

Universitätsmedizin Rostock

Aus dem Zentrum für Innere Medizin

Medizinische Klinik I (Kardiologie, Pneumologie, Internistische Intensivmedizin)

Prof. Dr. med. C. Nienaber

Bereich Klinische Elektrophysiologie

Leiter: Prof. Dr. med. D. Bänsch

**Vergleich unterschiedlicher Ablationsstrategien in der
Behandlung von linksatrialen Makroreentrytachykardien**

Inauguraldissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Medizin

der Medizinischen Fakultät

der Universität Rostock

vorgelegt von Cindy Schneider, geboren am 06.11.1979

aus Magdeburg

Rostock 04.09.2012

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Dietmar Bänsch
Universitätsmedizin Rostock
Zentrum für Innere Medizin
Abteilung Kardiologie, Bereich Elektrophysiologie
Ernst-Heydemann-Str. 6
18057 Rostock

2. Gutachter: PD Dr. med. Alexander Kaminski
Universitätsmedizin Rostock
Klinik und Poliklinik für Herzchirurgie
Schillingallee 35
18057 Rostock

3. Gutachter: Prof. Dr. med. Wilhelm Haverkamp
Medizinische Klinik mit Schwerpunkt Kardiologie
Campus Virchow-Klinikum
Charité - Universitätsmedizin Berlin
Augustenburger Platz 1
13353 Berlin

Datum der Einreichung: 05.09.2012

Datum der Verteidigung: 13.03.2013

Gliederung	2
Inhaltsverzeichnis	2
Schlüsselwörter	5
Abkürzungsverzeichnis	6
1. Einleitung	8
1.1. Atriale Makroreentrytachykardien	8
1.2. Spontane linksatriale Makroreentrytachykardien	8
1.3. Postinterventionelle linksatriale Makroreentrytachykardien	11
1.4. Ziel der Untersuchung	12
2. Methoden	13
2.1. Patienten	13
2.2. EKG-Definition	13
2.3. Vorbereitung der Patienten	14
2.4. Elektrophysiologische Untersuchung	14
2.5. Definition von linksatrialen Makroreentrytachykardien	16
2.6. Auswahl der Ablationsstrategie bei postinterventionellen linksatrialen Makroreentrytachykardien	16
2.7. Auswahl der Ablationsstrategie bei spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien	17
2.8. Transseptale Punktion	18
2.9. Pulmonalvenenangiogramm	18
2.10. Annotation	18
2.11. Mapping	19
2.12. Definition von strukturell veränderten und elektrisch stummen Arealen	21
2.13. Katheterablation	22
2.14. Endpunkte der Ablation	22
2.14.1. Bidirektionaler Leitungsblock bei linearen Läsionen	22
2.14.2. Pulmonalvenenisolation	23

2.15.	Klinisches Protokoll	24
2.16.	Endpunkte der Untersuchung	24
2.16.1.	Primärer Endpunkt	24
2.16.2.	Sekundärer Endpunkt	24
2.17.	Statistik	25
3.	Resultate	26
3.1.	Patienten mit postinterventioneller oder spontaner linksatrialer Makroentrytachykardie	26
3.2.	Postinterventionelle linksatriale Makroentrytachykardien	27
3.2.1.	Patienten	27
3.2.2.	Elektrophysiologische Untersuchung und Ablation	29
3.2.3.	Untersuchungsdaten	30
3.2.4.	Akuter Ablationserfolg	30
3.2.5.	Effektivität und Rezidive	31
3.2.6.	Einflussfaktoren auf die Endpunkte	33
3.3.	Spontane linksatriale Makroentrytachykardien	34
3.3.1.	Patienten und Ablationsstrategie	34
3.3.2.	Untersuchungsdaten	36
3.3.3.	Akuter Ablationserfolg	37
3.3.4.	Effektivität und Rezidive	40
3.3.5.	Einfluss anderer Faktoren auf die Endpunkte	45
3.4.	Substratanalyse bei postinterventionellen und spontanen linksatrialen Makroentrytachykardien	46
3.4.1.	Substrate bei postinterventionellen und spontanen linksatrialen Makroentrytachykardien im direkten Vergleich	46
3.4.2.	Substrat bei spontanen linksatrialen Makroentrytachykardien	47
3.5.	Rhythmuskontrolle bei postinterventionellen und spontanen linksatrialen Makroentrytachykardien	49
3.6.	Allgemeine Komplikationen bei Patienten mit postinterventionellen und spontanen linksatrialen Makroentrytachykardien	49
4.	Diskussion	51
4.1.	Überblick	51
4.2.	Postinterventionelle linksatriale Makroentrytachykardien	51
4.2.1.	Elektrophysiologische Erkenntnisse nach initialer Prozedur	51
4.2.2.	Akuter Ablationserfolg	52

4.2.3. Langzeiteffektivität	54
4.2.4. HATCH-Score	56
4.3. Spontane linksatriale Makroreentrytachykardien	56
4.3.1. Elektrophysiologische Charakteristik	56
4.3.2. Akuter Ablationserfolg und Effektivität	57
4.4. Untersuchungsdaten	58
4.4.1. Postinterventionelle linksatriale Makroreentrytachykardien	58
4.4.2. Spontane linksatriale Makroreentrytachykardien	59
4.5. Substratanalyse	59
4.6. Sicherheit	60
4.7. Ausblick	60
4.8. Zusammenfassung	62
Abbildungsverzeichnis	64
Tabellenverzeichnis	65
Literaturverzeichnis	66
Thesen	74
Danksagung	76
Selbständigkeitserklärung	77
Darstellung des Bildungsweges	78

Schlüsselwörter

Arrhythmie

Katheterablation

Lineare Läsionen

Linksatriale Makroreentrytachykardie

Pulmonalvenenisolation

Vorhofflimmern

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACT	Activated clotting time
AMRT	Atriale Makroreentrytachykardie
AV	Atrioventrikulär
BRK	Brockenbrough
bzw.	Beziehungsweise
ca.	Circa
cGycm ²	Zentigray mal Quadratcentimeter
cm	Zentimeter
CS	Koronarsinus
d.h.	Das heißt
DLZ	Durchleuchtungszeit
EKG	Elektrokardiogramm
F	French
ggf.	Gegebenenfalls
°C	Grad Celsius
Hz	Hertz
IE	Internationale Einheiten
INR	International normalized ratio
kJ	Kilojoule
LAA	Left atrial appendage (= linkes Vorhofohr)
LAMRT	Linksatriale Makroreentrytachykardie(n)
LAO	Left anterior oblique (= linksschräge Projektion)
LVEF	Linksventrikuläre Pumpfunktion

MDI	Mittdiastolischer Isthmus
µg	Mikrogramm
mg	Milligramm
min	Minute
ml/h	Milliliter pro Stunde
ms	Millisekunden
mV	Millivolt
ns	nicht signifikant
PPI	Postpacingintervall
PVI	Pulmonalvenenisolation
RAO	Right anterior oblique (= rechtsschräge Projektion)
s	Sekunde(n)
Tab.	Tabelle
TCL	Tachycardia cycle length (= Tachykardiezykluslänge)
V.	Vena
VHF	Vorhofflimmern

1. Einleitung

1.1. Atriale Makroreentrytachykardien

Der Begriff atriale Makroreentrytachykardie (AMRT) wurde als allgemeine Beschreibung eingeführt für alle Reentrytachykardien, die mit einem Substrat assoziiert sind, d.h. mit einer funktionellen oder strukturellen elektrischen Barriere bzw. einer Zone langsamer Leitung. Er beinhaltet eine heterogene Gruppe von atrialen Arrhythmien, deren genaue Inzidenz unklar ist. Die häufigste AMRT ist typisches Vorhofflattern, das einem gut charakterisierten Tachykardiekreis um den Trikuspidalanulus folgt. Daneben gibt es sowohl im rechten als auch im linken Atrium AMRT, bei denen der rechtsatriale Isthmus zwischen Vena cava inferior und Trikuspidalklappenring nicht an der Tachykardie beteiligt ist.

1.2. Spontane linksatriale Makroreentrytachykardien

Spontane linksatriale Makroreentrytachykardie (LAMRT) sind selten (Abb. 1). Die genaue klinische Inzidenz ist unbekannt und wird auf etwa 1/10 der Inzidenz von typischem Vorhofflattern geschätzt. Anders als bei typischem Vorhofflattern und mit Ausnahme des Mitralklappenflatterns gibt es nicht immer einen anatomisch feststehenden Tachykardiekreis mit definiertem Isthmus. Bei den meisten LAMRT gibt es im Zentrum des Tachykardiekreises Areale, die elektrisch verändert sind als Ausdruck einer Myokardschädigung (1-3). Zusätzliche Bereiche mit funktionellem Leitungsblock können den Durchmesser des Substrates vergrößern und Bereiche mit Leitungsverzögerung ermöglichen eine ausreichend große erregbare Lücke. Abhängig von der Anzahl und Anordnung dieser Narbenareale sind komplexe oder mehrere Reentrykreise möglich. Die P-Welle im Oberflächen-EKG kann die Aktivierung des gesunden Myokards außerhalb dieser Areale widerspiegeln, wobei V1 oft positiv ist. Eine exakte Lokalisierung im linken Atrium ist daher oft nicht möglich. Die Charakterisierung dieser Tachykardien hinsichtlich des kritischen Isthmus, der Bereiche mit Leitungsverzögerung und der Ausbreitung der Aktivierungsfront ist invasiv möglich, wobei die Verwendung dreidimensionaler elektroanatomischer Mappingsysteme zum Verständnis beiträgt (4).

Bei einem großen Teil der Patienten mit LAMRT besteht gleichzeitig Vorhofflimmern (VHF), das medikamentös behandelt wird, oder das VHF tritt nach Ablation der LAMRT auf (4,5). Antiarrhythmika können die Transformation einer unkoordinierten Arrhythmie wie VHF in eine

Arrhythmie mit einer Erregungsfront wie typisches Vorhofflattern hervorrufen (6-8). Ein ähnlicher Effekt kann aber in allen Bereichen des Atriums eintreten unter der Voraussetzung eines unidirektionalen Blockes und einer Leitungsverzögerung im Bereich einer anatomischen oder funktionellen Barriere.

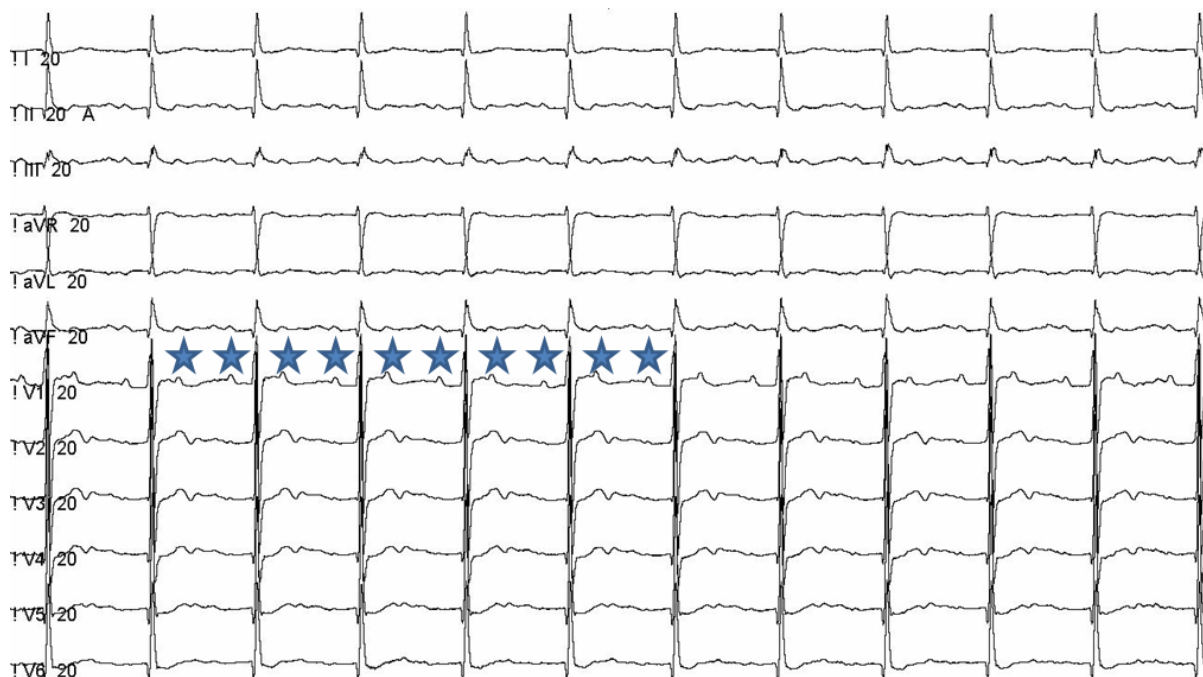


Abb. 1: 12-Kanal-EKG eines Patienten mit spontaner linksatrialer Makroreentrytachykardie mit 2:1 atrioventrikulärer Überleitung. Die atriale Zykluslänge der Tachykardie beträgt 450 ms. Die P-Wellen sind z.T. mit Sternchen markiert.

Patienten mit LAMRT weisen wie Patienten mit VHF ein erhöhtes kardiogenes Embolierisiko auf, weil sie häufig VHF haben und die atriale Kontraktilität eingeschränkt ist, so dass eine orale Antikoagulation wie bei VHF indiziert ist. Durch das z.T. sehr starre Frequenzprofil (Abb. 2) kann die Belastbarkeit des Patienten im Alltag stark beeinträchtigt sein. Behandlungsstrategien umfassen einerseits eine reine Frequenzkontrolle oder eine AV-Knoten-Ablation mit Schrittmacherimplantation, andererseits eine Rhythmisierung durch antiarrhythmisch wirksame Medikamente und ggf. Kardioversion oder eine Katheterablation. Die Katheterablation wird gegenwärtig im Bereich des mittdiastolischen Isthmus durchgeführt, der fraktionierte Potentiale und eine Leitungsverzögerung zeigt (Abb. 3). Ziel der Ablation ist eine lineare Läsion und das Erreichen eines bidirektionalen Leitungsblockes des essentiellen Isthmus der Tachykardie (9). Rezidive oder begleitende Arrhythmien wie VHF nach Ablation sind häufig und erfordern dann eine Fortführung der antiarrhythmischen Therapie (4,9).

Wenn die lineare Ablation im Bereich der Isthmusregion der Tachykardie mit einer zirkumferentiellen linearen Ablation zur Isolation der Pulmonalvenen kombiniert wird, scheint die Rezidivrate geringer zu sein (10).

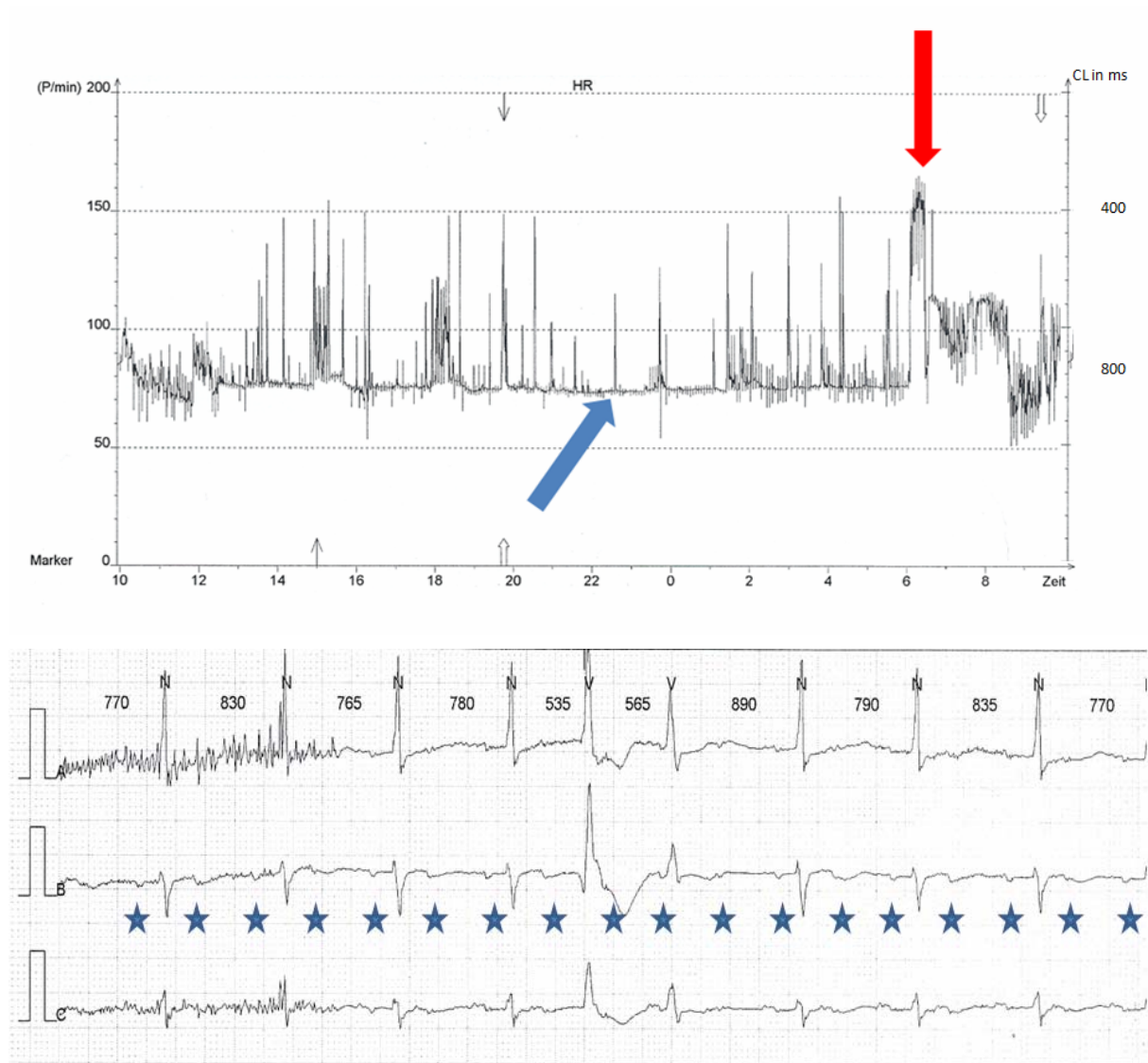


Abb. 2: Langzeit-EKG (25 mm/s) einer Patientin mit persistierender linksatrialer Makroentrytachykardie mit einer Zykluslänge von etwa 400 ms. Es findet sich im oberen Bildteil ein starres Frequenzprofil bei überwiegender 2:1 atrioventrikulärer Überleitung (blauer Pfeil). Nur gegen 6.00 Uhr am Morgen besteht eine längere Phase mit 1:1 Überleitung mit deutlichem plötzlichen Frequenzsprung (roter Pfeil). Im unteren Bildteil findet sich ein typischer Ausschnitt mit den deutlich erkennbaren P-Wellen und 2:1 Leitung, lediglich in der Mitte besteht einmalig eine 1:1 Überleitung mit dann aberranter QRS-Morphologie. Die P-Wellen sind mit Sternchen markiert.

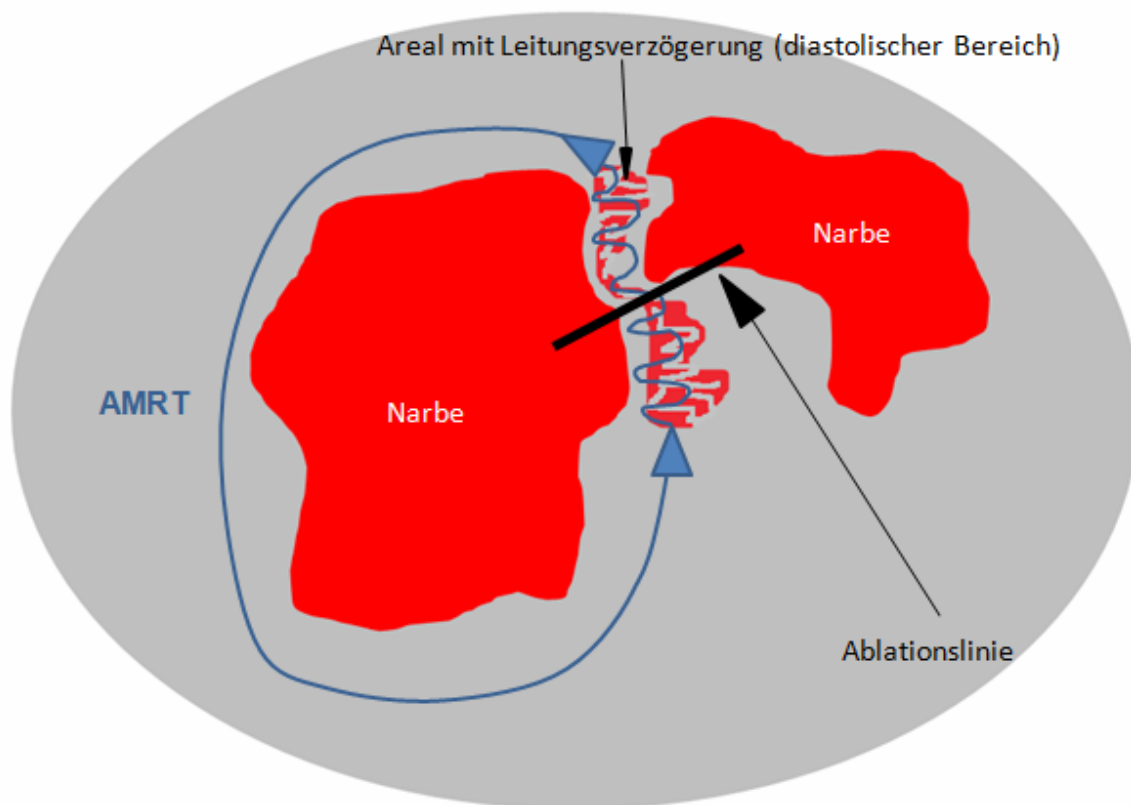


Abb. 3: Schematische Darstellung eines Reentrykreises einer linksatrialen Makroreentrytachykardie mit dem mittdiastolischen Bereich, in dem die Leitungsverzögerung auftritt und der das Ablationsziel darstellt

1.3. Postinterventionelle linksatriale Makroreentrytachykardien

In den letzten Jahren kam es durch ausgedehnte intraoperative chirurgische Radiofrequenz- oder Kryoablation oder durch Katheterablationen zu einer Zunahme der postinterventionellen linksatrialen Tachykardien (11-15). Im Rahmen dieser Ablationsverfahren werden die Pulmonalvenen isoliert (PVI) und lineare Läsionen zwischen elektrisch isolierenden Strukturen (zwischen beiden Ablationslinien um die Pulmonalvenen oder zum Mitralanulus) angelegt. Die meisten der postinterventionellen Tachykardien beruhen auf einem Reentrymechanismus, wobei Makroreentrytachykardien dominieren (11,12,15). Verursacht werden diese LAMRT durch Lücken, d.h. fokale Leitungserholungen, in den initialen Ablationslinien um die Pulmonalvenen oder in den linksatrialen linearen Läsionen (13,16-18) bzw. bei inkompletten linearen Läsionen im Rahmen eines schrittweisen Vorgehens (sog. stepwise linear approach) während der Katheterablation von VHF (11,12). Bei LAMRT durch Lücken in der zirkumferentiellen Ablationslinie um die Pulmonalvenen findet sich die Zone der langsamen Leitung in den Pulmonalvenen selbst (17). Auch nach Dokumentation eines

bidirektionalen Leitungsblockes in den Ablationslinien kann es zur Leitungserholung mit der Folge einer Tachykardie kommen (18). Inkomplette Linien oder ausgedehnte Läsionen erhöhen das Risiko für LAMRT (19-21).

Aus den Kenntnissen über die Initiierungsmechanismen von LAMRT durch Trigger und den Kenntnissen über die Leitungsverzögerung in einer inkompletten Linie, die somit zur Aufrechterhaltung des Tachykardiekreises beiträgt, lassen sich unterschiedliche Ablationskonzepte ableiten. Denkbar sind die Eliminierung des Triggers, eine Komplettierung der linearen Läsion oder eine Kombination beider Verfahren. Durch Schließen dieser Lücken in den Ablationslinien kann eine dauerhafte atriale Rhythmusstabilität erreicht werden (22). Die Elimination eines Triggers mittels Pulmonalvenenisolation (PVI) kann effektiver in der Rezidivprophylaxe von atrialen Tachyarrhythmien (LAMRT und VHF) sein als eine Komplettierung einer linearen Läsion (21).

1.4. Ziel der Untersuchung

Basierend auf diesen Erkenntnissen gliedert sich diese Untersuchung in zwei Teile. Im ersten Teil wurde geprüft, ob sich die initiale klinische Erfahrung einer dauerhaften Rhythmusstabilität nach Ablation von postinterventionellen LAMRT auch im Langzeitverlauf bestätigt. Im zweiten Teil wurde nichtrandomisiert an konsekutiven Patienten, die mit einer spontanen LAMRT zur Ablation vorgestellt wurden, getestet, welchen Stellenwert die Ablationskonzepte zirkumferentielle PVI und lineare Läsionen für die Behandlung von spontanen LAMRT haben und ob sich das Konzept einer Kombination beider Verfahren zur Ablation von postinterventionellen LAMRT auf spontane LAMRT übertragen lässt, um so eine effektive Rhythmuskontrolle ohne erneutes Auftreten von atrialen Tachyarrhythmien zu erreichen.

2. Methoden

2.1. Patienten

In diese Untersuchung wurden konsekutive Patienten eingeschlossen, die eine EKG-Dokumentation einer spontanen und symptomatischen LAMRT hatten und deshalb zwischen Januar 2008 und Februar 2012 mittels Katheterablation behandelt wurden.

Patienten mit postinterventioneller LAMRT nach vorausgegangener intraoperativer chirurgischer Ablation oder Katheterablation wurden als Vergleichsgruppe gesondert betrachtet.

2.2. EKG-Definition

Die EKG-Morphologie der P-Wellen weicht bei LAMRT von der bei typischem isthmusabhängigem Vorhofflattern ab (23). Nach ausgedehnten linksatrialen Ablationsprozeduren kann durch einen veränderten atrialen Erregungsablauf auch typisches Vorhofflattern eine linksatriale Tachykardie imitieren (16), so dass eine alleinige Entscheidung aus dem 12-Kanal-EKG nicht zuverlässig ist. Darüber hinaus gibt es Versuche, EKG-Charakteristika von LAMRT zu identifizieren (24,25).

Daran anlehnend definierten wir folgende EKG-Kriterien für LAMRT, von denen mindestens eines erfüllt sein musste: 1) Keine Übereinstimmung mit Kriterien für typisches isthmusabhängiges counterclockwise oder clockwise Vorhofflattern, 2) positive, biphasische oder isoelektrische P-Wellen in allen Brustwandableitungen, 3) fehlende isoelektrische P-Wellen in Ableitung I (d.h. Vorhandensein von positiven oder negativen P-Wellen), 4) negative P-Wellen in aVL, 5) positive oder positiv-negative biphasische P-Wellen in V1, 6) P-Wellen-Konkordanz in V1 und den inferioren EKG-Ableitungen, 7) scheinbar fokale atriale Aktivierung mit deutlicher isoelektrischer Linie und einer P-Wellen-Morphologie entsprechend Kriterium 1-6.

Trotz typischer EKG-Kriterien für eine LAMRT erfolgte zudem eine Verifizierung im Rahmen der elektrophysiologischen Untersuchung.

2.3. Vorbereitung des Patienten

Bei einem CHADS₂-Score von mehr als einem Punkt musste vor der Ablation eine effektive Antikoagulation mit Vitamin-K-Antagonisten und einer INR um 2 bis 3 für mindestens drei Wochen bestehen. Diese Medikation wurde zwei bis drei Tage vor der Untersuchung auf niedermolekulares Heparin gewichtsadaptiert umgestellt. Zum Ausschluss intrakardialer Thromben erfolgte obligat eine transösophageale Echokardiographie.

2.4. Elektrophysiologische Untersuchung

Die Untersuchungen erfolgten in Analgosedierung mit kontinuierlicher Propofolinfusion und Bolusgaben von jeweils 2,5 mg Midazolam und 25 µg Fentanyl. Es wurden je ein steuerbarer 8-oder 10-poliger Katheter (Webster D, Biosense Webster, Diamond Bar, CA, USA) über die V. femoralis links und die V. subclavia links eingeführt und unter Röntgendurchleuchtung am His-Bündel und im Koronarsinus (CS) positioniert. Nur bei Patienten mit linksthorakal implantiertem Schrittmacher oder Defibrillator wurde eine alternative Vene wie die V. jugularis dextra oder die V. subclavia dextra für die Platzierung des CS-Katheters gewählt. Die initiale Position des His-Katheters am Trikuspidalklappenring wurde so gewählt, dass eine parahissäre Stimulation ermöglicht wurde (26). Er konnte für die weitere Diagnostik um den Trikuspidalklappenring platziert werden, um das rechte Atrium abzubilden (Abb. 4).

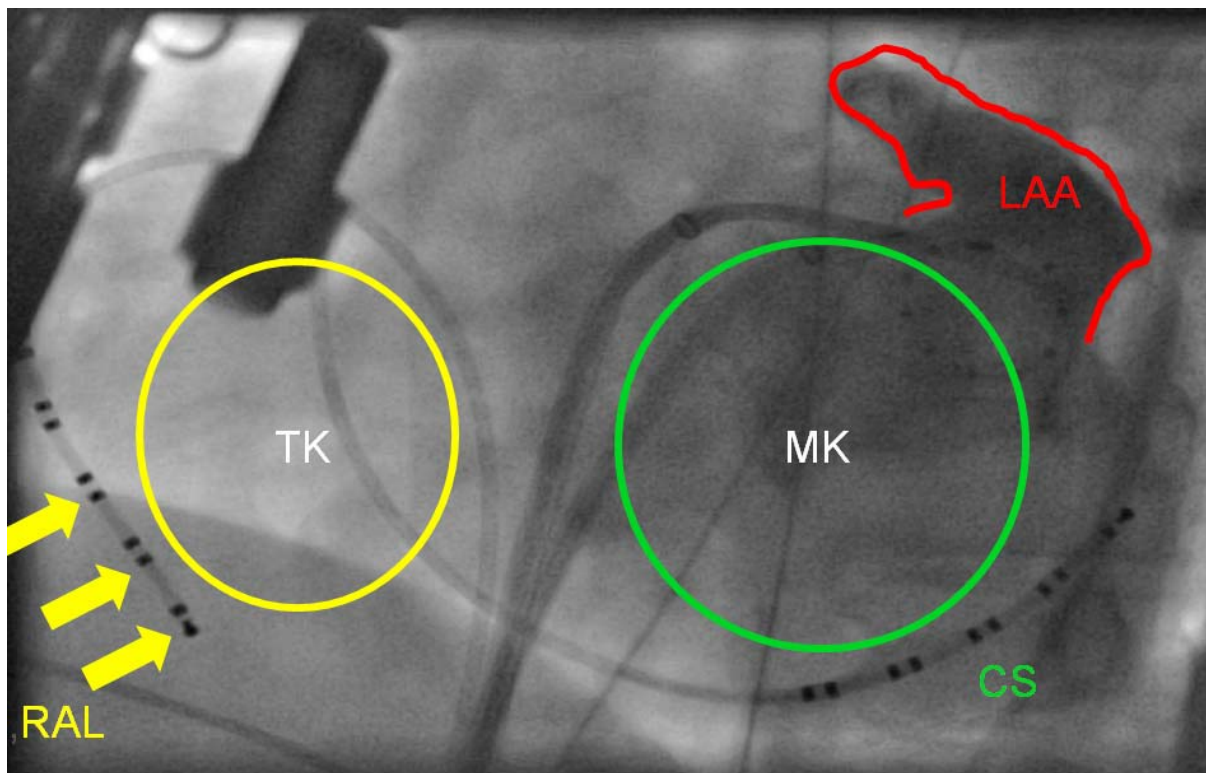


Abb. 4: Blick in linksschräger Projektion (40 Grad). Der ursprünglich am His-Bündel liegende dekapolare Katheter ist an die laterale Wand des rechten Atriums umplatziert (RAL). Der zirkumferentielle Mappingkatheter (Lasso) liegt im Ostium des linken Vorhofes (LAA). Ein dekapolarer Katheter liegt im Koronarsinus (CS). Die Lokalisation des Trikuspidalanulus (TK), des Mitralanulus (MK) und des hier angiographisch dargestellten LAA sind eingezeichnet.

Bei bestehender Tachykardie erfolgte ein „Entrainment“ vom rechten Atrium und vom proximalen und distalen CS (27,28). Das Postpacingintervall (PPI) und die Aktivierungssequenz der Tachykardie wurden analysiert. Typisches Vorhofflattern oder eine rechtsseitige AMRT wurden ausgeschlossen bei einem PPI von mehr als 50 ms über der Tachykardiezykluslänge im Bereich der freien Wand des rechten Atriums und vom inferolateralen kavo-trikuspidalen Isthmus sowie von weiteren rechtsatrialen Positionen mit Ausnahme des intraatrialen Septums.

Bei initial bestehendem Sinusrhythmus erfolgte die elektrophysiologische Untersuchung mittels programmierter Stimulation (29) vom CS und vom distalen, im basalen rechten Ventrikel platzierten His-Katheter-Pol, um die Tachykardie zu induzieren. Wenn keine anhaltende Tachykardie induzierbar war, wurde Orciprenalin zur Provokation verabreicht und das Studienprotokoll wiederholt.

Bei persistierendem VHF konnte entweder eine Kardioversion erfolgen und es wurde anschließend das Protokoll wie im Sinusrhythmus verfolgt. Alternativ erfolgte bei VHF direkt eine PVI.

2.5. Definition von linksatrialen Makroentrytachykardien

Der Tachykardiemechanismus wurde entsprechend dem gegenwärtigen Expertenkonsensus zur Klassifikation von atrialen Tachykardien definiert (23,30). Eine Arrhythmie wurde als linksatriale Makroentrytachykardie definiert, wenn die Aktivierung über die gesamte Zykluslänge der Tachykardie im linken Atrium aufgezeichnet werden konnte. Ein „Entrainment“ mit einem PPI, das der Tachykardiezykluslänge entsprach, musste an mehreren separaten Segmenten innerhalb des Tachykardiekreises im linken Atrium nachweisbar sein.

2.6. Auswahl der Ablationsstrategie bei postinterventionellen linksatrialen Makroentrytachykardien

Handelte es sich bei der LAMRT um eine Pulmonalvenentachykardie, die durch mindestens zwei Lücken in der zirkumferentiellen Ablationslinie mit einem Eintritts- und einem Austrittsbereich hervorgerufen wurde, wurden nur diese Lücken durch Reablation geschlossen. Bei allen anderen postinterventionellen LAMRT erfolgten lineare Läsionen und zusätzlich eine Isolation der Pulmonalvenen bei Lücken in den Ablationslinien. Eine komplette antrale zirkumferentielle PVI wurde bei Patienten nach zu distal erfolgter intraoperativer chirurgischer PVI durchgeführt (Abb. 5).

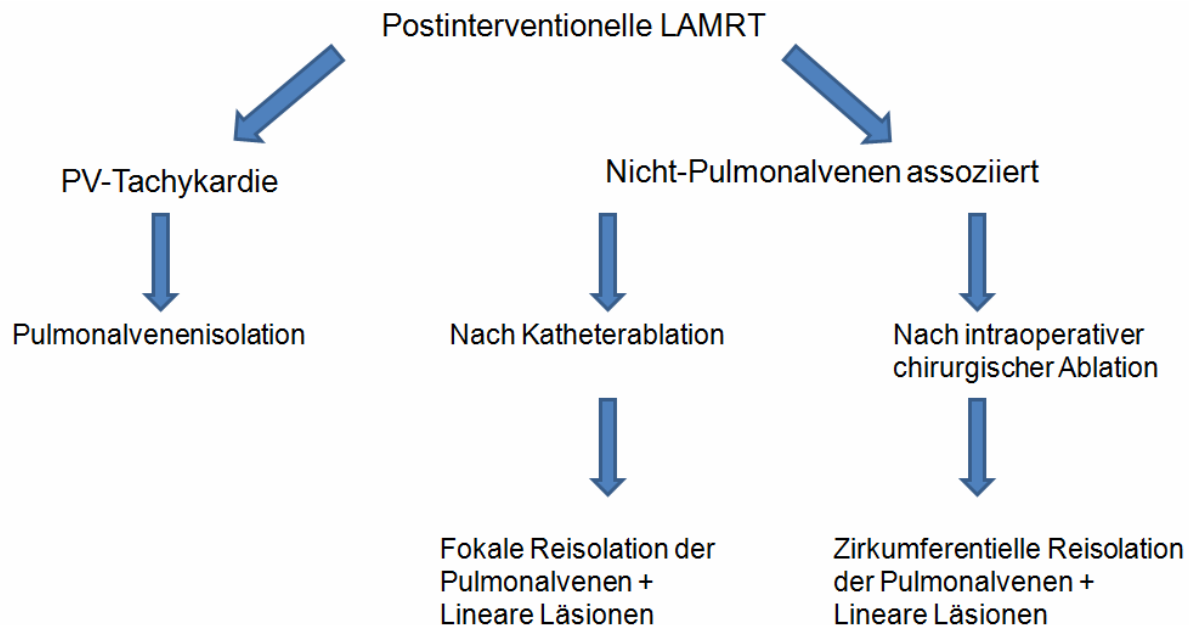


Abb. 5: Auswahl der Ablationsstrategie bei postinterventionellen linksatrialen Makroreentrytachykardien (LAMRT), PV=Pulmonalvenen

2.7. Auswahl der Ablationsstrategie bei spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien

Es wurden drei unterschiedliche Ablationsstrategien verfolgt:

- Serie 1: Lineare Läsion im mittdiastolischen Isthmus
- Serie 2: Lineare zirkumferentielle Läsion zur PVI und Ablation von Foci außerhalb der Pulmonalvenen
- Serie 3: Kombination aus linearer Läsion im mittdiastolischen Isthmus und zirkumferentieller PVI

Bei bestehender stabiler LAMRT wurden die Patienten konsekutiv der Serie 1), 2) oder 3) zugeordnet.

Eine Ablation entsprechend 2) wurde bei persistierendem VHF zum Zeitpunkt der Ablation, bei erfolglosen Versuchen, die klinisch dokumentierte Tachykardie zu induzieren und bei mehreren instabilen und ineinander übergehenden LAMRT als Strategie gewählt.

2.8. Transseptale Punktion

Die transseptale Punktion wurde mit Hilfe einer speziellen Punktionsnadel (BRK oder BRK-1, St. Jude Medical Inc., St. Paul, Minnesota, USA) und einer langen Schleuse (SL1, St. Jude Medical Inc., St. Paul, Minnesota, USA) unter Röntgendurchleuchtung im Bereich der Fossa ovalis durchgeführt. Als röntgenanatomische Orientierungshilfen dienten der CS- und der His-Bündel-Katheter (31). Mit Hilfe einer invasiven Druckmessung wurde die korrekte Lage der Schleuse im linken Atrium bestätigt. Für die LAMRT-Ablationen erfolgten zwei transseptale Punktionen. Durch eine Schleuse wurde der Ablationskatheter, durch die andere Schleuse ein Mapping-Katheter (Lasso oder Webster D, Biosense Webster, Diamond Bar, CA, USA) im linken Atrium platziert.

Nach transseptaler Punktion erfolgte die Gabe eines Bolus von 5000 IE bis 7000 IE Heparin gefolgt von weiteren Bolusgaben, um eine activated clotting time (ACT) von 250 bis 350 s über den Verlauf der Untersuchung zu gewährleisten. Zusätzlich wurden die SL1-Schleusen mit einer heparinisierten Kochsalzlösung (500 IE Heparin je 50 ml isotoner Kochsalzlösung) mit einer Flussrate von 10 ml/h gespült, um eine Thrombusformation zu vermeiden.

2.9. Pulmonalvenenangiogramm

Eine selektive Pulmonalvenen-Angiographie wurde vor der Ablation durchgeführt und in Hinblick auf Morphologie, Ostiumlokalisierung und Stenose beurteilt.

Dazu wurden nach Intubation der Vene mit einem 7F-Multipurpose-Katheter 5 bis 10 ml röntgendichtes Kontrastmittel injiziert und die Bilder in links- und rechtsschräger Standardprojektion (RAO 30 Grad, LAO 40 Grad) mit 15 Bildern/s aufgezeichnet.

2.10. Annotation

Die Verwendung eines dreidimensionalen Mappingsystems (Carto XP oder Carto 3, Biosense Webster, Diamond Bar, CA, USA oder NavX, St. Jude Medical Inc., St. Paul, Minnesota, USA) erforderte die Festlegung eines Mappingfensters. Bei bestehender Tachykardie wurde ein stabiles CS-Elektrogramm als Referenz bestimmt und das Mappingfenster so gewählt, dass der diastolische Bereich und etwa 90 bis 95% der Zykluslänge der LAMRT abgebildet wurden (32). Bei Sinusrhythmus, atrialer Stimulation oder während VHF wurde die Annotation so gewählt, dass die atrialen Signale kontinuierlich im Mapping-Fenster lagen.

2.11. Mapping

Bei Verwendung eines dreidimensionalen Mappingsystems wurde zuerst die linksatriale Geometrie rekonstruiert, das bei Erreichen einer zum Verständnis der Tachykardie oder des zugrundeliegenden Substrates ausreichenden Punktedichte (> 100 Punkte) abgeschlossen wurde. Bei bestehender LAMRT wurde ein Aktivierungsmap erstellt, der mittdiastolische Isthmus der Tachykardie identifiziert, farblich kodiert dargestellt und dann nochmals genauer Punkt-für-Punkt gemappt (Abb. 6). Besonderer Wert wurde beim Mapping auf die Darstellung der gesamten Tachykardie-Zykluslänge gelegt. Punkte wurden entfernt, wenn sie nicht der P-Wellen-Morphologie der zu untersuchenden Tachykardie im Oberflächen-EKG entsprachen.

Vor der Durchführung einer PVI wurden nach der Rekonstruktion des linken Atriums die Pulmonalvenenostien markiert.

Bei konventioneller Ablation einer bestehenden LAMRT erfolgte ein sequentielles Mapping und Identifizierung des mittdiastolischen Isthmus über "Entrainment"-Manöver vom Ablationskatheter (Abb. 7).

Bei Bestimmung des Vorhofvolumens mit Hilfe des Mapping-Systems wurden die Bereiche der Pulmonalvenen (ab dem Antrum) und des linken Vorhofohrs nicht berücksichtigt, da diese die Orientierung bei der Ablation einschränken und daher aus dem Map entfernt wurden.

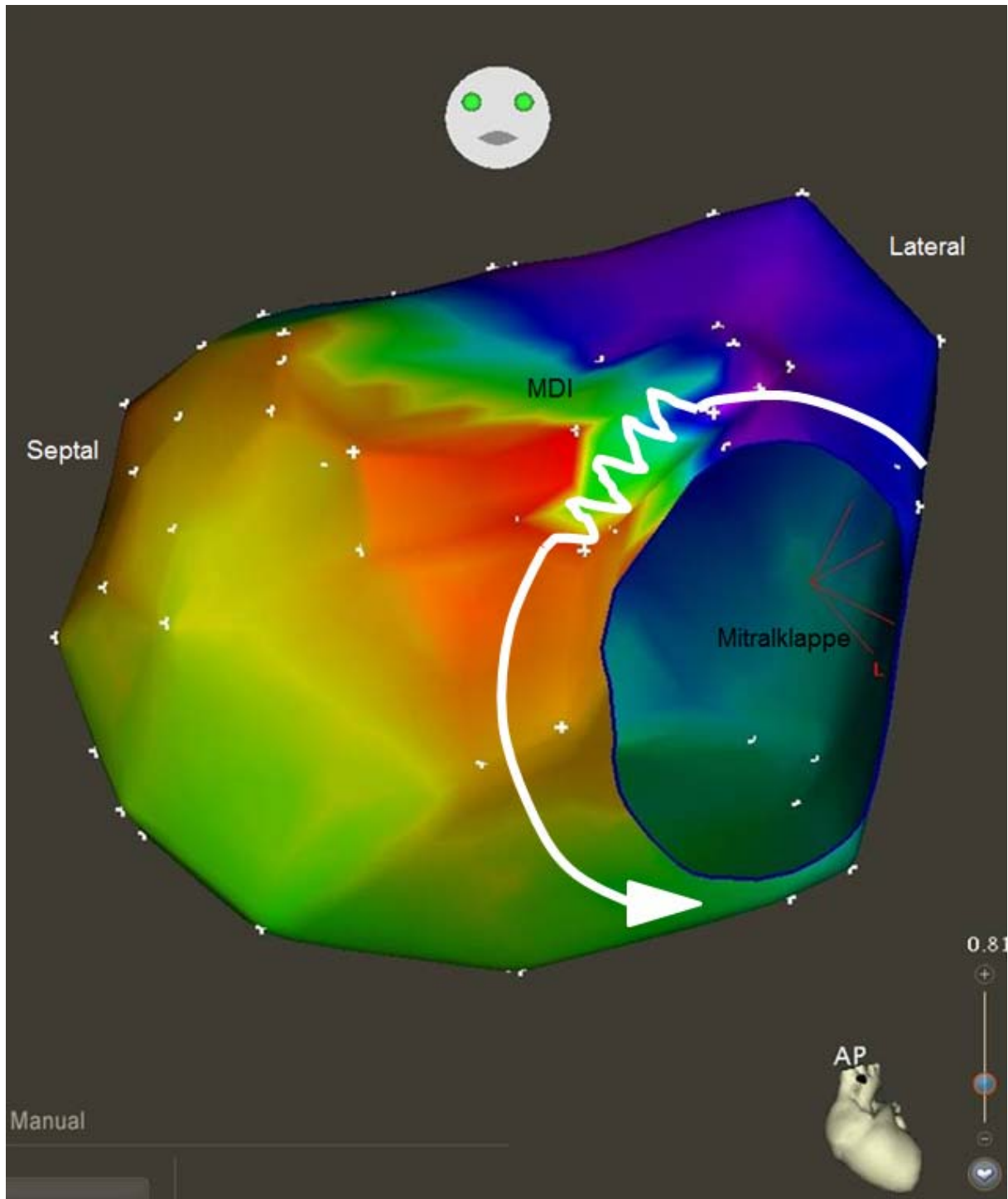


Abb. 6: Blick von vorn auf den linken Vorhof und die Mitralklappe. Elektroanatomisches Aktivierungsmap (Carto) bei spontanem counterclockwise Mitralklappenflattern. Man erkennt den mittdiastolischen Isthmus (MDI) im Bereich des oberen interatrialen Septums zwischen den frühen (roten) und späten (violetten) Potentialen. Schematisch durch die weiße Linie dargestellt sind der Tachykardiekreis und die Bereiche der Leitungsverzögerung (mäanderförmiger Anteil).

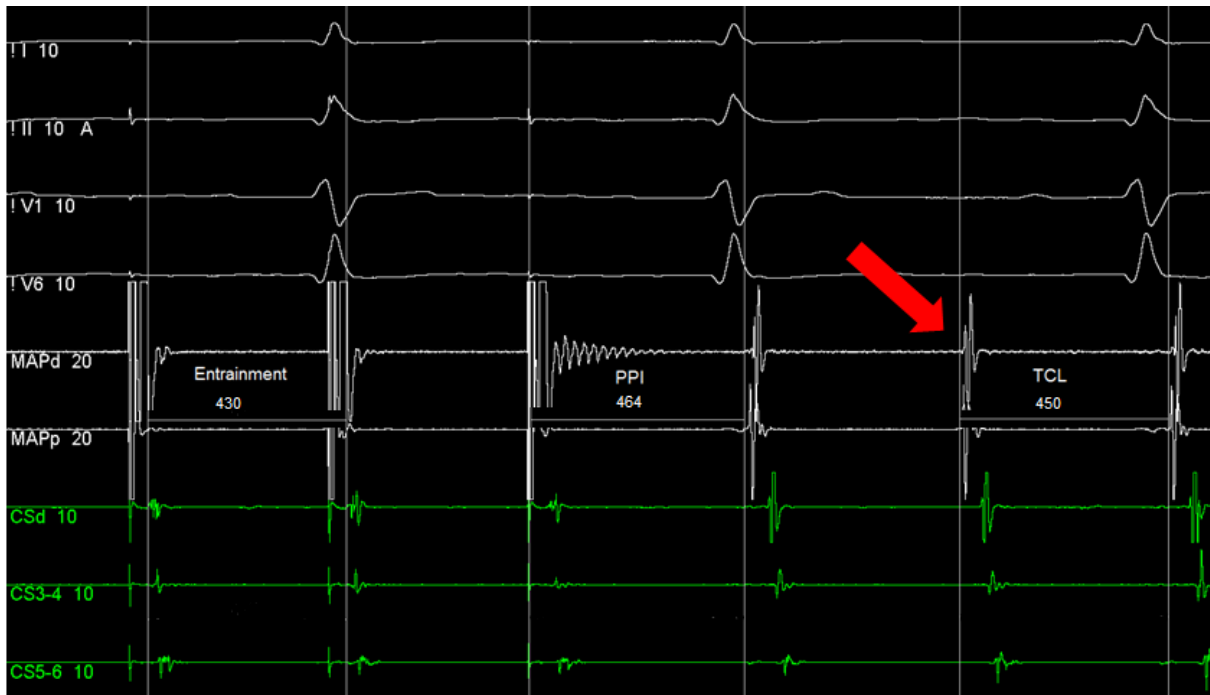


Abb. 7: *Entrainment einer LAMRT mit einer Zykluslänge von 450 ms (TCL=Tachykardiezykluslänge) im Bereich des Mitralisthmus. Der Ablationskatheter (Map) zeigt ein diastolisches, unfraktioniertes Signal (roter Pfeil). Die Tachykardie wird auf die Stimulationszykluslänge akzelleriert (430 ms, Entrainment). Nach Beendigung der Stimulation zeigt sich ein kurzes Postpacingintervall (PPI, 14 ms länger als die TCL). Die Aktivierungssequenz der Tachykardie bleibt unverändert (concealed entrainment). Dargestellt sind mit I, II, V1 und V6 Ableitungen des Oberflächen-EKG, Map=Ablationskatheter, CS=Koronarsinuskatheter*

2.12. Definition von strukturell veränderten und elektrisch stummen Arealen

Die verwendeten dreidimensionalen Systeme erlauben die Darstellung eines sogenannten voltage map, das die Amplitude des lokalen bipolaren Signales farblich kodiert darstellt (33-35). Fibrosierte Bereiche zeigen eine niedrige Amplitude (34) und eine reduzierte Leitungsgeschwindigkeit (35). Darauf aufbauend wurden Bereiche mit niedriger Amplitude wie vorbeschrieben definiert (36-38) mit einer lokalen Elektrogramm-Amplitude $< 0,5$ mV. Bereiche ohne lokale bipolare Elektrogrammaktivität oder mit einer lokalen Elektrogrammamplitude $< 0,05$ mV wurden als Areale mit fehlenden abgrenzbaren elektrischen Signalen definiert. Als elektrisch stumme Areale im Sinne einer Narbe wurden Areale mit fehlenden abgrenzbaren elektrischen Signalen und gleichzeitigem vollständigen Stimulationsverlust bei maximaler Stimulationsamplitude definiert (1). Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, wurde bei diesen Lokalisationen besonderer Wert auf stabilen Katheter-Wand-Kontakt gelegt, der ggf. fluoroskopisch überprüft wurde. Eine Reevaluation dieser Bereiche erfolgte während Sinusrhythmus.

Die lokale bipolare Elektrogrammamplitude wurde vom maximal negativen zum maximal positiven Wert (peak-to-peak) gemessen bei einer Filterung von 30-500 Hz.

2.13. Katheterablation

Die Katheterablation erfolgte mit einem offen gekühlten Radiofrequenzkatheter (Navistar Thermocool, Biosense Webster, Diamond Bar, CA, USA oder Thermocool Path Duo, St. Jude Medical Inc., St. Paul, Minnesota, USA) mit einem Temperaturmaximum von 43°C und einer Leistungsbegrenzung von 25 bis 40 W bei einer Flussrate von 17 bis 30 ml/min. Die Radiofrequenz-Energieabgabe erfolgte über mindestens 30 Sekunden pro Ablationsort, bis sich die lokale Elektrogrammamplitude um mindestens 70 % reduziert hatte oder lokale Doppelpotentiale erkennbar waren.

Zum Schutz vor einem exzessiven Temperaturanstieg wurde eine Temperatursonde mit einem Warnlimit von 39 °C in der Speiseröhre in der Höhe des linken Vorhofes platziert.

2.14. Endpunkte der Ablation

2.14.1. Bidirektionaler Leitungsblock bei linearen Läsionen

Bei linearen Läsionen erfolgten Ablationen, bis an der gesamten Linie kein lokales Elektrogramm mehr nachweisbar war und ein bidirektionaler Leitungsblock dokumentiert wurde. Dazu wurde unmittelbar neben der Läsion stimuliert und es wurden die Aktivierungszeit und -sequenz auf der kontralateralen Seite der Läsion und ggf. Doppelpotentiale beurteilt (Abb. 8 am Beispiel eines Blockes im Mitralisthmus).

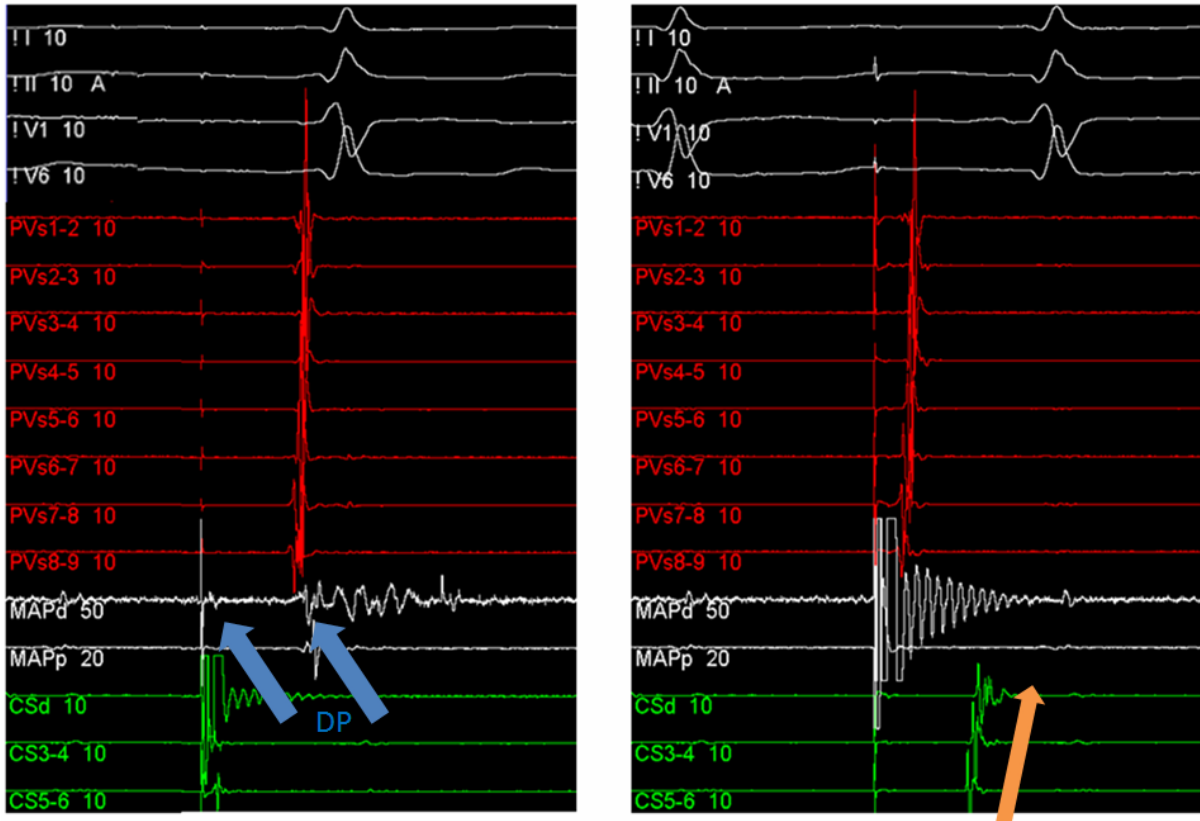


Abb. 8: Bidirektionaler Block am Beispiel des Mitralisthmus. Der Lasso-Katheter (PV 1-10) liegt superior der Linie im linken Vorhof, der distale Pol des Koronarsinuskatheters (CS d) liegt inferior der Mitralisthmuslinie. Der Ablationskatheter (Map) liegt unmittelbar superior der Linie. Im linken Bildteil erfolgt die Stimulation vom distalen Koronarsinus. Der Ablationskatheter wird später aktiviert als der Katheter im Vorhof und es sind weit separierte Doppelpotentiale (DP, blaue Pfeile) erkennbar. Im rechten Bildteil wird superior der Linie über den Ablationskatheter stimuliert. Man erkennt im Koronarsinus eine Aktivierungssequenz von proximal (CS 5-6) nach distal (CS d) (beiger Pfeil). Dargestellt sind jeweils 4 Ableitungen des Oberflächen-EKG (I, II, V1 und V6) sowie Ableitungen aus dem Vorhof (PV 1-10), vom Ablationskatheter (Map) und vom Koronarsinuskatheter (CS)

2.14.2. Pulmonalvenenisolation

Die PVI erfolgte wie vorbeschrieben durch eine zirkumferentielle Ablation (39,40). Nach Isolation mit Dokumentation eines Entrance- und Exit-Blockes erfolgte zur Differenzierung residueller Potentiale eine differentielle Stimulation. Bei der PVI erfolgte die Ablation ca. 0,5 bis 1 cm entfernt vom angiographisch definierten Ostium.

2.15. Klinisches Protokoll

Für alle Ablationen wurden allgemeine Patientendaten, kardiale und begleitende Erkrankungen, die Art der Arrhythmie, ein Basis-EKG und die Daten der Ablationsprozedur dokumentiert.

Bei allen Patienten erfolgte vor der Untersuchung eine transösophageale Echokardiographie zum Ausschluss intrakardialer Thromben.

Nach der Ablation wurden alle Patienten telemetrisch überwacht. Am Tag nach der Ablation erfolgte eine transthorakale Echokardiographie zum Ausschluss eines Perikardergusses und ggf. die Implantation eines Ereignisrekorders (Reveal XT, Medtronic, Minneapolis, Minnesota, USA oder AF Confirm, St. Jude Medical Inc., St. Paul, Minnesota, USA). Die Patienten wurden für drei Monate oral antikoaguliert. Anschließend wurde die Antikoagulation nach CHADS₂-Score fortgeführt oder bei einem Score von null oder einem Punkt beendet. Die antiarrhythmische Medikation wurde für drei Monate fortgesetzt und dann bei Rezidivfreiheit abgesetzt.

Klinische Kontrollen erfolgten drei, sechs und 12 Monate nach Ablation. Dabei wurden ein EKG und die klinische Symptomatik erfasst. Die Rhythmuskontrolle erfolgte durch ein Mehrtage-Langzeit-EKG (drei bis maximal sieben Tage) zu den klinischen Kontrollen oder durch Abfrage der Daten des implantierten Ereignisrekorders oder DDD-Gerätes.

Alle peri- und postinterventionellen Komplikationen wurden erfasst.

2.16. Endpunkte der Untersuchung

2.16.1. Primärer Endpunkt

Auftreten aller atrialer Arrhythmien nach Ablation

2.16.2. Sekundärer Endpunkt

Auftreten von LAMRT nach Ablation

2.17. Statistik

Alle Daten wurden tabellarisch erfasst und mit der Statistik-Software SPSS Version 11.5 ausgewertet. Die Auswertung umfasste zum Teil deskriptive Analysen in Form von Häufigkeitsaufzählungen des gesamten Kollektivs und von Subgruppen. Alle quantitativen, metrischen Daten wurden in Form von Mittelwert \pm Standardabweichung dargestellt.

Alle erhobenen Variablen und Prozedurdaten wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test auf Signifikanz zwischen den Ablationsgruppen überprüft. Bei Signifikanz wurde der Mann-Whitney-U-Test zum Vergleich der einzelnen Gruppen angewandt.

Die Ereignisraten und Überlebenskurven wurden mittels Kaplan-Meier-Methode beschrieben und mit Hilfe des Log-Rang-Tests verglichen.

Als Signifikanzniveau bei den statistischen Tests wurde eine zweiseitige Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ (alle p-Werte $< 0,05$ gelten als signifikant) angenommen.

3. Resultate

3.1. Patienten mit postinterventioneller oder spontaner linksatrialer Makroentrytachykardie

Insgesamt wurden 65 Patienten (39 Männer, 26 Frauen, mittleres Alter $64 \pm 9,6$ Jahre, 42-80 Jahre) mit LAMRT in diese Beobachtungsstudie eingeschlossen. Von diesen wurden 37 Patienten (24 Männer, 13 Frauen, $63 \pm 8,6$ Jahre, 44-75 Jahre) mit postinterventionellen LAMRT und 28 Patienten (15 Männer, 13 Frauen, $66 \pm 10,65$ Jahre, 42-80 Jahre) mit spontanen LAMRT behandelt.

Eine strukturelle Herzerkrankung lag bei 12 Patienten (37,4 %) mit postinterventionellen LAMRT und 13 Patienten (46,4 %) mit spontanen LAMRT vor. Zwei Patienten mit spontaner LAMRT hatten anamnestisch eine aortokoronare Bypassversorgung (1 bzw. 14 Jahre vor Ablation).

Eine Übersicht über die Basisdaten der beiden LAMRT-Gruppen zeigt Tab. 1. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Patienten mit postinterventionellen LAMRT und den Patienten mit spontaner LAMRT besteht nur hinsichtlich der Häufigkeit von vorbestehendem VHF.

Tab. 1: Basisdaten der Patienten mit postinterventionellen linksatrialen Makroentrytachykardien (LAMRT) und spontanen linksatrialen Makroentrytachykardien (LAMRT), VHF = Vorhofflimmern, LVEF = linksventrikuläre Pumpfunktion, ns= nicht signifikant.

	Postinterventionelle LAMRT	Spontane LAMRT	p
Anzahl Patienten n	37	28	
Alter (Jahre)	63 ± 8,6	66 ± 10,65	ns
Männer (%)	64,9	53,6	ns
Zykluslänge der Tachykardie (ms)	310,1 ± 77,8	289,4 ± 69,2	ns
Vorbestehendes VHF n	37 (100 %)	15 (53,6 %)	< 0,05
Durchschnittliches CHADS ₂ -Score	1,2 ± 1,1	1,6 ± 1,0	ns
Durchschnittliches HATCH-Score	1,2 ± 1	1,7 ± 1,1	ns
LVEF (%)	55,4 ± 9	52,8 ± 11,7	ns
Strukturelle Herzerkrankung n	12 (37,4 %)	13 (46,4 %)	ns
Mittleres Nachsorgeintervall (Monate)	11,0 ± 8,8	12,2 ± 11,1	

Die Patienten mit postinterventionellen LAMRT hatten alle VHF in der Anamnese, was die Indikation und für die vorangegangene intraoperative oder kathetergestützte Ablation darstellte. Nur bei 15 Patienten (53,6 %) mit einer spontanen LAMRT war VHF bekannt.

3.2. Postinterventionelle linksatriale Makroentrytachykardien

3.2.1. Patienten

Zwischen 2008 und 2011 stieg die Anzahl der PVI von 49 auf 212 (Abb. 9 A). Mit diesem Anstieg der Ablationen bei VHF kam es zu einer stetigen Zunahme der postinterventionellen LAMRT (Abb. 9 B).

Die initiale Therapie des VHF vor Auftreten der postinterventionellen LAMRT bestand bei sieben Patienten (18,9 %) in einer intraoperativen chirurgischen Ablation, bei 20 Patienten (54,1 %) in einer kathetergestützten PVI und bei 10 Patienten (27 %) in einer Kombination

aus kathetergestützter PVI und linksatrialen linearen Läsionen; 10 von 37 Patienten hatten einen DDD-Schrittmacher/-ICD oder einen implantierten Ereignisrekorder.

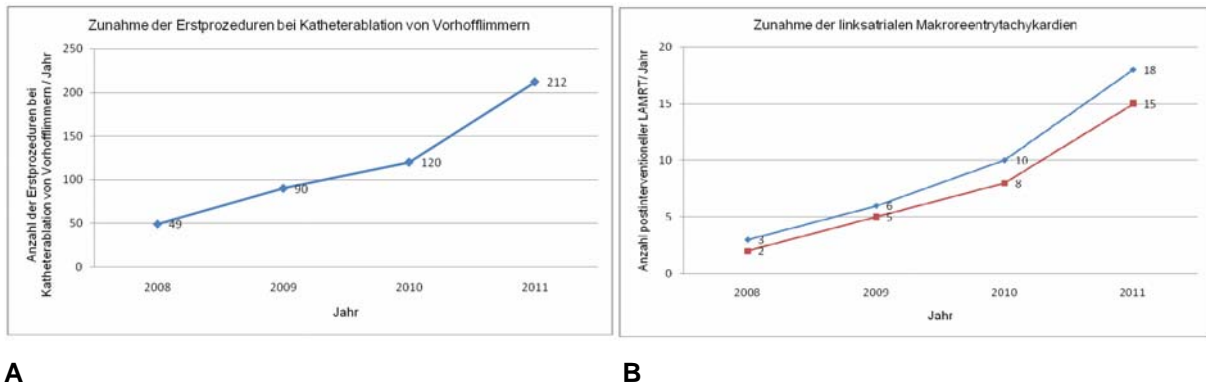


Abb. 9: Zunahme der Vorhofflimmerablationen seit 2008 (A) und Zunahme der postinterventionellen linksatrialen Makroreentrytachykardien pro Jahr (B): blaue Linie zeigt alle LAMRT, rote Linie zeigt LAMRT nach Katheterablation. LAMRT = linksatriale Makroreentrytachykardie

Die Anzahl der Katheterablationszahlen ist in Abb. 10 dargestellt. Obwohl eine PVI mit linearen Läsionen nur bei 8 % der Patienten durchgeführt wurde, sind Patienten mit dieser Vortherapie für 33 % der LAMRT nach Katheterintervention verantwortlich.

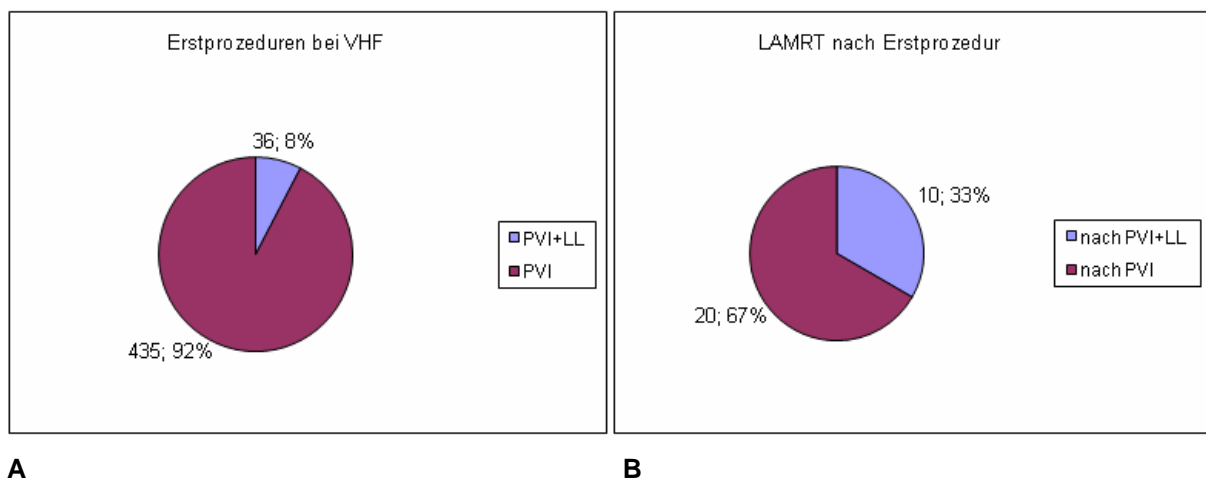


Abb. 10: Anzahl der Erstprozeduren von Katheterablationen bei VHF (A) und Anteil der postinterventionellen linksatrialen Makroreentrytachykardien (B) nach initialer Ablationsstrategie

Nur 4,6 % der Patienten nach PVI im Gegensatz zu 27,8 % nach Kombination von PVI mit linearen Läsionen entwickelten eine LAMRT. Die ausgedehnte Ablationsprozedur mit PVI und linearen Läsionen führte demnach zu einer Versechsfachung des Auftretens einer postinterventionellen LAMRT.

3.2.2. Elektrophysiologische Untersuchung und Ablation

Bei 31 von 37 Patienten (83,8 %) mit postinterventioneller LAMRT zeigte sich in der elektrophysiologischen Untersuchung ein Leitungsrezidiv in die Pulmonalvenen.

Von den 10 Patienten nach PVI mit linearen Läsionen fanden sich bei sechs Patienten Leitungsrezidive sowohl in die Pulmonalvenen als auch in mindestens einer linearen Läsion, bei einem Patienten bestand nur ein Leitungsrezidiv in die Pulmonalvenen ohne Lücke in den linearen Läsionen. Bei drei der 10 Patienten bestand kein Leitungsrezidiv in die Pulmonalvenen, jedoch fand sich eine Lücke in mindestens einer linearen Läsion. Somit hatten neun von 10 Patienten (90 %) mit postinterventioneller LAMRT eine Lücke in einer linearen Läsion. Insgesamt wurden bei den 10 Patienten in der initialen Prozedur 19 lineare Läsionen appliziert. Davon zeigten 15 ein Leitungsrezidiv (78,9 %).

Bei drei der 37 Patienten (8,1 %) lag eine Pulmonalvenentachykardie durch mindestens zwei Lücken in der Ablationslinie vor, so dass nur die Pulmonalvenen isoliert wurden. Bei den übrigen 34 Patienten (91,9 %) erfolgte zusätzlich zur PVI mindestens eine lineare Läsion oder die Komplettierung einer vorhandenen linearen Läsion.

Abb. 11 zeigt ein Beispiel eines Mitralklappenflatters im Uhrzeigersinn nach PVI und septaler linearer Läsion. Im bipolaren Map ist in der linearen Läsion eine Insel mit intakten Potentialen erkennbar, die der Lokalisation des Leitungsrezidives entsprach. Die Ablation terminierte die LAMRT (Abb. 11).

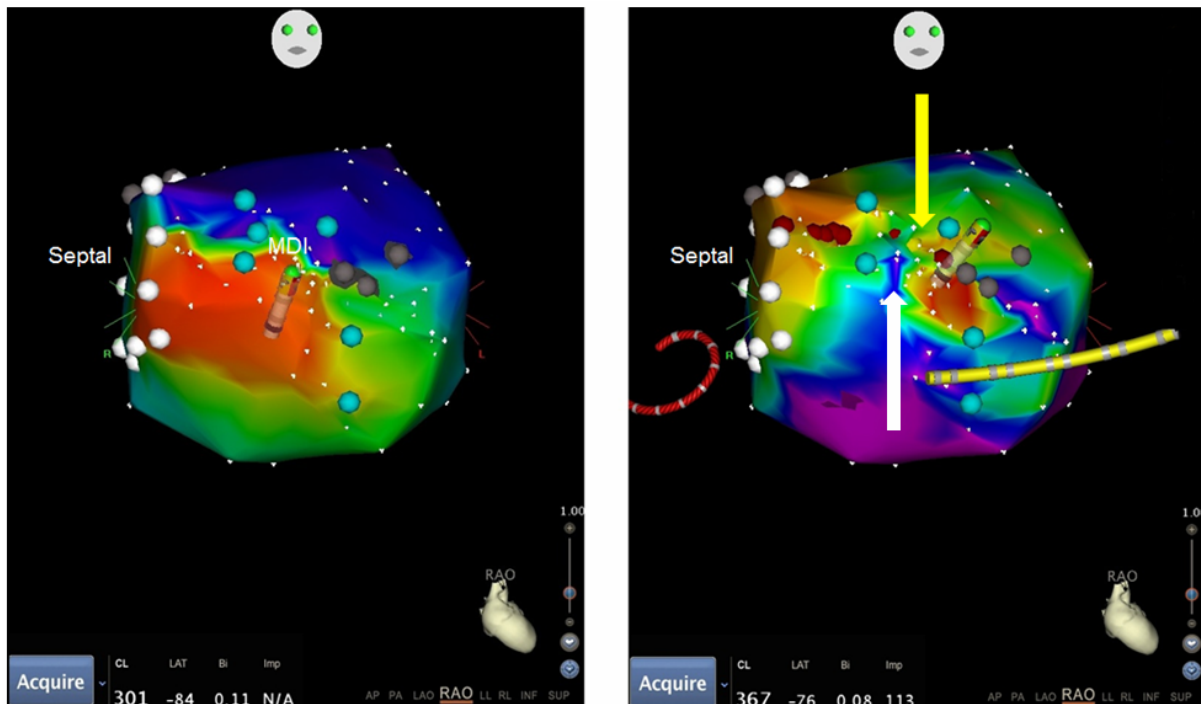


Abb. 11: Mitralklappenflattern nach Pulmonalvenenisolation und septaler linearer Läsion. Blick in rechtsschräger Position. Im linken Bildteil ist ein Aktivierungsmap dargestellt. Deutlich erkennbar ist der mittidiastolische Bereich (MDI) mit früher (rot) und später (blau-violett) Aktivierung. Das bipolare Map zeigt in der septalen Linie eine Insel (blau-violett, weißer Pfeil) mit intakten Potentialen, die der Lokalisation des Leitungsrezidives entsprach. Die Ablation terminiert die LAMRT (gelber Punkt und gelber Pfeil in der septalen Linie im rechten Bild).

3.2.3. Untersuchungsdaten

Die Untersuchungsdaten sind durch den unterschiedlichen Aufwand zur Ablation der verschiedenen Tachykardieformen sehr heterogen. Die durchschnittliche Durchleuchtungszeit (DLZ) lag bei $38,4 \pm 17,7$ min. Dabei wurde im Durchschnitt ein Flächendosisprodukt von 7686 ± 7896 cGycm² benötigt und eine Energie von $98,6 \pm 54,8$ kJ abgegeben.

3.2.4. Akuter Ablationserfolg

Bei fünf Patienten waren die Pulmonalvenen durch die vorangegangene Ablation isoliert. Bei den übrigen 32 der 37 Patienten wurden die Lücken in den Ablationslinien erfolgreich geschlossen, so dass am Ende der Untersuchung bei allen Patienten die Pulmonalvenen isoliert waren.

Bei 34 der 37 Patienten wurden insgesamt 74 lineare Läsionen ($2,2 \pm 0,8$ lineare Läsionen/Patient) appliziert. Dabei konnten 63 lineare Läsionen (85,1 %) komplett bidirektional von

endokardial geblockt werden. Bei 27 Patienten wurde entweder erstmalig eine lineare Läsion oder zusätzlich zu einer bestehenden linearen Läsion eine septale oder Mitralisthmuslinie durchgeführt. Eine Komplettierung der Linie konnte bei sechs Patienten am Mitralisthmus (42,8 % der Mitralisthmuslinien, einmal lediglich temporärer Block, viermal Leitungsverzögerung), bei vier Patienten am Septum (16 % der septalen Linien, jeweils nur Leitungsverzögerung) und bei einem Patienten anterior von endokardial nicht erreicht werden. Bei zwei Patienten erfolgte zusätzlich eine linksatriale Defragmentierung.

Der rechtsatriale Isthmus wurde zusätzlich bei 14 Patienten erfolgreich abladiert, bei einem Patienten konnte nur eine Leitungsverzögerung erreicht werden.

3.2.5. Effektivität und Rezidive

Ein Arrhythmie rezidiv trat innerhalb des Nachbeobachtungszeitraumes von $11,0 \pm 8,8$ Monaten bei 13 der 37 Patienten (35,1 %) nach initial erfolgreicher Ablation einer postinterventionellen LAMRT auf.

10 Patienten (27 %) hatten ein Rezidiv der LAMRT oder eine andere Form einer LAMRT, zwei Patienten (5,4 %) hatten VHF oder Vorhofflattern, bei einem Patienten (2,7 %) wurden sowohl VHF als auch eine LAMRT dokumentiert.

Innerhalb des gesamten Nachbeobachtungszeitraumes hatten insgesamt 26 Patienten (70,3 %) kein LAMRT-Rezidiv. 22 Patienten (64,7 %) nach PVI mit linearen Läsionen und zwei von drei Patienten (66,7 %) nach PVI blieben rezidivfrei (Abb. 12). 19 der 27 Patienten (70,4 %) mit einer erstmaligen linearen Läsion oder neuen septalen oder Mitralisthmuslinie hatten kein LAMRT-Rezidiv.

Von den 10 Patienten, die bereits in der Primärprozedur PVI und lineare Läsionen erhielten, hatten sieben Patienten (70 %) nach erneuter Ablation kein Arrhythmie rezidiv, hingegen hatten drei eine LAMRT und niemand hatte VHF.

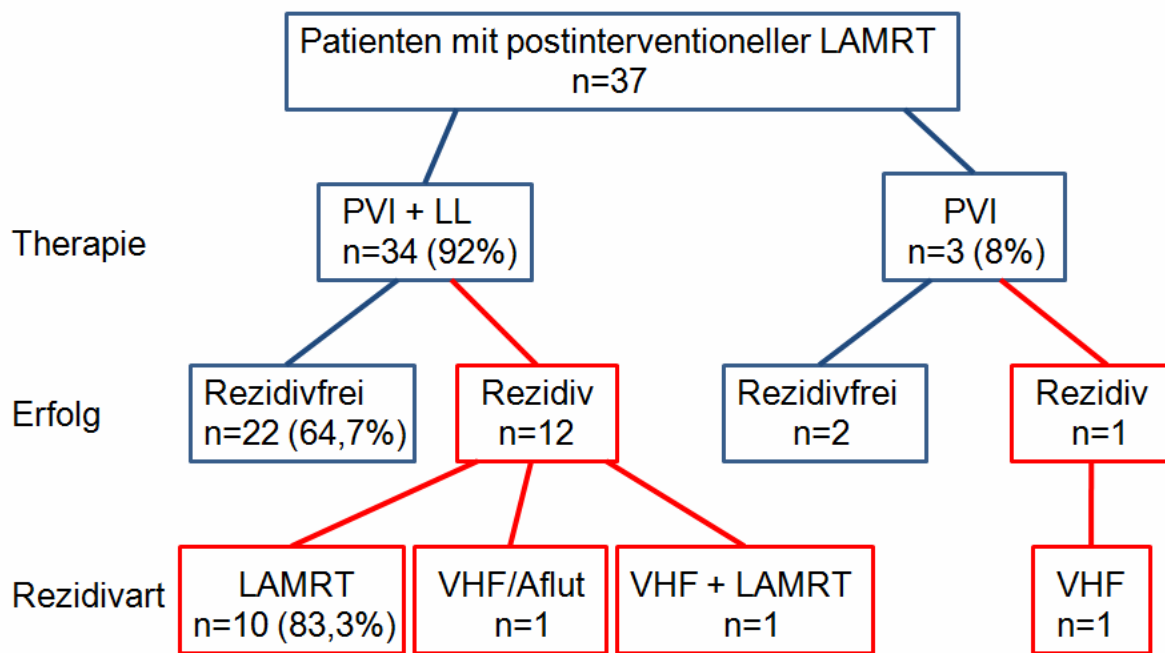


Abb. 12: Übersicht über die Therapie und die aufgetretenen Rezidive für Patienten mit postinterventionellen linksatrialen Makroentrytachykardien. LAMRT= linksatriale Makroentrytachykardie, VHF = Vorhofflimmern, Aflut = Vorhofflattern, PVI = Pulmonalvenenisolation, LL = lineare Läsion, n = Anzahl.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Rezidiven nach Ablation zeigen die Abb. 13 A (alle Arrhythmien) und 13 B (LAMRT). Nach 12 Monaten waren 67,7 % der Patienten frei von jeglicher Arrhythmie und 71,0 % frei von einer LAMRT. Die mediane Zeit der Arrhythmiefreiheit beträgt 15,1 Monate, die mediane Zeit der LAMRT-Freiheit 17,0 Monate.

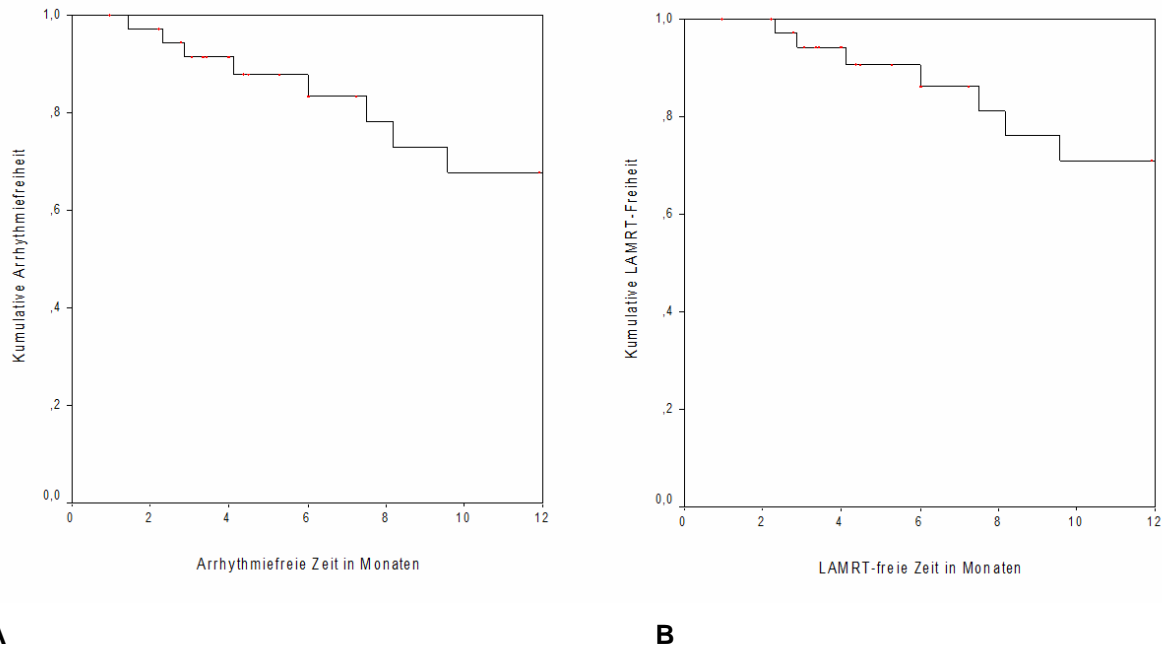


Abb. 13: Die Kaplan-Meier-Kurve zeigt die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer atrialen Arrhythmie (A) und die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer linksatrialen Makroentrytachykardie (LAMRT) nach Katheterablation der LAMRT (B).

3.2.6. Einflussfaktoren auf die Endpunkte

Die Parameter Geschlecht, linksventrikuläre Pumpfunktion, CHADS₂-Score, Vorhandensein eines implantierten Schrittmachers/Ereignisrekorders und Vorhandensein einer strukturellen Herzerkrankung hatten keinen signifikanten Einfluss auf den primären oder sekundären Endpunkt. Ebenso ohne signifikanten Einfluss zeigten sich die linksatrialen Parameter Gesamt-Volumen und Gesamt-Oberfläche des linken Atriums im 3-D-Map, der Median der linksatrialen Potentiale, die niederamplitudigen Bereiche und die Areale mit fehlenden abgrenzbaren elektrischen Signalen.

Das Vorhandensein einer inkompletten Linie hatte keinen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit eines Rezidives.

Eine medikamentöse antiarrhythmische Therapie, die während der Ablation applizierte Energie pro cm Ablationslinie sowie die Länge der Ablationslinie beeinflusst die Endpunkte ebenfalls nicht.

Lediglich das HATCH-Score zeigte eine Beziehung zur Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer atrialen Arrhythmie und einer LAMRT. Bei einem HATCH-Score von zwei oder mehr Punkten steigt das Risiko für Arrhythmien signifikant (p jeweils $< 0,05$, Abb. 14).

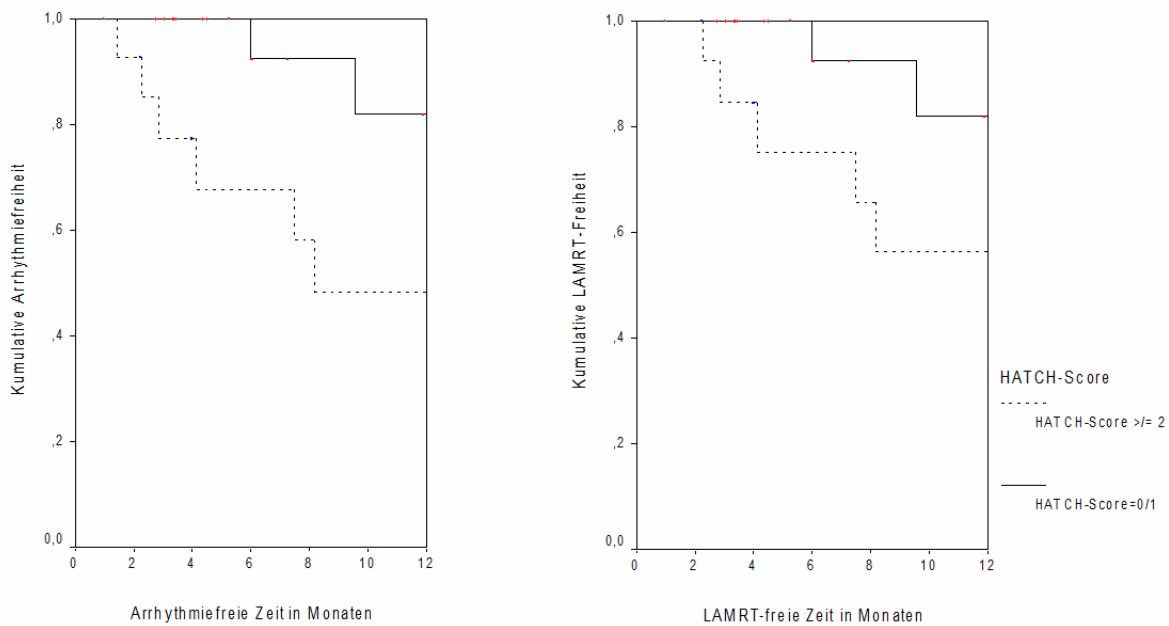
**A****B**

Abb. 14: Arrhythmiefreie Zeit (A) und Freiheit von linksatrialen Makroreentrytachykardien (LAMRT, B) in Abhängigkeit vom HATCH-Score bei Patienten mit postinterventionellen LAMRT

3.3. Spontane linksatriale Makroreentrytachykardien

3.3.1. Patienten und Ablationsstrategie

Die 28 Patienten mit spontanen LAMRT wurden drei unterschiedlichen Ablationsstrategien zugeordnet. Insgesamt konnten klinisch und im Rahmen der elektrophysiologischen Untersuchung 51 LAMRT oder $1,8 \pm 1,3$ LAMRT/Patient dokumentiert werden. Bei sechs Patienten konnte lediglich VHF induziert werden, das sich nur kurzzeitig in eine LAMRT organisierte. Bei neun Patienten trat zusätzlich im Verlauf der Untersuchung typisches Vorhofflattern (davon bei acht Patienten gegen den Uhrzeigersinn, bei einem Patienten im Uhrzeigersinn) auf.

Mit einer linearen Läsion am mittdiastolischen Isthmus der Tachykardie wurden acht Patienten (4 Männer, 4 Frauen, $69,8 \pm 6,7$ Jahre, 59-80 Jahre) mit 13 LAMRT behandelt. Eine zirkumferentielle PVI erfolgte bei neun Patienten (5 Männer, 4 Frauen, $60,6 \pm 11,4$ Jahre, 42-74 Jahre) mit insgesamt 16 LAMRT, die Kombination aus linearen Läsionen und PVI wurde bei 11 Patienten (6 Männer, 5 Frauen, $67,3 \pm 11,4$ Jahre) mit 22 LAMRT angewendet (Abb. 15). 17 Patienten (60,7 %) hatten einen implantierten DDD-Schrittmacher/-ICD oder Ereignisrekorder. Die Nachsorge erfolgte über einen durchschnittlichen Zeitraum von $12,2 \pm 11,1$ Monaten.

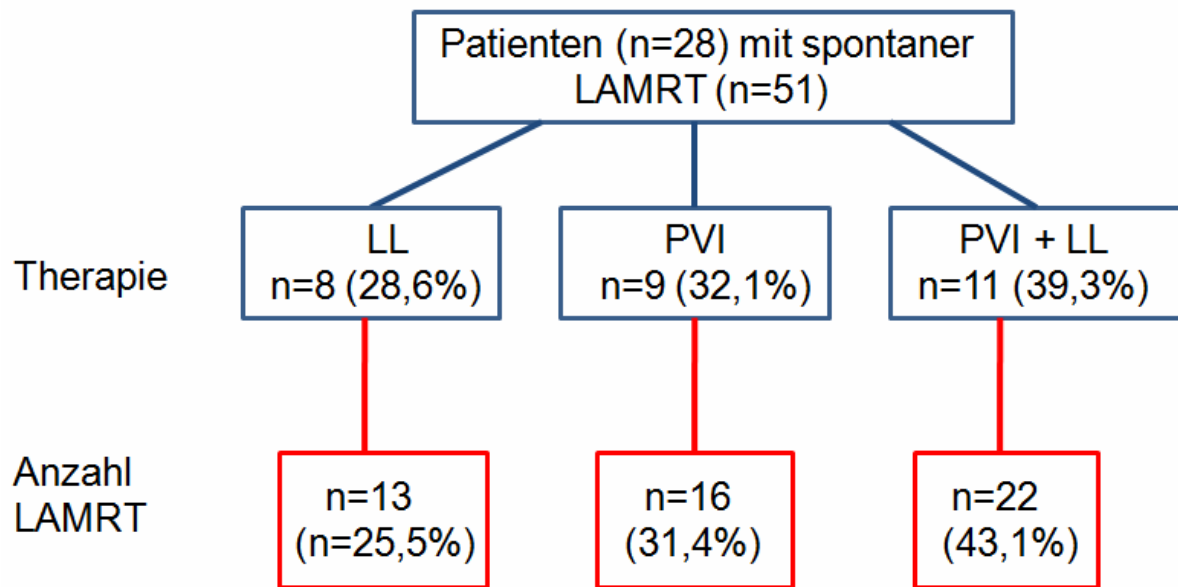


Abb. 15: Verteilung der Patienten mit spontanen linksatrialen Makroentrytachykarden (LAMRT) in den einzelnen Ablationsgruppen mit Angabe der Anzahl der initial vorhandenen LAMRT. LL = lineare Läsion, PVI = Pulmonalvenenisolation, n = Anzahl.

Eine Zusammenfassung der Basisdaten je Therapiegruppe ist Tab. 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Basisdaten der einzelnen Ablationsgruppen bei spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien (LAMRT). LL = Lineare Läsion, PVI = Pulmonalvenenisolation, VHF = Vorhofflimmern, LVEF = linksventrikuläre Pumpfunktion, n = Anzahl, ns = nicht signifikant.

Ablationsstrategie	LL	PVI	PVI + LL	p
Anzahl n	8	9	11	
% Männer	50	55,6	54,5	ns
Alter (Jahre)	69,8 ± 6,7	60,6 ± 11,4	67,3 ± 11,4	ns
Tachykardiezykluslänge der LAMRT (ms)	309,4 ± 83,6	241,3 ± 68,6	296,5 ± 57,2	ns
Anzahl dokumentierte LAMRT n	13	16	22	ns
Durchschnittliche Anzahl LAMRT	1,6 ± 1,4	1,8 ± 1,4	2 ± 1,3	ns
Zusätzlich VHF n	3 (37,5 %)	5 (55,6 %)	7 (63,6 %)	ns
Durchschnittliches CHADS ₂ -Score	1,5 ± 0,9	1,0 ± 0,5	2,1 ± 1,1	ns
Durchschnittliches HATCH-Score	1,6 ± 1,1	1,1 ± 0,8	2,2 ± 1,3	ns
Durchschnittliche LVEF (%)	54 ± 12	57,3 ± 5,4	48,5 ± 14,4	ns
Strukturelle Herzerkrankung n	5 (62,5 %)	3 (33,3 %)	5 (45,4 %)	ns
Mittleres Nachsorgeintervall (Monate)	14,8 ± 15,3	9,0 ± 6,5	13,0 ± 11,0	

3.3.2. Untersuchungsdaten

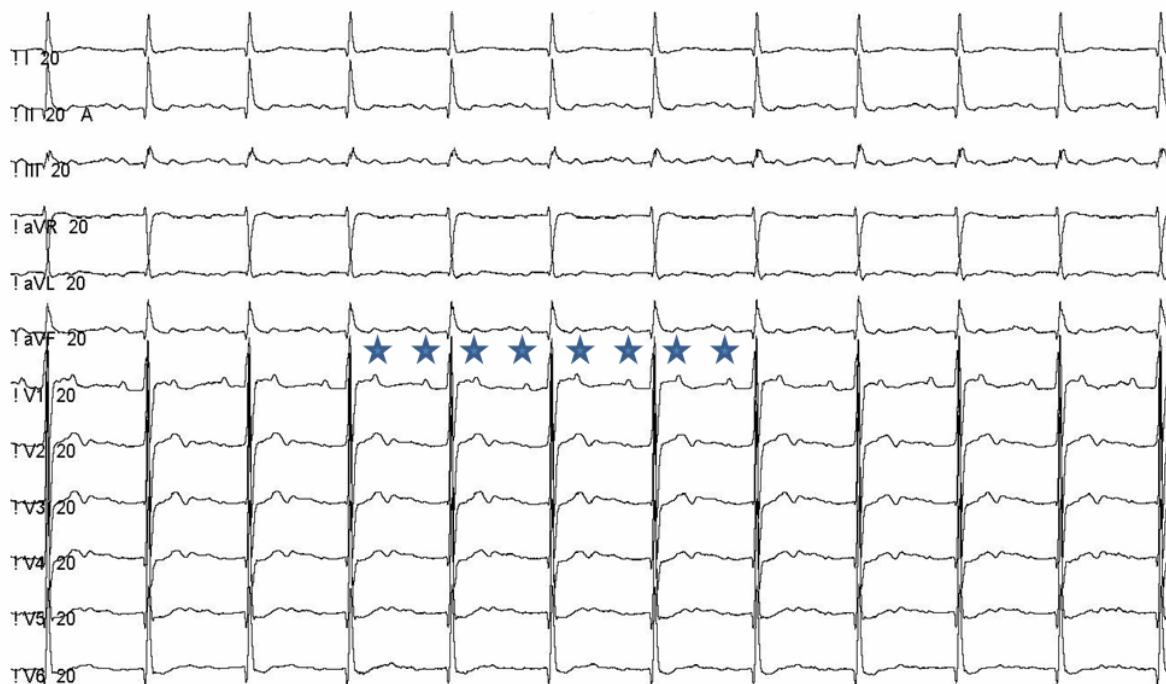
Die durchschnittliche DLZ lag bei $35,6 \pm 18,3$ min. Dabei wurde im Durchschnitt eine Dosis von 8478 ± 9194 cGycm² benötigt und eine Energie von $85,8 \pm 56,2$ kJ abgegeben. Die vollständigen Untersuchungsdaten für die einzelnen Ablationsgruppen sind in Tab. 3 wiedergegeben. Dem unterschiedlichen Aufwand entsprechend zeigt der Vergleich der DLZ und der applizierten Energie signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Die Werte für das Flächendosisprodukt unterscheiden sich nicht.

Tab. 3: Daten der Untersuchungen der spontanen linksatrialen Makroentrytachykardien. LL = lineare Läsion, PVI = Pulmonalvenenisolation, DLZ = Durchleuchtungszeit, ns = nicht signifikant.

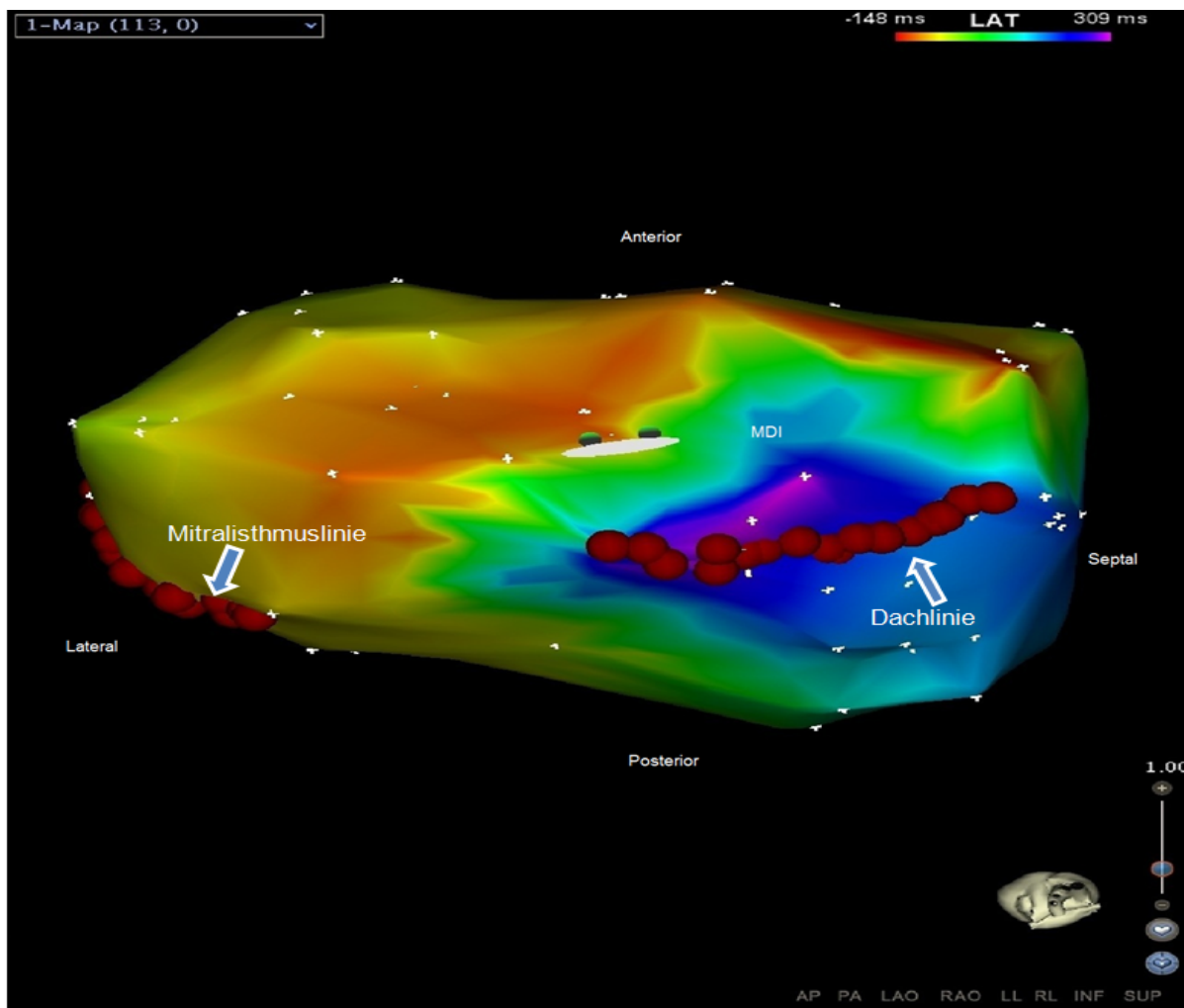
Ablationsstrategie	alle	LL	PVI	PVI + LL	p
Durchschnittliche DLZ (min)	35,6 ± 18,3	21,6 ± 10,4	36,8 ± 12,2	44,8 ± 21,4	< 0,05
Flächendosisprodukt (cGycm ²)	8478 ± 9194	5590 ± 3419	6433 ± 5062	12252 ± 13171	ns
Durchschnittliche Energie (kJ)	85,8 ± 56,2	41,1 ± 22,7	76,9 ± 24,5	125,5 ± 65,4	< 0,05

3.3.3. Akuter Ablationserfolg

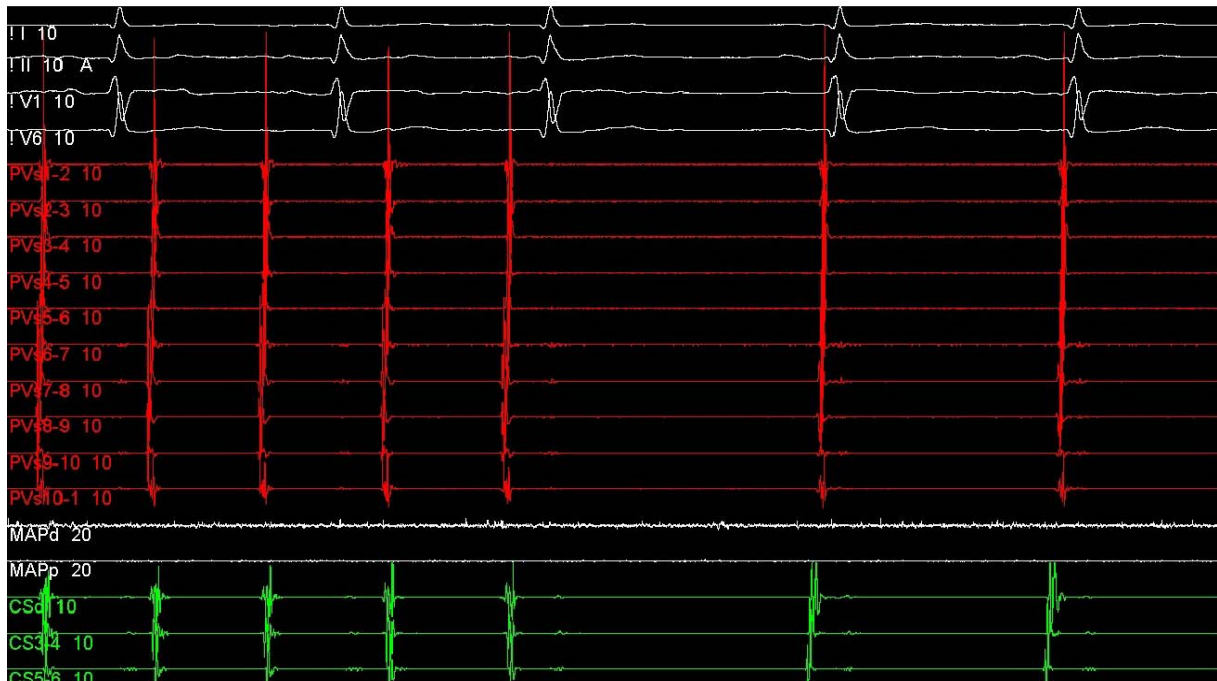
Von den 18 Patienten mit laufender LAMRT hatten 15 eine stabile Zykluslänge. Für 12 dieser 15 LAMRT und zwei weitere während der Untersuchung auftretende stabile LAMRT konnte ein komplettes Aktivierungsmap erstellt werden, bei drei Patienten wurde konventionell abladiert. Ein mittdiastolischer Isthmus mit Hilfe des elektroanatomischen Maps konnte bei 14 von 48 LAMRT (29,2 %) und drei von drei LAMRT (100 %) mit konventioneller Mappingtechnik bei 17 Patienten identifiziert werden. Alle 17 stabilen LAMRT mit identifiziertem mittdiastolischem Isthmus terminierten während der Ablation (Abb. 16 A-C) und waren anschließend nicht mehr induzierbar. Bei neun der 17 stabilen spontanen LAMRT handelte es sich um eine perimitrale LAMRT.



A



B



C

Abb. 16: 12-Kanal-EKG einer linksatrialen Makroreentrytachykardie (A, P-Wellen im mittleren Bildabschnitt mit Sternchen markiert) mit zugehörigem Aktivierungsmap (B, Blick von oben auf den linken Vorhof). Man erkennt den mitteldiastolischen Bereich am Dach (MDI) zwischen früher (rot) und später (violett) Aktivierung. Die Tachykardie terminiert durch eine lineare Läsion am Dach (C). I bis V6 = Ableitungen des 12 Kanal-EKG, PV = Lasso-Katheter im linken Vorhof, Map = Ablationskatheter, CS = Koronarsinus, LAT = Lokale Aktivierungszeit

Die PVI konnte bei allen Patienten der PVI-Gruppe und in der Kombinationsgruppe von PVI mit linearen Läsionen erreicht werden. Insgesamt wurden in der Gruppe mit linearen Läsionen und in der Kombinationsgruppe von PVI mit linearen Läsionen 34 Linien ablatiert. Ein bidirektionaler Leitungsblock an einer linearen Läsion wurde bei 30 der 34 Linien (88,2 %) bei 15 von 19 Patienten (78,9 %) erzielt. Das entspricht $1,8 \pm 0,8$ linearen Läsionen/Patient. In der Gruppe mit ausschließlich linearen Läsionen wurden bei allen Patienten alle Linien bidirektional blockiert. Bei vier Patienten in der Kombinationsgruppe mit PVI und linearen Läsionen konnte jeweils eine Linie nicht bidirektional geblockt werden (Abb. 17). Ein kompletter Block im Mitralisthmus konnte bei zwei Patienten von endokardial nicht erreicht werden; bei beiden Patienten konnte eine bidirektional geblockte Läsion am Septum erzielt werden, eine Ablation im CS erfolgte nicht. Bei je einem Patienten konnte bei einer Dachlinie und bei einer septalen Linie kein bidirektionaler Block erreicht werden. Bei allen Patienten in der Kombinationsgruppe war jedoch durch die Anordnung der geblockten linearen Läsionen am Ende der Untersuchung eine LAMRT um den Mitralanulus oder um die Pulmonalvenen unmöglich.

Bei zwei Patienten fand sich eine intermittierende hochfrequente Automtizität im linken Vorhofohr, bei einem dieser beiden Patienten wurde das Vorhofohr durch zirkumferentielle PVI und drei lineare Läsionen (Dach, Septum, Mitralisthmus) elektrisch isoliert.

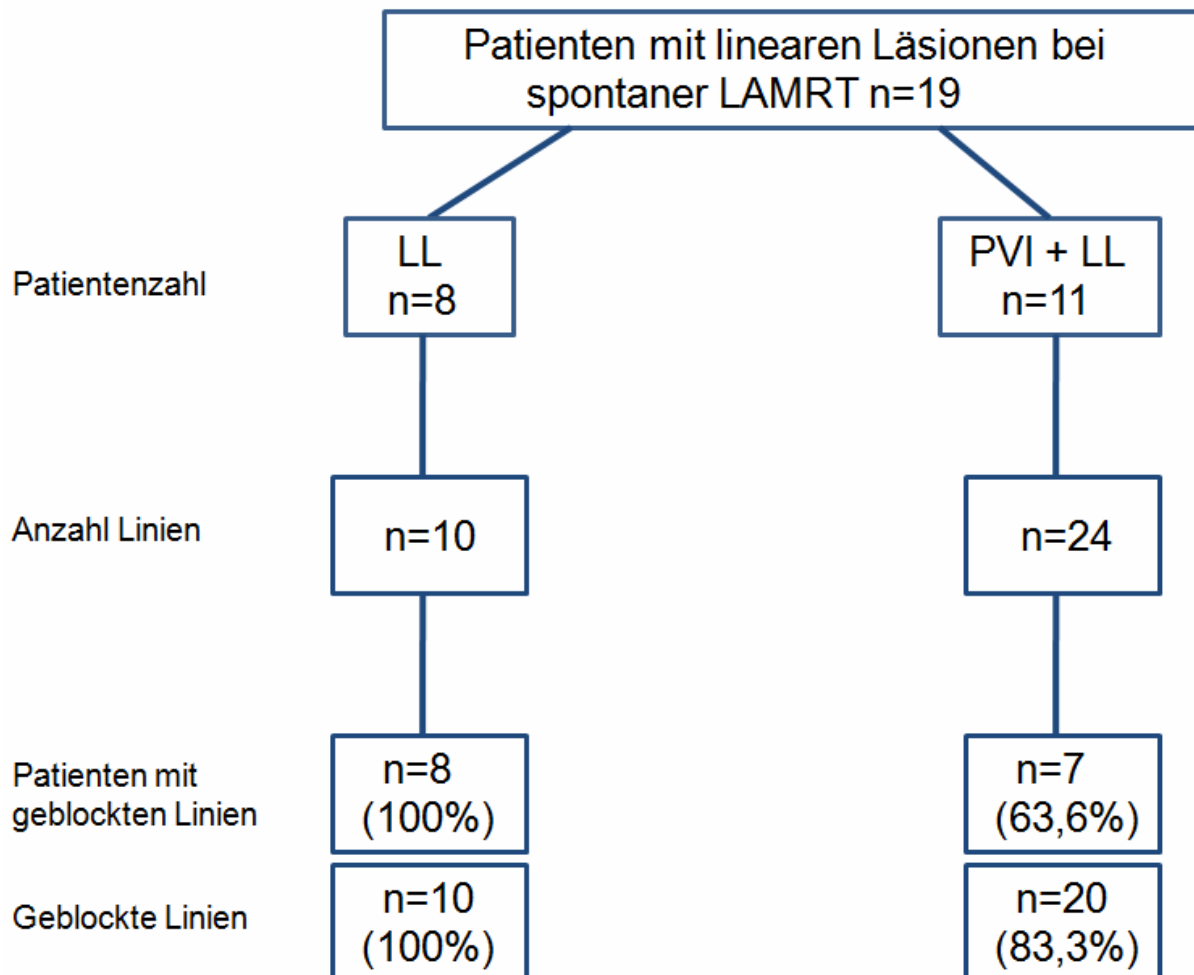


Abb. 17: Übersicht über den akuten Ablationserfolg der linearen Läsionen bei Patienten mit spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien (LAMRT). Dargestellt sind sowohl die Anzahl an Patienten als auch die Anzahl der linearen Läsionen. PVI = Pulmonalvenenisolation, LL = lineare Läsion, n = Anzahl.

3.3.4. Effektivität und Rezidive

Während eines Nachsorgeintervalls von durchschnittlich $12,2 \pm 11,1$ Monaten hatten 14 von 28 Patienten (50 %) ein Arrhythmie rezidiv. Ein Rezidiv einer LAMRT trat bei sechs Patienten (21,4 %), VHF bei vier Patienten (14,3 %) auf, bei vier Patienten (14,3 %) traten sowohl eine

LAMRT als auch VHF auf. Eine LAMRT trat somit bei insgesamt 10 von 28 Patienten (35,7 %) nach Ablation auf. Fokale Arrhythmien traten nicht auf.

Das Auftreten von Rezidiven und die Rezidivwahrscheinlichkeit einer Arrhythmie bei den einzelnen Ablationsstrategien zeigen die Abb. 18 und 19 (alle Arrhythmien) sowie Abb. 20 bis 22 (LAMRT bzw. VHF).

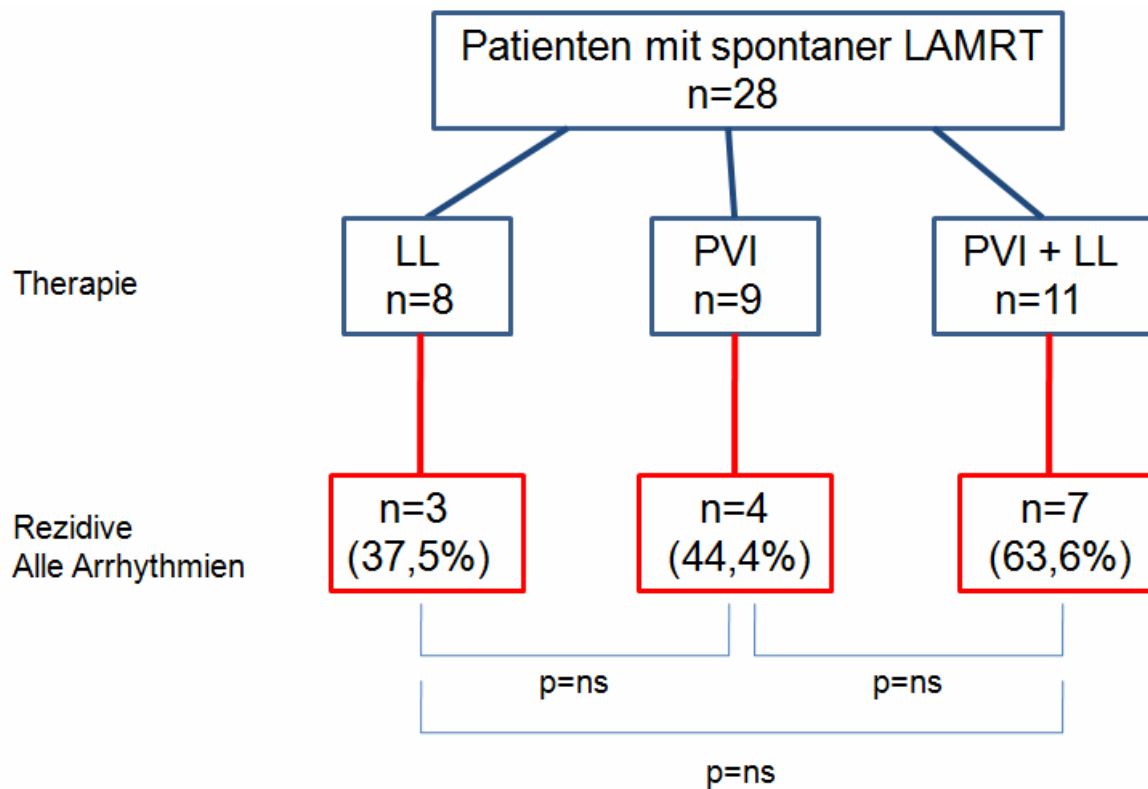


Abb. 18: Übersicht über das Auftreten einer atrialen Arrhythmie (primärer Endpunkt) nach Ablation von spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien (LAMRT). LL = lineare Läsion, PVI = Pulmonalvenenisolation, n = Anzahl, ns = nicht signifikant.

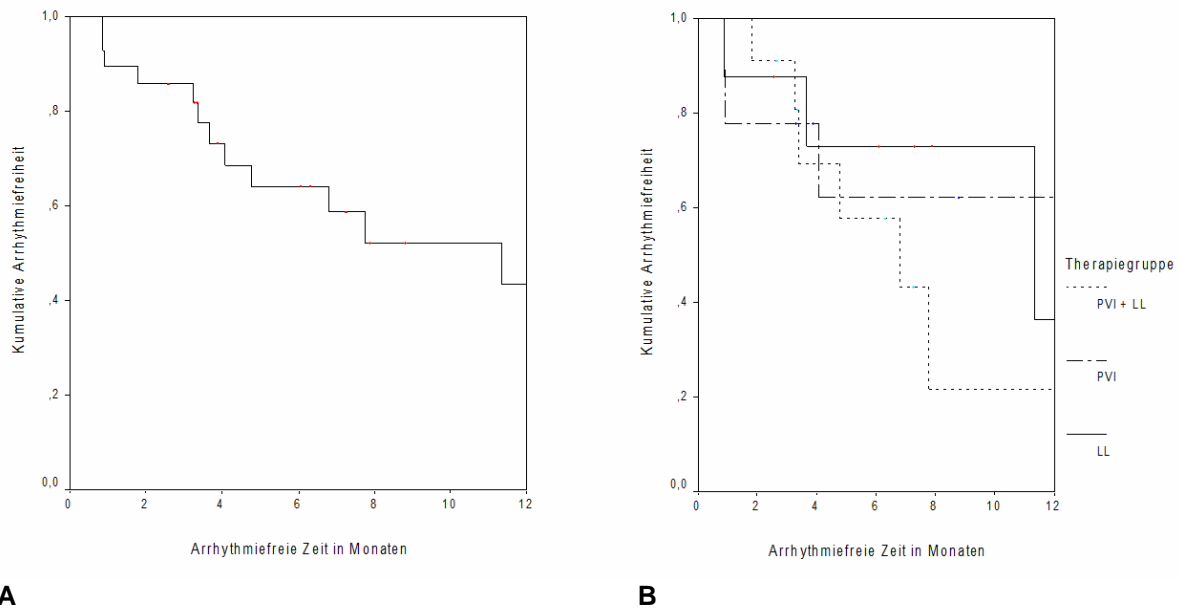


Abb. 19: Rezidivwahrscheinlichkeit alle Arrhythmien insgesamt (A) und je Therapiegruppe (B) bei spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien (LAMRT). PVI = Pulmonalvenenisolation, LL = lineare Läsion.

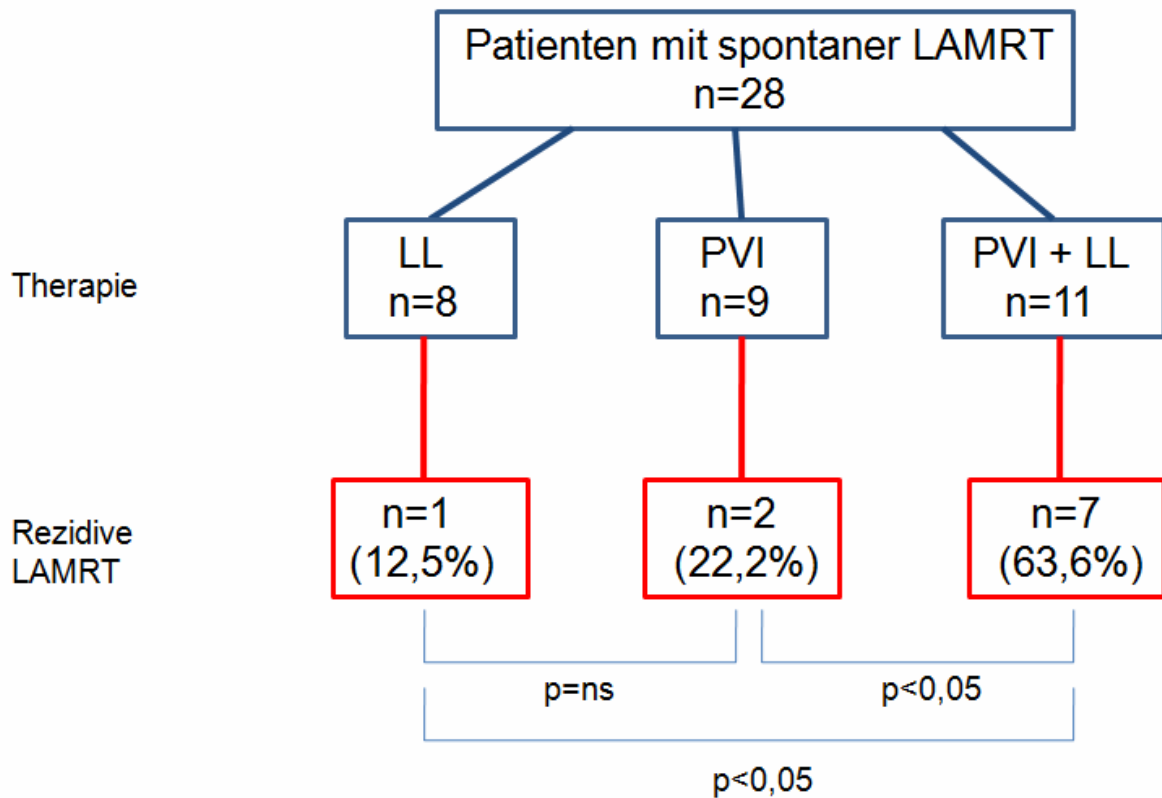
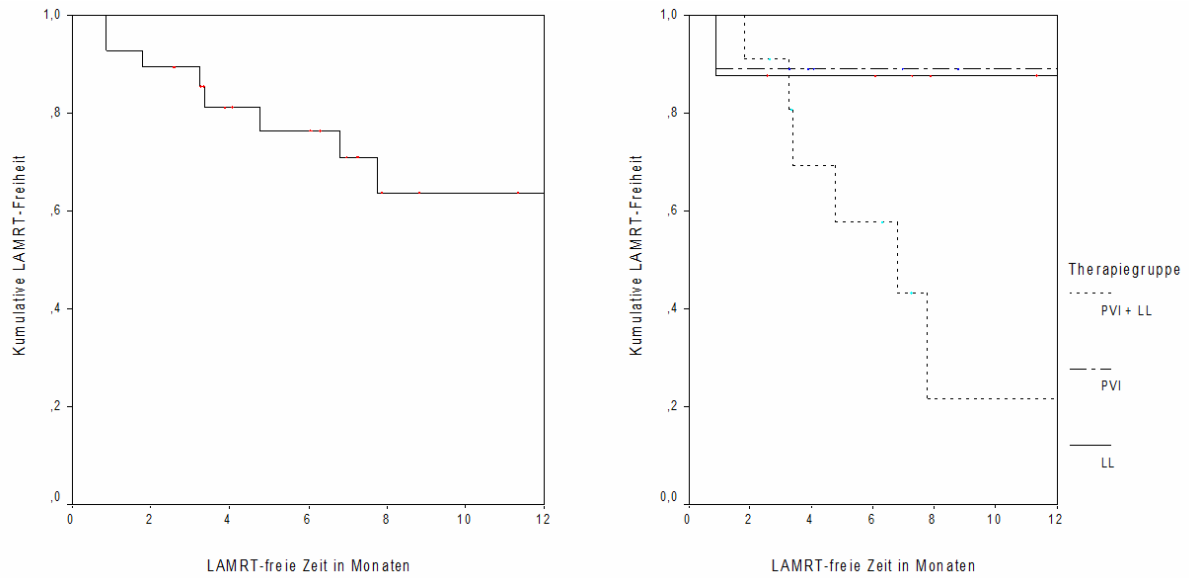


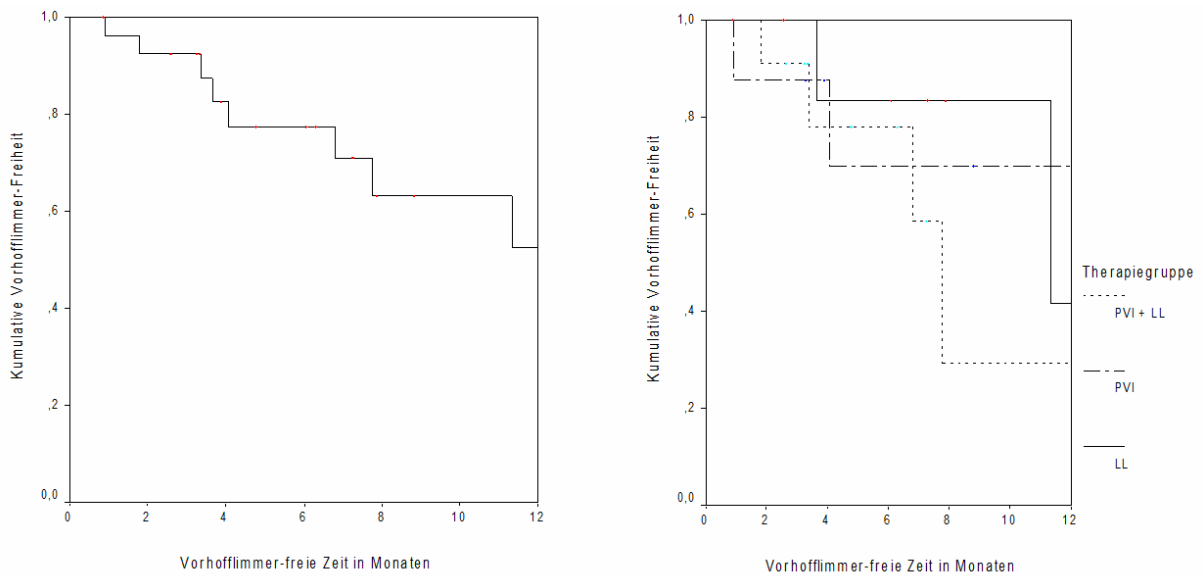
Abb. 20: Übersicht über das Auftreten einer linksatrialen Makroreentrytachykardie nach Ablation (sekundärer Endpunkt) von spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien (LAMRT). LL = lineare Läsion, PVI = Pulmonalvenenisolation, n = Anzahl, ns = nicht signifikant.



A

B

Abb. 21: Rezidivwahrscheinlichkeit für linksatriale Makroreentrytachykardien insgesamt (A) und je Therapiegruppe (B) bei spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien (LAMRT). PVI = Pulmonalvenenisolation, LL = lineare Läsion.



A

B

Abb. 22: Rezidivwahrscheinlichkeit für Vorhofflimmern insgesamt (A) und je Therapiegruppe (B) bei spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien. PVI = Pulmonalvenenisolation, LL = lineare Läsion.

Für den primären Endpunkt ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Ablationsstrategien ($p = ns$). Eine Auflistung weiterführender Daten zur arrhythmiefreien Zeit zeigt Tab. 4.

Tab. 4: Arrhythmiefreiheit nach 12 Monaten bei spontanen linksatrialen Makroentrytachykardien für alle Patienten und getrennt nach Ablationsgruppen. LL = lineare Läsionen, PVI = Pulmonalvenenisolation.

	Arrhythmiefreiheit nach 12 Monaten in %
alle Patienten	43,5
Patienten nach LL	36,5
Patienten nach PVI	62,2
Patienten nach PVI+LL	21,7

Der sekundäre Endpunkt, eine erneut auftretende LAMRT, kam nach erweitertem Ablationskonzept signifikant häufiger vor als bei weniger komplexen Ablationsstrategien (lineare Läsion gegen PVI mit linearen Läsionen $p < 0,05$, PVI gegen PVI mit linearen Läsionen $p < 0,05$). Zwischen den Strategien Lineare Läsion und PVI ergab sich kein signifikanter Unterschied ($p = ns$).

Eine Auflistung weiterführender Daten zur LAMRT-freien Zeit zeigt Tab. 5.

Tab. 5: LAMRT-Freiheit nach 12 Monaten bei spontanen linksatrialen Makroentrytachykardien für alle Patienten und getrennt nach Therapiegruppen. LL = lineare Läsionen, PVI = Pulmonalvenenisolation., LAMRT = linksatriale Makroentrytachykardie.

	LAMRT-Freiheit nach 12 Monaten in %
alle Patienten	63,8
Patienten nach LL	87,5
Patienten nach PVI	88,9
Patienten nach PVI+LL	21,7

Tab. 6 zeigt die Häufigkeit von LAMRT-Rezidiven je Ablationsgruppe unter der Berücksichtigung der Anzahl der initial vorhandenen LAMRT. In der Gruppe mit linearen Läsionen wurden 10 LAMRT bei fünf Patienten, in der PVI-Gruppe acht LAMRT bei fünf Patienten und in der Kombinationsgruppe fünf LAMRT bei vier Patienten erfolgreich behandelt.

Tab. 6: Erfolgsrate bei der Ablation von linksatrialen Makroreentrytachykardien unter Berücksichtigung der Anzahl der initial vorhanden LAMRT. LL = Lineare Läsion, PVI = Pulmonalvenenisolation, VHF = Vorhofflimmern, LAMRT = linksatriale Makroreentrytachykardie

Therapiegruppe	LL	PVI	PVI + LL
Erfolg bei Patienten mit einer LAMRT	3/6 (50 %)	3/6 (50 %)	3/6 (50 %)
Erfolg bei Patienten mit mehr als einer LAMRT	2/2 (100 %)	2/3 (66,7 %)	1/5 (20 %)

3.3.5. Einfluss anderer Faktoren auf die Endpunkte

Die Parameter Geschlecht, linksventrikuläre Pumpfunktion, CHADS₂-Score, HATCH-Score, Vorhandensein eines implantierten Ereignisrekorders/ Schrittmachers und Vorhandensein einer strukturellen Herzerkrankung hatten keinen signifikanten Einfluss auf den primären oder sekundären Endpunkt. Ebenso ohne Einfluss zeigten sich die linksatrialen Parameter Gesamt-Volumen und Gesamt-Oberfläche des linken Atriums im 3-D-Map, der Median der linksatrialen Potentiale, die niederamplitudigen Bereiche und die Areale mit fehlenden abgrenzbaren elektrischen Signalen.

Die Anzahl der bestehenden LAMRT (eine oder mehr als eine) war für die Endpunkte nicht relevant.

Antiarrhythmisch wirksame Medikamente beeinflussten die Endpunkte ebenfalls nicht.

Die während der Ablation applizierte Energie pro cm Ablationslinie hat keine Auswirkung auf die Rezidivwahrscheinlichkeit. Die Gesamtlänge der Ablationslinien beeinflusst die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer atrialen Tachykardie (primärer Endpunkt) nicht, hatte jedoch Auswirkungen auf die Wahrscheinlichkeit für ein LAMRT-Rezidiv (sekundärer Endpunkt) ($p < 0,05$). Bei einer Ablationslinienlänge über 24 cm kam es signifikant häufiger zu einem Rezidiv einer LAMRT als bei kürzerer Linienlänge. Dieser Grenzwert von 24 cm entsprach dem Mittelwert der Linienlänge in der PVI-Gruppe. Die Linienlänge in der Gruppe mit linearen Läsionen war signifikant geringer, die in der Kombinationsgruppe signifikant höher ($p < 0,05$).

3.4. Substratanalyse bei postinterventionellen und spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien

3.4.1. Substrate bei postinterventionellen und spontanen linkssatrialen Makroreentrytachykardien im direkten Vergleich

In beiden Gruppen war das durchschnittliche Volumen des linken Vorhofes vergrößert. Es bestanden aber sowohl hinsichtlich Volumen oder Oberfläche und den durchschnittlichen linksatrialen Potentialen keine signifikanten Unterschiede.

Die niederamplitudigen Bereiche waren individuell auch innerhalb der einzelnen Gruppen sehr unterschiedlich ausgeprägt. Ein signifikanter Unterschied bei den Durchschnittswerten zwischen postinterventionellen und spontanen LAMRT bestand nicht. Die Areale mit fehlenden abgrenzbaren elektrischen Signalen waren insgesamt gering ausgeprägt und fanden sich bei den spontanen LAMRT etwas ausgeprägter.

Die durchschnittliche Länge der Ablationslinien war in der Gruppe der spontanen LAMRT größer. Zum besseren Vergleich wurde die durchschnittliche Ablationsenergie je Zentimeter Ablationslinie berechnet, die in der postinterventionellen Gruppe höher war (Tab. 7).

Tab. 7: Daten zur Charakteristik der Vorhöfe der Patienten mit postinterventionellen linksatrialen Makroreentrytachykardien im Vergleich mit den Daten der Patienten mit spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien (LAMRT). NAB = Bereich niedriger Amplitude, AFES = Areale mit fehlendem abgrenzbaren elektrischen Signal, LL = Lineare Läsion, PVI = Pulmonalvenenisolation, 3-D = dreidimensional, LA = linksatrial, ns= nicht signifikant.

	Postinterventionelle LAMRT	Spontane LAMRT	p
Gesamt-Volumen 3-D-Map (ml)	120,3 ± 37,7	115,8 ± 31,8	ns
Gesamtoberfläche 3-D-Map (cm ²)	134,3 ± 24,9	131,1 ± 22,2	ns
Median der LA-Potentiale (mV)	2,0 ± 1,1	1,73 ± 1,21	ns
NAB (cm ²)	49,3 ± 49,0	60,8 ± 42,2	ns
NAB (%)	35,6 ± 35,4	45,7 ± 31,5	ns
AFES (cm ²)	0,1 ± 0,4	2,8 ± 4,4	< 0,05
AFES (%)	0,04 ± 0,2	2 ± 3,1	< 0,05
Länge der Ablationslinien (cm)	17,2 ± 9,3	23,8 ± 9,2	< 0,05
Energie pro cm Ablationslinie (kJ)	6,1 ± 3,0	4,1 ± 2,6	< 0,05

3.4.2. Substrat bei spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien

Bei 25 der 28 Patienten mit spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien fanden sich ausgeprägte niederamplitudige Bereiche, die mit den LAMRT assoziiert waren. Diese niederamplitudigen Bereiche waren vor allem posterior, anterior und septal lokalisiert (Abb. 23 A und C). In Abb. 23 B ist erkennbar, dass der diastolische Bereich in diesem Beispiel nicht im niederamplitudigen Bereich lokalisiert war. Auch bei einem Patienten mit hypertroph nicht obstruktiver Kardiomyopathie waren niederamplitudige Bereiche vorhanden. Der durchschnittliche Anteil an Arealen mit fehlenden abgrenzbaren elektrischen Signalen war insgesamt gering, elektrisch stumme Areale gab es nicht. Das durchschnittliche Volumen des linken Vorhofes war in allen Gruppen deutlich erhöht. Der Anteil an niederamplitudigen Bereichen bei den Patienten mit einer LAMRT (41,7 ± 29,4 %) war mit dem in der Gruppe mit mehreren LAMRT (53,7 ± 36,2 %) vergleichbar (p = ns), ebenso das Volumen des linken Atriums mit 117 ± 33,6 ml bei einer LAMRT und 113,3 ± 29,9 ml bei mehr als einer LAMRT (p = ns).

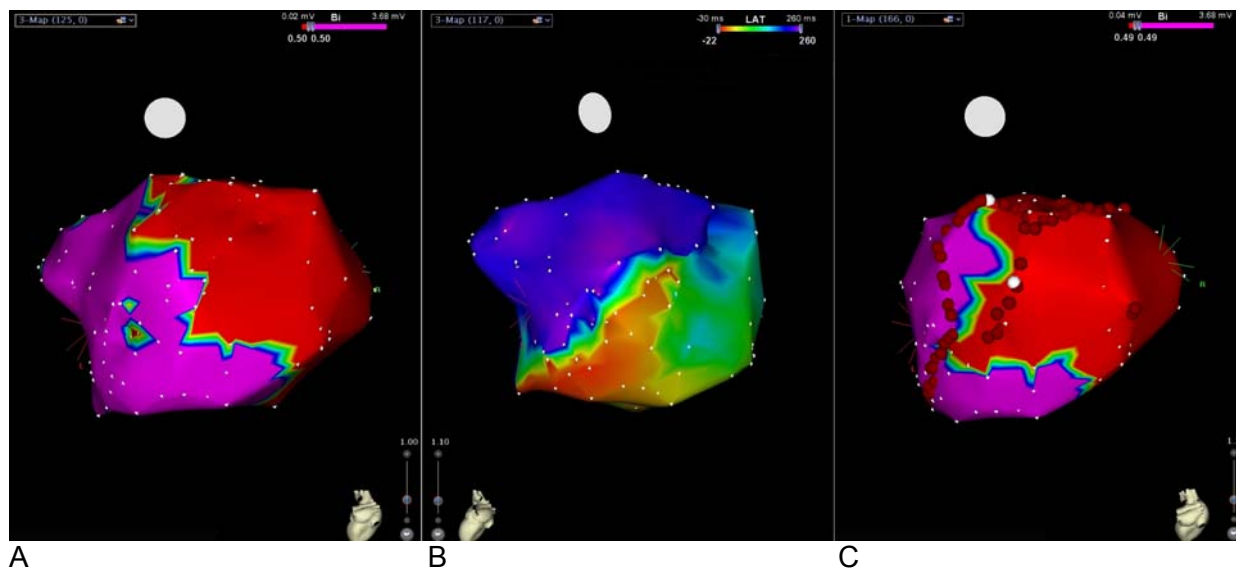


Abb. 23: Elektroanatomisches Map des linken Vorhofes. A zeigt das bipolare Map. Die roten Bereiche stellen elektrisch niederamplitudige Areale mit einer Amplitude unter 0,5 mV dar. Diese Areale sind posterior, septal und anterior lokalisiert. B zeigt das Aktivierungsmap während des Mitralklappenflatters. In C ist das bipolare Map mit den Ablationslinien dargestellt. Im niederamplitudigen Areal ist zur Isolation der septalen Venen lediglich eine fokale Ablation an der inferioren Hinterwand erforderlich.

Die Charakteristika der Vorhöfe der Patienten mit spontanen LAMRT sind für die einzelnen Ablationsstrategien in Tab. 8 dargestellt. Bis auf die Länge der Ablationslinien (lineare Läsion gegen PVI, PVI gegen PVI mit linearen Läsionen, lineare Läsionen gegen PVI mit linearen Läsionen jeweils $p < 0,05$) unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant voneinander.

Tab. 8: Charakteristika der Vorhöfe der Patienten mit spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien. NAB = Bereich niedriger Amplitude, AFES = Areale mit fehlendem abgrenzbaren elektrischen Signal, LL = Lineare Läsion, PVI = Pulmonalvenenisolation, 3-D = dreidimensional, LA = linksatrial., ns = nicht signifikant.

		LL	PVI	PVI + LL	p
Gesamt-Volumen (ml)	3-D-Map	125,5 ± 16,3	127,6 ± 39,8	100,3 ± 24,4	ns
Gesamtoberfläche (cm ²)	3-D-Map	136,7 ± 10,4	140 ± 26,5	120,3 ± 19,1	ns
Median der LA-Potentiale (mV)		2,48 ± 2,03	1,63 ± 0,97	1,45 ± 0,8	ns
NAB (cm ²)		68,6 ± 48	56,8 ± 47,4	60,4 ± 38,4	ns
NAB (%)		49,1 ± 33,5	39,3 ± 33,1	49,8 ± 31,7	ns
AFES (cm ²)		1,9 ± 3,8	4,6 ± 5,9	1,6 ± 2,8	ns
AFES (%)		1,3 ± 2,6	3,2 ± 4	1,2 ± 2,1	ns
Länge der Ablationslinien (cm)		9,8 ± 5,5	24 ± 5,1	30,4 ± 4,4	< 0,05
Energie pro cm Ablationslinie (J)		5732 ± 4842	3229 ± 900	4077 ± 2072	ns

3.5. Rhythmuskontrolle bei postinterventionellen und spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien

Bei den postinterventionellen LAMRT erfolgte die Rhythmuskontrolle bei 10 Patienten (27 %) mit einem implantierten Ereignisrekorder/DDD-Gerät und bei 27 Patienten (73 %) mit einem 7-Tage-Langzeit-EKG. Bei Patienten mit spontanen LAMRT hatten 17 Patienten (60,7 %) einen Ereignisrekorder/DDD-Gerät, bei 11 Patienten (39,3 %) erfolgte die Kontrolle durch Langzeit-EKGs, wobei zwischen den einzelnen Gruppen kein Unterschied bestand.

3.6. Allgemeine Komplikationen bei Patienten mit postinterventionellen und spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien

Insgesamt kam es bei 14 der 65 behandelten Patienten (21,5 %) zu therapieassoziierten Komplikationen, davon vier ernsthafte (6,2 %) bei drei Patienten (4,6 %). Bei neun Patienten (13,8 %) waren die Komplikationen interventionsbedingt.

Einmalig wurde eine arteriovenöse Fistel der Femoralgefäße beobachtet, die durch externe Kompression verschlossen werden konnte. In drei Fällen, darunter zwei Patienten mit künstlichem Mitralklappenersatz, kam es zu einer inguinalen Einblutung mit relevantem

Blutverlust; zwei Patienten wurden mit Erythrozytenkonzentraten versorgt. Bei einer dieser Patientinnen musste wegen der resultierenden Kompression des Nervus femoralis eine Punktion des Hämatoms zur Entlastung durchgeführt werden. Im Verlauf zeigte sich dann eine gleichbleibende Schwäche des Nervens mit Beeinträchtigung des Gangbildes und der Lebensqualität.

Durch Anlage des Blasenkatheters zur Überwachung der Flüssigkeitsbilanz während der Prozedur kam es bei einem Patienten zu einem Harnwegsinfekt, welcher mit oraler, antibiotischer Therapie erfolgreich kuriert wurde. Ein weiterer Patient entwickelte nach Entfernen des Blasenkatheters eine Makrohämaturie, die keine weitere Therapie erforderte. Bei drei Patienten fiel in der postinterventionellen echokardiographischen Kontrolle ein hämodynamisch nicht relevanter Perikarderguss auf, welcher sich jeweils im Verlauf komplett rückläufig zeigte.

Fünf Patienten entwickelten Medikamentennebenwirkungen. Dabei kam es bei drei Patienten zur amiodaroninduzierten Hyperthyreose, die in allen Fällen zur Hospitalisation führte. Unter adäquater Behandlung wurde jeweils eine euthyreote Stoffwechsellage erreicht. Eine Patientin entwickelte Übelkeit unter Dronedaron, die nach Beenden der Einnahme sofort sistierte. Bei einer Patientin kam es durch Flecainid passager zum Bild einer aviralen Hepatitis, die eine stationäre Überwachung erforderte. Nach Beenden der Medikation und entsprechender supportiver Therapie kam es zur Normalisierung der Leberfunktion und der Laborwerte.

Zusätzlich kam es in Folge der Ablation bei zwei Patienten mit initial persistierender LAMRT zu einer relevanten und anhaltenden Sinusbradykardie. Beide Patienten wurden mit einem DDD-Schrittmacher versorgt. Die Implantation verlief jeweils komplikationslos.

4. Diskussion

4.1. Überblick

Die vorgestellten Daten belegen, dass eine gekühlte Radiofrequenzkatheterablation effektiv bei der Behandlung von LAMRT ist. Sie verdeutlicht aber auch das Problem, bei komplexen Arrhythmien wie VHF oder LAMRT, die ausgedehnte Läsionen erfordern, das arrhythmogene Substrat komplett zu abladiere. Mit zunehmender Ausdehnung der Ablation steigt die Wahrscheinlichkeit für Bereiche mit regional nicht-transmuralem Potential und dadurch bedingtem proarrhythmischen Potential. Erkennbar ist dies an der steigenden Anzahl von postinterventionellen LAMRT nach PVI und der prozentualen Häufigkeit von LAMRT nach PVI mit linearen Läsionen (27,8 %) im Vergleich zu einer alleinigen PVI (4,6 %).

Insgesamt wurden 65 Patienten mit LAMRT in diese Arbeit einbezogen. 37 dieser Patienten hatten eine postinterventionelle LAMRT nach vorangegangener chirurgischer oder kathetergestützter Ablation. 12 Monate nach erfolgreicher Ablation waren 67,7 % dieser Patienten ohne jegliches atriales Arrhythmie-Rezidiv, 71 % waren ohne Rezidiv einer LAMRT. Von den Patienten mit spontaner LAMRT blieben nach 12 Monaten 43,5 % ohne Arrhythmie-Rezidiv und 63,8 % ohne LAMRT-Rezidiv. Insbesondere nach PVI mit linearen Läsionen traten signifikant mehr Arrhythmie-Rezidive als nach alleiniger PVI oder nach alleiniger linearer Läsion auf.

In beiden LAMRT-Gruppen war das durchschnittliche Vorhofvolumen deutlich vergrößert. Bei der überwiegenden Anzahl der Patienten zeigten sich großflächige niederamplitudige Bereiche als deutliche Anzeichen für ein atriales Remodeling.

Bei neun der 65 Patienten (13,8 %) traten interventionsbedingte Komplikationen auf.

Die Katheterablation von LAMRT ist effektiv bei einem vertretbaren peri- und postinterventionellen Risiko. Eine Übertragung des Ablationskonzeptes der postinterventionellen LAMRT in Form einer Kombination von PVI mit linearen Läsionen auf spontane LAMRT ist in dieser Form nicht empfehlenswert.

4.2. Postinterventionelle linksatriale Makroentrytachykardien

4.2.1. Elektrophysiologische Erkenntnisse nach initialer Prozedur

Bei der überwiegenden Anzahl der Patienten (83,8 %) mit postinterventioneller LAMRT zeigte sich ein Leitungsrezidiv in die Pulmonalvenen. Von den 10 Patienten, bei denen nach

kathetergestützter PVI mit linearen Läsionen eine LAMRT auftrat, hatten 90 % eine Lücke in mindestens einer linearen Läsion und 60 % hatten sowohl ein Leitungsrezidiv in die Pulmonalvenen als auch eine Lücke mit leitungsfähigem Gewebe in den Ablationslinien.

Tachykardien in Form von Makroreentry oder lokalisierendem Reentry stellen den Großteil postinterventioneller Arrhythmien dar (15). Für die Entstehung einer Reentrytachykardie sind ein Trigger zur Initiierung und ein unidirektionaler Block innerhalb eines Tachykardiekreises um ein anatomisches oder funktionelles Hindernis erforderlich. Begünstigt wird eine solche Tachykardie durch eine ausreichende Leitungsverzögerung in einem Teil des Kreises. Die Aktivität der Pulmonalvenen-Muskulatur stellt einen möglichen Trigger dar (41). Eine fokale Leitungserholung in die Pulmonalvenen ist daher sowohl nach chirurgischer intraoperativer VHF-Ablation (13) als auch nach kathetergestützter PVI (17,21,42-45) ein Hauptfaktor für ein Rezidiv von atrialen Tachyarrhythmien. Daneben können bei einem Großteil der Patienten weitere extrapulmonalvenöse Trigger vorhanden sein (21). Lineare Läsionen wie ein kompletter Mitralisthmusblock oder eine Dachlinie können LAMRT wie perimitrales Flattern verhindern (46) und die Effektivität einer VHF-Ablation erhöhen (47-49). Dagegen wirken Leitungslücken in Linien nach chirurgischer oder kathetergestützter Ablation proarrhythmisch und schaffen einen künstlichen oder begünstigen einen anatomisch bedingten Tachykardiekreis (14,17-20,46,50). Die proarrhythmische Wirkung bei Kombination aus kathetergestützter PVI und linearen Läsionen hinsichtlich der Entstehung von LAMRT wird auch durch die Daten dieser Arbeit bestätigt. Obwohl diese Kombinationstherapie nur 8 % der Primärprozeduren umfasste, betrug der Anteil an allen LAMRT 33 %. Damit entwickelten nach alleiniger PVI 4,6 % der Patienten, nach PVI mit linearen Läsionen aber 27,8 % der Patienten eine LAMRT. Diese hohe LAMRT-Rate ist vergleichbar mit der in anderen Studien (18).

Schon während eines sog. schrittweisen Ablationsansatzes bei der Ablation von VHF organisiert sich dieses häufig in eine LAMRT (11,12,51), die durch Lücken in den linearen Läsionen kreist.

Die Kombination aus Leitungserholung in die Pulmonalvenen und das Entstehen von Lücken in linearen Läsionen nach der initialen chirurgischen oder kathetergestützten Ablation wie bei unseren Patienten bietet somit alle Voraussetzungen für die Entstehung von LAMRT. Dies impliziert, dass im Rahmen einer erneuten Katheterablation alle Pulmonalvenen und alle linearen Läsionen auf Leitungsrezidive überprüft werden müssen.

4.2.2. Akuter Ablationserfolg

Es konnten alle Pulmonalvenen mit Leitungsrezidiv erfolgreich durch fokale oder erneute zirkumferentielle lineare Ablation isoliert werden, was sich mit Ergebnissen aus anderen

Zweitablationsstudien deckt (21,42,43). Auch die überwiegende Zahl der linearen Läsionen (85,1 %) konnte bidirektional von endokardial blockiert werden. Insbesondere die endokardiale Ablation des Mitralisthmus erwies sich dabei jedoch bei 42,8 % der Patienten als unzureichend. Hier konnten einmal lediglich ein temporärer Block und viermal lediglich eine Leitungsverzögerung erzielt werden, einmalig blieb die Ablation ohne Einfluss auf die Leitungsgeschwindigkeit. Bei allen Patienten wurde jedoch durch Platzierung der Linien darauf geachtet, dass am Ende der Untersuchung eine perimitrale LAMRT oder eine LAMRT um die Pulmonalvenen-Ostien unmöglich war. Inkomplette Linien hatten in unserer Arbeit keinen Einfluss auf die Rezidivwahrscheinlichkeit. Die Erfolgsrate für einen bidirektionalen Block am Mitralisthmus variiert in publizierten Studien (19-21,46,48). Bei Sawhney et al. (20) konnte bei 91 % der Patienten ein bidirektionaler Mitralisthmusblock erreicht werden. Allerdings erforderte dies bei 97 % der Patienten eine epikardiale Ablation im CS. Ähnliche Ergebnisse wurden von Bai et al erreicht (21), wobei in dieser Studie im Vergleich zu der hier vorliegenden Arbeit eine etwas höhere Leistung (45 W gegenüber 40 W) eingesetzt wurde. Auch bei Matsuo et. al (19) war bei 72,5 % der Patienten, die im Rahmen einer schrittweisen VHF-Ablation eine lineare Läsion am Mitralisthmus erhielten, eine epikardiale Ablation erforderlich, um mit einer nichtsteuerbaren Schleuse einen bidirektionalen Block bei 77,5 % der Patienten zu erzielen. Mit einer steuerbaren transeptalen Schleuse konnte der Anteil mit erfolgreichem Mitralisthmusblock auf 97,5 % gesteigert und der Anteil mit erforderlicher epikardialer Ablation auf 12,5 % gesenkt werden. Neben der Steigerung der Erfolgsrate konnte dieses bessere Ergebnis mit einer deutlich geringeren Energie erreicht werden. Dieses Ergebnis suggeriert, dass es sich entweder um ein Stabilitätsproblem des Katheters handelt, um ausreichend Anpressdruck und damit Tiefenwirkung während der Ablation zu erzielen, oder dass die Katheterorientierung zum Zielgewebe für eine erfolgreiche Ablation entscheidend ist. Auch neuere Methoden wie die phasenverschobene Radiofrequenzablation sind hier nicht ausreichend (52) und erfordern zusätzliche konventionelle Ablationen bei einem Großteil der Patienten. Daten zu Erfolgsraten bei septalen (anterioren) Linien sind spärlich (58% in 53). Die Anlage einer septalen linearen Läsionen ist zwar technisch anspruchsvoller, weist aber den Vorteil auf, dass auch mit konventioneller, nichtsteuerbarer transeptaler Schleuse mit Ausnahme des Mitralanulus-nahen Bereiches immer ein ausreichender Katheter-Wand-Kontakt mit ausreichendem Anpressdruck besteht, der eine effektive Läsion ermöglicht. Die Erfolgsquote bei linearen Läsionen in der hier vorliegenden Arbeit, in der fast ausschließlich nichtsteuerbare Schleusen verwendet wurden und am Mitralisthmus lediglich von endokardial ablatiert wurde, ist für septale Linien daher höher als für Mitralisthmuslinien (84 % gegenüber 57,2 %).

4.2.3. Langzeiteffektivität

Ein Arrhythmie rezidiv trat innerhalb des Nachbeobachtungszeitraumes von $11,0 \pm 8,8$ Monaten bei 35,1 % nach erfolgreicher Ablation einer postinterventionellen LAMRT auf. Nach 12 Monaten waren 67,7 % der Patienten frei von jeglicher Arrhythmie und 71,0 % frei von einer LAMRT.

Vergleiche dieser Ergebnisse mit Angaben aus der Literatur gestalten sich schwierig. Studien zu AMRT sind hinsichtlich Patienten und Tachykardien heterogen und beinhalten sowohl rechts- als auch linksatriale und/oder spontane und postinterventionelle Arrhythmien (9,10,14,32,50,54-56). Eine differenzierte Analyse zur Effektivität ist nur in einer Studie zu erkennen (56). Von 10 Patienten (alle mit VHF und LAMRT) blieben nach der Zweitprozedur und einem relativ kurzen Nachsorgeintervall von $6,3 \pm 3,3$ Monaten neun (90 %) ohne LAMRT-Rezidiv, vier (40 %) hatten VHF, ein Patient hatte sowohl eine LAMRT als auch VHF. Bei allen 10 Patienten wurden Lücken in den linearen Läsionen und den zirkumferentiellen Ablationslinien um die Pulmonalvenen geschlossen. Von unseren 10 Patienten, die in der Erstprozedur schon eine PVI und lineare Läsionen erhalten hatten, zeigten 70 % nach der Zweitprozedur mit Komplettierung der linearen Läsion kein LAMRT-Rezidiv. Im Gegensatz zur Arbeit von Kobza et al (56) und übereinstimmend mit einer anderen Arbeit (10) trat bei den drei Patienten mit Arrhythmie rezidiv anschließend jedoch kein VHF, sondern lediglich eine LAMRT auf.

Umfangreiche Daten existieren dagegen zur Ablation von LAMRT, die während eines schrittweisen Vorgehens bei einer VHF-Ablation auftreten (11,12). Patienten mit einer LAMRT im Sinne einer Pulmonalvententachykardie, die durch mindestens zwei Lücken in der zirkumferentiellen linearen Läsion um die ipsilateralen Pulmonalvenen kreisen, sind durch Schließen der Lücken dauerhaft erfolgreich zu behandeln (17). Das bestätigte sich auch bei drei Patienten, von denen bei einem im klinischen Verlauf allerdings erneut VHF auftrat.

Ausgedehntere linksatriale Ablationen erhöhen die Wahrscheinlichkeit für LAMRT, die die isolierten Pulmonalvenen-Areale als zentrale oder laterale Begrenzung nutzen (57). Die Autoren stellten fest, dass linksatriale lineare Läsionen die Wahrscheinlichkeit von LAMRT entweder durch Leitungserholung im ablatierten Bereich oder durch fehlenden bidirektionalen Block bei der initialen Ablation steigern (18-20,58). In der Publikation von Sawhney (18) fand sich bei 38 von 52 Patienten mit atrialen Arrhythmien nach PVI mit linearen Läsionen trotz initialem bidirektionalem Block am Mitralisthmus eine Leitungserholung, was sich in einer hohen perimitralen LAMRT-Rate zeigte. In der vorliegenden Studie hatten 29,6 % der Patienten mit erstmaliger linearer Läsion ein LAMRT-Rezidiv, so dass man auch hier von einer Leitungserholung in einer initial geblockten Linie ausgehen darf. In der Studie von Jais (15) konnte bei postinterventionellen atrialen

Tachykardien eine hohe Erfolgsquote von 95 % über einen Zeitraum von 21 ± 10 Monaten erreicht werden. Allerdings sind auch hier die LAMRT, die 38 % der atrialen Tachykardien bildeten, nicht separat hinsichtlich der Erfolgsrate aufgeführt. Zusätzlich wurden bei diesen Patienten bereits in der initialen Prozedur im Rahmen eines schrittweisen Vorgehens lineare Läsionen durchgeführt, die in einer erneuten Prozedur komplettiert werden konnten. Eine Angabe zu Patienten, die erstmalig eine linksatriale lineare Läsion erhielten, fehlt.

Langzeitergebnisse liegen vor allem für postinterventionelles perimitrales Flattern vor. Die Effektivität weist dabei je nach Ablationsstrategie und akutem Ablationserfolg erhebliche Unterschiede auf (21,45). Bei ähnlichem Nachbeobachtungszeitraum wie in unserer Studie wurde gezeigt, dass die Reisolation der Pulmonalvenen in Kombination mit der Ablation extrapulmonalvenöser Trigger auch ohne Mitralisthmusblock einer alleinigen Ablation des Mitralisthmus deutlich überlegen ist, um Arrhythmie rezidive zu verhindern (85 % bzw. 16 % Arrhythmiefreiheit) (21). Patienten, bei denen nach Mitralisthmusblock weiter Arrhythmien auftraten und bei denen eine erneute Untersuchung durchgeführt wurde, hatten nur zu 78 % einen persistierenden Block. Bei Vorhandensein von Pulmonalvenen- oder extrapulmonalvenösen Triggern trägt ein Block in einer linearen Läsion also nur zu einem geringen Teil zur Arrhythmiefreiheit bei (21) und kann sogar durch eine Leitungsverzögerung proarrhythmisch wirken. Dagegen war bei allen Patienten in der Mitralisthmusgruppe ohne Rezidiv der mittlere oder distale CS und bei zwei Patienten auch des linke Vorhofohr isoliert, was für eine zusätzliche Triggerelimination spricht. Diese Ergebnisse stimmen mit Beobachtungen bei postinterventionellen LAMRT nach PVI überein, bei denen eine alleinige Reisolation der Pulmonalvenen zu einer Arrhythmiefreiheit bei 61 % der Patienten führte (45). Auch Studien bei Patienten mit VHF und typischem Vorhofflattern bestätigen, dass durch eine Ablation des kavotrikuspidalen Isthmus eine langfristige Arrhythmiefreiheit nicht zu erzielen ist, eine erfolgreiche Ablation von VHF aber beide Arrhythmien kontrollieren kann (59,60). Auch in dieser Arbeit ist davon auszugehen, dass neben Leitungsrezidiven in linearen Läsionen bei einem Teil der Patienten auch entweder neue Trigger auftraten oder diese sich erst nach der erfolgreichen Ablation demaskierten. Auch die Kombination aus Trigger und Leitungsrezidiv oder neu entstandenem Substrat kann für Arrhythmie rezidive verantwortlich sein.

Da nicht alle extrapulmonalvenösen Trigger immer reproduzierbar induzierbar sind (21), LAMRT durch Lücken in den linearen Läsionen aber häufig symptomatischer sind als andere Arrhythmien und meistens persistieren, sollte immer angestrebt werden, lineare Läsionen bis zum bidirektionalen Block zu komplettieren.

4.2.4. HATCH-Score

Das HATCH-Score basiert auf dem Vorhandensein der folgenden klinischen und anamnestischen Parameter: arterielle Hypertonie, Alter über 75 Jahre, zerebrales ischämisches Ereignis, chronisch obstruktive Lungenerkrankung und eine manifeste Herzinsuffizienz. Das Risiko für Arrhythmie-Rezidive nach Ablation erhöht sich bei Patienten mit postinterventioneller LAMRT mit steigendem HATCH-Score ähnlich wie bei Patienten mit VHF (61). Bei einem Score von zwei oder mehr Punkten traten alle Arrhythmieformen häufiger auf als bei einem Score unter zwei Punkten. Diese Beobachtung legt nahe, dass mit dem HATCH-Score eine Selektion von Patienten für eine PVI möglich ist und die Erfolgsrate der Prozedur vorhergesagt werden kann.

4.3. Spontane linksatriale Makroentrytachykardien

4.3.1. Elektrophysiologische Charakteristik

Insgesamt hatten 28 Patienten 51 verschiedene dokumentierte spontane LAMRT. 10 Patienten hatten mehr als eine LAMRT. Die LAMRT ließen sich in zwei Kategorien einteilen. 17 LAMRT, davon neun perimitrale LAMRT, wiesen eine stabile Zykluslänge auf. Beim überwiegenden Teil der LAMRT handelte es sich jedoch um eine heterogene Gruppe von instabilen Arrhythmien, die trotz mehrfacher klinischer 12-Kanal-EKG-Dokumentation während der Untersuchung entweder durch "Entrainment"-Manöver oder spontan wiederholt in VHF degenerierten oder in eine andere instabile LAMRT konvertierten. Bei sechs Patienten konnte während der Untersuchung nur VHF induziert werden, das sich lediglich intermittierend in die klinische Tachykardie organisierte. Auch andere Untersuchungen an spontanen LAMRT zeigten, dass diese häufig instabil sind (4) oder als stabile Tachykardie perimitral verlaufen (1, zwei von zwei Patienten in 10).

Mehr als die Hälfte der Patienten hatte auch dokumentiertes symptomatisches VHF. Eine antiarrhythmische Therapie kann die Konversion einer ungerichteten Arrhythmie wie VHF in eine AMRT begünstigen, wie das am Beispiel des typischen Vorhofflatterns gezeigt wurde (8,62). Bei LAMRT sind die Reentrykreise nicht so stereotyp wie bei typischem Vorhofflattern im rechten Atrium. Multiple Tachykardiekreise wurden beschrieben (1,4,9). Ein ähnlicher Effekt der Konversion des VHF in eine AMRT kann unter antiarrhythmischer Therapie auftreten, wenn durch strukturelle anatomische Barrieren und einen unidirektionalen Leitungsblock eine Leitungsverzögerung induziert wird. Die Komplexität und Variabilität der Tachykardiekreise ist durch wechselnde Lokalisationen funktioneller Leitungsblöcke und Bereiche mit reduzierter Leitungsgeschwindigkeit in Narbenarealen bedingt (1-4). Sie

stabilisieren den Tachykardiekreis und verhindern einen Kurzschluss. Bei 25 unserer 28 Patienten fanden sich solche niederamplitudigen Bereiche, die mit den verschiedenen LAMRT assoziiert waren.

4.3.2. Akuter Ablationserfolg und Effektivität

Im Gegensatz zu typischem rechtsatrialen Vorhofflattern sind spontane LAMRT selten und werden im EKG oft mit VHF verwechselt. Das erklärt, warum größere Studien zur Ablation dieser Arrhythmien fehlen (1). Wie bei den postinterventionellen AMRT sind auch bei spontanen AMRT rechts- und linksseitige Arrhythmien zusammengefasst mit sehr geringen Fallzahlen (4,63), so dass sich auch hier ein Vergleich mit der Literatur schwierig gestaltet. Nach erfolgreicher Ablation kann im weiteren Verlauf in bis zu 50 % VHF auftreten (1,63). Die Ablationsstrategie variiert zwischen linearen Läsionen (1) und Kombination aus PVI mit linearen Läsionen (4) mit gutem akuten Ablationserfolg.

In der vorliegenden Arbeit wurden drei mögliche Ablationsstrategien miteinander verglichen. Bei allen stabilen LAMRT wurde der kritische mittdiastolische Isthmus identifiziert, so dass die LAMRT während der Ablation terminierte und anschließend nicht mehr induzierbar war. Bei allen Patienten in der Kombinationsgruppe aus PVI mit linearen Läsionen und allen Patienten in der PVI-Gruppe konnte die PVI erreicht werden. Der Erfolg eines bidirektionalen Leitungsblockes an einer linearen Läsion ist in der Gruppe mit alleiniger linearer Läsion etwas höher als in der Kombinationsgruppe von PVI mit linearen Läsionen (100 % gegenüber 83,3 %). Allerdings wurde in der letzteren Gruppe wie bei den postinterventionellen LAMRT durch die Anordnung der linearen Läsionen darauf geachtet, dass perimitrale LAMRT oder LAMRT um die zirkumferentielle Ablationslinie um die Pulmonalvenen-Ostien, die auch während oder nach schrittweiser VHF-Ablation am häufigsten sind (11,12,51), nicht auftreten konnten.

Nach einer Nachbeobachtungszeit von $12,2 \pm 11,1$ Monaten blieben 14 Patienten (50 %) ohne jegliches Arrhythmie rezidiv, es fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen ($p = ns$). Hinsichtlich der LAMRT-Rezidive schnitt die Kombinationsgruppe aus PVI mit linearen Läsionen signifikant schlechter ab als die beiden anderen Ablationsstrategien (PVI bzw. lineare Läsion), p je $< 0,05$. Die Häufigkeit von Arrhythmie rezidiven nach PVI mit linearen Läsionen ist in unserer Studie höher als in einer anderen Arbeit mit vergleichbarem Therapiekonzept, die über einen Nachsorgezeitraum von 27 ± 11 Monaten eine Arrhythmiefreiheit von 55 % erzielte, obwohl nur bei sieben von 11 Patienten eine Terminierung und Nichtinduzierbarkeit von Arrhythmien erreicht werden konnte (4); allerdings wurden in diese Untersuchung nur Patienten ohne strukturelle Herzerkrankung und ohne vorbestehendes oder induzierbares VHF eingeschlossen.

Die mediane LAMRT-freie Zeit nach Ablation durch PVI mit linearen Läsionen in der vorliegenden Arbeit betrug 6,8 Monate, vergleichbar mit dem Auftreten von perimitralem Flattern etwa 4,1 Monate nach schrittweiser VHF-Ablation (21).

Die LAMRT-Freiheit nach 12 Monaten bei den beiden anderen Therapiekonzepten PVI bzw. linearen Läsionen betrug 88,9 % und 87,5 %. In der Arbeit von Jais et al (1) wurde ebenfalls ein lineares Konzept in Form von linksatrialen linearen Läsionen verfolgt. Fünf von 21 Patienten (23,8 %) mit einer Makroreentrytachykardie hatten ein LAMRT-Rezidiv. In ihrer Arbeit gab es innerhalb eines Nachbeobachtungszeitraums von 15 ± 7 Monaten nur einen der 21 Patienten (4,8 %) mit VHF als Arrhythmie rezidiv im Gegensatz zu der hier vorliegenden Arbeit (zwei von acht Patienten, 25 %). Fünf von acht unserer Patienten (62,5 %) blieben nach Ablation durch lineare Läsionen arrhythmiefrei. Insgesamt ist die Rate von Arrhythmien nach einer linearen Ablation in unserer Arbeit vergleichbar mit der Arbeit von Jais (1) (37,5 % gegenüber 28,6 %). Allerdings hatten in unserer Arbeit nur 17 von 51 LAMRT (33 %) eine stabile Zykluslänge, die eine komplette Darstellung des Tachykardiezyklus ermöglichte. Bei Jais et al (1) konnte der Makroreentrykreis bei 16 von 21 Patienten (76,2 %) vollständig rekonstruiert werden. Bei den Patienten mit komplettem LAMRT-Map war die Erfolgsquote etwas höher als bei Patienten mit inkomplettem Mapping (75 % zu 60 %).

4.4. Untersuchungsdaten

4.4.1. Postinterventionelle linksatriale Makroreentrytachykardien

Durch die heterogen zusammengesetzte Gruppe der Patienten und verschiedene Tachykardieformen sind Vergleiche mit anderen Arbeiten schwierig. Die durchschnittliche DLZ lag bei $38,4 \pm 17,7$ min. Vergleichbare Studien mit postinterventionellen LAMRT zeigen ähnliche (10,21) oder erheblich längere DLZ (55).

Die Energie je Zentimeter Ablationslinie bei linearen Läsionen ist mit anderen VHF- und LAMRT-Ablationsstudien vergleichbar (19). Wenn man eine Länge für die Dachlinie von 1,5 cm bis 3 cm annimmt, entspricht die Energie von $15,12 \pm 14,96$ kJ etwa 5 bis 10 kJ je Zentimeter lineare Läsion in dieser Arbeit. Die durchschnittliche Länge des Mitralisthmus wurde mit etwa 3 cm angegeben entsprechend einer Energie von etwa 8 kJ je Zentimeter lineare Läsion. Allerdings bestehen bei der Mitralisthmuslinie deutliche Unterschiede zwischen steuerbarer und nichtsteuerbarer transeptaler Schleuse (2,256 kJ und 30,1 kJ). Verglichen mit der nichtsteuerbaren Schleuse mit $30,1 \pm 11,58$ kJ (entsprechend ca. 10 kJ/cm Linie) (19) wurde von uns eine relativ geringe Energie von $6,1 \pm 3,0$ kJ/cm Linie eingesetzt.

4.4.2. Spontane linksatriale Makroreentrytachykardien

Die durchschnittliche DLZ bei spontanen LAMRT lag bei $35,6 \pm 18,3$ min. Es fanden sich jedoch signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungsserien. Je komplexer das Konzept wurde, desto höher wurde die erforderliche DLZ (für lineare Läsionen $21,6 \pm 10,4$ min, für PVI $36,8 \pm 12,2$ min und für PVI mit linearen Läsionen $44,8 \pm 21,4$ min). Die DLZ in Studien mit spontanen LAMRT schwanken erheblich. In der Arbeit von Jais et al. (1) wurde bei einem linearen Konzept eine durchschnittliche DLZ von 95 ± 42 min und damit deutlich mehr als in unserer Arbeit ($21,6 \pm 10,4$ min) benötigt. Die Kombination aus PVI mit linearen Läsionen erforderte dagegen eine längere durchschnittliche DLZ als in einer anderen Studie mit vergleichbarem Ablationskonzept ($44,8 \pm 21,4$ min im Vergleich zu 25 ± 10 min in 4). Nur bei fünf von 11 Patienten konnten von uns vergleichbar niedrige DLZ erreicht werden. Allerdings sind derart niedrige DLZ für komplexe Ablationen, die eine Kombination aus PVI mit linearen Läsionen umfassen, eher selten und häufig wird eine höhere DLZ benötigt (10,11,20,64-66).

4.5. Substratanalyse

Sowohl bei den Patienten mit postinterventionellen als auch bei den Patienten mit spontanen LAMRT war das linksatriale Volumen im 3-dimensionalen Mapping deutlich vergrößert ($120,3 \pm 37,7$ ml bzw. $115,8 \pm 31,8$ ml) und vergleichbar mit den Werten aus der Arbeit von Jais (1). Bei Dilatation des linken Vorhofes finden sich häufig Bereiche mit strukturellem Remodeling, die durch eine Abnahme der bipolaren atrialen Potentiale gekennzeichnet sind (1). Volumen- und Drucküberlastung oder ein arterieller Bluthochdruck könnten dafür verantwortlich sein; immerhin wurden 26 von 28 Patienten mit spontaner LAMRT und 30 von 37 Patienten mit postinterventioneller LAMRT wegen Hypertonie medikamentös behandelt.

Diese genannten Bereiche mit einem niedrigen bipolaren Signal schaffen Zonen mit einem Leitungsblock oder einer Leitungsverzögerung und stellen Ankerpunkte oder Substrate für die Aufrechterhaltung von spontanen LAMRT dar (1,4).

Eine Vielzahl von niederamplitudigen Substraten und Reentrykreisen wurde bei Patienten ohne offensichtliche strukturelle Herzerkrankung beschrieben (1,3,4,67,68). Niederamplitudige Substrate fanden sich in unserer Arbeit bei 25 von 28 Patienten mit spontanen und bei 27 von 37 Patienten mit postinterventionellen LAMRT im Map. Die individuelle Ausprägung dieser Areale war sowohl in Lokalisation als auch Ausdehnung sehr unterschiedlich. Die häufigsten betroffenen Lokalisationen bei spontanen LAMRT bildeten das Septum, die posteriore und die anteriore Wand, was sich auch in einer anderen Arbeit

bestätigte (4). Die laterale Wand des linken Vorhofes zwischen den linksseitigen Pulmonalvenen und dem Mitralanulus zeigte nur selten niederamplitudige Bereiche.

Da nicht alle spontanen LAMRT eine stabile Zykluslänge aufwiesen und somit nicht im Aktivierungsmap dargestellt werden konnten, kann nicht ausgeschlossen werden, dass einige Formen dieser Tachykardien nicht direkt mit den niederamplitudigen Bereichen assoziiert waren. In solchen Fällen kann eine reine Substrat-basierte Ablation in Kombination mit PVI bei ca. 40 % der Patienten zu einer dauerhaften Rhythmusstabilität führen (4).

Areale mit fehlendem abgrenzbaren elektrischen Signal waren nur gering ausgeprägt, echte elektrisch stumme Areale fanden sich im Gegensatz zu anderen Arbeiten nicht (1,4).

4.6. Sicherheit

Die Komplikationsrate von 21,5 % in Zusammenhang mit der Therapie von LAMRT erscheint hoch, wobei bei neun Patienten (13,8 %) die Komplikation auf die Intervention und bei fünf Patienten (7,7 %) auf die medikamentöse Therapie zurückzuführen ist. Direkte schwerwiegende Folgen der invasiven Untersuchung in Form von Leisteneinblutungen traten bei zwei Patienten, beide mit künstlichem Mitralklappenersatz, auf. Ein Problem könnte dabei die Umstellung von oraler Antikoagulation auf Heparin und die anschließende Oralisierung auf Vitamin-K-Antagonisten darstellen. Dieses sogenannte Bridging erhöht die Rate an Blutungskomplikationen gegenüber einer durchgehenden oralen Antikoagulation (69). Bei drei der 65 Patienten (4,6 %) zeigte sich in der echokardiographischen Kontrolle ein nicht relevanter Perikarderguss, wie es auch nach VHF-Ablation demonstriert wurde (70-72). Anhaltende Schäden traten nicht auf.

4.7. Ausblick

Bei paroxysmalem VHF konnte gezeigt werden, dass die häufigsten Trigger in den Pulmonalvenen lokalisiert sind, obwohl auch extrapulmonalvenöse Trigger gefunden wurden (41). Durch segmentale PVI konnte VHF erfolgreich abladiert werden (41). In der Folgezeit wurde versucht, dieses Konzept auf persistierendes VHF zu übertragen (73,74). Die alleinige PVI bei persistierendem VHF weist schon nach kurzem Nachsorgezeitraum eine geringere Effektivität auf (73,74). Modifikationen dieses Konzeptes und ein schrittweises Vorgehen bei persistierendem VHF sollten die Effektivität erhöhen. Zusätzlich wurde versucht, extrapulmonalvenöse Trigger zu identifizieren (75-78). Dieses Vorgehen wurde auf paroxysmales VHF zurückübertragen, da auch hier der Langzeiterfolg nach einer einzelnen Ablationsprozedur unzureichend ist (79-80). Verschiedene Studien belegen, dass zusätzliche

lineare Läsionen z.B. am Mitralisthmus, den Ablationserfolg nach der initialen Ablation erhöhen (81).

Zusätzliche lineare Läsionen bei der Ablation von paroxysmalem oder persistierendem VHF bergen aber auch ein proarrhythmisches Risiko (46). Nach Ablation von paroxysmalem VHF kommt es bei zirkumferentieller PVI in Kombination mit einer Mitralisthmuslinie bei bis zu 24,3 % der Patienten zu LAMRT (20). Dieser Effekt wurde nach segmentaler PVI nicht beobachtet (20), wo ausschließlich VHF als Arrhythmie rezidiv auftrat. Auch nach Ablation von persistierendem VHF mit einem erweiterten schrittweisen Vorgehen traten im Langzeitverlauf atriale Tachykardien auf, 75 % davon LAMRT (82).

Nach Ablation von persistierendem VHF wurde dies häufig als Schritt nach vorn gewertet (83), da stabile LAMRT im Gegensatz zum chaotischen VHF einem nachvollziehbaren Reentrykreis folgen und, wie bei uns, erfolgreich ablatiert werden können.

Nach den Erfahrungen aus der Arbeit von Sawhney (20) bei paroxysmalem VHF und den hier vorgestellten Ergebnissen muss davon ausgegangen werden, dass es sich auch hier um einen proarrhythmischen Effekt einer inkompletten linearen Läsion handelt. Eine Lücke in der Ablationslinie um die Pulmonalvenen ermöglicht es einem Trigger, statt VHF eine LAMRT durch eine Lücke in der linearen Läsion zu induzieren. Randomisierte Vergleiche bei Patienten mit persistierendem VHF und elektrisch gesunden Vorhöfen, bei denen sowohl in der initialen Ablationsprozedur als auch in einer Zweitprozedur nur das Konzept der PVI und Triggerelimination verfolgt wurde im Vergleich zur PVI mit zusätzlichen linearen Läsionen, liegen nicht vor.

Lineare Läsionen stellen artifizielle Niedervoltageareale oder tatsächlich elektrisch stumme Bereiche analog zu den elektrisch stummen Arealen dar, für die auch ein Zusammenhang mit spontanen LAMRT gezeigt werden konnte (1,4). Die Verbindung dieser isolierenden Areale durch lineare Läsionen hat sich als effektive Methode zur Ablation erwiesen (1). Wie auch nach Ablation von typischem isthmusabhängigen Vorhofflattern kann es auch nach Ablation von LAMRT zu VHF kommen bzw. VHF ist häufig mit LAMRT assoziiert. Elektrophysiologen versuchen deshalb, dies in ihrem Ablationskonzept zu bedenken und gleichzeitig mögliche Trigger, die die LAMRT induzieren können, zu eliminieren. Lineare Läsionen werden somit zunehmend mit einer zirkumferentiellen PVI kombiniert (4,10). Allerdings muss man davon ausgehen, dass ähnlich wie bei VHF, auch extrapulmonalvenöse rechts-oder linksatriale Trigger (75-78) oder Trigger im linken Vorhof existieren (84). Auch zwei unserer Patienten hatten einen Trigger im linken Vorhof. Diese würden durch eine PVI nicht eliminiert. Gleichzeitig ist die reproduzierbare Induktion von Triggern unzuverlässig (21) und die Schaffung einer dauerhaften kompletten linearen Läsion technisch anspruchsvoll. Insbesondere bei längeren Läsionen steigt die Wahrscheinlichkeit von Lücken. Die Kombination aus Lücke und Trigger erhöht das Risiko

für rezidivierende Arrhythmien nach Ablation, das anhand der Daten für Ablationen von spontanen LAMRT bisher nur unzureichend einschätzbar ist. Möglicherweise kann die Verwendung von steuerbaren Schleusen und die Messung des Anpressdruckes während der Ablation das Auftreten von Leitungsrezidiven in Ablationslinien reduzieren. Anhand der Daten dieser Arbeit ist davon auszugehen, dass jedes der verwendeten Ablationskonzepte ein Risiko für erneute Arrhythmien birgt. Das Auftreten von LAMRT nach Kombination aus PVI und linearen Läsionen war jedoch deutlich erhöht. Andererseits können instabile LAMRT mit möglicher Degeneration in VHF auch durch ein standardisiertes Konzept wie eine PVI erfolgreich ablatiert werden.

Zu bedenken gilt es, dass durch längere Prozeduren mit ausgedehnteren Ablationsläsionen auch das Risiko für periprozedurale Komplikationen steigt.

Das Konzept aus der Behandlung einer postinterventionellen LAMRT lässt sich demnach nicht einfach auf spontane LAMRT übertragen, auch wenn das theoretische Konzept vielversprechend ist. Eine Zweitablation zum Erreichen einer dauerhaften Arrhythmiefreiheit muss als integraler Bestandteil des Ablationskonzeptes berücksichtigt werden.

Da spontane LAMRT selten sind, wird sich ein optimaler Therapieansatz nur in multizentrischen größeren Studien ermitteln lassen, in denen eine konsequente Rhythmuskontrolle erfolgt.

4.8. Zusammenfassung

In der hier vorgestellten Arbeit wurden die Ergebnisse nach Katheterablation von LAMRT untersucht. Die Arbeit gliederte sich in zwei inhaltliche Abschnitte.

Im ersten Abschnitt wurden 37 Patienten LAMRT nach vorangegangener intraoperativer Ablation oder Katheterablation untersucht. Nach 12 Monaten blieben 67,7 % der Patienten frei von jeglicher Arrhythmie und 71,0 % frei von einer LAMRT. Patienten mit einem HATCH-Score von zwei oder mehr Punkten hatten signifikant häufiger Arrhythmie rezidive.

Im zweiten Abschnitt wurden spontane LAMRT ohne vorausgehende linksatriale Ablation untersucht. Da hierfür in der Praxis unterschiedliche Konzepte eingesetzt werden, wurde dieser Teil als Pilotversuch konzipiert. Insgesamt wurden 28 Patienten drei verschiedenen Ablationsstrategien zugeordnet und die Arrhythmiefreiheit nach Ablation (primärer Endpunkt) und die Freiheit von LAMRT (sekundärer Endpunkt) bzw. VHF miteinander verglichen. Von den Patienten mit spontaner LAMRT blieben nach 12 Monaten 43,5 % ohne Arrhythmie rezidiv und 63,8 % ohne LAMRT-Rezidiv. Dabei zeigte sich, dass bei einem Konzept der Kombination von PVI mit linearen Läsionen signifikant häufiger Rezidive von LAMRT auftraten als bei den beiden anderen eingesetzten Konzepten (jeweils nur PVI oder

nur lineare Läsionen). Bei Auftreten des primären Endpunktes (insgesamt 50 % in der gesamten Nachbeobachtungszeit) fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Konzepten.

Auffällig ist, dass bei fast allen Patienten mit spontanen LAMRT ausgedehnte niederamplitudige Areale zu finden waren, die möglicherweise zur Stabilisierung des Reentrykreises beitragen.

Die Katheterablation von LAMRT weist mittelfristig eine gute Effektivität auf bei vertretbarem peri- und postinterventionellem Risiko. Bei der Planung einer Katheterintervention muss bedacht werden, dass eine Zweitprozedur zum Schließen von Lücken in den Ablationslinien erforderlich sein kann. Neue Techniken können die Effektivität einer einzelnen Ablation möglicherweise erhöhen.

Das Konzept der bidirektionalen Blockade eines Tachykardiekreises durch eine lineare Läsion und die gleichzeitige Elimination von Triggern durch eine PVI zur Verhinderung aller Arrhythmien nach nur einer Ablation bei spontanen LAMRT ist ein interessanter Ansatz, der jedoch nur schwer in der Praxis umzusetzen ist. Eine Übertragung des Ablationskonzeptes der postinterventionellen LAMRT in Form der Kombination von PVI und linearen Läsionen auf spontane LAMRT ist mit den aktuellen Verfahren nicht empfehlenswert und bedarf einer Überprüfung in größeren Studien mit verbesserter Technik.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	12-Kanal-EKG bei linksatrialer Makroentrytachykardie
Abbildung 2	Langzeit-EKG bei linksatrialer Makroentrytachykardie
Abbildung 3	Schema einer linksatrialen Makroentrytachykardie
Abbildung 4	Katheterlage in linksschräger Projektion
Abbildung 5	Ablationsstrategien bei postinterventionellen linksatrialen Makroentrytachykardien
Abbildung 6	Aktivierungsmap von Mitralklappenflattern
Abbildung 7	„Entrainment“ einer linksatrialen Makroentrytachykardie
Abbildung 8	Bidirektionaler Mitralisthmusblock
Abbildung 9	Vorhofflimmerablation und postinterventionelle linksatriale Makroentrytachykardien
Abbildung 10	Anzahl der Erstprozeduren von Vorhofflimmerablationen
Abbildung 11	Ablationsmap von postinterventionellem Mitralklappenflattern
Abbildung 12	Übersicht über Therapie und Rezidive
Abbildung 13	Kaplan-Meier-Kurve für das Auftreten von linksatrialen Makroentrytachykardien
Abbildung 14	Arrhythmiefreie Zeit in Abhängigkeit vom HATCH-Score
Abbildung 15	Therapie spontaner linksatrialer Makroentrytachykardien
Abbildung 16	EKG, Mapping und Terminierung einer Tachykardie
Abbildung 17	Akuter Ablationserfolg spontaner Makroentrytachykardien
Abbildung 18	Primärer Endpunkt nach Ablation spontan auftretender Makroentrytachykardien
Abbildung 19	Rezidivwahrscheinlichkeit aller Arrhythmien
Abbildung 20	Sekundärer Endpunkt nach Ablation spontan auftretender Makroentrytachykardien
Abbildung 21	Rezidivwahrscheinlichkeit linksatrialer Makroentrytachykardien
Abbildung 22	Rezidivwahrscheinlichkeit für Vorhofflimmern
Abbildung 23	Bipolares Mapping bei Narbenarealen

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Basisdaten der Patienten
Tabelle 2	Basisdaten bei Patienten mit spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien
Tabelle 3	Untersuchungsdaten bei Patienten mit spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien
Tabelle 4	Arrhythmiefreiheit bei spontanen linksatrialen Makroreentrytachykardien
Tabelle 5	Freiheit von linksatrialen Makroreentrytachykardien
Tabelle 6	Erfolgsrate und initiale linksatriale Makroreentrytachykardien
Tabelle 7	Vergleich postinterventioneller und spontan auftretender linksatrialer Makroreentrytachykardien
Tabelle 8	Linksatriale Makroreentrytachykardien in Abhängigkeit von der Therapie

Literaturverzeichnis

- 1 Jaïs P, Shah DC, Haïssaguerre M, Hocini M, Peng JT, Takahashi A, Garrigue S, Le Métayer P, Clémenty J. Mapping and ablation of left atrial flutters. *Circulation*. 2000 Jun 27;101(25):2928-34.
- 2 Jaïs P, Hocini M, Weerasoryia R, Macle L, Scavee C, Raybaud F, Shah DC, Clémenty J, Haïssaguerre M. Atypical left atrial flutters. *Card Electrophysiol Rev*. 2002 Dec;6(4):371-7.
- 3 Ouyang F, Ernst S, Vogtmann T, Goya M, Volkmer M, Schaumann A, Bänsch D, Antz M, Kuck KH. Characterization of reentrant circuits in left atrial macroreentrant tachycardia: critical isthmus block can prevent atrial tachycardia recurrence. *Circulation*. 2002 Apr 23;105(16):1934-42.
- 4 Fiala M, Chovancík J, Neuwirth R, Nevralová R, Jiravský O, Sknouril L, Dorda M, Januska J, Vodzinská A, Cerný J, Nykl I, Branny M. Atrial macroreentry tachycardia in patients without obvious structural heart disease or previous cardiac surgical or catheter intervention: characterization of arrhythmogenic substrates, reentry circuits, and results of catheter ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2007 Aug;18(8):824-32.
- 5 Della BP, Fraticelli A, Tondo C, Riva S, Fassini G, Carbucicchio C. Atypical atrial flutter: clinical features, electrophysiological characteristics and response to radiofrequency catheter ablation. *Europace*. 2002 Jul;4(3):241-53.
- 6 Roithinger FX, SippensGroenewegen A, Karch MR, Steiner PR, Ellis WS, Lesh MD. Organized activation during atrial fibrillation in man: endocardial and electrocardiographic manifestations. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 1998 May;9(5):451-61.
- 7 Roithinger FX, Karch MR, Steiner PR, SippensGroenewegen A, Lesh MD. Relationship between atrial fibrillation and typical atrial flutter in humans: activation sequence changes during spontaneous conversion. *Circulation*. 1997 Nov 18;96(10):3484-91.
- 8 Riva S, Tondo C, Carbucicchio C, Galimberti P, Fassini G, Della Bella P. Incidence and clinical significance of transformation of atrial fibrillation to atrial flutter in patients undergoing long-term antiarrhythmic drug treatment. *Europace*. 1999 Oct;1(4):242-7.
- 9 De Ponti R, Marazzi R, Zoli L, Caravati F, Ghiringhelli S, Salerno-Uriarte JA. Electroanatomic mapping and ablation of macroreentrant atrial tachycardia: comparison between successfully and unsuccessfully treated cases. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2010 Feb;21(2):155-62.
- 10 Esato M, Hindricks G, Sommer P, Arya A, Gaspar T, Bode K, Bollmann A, Wetzel U, Hilbert S, Kircher S, Eitel C, Piorkowski C. Color-coded three-dimensional entrainment mapping for analysis and treatment of atrial macroreentrant tachycardia. *Heart Rhythm*. 2009 Mar;6(3):349-58.
- 11 Ning M, Dong JZ, Liu XP, Yu RH, Long DY, Tang RB, Sang CH, Ma CS. Mechanisms of organized atrial tachycardia during catheter ablation of chronic atrial fibrillation by stepwise approach. *Chin Med J (Engl)*. 2010 Apr 5;123(7):852-6.

- 12 Zheng L, Yao Y, Zhang S, Chen W, Zhang K, Wang F, Chen X, He DS, Kadish AH. Organized left atrial tachyarrhythmia during stepwise linear ablation for atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2009 May;20(5):499-506.
- 13 Chun KR, Bansch D, Ernst S, Ujeyl A, Huang H, Chu H, Satomi K, Schmidt B, Antz M, Kuck KH, Ouyang F. Pulmonary vein conduction is the major finding in patients with atrial tachyarrhythmias after intraoperative maze ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2007 Apr;18(4):358-63.
- 14 McElderry HT, McGiffin DC, Plumb VJ, Nanthakumar K, Epstein AE, Yamada T, Kay GN. Proarrhythmic aspects of atrial fibrillation surgery: mechanisms of postoperative macroreentrant tachycardias. *Circulation*. 2008 Jan 15;117(2):155-62.
- 15 Jaïs P, Matsuo S, Knecht S, Weerasooriya R, Hocini M, Sacher F, Wright M, Nault I, Lellouche N, Klein G, Clémenty J, Haïssaguerre M. A deductive mapping strategy for atrial tachycardia following atrial fibrillation ablation: importance of localized reentry. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2009 May;20(5):480-91.
- 16 Akar JG, Al-Chekakie MO, Hai A, Brysiewicz N, Porter M, Varma N, Santucci P, Wilber DJ. Surface electrocardiographic patterns and electrophysiologic characteristics of atrial flutter following modified radiofrequency MAZE procedures. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2007 Apr;18(4):349-55.
- 17 Satomi K, Bänsch D, Tilz R, Chun J, Ernst S, Antz M, Greten H, Kuck KH, Ouyang F. Left atrial and pulmonary vein macroreentrant tachycardia associated with double conduction gaps: a novel type of man-made tachycardia after circumferential pulmonary vein isolation. *Heart Rhythm*. 2008 Jan;5(1):43-51.
- 18 Sawhney N, Anand K, Robertson CE, Wurdeman T, Anousheh R, Feld GK. Recovery of mitral isthmus conduction leads to the development of macro-reentrant tachycardia after left atrial linear ablation for atrial fibrillation. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2011 Dec;4(6):832-7.
- 19 Matsuo S, Yamane T, Date T, Hioki M, Narui R, Ito K, Tanigawa S, Nakane T, Yamashita S, Tokuda M, Inada K, Nojiri A, Kawai M, Sugimoto K, Yoshimura M. Completion of mitral isthmus ablation using a steerable sheath: prospective randomized comparison with a nonsteerable sheath. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2011 Dec;22(12):1331-8.
- 20 Sawhney N, Anousheh R, Chen W, Feld GK. Circumferential pulmonary vein ablation with additional linear ablation results in an increased incidence of left atrial flutter compared with segmental pulmonary vein isolation as an initial approach to ablation of paroxysmal atrial fibrillation. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2010 Jun;3(3):243-8.
- 21 Bai R, Di Biase L, Mohanty P, Dello Russo A, Casella M, Pelargonio G, Themistoclakis S, Mohanty S, Elayi CS, Sanchez J, Burkhardt JD, Horton R, Gallinghouse GJ, Bailey SM, Bonso A, Beheiry S, Hongo RH, Raviele A, Tondo C, Natale A. Ablation of perimitral flutter following catheter ablation of atrial fibrillation: impact on outcomes from a randomized study (PROPOSE). *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2012 Feb;23(2):137-44.
- 22 Zoppo F, Brandolino G, Zerbo F, Bertaglia E. Late atrial tachycardia following pulmonary vein isolation: analysis of successful discrete ablation sites. *Int J Cardiol*. 2012 May 3;156(3):270-6.

- 23 Saoudi N, Cosio F, Waldo A, Chen SA, Iesaka Y, Lesh M, Saksena S, Salerno J, Schoels W. Classification of atrial flutter and regular atrial tachycardia according to electrophysiologic mechanism and anatomic bases: a statement from a joint expert group from the Working Group of Arrhythmias of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2001 Jul;12(7):852-66.
- 24 Medi C, Kalman JM. Prediction of the atrial flutter circuit location from the surface electrocardiogram. *Europace*. 2008 Jul;10(7):786-96.
- 25 Gerstenfeld EP, Dixit S, Bala R, Callans DJ, Lin D, Sauer W, Garcia F, Cooper J, Russo AM, Marchlinski FE. Surface electrocardiogram characteristics of atrial tachycardias occurring after pulmonary vein isolation. *Heart Rhythm*. 2007 Sep;4(9):1136-43.
- 26 Heidbüchel H, Ector H, Adams J, Van de Werf F. Use of only a regular diagnostic His-bundle catheter for both fast and reproducible "para-Hisian pacing" and stable right ventricular pacing. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 1997 Oct;8(10):1121-32.
- 27 Shalghanov TN, Vatasescu R, Paprika D, Kornyei L, Vanyi J, Geller L, Szilagyi S, Traykov VB, Balabanski TL, Szili-Torok T. A simple algorithm for defining the mechanism and the chamber of origin in atrial tachycardias. *J Electrocardiol*. 2006 Oct;39(4):369-76.
- 28 Miyazaki H, Stevenson WG, Stephenson K, Soejima K, Epstein LM. Entrainment mapping for rapid distinction of left and right atrial tachycardias. *Heart Rhythm*. 2006 May;3(5):516-23.
- 29 Josephson ME: Supraventricular tachycardias. In Josephson ME ed: *Clinical Cardiac Electrophysiology: Techniques and Interpretations*. pp 167-274. Second Edition. Philadelphia: Lea & Febiger, 1993
- 30 Scheinman MM, Yang Y, Cheng J. Atrial flutter: Part II Nomenclature. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2004 Apr;27(4):504-6.
- 31 De Ponti R, Zardini M, Storti C, Longobardi M, Salerno-Uriarte JA. Trans-septal catheterization for radiofrequency catheter ablation of cardiac arrhythmias. Results and safety of a simplified method. *Eur Heart J*. 1998 Jun;19(6):943-50.
- 32 De Ponti R, Verlato R, Bertaglia E, Del Greco M, Fusco A, Bottoni N, Drago F, Sciarra L, Ometto R, Mantovan R, Salerno-Uriarte JA. Treatment of macro-re-entrant atrial tachycardia based on electroanatomic mapping: identification and ablation of the mid-diastolic isthmus. *Europace*. 2007 Jul;9(7):449-57.
- 33 Varanasi S, Dhala A, Blanck Z, Deshpande S, Akhtar M, Sra J. Electroanatomic mapping for radiofrequency ablation of cardiac arrhythmias. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 1999 Apr;10(4):538-44.
- 34 Callans DJ, Ren JF, Michele J, Marchlinski FE, Dillon SM. Electroanatomic left ventricular mapping in the porcine model of healed anterior myocardial infarction. Correlation with intracardiac echocardiography and pathological analysis. *Circulation*. 1999 Oct 19;100(16):1744-50.

- 35 Miyamoto K, Tsuchiya T, Narita S, Yamaguchi T, Nagamoto Y, Ando S, Hayashida K, Tanioka Y, Takahashi N. Bipolar electrogram amplitudes in the left atrium are related to local conduction velocity in patients with atrial fibrillation. *Europace*. 2009 Dec;11(12):1597-605.
- 36 Sanders P, Morton JB, Davidson NC, Spence SJ, Vohra JK, Sparks PB, Kalman JM. Electrical remodeling of the atria in congestive heart failure: electrophysiological and electroanatomic mapping in humans. *Circulation*. 2003 Sep 23;108(12):1461-8.
- 37 Sanders P, Morton JB, Kistler PM, Spence SJ, Davidson NC, Hussin A, Vohra JK, Sparks PB, Kalman JM. Electrophysiological and electroanatomic characterization of the atria in sinus node disease: evidence of diffuse atrial remodeling. *Circulation*. 2004 Mar 30;109(12):1514-22.
- 38 Lo LW, Tai CT, Lin YJ, Chang SL, Wongcharoen W, Chang SH, Hsieh MH, Tuan TC, Udyavar AR, Chen YJ, Tsao HM, Chen SA. Progressive remodeling of the atrial substrate--a novel finding from consecutive voltage mapping in patients with recurrence of atrial fibrillation after catheter ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2007 Mar;18(3):258-65.
- 39 Pappone C, Rosanio S, Oreto G, Tocchi M, Gugliotta F, Vicedomini G, Salvati A, Dicandia C, Mazzone P, Santinelli V, Gulletta S, Chierchia S. Circumferential radiofrequency ablation of pulmonary vein ostia: A new anatomic approach for curing atrial fibrillation. *Circulation*. 2000 Nov 21;102(21):2619-28.
- 40 Oral H, Scharf C, Chugh A, Hall B, Cheung P, Good E, Veerareddy S, Pelosi F Jr, Morady F. Catheter ablation for paroxysmal atrial fibrillation: segmental pulmonary vein ostial ablation versus left atrial ablation. *Circulation*. 2003 Nov 11;108(19):2355-60.
- 41 Haïssaguerre M, Jaïs P, Shah DC, Takahashi A, Hocini M, Quiniou G, Garrigue S, Le Mouroux A, Le Métayer P, Clémenty J. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med*. 1998 Sep 3;339(10):659-66.
- 42 Ouyang F, Antz M, Ernst S, Hachiya H, Mavrakis H, Deger FT, Schaumann A, Chun J, Falk P, Hennig D, Liu X, Bänsch D, Kuck KH. Recovered pulmonary vein conduction as a dominant factor for recurrent atrial tachyarrhythmias after complete circular isolation of the pulmonary veins: lessons from double Lasso technique. *Circulation*. 2005 Jan 18;111(2):127-35.
- 43 Gerstenfeld EP, Callans DJ, Dixit S, Russo AM, Nayak H, Lin D, Pulliam W, Siddique S, Marchlinski FE. Mechanisms of organized left atrial tachycardias occurring after pulmonary vein isolation. *Circulation*. 2004 Sep 14;110(11):1351-7.
- 44 Pappone C, Manguso F, Vicedomini G, Gugliotta F, Santinelli O, Ferro A, Gulletta S, Sala S, Sora N, Paglino G, Augello G, Agricola E, Zangrillo A, Alfieri O, Santinelli V. Prevention of iatrogenic atrial tachycardia after ablation of atrial fibrillation: a prospective randomized study comparing circumferential pulmonary vein ablation with a modified approach. *Circulation*. 2004 Nov 9;110(19):3036-42.
- 45 Cummings JE, Schweikert R, Saliba W, Hao S, Martin DO, Marrouche NF, Burkhardt JD, Kilicaslan F, Verma A, Beheiry S, Belden W, Natale A. Left atrial flutter following pulmonary vein antrum isolation with radiofrequency energy: linear lesions or repeat isolation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2005 Mar;16(3):293-7.

- 46 Matsuo S, Wright M, Knecht S, Nault I, Lellouche N, Lim KT, Arantes L, O'Neill MD, Hocini M, Jaïs P, Haïssaguerre M. Peri-mitral atrial flutter in patients with atrial fibrillation ablation. *Heart Rhythm*. 2010 Jan;7(1):2-8.
- 47 Jaïs P, Hocini M, Hsu LF, Sanders P, Scavee C, Weerasooriya R, Macle L, Raybaud F, Garrigue S, Shah DC, Le Metayer P, Clémenty J, Haïssaguerre M. Technique and results of linear ablation at the mitral isthmus. *Circulation*. 2004 Nov 9;110(19):2996-3002.
- 48 Fassini G, Riva S, Chiodelli R, Trevisi N, Berti M, Carbucicchio C, Maccabelli G, Giraldi F, Bella PD. Left mitral isthmus ablation associated with PV Isolation: long-term results of a prospective randomized study. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2005 Nov;16(11):1150-6.
- 49 Hocini M, Jaïs P, Sanders P, Takahashi Y, Rotter M, Rostock T, Hsu LF, Sacher F, Reuter S, Clémenty J, Haïssaguerre M. Techniques, evaluation, and consequences of linear block at the left atrial roof in paroxysmal atrial fibrillation: a prospective randomized study. *Circulation*. 2005 Dec 13;112(24):3688-96.
- 50 Kobza R, Kottkamp H, Dorszewski A, Tanner H, Piorkowski C, Schirdewahn P, Gerds-Li JH, Hindricks G. Stable secondary arrhythmias late after intraoperative radiofrequency ablation of atrial fibrillation: incidence, mechanism, and treatment. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2004 Nov;15(11):1246-9.
- 51 Nagamoto Y, Tsuchiya T, Miyamoto K, Yamaguchi T, Takahashi N. Atrial tachycardia during ongoing atrial fibrillation ablation. - EnSite array analysis-. *Circ J*. 2011;75(5):1080-9.
- 52 Naegeli B, Dang L, Boll S, Tivig C, Scharf C. Initial results of linear duty-cycled radiofrequency for atypical flutter and atrial tachycardia. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2011 Sep;34(9):1128-37.
- 53 Sanders P, Jaïs P, Hocini M, Hsu LF, Scavée C, Sacher F, Rotter M, Takahashi Y, Pasquié JL, Shah DC, Garrigue S, Clémenty J, Haïssaguerre M. Electrophysiologic and clinical consequences of linear catheter ablation to transect the anterior left atrium in patients with atrial fibrillation. *Heart Rhythm*. 2004 Jul;1(2):176-84.
- 54 Magnano AR, Argenziano M, Dizon JM, Vigilance D, Williams M, Yegen H, Rueter K, Oz M, Garan H. Mechanisms of atrial tachyarrhythmias following surgical atrial fibrillation ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2006 Apr;17(4):366-73
- 55 Bai R, Fahmy TS, Patel D, Di Biase L, Riedlbauchova L, Wazni OM, Schweikert RA, Burkhardt JD, Saliba W, Natale A. Radiofrequency ablation of atypical atrial flutter after cardiac surgery or atrial fibrillation ablation: a randomized comparison of open-irrigation-tip and 8-mm-tip catheters. *Heart Rhythm*. 2007 Dec;4(12):1489-96.
- 56 Kobza R, Hindricks G, Tanner H, Schirdewahn P, Dorszewski A, Piorkowski C, Gerds-Li JH, Kottkamp H. Late recurrent arrhythmias after ablation of atrial fibrillation: incidence, mechanisms, and treatment. *Heart Rhythm*. 2004 Dec;1(6):676-83.
- 57 Chugh A, Oral H, Lemola K, Hall B, Cheung P, Good E, Tamirisa K, Han J, Bogun F, Pelosi F Jr, Morady F. Prevalence, mechanisms, and clinical significance of macroreentrant atrial tachycardia during and following left atrial ablation for atrial fibrillation. *Heart Rhythm*. 2005 May;2(5):464-71.

- 58 Rostock T, O'Neill MD, Sanders P, Rotter M, Jaïs P, Hocini M, Takahashi Y, Sacher F, Jönsson A, Hsu LF, Clémenty J, Haïssaguerre M. Characterization of conduction recovery across left atrial linear lesions in patients with paroxysmal and persistent atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2006 Oct;17(10):1106-11.
- 59 Chinitz JS, Gerstenfeld EP, Marchlinski FE, Callans DJ. Atrial fibrillation is common after ablation of isolated atrial flutter during long-term follow-up. *Heart Rhythm*. 2007 Aug;4(8):1029-33.
- 60 Wazni O, Marrouche NF, Martin DO, Gillinov AM, Saliba W, Saad E, Klein A, Bhargava M, Bash D, Schweikert R, Erciyes D, Abdul-Karim A, Brachman J, Gunther J, Pisano E, Potenza D, Fanelli R, Natale A. Randomized study comparing combined pulmonary vein-left atrial junction disconnection and cavotricuspid isthmus ablation versus pulmonary vein-left atrial junction disconnection alone in patients presenting with typical atrial flutter and atrial fibrillation. *Circulation*. 2003 Nov 18;108(20):2479-83.
- 61 de Vos CB, Pisters R, Nieuwlaat R, Prins MH, Tieleman RG, Coelen RJ, van den Heijkant AC, Allessie MA, Crijns HJ. Progression from paroxysmal to persistent atrial fibrillation clinical correlates and prognosis. *J Am Coll Cardiol*. 2010 Feb 23;55(8):725-31.
- 62 Murdock CJ, Kyles AE, Yeung-Lai-Wah JA, Qi A, Vorderbrugge S, Kerr CR. Atrial flutter in patients treated for atrial fibrillation with propafenone. *Am J Cardiol*. 1990 Sep 15;66(7):755-7.
- 63 Bogun F, Bender B, Li YG, Hohnloser SH. Ablation of atypical atrial flutter guided by the use of concealed entrainment in patients without prior cardiac surgery. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2000 Feb;11(2):136-45.
- 64 Gaita F, Caponi D, Scaglione M, Montefusco A, Corleto A, Di Monte F, Coin D, Di Donna P, Giustetto C. Long-term clinical results of 2 different ablation strategies in patients with paroxysmal and persistent atrial fibrillation. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2008 Oct;1(4):269-75.
- 65 Liu X, Long D, Dong J, Hu F, Yu R, Tang R, Fang D, Hao P, Lu C, Liu X, He X, Liu X, Ma C. Is circumferential pulmonary vein isolation preferable to stepwise segmental pulmonary vein isolation for patients with paroxysmal atrial fibrillation? *Circ J*. 2006 Nov;70(11):1392-7.
- 66 Rivard L, Hocini M, Rostock T, Cauchemez B, Forclaz A, Jadidi AS, Linton N, Nault I, Miyazaki S, Liu X, Xhaet O, Shah A, Sacher F, Derval N, Jaïs P, Khairy P, Macle L, Nattel S, Willems S, Haïssaguerre M. Improved outcome following restoration of sinus rhythm prior to catheter ablation of persistent atrial fibrillation: a comparative multicenter study. *Heart Rhythm*. 2012 Jul;9(7):1025-30.
- 67 Bochoeyer A, Yang Y, Cheng J, Lee RJ, Keung EC, Marrouche NF, Natale A, Scheinman MM. Surface electrocardiographic characteristics of right and left atrial flutter. *Circulation*. 2003 Jul 8;108(1):60-6.
- 68 Marrouche NF, Natale A, Wazni OM, Cheng J, Yang Y, Pollack H, Verma A, Ursell P, Scheinman MM. Left septal atrial flutter: electrophysiology, anatomy, and results of ablation. *Circulation*. 2004 May 25;109(20):2440-7.

- 69 Santangeli P, Di Biase L, Horton R, Burkhardt JD, Sanchez J, Al-Ahmad A, Hongo R, Beheiry S, Bai R, Mohanty P, Lewis WR, Natale A. Ablation of atrial fibrillation under therapeutic warfarin reduces periprocedural complications: evidence from a meta-analysis. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2012 Apr;5(2):302-11.
- 70 Kalla M, Rajappan K, Kalra S, Thomas G, Redpath C, Earley MJ, Sporton SC, Schilling RJ. Routine transthoracic echocardiography to assess pericardial collections in patients after extensive left atrial catheter ablation: a prospective study. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2011 Jul;22(7):756-60.
- 71 Di Biase L, Burkhardt JD, Mohanty P, Sanchez J, Horton R, Gallingshouse GJ, Lakkireddy D, Verma A, Khaykin Y, Hongo R, Hao S, Beheiry S, Pelargonio G, Dello Russo A, Casella M, Santarelli P, Santangeli P, Wang P, Al-Ahmad A, Patel D, Themistoclakis S, Bonso A, Rossillo A, Corrado A, Raviele A, Cummings JE, Schweikert RA, Lewis WR, Natale A. Periprocedural stroke and management of major bleeding complications in patients undergoing catheter ablation of atrial fibrillation: the impact of periprocedural therapeutic international normalized ratio. *Circulation*. 2010 Jun 15;121(23):2550-6.
- 72 Schaer BA, Maurer A, Sticherling C, Buser PT, Osswald S. Routine echocardiography after radiofrequency ablation: to flog a dead horse? *Europace*. 2009 Feb;11(2):155-7.
- 73 Oral H, Knight BP, Tada H, Ozaydin M, Chugh A, Hassan S, Scharf C, Lai SW, Greenstein R, Pelosi F Jr, Strickberger SA, Morady F. Pulmonary vein isolation for paroxysmal and persistent atrial fibrillation. *Circulation*. 2002 Mar 5;105(9):1077-81.
- 74 Oral H, Knight BP, Ozaydin M, Chugh A, Lai SW, Scharf C, Hassan S, Greenstein R, Han JD, Pelosi F Jr, Strickberger SA, Morady F. Segmental ostial ablation to isolate the pulmonary veins during atrial fibrillation: feasibility and mechanistic insights. *Circulation*. 2002 Sep 3;106(10):1256-62.
- 75 Lin WS, Tai CT, Hsieh MH, Tsai CF, Lin YK, Tsao HM, Huang JL, Yu WC, Yang SP, Ding YA, Chang MS, Chen SA. Catheter ablation of paroxysmal atrial fibrillation initiated by non-pulmonary vein ectopy. *Circulation*. 2003 Jul 1;107(25):3176-83.
- 76 Chen SA, Tai CT, Yu WC, Chen YJ, Tsai CF, Hsieh MH, Chen CC, Prakash VS, Ding YA, Chang MS. Right atrial focal atrial fibrillation: electrophysiologic characteristics and radiofrequency catheter ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 1999 Mar;10(3):328-35.
- 77 Tsai CF, Tai CT, Hsieh MH, Lin WS, Yu WC, Ueng KC, Ding YA, Chang MS, Chen SA. Initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating from the superior vena cava: electrophysiological characteristics and results of radiofrequency ablation. *Circulation*. 2000 Jul 4;102(1):67-74.
- 78 Hwang C, Wu TJ, Doshi RN, Peter CT, Chen PS. Vein of Marshall cannulation for the analysis of electrical activity in patients with focal atrial fibrillation. *Circulation*. 2000 Apr 4;101(13):1503-5.
- 79 Ouyang F, Tilz R, Chun J, Schmidt B, Wissner E, Zerm T, Neven K, Köktürk B, Konstantinidou M, Metzner A, Fuernkranz A, Kuck KH. Long-term results of catheter ablation in paroxysmal atrial fibrillation: lessons from a 5-year follow-up. *Circulation*. 2010 Dec 7;122(23):2368-77.

- 80 Chao TF, Tsao HM, Lin YJ, Tsai CF, Lin WS, Chang SL, Lo LW, Hu YF, Tuan TC, Suenari K, Li CH, Hartono B, Chang HY, Ambrose K, Wu TJ, Chen SA. Clinical outcome of catheter ablation in patients with nonparoxysmal atrial fibrillation: results of 3-year follow-up. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2012 Jun 1;5(3):514-20.
- 81 Jais P, Hocini M, Hsu LF, Sanders P, Scavee C, Weerasooriya R, Macle L, Raybaud F, Garrigue S, Shah DC, Le Metayer P, Clémenty J, Haïssaguerre M. Technique and results of linear ablation at the mitral isthmus. *Circulation*. 2004 Nov 9;110(19):2996-3002.
- 82 Rostock T, Salukhe TV, Steven D, Drewitz I, Hoffmann BA, Bock K, Servatius H, Müllerleile K, Sultan A, Gosau N, Meinertz T, Wegscheider K, Willems S. Long-term single- and multiple-procedure outcome and predictors of success after catheter ablation for persistent atrial fibrillation. *Heart Rhythm*. 2011 Sep;8(9):1391-7.
- 83 Shah AJ, Jadidi A, Liu X, Miyazaki S, Forclaz A, Nault I, Rivard L, Linton N, Xhaet O, Derval N, Sacher F, Bordachar P, Ritter P, Hocini M, Jais P, Haissaguerre M. Atrial tachycardias arising from ablation of atrial fibrillation: a proarrhythmic bump or an antiarrhythmic turn? *Cardiol Res Pract*. 2010;2010:950763.
- 84 Di Biase L, Burkhardt JD, Mohanty P, Sanchez J, Mohanty S, Horton R, Gallinghouse GJ, Bailey SM, Zagrodzky JD, Santangeli P, Hao S, Hongo R, Beheiry S, Themistoclakis S, Bonso A, Rossillo A, Corrado A, Raviele A, Al-Ahmad A, Wang P, Cummings JE, Schweikert RA, Pelargonio G, Dello Russo A, Casella M, Santarelli P, Lewis WR, Natale A. Left atrial appendage: an underrecognized trigger site of atrial fibrillation. *Circulation*. 2010 Jul 13;122(2):109-18.

Thesen

- 1) Linksatriale Makroentrytachykardien (LAMRT) sind seltene Arrhythmien. Neben spontanen Formen treten zunehmend postinterventionelle Tachykardien nach chirurgischer oder kathetergestützter Ablation auf. Die gekühlte Radiofrequenzkatheterablation stellt eine therapeutische Option dar.
- 2) Als begleitende Arrhythmie bei Patienten mit LAMRT findet sich häufig Vorhofflimmern.
- 3) Im Rahmen dieser Arbeit wurden 65 Patienten mit LAMRT mittels Katheterablation behandelt. Die Arbeit gliederte sich in zwei Abschnitte. Im ersten Abschnitt wurden 37 Patienten mit postinterventioneller LAMRT durch Pulmonalvenenisolation und lineare Läsionen therapiert. Im zweiten Abschnitt wurden drei unterschiedliche Ablationsstrategien bei 28 Patienten mit spontanen LAMRT verglichen (Lineare Läsion versus Pulmonalvenenisolation versus Kombination aus Pulmonalvenenisolation und linearen Läsionen).
- 4) Nach 12 Monaten waren 67,7 % der Patienten mit postinterventioneller LAMRT ohne jegliches atriales Arrhythmie rezidiv, 71 % waren ohne Rezidiv einer LAMRT. Von den Patienten mit spontaner LAMRT blieben nach 12 Monaten 43,5 % ohne Arrhythmie rezidiv und 63,8 % ohne LAMRT-Rezidiv.
- 5) Bei spontanen LAMRT fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Ablationsgruppen für die Arrhythmiefreiheit nach Ablation. Die Ablation der LAMRT und die Pulmonalvenenisolation sind im Hinblick auf die LAMRT-Freiheit gleichwertig. Die Kombination der beiden Strategien weist eine höhere Rezidivrate für LAMRT auf.
- 6) Die Radiofrequenzablation von LAMRT unter Verwendung eines dreidimensionalen Mappingsystems weist eine gute mittelfristige Erfolgsquote bei einer akzeptablen Komplikationsrate auf.

- 7) Durch das HATCH-Score kann der Ablationserfolg bei Patienten mit postinterventioneller LAMRT abgeschätzt werden, so dass dieses als Selektionskriterium verwendet werden kann.

- 8) Das Konzept der Ablation postinterventioneller LAMRT lässt sich nicht auf spontane LAMRT übertragen. Eine Zweitprozedur sollte zum jetzigen Zeitpunkt als ein integraler Bestandteil eines jeden Ablationskonzeptes bei spontanen LAMRT betrachtet werden.