit und die Funktionalität der temporären Elektroden „Osypka TME4 bipolar“ und „Medtronic 6495/2M“ nach Herzoperationen zu vergleichen. Darüber hinaus wurde untersucht, ob die Lokalisation der Elektroden auf dem Herzen Einfluss auf die Zuverlässigkeit und die Funktionalität hat.

## 2 Material und Methoden

Die vorliegende Studie wurde prospektiv-randomisiert an der Klinik für Herz-, Kinderherz- und Gefäßchirurgie der Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen, unter der Leitung von Professor Dr. med. Andreas Böning durchgeführt.

In der Studie wurden die in Deutschland zugelassenen und für den Invivo-Einsatz verfügbaren bipolaren Elektroden eingesetzt.

Die Studie wurde unter den Voraussetzungen des von der Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen geprüften Protokolls vom 15.10.2009 durchgeführt.

### 2.1 Patienten und Ein- und Ausschlusskriterien

Von 10/2009 bis 04/2010 wurden 60 Patienten in die Studie eingeschlossen, welche unabhängig von Operation und Operateur in eine von vier Gruppen randomisiert (siehe 2.2) wurden. Die Ein- und Ausschlusskriterien sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

<b>Einschlusskriterien</b>
Indikation zu einer Operation am offenen Herzen bei Koronarerherzerkrankung bzw. Klappenerkrankung oder eine Kombination beider Erkrankungen Sinusrhythmus
<b>Ausschlusskriterien</b>
Patienten mit Herzrhythmusstörungen Patienten mit bereits implantierten Herzschrittmacher Alter unter 18 Jahre

Tabelle 1. Ein- und Ausschlusskriterien

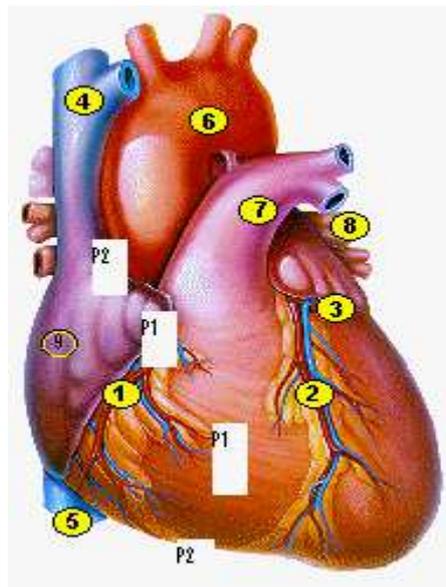
## 2.2 Aufklärung der Patienten und Randomisierung in die Studiengruppen

Die Aufklärung der Patienten über die Studie wurde unabhängig von der Operationsaufklärung durchgeführt. Erst nach der Zustimmung des Patienten wurde randomisiert: Hierfür wurde für jeden Patienten ein Umschlag gezogen. Jeder Umschlag enthielt eine Karte mit jeweils dem einen oder anderen Elektrodentyp (Osypka oder Medtronic) sowie der Implantationmethode (ImpM 1 oder ImpM 2), um die Zugehörigkeit zu einer der vier Gruppen festzulegen. Die Daten wurden übernommen und die Patienten wurden meist am nächsten Tag operiert.

Die vier Studiengruppen ergaben sich aus der Kombination der beiden Elektrodentypen („Osypka TME4 bipolar“ und „Medtronic 6495/2M“) und der beiden Varianten der Positionierung auf dem Herzen (Position 1 und Position 2). Dabei bedeutet Position 1, dass die Elektroden am rechten Vorhofrohr und auf der rechtsventrikulären Vorderwand platziert wurden. Position 2 bedeutet, dass die Elektroden am rechten Vorhof nahe der Mündung der Vena cava superior und auf der Hinterwand des rechten Ventrikels platziert wurden. (Tabelle 2, Abb 1).

<b>Gruppe</b>	<b>Osyp1</b>	<b>Osyp2</b>	<b>Medr1</b>	<b>Medr2</b>
<b>Elektrodentyp</b>	Osypka TME4	Osypka TME4	Medtronic 6495/2M	Medtronic 6495/2M
<b>Position</b>	1	2	1	2

Tabelle 2. Die Studiengruppen.



[www.herz.at/images/w\\_herz\\_anatomie\\_punkte\\_1.gif](http://www.herz.at/images/w_herz_anatomie_punkte_1.gif)

Abb. 1: Modellhafte Darstellung des Herzens und der beiden Varianten der Positionierung :

P1: Elektroden am rechten Vorhof und auf der rechtsventrikulären Vorderwand.

P2: Elektroden am rechten Vorhof nahe der Mündung der Vena cava Superior und auf der Hinterwand des rechten Ventrikels.

- 1- Rechter Ventrikel
- 2- Linker ventrikel
- 3- Linkes Vorhofohr
- 4- Vena cava superior
- 5- Vena cava inferior
- 6- Aorta
- 7- Arteria pulmonalis
- 8- Lungenvenen
- 9- Rechtes Vorhofohr

## 2.3 Die Parameter

### 2.3.1 Elektrokardiogramm (EKG)

Präoperativ, postoperativ am Operationstag und am 6. postoperativen Tag wurde ein EKG geschrieben.

### 2.3.2 Reizschwelle (Pacing)

Die Bestimmung der Reizschwelle erfolgte mittels des externen Herzschrittmachers OSYPKA Pace 203 H (siehe Abb. 6). Zu den unter 2.4 angegebenen Messzeitpunkten wurden die externen Schrittmacherkabel mit dem OSYPKA Pace 203 H verbunden und die Reizschwelle ermittelt, indem diese Messung konventionell mit einer Impulsdauer von 0,5 Millisekunden (ms) durchgeführt wurde. Eine niedrige Reizschwelle entspricht einer optimalen Elektrodenlage. Die Reizschwelle kann auch auf den maximalen Wert gestellt werden, dann wird evaluiert, welche Reizschwelle für die Auslösung einer Erregung erforderlich und ausreichend ist. Die ermittelten Werte werden in Volt (V) angegeben.



Abb 2: Reizschwelle – Bei einem Impuls von 1V erfolgt keine Stimulation des Myocards. Erst ab 1,3V ist dies der Fall.

### 2.3.3 Wahrnehmung (Sensing)

Die Bestimmung der Wahrnehmung erfolgte ebenfalls mittels des externen Herzschrittmachers OSYPKA Pace 203 H (siehe 2.6). Zu den unter 2.4 angegebenen Messzeitpunkten wurden die externen Schrittmacherkabel mit dem OSYPKA Pace 203 H verbunden und danach erfolgte die Messung der herzeigenen

elektrischen Impulse, d.h. die Messung der R Welle im Ventrikel, der P Welle im Vorhof. Die Impulse werden in Millivolt (mV) gemessen. Einer optimalen Elektrodenlage entsprechen hohe Potenziale.

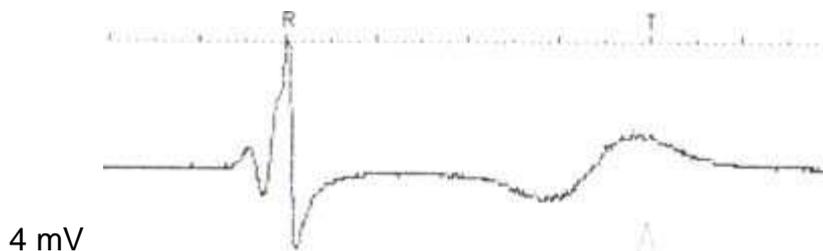


Abb. 3: Beispiel für die Sensing-Eigenschaften eines Schrittmacheraggregates: Im hier vorgestellten Beispiel wurde am Aggregat eine Wahrnehmungsempfindlichkeit von 4 mV eingestellt. D.h., dass nur Eigenaktionen die grösser als 4mV sind, vom Schrittmachersystem wahrgenommen werden und zur Inhibierung des Pacer Stimulus führen.

### 2.3.4 Laborparameter

Die Entzündungsparameter C-reaktives Protein und Leukozyten wurden im Labor der Abteilung Klinische Chemie und Laboratoriumsmedizin der Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH am Standort Gießen bestimmt.

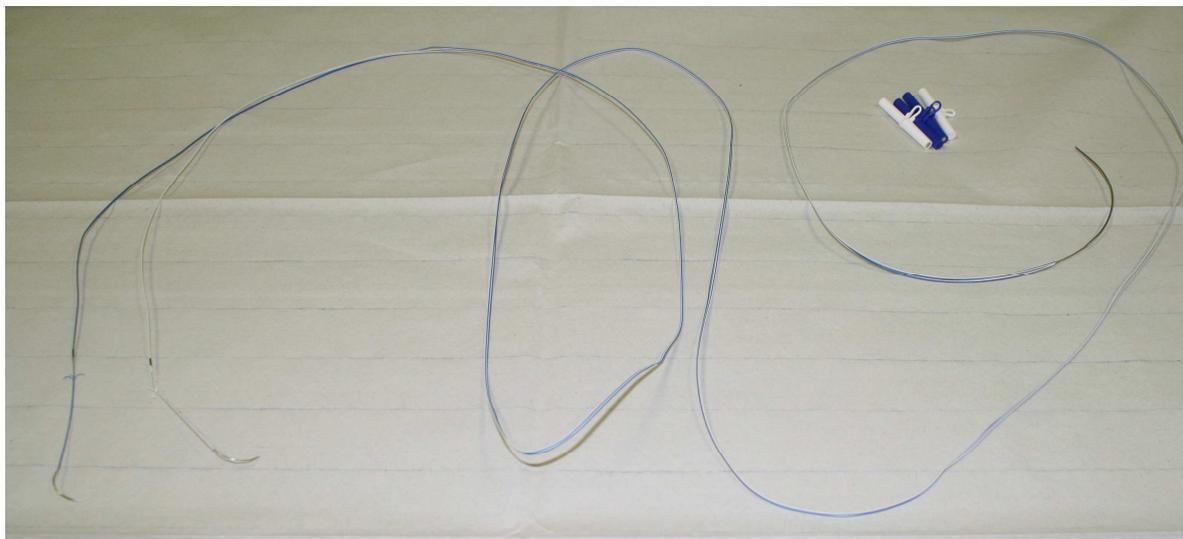
### 2.4 Die Messzeitpunkte

Noch während der Operation und am 1., 2., 4., 6., 8. und 10. postoperativen Tag wurden die unter 2.3 aufgeführten Parameter bestimmt.

## 2.5 Die myokardialen Stimulationselektroden

### 2.5.1 Osypka TME4

Bei dieser Elektrode (Abbildung 4) werden zwei bipolare Elektroden in einem gemeinsamen Schaft (Polyethylenschlauch) zusammengeführt. Das ermöglicht die einfache Stimulation von Vorhof und Kammer. Die Kennzeichnung für Atrium und Ventrikel geschieht durch unterschiedliche Farben (weiß / blau) der Zuleitung. Es gibt nur eine Zuleitung pro Herzkammer. Der Abstand zwischen Anode und Kathode ist definiert und kurz. Er beträgt 2,5 mm. Die Verankerung im Myokard erfolgt durch Anker, sogenannten „Tines“. TME können per Adapter direkt am externen Herzschrittmacher angeschlossen werden, wozu die Thoraxnadel abgeschnitten und die freiliegenden Drahtenden an den Adaptern fixiert werden. Die technischen Daten zu TME4 sind Tabelle 3 dargestellt. Der gesamte OP-Ablauf wird unter Punkt 2.7 „Implantation der Schrittmacherdrähte und OP-Verlauf“ erläutert.



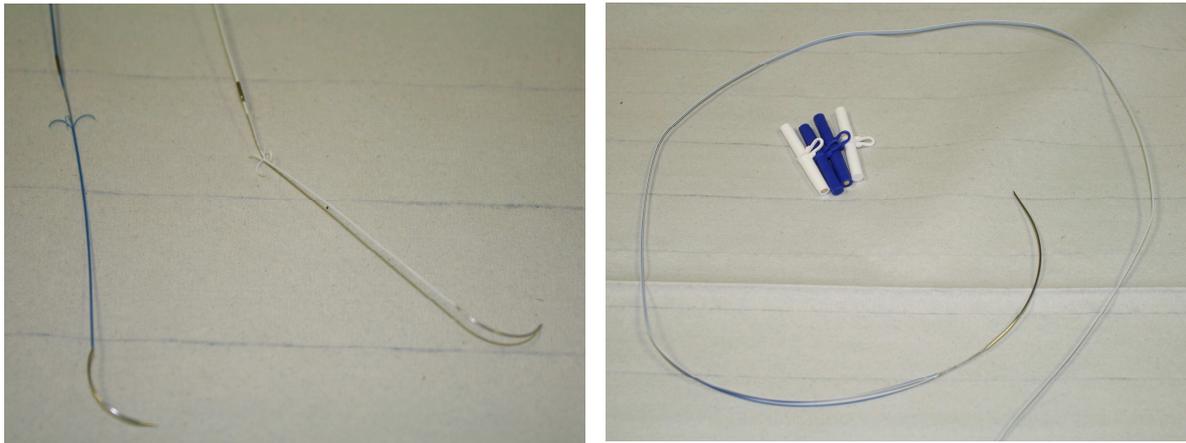


Abbildung 4. Osypka TME4

Bild oben: gesamter Schrittmacherdraht

Bild unten links: Vergrößerung des Drahtendes mit dem Myokard-Verankerungsmechanismus

Bild unten rechts: Vergrößerung des Drahtendes mit Thoraxnadel

Anzahl der Pole	<i>vierpolig</i>
Länge	<i>220 cm</i>
Drahtmaterial	<i>Edelstahl</i>
Isolierung	<i>Polyethylen</i>
Außendurchmesser Isolierung	<i>4x 0,45 mm</i>
Farbe	<i>blau / weiß</i>
Herznadel	<i>Ø 0,46 x 0,26 mm, gebogen</i>
Thoraxnadel	<i>gebogen</i>
Distale Elektrode, Litzendurchmesser	<i>0,20 mm</i>
Distale Elektrode, Oberfläche	<i>2x 6,0 mm<sup>2</sup></i>
Proximale Elektrode	<i>Edelstahl</i>
Proximale Elektrode Durchmesser Edelstahlhülse	<i>0,80 mm</i>
Proximale Elektrode, Oberfläche	<i>10,0 mm<sup>2</sup></i>

Elektrodenabstand	2-3 mm
-------------------	--------

Tabelle 3. Technische Daten der Osypka TME4 Elektrode

### 2.5.2 Medtronic 6495/2M

Bei dieser Elektrode (Abbildung 5) handelt es sich ebenfalls um ein bipolares System. Es wird jedoch nur eine bipolare Elektrode in einem Schaft (Polyethylenschlauch) geführt. Es gibt keine Farbkodierung – alle Elektroden sind blau. Es gibt nur eine Zuleitung pro Herzkammer. Der Abstand zwischen Anode und Kathode ist definiert und kurz. Er beträgt 2,5 mm. Die Verankerung im Myokard erfolgt durch ein schraubenförmiges Drahtende. 6495/2M können per Adapter direkt am externen Herzschrittmacher angeschlossen werden, wozu die Thoraxnadel an der Sollbruchstelle abgelöst wird. Es liegen dann keine Drahtenden frei, sondern es bleiben Metallstifte, welche an den Adaptern fixiert werden. Die technischen Daten zu Medtronic 6495/2M sind Tabelle 4 dargestellt. Der gesamte OP-Ablauf wird unter Punkt 2.7 „Implantation der Schrittmacherdrähte und OP-Verlauf“ erläutert.

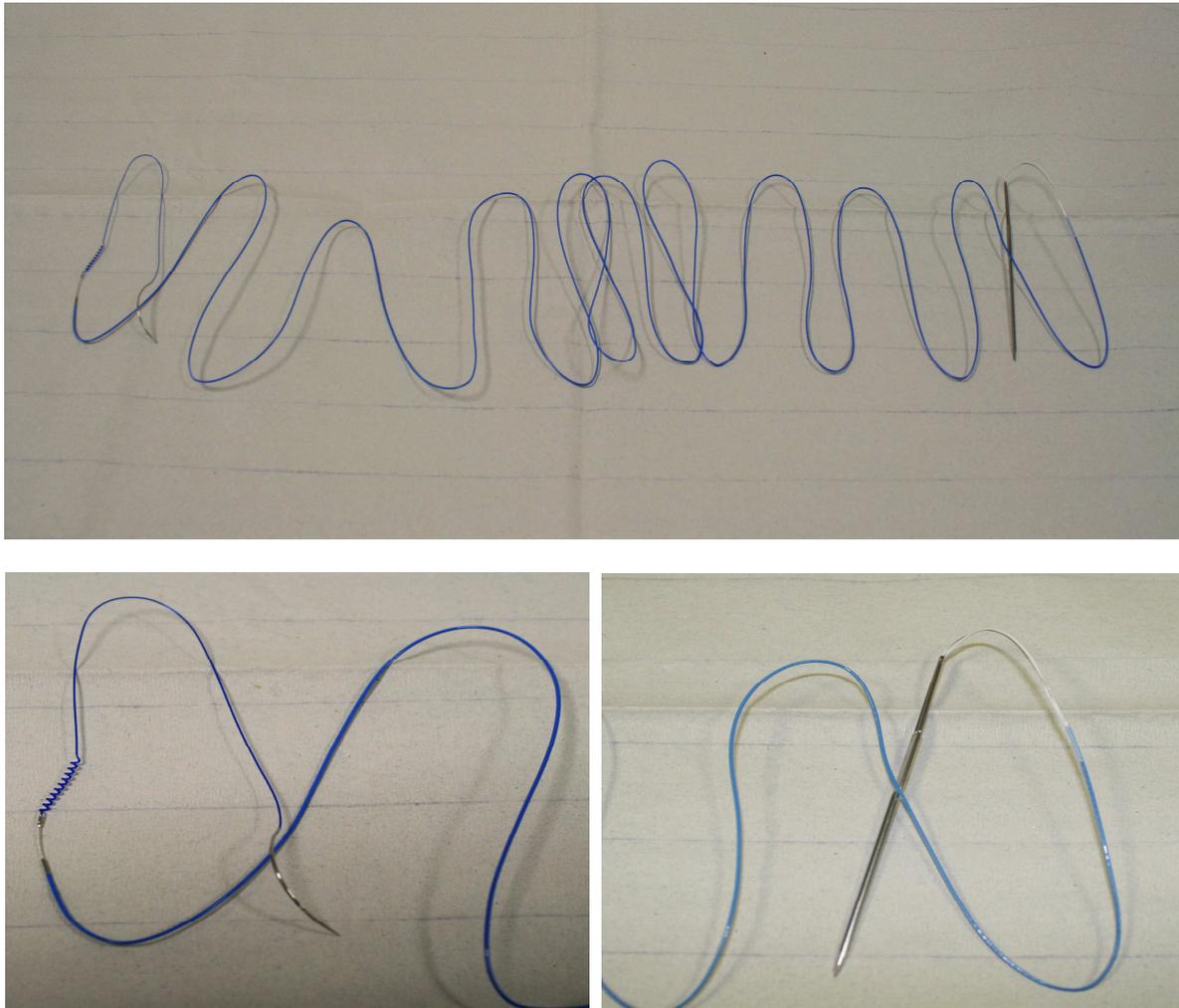


Abbildung 5. Medtronic 6495/2M

Bild oben: gesamter Schrittmacherdraht

Bild unten links: Vergrößerung des Drahtendes mit dem Myokard-Verankerungsmechanismus

Bild unten rechts: Vergrößerung des Drahtendes mit Thoraxnadel

Anzahl der Pole	<i>zweipolig</i>
Länge	<i>200 cm</i>
Drahtmaterial	<i>Edelstahl</i>
Isolierung	<i>Polyethylen</i>
Außendurchmesser Isolierung	<i>4x 0,45 mm</i>
Farbe	<i>blau</i>
Herznadel	<i>Ø 0,46 x 0,26 mm, gebogen</i>

Thoraxnadel	<i>gerade</i>
Distale Elektrode, Litzendurchmesser	<i>0,20 mm</i>
Distale Elektrode, Oberfläche	<i>2x 6,0 mm<sup>2</sup></i>
Proximale Elektrode	<i>Edelstahl</i>
Proximale Elektrode, Durchmesser Edelstahlhülse	<i>0,80 mm</i>
Proximale Elektrode, Oberfläche	<i>10,0 mm<sup>2</sup></i>
Elektrodenabstand	<i>2-3 mm</i>

Tabelle 4. Technische Daten der Medtronic 6495/2M Elektrode

## 2.6 Das Schrittmacheranalysegerät OSYPKA Pace 203 H

Mit dem externen Herzschrittmacher OSYPKA Pace 203 H (Abbildung 6) wurden die unter 2.3 aufgeführten Parameter Pacing und Sensing registriert.

Das PACE 203 H gewährleistet eine temporäre Stimulation bei Reizbildungs- und Reizleitungsstörungen, Bradykardien nach herzchirurgischem Eingriff und Implantation bzw. Austausch von Herzschrittmachern. Für Notfallsituationen kann durch Drücken einer Taste ein Notfall-Programm abgerufen werden. Stimulation und Sensingfunktion werden mit Leuchtdioden angezeigt. Ein Elektrodenüberwachungssystem meldet Unterbrechungen und Kurzschlüsse.

Die Technischen Daten des OSYPKA Pace 203 H sind in Tabelle 5 zusammengefasst.



Abbildung 6. Schrittmacheranalysegerät OSYPKA Pace 203 H

Modi	DDD, VDD, D00, VVI, V00, AAI, AAT, A00, DVI, DAI, VAT, DDD+AT, DAT
Grundfrequenz	30 – 220 ppm
Obere Frequenz	80 – 230 ppm
Overdrive-Stimulation	70 – 1000 ppm (atrial)
Impulsdauer	0.05 – 1.5 ms
Stimulationsamplitude	0.1 – 18 V
Empfindlichkeit	atrial 0.2 – 20 mV, ventrikulär 1.0 – 20 mV
Refraktärzeit	atrial 250 ms, ventrikulär 250 ms
AV-Delay	5 – 400 ms
Gewicht mit Batterie	490 g

Tabelle 5: Technische Daten des Schrittmacheranalysegerätes OSYPKA Pace 203 H.

## **2.7 Implantation der Schrittmacherdrähte und OP-Verlauf**

Nach Lagerung, Desinfektion und steriler Abdeckung wurde eine mediane Sternotomie durchgeführt. Nach der Perikardiotomie erfolgten vorbereitende Maßnahmen zur extrakorporalen Zirkulation: systemische Heparinisierung, Kanülieren der Aorta und des rechten Vorhofes und Beginn der extrakorporalen Zirkulation. Danach erfolgte das Herbeiführen des Herzstillstandes durch Okklusion der Aorta und Infusion von kardioplegischer Lösung, welches zur kompletten Unterbrechung der Herzaktion führte.

Anschließend erfolgte die eigentliche Herzoperation. Danach erfolgte das Öffnen der Aortenklemme wodurch die Reperfusion eingeleitet wurde. Schließlich stellte sich meistens zunächst ein Kammerersatzrhythmus, dann ein Sinusrhythmus ein.

Jetzt erfolgte die Implantation der temporären Schrittmacherdrähte entsprechend der Randomisierung von Elektrodentyp und Implantationsmethode (Osyp1, Osyp2, Medr1 oder Medr2, siehe Tabelle 2). Steigert man eine relativ zu langsame Herzfrequenz mittels elektrischer Stimulation, wird eine entscheidende Verbesserung der Herzleistung erreicht.

Das extrakorporale Pumpvolumen wurde bis zum Abschalten der Herz-Lungen-Maschine reduziert.

Danach erfolgten die Entfernung der Kanülen und die Neutralisation mit Protamin. Alle Herzschrittmacherdrähte wurden durch den Musculus rectus abdominis nach lateral ausgeleitet. Anschließend wurden die Drähte mit dem externen Schrittmacher verbunden.

Bereits im Operationssaal beginnt ca. 2 min nach der Implantation die erste Messung (Intraoperativ). Nach Überprüfung des Situs auf Bluttrockenheit und partiellem Perikardverschluss wurde der Thorax in anatomischen Schichten wieder verschlossen.

## **2.8 Statistische Auswertung**

Die Tabellenkalkulation wurde mit Microsoft Office EXCEL 2003 für Windows durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS für Windows unter Verwendung des Wicoxon- und des Mann-Whitney-U-Tests. Als Signifikanzniveau wurde  $p < 0,05$  angenommen.

Die statistische Auswertung wurde mit freundlicher Unterstützung von Herrn Dipl.-Math. Jörg Reitze, Firma MoReData GmbH, Kerkrader Straße 11 Europaviertel, 35394 Giessen durchgeführt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Patientenalter und -geschlecht

Tabelle 6 zeigt das Patientenalter und -geschlecht. Zwischen den vier Gruppen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

	Osy1	Osy2	Medtr1	Medtr2
Alter (Jahre)	68,9 ± 9,8	67,6 ± 13,6	71,3 ± 9,0	68,2 ± 11,0
Geschlecht (männlich)	73%	67%	60%	80%

Tabelle 6. Alter der Patienten (Mittelwert ± Standardabweichung) und Anteil männlicher Patienten.

### 3.2 Reizschwelle (Pacing)

#### 3.2.1 Reizschwelle am Ventrikel

Am ersten postoperativen Tag war die Reizschwelle in allen Gruppen niedriger als am OP-Tag (nicht signifikant), um dann über den Messzeitraum anzusteigen.

Am 8. und 10. postoperativen Tag lag die Reizschwelle der Osypka-Elektroden signifikant höher als bei den Medtronic-Elektroden. Zwischen den Gruppen Osyp1 und Osyp2 bzw. Medtr1 und Medtr2 zeigten sich keine Unterschiede (siehe Tabelle 7 und Abbildung 7).

	intraop.	1.po-T.	2.po-T.	4.po-T.	6.po-T.	8.po-T.	10.po-T.
<b>Osyp1</b>	3,2±2,6	2,9±1,8	3,3±1,8	3,4±1,8	4,5±1,7	5,9±3,5 <sup>#</sup>	5,7±2,3 <sup>+</sup>
<b>Osyp2</b>	3,0±2,1	2,3±1,2	2,8±1,2	3,1±1,3	3,8±1,6	5,0±1,8 <sup>#</sup>	6,1±2,5 <sup>+</sup>
<b>Medtr1</b>	2,5±1,1	1,8±0,8	2,2±0,7	2,5±0,7	2,8±0,7	3,0±0,8	3,3±0,9
<b>Medtr2</b>	2,8±1,8	2,2±1,1	2,4±1,1	2,5±1,2	2,9±1,1	3,1±1,2	3,4±1,3

Tabelle 7. Reizschwelle am Ventrikel in Volt ( $\pm$ Standardabweichung),  
<sup>#</sup>p=0,01, <sup>+</sup>p=0,005

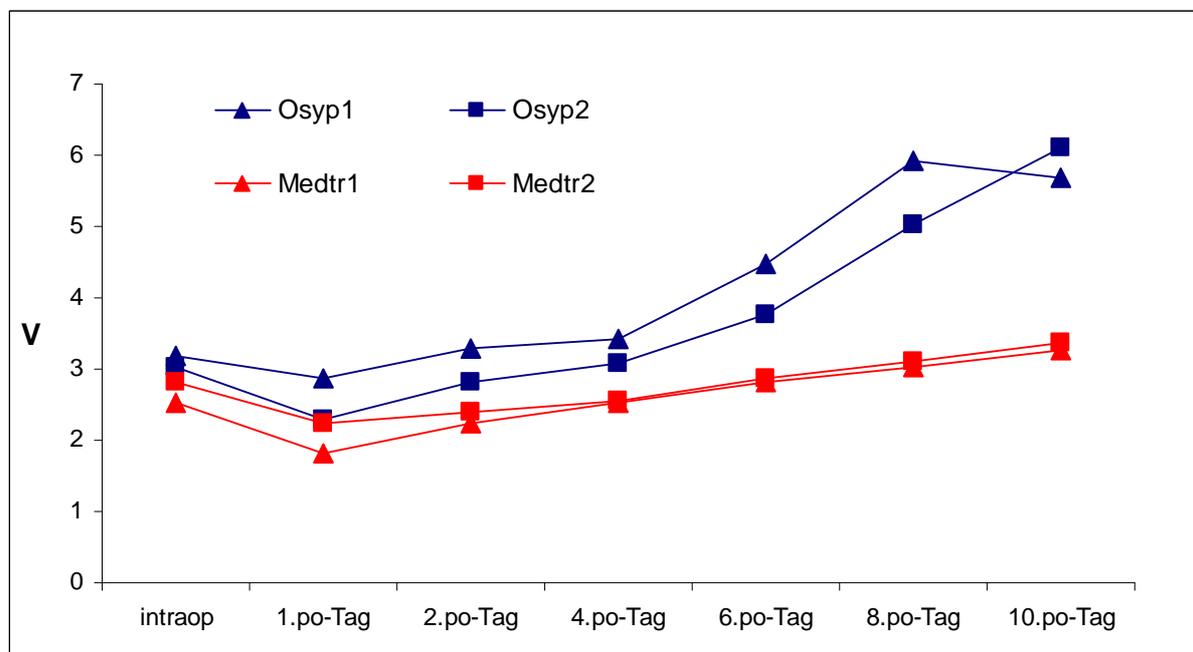


Abbildung 7: Reizschwellen am Ventrikel im Studienverlauf

### 3.2.2 Reizschwelle am Vorhof

Die Entwicklung der Reizschwellen am Vorhof verlief für alle Gruppen analog zu der Entwicklung am Ventrikel. Jedoch ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede (Tabelle 8 und Abbildung 8).

	intraop.	1.po-T.	2.po-T.	4.po-T.	6.po-T.	8.po-T.	10.po-T.
<b>Osyp1</b>	3,1±1,8	2,5±1,2	2,9±0,9	3,2±1,4	4,1±1,1	5,1±2,7	5,6±2,8
<b>Osyp2</b>	3,4±2,0	2,8±1,3	3,5±1,1	3,8±1,4	4,4±1,5	5,2±2,4	6,7±4,1
<b>Medtr1</b>	2,4±0,9	1,7±0,6	1,9±0,7	2,3±0,7	2,5±0,7	2,7±0,7	3,3±1,3
<b>Medtr2</b>	3,1±2,3	2,6±1,5	2,9±1,3	3,2±2,1	3,6±2,1	4,0±2,2	4,4±2,4

Tabelle 8. Reizschwelle am Vorhof in Volt ( $\pm$ Standardabweichung) ( $p=ns$ )

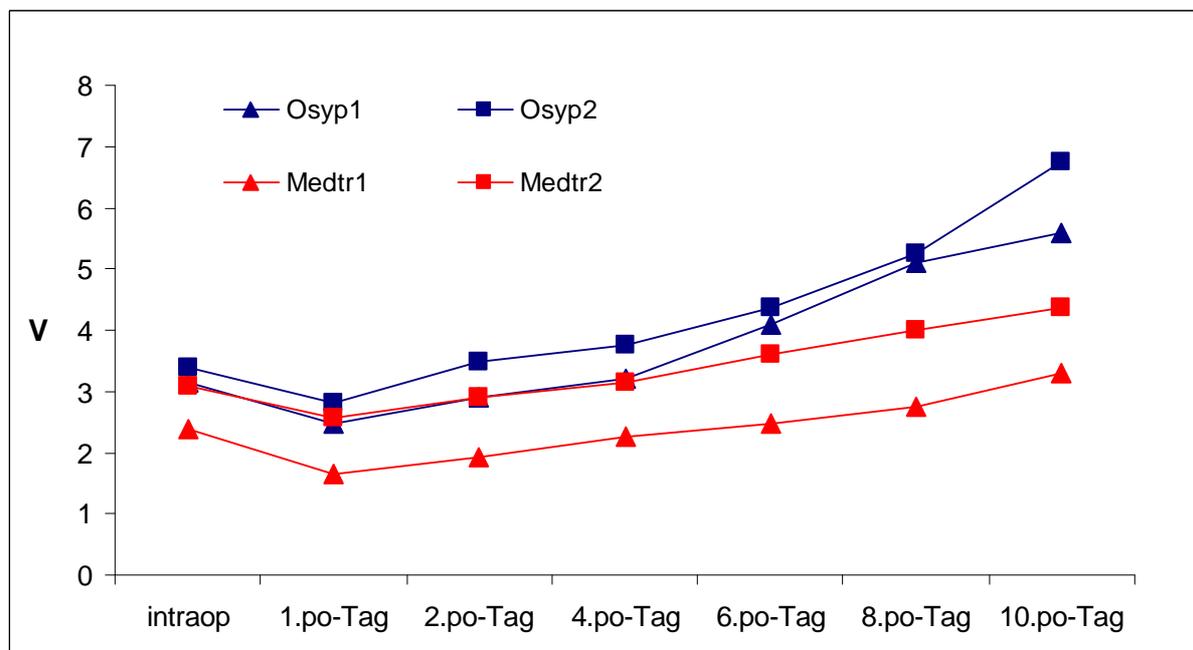


Abbildung 8. Reizschwellen am Vorhof im Studienverlauf

### 3.3 Wahrnehmung (Sensing)

#### 3.3.1 Wahrnehmung am Ventrikel

Bei den Werten für die Wahrnehmung am Ventrikel ergaben sich zwischen den Gruppen und auch über den Messzeitraum keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 9 und Abbildung 9).

	intraop.	1.po-T.	2.po-T.	4.po-T.	6.po-T.	8.po-T.	10.po-T.
<b>Osyp1</b>	10±1	10±0	10±0	10±0	10±1	10±1	10±1
<b>Osyp2</b>	11±4	10±1	10±1	10±1	10±1	10±1	10±1
<b>Medtr1</b>	10±0	10±0	10±0	10±0	10±0	10±0	10±0
<b>Medtr2</b>	11±2	10±1	10±0	10±0	10±0	10±0	10±0

Tabelle 9. Wahrnehmung am Ventrikel in Millivolt ( $\pm$ Standardabweichung) (p=ns)

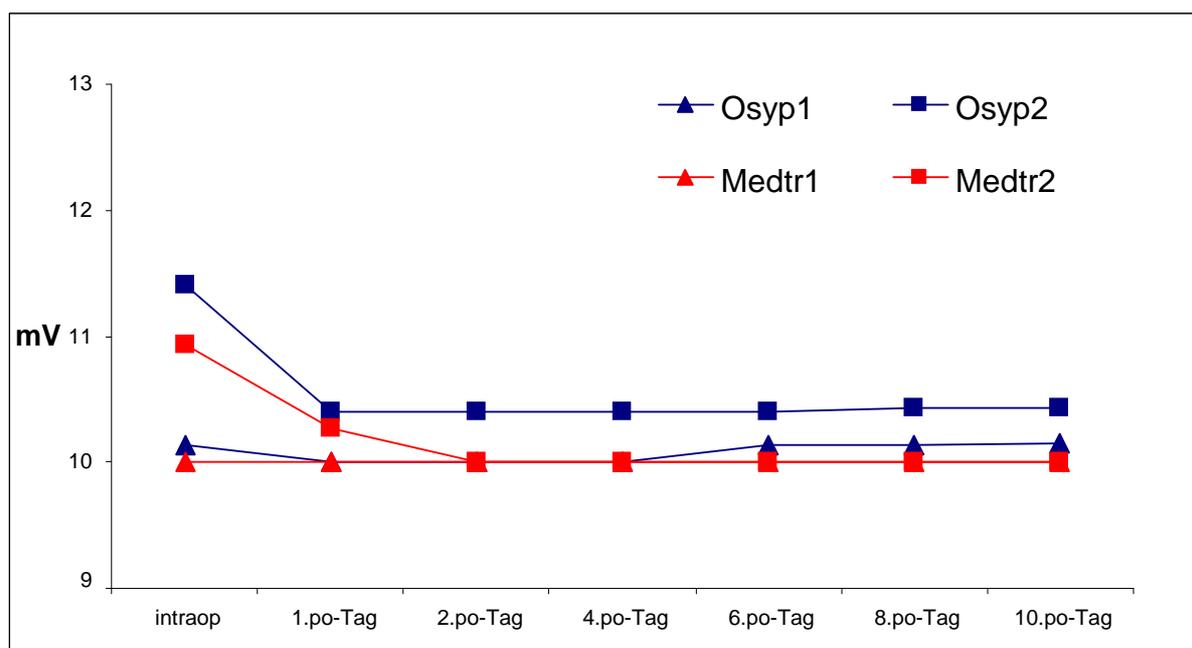


Abbildung 9. Wahrnehmung am Ventrikel im Studienverlauf

### 3.3.2 Wahrnehmung am Vorhof

Bei den Werten für die Wahrnehmung am Vorhof ergaben sich zwischen den Gruppen und auch über den Messzeitraum keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 10 und Abbildung 10).

	intraop.	1.po-T.	2.po-T.	4.po-T.	6.po-T.	8.po-T.	10.po-T.
<b>Osyp1</b>	6±6	5±4	5±4	4±2	4±3	4±3	5±3
<b>Osyp2</b>	4±2	4±1	4±2	4±1	4±2	4±2	4±2
<b>Medtr1</b>	6±6	4±1	4±1	4±1	4±1	4±1	4±1
<b>Medtr2</b>	5±3	4±2	4±1	4±1	4±1	4±1	4±1

Tabelle 10. Wahrnehmung am Vorhof in Millivolt ( $\pm$ Standardabweichung) ( $p=ns$ )

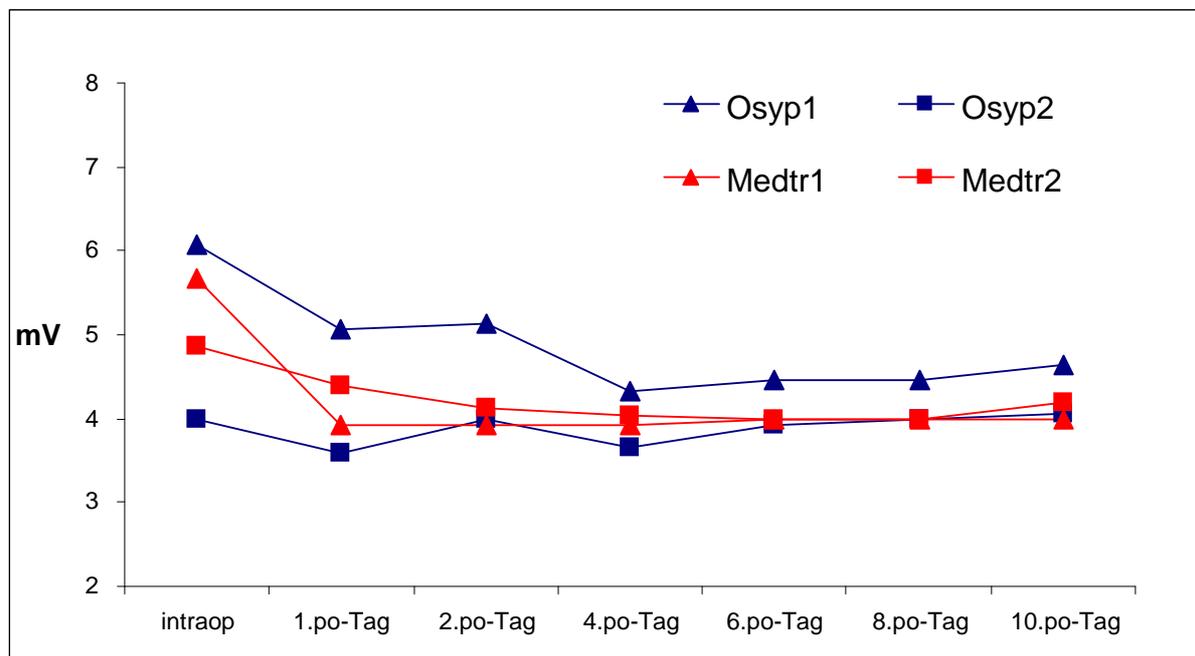


Abbildung 10. Wahrnehmung am Vorhof im Studienverlauf

### 3.4 Laborparameter

#### 3.4.1 C-reaktives Protein

Die Entwicklung der CRP-Werte über den Messzeitraum zeigte das bei Herzoperationen typische Muster: zunächst einen Anstieg auf Werte über 200mg/l mit einem Maximum am 4. postoperativen Tag, danach einen kontinuierlichen Abfall. Signifikante Unterschied zwischen den Gruppen ergaben sich nicht (Tabelle 11 und Abbildung 11).

	<b>präop.</b>	<b>1.po-T.</b>	<b>2.po-T.</b>	<b>4.po-T.</b>	<b>6.po-T.</b>	<b>8.po-T.</b>	<b>10.po-T.</b>
<b>Osyp1</b>	12±22	65±54	162±94	178±84	137±71	90±66	68±63
<b>Osyp2</b>	8±16	39±44	126±87	169±66	143±83	101±63	76±52
<b>Medtr1</b>	23±43	48±64	118±57	194±77	154±84	126±76	76±44
<b>Medtr2</b>	13±22	52±52	120±57	174±73	143±62	108±65	61±31

Tabelle 11. C-reaktives Protein in mg/l ( $\pm$ Standardabweichung) ( $p=ns$ )

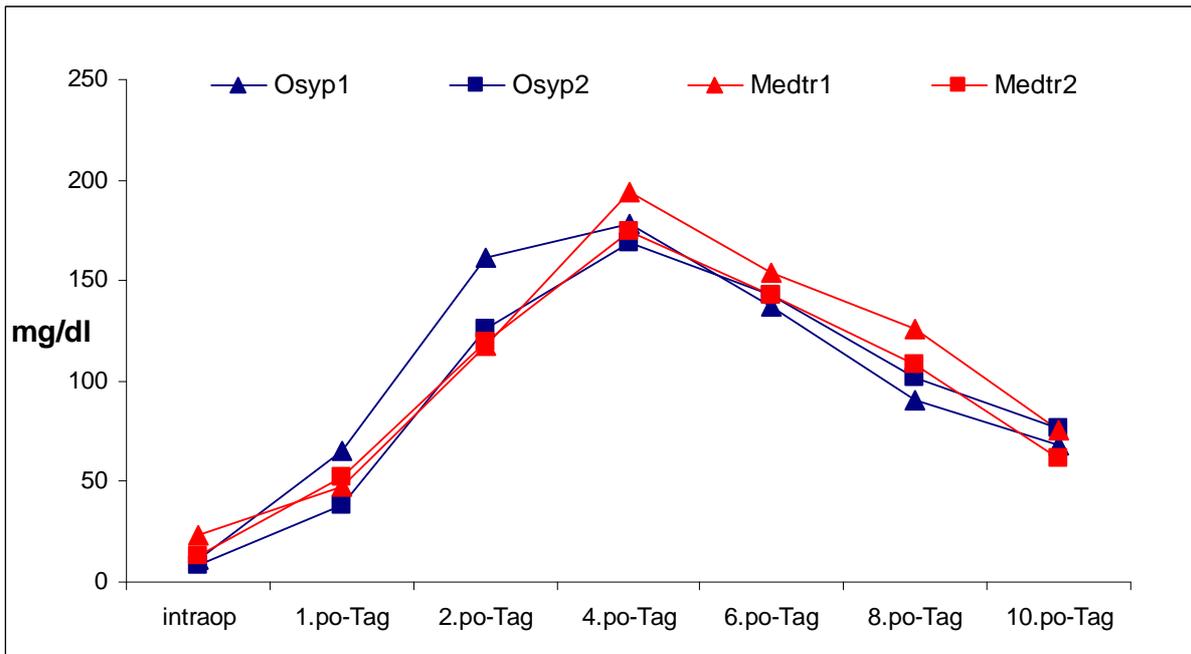


Abbildung 11. C-reaktives Protein im Studienverlauf.

### 3.4.2 Leukozyten

Bei allen Gruppen zeigte sich ein Anstieg der Leukozytenzahlen mit einem Maximum am 1. oder 2. postoperativen Tag. Anschließend fielen die Leukozytenzahlen langsam ab (Tabelle 12 und Abbildung 12).

	präop.	1.po-T.	2.po-T.	4.po-T.	6.po-T.	8.po-T.	10.po-T.
<b>Osyp1</b>	8,0±3,4	11,1±3,7	11,9±3,3	11,7±3,1	9,8±1,8	9,1±2,8	8,5±2,0
<b>Osyp2</b>	10,5±9,7	9,9±4,2	11,0±3,0	10,5±2,9	10,0±2,8	9,0±2,2	8,7±1,1
<b>Medtr1</b>	8,5±2,8	9,2±3,8	10,0±2,9	9,8±2,8	9,3±2,9	9,4±2,8	9,0±2,0
<b>Medtr2</b>	8,7±2,6	13,0±5,3	12,9±3,6	12,0±5,6	10,1±3,7	9,9±3,2	9,0±2,8

Tabelle 12. Leukozytenzahl in 1/ $\mu$ l ( $\pm$ Standardabweichung) (p=ns)

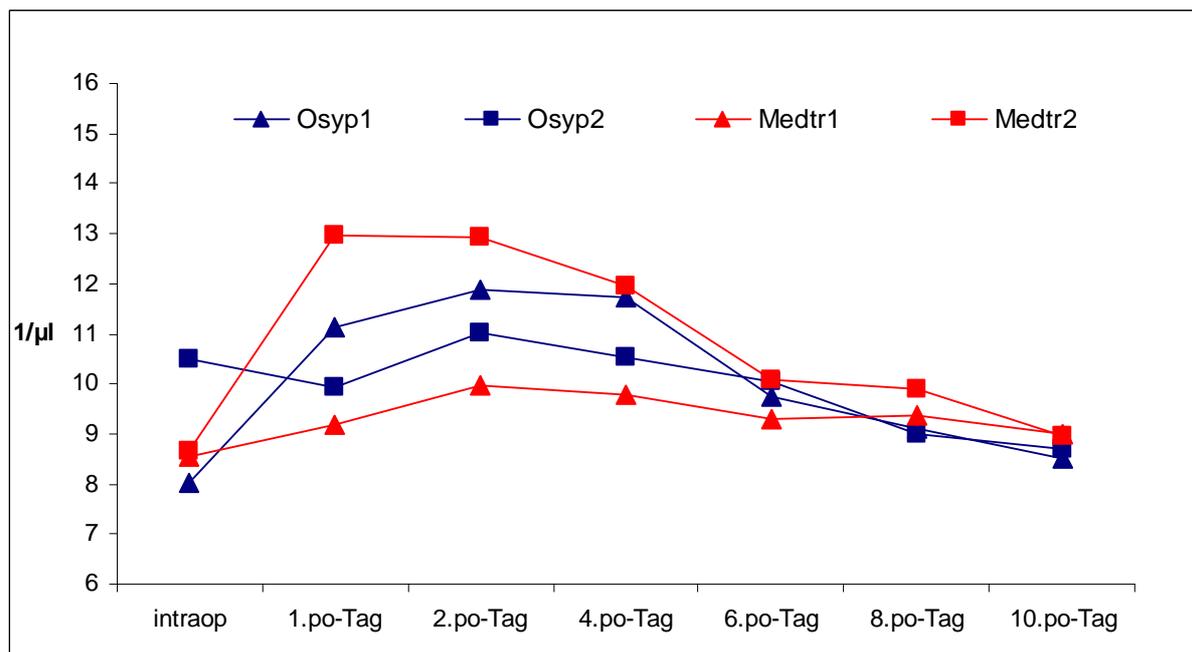


Abbildung 12. Leukozytenzahlen im Studienverlauf.

## 4 Diskussion

Die vorliegende Studie ist eine der ersten prospektiv-randomisierten Untersuchungen zu temporären myokardialen Stimulationselektroden in Bezug auf Zuverlässigkeit und Funktionalität nach Herzoperationen. Es konnte gezeigt werden, dass die verschiedenen Elektrodentypen auch am zehnten postoperativen Tag – egal an welcher Implantationslokalisierung – noch zuverlässig funktionieren und keine abnorme Entzündungssituation hervorrufen.

### 4.1 Reizschwelle an Vorhof und Ventrikel

Die Reizschwellen an Vorhof und Ventrikel waren am ersten postoperativen Tag niedriger als am Operationstag. Im weiteren Verlauf kam es in allen Gruppen sowohl am Vorhof als auch am Ventrikel zu einem Anstieg der Reizschwellen. Der Reizschwellenanstieg in den Osypka-Gruppen verlief dabei steiler. Am Ventrikel waren die Reizschwellen der Osypka-Elektroden am 8. und 10. postoperativen Tag sogar signifikant höher als die der Medtronic-Elektroden.

In unserer Studie konnten wir auch noch 10 Tage nach herzchirurgischen Eingriffen Stimulationen an Vorhof und Ventrikel auslösen.

Diese Ergebnisse sind im Einklang mit den Ergebnissen der Untersuchungen von Wirtz und Kollegen (Wirtz et al.) in Düsseldorf, die fünf verschiedene Elektrodentypen hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit nach einer standardisierten Implantationsmethode verglichen haben. Hier wurde gezeigt, dass bei insgesamt 147 Ventrikel- und 81 Vorhofelektroden die Reizschwelle in den ersten zehn postoperativen Tagen angestiegen ist. Bei dieser Studie wurde ein Vergleich zwischen bipolaren und unipolaren Stimulationselektroden hinsichtlich der Verlässlichkeit während des postoperativen Verlaufs über 10 Tage durchgeführt.

Es konnten die passageren bipolaren Stimulationselektroden zur atrialen und ventrikulären Stimulation empfohlen werden. In mehreren Untersuchungen konnte diese Empfehlung für die bipolaren Elektroden belegt werden (Reade et al.), (Kallis et al.) In unserer Studie wurde ausschließlich bipolare Elektroden verwendet.

Ein Anstieg der Reizschwellen nach Anlage temporärer Elektroden konnte auch durch andere Studien (Elmi et al.), (Breivik et al.), (Daoud EG et al) und (Kallis et al.) gezeigt werden, in denen die Reizschwellen temporärer Elektroden während des postoperativen Verlaufs über 4 Tage (Kallis et al.), 5 Tage (Daoud EG et al.) und 8 Tage (Elmi et al.) bestimmt wurden.

Bisherige Studien (Wirtz et al.), (Breivik et al.) und (Kallis et al.) vergleichen bipolare und unipolare oder nur unipolare Elektroden miteinander. In diesen Studien war der Anstieg der Reizschwellen bei unipolaren Elektroden ausgeprägter als durch uns nachgewiesener Anstieg der bipolaren Elektroden und führte häufig zum Ausfall der Stimulation vor allem atrial (Wirtz et al.), (Kallis et al.). Eine Erklärung dafür könnte die Reaktion des epi-myokardialen Gewebes Blutungen, Ödeme und Fremdkörperreaktion um die Implantationsstelle sein. Eine solche Reaktion wurde auch von Kallis beschrieben. Durch den größeren Abstand zwischen Anode und Kathode produzieren die unipolaren Elektroden mehr Gewebeschädigungen als die bipolaren Elektroden. Nach unserem Kenntnisstand wurden in der vorliegenden Studie erstmals zwei bipolare Elektroden miteinander verglichen.

In unserer Studie waren die Ventrikel-Reizschwellen der Osypka-Elektroden am 8. und 10. postoperativen Tag signifikant höher als die der Medtronic-Elektroden. Eine Erklärung dafür haben wir bei identischem Aufbau der beiden Elektroden nicht gefunden.

In unserer Studie waren die Reizschwellen an Vorhof und Ventrikel am ersten postoperativen Tag niedriger als am Operationstag. Die bisherigen Studien haben diese Feststellung bis auf eine Ausnahme nicht bestätigt: Wirtz und Kollegen zeigten in ihren Diagrammen ebenfalls niedrigere Reizschwellen am OP-Tag, jedoch ohne dazu Stellung zu nehmen. Dieses Phänomen könnte jedoch auf die Fixierung der Elektrode im Herzmuskel zurückzuführen sein, bei der mit der Nadel durch das Myokard gestochen werden muss. Hierbei werden Myokardzellen verletzt, was eine Reizschwellenerhöhung zu Folge haben kann aufgrund der Umgebungsreaktion.

## 4.2 Wahrnehmung an Vorhof und Ventrikel

Die Messwerte der Wahrnehmung an Vorhof und Ventrikel blieben vom 1. bis zum 10. postoperativen Tag konstant. Geringfügige Veränderungen im Sinne einer Wahrnehmungsverbesserung, welche jedoch nicht signifikant war, zeigte sich bei allen Gruppen am Vorhof und am Ventrikel vom Operationstag zum 1. postoperativen Tag.

Die in der Literatur beschriebene Abnahme der Wahrnehmungsschwelle im postoperativen Verlauf (Aris et al.), (Robicsek et al.), (Kastor et al.), (Kallis et al.), (Elmi et al.) konnte nicht nachvollzogen werden.

Die Arbeit von Daoud und Mitarbeitern (Daoud et al.) zeigte eine Übereinstimmung der durchschnittlichen Wahrnehmungsschwelle mit den durchschnittlichen Wahrnehmungsschwellen unserer Patienten. Ähnlich wie in unserer Untersuchung konnte in dieser klinischen Studie kein signifikanter Unterschied der Wahrnehmung zwischen den verschiedenen verwendeten Stimulationsmodi aufgezeigt werden.

Eine Erklärung für unsere konstanten Messwerte für die Wahrnehmung könnte die ausschließliche Verwendung von bipolaren Elektroden sein. In der Arbeit von Wiegand und Mitarbeitern (Wiegand et al.) zeigten bipolare Elektroden eine geringere Störempfindlichkeit auf, was insbesondere bei atrialen Elektroden von Bedeutung ist.

Um valide die Überlegenheit eines bipolaren Sensings nachzuweisen, wurde bei 100 Patienten mit einem DDD-Schrittmachersystem und bipolarer Vorhofelektrode jeweils ein Langzeit-EKG bei uni- und bipolarer Konfiguration abgeleitet. Die Wahrnehmungsschwelle wurde im uni- und bipolarern Modus bestimmt. Es konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass auch unabhängig vom Einfluss externer Störfelder bipolares atriales Sensing unipolarem signifikant überlegen ist. Da in unserer Studie ausschließlich bipolares Sensing vorgenommen wurde, ist hier die Erklärung für die über den Versuchszeitraum konstanten Werte anzunehmen.

Bisher haben nur einige Studien Faktoren gezeigt, die zur Verbesserung des Sensing-Verhaltens führen können. Elmi und Kollegen (Elmi et al.) zeigten, dass man durch Ausrichtung der Elektroden entlang des longitudinalen Faserverlaufs der

Herzmuskelfasern und die Verkleinerung der Interelektroden-Abstände das Sensing-Verhalten verbessern kann. Eine Variation des Interelektroden-Abstands war in unserer Studie auf Grund des von den Herstellern vorgegebenen Designs nicht möglich, sodass diesbezüglich keine Daten gewonnen werden konnten.

### **4.3 Implantationslokalisierung**

Am Anfang der Herzchirurgie wurden nur auf die rechte Herzkammer epikardiale Elektroden platziert, in dieser Position erlauben sie nur die ventrikuläre Stimulation. Es wurde aber schnell festgestellt, dass eine koordinierte Vorhof- und Ventrikelstimulation wichtig ist, um eine mechanisch effiziente Herzfunktion zu erreichen.

Viele Patienten, insbesondere solche mit eingeschränkter ventrikulärer Compliance, haben eine wesentlich geringere Herzleistung in Abwesenheit der Vorhofkontraktion. Eine Studie (Curtis et al.1977) ergab eine 25 %ige Steigerung der Herzleistung mit Vorhof- oder AV- sequenzielle Stimulation im Vergleich zu alleiniger ventrikulärer Stimulation. Dieser Effekt war besonders bei Patienten mit niedriger Ejektionsfraktion ausgeprägt (Curtis et al.1986).

Aus diesem Grund ist eine Platzierung von epikardialen Elektroden auf Vorhof und Ventrikel mittlerweile Standard.

Ein wesentlicher Faktor für die komplikationslose Stimulation und die daraus resultierenden hämodynamischen Effekte ist die Position der Elektroden.

In mehreren randomisierten, kontrollierten Studien wurden zur Reduzierung postoperativen Vorhofflimmerns rechts-, links- oder biatriales Pacing mit unterschiedlicher Platzierung der rechtsatrialen Sonde durchgeführt (Crystal et al.). Dabei hat sich das Dach des rechten Vorhofs als Standardposition für die atriale Elektrode etabliert; diese Position verhindert auch eine ungewollte Stimulation des N. phrenicus. Bezüglich der RV Elektrode sind die vordere oder die dem Zwerchfell zugewandte freie Kammerwand die Standard-Positionen (Bethea et al.), (Elmi et al.) obwohl es auch Studien mit paraseptaler Positionierung der Sonde gibt (Forster et al.), (Weisse et al.). In unserer Studie haben wir als Standard-Position für Vorhofstimulation das rechte Vorhofohr und für Ventrikelstimulation die rechtsventrikuläre Vorderwand festgelegt. Dieser Standard wurde mit einer anderen

Position (rechter Vorhof nahe der Mündung der Vena Cava Superior, rechter Ventrikel rechtsventrikuläre Hinterwand) der passageren Schrittmacher-Elektroden verglichen.

Die Ergebnisse unsere Studie belegen somit, dass beide Positionen eine zuverlässige Funktionalität der beiden Elektroden sowie eine technisch sichere Option in der postoperativen Behandlung der Patienten zeigen.

Hurlé und Kollegen (Hurlé et al.) haben die temporären epikardialen Pacing Drähte bei 18 Patienten nach elektiven Herzoperationen prospektiv untersucht. Deren Sensing und Stimulation wurden an verschiedenen Platzierungsorten untersucht. Es wurden verschiedene Positionen wie Seitenwand, Zwerchfell-Wand oder Apex des linken Ventrikels, Vorderwand, oder Zwerchfell-Wand des rechten Ventrikels überprüft. Die Autoren befürworten die Zwerchfell-Wand des linken Ventrikels als den besten Platzierungsort für die ventrikulären Elektroden mit nur geringer Stimulationsschwellenerhöhung innerhalb der ersten 5 Tage postoperativ und fast unveränderter Wahrnehmungsschwelle im gleichen Zeitraum. In dieser Studie wurde die Vorderwand des rechten Ventrikels nicht für Simulationszwecke empfohlen. Außer Stimulation des Nervus phrenicus bei 5 Patienten bei Platzierung an der seitlichen Wand des linken Ventrikels wurde über keine weiteren Komplikationen berichtet. Aus unserer Sicht, ist jedoch eine Stimulation des Nervus phrenicus eine nicht zu tolerierende Komplikation. Die Vorderwand des rechten Ventrikel, welche in unserer Studie den Standard darstellte, bleibt unserer Ansicht nach, der bevorzugte Implantationsort auf Grund der fehlenden Komplikationen und der Einfachen Platzierung.

Nach einer Empfehlung der Arbeitsgruppe von Eberhardt (Eberhardt et al.) sollte die rechtventrikuläre apikale Stimulation nach Möglichkeit vermieden werden.

Im Vergleich zu AAI Stimulation und BIV (Bi- ventrikuläre) Stimulation zeigte sich während der Messung mit Druck-Volumen-Schleifen eine akute Verschlechterung systolischer Parameter wie  $dp/dt_{max}$ , Schlagarbeitsindex und Herzzeitvolumen durch eine rechtsventrikuläre apikale Stimulation. Diese akuthämodynamischen Befunde treffen auch für eine rechtsventrikuläre Stimulation der freien Wand und, wenn auch im geringeren Maße, des Septums zu (Lieberman et al.). Im klinischen Alltag, in der postoperativen Phase, sollte also möglichst auf eine rein ventrikuläre

Stimulation verzichtet werden, wenn sich der Patient auch atrial oder BIV stimulieren lässt.

Tse und Kollegen (Tse et al.) fanden bei länger anhaltendem rechtsventrikulärem, apikalem Pacing eine Verschlechterung der myokardialen Perfusion und der LV-EF, die u.a. durch die unphysiologische, asynchrone Erregungsausbreitung der nur langsam weiterleitenden Myozyten gegenüber den spezialisierten Purkinjezellen erklärt wird, was jedoch insbesondere für interne Schrittmacher gilt. Des Weiteren wurden bei internen permanenten Schrittmachern in histologische Untersuchungen auch Veränderungen im Sinne einer zunehmenden Fibrosierung der Myozyten durch rechtsventrikulär apikale Stimulation festgestellt (Karpawich et al.).

In der DAVID-Studie (Dual Chamber with VVI Implantable Defibrillator) konnte zusätzlich eine signifikante Erhöhung eines kombinierten Endpunkts aus Mortalität und Hospitalisierung bei Patienten mit Herzinsuffizienz und implantiertem Defibrillator, die einen hohen rechtsventrikulären Stimulationsanteil hatten, nachgewiesen werden (Wilcock et al.), so dass die Evidenzkette, die einen negativen Effekt der rechtsventrikulär apikalen Stimulation nahe legt, von akuthämodynamischen Befunden zu chronischen Befunden reicht. In unserer Studie wählten wir die Lage der rechtsventrikulären Elektroden an der Vorder- und Hinterwand nahe des Septums, so dass oben genannte Überlegungen nicht ohne weiteres übertragen werden können. Aus operativer Sicht ist eine Platzierung in dieser Lage problemlos. Darüber hinaus kommen oben beschriebene Probleme nur im Langzeitverlauf nach permanenter Schrittmacherimplantation vor. Bei passageren postoperativen werden Schrittmachern nicht apparent.

Auf Grund der Ergebnisse der vorliegenden Studie können wir beide getestete rechtsventrikulären Implantationslokalisationen empfehlen. Die Vorderwand des rechten Ventrikels enthält gewöhnlich mehr epikardiales Fett als die Hinterwand, dieses Fett hat zwar isolierende Eigenschaften, aber kann auch vor Blutungen schützen. An der Hinterwand kann man durch viele fettfreie Stellen und dadurch bessere Sicht auf die Gefäße die Verletzung dieser Gefäße und dadurch die Blutungen vermeiden.

Die Platzierung der Elektrode im rechtsventrikulären Hinterwandbereich ist innerhalb einer Minute durchzuführen, jedoch muss das Herz dafür luxiert und danach wieder repositioniert werden; dies kann eine Ursache für Fehlfunktionen der

Elektrode sein. Im Vergleich ist die Vorderwand des rechten Ventrikels besser zugänglich.

#### **4.4 Entzündungsreaktion**

Die Verwendung der Herz-Lungen-Maschine bei den herzchirurgischen Operationen gilt allgemein als einer der Hauptgründe für die postoperative systemische Entzündungsreaktion (SIRS). Diese kann postoperative Komplikationen einschließlich Sepsis und Multiorganversagen verursachen (Wan et al. Chest 1997). Diese Entzündungsreaktion des Organismus führt dazu, dass eine zunehmende Permeabilität der Kapillaren mit Ansammlung interstitieller Flüssigkeit eintritt (Kirklin et al.). Neben dem großen operativen Eingriff, ist zu einem Teil auch die Fremdoberfläche der Herz-Lungen-Maschine für die Entzündungsreaktion verantwortlich. Eine geringere Aktivierung von Granulozyten durch beschichtete Systeme könnte einen Beweis dafür darstellen (Moen et al.). Jedoch finden sich auch nach Herzoperationen ohne Herz-Lungen-Maschine erhöhte Spiegel von Entzündungsmediatoren.

Während einer Herzoperation setzt das Herz proinflammatorische Mediatoren frei. Die Freisetzung dieser Mediatoren ist dabei von der Ischämiezeit abhängig (Wan et al. Ann Thorac Surg 1997). Proinflammatorische Zytokine, welche bevorzugt freigesetzt werden und zu Komplikationen nach einer EKZ führen, sind: Tumor-Nekrose-Faktor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) sowie Interleukin-6 und -8 (IL-6, -8) (Wan et al. Ann Thorac Surg 1997), (Jansen et al.), (Hennein et al.), (Wan et al 1996).

Einige Autoren schreiben, daß eine lange Aorten-Klemmzeit zu signifikant erhöhten Antworten proinflammatorischer Mediatoren führt, Ursache dafür ist vermutlich der längeren Berührung des Blutes mit der Fremdoberfläche (Hennein et al.).

Insgesamt kann man sagen, dass Operation ohne Herz-Lungen-Maschine (OPCAB) schonender sind, was an einer geringeren Zytokinausschüttung zu sehen ist (Wei et al.). Insgesamt entwickeln alle Patienten nach herzchirurgischen Operationen erhöhte Entzündungsparameter, insbesondere erhöhte Leukozytenzahlen und

erhöhte Werte des CRP (Wan et al. Ann Thorac Surg 1997), (Jansen et al.), (Hennein et al.), (Wan et al.1996), (Whitten et al.).

Entzündungsparameter :

### 1. Leukozyten

Bei allen Gruppen zeigte sich ein Anstieg der Leukozytenzahlen mit einem Maximum am 1. oder 2. postoperativen Tag. Anschließend fielen sie langsam ab. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ergaben sich nicht (Tab. 12, Abb. 12)

### 2. C-reaktives Protein (CRP)

Die Entwicklung der CRP-Werte über den Messzeitraum zeigte das bei Herzoperationen typische Muster (Wan et al. Ann Thorac Surg 1997)(Jansen et al.)(Hennein et al.)(Wan et al.1996) : zunächst einen Anstieg auf Werte über 200mg/l mit einem Maximum am 4. postoperativen Tag, danach einen kontinuierlichen Abfall. Signifikante Unterschied zwischen den Gruppen ergaben sich nicht (Tab. 11, Abb. 11)

In unserer Studie wurden die genannten Entzündungsparameter zur Beurteilung der Sicherheit der implantierten Elektroden einen Tag vor der Operation und am 1., 2., 4., 6., 8. und 10. postoperativen Tag bestimmt.

Der Einfluss des Belassens der epikardialen Elektroden 10 Tage nach einer Herzoperation auf die Entzündungsparameter wurde quantitativ bewertet und eventuelle Unterschiede zwischen den Gruppen beobachtet.

Die Tatsache, dass die CRP-Werte ab dem vierten postoperativen Tag und die Leukozyten-Werte ab dem zweiten postoperativen Tag absanken, zeigt uns, dass man die Elektroden bis zum 10. Tag postoperativ ohne Bedenken belassen kann.

Wahrscheinlich geht die entzündliche Reaktion des Herzen auf die Schrittmacherdrähte in der erheblichen Inflammationsreaktion des Körpers auf die Herz-Operation unter.

Nach unserem Kenntnisstand wurde in der vorliegenden Studie erstmals der Vergleich von Entzündungsparametern zwischen derartigen Elektroden beschrieben.

Wirz und Kollegen (Wirtz et al.) beobachteten die Infektionszeichen nach Implantation epikardialer Elektroden und verglichen bipolare und unipolare Elektroden:

Ein Problem bei allen epikardialen Drähten sei die Entwicklung einer entzündlichen Reaktion um die Draht-Myokard-Schnittstelle. Die Untersuchung der lokalen Entzündungsreaktion konnte in unserer Studie aus naheliegenden Gründen nicht durchgeführt werden. Es bestünde in Zukunft jedoch die Möglichkeit, bei nach einer Herzoperation verstorbenen Patienten im Rahmen einer Sektion einmal auch diese Reaktion histologisch zu untersuchen.

Entzündliche Reaktionen werden beschleunigt, wenn höhere Stimulationsenergie in das Gewebe eingebracht wird, bei unipolaren Elektroden muss man, um die erhöhte Resistenz der Elektroden zu überwinden, einen erhöhten Strom anwenden. Die bipolaren Elektroden erfordern weniger Energie, weil sie einen niedrigen Widerstand besitzen. Damit können sie eine längere Lebensdauer als unipolare aufweisen. Bei einer Implantationsdauer von lediglich 10 Tagen wie in der vorliegenden Studie ist dieser Effekt jedoch wahrscheinlich vernachlässigbar.

#### **4.5 Handhabung der Elektroden**

Del Nedo und Goldman (Del nedo et al.) berichteten über eine 0,4% Inzidenz schwerer Komplikationen im Zusammenhang mit epikardialen Elektroden in einer Serie von 1.675 Patienten. Zu diesen Komplikationen zählen Blutungen nach Implantationen, Platzwunde des rechten Ventrikels, Herztamponade sowie ein Ausriss eines Venen-Clips nach Entfernung der Drähte und Stimulationsausfall der ventrikulären Elektroden bei ventrikulärer Bradykardie, AV-Block und Asystolie. Andere Studien berichten über die gleichen Komplikationen (Timothy et al.), (Bojar et al.).

Während der Zeit unserer Untersuchung verursachten die beiden Drähte keine Komplikationen. Dies bestätigt die Erfahrungen von mehreren anderen Autoren (Harjula et al.), (Mills et al.), (Waldo et al.1978), die die Elektroden in ähnlicher Weise wie wir am Herz fixiert haben: die Elektroden dürfen am rechten Vorhof nur locker fixiert werden, die Nähe von Bypässen (vor allem von Ästen, die mit Clips

versorgt sind) soll vermieden werden. Trotz allem gab es in unserer Studie Unterschiede bei der Handhabung beider Elektroden.

Den Verankerungsmechanismus der Medtronic-Elektrode am Herzen fanden wir härter als den der Osypka-Elektrode. Das Durchziehen der relativ steifen Drahtschraube durch das Gewebe führte häufig zu intraoperativer Blutung vor allem am Vorhof. Es ist vorstellbar, dass die Medtronic-Elektrode bei Patienten mit dünner und fragiler Vorhofwand auch gelegentlich einmal nicht sicher implantiert werden kann. Der ankerförmige Verankerungsmechanismus der Osypka-Elektrode ist hingegen weich und sehr angenehm zu fixieren.

Das distale Ende der Osypka-Elektrode ist mit einer langen, leicht gekrümmten Nadel ausgestattet. Das machte das Ausstechen der Drähte durch den Musculus rectus abdominis nach lateral viel einfacher als das unflexible Ende der Medtronic-Elektrode. Die Osypka-Adapter erwiesen sich als sehr nützlich für den Anschluss der Drähte mit dem externen Schrittmacher als das Verlängerungskabel der Medtronic-Elektrode, womit der Anschluss aufwendiger war. Die Tatsache, dass die Osypka-Elektrode vierpolig ist, macht diese Elektrode praktischer und preisgünstiger als die zweipolige Medtronic-Elektrode.

Berichte über die Handhabung von temporären Schrittmacherelektroden sind selten. Wirtz (Wirtz et al.) berichtet in seiner Untersuchung über einen Vergleich zwischen fünf verschiedenen Elektroden. Bezüglich des Handlings favorisiert er darin eine von uns nicht getestete, da nicht auf dem deutschen Markt erhältliche Ethicon-Elektrode.

In der Studie wurde auch eine Medtronic-Elektrode (Typ 6400/6500) getestet, die aber auf dem Markt nicht mehr erhältlich ist.

Um eine bessere Funktionalität und Zuverlässigkeit der Drähte zu erreichen, empfehlen wir die Messung der Reizschwelle und der Wahrnehmungsschwelle noch intraoperativ, weil man nur dadurch die optimale Lage der Elektroden bestimmen und ändern kann. Unsere Studie lässt den Anschein zu, dass die Technologie der aktuellen Schrittmacherdrähte deutlich verbessert wurde im Vergleich zu früheren Modellen. Durch unsere Untersuchungen konnten wir zeigen, dass verschiedene Probleme der epikardialen Elektroden wie der Ausfall der Stimulations- oder Wahrnehmungsfunktion, das Verrutschen der Elektroden zum Zeitpunkt des

Thoraxverschlusses und sehr hoher Energiebedarf für die Stimulation seltener oder gar nicht mehr auftreten. Trotz dieser Entwicklung der neuen epikardialen temporären Elektroden, sind die getesteten Elektroden nur für den kurzfristigen Einsatz postoperativ zuverlässig, weil ihre Funktion sich täglich verschlechtert.

#### **4.6 Limitationen der Studie**

In dieser Studie wurden temporäre myokardiale Elektroden zweier bedeutender Hersteller – Osypka und Medtronic – verglichen. Weltweit existieren zwar nur wenige Hersteller von derartigen Elektroden, jedoch wäre die Untersuchung von Elektroden weiterer Hersteller wünschenswert gewesen.

Die Hersteller Ethicon und GPG wurden ebenfalls zu unserer Studie eingeladen. Sie haben leider kein Interesse daran gezeigt.

### **5 Zusammenfassung**

Die vorliegende Arbeit vergleicht zwei passagere, epikardiale Schrittmacher-Elektroden hinsichtlich ihrer perioperativen Zuverlässigkeit und Funktionalität.

Zusammenfassend lässt sich folgendes feststellen:

1. Eine adäquate Stimulation 10 Tage nach herzchirurgischen Eingriffen mit beiden getesteten epikardialen Elektroden ist an Vorhof und Ventrikel möglich.

2. Die Reizschwellen an Vorhof und Ventrikel waren am ersten postoperativen Tag niedriger als am Operationstag. Im weiteren Verlauf kam es bei beiden Elektroden unabhängig vom Platzierungsort sowohl am Vorhof als auch am Ventrikel zu einem Anstieg der Reizschwellen.

3. Die Reizschwellen der Osypka-Elektroden am Ventrikel am 8. und 10. postoperativen Tag waren – unabhängig vom Platzierungsort – statistisch signifikant schlechter als die der Medtronic-Elektroden.
4. Die Messwerte der Wahrnehmung an Vorhof und Ventrikel bleiben bei beiden epikardialen Elektroden und beiden Platzierungsorten vom 1. bis zum 10. postoperativen Tag konstant.
5. Unterschiede zwischen den beiden Platzierungsorten der passageren Schrittmacher- Elektroden zeigen sich nicht.
6. Beide Platzierungsorte sorgen für eine zuverlässige Funktion der passageren Elektroden sowie für eine sichere postoperative Behandlung der Patienten.
7. Entzündungsparameter zeigen auch beim Belassen der beiden Elektroden 10. Tage nach einer Herzoperation keine außergewöhnliche Erhöhung.
8. Die Handhabung der Osypka-Elektrode ist einfacher als die der Medtronic-Elektrode.
9. Durch die tägliche Verschlechterung der Reizschwellen sind die passageren Schrittmacher-Elektroden tatsächlich nur für den kurzfristigen Einsatz perioperativ geeignet.

## Literaturverzeichnis

1. Andrews T, Reinold S, Berlin J, Antman E. Prevention of supraventricular arrhythmias after coronary artery bypass surgery. *Circulation* 1991; 84:236-244.
2. Aranki S, Shaw D, Adams D, Rizzo R, Couper G, VanderVliet M, Collins J, Cohn L, Burstin H. Predictors of atrial fibrillation after coronary artery surgery. *Circulation* 1996; 94:390-397
3. Aris A, Camara M, Padro J, Oriol Bonnin J, Oriol Sole J, Caralps J: Clinical evaluation of a new temporary pacemaker wire. *Ann Thorac Surg* 1983; 36:228–230.
4. Bethea B, Salazar J, Grega M, Doty J, Fitton T, Alejo D, Borowicz L, Gott V, Sussman M, Baumgartner W, Determining the utility of temporary pacing wires after coronary artery bypass surgery. *Ann Thorac Surg* 2005; 79: 104-107.
5. Bharucha D, Kowey P. Management and prevention of atrial fibrillation after cardiovascular surgery. *Am J Cardiol* 2000; 85:20-24.
6. Blommaert D, Gonzalez M, De Roy L, Mucumbitsi J, Evrard P, Buche M, Eucher P, Louagie Y, Jamart J, Installe E. Effect of continuous atrial dynamic overdrive pacing on atrial fibrillation after coronary artery bypass surgery. *PACE* 1999; 22: 804-808.
7. Blommaert D, Gonzalez M, Mucumbitsi J, Gurne O, Evrard P, Buche M, Louagie Y, Eucher P, Jamart J, Installe E, De Roy L. Effective prevention of atrial fibrillation by continuous atrial overdrive pacing after coronary artery bypass surgery. *J Am Coll Cardiol* 2000; 35:1411-1415.
8. Böttcher W, Merkle F, Weitkemper H. Historische Entwicklung der künstlichen Stimulation des Herzens. *Zeitschrift für Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie* 2003; 17: 24-34

9. Bojar R. Manual of Perioperative Care in Adult Cardiac Surgery, 4. Aufl.. Malden, MA: Blackwell Publishing 2004; 409-412.
10. Borzak S, Tisdale J, Amin NB, Goldberg A, Frank D, Padhi I, Higgins R. Atrial fibrillation after bypass surgery: does the arrhythmia or the characteristics of the patients prolong the hospital stay? *Chest* 1998; 6:1489-1491.
11. Brandt J, Höijer C, Wierup P. Upgrade to dual chamber pacing after long-term ventricular stimulation: feasibility and intermediate term follow-up. *Europace* 1999; 1: 168-173.
12. Breivik K, Engedal H, Resch F, Segadal L, Ohm O: Clinical and Electrophysiological Properties of a New Temporary Pacemaker Lead after Open-Heart Surgery. *Pacing Clin Electrophysiol* 1982; 5: 600-606.
13. Butler J, Chong J, Rocker G, Pillai R, Westaby S. Atrial fibrillation after coronary artery bypass grafting: a comparison of cardioplegia versus intermittent aortic crossclamping. *Eur J Cardiothorac Surg* 1993; 7:23-25.
14. Caretta Q, Mercanti C, Nardo D, Chiarotti F, Scibilia G, Marino B. Ventricular conduction defects and atrial fibrillation after coronary artery bypass grafting. *Eur Heart J* 1991; 12:1107-1111.
15. Chauhan V, Gill I, Woodend A, Tang A. Atrial fibrillation in patients after minimally invasive direct coronary artery bypass surgery. *PACE* 1997;20:1479-1483
16. Cox J. A perspective of postoperative atrial fibrillation in cardiac operations. *Ann Thorac Surg* 1993; 56:405-409.
17. Creswell L, Schuessler R, Rosenbloom M, Cox J. Hazards of postoperative atrial arrhythmias. *Ann Thorac Surg* 1993; 56:539-549.
18. Crystal E, Connolly S, Sleik K, Ginger T, Yusuf S, Interventions on prevention of postoperative atrial fibrillation in patients undergoing heart surgery: a meta-analysis. *Circulation* 2002;106:75-80.

19. Curtis J, Maloney J, Barnhorst D, Pluth J, Hartzler G, Wallace R. A critical look at temporary ventricular pacing following cardiac surgery. *Surgery* 1977;82:888-893.
20. Curtis J, Walls J, Boley T, Reid J, Flaker G, Madigan N, Alpert M. Influence of atrioventricular synchrony on hemodynamics in patients with normal and low ejection fractions following open heart surgery. *Am Surg.* 1986;52:93-96.
21. Daoud EG, Dabir R, Archambeau M, Morady F, Strickberger SA. Randomized, double-blind trial of simultaneous right and left atrial epicardial pacing for prevention of post open-heart surgery atrial fibrillation. *Circulation* 2000; 102: 761-765.
22. Del Nido P, Goldman BS. Temporary epicardial pacing after open heart surgery: complications and Prevention. *J Cardiac Surg* 1989; 4: 99-103
23. Del Rizzo DF, Nishimura S, Lau C, Sever J, Goldman BS. Cardiac pacing following surgery for acquired heart disease. *J Cardiac Surg* 1996; 11: 332-340
24. Dezemali O, Bakhtiary F, Dogan S, Wittlinger T, Moritz A, Kleine P. Perioperative Biventricular Pacing Leads to Improvement of Hemodynamics in Patients with Reduced Left-Ventricular Function- Interim Results. *Pacing Clin Electrophysiol* 2006;29: 1341-1345.
25. Eberhardt, F, Hanke T, Heringlake M, Massalme M, Bechtel M, Misfeld M, Wiegand U. Feasibility of temporary biventricular pacing in patients with reduced left ventricular function after coronary artery bypass grafting. *Pacing Clin Electrophysiol* 2007; 30: 50-53.
26. Elmi F, Tullo N, Khalighi K. Natural history and predictors of temporary epicardial pacemaker wire function in patients after open heart surgery. *Cardiology* 2002; 98: 175-180.

27. Fan K, Lee K, Chiu C, Lee J, He G, Cheung D, Sun M, Lau C. Effects of biatrial pacing in prevention of postoperative atrial fibrillation after coronary artery bypass surgery. *Circulation* 2000; 102:755-760.
28. Foster A, Gold M, McLaughlin J. Acute hemodynamic effects of atrio-biventricular pacing in humans. *Ann Thorac Surg* 1995; 59: 294-300.
29. Frost L, Molgaard H, Christiansen E, Hjortholm K, Paulsen P, Thomsen P. Atrial fibrillation and flutter after coronary bypass surgery: epidemiology, risk factors and preventive trials. *Int J Cardiology* 1992; 36:253-261.
30. Funck R. Prävention von Vorhoffarrhythmien durch Overdrive und Ruhefrequenz. *Herzschr Elektrophys* 1998; 9:93-95.
31. Gomes J, Ip J, Santoni-Rugiu F, Mehta D, Ergin A, Lansman S, Pe E, Newhouse T, Chao S. Oral d,l sotalol reduces the incidence of postoperative atrial fibrillation in coronary artery bypass surgery patients. *J Am Coll Cardiol* 1999; 34:334-339.
32. Gordon R, Ivanov J, Cohen G, Ralph-Edwards A. Permanent cardiac pacing after a cardiac operation: predict the use of permanent pacemakers. *Ann Thorac Surg* 1998; 66:1698-1704.
33. Harjula A, Järvinen A, Mattila S, Härtel G. Removal of monofilament and multifilament temporary pacing leads following open-heart surgery: occurrence of arrhythmias. *Pacing Clin Electrophysiol* 1985; 8:607-610.
34. Harris P, Malm J, Bowman F, Hoffman B, Kaiser G, Singer D. Epicardial pacing to control arrhythmias following cardiac surgery. *Circulation* 1968; 37: 178-183.
35. Harris P, Singer D, Malm J, Hoffmann B. Chronically implanted cardiac electrodes for diagnostic, therapeutic and investigational use in man. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1967; 54:191-198.

36. Hartzler G, Maloney J, Curtis J, Banhorst D. Hemodynamic benefits of atrioventricular sequential pacing after cardiac surgery. *Am J Cardiol* 1977; 40:232-236
37. Hennein H, Ebba H, Rodriguez J. Relationship of the proinflammatory cytokines to myocardial ischemia and dysfunction after uncomplicated coronary revascularization. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994; 108: 626-635.
38. Hurlé A, Gómez-Plana J, Sánchez J, Martínez JG, Meseguer J, Llamas P. Optimal location for temporary epicardial pacing leads following open heart surgery. *Pacing Clin Electrophysiol* 2002; 25 :1049-1052.
39. Jansen N, van Oeveren W, Gu Y, van Vliet M, Eijssman L, Wildevuur C. Endotoxin release and tumor necrosis factor formation during cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 1992; 54: 744-748.
40. Kallis P, Batrick N, Bindi F, Mascaro G, Chatzis A, Keogh B, Parker D, Treasure T. Pacing thresholds of temporary epicardial electrodes: Variation with electrode type, time, and epicardial position. *Ann Thorac Surg* 1994; 57:623–626.
41. Karpawich P, Rabah R, Haas J. Altered cardiac histology following apical right ventricular pacing in patients with congenital atrioventricular block. *Pacing Clin Electrophysiol* 1999; 22: 1372-1377.
42. Kastor J, Berkovits B, DeSanctis R. Variations in discharge rate of demand pacemakers not due to malfunction. *Am J Cardiol* 1970; 25:344–348.
43. Kirklin J, Westaby S, Blackstone E, Kirklin J, Chenoweth D, Pacifico A. Complement and the damaging effects of cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1983; 86: 845-857.
44. Lieberman R, Padeletti L, Schreuder J, Jackson K, Michelucci A, Colella A, Eastman W, Valsecchi S, Hettrick D. Ventricular pacing lead location alters systemic hemodynamics and left ventricular function in patients with and without reduced ejection fraction. *J Am Coll Cardiol* 2006; 48: 1634-1641.

45. Mills N, Ochsner J. Experience with atrial pacemaker wires implanted during cardiac operations. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1973; 66:878-886.
46. Misier A, Beukema W, Lutikhuis H. Multiside or alternate site pacing for the prevention of atrial fibrillation. *Am J Cardiol* 1999; 83:237-240.
47. Moen O, Fosse E, Dregelid E, et al. Centrifugal pump and heparin coating improves cardiopulmonary bypass biocompatibility. *Ann Thorac Surg* 1996; 62: 1134-1140.
48. Ommen S, Odell J, Stanton M. Atrial arrhythmias after cardiothoracic surgery. *N Engl J Med* 1997; 20:1429-1434.
49. Reade M. Temporary epicardial pacing after cardiac surgery: a practical review Part 1: General considerations in the management of epicardial pacing. *Anaesthesia* 2007; 62: 264–271.
50. Robicsek F. A method to place temporary atrial pacing electrodes during heart surgery. *Thorac Cardiovasc Surg* 1983;31:322–324
51. Sato S, Yamauchi S, Schuessler R, Boineau J, Matsunaga Y, Cox J. The effect of augmented atrial hypothermia on atrial refractory period, conduction, and atrial flutter/fibrillation in canine heart. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1992; 104:297-306.
52. Scherhag A, Gulbins H, Lange R, Saggau W: Improved Reliability of Postoperative Cardiac Pacing by Use of Bipolar Temporary Pacing Leads. *Eur. J. C. P .E* 1995; 5: 101-108.
53. Schweikert R, Grady T, Gupta N, Augustini R, Horiatis V, French S, McCarthy P, Chung M. Atrial pacing in the prevention of atrial fibrillation after cardiac surgery. *JACC* 1998; 10:145-162.

54. Timothy P, Rodeman B. Temporary pacemakers in critically ill patients: assessment and management strategies. *American Association of Critical-Care Nurses* 2004; 15: 305-325.
55. Tse H, Lan C. Long term effect of right ventricular pacing on myocardial perfusion and function. *J Am Coll Cardiol* 1997; 29: 744-749
56. Waldo A, MacLean W, Cooper T, Karp R. Use of temporally placed epicardial wire electrodes for the diagnosis treatment of cardiac arrhythmias following open heart surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1978 ; 76: 500-505
57. Waldo A, Vitikainen K, Kaiser G, Bowman F, Malm J. Atrial standstill secondary to atrial inexcitability (atrial quiescence). Recognition and treatment following open-heart surgery. *Circulation* 1972 Oct; 46: 690-697.
58. Wallenhaut S, Roger A. Intraoperative use of dual-chamber demand pacemakers for open heart operations. *Ann Thorac Surg* 1989;48: 579–581
59. Wan S, DeSmet J, Barvais , Goldstein M, Vincent J, LeClerc J. Myocardium is a major source of proinflammatory cytokines in patients undergoing cardiopulmonary bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; 112: 806-811.
60. Wan S, LeClerc J, Vincent J. Cytokine responses to cardiopulmonary bypass: lessons learned from cardiac transplantation. *Ann Thorac Surg* 1997; 63: 269-276.
61. Wan S, LeClerc J, Vincent J. Inflammatory response to cardiopulmonary bypass: mechanisms involved and possible therapeutic strategies. *Chest* 1997; 112: 676-692.
62. Wei M, Kuukasjärvi P, Laurikka J, et al. Cytokine responses and myocardial injury in coronary artery bypass grafting. *Scand J Clin Lab Invest* 2001; 61: 161-166.

63. Weisse U, Isgro F, Werling C, Lehmann A, Saggau W. Impact of atrio-biventricular pacing to poor left-ventricular function after CABG. *Thorac Cardiovasc Surg* 2002; 50: 131-135.
64. Wenke K, Markewitz A. Optimal Pacing des Herzens nach herzchirurgischen Eingriffen. *Herzschrittmachertherapie und Elektrophysiologie* 1993; 4: 56-59
65. Whitten C, Hill G, Ivy R, Greilich P, Lipton J. Does the duration of cardiopulmonary bypass or aortic cross-clamp, in the absence of blood and / or blood product administration, influence the IL-6 response to cardiac surgery? *Anesth Analg* 1998; 86: 28-33.
66. Wiegand U, Schier H, Bode F, Brandes A, Potratz J. Should unipolar Leads be implanted in the atrium? *Pacing Clin. Electrophysiol* 1998 ; 21: 1609-1617
67. Wigneswaran W, Jamieson M. Temporary pacing Leads in cardiac surgery. *J Cardiovasc Surg* 1986; 27:609-612.
68. Wilkoff, B, Cook J, Epstein A, Greene H, Hallstrom A, Hsia H, Kutalek S, Sharma A. Dual-chamber pacing or ventricular backup pacing in patients with an implantable defibrillator, the Dual Chamber and VVI Implantable Defibrillator (DAVID) Trial. *Jama* 2002; 288: 3115-3123.
69. Wirtz S, Schulte H, Winter J, Godehardt E, Kunert J. Reliability of Different Myocardial Pacing Leads. *Thorac Cardiovasc Surg* 1989; 37: 163-168
70. Yiu P, Tansly P, Pepper J. Improved reliability of post-operativ ventricular pacing by use of bipolar temporary pacing leads. *Thorac Cardiovac Surg* 2001; 9: 391-395.

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Modellhafte Darstellung des Herzens und der beiden Varianten der Positionierung.....	15
Abbildung 2: Reizschwelle (1 v , 1,3 V).....	16
Abbildung 3: Beispiel für die Sensing-Eigenschaften eines Schrittmacheraggregates (4 mv) .....	17
Abbildung 4: Osypka TME4.....	18
Abbildung 5: Medtronic 6495/2M.....	21
Abbildung 6: Schrittmacheranalysegerät OSYPKA Pace 203 H.....	23
Abbildung 7: Reizschwellen am Ventrikel im Studienverlauf (V).....	27
Abbildung 8: Reizschwellen am Vorhof im Studienverlauf (V) .....	28
Abbildung 9: Wahrnehmung am Ventrikel im Studienverlauf (mV).....	29
Abbildung 10: Wahrnehmung am Vorhof im Studienverlauf (mV) .....	30
Abbildung 11: C-reaktives Protein im Studienverlauf (mg/dl) .....	32
Abbildung 12: Leukozytenzahlen im Studienverlauf(1/ $\mu$ l) .....	33

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien.....	13
Tabelle 2: Die Studiengruppen.....	14
Tabelle 3: Technische Daten der Osypka TME4 Elektrode.....	19
Tabelle 4: Technische Daten der Medtronic 6495/2M Elektrode.....	21
Tabelle 5: Technische Daten des Schrittmacheranalysegerätes OSYPKA Pace 203 H.....	23
Tabelle 6: Alter der Patienten und Anteil männlicher Patienten.....	26
Tabelle 7: Reizschwelle am Ventrikel (V).....	27
Tabelle 8: Reizschwelle am Vorhof (V).....	28
Tabelle 9: Wahrnehmung am Ventrikel (mV) .....	29
Tabelle 10: Wahrnehmung am Vorhof (mV).....	30
Tabelle 11: C-reaktives Protein (mg/dl) .....	31
Tabelle 12: Leukozytenzahlen (1/ $\mu$ l) .....	33

## **Eidesstattliche Versicherung**

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig, ohne erlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig- Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Gießen, den 15.03.2011

**Poster**

1. Aser R, Attmann T, Aydin E, Perepelitsa A, Orhan C. Roth P, Böning A.  
TEMPORARY EPICARDIAL PACEMAKER WIRES:  
SIGNIFICANCE OF POSITION, TIME AND ELECTRODE TYPE

Der springende Punkt 2010 - 7. Kieler Symposium für Herzchirurgische  
Intensivmedizin und Intensivpflege in Kiel 29.05-30.05.2010

2. Aser R, Attmann T, Aydin E, Perepelitsa A, Orhan C. Roth P, Böning A.  
TEMPORARY EPICARDIAL PACEMAKER WIRES:  
SIGNIFICANCE OF POSITION, TIME AND ELECTRODE TYPE

2. Fokustagung Herz - Intensivmedizin, Rhythmustherapie, EKZ - der Deutschen  
Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie in Duisburg 30.09-02.10.2010

3. Aser R, Attmann T, Aydin E, Perepelitsa A, Orhan C. Roth P, Böning A.  
TEMPORARY EPICARDIAL PACEMAKER WIRES:  
SIGNIFICANCE OF POSITION, TIME AND ELECTRODE TYPE

DGK-Herbsttagung 2007 in Nürnberg 07.10-09.10.2011



## TEMPORARY EPICARDIAL PACEMAKER WIRES: SIGNIFICANCE OF POSITION, TIME AND ELECTRODE TYPE

Raed Aser, Tim Attmann, Elisabeth Aydin, Andre Perepelitsa, Coskun Orhan, Peter Roth, Andreas Böning.

**Introduction:** The aim of this study was to determine the significance of different temporary epicardial pacing wires after cardiac surgery. The study was conducted in a retrospective manner and time points were defined as follows:

**Results:** From day 8 onwards the M group showed better ventricle pacing thresholds compared to group O (8-VP: 150% to Base vs. 240% to Base,  $p=0.01$ , and 10-VP: 160% to Base vs. 247% to Base,  $p=0.005$ )(figure3). Both methods of positioning show no significant differences(figure2). Osypka-electrodes were easier to handle due to their more pliable texture

**Material and methods:** The study was conducted in a retrospective manner and time points were defined as follows:

Figure 2: Graph showing the courses of the atrium pacing for two electrodes and two positions over the postoperative period

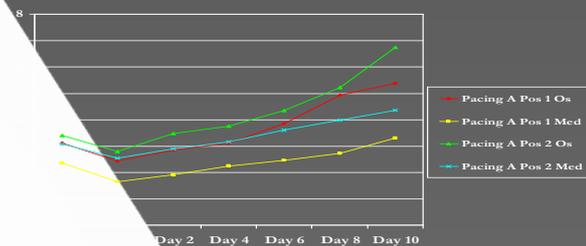
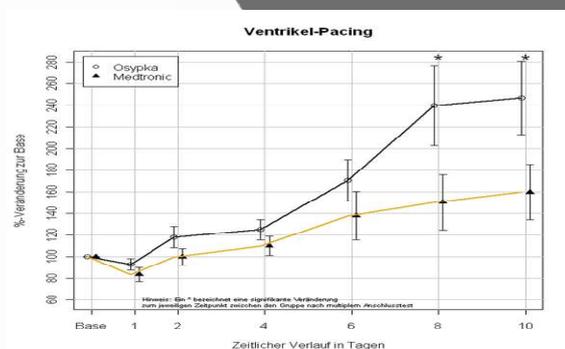


Figure 1:



Figure 3: Graph showing the percentage change of the ventricle pacing to the base over the postoperative period



**Results:**

**Conclusions:**

were  
position.  
used  
of

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Böning, der mir das Thema für die Arbeit übertrug. Ich danke ihm für die Unterstützung bei der Realisierung der Arbeit. Besonders danke ich Ihm für die Möglichkeit der Promotion in seiner Klinik.

Des Weiteren gilt mein großer Dank Dr. med. Tim Attmann für die intensive Zusammenarbeit bei der Auswertung der Daten. Ohne seine kontinuierliche Unterstützung durch den Erfahrungsaustausch in unzähligen Diskussionen und persönlichen Gesprächen wäre meine Promotion niemals soweit gekommen.

Des Weiteren gilt mein besonderer Dank den Kollegen und dem Pflegepersonal der Klinik für Herz-, Kinderherz- und Gefäßchirurgie in Gießen für die Unterstützung.

Den Kollegen der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin möchte ich danken für die Hilfe im OP und auf die Intensivstation.

Lieben Dank darf ich meiner Verlobte Diana Salekh aussprechen, die mir während der gesamten Studie geholfen hat, die Frustrationstoleranz hoch zu halten. Ihre liebevolle Unterstützung beim Studieren und Forschen möchte ich nicht missen.