



Technische Universität München
Abteilung für Elektrophysiologie, Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen
und
Klinik für Kinderkardiologie und angeborene Herzfehler
Deutsches Herzzentrum München

**Katheterablation akzessorischer Leitungsbahnen
bei Kindern und Jugendlichen im Zeitraum von 2004-2013**

Johannes Schumacher

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. Ernst J. Rummeny
Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr. Gabriele Hessling
2. Prof. Dr. Peter Ewert

Die Dissertation wurde am 20.04.2017 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 20.02.2019 angenommen.

meinen Eltern

Daten aus der vorliegenden Doktorarbeit wurden publiziert.

Irrigated-tip catheters for radiofrequency ablation of right-sided accessory pathways in adolescents.

Telishevskaya, Marta; Faelchle, Johannes; Buiatti, Alessandra; Busch, Sonia; Reents, Tilko; Bourier, Felix; Semmler, Verena; Kaess, Bernhard; Horndasch, Michaela; Kornmayer, Marielouise; Kottmaier, Marc; Deisenhofer, Isabel; Hessling, Gabriele

Pacing & Clinical Electrophysiology. 40(10):1167-1172, October 2017.

INHALT

1	Einleitung	5
1.1	Pathophysiologie akzessorischer Leitungsbahnen	5
1.2	Tachykardien bei akzessorischen Leitungsbahnen	7
1.3	Katheterablation akzessorischer Leitungsbahnen	12
1.4	Verwendete Energieformen	16
1.5	3D-Mappingsysteme	17
1.6	Komplikationen der Katheterablation und Fluoroskopiezeiten/Dosis	18
2	Ziel der Untersuchung.....	19
3	Patienten und Methoden.....	20
3.1	Datenerfassung	20
3.2	Definitionen	21
3.3	Patientenkollektiv	22
3.4	Statistische Methoden	24
4	Ergebnisse	26
4.1	Anatomische Lage der akzessorischen Bahnen	26
4.2	3D-Mappingsysteme	27
4.3	Untersuchungszeiten und Strahlenexposition.....	28
4.4	Energieart.....	31
4.5	Akute Erfolgsrate	31
4.6	Rezidivrate und Follow-up	32
4.7	Rechtsseitig gelegene akzessorische Leitungsbahnen.....	36
4.8	Komplikationen	38
5	Diskussion	46
5.1	Akute Erfolgsrate	46
5.2	Rezidivrate	47
5.3	Ergebnisse bei rechtsseitig gelegenen akzessorischen Leitungsbahnen - Einsatz von gespülten Ablationskathetern	47
5.4	3D-Mappingsysteme bei rechtsseitig gelegenen Bahnen.....	48
5.5	Durchleuchtungszeiten und Strahlenbelastung.....	49
5.1	Komplikationen	49
5.2	Limitationen	52
6	Zusammenfassung	53

7	Danksagung.....	54
8	Literaturverzeichnis	55
9	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	60

Abkürzungsverzeichnis

ART	antidrome Reentry Tachykardie
AV-Fistel	arteriovenöse Fistel
AV-Knoten	Atrioventrikularknoten
AVRT	atrioventrikuläre Reentry Tachykardie
Chi ²	Chi-Quadrat-Test
CT	Computertomographie
DCM	Dilatative Kardiomyopathie
DHZ	Deutsches Herzzentrum
EF	Ejektionsfraktion
EKG	Elektrokardiogramm
EPU	Elektrophysiologische Untersuchung
ETNF	Exakter Test nach Fisher
MWUT	Mann-Whitney-U-Test
ORT	orthodrome Reentry Tachykardie
PJRT	Permanente junktionale Reentry Tachykardie
RF	Radiofrequenz
SCD	plötzlicher Herztod (Sudden Cardiac Death)
SPRRI	Shortest Pre-Exited R-R Interval
SVT	supraventrikuläre Tachykardie
WPW	Wolff-Parkinson-White(-Syndrom)

1 EINLEITUNG

1.1 PATHOPHYSIOLOGIE AKZESSORISCHER LEITUNGSBAHNEN

Stanley Kent berichtete im Jahr 1893 als Erster über muskuläre Fasern, die an zwei Stellen das bindegewebige Herzskelett durchbrachen und sich vom normalen, umliegenden Herzgewebe unterschieden. (Kent 1893) Im Jahr 1914 beschrieb dann George Mines das physiologische Theorem von sich selbst erhaltenden kreisenden Erregungen innerhalb des Herzmuskelgewebes und den daraus resultierenden Tachykardien. Zusammen mit Kents histologischen Erkenntnissen vermutete er, dass „akzessorische“ muskuläre Leitungsbahnen einen entscheidenden Faktor für solche kreisenden Tachykardien darstellen. (Mines 1914, Scheinman 2012, Boukens and Janse 2013)

Louis Wolff, John Parkinson und Paul D. White publizierten im Jahr 1930 ein nach Ihnen benanntes klinisches Syndrom bestehend aus verkürztem P-R-Intervall, Schenkelblockbild im EKG und paroxysmal auftretenden Tachykardien bei ansonsten herzgesunden, jungen Patienten („WPW-Syndrom“) . (Wolff, Parkinson et al. 1930) Zwei Jahre später postulierten Holzmann und Scherf, dass dem von Wolff, Parkinson und White beobachteten Syndrom eine „Präexzitation“ (frühzeitige Erregung des Ventrikels) durch akzessorische Muskelfasern zugrunde liegt. (Holzmann and Scherf 1932) Seither haben viele weitere Untersuchungen unsere Kenntnisse über anatomische und elektrophysiologische Eigenschaften dieser Muskelfasern erweitert.

Beim WPW-Syndrom besteht also zusätzlich zum physiologischen Reizleitungssystem elektrisch leitungsfähiges Myokard zwischen Vorhof und Kammer (akzessorische Leitungsbahn). Im Sinusrhythmus (Abbildung 1) kommt es bei einer physiologischen elektrischen Erregung und einer gleichzeitig vorhandenen atrioventrikulären akzessorischen Leitungsbahn zu einer vorzeitigen Erregung von Ventrikelmyokard an der Stelle der inserierenden Bahn. Das elektrokardiographische Korrelat dieses Mechanismus ist eine verkürzte PQ-Zeit (Wolff, Parkinson et al. 1930) und die sog. Deltawelle am Beginn des QRS-Komplexes. (Sethi, Dhall et al. 2007)

Akzessorische Bahnen können unterschiedliche Leitungseigenschaften aufweisen. Es gibt Bahnen die nur antegrad von Vorhof auf Kammer, nur retrograd von Kammer auf Vorhof oder in beide Richtungen (bidirektional) elektrisch leitungsfähig sind. Leitet eine Bahn im Sinusrhythmus von Vorhof zu Kammer, spricht man im EKG von einer „Präexzitation vom WPW-Typ“. Bahnen die nur retrograd während einer

Tachykardie von Kammer auf Vorhof leiten, sind im Oberflächen-EKG nicht erkennbar und werden als „verborgene“ akzessorische Bahnen bezeichnet. (Blomstrom-Lundqvist, Scheinman et al. 2003, Sethi, Dhall et al. 2007)

Die Prävalenz der Präexzitation vom WPW-Typ im EKG bei gesunden Probanden beträgt zwischen 1,5 und 2 pro 1000 Individuen; die Prävalenz des „symptomatischen“ WPW Syndroms wird mit 0,36-0,51 pro 1000 Individuen angegeben. (Averill, Fosmoe et al. 1960, Orejarena, Vidaillet Jr et al. 1995, Lu, Wu et al. 2014) Nur retrograd leitungsfähige Bahnen („verborgenes WPW“) werden damit nicht erfasst. Es wird vermutet, dass bis zu 50% der Patienten mit offener Präexzitation asymptomatisch bleiben. (Munger, Packer et al. 1993) Das WPW-Syndrom kann in jedem Alter symptomatisch werden, wobei bei etwa der Hälfte der Patienten die erste Tachykardie vor dem 20. Lebensjahr auftritt. Eine männliche Dominanz im Verhältnis 2:1 wird beschrieben. (Rodriguez, de Chillou et al. 1992)

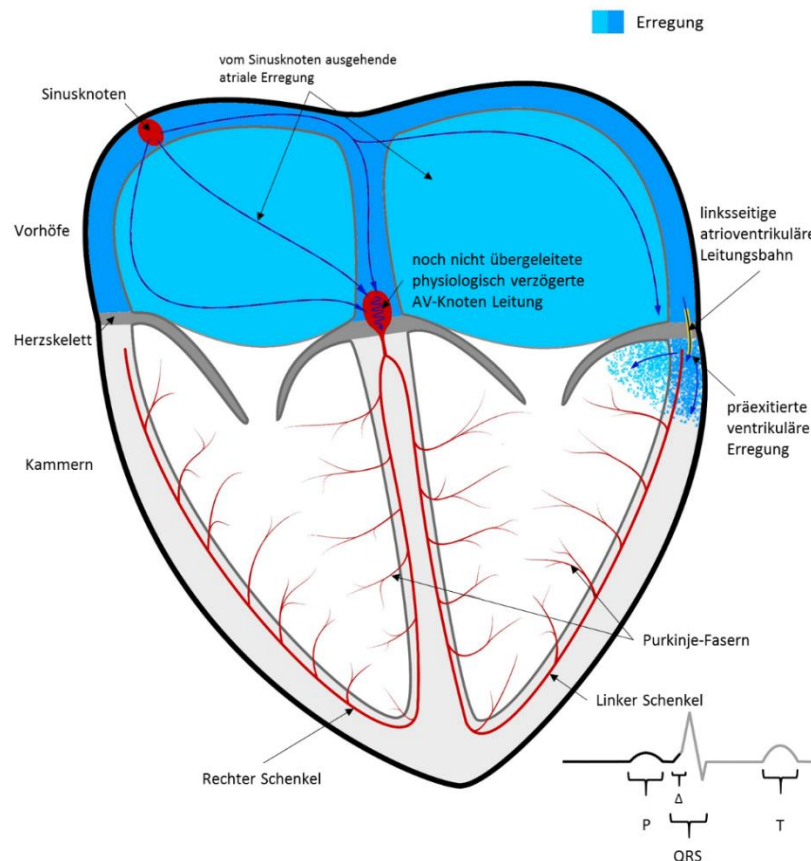


Abbildung 1: Erregung bei Präexzitation vom WPW-Typ:

Schema einer vom Sinusknoten ausgehenden Erregung bei antegrad leitungsfähiger akzessorischer Leitungsbahn („offene Präexzitation“) Die atriale Erregung wird über die akzessorische Bahn und den AV- Knoten auf die Kammer übergeleitet. Da die Bahn eine schnellere Leitungsgeschwindigkeit als der AV- Knoten hat, wird ein Teil des Kammermyokards vorzeitig erregt. Dies führt im EKG zu einer verkürzten PQ-Zeit und der sog. Δ-Welle am Beginn des QRS –Komplexes.

1.2 TACHYKARDIEN BEI AKZESSORISCHEN LEITUNGSBAHNEN

Es kann zwischen dem AV-Knoten und der akzessorischen Leitungsbahn zu einer kreisenden Erregung („Reentry“) kommen, die man als atrioventrikuläre Reentry-Tachykardie (AVRT) bezeichnet. (Sethi, Dhall et al. 2007) Bei der AVRT sind je nach Leitungseigenschaften von AV-Knoten und akzessorischer Bahn 2 Formen möglich.

Orthodrome Reentry-Tachykardie (ORT)

Die klassische Tachykardie beim WPW-Syndrom ist die orthodrome Reentry-Tachykardie (ORT). Die Erregung wird hierbei während der Tachykardie „orthodrom“ über den AV-Knoten vom Vorhof auf den Ventrikel geleitet. Die retrograde Leitung von Kammer zu Vorhof läuft über die akzessorische Bahn.

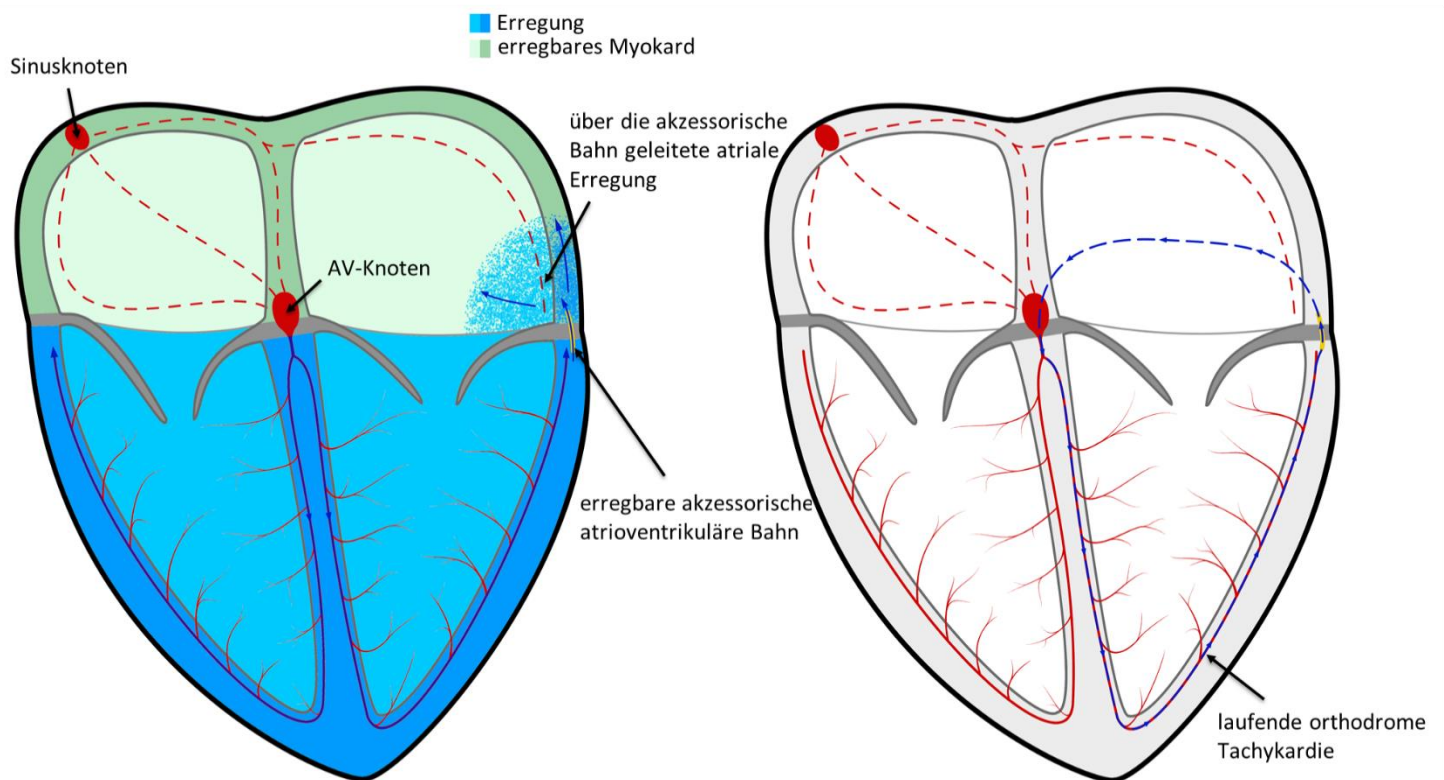


Abbildung 2: Initiation (links) und Ablauf (rechts) einer ORT

Zur Initiation einer ORT ist es erforderlich, dass sowohl die akzessorische Bahn, als auch das angrenzende atriale Myokard erregbar sind, damit ein eintreffender Impuls retrograd geleitet werden kann.

Die ORT läuft retrograd über eine hier linksseitige atrioventrikuläre Bahn und antegrad oder „orthodrom“ über den AV-Knoten

Für diesen Mechanismus sind spezielle Refraktärbedingungen nötig, da unter normalen Umständen durch die antegrade Leitung über die akzessorische Bahn diese refraktär ist und für die Initiation einer Tachykardie nicht zur Verfügung steht. Kommt es aber z.B. durch eine supraventrikuläre Extrasystole zu einer frühzeitigen atrialen Erregung, wird diese aufgrund einer in der Regel längeren Refraktärzeit der akzessorischen Leitungsbahn blockiert während der AV-Knoten die Extrasystole überleitet. Die akzessorische Bahn ist dann bei Eintreffen der Aktivierung retrograd erregbar und leitet den Impuls von der Kammer auf die Vorhöfe zurück. Ist der AV-Knoten dann nicht mehr refraktär, kann die Erregung wieder auf die Kammer übergeleitet werden und es kommt zu einer kreisenden Erregung. Aufgrund der „orthodromen“ Leitung der Erregung über den AV-Knoten werden die Ventrikel über das physiologische Erregungsleitungssystem erregt, die QRS-Komplexe sind schmal. (Gallagher, Pritchett et al. 1978, Bardy, Packer et al. 1984)

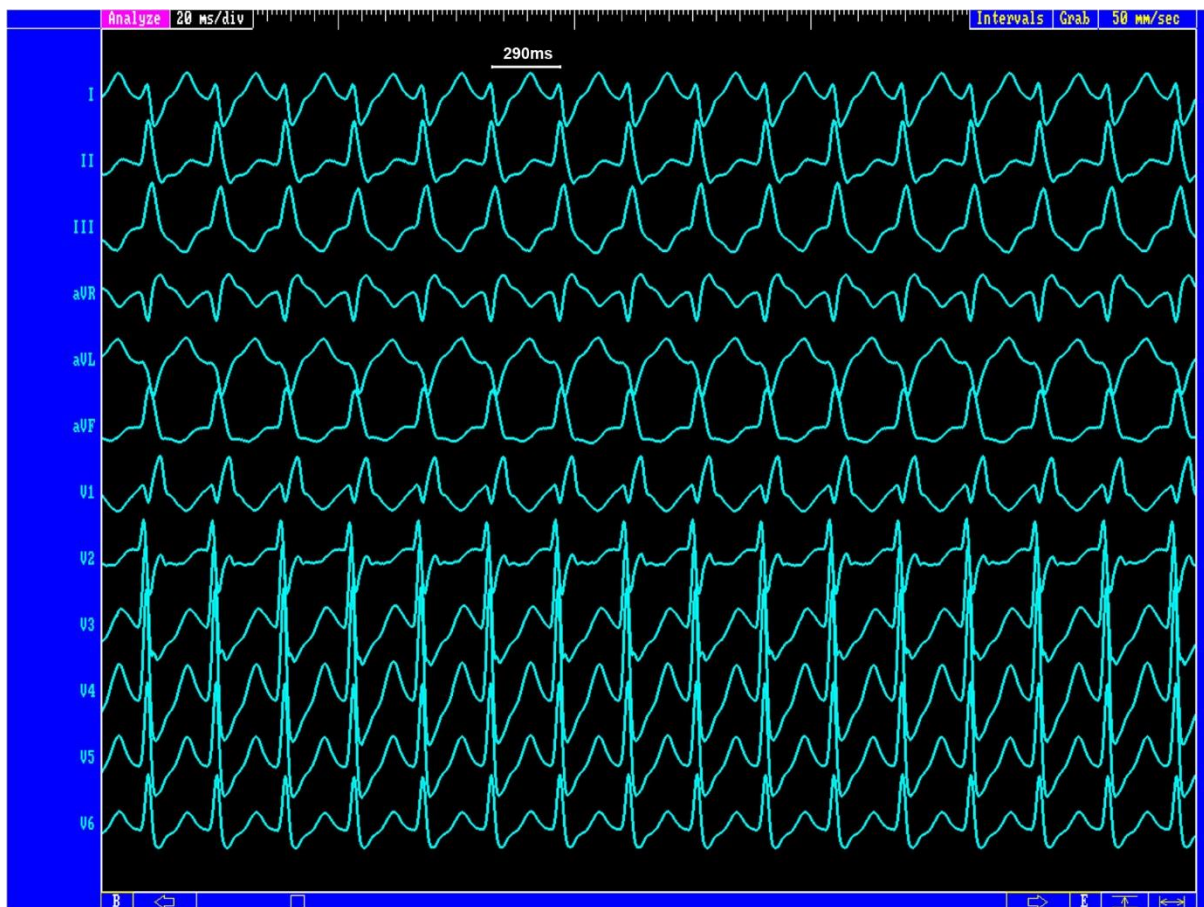


Abbildung 3: Orthodrome Reentry-Tachykardie

Eine Sonderform einer orthodromen Reentry Tachykardie ist die Permanente Junktionale Reentry Tachykardie (PJRT). Hier hat die akzessorische Leitungsbahn spezifische Leitungseigenschaften. Sie leitet

langsam und dekremental. Hierdurch sind die Tachykardien häufig langanhaltend und von relativ niedrigerer Frequenz. Aufgrund dieser lang anhaltenden Tachykardien können die Patienten eine Herzinsuffizienz oder „Tachymyopathie“ entwickeln. (Chien, Cohen et al. 1992, Critelli 1997, Kuck, Ernst et al. 2007)

Antidrome Reentry-Tachykardie (ART)

Bei der antidromen Reentry-Tachykardie wird die akessorische Bahn als antegrader und der AV-Knoten als retrograder Schenkel genutzt. Es wird eine vorzeitige atriale Erregung benötigt, die den AV-Knoten unidirektional blockiert, damit der Ventrikel über die akessorische Bahn erregt werden kann. Dies setzt voraus, dass der AV-Knoten eine längere Refraktärzeit besitzt als die akessorische Bahn. Es wird vermutet, dass eine retrograde Leitungsverzögerung im His-Purkinje-System erforderlich ist, damit eine präexziterte Erregung den AV-Knoten nicht in dessen Refraktärzeit erreicht. Aufgrund der antegraden Leitung über die akessorische Bahn während der ART (maximale Präexzitation) sind die QRS-Komplexe im EKG breit. (Wellens and Durrer 1974, Bardy, Packer et al. 1984, Atie, Brugada et al. 1990, Packer, Gallagher et al. 1992) Im Vergleich zur ORT ist die antidrome Reentry-Tachykardie (ART) eine seltene Tachykardieform. Sie tritt klinisch bei 4-5% der Patienten mit Präexzitation auf und ist im Rahmen einer EPU bei < 10% der Patienten induzierbar. (Packer, Gallagher et al. 1992)

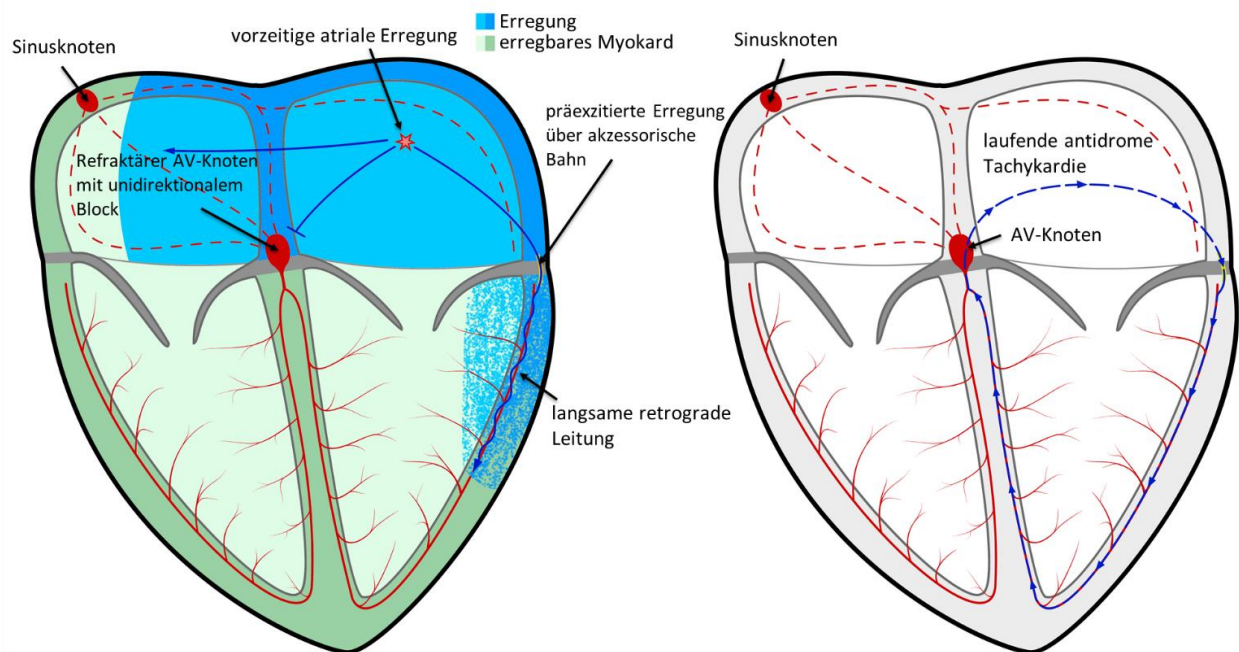


Abbildung 4: Initiation (links) und Ablauf (rechts) einer ART

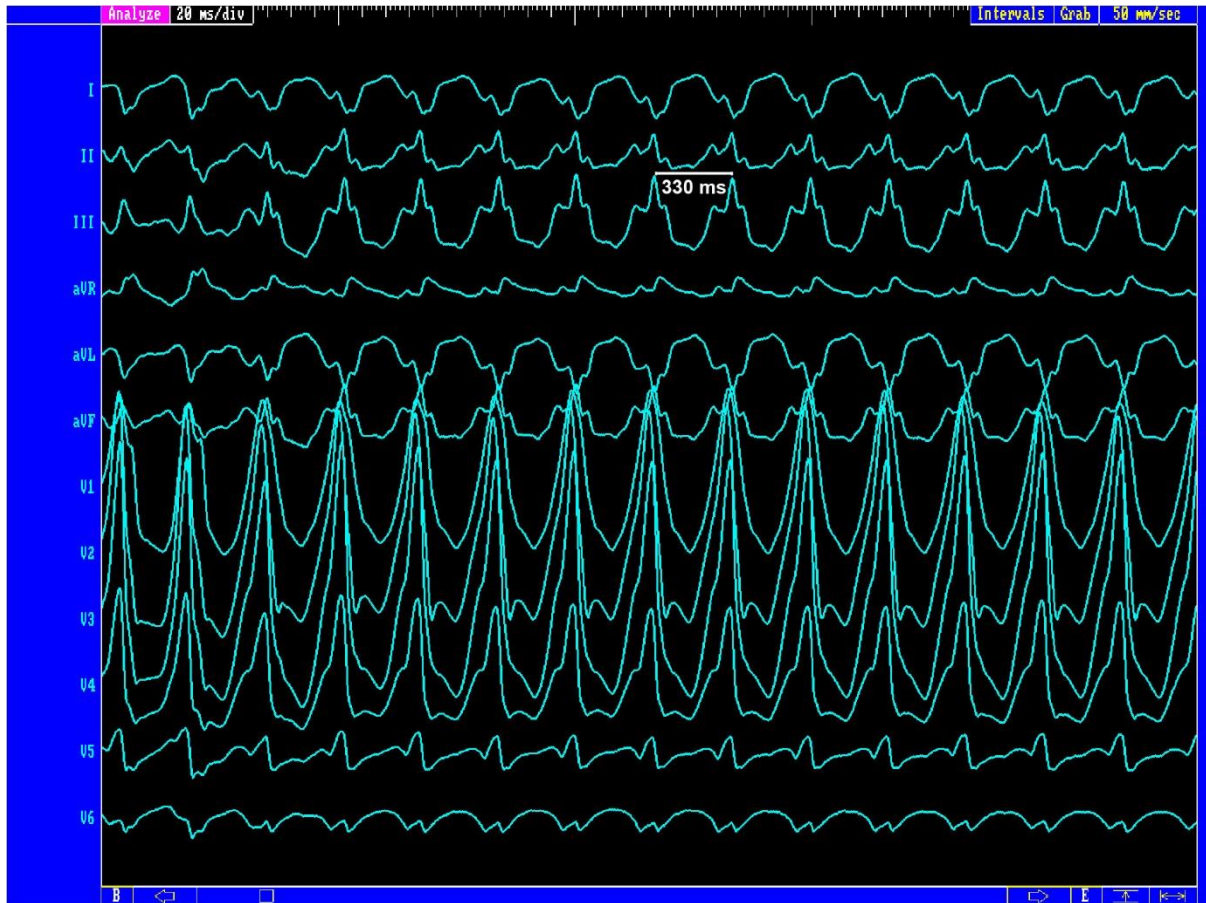


Abbildung 5: Antidrome Reentry Tachykardie bei linksseitiger akzessorischer Leitungsbahn.

Anatomische Lokalisation akzessorischer Leitungsbahnen

Akzessorische Bahnen werden nach ihrer anatomischen Lage an der AV- Klappenebene zugeordnet. (Gallagher, Pritchett et al. 1978) Die häufigsten Lokalisationen akzessorischer Leitungsbahnen sind links lateral am Mitralklappenring, rechts posteroseptal und rechts lateral im Trikuspidalklappenring. (Calkins, Langberg et al. 1992, Kay, Epstein et al. 1993)

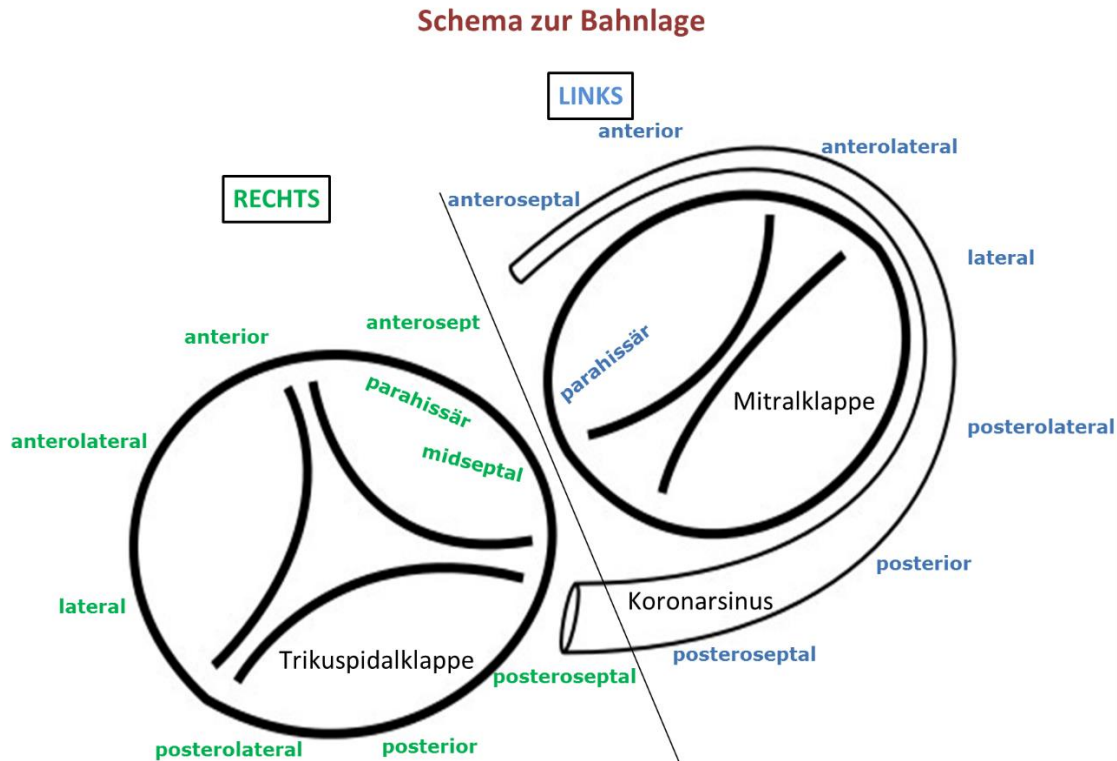


Abbildung 6: Schema zur anatomischen Lage akzessorischer Leitungsbahnen.

Klinische Präsentation

Tachykardien bei akzessorischen Leitungsbahnen können in jedem Lebensalter auftreten. Während im ersten Lebensjahr Blässe, Unwohlsein oder Trinkschwäche im Vordergrund der Symptomatik stehen, sind es bei älteren Kindern vor allem Palpitationen, Schwindel und Herzrasen. Synkopen oder ein plötzlicher Herztod sind seltene Ereignisse. Im klinischen Verlauf können zunächst asymptomatische Patienten symptomatisch werden. (Goudevenos, Katsouras et al. 2000, Brugada, Blom et al. 2013) Es kommt in ca. 60 % der Fälle zu einer Spontanregression der akzessorischen Bahn im ersten Lebensjahr. (Hessling 2014)

WPW, Vorhofflimmern und plötzlicher Herztod (SCD)

Bei bis zu einem Drittel der Patienten mit WPW Syndrom kann ab dem Jugendlichen/jungen Erwachsenenalter paroxysmales Vorhofflimmern nachgewiesen werden. Die Ursache dieser Assoziation ist nicht vollständig geklärt (Hamada, Hiraki et al. 2002, Deneke and Mugge 2012). Während bei ansonsten herzgesunden Patienten Vorhofflimmern in der Regel keine Lebensgefahr darstellt, kann es bei einer

gleichzeitig vorhandenen schnell leitenden akzessorischen Bahn zu hohen Kammerfrequenzen kommen, die zu Kammerflimmern degenerieren können. (Deneke and Mugge 2012, Orczykowski, Walczak et al. 2013) Dies ist der klassische Mechanismus des plötzlichen Herztodes (SCD) bei WPW-Patienten. (Dreifus, Haiat et al. 1971) Das Risiko des SCD bei WPW-Syndrom ist gering und liegt je nach Studie zwischen 0 und 3,9 pro 1000 Patientenjahre. (Munger, Packer et al. 1993) Es wurden Risikofaktoren für das Auftreten des SCD ermittelt. Zu ihnen gehören: Ein SPERRI ≤ 250 ms (**S**hortest **P**re-**E**xcited **R-R** Interval during atrial fibrillation) als Maß für die Leitungsfähigkeit der akzessorischen Bahn, symptomatische Tachykardien in der Vorgeschichte, multiple akzessorische Leitungsbahnen und das Vorliegen einer Ebstein-Anomalie. (Blomstrom-Lundqvist, Scheinman et al. 2003) Neue Leitlinien basieren vor allem auf dem SPERRI als Indikator zur Risikostratifizierung. (Cohen, Congenital Electrophysiology et al. 2012)

1.3 KATHETERABLATION AKZESSORISCHER LEITUNGSBAHNEN

Im Jahr 1968 führten Cobb et al. bei dem ersten Patienten mit akzessorischer Leitungsbahn und therapierefraktären Tachykardien nach epikardialem Mapping eine Operation am offenem Herzen durch. (Cobb, Blumenschein et al. 1968) Im Jahr 1982 benutzte Scheinman et al. Gleichstromabgabe zur His-Bündel-Ablation bei therapierefraktären SVTs. Fisher et al. experimentierten 1984 mit minimal-invasiven, transluminalen Methoden und Gleichstromabgaben bei akzessorischer Leitungsbahnen. Fisher abladierte 8 Patienten mit manifestem WPW-Syndrom, womit er und Scheinman den Grundstein zur heute etablierten Katheterablation akzessorischer Leitungsbahnen legten. (Scheinman, Morady et al. 1982, Fisher, Brodman et al. 1984, Scheinman 2012)

Nachdem 1987 Borggreffe et al. zum ersten Mal erfolgreich Hochfrequenzstrom zur Ablation einer akzessorischen Bahn benutzten, (Borggreffe, Budde et al. 1987) verbreitete sich dieses Verfahren schnell und wurde an vielen Zentren etabliert. Im Jahr 1989 berichtete Bromberg et al. erstmals über die Katheterablation bei pädiatrischen Patienten. (Bromberg, DICK et al. 1989) Kuck et al. führte bis 1991 bereits über 100 Ablationen bei akzessorischer Leitungsbahn mit einer Erfolgsquote von 89% und einer Komplikationsrate von knapp 3% durch (Kuck and Schlüter 1991, Kuck, Schluter et al. 1991). Im amerikanischen pädiatrischen Ablationsregister wurden von 1991 bis 1999 insgesamt 7600 Patienten <21 Jahre mit akzessorischen Leitungsbahnen eingeschlossen und mit einer akuten Erfolgsrate von 92,6%

abladiert. (Kugler, Danford et al. 2002) Brugada et al. zeigte 2013, dass es möglich ist, Kinder mit komplexer Anatomie und Arrhythmien komplikationsarm und erfolgreich zu abladieren. (Brugada, Blom et al. 2013)

Leitlinien zur Katheterablation akzessorischer Leitungsbahnen bei pädiatrischen Patienten

2013 wurden in Kooperation der European Heart Rhythm Association (EHRA) und der Association for European Paediatric Cardiology (AEPC) Leitlinien zur Behandlung von pädiatrischen Patienten mit akzessorischen Leitungsbahnen veröffentlicht. Hierbei rückt die Katheterablation bei symptomatischen Patienten ab einem Alter von > 5 Jahren in den Mittelpunkt der Therapie (Brugada, Blom et al. 2013)

Klinische Situation	Empfehlung	Klasse	Level
WPW-Syndrom und überlebter plötzlicher Herztod	Katheterablation	I	C
WPW-Syndrom und Synkope mit SPERRI <250ms oder antegraden APERP <250ms	Katheterablation	I	C
WPW-Syndrom mit rezidivierenden und/oder symptomatischen SVT und Alter >5 Jahre	Katheterablation	I	C
	Flecainid/Propafenon	I	
	Sotalol	I	
WPW-Syndrom mit rezidivierenden und/oder symptomatischen SVT und Alter <5 Jahre	Katheterablation	IIb	C
	Flecainid/Propafenon	I	
	Sotalol	IIa	
WPW-Syndrom mit Palpitationen und induzierbaren, anhaltenden SVT während einer EPU und Alter >5 Jahre	Katheterablation	I	C
	Flecainid/Propafenon	I	
	Sotalol	I	
Asymptomatische Präexzitation Alter >5 Jahre ohne Tachykadienachweis nach Aufklärung über Risiken und Vorteilen von Arrhythmien und Katheterablation	Katheterablation	IIb	C
	Antiarrhythmische Therapie	III	
	Katheterablation	III	C
Asymptomatische Präexzitation Alter <5 Jahre	Katheterablation	III	C
	Antiarrhythmische Therapie	III	

Tabelle 1: EHRA/AEPC Leitlinien

Katheterablation bei asymptomatischer Präexzitation

Bei asymptomatischer Präexzitation wird laut aktuellen Leitlinien empfohlen, ab einem Alter von 8 Jahren eine invasive Risikostratifizierung durchzuführen. Ergeben sich hierbei Risikokonstellationen wie ein SPERRI <250 ms und eine induzierbare AVRT oder das Vorliegen multipler Leitungsbahnen, wird eine Katheterablation empfohlen. (Cohen, Congenital Electrophysiology et al. 2012) Hierdurch soll ein möglicher plötzlicher Herztod vermieden werden, dessen Inzidenz in dieser Population mit 0,05-0,5%/Jahr angegeben wird. (Triedman 2009) Dieses Vorgehen ist nicht unumstritten, insbesondere die Rolle des SPERRI; diese ist abhängig von verschiedenen Faktoren, die sich u.U. auch während der Untersuchung verändern. So kann u.a. die Gabe von Isoprenalin während der invasiven Testung des SPERRI um 70-90ms verringern, während eine Narkose mit Isoflurane diese verlängert. (Chang, Stevenson et al. 1996, Cohen and Triedman 2014) Die nicht vollständig geklärte Verlässlichkeit dieses Parameters und das seltene Auftreten von Vorhofflimmern bei Patienten jünger als 12 Jahre hat dazu geführt, dass an unserem Zentrum nach ausführlicher Besprechung der Problematik mit der Familie ab einem Alter von 12 Jahren bei persistierender Präexzitation im Belastungs-EKG eine primäre Ablation der akzessorischen Bahn empfohlen wird. (Hessling 2014)

Voraussetzungen für die Durchführung der Katheterablation bei pädiatrischen Patienten

In den Richtlinien zur Katheterablation bei pädiatrischen Patienten wird empfohlen, diese in dafür spezialisierten Zentren durchzuführen. Die Untersuchung sollte von auf Kinder und Jugendliche spezialisierten Elektrophysiologen durchgeführt werden. Zusätzlich sollten in der Klinik pädiatrisch-kardiologische, -herzchirurgische und -anästhesiologische Abteilungen verfügbar sein. Auch das elektrophysiologische Herzkatheterlabor muss für die Behandlung von Kindern ausgerüstet sein. Hierzu zählt zum einen speziell geschultes Pflegepersonal, geeignetes Material, sowie eine moderne technische Ausstattung zur Minimierung der Strahlenbelastung. Je nach Alter der Kinder sollte evaluiert werden, welche Tiefe der Anästhesie erforderlich ist. Junge Patienten werden häufig in Allgemeinanästhesie behandelt, wobei bedacht werden sollte, dass sich die Induzierbarkeit von Arrhythmien verringert. (Brugada, Blom et al. 2013)

1.4 VERWENDETE ENERGIEFORMEN

Radiofrequenzenergie

Bei der Radiofrequenzablation wird Wechselstrom mit einer Frequenz von 500 bis 1000 kHz zur Spitze des Ablationskatheters geleitet. Der Strom fließt zwischen der Elektrode, die sich an der Katheterspitze befindet und mit dem RF-Generator verbunden ist und einer großflächigen Elektrode, welche am Rücken des Patienten angebracht wird. Die Läsion entsteht durch Proteindenaturierung bei Gewebserwärmung über 50°C. (Avitall, Khan et al. 1993, Nath, DiMarco et al. 1994) Die größte Hitze entwickelt sich an der Elektroden-Gewebe-Kontaktfläche. Von dieser Stelle breitet sich die Hitze kugelförmig aus. Die Läsionsgröße hängt im Wesentlichen von RF-Strom und Energie, Elektrodentemperatur, Dauer der Applikation, Größe der Elektrode und Anpressdruck ab. (Wittkamp and Nakagawa 2006) Seit 1995 werden auch gekühlte Ablationssysteme verwendet. Hierbei wird die Katheterspitze während der Ablation durch Kochsalzlösung gekühlt, um die Entstehung von Koageln zu verhindern und eine größere Tiefenwirkung der Läsion zu ermöglichen. (Yamane, Jais et al. 2000, Wittkamp and Nakagawa 2006)

Cryoenergie

Zur Applikation von Cryoenergie wird ein spezieller Katheter verwendet, dessen Spitze durch die Ausdehnung eines unter Druck stehenden Kühlmittels, wie Stickstoffmonoxid (N₂O), abgekühlt werden kann. (Gillette, SWINDLE et al. 1991)

Bei etwa -20°C bildet sich an der distalen Katheterspitze ein Eisball. Hat der Katheter zum Zeitpunkt der Eisbildung Kontakt mit Myokard, friert die Spitze fest und kühlt es durch konvektive Kälteübertragung ab. Die Applikation von Kälte, die nicht unter -40°C sinkt, bewirkt im Gewebe einen temporären noch reversiblen Verlust der elektrischen Funktionen, was für das sogenannte „Cyromapping“ genutzt werden kann. (Dubuc, Roy et al. 1999, Riccardi, Gaita et al. 2003) Kann die gewünschte Position des Katheters durch Cyromapping verifiziert werden, wird die Katheterspitze auf Werte um -75°C gekühlt, wodurch eine irreversible Läsion produziert wird. (Riccardi, Gaita et al. 2003) Der Einsatz von Cryoenergie bietet durch die Möglichkeit des reversiblen Cyromappings vor allem bei His-nahen Substraten Vorteile. (Atienza, Arenal et al. 2004)

1.5 3D-MAPPINGSYSTEME

Im letzten Jahrzehnt wurden impedanzgesteuerte und elektroanatomische 3D-Mappingsysteme entwickelt, die es ermöglichen, eine virtuelle anatomische „Karte“ der Herzhöhlen zu erstellen, sowie die eingebrachten Katheter im dreidimensionalen Raum zu lokalisieren und darzustellen. Im Gegensatz zur konventionellen Fluoroskopie arbeiten diese Systeme ohne ionisierende Strahlung. (Gepstein and Evans 1998, Lemery 2012, Ceresnak, Dubin et al. 2015)

CARTO-System®

Das CARTO-System® (Biosense Webster) benutzt für die Lokalisation der Katheter elektromagnetische Effekte. Hierzu wird über drei Magneten unter dem Patienten ein schwaches Magnetfeld erzeugt. Elektromagnetische Sensoren in speziellen Kathetern können, wenn sie durch das magnetische Feld bewegt werden, induzierte Spannungen messen. Über diese induzierten Spannungen werden softwarebasiert die Bewegungen des Katheters, sowie dessen Lokalisation und Orientierung im dreidimensionalen Raum berechnet. Durch Abtasten der Herzhöhle mit der Katheterspitze lässt sich so durch Erfassen einzelner Punkte eine anatomische „Karte“ des Herzens erstellen. Durch Registrierung elektrischer Erregungen des Myokards über die Elektroden des Katheters lassen sich elektrophysiologische Informationen gewinnen. (Gepstein, Hayam et al. 1997, Sporton, Earley et al. 2004, Packer 2005)

EnSite NavX-System®

Das NavX® System (St. Jude Medical) erzeugt über drei auf dem Patienten angebrachte orthogonale Elektrodenpaaren niedrige Spannungsgradienten. Diese Gradienten können über intrakardial platzierte Elektrodenkatheter gemessen werden und erlauben eine Lagebestimmung in allen 3 Raumachsen. Im Gegensatz zum Carto® System können alle elektrophysiologischen Katheter erfasst werden, da kein zusätzlicher Sensor benötigt wird. Durch Austasten der Herzhöhle kann das Programm dreidimensionale Punkte erfassen und so eine anatomische Karte erstellen. Die räumliche Auflösung liegt wie beim Carto® System bei etwa einem Millimeter. (Packer 2005, Casella, Pelargonio et al. 2011)

1.6 KOMPLIKATIONEN DER KATHETERABLATION UND FLUOROSKOPIEZEITEN/DOSIS

Die umfassendste Studie zum Thema Komplikationen bei Katheterablationen im Kindesalter stammt aus dem Jahr 2002 und umfasst 7600 Fälle aus den Jahren 1991 bis 1999. (Kugler, Danford et al. 2002) Die ermittelten Komplikationsraten liegen vor 1996 bei 4,2% und danach bei 3,0%. Als Komplikation wurde ein Ereignis gewertet, welches entweder (a) notfallmäßige, länger andauernde Therapie, oder Wiedervorstellung des Patienten erforderte, oder (b) mit chronischer Funktionseinschränkung einherging. (Kugler, Danford et al. 1994) Zu den drei am häufigsten aufgetretenen Ereignissen zählten hierbei höhergradige AV-Blockierungen, Perforationen mit Perikarderguss und thrombembolische Ereignisse. (Kugler, Danford et al. 2002) Seltenerere Komplikationen waren Verletzungen von Koronararterien oder Herzklappen. (Van Hare, Colan et al. 2007, Schneider, Kriebel et al. 2009)

Hohe Strahlenbelastungen durch konventionelle Fluoroskopie mit potentiellen Spätfolgen sind v.a. bei jungen Patienten relevant. Im Ablationsregister wurde ein Rückgang der Durchleuchtungszeit vom frühen (1991-1996) zum späten (1997-1999) Patientenkollektiv von 50,9 auf 40,1 Minuten registriert. (Kugler, Danford et al. 2002) Durch neue Technologien, wie 3D-Mapping-Systeme, wurde die Strahlenbelastung weiter gesenkt und liegt mittlerweile in größeren Kollektiven zwischen 3 und 24 Minuten. (Kwong, Neilson et al. 2012, Wan, Shannon et al. 2012, Hessling 2014, Mah, Miyake et al. 2014)

2 ZIEL DER UNTERSUCHUNG

Die Katheterablation akzessorischer Leitungsbahnen bei Kindern und Jugendlichen ist ein mittlerweile etabliertes Verfahren. (Kugler, Danford et al. 2002, McDaniel and Van Hare 2006, Brugada, Blom et al. 2013) Ziel dieser Arbeit war es, die Entwicklung der Katheterablation akzessorischer Leitungsbahnen bei Kindern und Jugendlichen über die letzten 10 Jahren am Deutschen Herzzentrum München im Hinblick auf Erfolgs-, Komplikations- und Rezidivrate zu untersuchen. Besonderes Augenmerk sollte zusätzlich auf die Einführung nicht-fluoroskopischer Mapping Systeme, die Verwendung gespülter Ablationskatheter und die Ablation im Kollektiv der asymptomatischen Patienten mit Präexzitation gelegt werden.

3 PATIENTEN UND METHODEN

3.1 DATENERFASSUNG

Die Einschlusskriterien für die Untersuchung waren:

- Elektrophysiologische Untersuchung mit Katheterablation einer oder mehrerer akzessorischer Leitungsbahnen im Zeitraum vom 24.05.2004 bis 10.06.2013 im Deutschen Herzzentrum München
- Alter des Patienten zum Zeitpunkt der elektrophysiologischen Untersuchung <21 Jahre

Die Daten sind vom 24.05.2004 bis zum 15.02.2011 im Programm Filemaker 11 und vom 15.02.2011 bis 10.06.2013 im Programm DIMARS erfasst worden. Die Untersuchungsbefunde wurden auf interessierende Daten gescreent und in Microsoft Excel 2013 tabellarisch angeordnet. Zusätzlich wurden die stationären Arztbriefe der behandelnden Stationen und die ambulanten Arztbriefe der (Kinder-)kardiologischen Ambulanz des Deutschen Herzzentrum Münchens für die Datenerfassung genutzt.

Zur Datenanalyse wurden folgende Patienten- und Untersuchungsspezifische Daten erfasst:

1) Patientenspezifische Daten:

- Geschlecht
- Alter
- Größe
- Gewicht
- Diagnosen (z.B. Strukturelle Herzfehler)
- Klinische Präsentation (symptomatisch, asymptomatisch)

2) Untersuchungsspezifisch im Rahmen der elektrophysiologischen Untersuchung:

- Untersuchungsdatum

- Untersuchungsdauer
 - 3D-Mappingsystem
 - Durchleuchtungsdauer
 - Applizierte Strahlendosis
 - Eigenschaften der akzessorische(n) Bahn(en):
 - Präsentation im Oberflächen-EKG (verborgene oder offene Bahn)
 - anatomische Lage der Bahn(en)
 - Leitungseigenschaften
 - Ablation:
 - Art der Energieabgabe
 - Anzahl bzw. Dauer der Energieabgabe
 - Akuter Erfolg der Prozedur
 - Komplikationen während der Prozedur
- 3) Follow-up:
- Langzeiterfolg der Prozedur
 - Früh- und Spätrezidive
 - Akut- und Langzeitkomplikationen
 - Datum des letzten Follow-ups

3.2 DEFINITIONEN

Für die Erstellung der Statistiken des Ergebnisteils wurden folgende Definitionen benutzt.

Akuterfolg

Die EPU wurde als akut erfolgreich gewertet, wenn am Ende der Untersuchung keine Hinweise auf antegrade oder retrograde Leitungseigenschaften der akzessorischen Bahn durch atriale und ventrikuläre Stimulation feststellbar waren.

Komplikation

Als Komplikation wurde ein Ereignis gewertet, welches entweder (a) notfallmäßige, länger andauernde Therapie oder Wiedervorstellung des Patienten erforderte, oder (b) mit chronischer Funktionseinschränkung einherging. (Kugler, Danford et al. 1994).

Als klinische Auffälligkeiten wurden Ereignisse im klinischen Verlauf gewertet, welche eine Unregelmäßigkeit darstellten, jedoch nicht die oben genannte Definition einer Komplikation erfüllten.

Rezidiv

Als Frührezidiv wurde ein Wiederauftreten der Präexzitation im Oberflächen-EKG oder das Auftreten von AVRTs bis 48h nach Ablation definiert.

Als Spätrezidiv wurde ein Wiederauftreten der Präexzitation oder das Auftreten von AVRTs nach mehr als 48h nach Ablation (in der Regel nach Entlassung aus stationärer Behandlung) definiert.

3.3 PATIENTENKOLLEKTIV

Vom 24.05.2004 bis zum 10.06.2013 wurde bei 217 Patienten unter 21 Jahren mit akzessorischer Leitungsbahn (männlich n=124; weiblich n=93; mit einem Körpergewicht von 16–125kg, im Mittel 56,0kg) im Deutschen Herzzentrum München als Primäreingriff eine elektrophysiologische Untersuchung mit Katheterablation durchgeführt.

Die Fallzahlen im Verlauf sind in Abbildung 16 dargestellt.

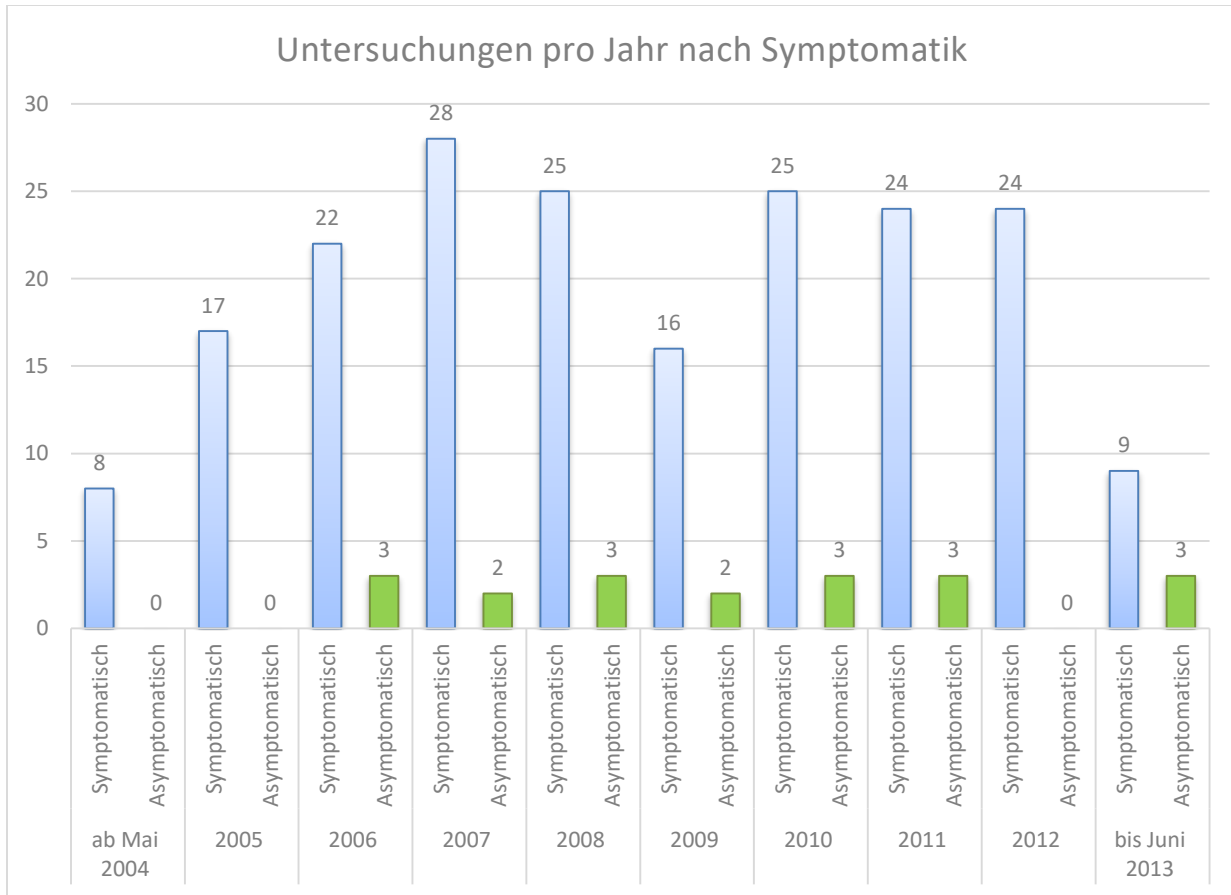


Abbildung 7: Untersuchungszahlen pro Jahr

Das Alter der Patienten betrug 4,04 bis 20,96 Jahre (mittleres Alter $14,51 \pm 3,90$ Jahre). Die Altersverteilung kann Abbildung 8 entnommen werden. Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren ca. 90% der Patienten älter als 8 Jahre.

Von den 217 Patienten zeigten 198 Patienten (91,3%) eine klinische Symptomatik (Tachykardien, Palpitationen). Bei 19 Patienten (8,7%) erfolgte die Ablation bei asymptomatischer Präexzitation vom WPW-Typ.

Die Präexzitation war bei 134 Patienten (61,8%) im Oberflächen EKG nachweisbar, während bei 83 (38,2%) Patienten während der elektrophysiologischen Untersuchung eine verborgene

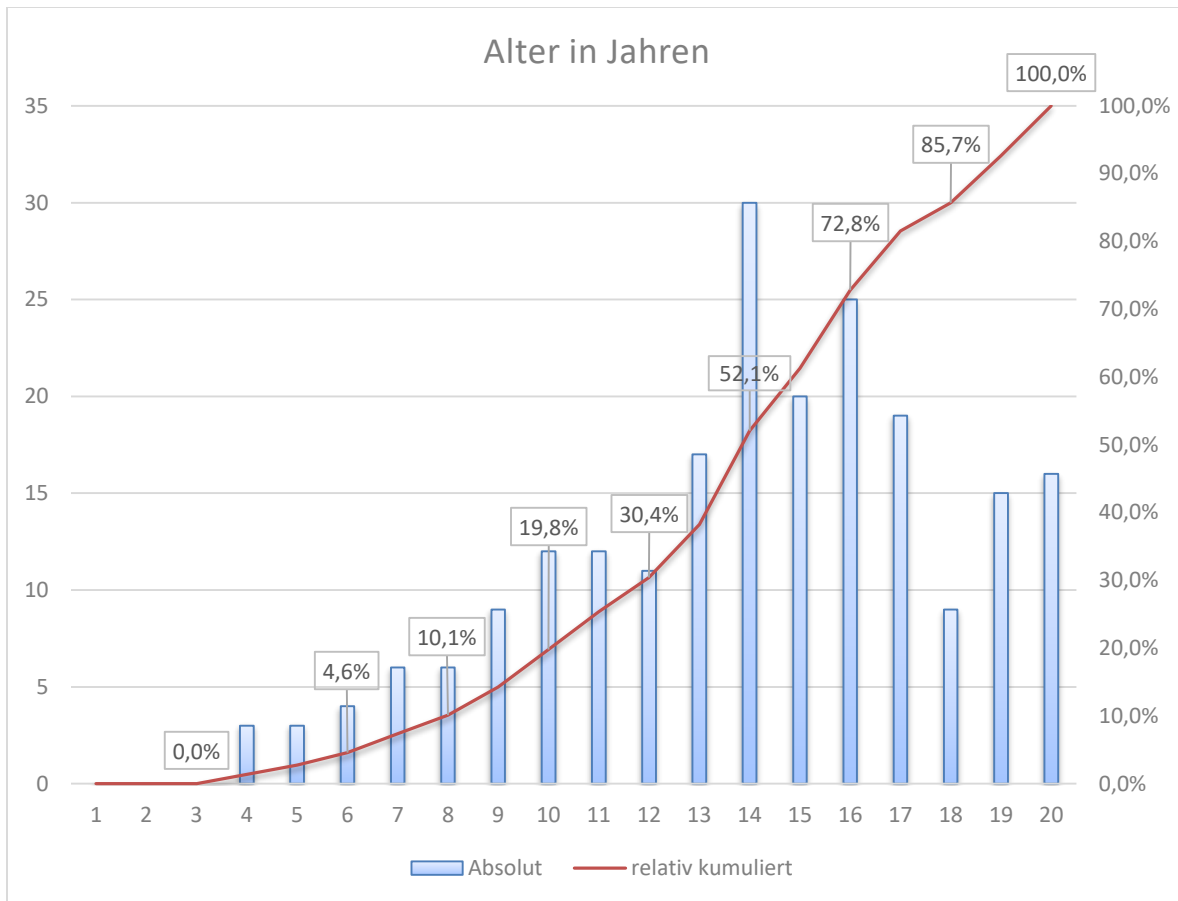


Abbildung 8: Altersverteilung der 217 Patienten mit akzessorischen Leitungsbahnen

akzessorische Leitungsbahn mit nur retrograden Leitungseigenschaften diagnostiziert und ablatiert wurde.

Die ambulante Kontrolle nach Ablation erfolgte entweder in der Kinder-Rhythmusambulanz des Deutschen Herzzentrums München oder bei dem zuweisenden Kinderkardiologen oder Hausarzt. Bei Auftreten von Komplikationen oder rezidivtypischen Symptomen wurde den Patienten empfohlen, sich direkt im DHM vorzustellen.

3.4 STATISTISCHE METHODEN

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe von IBM SPSS Statistics 20; einfache deskriptive Statistiken erfolgten z.T. direkt über Excel 2013, das zur tabellarischen Erfassung der Daten benutzt wurde. Die Ergebnisse werden in absoluten Zahlen, als Prozentsatz in Relation zu einer

Bezugsmenge, als Mittelwert mit Standardabweichung, Median oder Minimum und Maximum dargestellt.

Zur Untersuchung von Unterschieden und zur Berechnung der Signifikanz wurden je nach Eigenschaften der Daten unterschiedliche Tests benutzt. Bei normalverteilten, metrischen Daten wurde der T-Test verwendet. Nicht normalverteilte, metrische Daten wurden mittels des Mann-Whitney-U-Tests verglichen. Kategoriale Daten wurden je nach Gruppenumfang mittels des Chi²-Tests oder des Exakten Tests nach Fisher verglichen.

4 ERGEBNISSE

Bei 217 Patienten fanden sich im Rahmen der elektrophysiologischen Untersuchung insgesamt 223 akzessorische Leitungsbahnen. Bei 211 Patienten wurde eine akzessorische Leitungsbahn, bei 6 Patienten zwei Bahnen diagnostiziert.

4.1 ANATOMISCHE LAGE DER AKZESSORISCHEN BAHNEN

Von 223 Bahnen lagen 127 Bahnen (57,0%) linksseitig, 96 Bahnen (43,0%) rechtsseitig.

Die häufigsten Lokalisationen waren links lateral (n= 75; 33,6%) und rechts posteroseptal (n= 41; 18,4 %).

Die anatomische Lage der Bahnen ist in Abbildung 9 dargestellt.

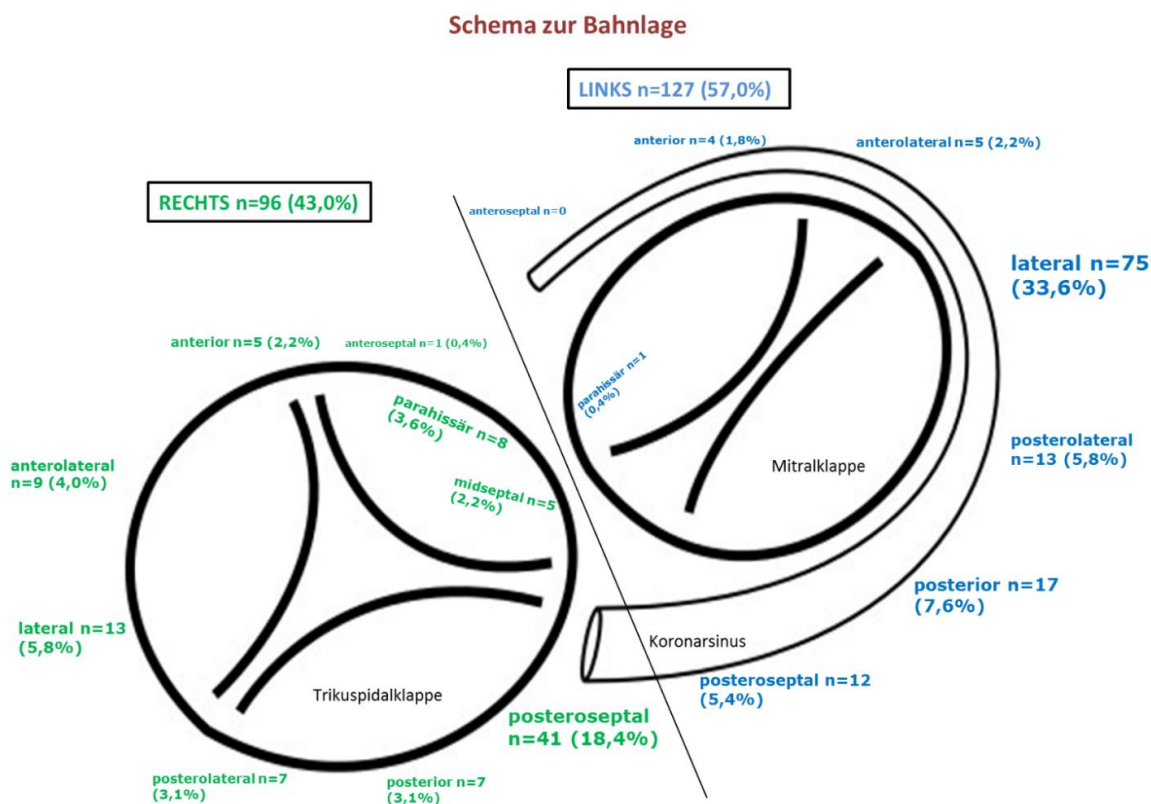


Abbildung 9: Schema zur anatomischen Lage der akzessorischen Leitungsbahnen.

Die anatomische Lage bei Patienten mit zwei akzessorischen Bahnen ist in Abbildung 10 dargestellt.

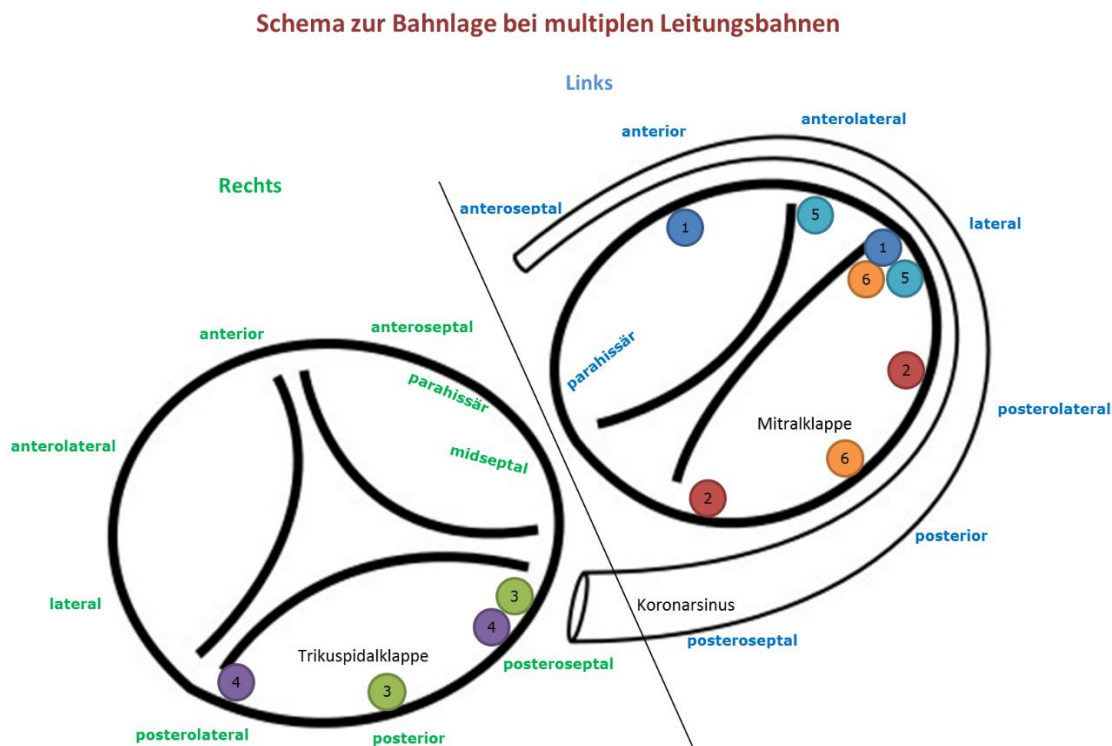


Abbildung 10: Schema zur Bahnlage bei multiplen Leitungsbahnen

Zahl und Farbe entspricht Patienten. Position entspricht Lage der Bahnen

4.2 3D-MAPPINGSYSTEME

Insgesamt wurde bei 27 Patienten (12,5%) ein 3D-Mapping-System eingesetzt (NavX® n=26, Carto® n=1). Im Zeitraum von 2004 bis 2008 wurden nur bei 3 Patienten 3D-Mappingsysteme verwendet, während diese von 2009 bis 2013 bei 24 Patienten verwendet wurden.

Die 3D-Mappingsysteme wurden vorwiegend bei rechtsseitig gelegenen Bahn eingesetzt (25 von 27 (92,6%)) Patienten.

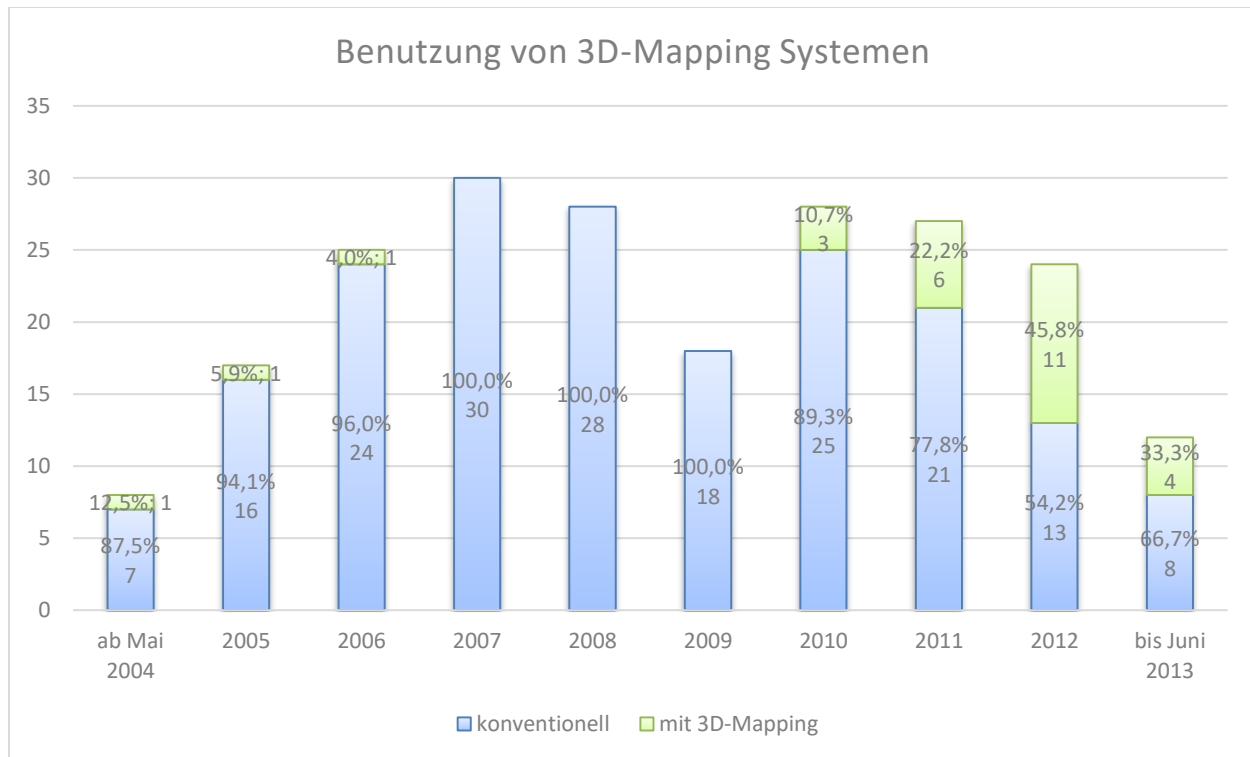


Abbildung 11: Einsatz von 3D-Mapping über den Untersuchungszeitraum

4.3 UNTERSUCHUNGSZEITEN UND STRAHLENEXPOSITION

Untersuchungszeit

Die Untersuchungsdauer betrug im Mittel $135,5 \pm 62,8$ Minuten (38 bis 370 Minuten) mit einem Median von 126,2 Minuten. Bei symptomatischen Patienten lag die Untersuchungszeit im Mittel bei $136,8 \pm 64,2$ Minuten, bei asymptomatischen Patienten bei $121,4 \pm 45,8$ Minuten ($p=0,322$, t-Test).

Über den Untersuchungszeitraum kam es zu einer signifikanten Verkürzung der Untersuchungsdauer. Im Zeitraum von 2004 bis 2008 (107 Fälle) lag die mittlere Untersuchungszeit bei $156,5 \pm 67,5$ Minuten, während sie im Zeitraum von 2009 bis 2013 (105 Fälle) $114,0 \pm 49,7$ Minuten betrug ($p<0,001$, t-Test).

Es gab keinen signifikanten Unterschied in der mittleren Untersuchungsdauer zwischen konventionellen Ablationen ($134,1 \pm 63,6$ Minuten) und Untersuchung mit Einsatz eines 3D-Mappingsystems ($144,7 \pm 58,3$ Minuten) ($p=0,389$, t-Test).

Die Untersuchungsdauer war signifikant länger bei Patienten mit rechtsseitiger Bahnlage (im Mittel $153,5 \pm 62,8$ Minuten) als bei Patienten mit linksseitiger Bahnlage (im Mittel nur $116,2 \pm 62,9$ Minuten) ($p < 0,001$, t-Test).

Durchleuchtungszeit

Die mittlere Durchleuchtungszeit betrug $18,9 \pm 15,3$ Minuten (1 Minute - 78,8 Minuten) mit einem Median von 13,7 Minuten. Diese unterschied sich bei symptomatischen ($19,3 \pm 15,7$ Minuten) und asymptomatischen Patienten ($14,1 \pm 10,3$ Minuten) nicht ($p = 0,276$, MWUT).

Auch bei der Durchleuchtungszeit kam es über den Untersuchungszeitraum zu einer signifikanten Verkürzung. So lag im Zeitraum von 2004 bis 2008 (108 Fälle) die Durchleuchtungszeit im Mittel bei $21,33 \pm 15,8$ Minuten während sie im Zeitraum von 2009 bis 2013 (106 Fälle) im Mittel bei $16,31 \pm 14,4$ Minuten lag ($p = 0,004$, MWUT).

Es gab einen Trend zur Verkürzung der Durchleuchtungszeit durch den Einsatz eines 3D- Systems, ohne dass sich eine statistische Signifikanz zeigte ($19,29 \pm 15,7$ Minuten vs. $15,73 \pm 12,2$ Minuten) ($p = 0,364$, MWUT).

Die Durchleuchtungszeit war bei rechtsseitiger Bahnlage signifikant länger als bei linksseitiger Lage der Bahn ($21,8 \pm 17,2$ Minuten vs. $16,1 \pm 13,4$ Minuten) ($p = 0,008$, MWUT).

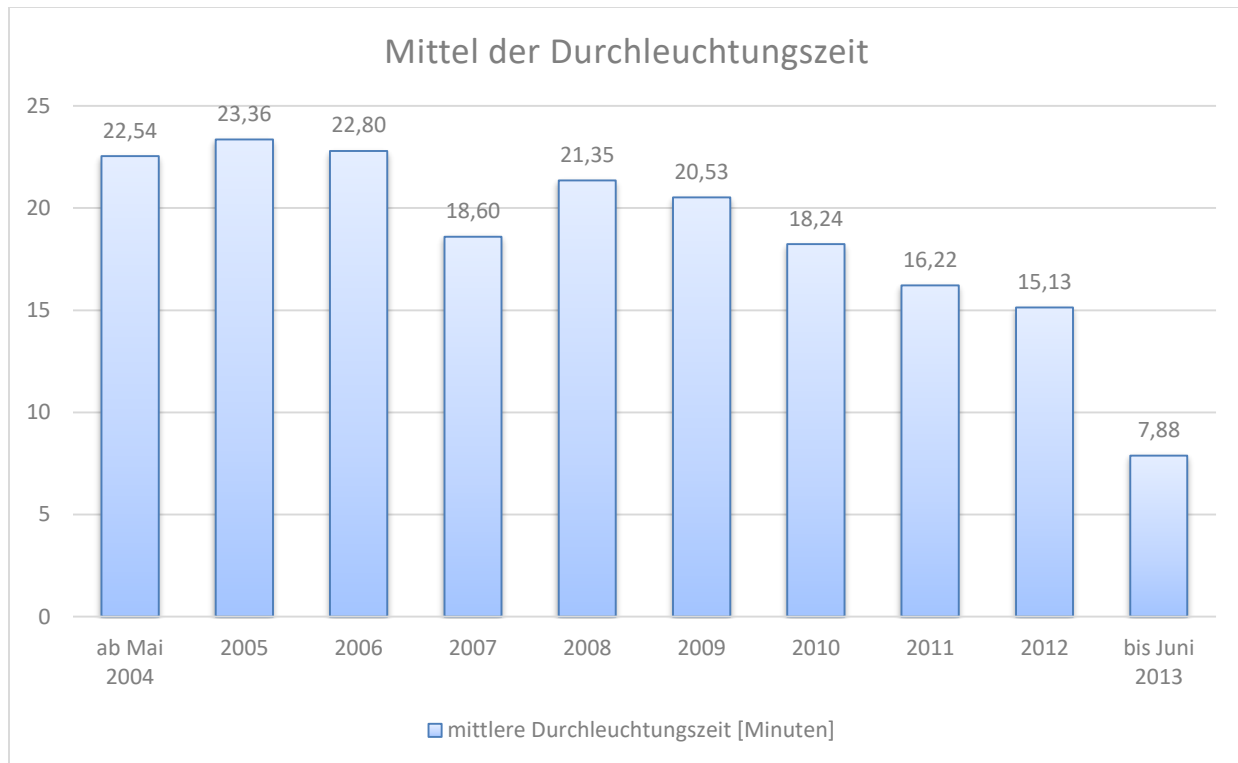


Abbildung 12: Mittlere Durchleuchtungszeiten im Untersuchungszeitraum

Flächendosisprodukt

Im Mittel wurden pro Untersuchung $737,3 \pm 962,0$ cGy*cm² ionisierende Strahlung appliziert (8,1- 8110 cGy*cm²) mit einem Median von 433,3 cGy*cm². Bei symptomatischen Patienten betrug das Flächendosisprodukt $761,6 \pm 995,8$ cGy*cm² vs. $489,1 \pm 499,8$ cGy*cm² bei asymptomatischen Patienten ($p=0,348$, MWUT).

Im Zeitraum von 2004 bis 2008 (106 Fälle) lag die mittlere Strahlendosis bei $785,0 \pm 1019,7$ cGy*cm², während sie im Zeitraum vom 2009 bis 2013 (106 Fälle) bei $689,5 \pm 907,7$ cGy*cm² lag ($p=0,177$, MWUT).

Die mittlere Dosis bei konventionellem Mapping betrug $744,0 \pm 997,7$ cGy*cm² vs. $691,3 \pm 706,2$ cGy*cm² bei 3D-gestütztem Mapping ($p=0,799$, MWUT).

Das Flächendosisprodukt bei Patienten mit rechtsseitiger Bahn war signifikant höher als bei linksseitiger Lage der Bahn ($902,1 \pm 1181,1$ cGy*cm² vs. $581,3 \pm 722,0$ cGy*cm²) ($p=0,008$, MWUT).

4.4 ENERGIEART

Von den 217 Katheterablationen wurden in 157 Fällen (72,4%) ungekühlte Radiofrequenzenergie und in 42 Fällen (19,4%) gekühlte Radiofrequenzenergie eingesetzt. Cyroenergie wurde in 8 Fällen (3,7%) verwendet, eine Kombination aus Cyroenergie und Radiofrequenzenergie in 7 Fällen (zumeist initial RF-Energie, dann Cyroenergie bei schwieriger Bahnlage). Bei 3 Untersuchungen konnte die Ablationsenergie aufgrund von Dokumentationsfehlern nicht mehr nachvollzogen werden.

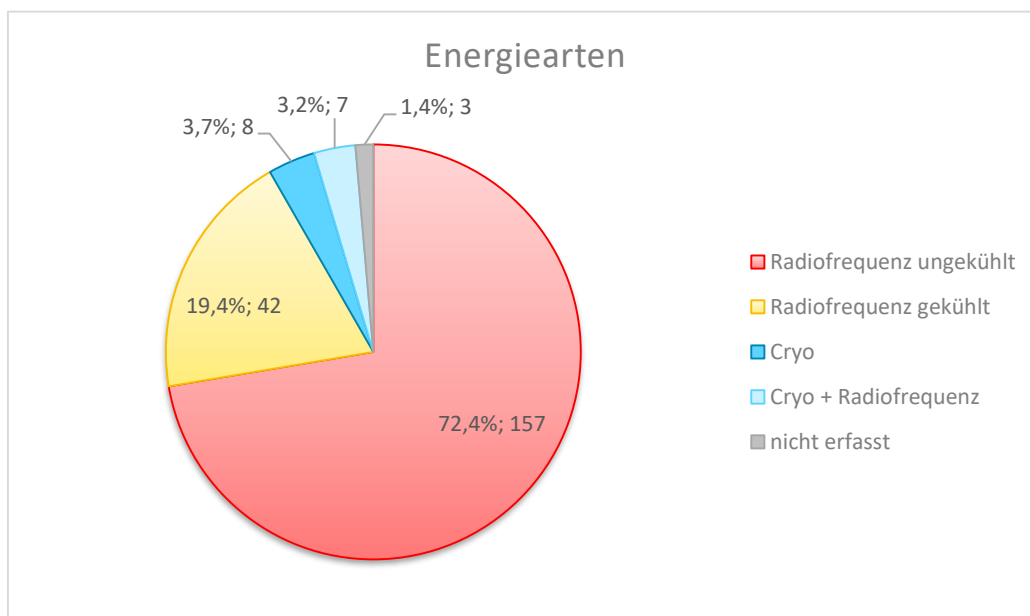


Abbildung 13: Zur Ablation benutzte Energiearten

4.5 AKUTE ERFOLGSRATE

Von den 217 Ablationen waren 208 (95,9%) akut erfolgreich.

Bei linksseitig gelegenen Bahnen waren 121 von 123 Ablationen (98,4%), bei rechtsseitig gelegenen Bahnen 87 von 94 (92,6%) Ablationen akut erfolgreich. ($p=0,042$, ETNF).

Die akute Erfolgsrate betrug 96,0% bei symptomatischen und 94,7% bei asymptomatischen Patienten. ($p=0,569$, ETNF)

Im Zeitraum 2004 bis 2008 (108 Patienten) betrug die akute Erfolgsrate 94,4%, von 2009 bis 2013 (109 Patienten) 97,2%. ($p=0,332$, ETNF) Es ergab sich kein Unterschied in der akuten Erfolgsrate zwischen konventionellen Ablationen (96,3%) und Ablationen unter Einsatz eines 3D-Mappingsystems (92,6%). ($p=0,331$, ETNF)

Bei 9 Patienten (4,1 %) konnte die akzessorische Leitungsbahn primär nicht erfolgreich ablatiert werden. Bei 5 Patienten wurde die Leitungsbahn aufgrund komplexer anatomischer Lage nicht dauerhaft supprimiert und bei langer Prozedurdauern die Untersuchung beendet. Ein Patient entwickelte im Verlauf der Untersuchung ein progredientes inguinales Hämatom, weswegen die Untersuchung beendet werden musste. Bei einem Patienten kam es zum Auftreten eines AV-Blocks I°-II° und zum mechanischen „Bumping“ der Bahn, wobei kurz nach Entfernung der Zugänge wieder eine Delta-Welle nachweisbar war. Bei 2 Patienten wurde bei schwieriger Bahnlage (parahissär) primär keine Ablation durchgeführt.

Von den 9 initial erfolglos ablatierten Patienten wurden 5 Patienten im Rahmen einer 2. Untersuchung erfolgreich ablatiert. Eine Patientin mit rechts lateral gelegener akzessorischer Leitungsbahn entwickelte im Verlauf erneut ein Rezidiv, das im Rahmen einer 3. Untersuchung erfolgreich ablatiert wurde.

Bei 4 der 9 Patienten wurde keine Reablation durchgeführt. Bei einem dieser Patienten kam es vermutlich zu einer Bahnmodulation mit Verlust oder Einschränkung der retrograden Leitungseigenschaften der akzessorischen Bahn, wodurch er klinisch asymptomatisch blieb und sich gegen eine erneute invasive Diagnostik entschied. Die 3 anderen Patienten stellten sich nicht erneut vor.

4.6 REZIDIVRATE UND FOLLOW-UP

Insgesamt kam es bei 27 der 208 (13,0%) akut erfolgreich ablatierten Patienten im Verlauf zu einem Rezidiv der akzessorischen Leitungsbahn. Hierunter waren 24 primär symptomatische und 3 primär asymptomatische Patienten ($p=0,713$, ETNF).

Die Rezidivrate in den Jahren 2004 bis 2008 betrug 15,7% (17 von 108 Patienten), in den Jahren 2009 bis 2013 9,2% (10 von 109 Patienten) ($p=0,143$, χ^2).

Bei 12 der 27 (44,4%) Rezidive handelte es sich um Frührezidive in den ersten 48 Stunden nach Ablation.

Bei 15 der 27 (55,6%) Rezidive handelte es sich um Spätrezidive welche mehr als 48 Stunden nach Ablation auftraten.

Der zeitliche Verlauf der Rezidive kann Abbildung 14 entnommen werden.

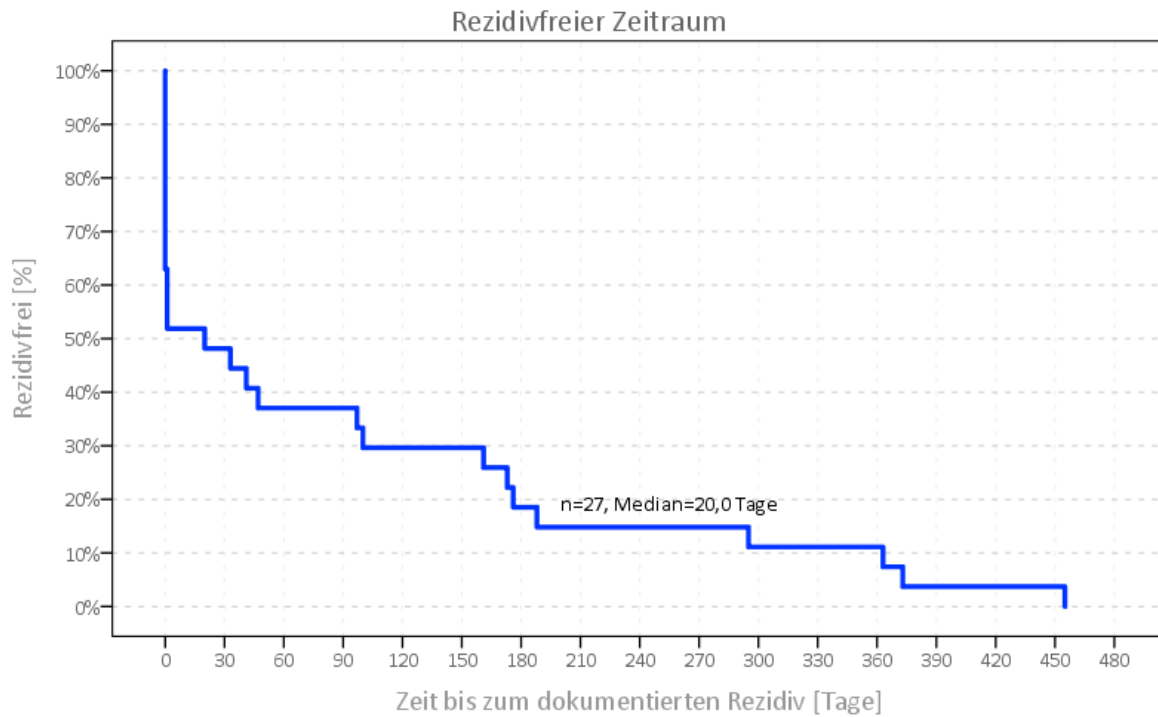


Abbildung 14: Rezidivfreier Zeitraum

Der Verlauf aller Ablationen ist in Abbildung 15 dargestellt.

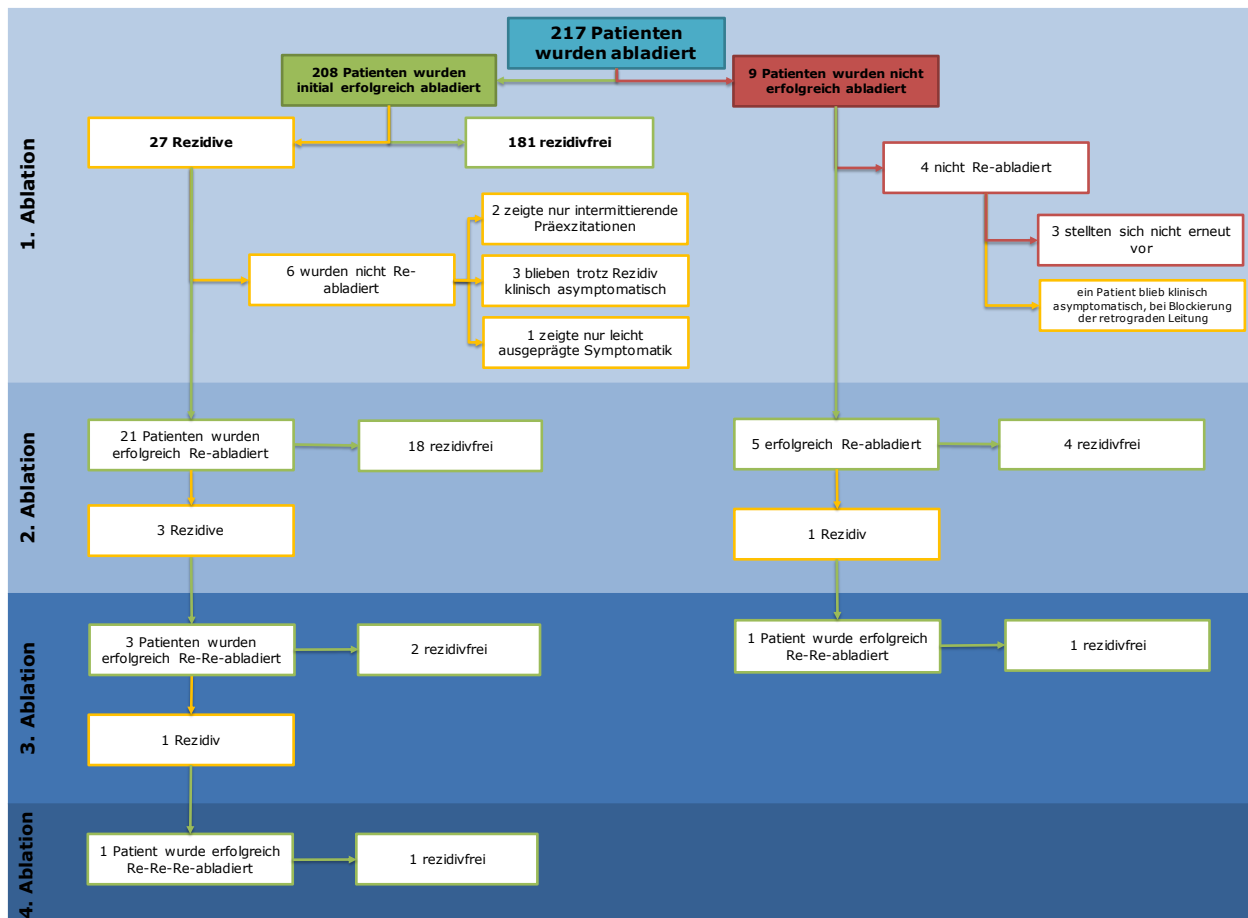


Abbildung 15: Consort-Diagramm

Bei 21 der 27 Patienten mit Rezidiv wurde eine Reablation durchgeführt. Alle 21 Patienten konnten initial erfolgreich ablatiert werden.

Bei 6 der 27 Patienten mit Rezidiv wurde keine Reablation durchgeführt. Bei 3 der Patienten kam es zu einem erneuten Auftreten einer Δ -Welle im EKG und damit zur Erholung der antegraden Leitungseigenschaften der akzessorischen Bahn. Dennoch blieben die Patienten klinisch asymptomatisch, weshalb auf eine Re-Ablation verzichtet wurde. Bei zwei Patienten zeigte ein post-ablationem durchgeführtes Langzeit-EKG eine intermittierende Präexzitation. Ein Patient zeigte bei intermittierender Präexzitation lediglich leicht ausgeprägte Symptomatik ohne länger anhaltende Tachykardien, aufgrund einer schwierigen Ablation und gleichzeitig vorhandener DCM mit hochgradig eingeschränkter Pumpfunktion (EF 20%) wurde keine Re-Ablation durchgeführt.

Von den 21 aufgrund eines Rezidivs erfolgreich reablierten Patienten erlitten 3 Patienten ein erneutes Rezidiv und wurden ein drittes Mal abliert. Ein Patient erlitt ein drittes Rezidiv und wurde erneut erfolgreich abliert.

Bei den 2 Patienten welche 3 Ablationen erhielten lagen die Bahnen links posterolateral bzw. rechts posterolateral. Bei dem Patienten, der viermal abliert wurde handelte es sich um einen Patienten mit Ebstein'scher Anomalie der Trikuspidalklappe und rechts posteriorer Bahnlage.

Insgesamt konnten 207 der 217 Patienten (95,4%) endgültig erfolgreich behandelt werden. 10 Patienten (4,6%) wurden nach Rezidiv oder nicht erfolgreicher Ablation nicht reabliert.

Rezidive nach Bahnlage

Bei 208 Patienten wurde eine erfolgreiche Ablation durchgeführt. Hierbei wurden 214 Bahnen abliert (bei 6 Patienten wurden zwei Bahnen abliert). Bei 27 Bahnen kam es zu einem Rezidiv.

Bei rechtsseitigen Bahnen kam es in 19/89 Fällen (21,3%) zu signifikant mehr Rezidiven als bei linksseitigen Bahnen, bei denen es in 8/125 Fällen (6,4%) zu einem Rezidiv kam ($p=0,002$, χ^2). Die Rezidive nach genauer Bahnlage kann der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Bahnlage	Rezidive/Gesamtanzahl	Relativ
Rechts	19/89	21,3%
rechts posteroseptal	6/41	14,6%
rechts lateral	3/11	27,3%
rechts anterolateral	3/9	33,3%
rechts parahissär	2/7	28,6%
rechts posterolateral	1/6	16,7%
rechts posterior	2/7	28,6%
rechts anterior	2/4	50,0%
rechts midseptal	0/4	0,0%
Links	8/125	6,4%
links lateral	4/75	5,3%
links posterior	2/16	12,5%
links posterolateral	1/13	7,7%
links posteroseptal	1/12	8,3%
links anterolateral	0/4	0,0%
links anterior	0/4	0,0%
links parahissär	0/1	0,0%
Summe	27/214	12,6%

Tabelle 2: Rezidive nach Bahnlage

4.7 RECHTSSEITIG GELEGENE AKZESSORISCHE LEITUNGSBAHNEN

Die rechtsseitig gelegenen akzessorischen Leitungsbahnen werden im Folgenden genauer betrachtet, da sie hinsichtlich prozeduralem Vorgehen und Rezidivrate eine besondere Herausforderung darstellen.

(Wang and Yao 2003)

3D-Mappingsysteme bei rechtsseitiger Bahnlage

Wie bereits erwähnt wurden 3D-Mappingsysteme bevorzugt in der zweiten Hälfte des untersuchten Zeitraums zur Ablation von rechtsseitigen Bahnen eingesetzt.

Bei 25 von 94 (26,6%) Patienten mit rechtsseitiger Bahnlage wurde ein 3D-Mappingssystem verwendet. Die Ergebnisse können Tabelle 2 entnommen werden.

3D-Mappingsysteme bei rechtsseitiger Bahnlage

	3D-Mappingssystem	konventionell	Signifikanz
akuter Erfolg	23/25 (92,0%)	64/69 (92,8%)	p=1,000; ETNF
Rezidiv	7/25 (28,0%)	12/69 (17,4%)	p=0,258; Chi ²
Komplikationen	1/25 (4,0%)	2/69 (2,9%)	p=1,000; ETNF
klinische Auffälligkeiten	1/25 (4,0%)	3/69 (4,3%)	p=1,000; ETNF
Untersuchungszeit [min]	138,3 ± 51,3	159,0 ± 66,0	p=0,159; t-Test
Durchleuchtungszeit [min]	14,0 ± 10,6	24,6 ± 18,3	p=0,006*; MWUT
Flächendosisprodukt [cGy*cm²]	704,2 ± 733,2	1002,9 ± 1311,7	p=0,307; MWUT

Tabelle 3: 3D Mappingsysteme bei rechtsseitiger Bahnlage

Der Einsatz eines 3D Mappingssystems führte zu einer signifikanten Reduktion der Durchleuchtungszeit.

Gekühlte Kathetersysteme bei rechtsseitiger Bahnlage

Insgesamt wurden 81 rechtsseitig gelegene akzessorische Leitungsbahnen mittels Radiofrequenzenergie abladiert. Es zeigte sich ein Trend zur Reduktion der Rezidivhäufigkeit durch gekühlte Ablation (18,5% vs. 22,2% bei ungekühlten Ablationen). ($p=0,700$, χ^2) Die akuten Erfolgsquoten unterschieden sich nicht voneinander, sie lagen bei ungekühlter RF-Energie bei 52/54 (96,3%) und bei gekühlter RF-Energie bei 26/27 (96,3%). ($p=1,000$, ETNF)

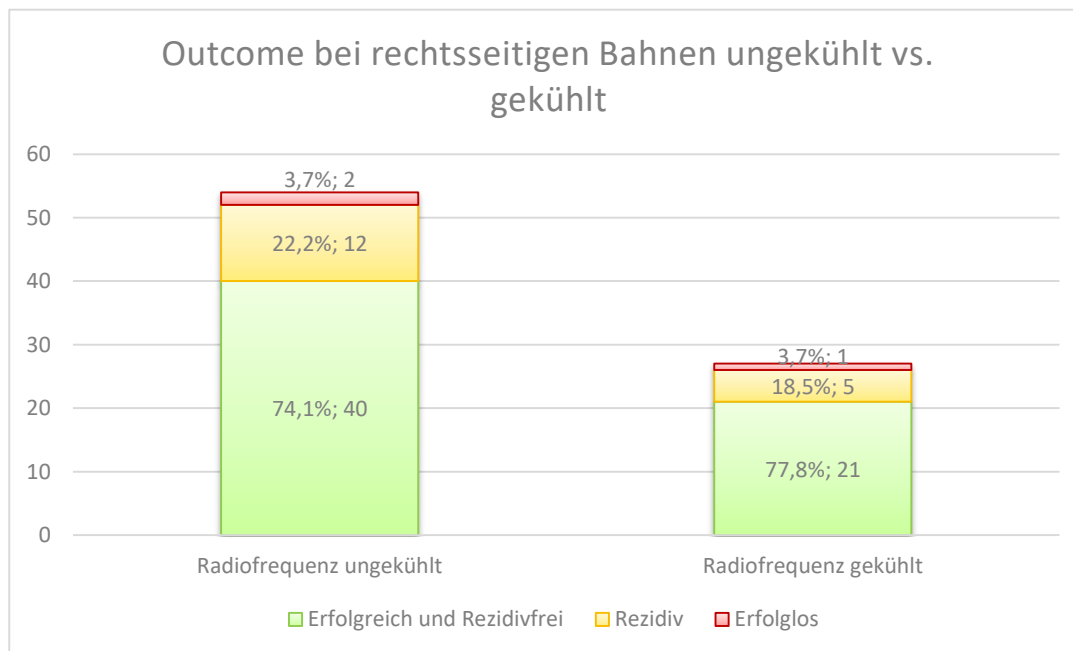


Abbildung 16: Outcome bei rechtsseitigen Bahnen gekühlt vs. ungekühlt

4.8 KOMPLIKATIONEN

Bei 203 Patienten (93,5%) war der Verlauf der Katheterablation unauffällig.

Bei 14 der 217 Patienten (6,5%) kam es im Rahmen der Katheterablation und der Nachbeobachtung zu Auffälligkeiten unterschiedlichen Schweregrades. Nur bei 4 Patienten (1,8%) handelt es sich definitionsgemäß (siehe 3.2) um eine Komplikation. Bei 10 Patienten (4,6%) kam es zu klinischen Auffälligkeiten, die nicht den oben genannten Kriterien einer Komplikation entsprachen. Zur Vollständigkeit sind sie im Folgenden mit aufgelistet.

Alle 14 Auffälligkeiten/Komplikationen traten bei den 198 symptomatischen Patienten auf. Keiner der 19 asymptomatischen Patienten entwickelte eine Komplikation ($p=0,618$, ETNF).

Bei 4 von 54 (7,4%) ungekühlten RF-Ablationen kam es zu einer Komplikation oder Auffälligkeit während der Ablation, während bei keiner der 27 gekühlten RF-Ablationen eine Komplikation auftrat ($p=0,296$, ETNF).

Komplikationen	Anzahl
Tiefe Beinvenenthrombose und Lungenarterienembolie	1
Initial AV-Block III°, im Follow-up AV-Block I°	1
Perikarderguss mit Decortingabe	1
Aneurysma spurium mit Thrombininjektion	1
Summe	4
Klinische Auffälligkeiten	Anzahl
Aneurysma spurium	3
kompletter RSB	2
Perikarderguss	1
AV-Fistel	1
initial AV-Block II°, im Follow-up kein AV-Block	1
großes inguinales Hämatom	1
Extrapyramidalmotorische Medikamentennebenwirkung	1
Summe	10

Tabelle 4: Auffälligkeiten und Komplikationen

Die aufgetretenen Komplikationen/Auffälligkeiten im Untersuchungszeitraum lassen sich Untersuchungsjahren wie folgt zuordnen (Abbildung 17).

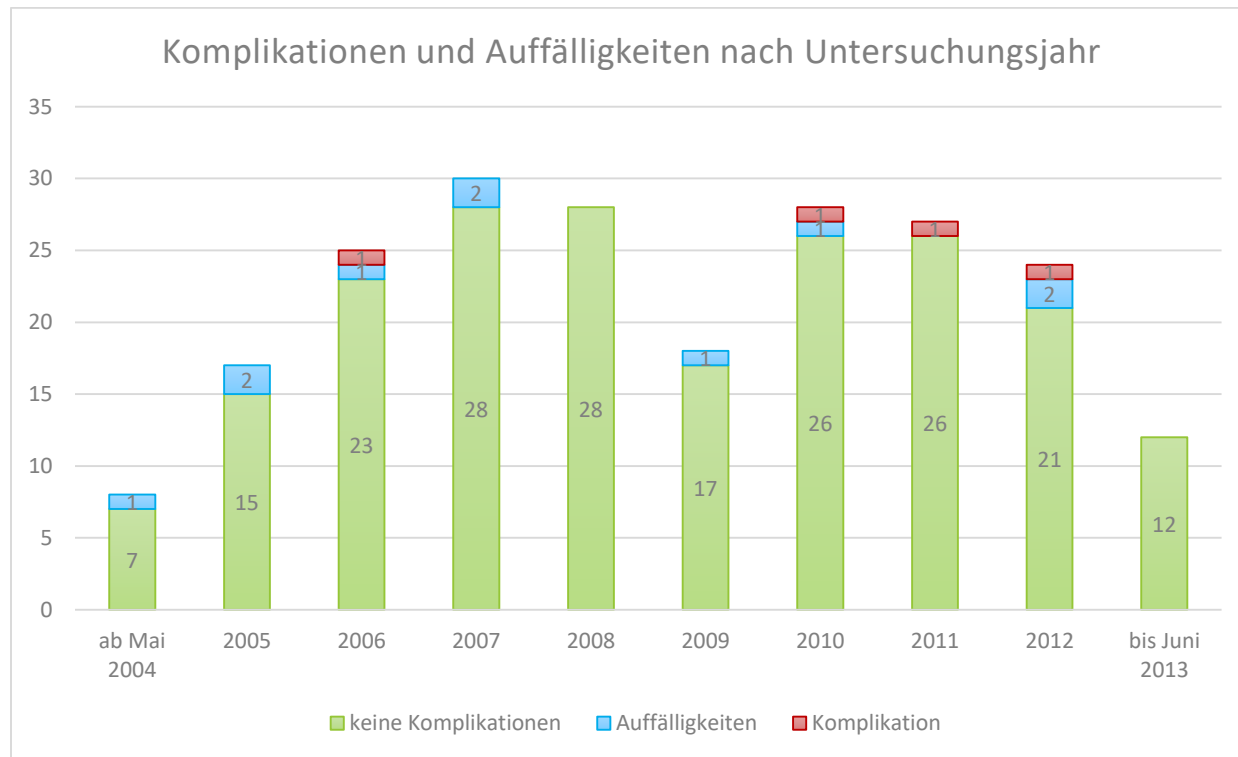


Abbildung 17: Komplikationen nach Untersuchungsjahr

Komplikationen

Tiefe Beinvenenthrombose und Lungenarterienembolie

Eine 20-jährige Patientin stellte sich nach unauffälliger, stationärer Nachbeobachtung 5 Tage nach durchgeführter Ablation mit seit 4 Tagen bestehenden Schmerzen und bläulich-livider Verfärbung des linken Beines vor. Ein durchgeführtes Kontrastmittel-CT zeigte eine pulmonalarterielle Embolisation der linken Unterlappenarterie mit Beteiligung der Segmentarterien 7, 8, 9 und 10, sowie eine Embolisation der rechten Segmentarterien 9 und 10. Ober- und Mittellappen waren beidseits nicht betroffen. Die Vena cava inferior war bis auf Höhe der Nierenvenenabgänge zu einem Drittel thrombosiert. Nach unten reichte die Thrombosierung bis zur linken Femoralaufzweigung. Die linke Vena iliaca externa war nahezu komplett thrombosiert. Aufgrund dieses Befundes wurde eine i.v. Antikoagulation mit unfraktioniertem

Heparin eingeleitet, auf eine systemische Lyse wurde verzichtet. Langfristig wurde die Patientin mit Marcumar therapiert (INR 2-3) und erhielt einen Kompressionsstrumpf. Das durchgeführte Thrombophiliescreening zeigte eine heterozygote Faktor V und Prothrombin Mutation. Zusätzlich bestand eine hormonelle orale Kontrazeption, Nikotinabusus, sowie leichtes Übergewicht.

Höhergradige AV-Blockierung

Bei einem 15-jährigen Patienten mit rechts midseptal gelegener Bahn wurde nach erfolgloser Cryoablation auf RF-Energie gewechselt. Nach der letzten Ablation wurde die akzessorische Bahn zwar erfolgreich ablatiert, allerdings entwickelte der Patient kurzzeitig einen AV-Block III°, der in einen zweitgradigen und dann in einen erstgradigen AV-Block überging. Am Ende der Untersuchung lag die PQ-Zeit bei 260ms. Der Patient wurde eine Woche nachbeobachtet. Während des stationären Aufenthalts wurden mehrere Langzeit-EKGs und eine Cortisonstoßtherapie durchgeführt. Die PQ-Zeit lag zuletzt bei 230ms.

Perikarderguss mit Glukokortikoidtherapie

Ein 16-jähriger Patient stellte sich mit ORTs und schnell übergeleitetem Vorhofflimmern bei Ebstein-Anomalie und zwei akzessorischen Leitungsbahnen rechts posteroseptal und rechts posterolateral vor. In der Nachbeobachtung nach komplexer Ablation entwickelte sich neben dem linken Ventrikel ein Perikarderguss von maximal 9 mm Ausdehnung. Unter zweitägiger Prednisolontherapie war dieser rückläufig.

Aneurysma spurium mit Thrombininjektion

Bei einem 10 Jahre alten Patienten mit links posterolateral gelegener Bahn entwickelte sich postinterventionell ein Aneurysma spurium der A. femoralis superficialis rechts mit breitem Aneurysmahals, welches eine zweimalige Injektion von Thrombin notwendig machte. Diese Intervention wurde noch im stationären Setting unter Ultraschallkontrolle erfolgreich durchgeführt, ohne dass es zu Beeinträchtigung der Arterie kam.

Auffälligkeiten

Aneurysma spurium

Bei zwei Patienten (16 und 20 Jahre alt) wurde ein Aneurysma spurium der Arteria femoralis communis und bei einem Patienten (12 Jahre alt) der Arteria femoralis superficialis diagnostiziert. Bei zwei Patienten konnte das Aneurysma durch manuelle Kompression erfolgreich verschlossen werden. Bei einem Patienten war die Aneurysmahöhle zum Zeitpunkt der Sonographie bereits thrombosiert.

AV-Fistel

Ein 17-jähriger Patient entwickelte nach arterieller Punktion der rechten Leiste eine kleine AV-Fistel zwischen Arteria femoralis communis und Vena femoralis communis, welche durch manuelle Kompression zunächst nicht therapierbar war. Aufgrund des geringen Schweregrades der Fistel war zunächst keine weitere Therapie indiziert. Bei ambulanter Wiedervorstellung 2 Monate nach dem stationären Aufenthalt zeigte sich ein unauffälliger Gefäßstatus.

Großes inguinales Hämatom

Ein 19-jähriger Patient entwickelt während der Untersuchung ein ausgedehntes inguinales Hämatom. Daraufhin wurde Protamin verabreicht und die Untersuchung abgebrochen. Nach Kompression wurde eine Duplexsonographie der Leiste durchgeführt, welche keinen Anhalt für eine retroperitoneale Blutungen oder Gefäßalterationen ergab. In der im Verlauf durchgeführten Sonographie konnte ein diffuses Hämatom ohne Gefäßalteration dargestellt werden.

Perikarderguss

Eine 18-jährige Patientin entwickelte einen Perikarderguss geringen Schweregrades ohne Therapie- und Kontrollindikation.

AV-Block I.-II. Grades

Bei einem 12-jährigen Patienten kam es nach parahissärer RF-Ablation über 6s zu einem wechselnden AV-Block I° / AV-Block II° mit 2:1 Überleitung. Auch nach Wechsel auf Cryoenergie blieb die Ablation erfolglos. Im anschließenden stationären Langzeit-EKG war die Präexzitation nur noch intermittierend vorhanden und es zeigten sich einzelne nicht übergeleitete P-Wellen. Im ambulant durchgeführten Langzeit-EKG eine Woche nach Ablation war keine AV-Blockierung mehr vorhanden und die Präexzitation zeigte sich nur intermittierend.

Kompletter Rechtsschenkelblock

Bei zwei Patienten (10 und 15 Jahre alt) trat nach erfolgreicher Cryoablation einer parahissär gelegenen Bahn ein persistierender kompletter Rechtsschenkelblock auf.

Extrapyramidale Medikamentennebenwirkung

Eine 8-jährige Patientin entwickelte am Abend nach Ablation unter Allgemeinanästhesie zunächst Übelkeit, welche mit 70 mg Dimenhydrinat supp. behandelt wurde. Im weiteren Verlauf entwickelte die Patientin extrapyramidalmotorische Symptome welche mit Biperiden behandelt wurden, nachdem sie zunehmende Unruhe und Nervosität entwickelte erhielt sie zusätzlich Midazolam. Am nächsten Tag war sie symptomfrei und neurologisch unauffällig. Als Ursache für die Symptome kam am ehesten eine Medikamentennebenwirkung auf die verabreichten Narkotika.

Komplikation und Auffälligkeiten nach anatomischer Bahnlage

Das Auftreten von Komplikationen war bei der Ablation rechtsseitiger Bahnen mit 2,2% etwas höher als bei linksseitigen Bahnen (0,8%).

Die genaue Aufteilung kann Tabelle 5 entnommen werden.

Bahnlage	Komplikation/Auffälligkeit/Gesamtanzahl	Komplikation/Auffälligkeit relativ
Ablationen einer akzessorischen Bahn		
Rechts	2/4/92	2,2%/4,3%
rechts posteroseptal	0/0/39	0,0%/0,0%
rechts lateral	0/0/13	0,0%/0,0%
rechts anterolateral	0/0/9	0,0%/0,0%
rechts parahissär	1/2/8	12,5%/25,0%
rechts posterolateral	0/0/6	0,0%/0,0%
rechts posterior	0/0/6	0,0%/0,0%
rechts anterior	0/0/5	0,0%/0,0%
rechts midseptal	1/1/5	20,0%/20,0%
rechts anteroseptal	0/1/1	0,0%/100,0%
Links	1/6/119	0,8%/5,0%
links lateral	0/4/72	0,0%/5,6%
links posterior	0/0/16	0,0%/0,0%
links posterolateral	1/1/12	8,3%/8,3%
links posteroseptal	0/0/11	0,0%/0,0%
links anterolateral	0/1/4	0,0%/25,0%
links anterior	0/0/3	0,0%/0,0%
links parahissär	0/0/1	0,0%/0,0%
Summe	3/10/211	1,4%/4,7%

Ablationen zweier akzessorischer Leitungsbahnen		
Rechts	1/0/2	50,0%/0,0%
Links	0/0/4	0,0%/0,0%
Summe	1/0/6	16,7%/0,0%

Tabelle 5: Komplikationen und Auffälligkeiten nach Bahnlage

Komplikationen und Auffälligkeiten nach Alter und Gewicht

Das Alter und Gewicht von Patienten, bei denen eine Komplikation oder klinische Auffälligkeit festgestellt werden konnte unterschied sich nicht signifikant Patienten ohne Komplikationen ($p_{\text{Alter}}=0,452$; $p_{\text{Gewicht}}=0,860$, MWUT). Die Verteilung der Komplikationen nach Patientenalter ist in Abbildung 18 dargestellt.

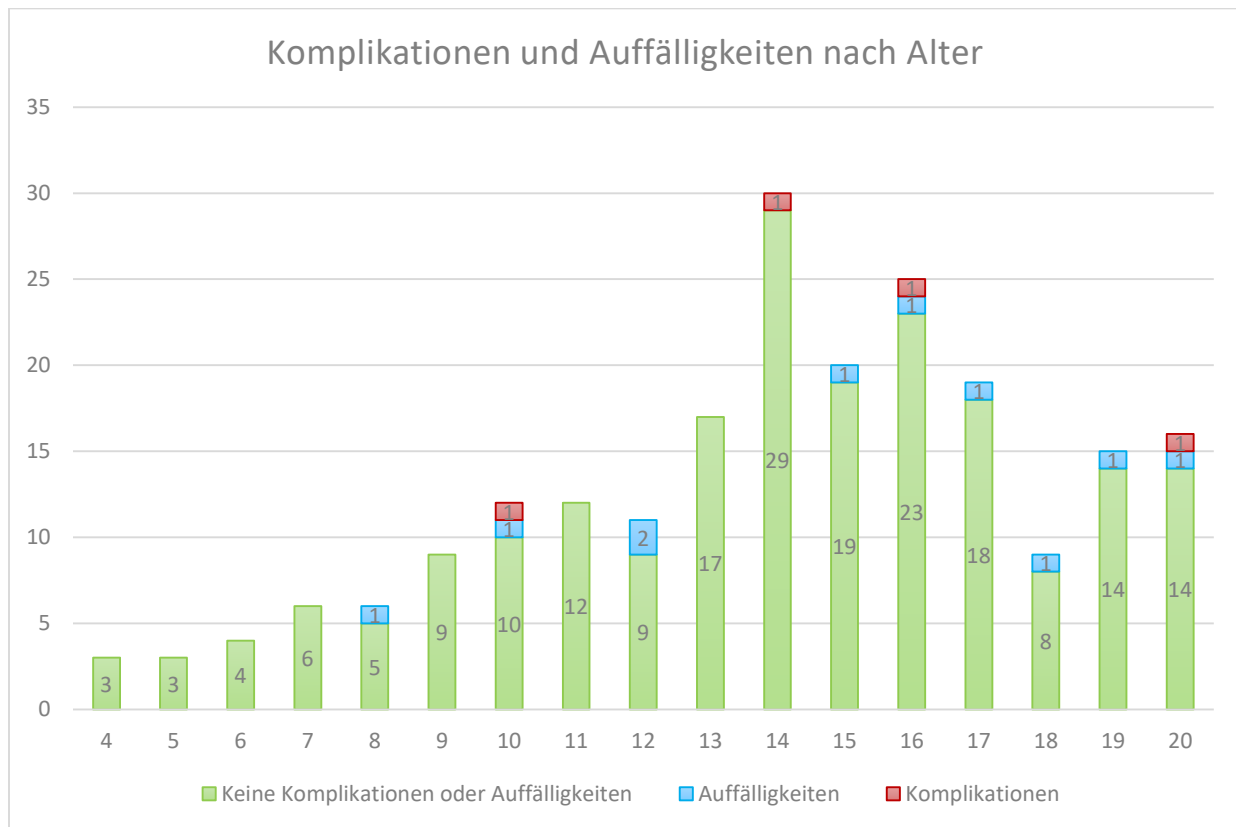


Abbildung 18: Komplikationen nach Alter

5 DISKUSSION

Die vorliegende Arbeit zeigt an einem Patientenkollektiv über knapp 10 Jahre die Praxis der Katheterablation akzessorischer Leitungsbahnen bei Kindern und Jugendlichen an unserem Zentrum. Die Katheterablation akzessorischer Bahnen bei Kindern und Jugendlichen kann mit hoher akuter (95,9%) Erfolgsrate und geringer (1,8%) Komplikationsrate behandelt werden. Die Rezidivrate betrug im Beobachtungszeitraum 13,0%. Durch eine (sehr selten zwei oder mehr) Reablationen konnten die meisten Patienten (95,4%) langfristig erfolgreich behandelt werden.

Im Vergleich zur Ablation linksseitiger Bahnen zeigten sich bei rechtsseitig gelegenen Bahnen aufgrund der komplexeren Anatomie schlechtere Ergebnisse bei akuter Erfolgsrate und Rezidivrate. Hier gab es einen Trend zu einer geringeren Rezidivrate bei Verwendung gespülter Kathetersysteme.

Außerdem konnte gezeigt werden, dass sich die Durchleuchtungszeit durch die Benutzung moderner 3D-Mappingsysteme reduzieren lässt.

Zusammenfassend stellt die Katheterablation akzessorischer Leitungsbahnen bei Kindern und Jugendlichen an erfahrenen Zentren eine Therapieoption mit hoher Erfolgs- und niedriger Komplikationsrate dar und sollte die Therapie der Wahl für diese Entität darstellen.

5.1 AKUTE ERFOLGSRATE

Im Pediatric Radiofrequency Catheter Ablation Registry hatte sich bereits ein Anstieg der Akuterfolgsraten von 90,4% (1991-1995) auf 95,2% (1996-1999) gezeigt. (Kugler, Danford et al. 2002) In unserem Kollektiv betrug die Erfolgsrate 94,4% für eine frühe Gruppe im Zeitraum von 2004 bis 2008 und 97,2% für eine späte Gruppe von 2009 bis 2013, mit einem Gesamterfolg von 95,9%. Neuere Studien zeigten ähnliche hohe Erfolgsraten (93,1% bis 94,5%). (Belhassen, Rogowski et al. 2007, Van Hare, Colan et al. 2007, Kim, Macicek et al. 2012, Ceresnak, Dubin et al. 2015). Außerdem konnten alle Patienten, die sich nach frustrierender primärer Ablation zur Reablation vorstellten, akut erfolgreich behandelt werden.

Bei asymptomatischen Patienten mit Präexzitation zeigte sich mit 94,7% eine vergleichbar hohe akute Erfolgsrate, so dass auch in dieser Patientengruppe die Ablation als Therapie der Wahl angesehen werden kann. In einer Studie von Pappone et al. mit 37 asymptomatischen Patienten konnten alle erfolgreich ablatiert werden. (Pappone, Santinelli et al. 2003) Insgesamt konnte gezeigt werden, dass sich die akuten Erfolgsraten in den letzten 2 Jahrzehnten von einem bereits hohen Niveau weiter verbessert haben und sich keine Hinweise darauf finden lassen, dass ein Unterschied zwischen symptomatischen und asymptomatischen Patienten besteht (Brugada, Blom et al. 2013).

5.2 REZIDIVRATE

Die Auswertung des großen amerikanischen pädiatrischen Ablationsregisters durch Van Hare et al. 2004 zeigte eine Gesamtrezidivrate zwischen 11,3% bis 15,1%. (Van Hare, Javitz et al. 2004). In unserer Untersuchung war die Rezidivrate 13,0%. Etwa die Hälfte der Rezidive waren Frührezidive innerhalb von 48h nach Ablation. In der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums (2009-2013) zeigte sich eine tendenziell niedrigere Rezidivrate von 9,2% im Vergleich zu 15,7% in den Jahren 2003-2008.

Patienten, die sich im Untersuchungszeitraum erneut vorstellten, konnten letztendlich zu 100% erfolgreich ablatiert werden; allerdings waren bei drei Patienten insgesamt drei und bei einem Patienten vier Ablationen erforderlich. Insgesamt ist die Datenlage zu Langzeit-Rezidiven nach Ablation akzessorischer Leitungsbahnen bei pädiatrischen Patienten unzureichend. Dies beruht möglicherweise auf der Schwierigkeit qualitativ hochwertiger standardisierter Follow-up Untersuchungen. Hier wären größere, multizentrische Studien dringend erforderlich.

5.3 ERGEBNISSE BEI RECHTSSEITIG GELEGENEN AKZESSORISCHEN LEITUNGSBAHNEN - EINSATZ VON GESPÜLTEN ABLATIONSKATHETERN

Die Ablation rechtsseitig gelegener akzessorischer Leitungsbahnen stellt hinsichtlich des prozeduralen Vorgehens noch immer eine Herausforderung dar. Dies ist hauptsächlich durch eine schwierigere

Positionierbarkeit und Instabilität des Ablationskatheters bei rechtsseitigen Leitungsbahnen, sowie durch die Beschaffenheit und Lage (z.B. posteroseptal oft epikardial gelegene Bahnen) dieser Leitungsbahnen erklärbar. (Kugler, Danford et al. 2002, Wang and Yao 2003, Macedo, Patel et al. 2010) Im Beobachtungszeitraum zeigte sich eine akute Erfolgsrate von 92,6% bei rechtsseitigen Bahnen vs. 98,4% bei linksseitigen Bahnen. Auch die Rezidivrate lag vergleichbar mit anderen Untersuchungen mit 21,3% bei rechtsseitigen Bahnen signifikant höher als bei linksseitigen Bahnen (6,4%). In einer Studie von Van Hare et al. von 2004 wurden Rezidivraten zwischen 15,8% und 24,6% angegeben. (Van Hare, Javitz et al. 2004)

Um die Ergebnisse für rechtsseitig gelegene akzessorische Bahnen zu verbessern, wurden ab dem Jahr 2010 vermehrt gekühlte Radiofrequenzkatheter verwendet. Diese erscheinen durch die größere Tiefenausdehnung der Läsion bei rechtsseitigen Leitungsbahnen vor allem im posteroseptalen Bereich von Vorteil. (Chen, Yang et al. 2010) Durch die Benutzung solcher Systeme konnte die Rezidivrate tendenziell verringert werden (18,5% mit gekühlten RF-Kathetern vs. 22,2% mit ungekühlten Kathetern). Eine neue, aus dem DHM vorliegende Studie mit einem erweiterten Patientenkollektiv konnte zeigen, dass die Kombination von 3D-Mappingsystem und gekühltem RF-Katheter im Vergleich zu einem konventionell untersuchten Kollektiv die Rezidivrate (6,0% vs. 18,4%) sowie die Durchleuchtungsdauer (12,8min vs. 22,9min) signifikant verringern konnte. (Telishevska et al. 2017)

5.4 3D-MAPPINGSYSTEME BEI RECHTSSEITIG GELEGENEN BAHNEN

3D-Mappingssysteme sind eine moderne Technologie zur Minimierung der Strahlenbelastung während einer Katheterablation. (Mah, Miyake et al. 2014) In einer aktuellen multizentrischen Studie konnte gezeigt werden, dass bei pädiatrischen Patienten die akute Erfolgsrate durch Einsatz der Systeme verbessert werden kann. (Ceresnak, Dubin et al. 2015) In unserem Zentrum wurden die Systeme während des untersuchten Zeitraums ab 2010 vor allem zur Ablation rechtsseitiger Bahnen eingesetzt. Dies geschah vor dem Hintergrund, dass rechtsseitige Bahnen i.d.R. komplexer und dadurch strahlungsintensiver zu abladieren sind als linksseitige. (Long, Dong et al. 2011). Durch diesen höheren Anteil an rechtsseitigen Bahnen im Vergleich zum Gesamtkollektiv fallen die Unterschiede betreffs Outcome und Strahlenbelastung noch gering aus. Bei der alleinigen Betrachtung der Ablationen von rechtsseitigen Bahnen konnte jedoch trotz der kleineren Fallzahlen gezeigt werden, dass die

Durchleuchtungszeit bei der Benutzung von 3D-Mappingsystem mit 14,0 Minuten im Vergleich zur konventionellen Ablation mit 24,6 Minuten signifikant geringer ist. Diese Beobachtung deckt sich mit vorangegangenen Studien, die ebenfalls eine signifikante Reduktion der Strahlenexposition durch 3D-Mappingsysteme, insbesondere bei rechtsseitigen Bahnen zeigen. (Drago, Silveti et al. 2002, Smith and Clark 2007, Chen, Yang et al. 2010)

5.5 DURCHLEUCHTUNGSZEITEN UND STRAHLENBELASTUNG

Der Einsatz der Fluoroskopie muss vor allem bei pädiatrischen Patienten aufgrund der potentiell kanzerogenen Wirkung kritisch betrachtet werden. Der Einfluss der gängig applizierten Strahlendosis während einer Ablation im Verhältnis zum daraus gezogenen Nutzen für den Patienten wird als gering und vertretbar eingeschätzt. (Friedman, WALSH et al. 2002) Dennoch ist eine niedrige Strahlenexposition wünschenswert. Zur Evaluation der Strahlenbelastung wird in der Literatur zumeist auf die Durchleuchtungsdauer zurückgegriffen. In der Auswertung des pädiatrischen Ablationsregisters wurden vor dem Jahr 2004 Durchleuchtungszeiten von durchschnittlich 50,9 Minuten in der frühen Gruppe und 40,1 Minuten in der späten Gruppe ermittelt. (Kugler, Danford et al. 2002) Die in unserer Studie ermittelten Zeiten beliefen sich auf im Mittel 21,33 Minuten im Zeitraum 2004-2008 und 16,31 Minuten von 2009-2013, was einen deutlichen Rückgang der Strahlenbelastung darstellt. Damit liegt die Durchleuchtungszeit im Bereich neuerer Studien. (Kwong, Neilson et al. 2012, Wan, Shannon et al. 2012, Mah, Miyake et al. 2014) Untersuchungen die unter Einsatz von 3D-Mappingsystem durchgeführt wurden hatten eine mittlere Durchleuchtungszeit von 15,73 Minuten, während sie bei konventioneller Durchleuchtung bei 19,29 Minuten lag.

5.1 KOMPLIKATIONEN

Komplikationen sind ein Hauptfaktor dafür, ein effektives Verfahren wie die Katheterablation bei Kindern zurückhaltend einzusetzen. Insbesondere die „prophylaktische“ Ablation bisher asymptomatischer pädiatrischer Patienten erfordert eine niedrige Komplikationsrate, um diese uneingeschränkt empfehlen zu können.

Auswertungen des pädiatrischen Ablationsregisters ergaben eine Komplikationsrate von 4,2% von 1991-1995 und von 3,0% von 1996 bis 1999, wobei im Gesamtzeitraum insgesamt 4 Patienten aufgrund von Komplikationen verstarben. (Kugler, Danford et al. 2002) Aufgrund der in dieser Studie benutzten engen Definition einer Komplikation wurden zur besseren Vergleichbarkeit dieselben Kriterien zur Klassifikation benutzt. Ein Ereignis wurde gewertet, welches entweder notfallmäßige, länger andauernde Therapie oder Wiedervorstellung des Patienten erforderte, oder mit einer chronischen Funktionseinschränkung einherging. Mit dieser Definition (siehe 3.2.) kam es während des Untersuchungszeitraums in 1,8% der Fälle zu Komplikationen. Dies stellt einen Rückgang der Komplikationsrate im Vergleich zu älteren Daten dar. Als akut lebensbedrohlich einzustufen war lediglich eine aufgetretene Komplikation, eine tiefe Beinvenenthrombose mit konsekutiver Lungenarterienembolie bei zuvor unbekannter Thrombophilie. Außer bei diesem Patienten entstanden durch interventionell bedingte Komplikationen keinem Patienten relevante Folgeschäden. Von Kugler et al. wurden höhergradige AV-Blockierungen, Perikarderguss und thrombembolische Ereignisse als die drei häufigsten Komplikationen identifiziert. (Kugler, Danford et al. 2002) Auch in dieser Studie konnten aus diesen drei Gruppen jeweils eine Komplikation beobachtet werden.

His-nah gelegene akzessorische Bahnen stellen auch heute noch eine besondere Herausforderung dar, da hier das Risiko einer AV-Blockierung am größten ist. In unserem Kollektiv wurde eine akute höhergradige AV-Blockierung nach RF-Ablation (nach zuvor erfolgloser Cryoablation) beobachtet. Nachfolgend erholte sich bei dem Patienten die AV-Leitung weitestgehend und es verblieb ein AV-Block I°. Dennoch spiegelt sich hier die bereits im Ablationsregister erfasste vergleichsweise höhere Komplikationsrate von His-nahen Ablationslokalisationen wieder. (Kugler, Danford et al. 2002)

In 4,6% der Fälle kam es zu peri- und postinterventionellen Auffälligkeiten, welche nicht die oben genannte Definition einer Komplikation erfüllten und somit auch nicht in vergleichbaren Studien erscheinen. Hierbei handelt es sich meist um geringe punktionsbedingte Gefäßalterationen, die entweder konservativ im stationären Setting behandelt werden konnten oder keiner Therapie bedurften.

Keiner der asymptomatischen Patienten erlitt im untersuchten Zeitraum eine ablationsbedingte Komplikation. Auch wenn die Fallzahl mit 19 asymptomatischen Patienten noch zu gering ist um statistische Signifikanz zu erreichen, lässt sich kein Hinweis darauf finden, dass sich die Komplikationsrate bei asymptomatischen Patienten von symptomatischen Patienten unterscheidet oder gar höher ist. In einer randomisierten Studie an asymptomatischen Patienten zeigte sich bei der

„prophylaktischen“ Ablation von 37 Patienten eine Komplikationsrate von 2,7%. (Pappone, Santinelli et al. 2003)

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Komplikationsrate in diesem großen Patientenkollektiv sehr gering ist und daher die Katheterablation auch von dieser Seite als etabliertes und sicheres Verfahren anzusehen ist.

5.2 LIMITATIONEN

Als retrospektiv angelegte Studie unterliegt diese Arbeit allen Einschränkungen die mit diesem Studiendesign einhergehen. Hieraus ergibt sich beispielsweise eine teilweise unvollständige Dokumentation im Bereich der Durchleuchtungszeit oder der Ablationsart. Das Vorhandensein von Confoundern in einigen Bereichen ist ebenfalls nicht auszuschließen was einen Kausalitätsbeweis, zum Beispiel bei der Verringerung der Durchleuchtungszeit durch 3D-Mappingsysteme, unmöglich macht. Die Nachuntersuchungen erfolgten nicht-standardisiert, so dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich Patienten trotz Rezidivs nicht erneut im DHZ vorstellten.

Die asymptomatische Subgruppe ist mit 19 Patienten klein, wodurch eine statistische Auswertung erschwert war. Studien, die sich mit der gleichen Subgruppe beschäftigten, stießen auf ähnliche Hindernisse. Dennoch kann diese Untersuchung Hinweise für das Outcome dieser Patienten liefern. Hier sollte multizentrisch prospektiv versucht werden, weitere Erkenntnisse zu gewinnen.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit war es, die Entwicklung der Katheterablation akzessorischer Leitungsbahnen bei Kindern und Jugendlichen im Hinblick auf Erfolgs- und Komplikationsraten am Deutschen Herzzentrum München über die letzten 10 Jahren darzustellen und verschiedene spezielle Aspekte (Verwendung von 3D-Mappingsystemen, Gruppe der asymptomatischen Patienten) zu beleuchten.

Es wurde retrospektiv ein großes Kollektiv von 217 konsekutiven Patienten < 21 Jahre mit akzessorischen Leitungsbahnen und einem mittleren Alter von 14,5 Jahren analysiert. Bei 198 Patienten war eine entsprechende Symptomatik vorhanden während 19 Patienten anamnestisch keine Symptome aufwiesen.

Die akute Erfolgsrate der Katheterablation betrug 95,9%. In 13,0% der Fälle kam es zu einem Rezidiv der akzessorischen Bahn. Vor allem bei rechtsseitig gelegenen Bahnen konnten durch Einsatz von gespülten Kathetersystemen und 3D-Mappingsystemen die Rezidivrate und Durchleuchtungszeit gesenkt werden.

Die Komplikationsrate der Ablation war mit 1,8% gering. Es kam zu keinen Todesfällen; die schwerwiegendste Komplikation war eine tiefe Beinvenenthrombose mit Lungenarterienembolie. Bei asymptomatischen Patienten traten keine Komplikationen auf.

Die Durchleuchtungszeit betrug im Mittel 18,8 Minuten, wobei es während des Untersuchungszeitraums zu einer Reduktion von 21,3 Minuten in der ersten Untersuchungshälfte (Jahre 2004-2008) auf 16,3 Minuten in der zweiten Hälfte kam. Durch die Benutzung von 3D-Mappingsystemen, vor allem bei rechtsseitig gelegenen Bahnen, konnte die Durchleuchtungszeit von 24,6 Minuten bei konventioneller Durchleuchtung auf 14,0 Minuten bei Verwendung von 3D-Mapping Systemen gesenkt werden.

Zusammenfassend konnte im Rahmen dieser Arbeit gezeigt werden, dass es sich bei der Katheterablation akzessorischer Leitungsbahnen bei Kindern und Jugendlichen um ein sicheres und sehr effektives kuratives Verfahren handelt, das auch zur Behandlung asymptomatischer Patienten mit Präexzitataion vom WPW-Typ geeignet erscheint. Als Ausblick ist zu erwarten, dass der noch weitergehende Einsatz der 3D-Mappingsysteme die Fluoroskopie weitgehend aus dem klinischen Einsatz bei der Katheterablation akzessorischer Bahnen bei Kindern und Jugendlichen verdrängen wird.

7 DANKSAGUNG

Zum Abschluss dieser Arbeit gilt mein Dank allen beteiligten Personen.

Allen voran danke ich Prof. Dr. med. Gabriele Hessling für die Themenstellung, die hervorragende Betreuung, die lückenlose Unterstützung, sowie das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Ich danke Dr. med. Tilko Reents der mich bei der Datenerfassung und der Themenfindung nach Kräften unterstützt hat.

Ich möchte allen Mitarbeitern der elektrophysiologischen Abteilung des Deutschen Herzzentrums München für die Einführung in die komplexe Materie und die Erstellung von Bildmaterial danken.

Meinen Eltern Joachim und Beate Fälchle danke ich dafür, dass sie mir ein sorgenloses Medizinstudium und eine Promotion ohne Druck ermöglicht haben, sowie für ihre bedingungslose Unterstützung in allen Lebenslagen.

Bei meinem Bruder Matthias Fälchle bedanke ich mich für die emotionale Unterstützung in schwierigen Phasen meines Studiums, meiner Promotion und meines Berufes und sein grenzenloses Verständnis hierfür.

Herzlich danken möchte ich Dr. med. Martin Hust für Impulse zum richtigen Zeitpunkt meines Lebens, welche meine Faszination für die Medizin im Allgemeinen und die Kardiologie im Speziellen geweckt haben und deshalb maßgeblich zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein herzliches Dankeschön möchte ich meiner Frau Daniela Schumacher für die vollumfängliche emotionale, sachliche und sprachliche Unterstützung und ihre Geduld und Motivation aussprechen.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- Atie, J., P. Brugada, J. Brugada, J. L. Smeets, F. S. Cruz, A. Peres, M. P. Roukens and H. J. Wellens** (1990). "Clinical and electrophysiologic characteristics of patients with antidromic circus movement tachycardia in the Wolff-Parkinson-White syndrome." *Am J Cardiol* **66**(15): 1082-1091.
- Atienza, F., A. Arenal, E. G. Torrecilla, A. García-Alberola, J. Jiménez, M. Ortiz, A. Puchol and J. Almendral** (2004). "Acute and long-term outcome of transvenous cryoablation of midseptal and parahisian accessory pathways in patients at high risk of atrioventricular block during radiofrequency ablation." *The American Journal of Cardiology* **93**(10): 1302-1305.
- Averill, K. H., R. J. Fosmoe and L. E. Lamb** (1960). "Electrocardiographic findings in 67,375 asymptomatic subjects. IV. Wolff-Parkinson-White syndrome." *Am J Cardiol* **6**: 108-129.
- Avital, B., M. Khan, D. Krum, J. Hare, C. Lessila, A. Dhala, S. Deshpande, M. Jazayeri, J. Sra and M. Akhtar** (1993). "Physics and engineering of transcatheter cardiac tissue ablation." *Journal of the American College of Cardiology* **22**(3): 921-932.
- Bardy, G. H., D. L. Packer, L. D. German and J. J. Gallagher** (1984). "Preexcited reciprocating tachycardia in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome: incidence and mechanisms." *Circulation* **70**(3): 377-391.
- Belhassen, B., O. Rogowski, A. Glick, S. Viskin, M. Ilan, R. Rosso and M. Eldar** (2007). "Radiofrequency ablation of accessory pathways: a 14-year experience the Tel Aviv Medical Center in 508 patients." *IMAJ-RAMAT GAN* **9**(4): 265.
- Blomstrom-Lundqvist, C., M. M. Scheinman, E. M. Aliot, J. S. Alpert, H. Calkins, A. J. Camm, W. B. Campbell, D. E. Haines, K. H. Kuck, B. B. Lerman, D. D. Miller, C. W. Shaeffer, W. G. Stevenson, G. F. Tomaselli, E. M. Antman, S. C. Smith, Jr., J. S. Alpert, D. P. Faxon, V. Fuster, R. J. Gibbons, G. Gregoratos, L. F. Hiratzka, S. A. Hunt, A. K. Jacobs, R. O. Russell, Jr., S. G. Priori, J. J. Blanc, A. Budaj, E. F. Burgos, M. Cowie, J. W. Deckers, M. A. Garcia, W. W. Klein, J. Lekakis, B. Lindahl, G. Mazzotta, J. C. Morais, A. Oto, O. Smiseth, H. J. Trappe and N.-H. R. S. European Society of Cardiology Committee** (2003). "ACC/AHA/ESC guidelines for the management of patients with supraventricular arrhythmias--executive summary. a report of the American college of cardiology/American heart association task force on practice guidelines and the European society of cardiology committee for practice guidelines (writing committee to develop guidelines for the management of patients with supraventricular arrhythmias) developed in collaboration with NASPE-Heart Rhythm Society." *J Am Coll Cardiol* **42**(8): 1493-1531.
- Borggreffe, M., T. Budde, A. Podczeczek and G. Breithardt** (1987). "High frequency alternating current ablation of an accessory pathway in humans." *J Am Coll Cardiol* **10**(3): 576-582.
- Boukens, B. J. and M. J. Janse** (2013). "Brief History of Arrhythmia in the Wpw Syndrome: The Contribution of George Ralph Mines." *J Physiol*.
- Bromberg, B. I., M. DICK, W. A. Scott and F. Morady** (1989). "Transcatheter electrical ablation of accessory pathways in children." *Pacing and Clinical Electrophysiology* **12**(11): 1787-1796.
- Brugada, J., N. Blom, G. Sarquella-Brugada, C. Blomstrom-Lundqvist, J. Deanfield, J. Janousek, D. Abrams, U. Bauersfeld, R. Brugada, F. Drago, N. de Groot, J. M. Happonen, J. Hebe, S. Yen Ho, E. Marijon, T. Paul, J. P. Pfammatter, E. Rosenthal, A. European Heart Rhythm, P. Association for European and C. Congenital** (2013). "Pharmacological and non-pharmacological therapy for arrhythmias in the pediatric population: EHRA and AEPC-Arrhythmia Working Group joint consensus statement." *Europace* **15**(9): 1337-1382.
- Calkins, H., J. Langberg, J. Sousa, R. el-Atassi, A. Leon, W. Kou, S. Kalbfleisch and F. Morady** (1992). "Radiofrequency catheter ablation of accessory atrioventricular connections in 250 patients. Abbreviated therapeutic approach to Wolff-Parkinson-White syndrome." *Circulation* **85**(4): 1337-1346.

- Casella, M., G. Pelargonio, A. D. Russo, S. Riva, S. Bartoletti, P. Santangeli, A. Scarà, T. Sanna, R. Proietti and L. Di Biase** (2011). "Near-zero" fluoroscopic exposure in supraventricular arrhythmia ablation using the EnSite NavX™ mapping system: personal experience and review of the literature." Journal of interventional cardiac electrophysiology **31**(2): 109-118.
- Ceresnak, S. R., A. M. Dubin, J. J. Kim, S. O. Valdes, S. B. Fishberger, I. Shetty, F. Zimmerman, R. E. Tanel, M. R. Epstein, K. S. Motonaga, C. A. Capone, L. Nappo, G. J. Gates and R. H. Pass** (2015). "Success Rates in Pediatric WPW Ablation Are Improved with 3-Dimensional Mapping Systems Compared with Fluoroscopy Alone: A Multicenter Study." J Cardiovasc Electrophysiol **26**(4): 412-416.
- Chang, R.-K. R., W. G. Stevenson, G. T. Wetzel, K. Shannon, V. C. Baum and T. S. Klitzner** (1996). "Effects of Isoflurane on Electrophysiological Measurements in Children with the Wolff-Parkinson-White Syndrome." Pacing and Clinical Electrophysiology **19**(7): 1082-1088.
- Chen, M. L., B. Yang, W. Z. Ju, H. W. Chen, C. Chen, X. F. Hou, F. Zhang, J. Y. Cui, C. H. Zhang, Q. J. Shan, J. G. Zou, J. P. Sun, Y. T. Xi, J. Cheng and K. J. Cao** (2010). "Right-sided free wall accessory pathway refractory to conventional catheter ablation: lessons from 3-dimensional electroanatomic mapping." J Cardiovasc Electrophysiol **21**(12): 1317-1324.
- Chien, W. W., T. J. Cohen, M. A. Lee, M. D. Lesh, J. C. Griffin, N. B. Schiller and M. M. Scheinman** (1992). "Electrophysiological findings and long-term follow-up of patients with the permanent form of junctional reciprocating tachycardia treated by catheter ablation." Circulation **85**(4): 1329-1336.
- Cobb, F. R., S. D. Blumenschein, W. C. Sealy, J. P. Boineau, G. S. Wagner and A. G. Wallace** (1968). "Successful surgical interruption of the bundle of Kent in a patient with Wolff-Parkinson-White syndrome." Circulation **38**(6): 1018-1029.
- Cohen, M. and J. Triedman** (2014). "Guidelines for Management of Asymptomatic Ventricular Pre-excitation Brave New World or Pandora's Box?" Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology **7**(2): 187-189.
- Cohen, M. I., S. Congenital Electrophysiology, S. Heart Rhythm, F. American College of Cardiology, A. American Heart, P. American Academy of, S. Canadian Heart Rhythm, M. I. Cohen, J. K. Triedman, B. C. Cannon, A. M. Davis, F. Drago, J. Janousek, G. J. Klein, I. H. Law, F. J. Morady, T. Paul, J. C. Perry, S. Sanatani and R. E. Tanel** (2012). "PACES/HRS expert consensus statement on the management of the asymptomatic young patient with a Wolff-Parkinson-White (WPW, ventricular preexcitation) electrocardiographic pattern: developed in partnership between the Pediatric and Congenital Electrophysiology Society (PACES) and the Heart Rhythm Society (HRS). Endorsed by the governing bodies of PACES, HRS, the American College of Cardiology Foundation (ACCF), the American Heart Association (AHA), the American Academy of Pediatrics (AAP), and the Canadian Heart Rhythm Society (CHRS)." Heart Rhythm **9**(6): 1006-1024.
- Critelli, G.** (1997). "Recognizing and managing permanent junctional reciprocating tachycardia in the catheter ablation era." J Cardiovasc Electrophysiol **8**(2): 226-236.
- Deneke, T. and A. Mugge** (2012). "Atrial fibrillation and Wolff-Parkinson-White syndrome: mechanisms revisited?" J Cardiovasc Electrophysiol **23**(3): 287-289.
- Drago, F., M. S. Silvetti, A. Di Pino, G. Grutter, M. Bevilacqua and S. Leibovich** (2002). "Exclusion of fluoroscopy during ablation treatment of right accessory pathway in children." J Cardiovasc Electrophysiol **13**(8): 778-782.
- Dreifus, L. S., R. Haiat, Y. Watanabe, J. Arriaga and N. Reitman** (1971). "Ventricular fibrillation. A possible mechanism of sudden death in patients and Wolff-Parkinson-White syndrome." Circulation **43**(4): 520-527.
- Dubuc, M., D. Roy, B. Thibault, A. Ducharme, J.-C. Tardif, C. Villemare, T. Leung and M. Talajic** (1999). "Transvenous Catheter Ice Mapping and Cryoablation of the Atrioventricular Node in Dogs." Pacing and Clinical Electrophysiology **22**(10): 1488-1498.

- Fisher, J. D., R. Brodman, S. G. Kim, J. A. Matos, L. E. Brodman, D. Wallerson and L. E. Waspe** (1984). "Attempted nonsurgical electrical ablation of accessory pathways via the coronary sinus in the Wolff-Parkinson-White syndrome." J Am Coll Cardiol **4**(4): 685-694.
- Friedman, R. A., E. P. WALSH, M. J. SILKA, H. CALKINS, W. G. STEVENSON, L. A. RHODES, B. J. DEAL, G. S. WOLFF, D. R. DEMASO and D. HANISCH** (2002). "NASPE Expert Consensus Conference: Radiofrequency catheter ablation in children with and without congenital heart disease. Report of the writing committee." Pacing and clinical electrophysiology **25**(6): 1000-1017.
- Gallagher, J. J., E. L. Pritchett, W. C. Sealy, J. Kasell and A. G. Wallace** (1978). "The preexcitation syndromes." Prog Cardiovasc Dis **20**(4): 285-327.
- Gepstein, L. and S. J. Evans** (1998). "Electroanatomical mapping of the heart: basic concepts and implications for the treatment of cardiac arrhythmias." Pacing and clinical electrophysiology **21**(6): 1268-1278.
- Gepstein, L., G. Hayam and S. A. Ben-Haim** (1997). "A novel method for nonfluoroscopic catheter-based electroanatomical mapping of the heart In vitro and in vivo accuracy results." Circulation **95**(6): 1611-1622.
- Gillette, P. C., M. M. SWINDLE, R. P. THOMPSON and C. L. CASE** (1991). "Transvenous cryoablation of the bundle of His." Pacing and Clinical Electrophysiology **14**(4): 504-510.
- Goudevenos, J., C. Katsouras, G. Graekas, O. Argiri, V. Giogiakas and D. Sideris** (2000). "Ventricular pre-excitation in the general population: a study on the mode of presentation and clinical course." Heart **83**(1): 29-34.
- Hamada, T., T. Hiraki, H. Ikeda, I. Kubara, T. Yoshida, M. Ohga and T. Imaizumi** (2002). "Mechanisms for atrial fibrillation in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome." J Cardiovasc Electrophysiol **13**(3): 223-229.
- Hessling, G.** (2014). "[Interventional therapy of tachyarrhythmias in the pediatric population]." Herzschrittmacherther Elektrophysiol **25**(3): 166-171.
- Holzmann, M. and D. Scherf** (1932). "Über elektrokardiogramme mit verkürzter Vorhof-Kammer-Distanz und positiven P-Zacken." Z klin Med **121**: 404.
- Kay, G. N., A. E. Epstein, S. M. Dailey and V. J. Plumb** (1993). "Role of radiofrequency ablation in the management of supraventricular arrhythmias: experience in 760 consecutive patients." J Cardiovasc Electrophysiol **4**(4): 371-389.
- Kent, A. F. S.** (1893). "Researches on the Structure and Function of the Mammalian Heart." J Physiol.
- Kim, J. J., S. L. Macicek, J. A. Decker, N. J. Kertesz, R. A. Friedman and B. C. Cannon** (2012). "Magnetic versus manual catheter navigation for ablation of free wall accessory pathways in children." Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology **5**(4): 804-808.
- Kuck, K. and M. Schlüter** (1991). "Single-catheter approach to radiofrequency current ablation of left-sided accessory pathways in patients with Wolff-Parkinson-White syndrome." Circulation **84**(6): 2366-2375.
- Kuck, K. H., S. Ernst, U. Dorwarth, E. Hoffmann, H. Pitschner, J. Tebbenjohanns and H. Kottkamp** (2007). "[Guidelines for catheter ablation]." Clin Res Cardiol **96**(11): 833-849.
- Kuck, K. H., M. Schlüter, M. Geiger, J. Siebels and W. Duckeck** (1991). "Radiofrequency current catheter ablation of accessory atrioventricular pathways." The Lancet **337**(8757): 1557-1561.
- Kugler, J. D., D. A. Danford, B. J. Deal, P. C. Gillette, J. C. Perry, M. J. Silka, G. F. Van Hare and E. P. Walsh** (1994). "Radiofrequency catheter ablation for tachyarrhythmias in children and adolescents." New England Journal of Medicine **330**(21): 1481-1487.
- Kugler, J. D., D. A. Danford, K. A. Houston and G. Felix** (2002). "Pediatric Radiofrequency Catheter Ablation Registry Success, Fluoroscopy Time, and Complication Rate for Supraventricular Tachycardia: Comparison of Early and Recent Eras." Journal of Cardiovascular Electrophysiology **13**(4): 336-341.

- Kwong, W., A. L. Neilson, C. C. Chiu, G. J. Gross, R. M. Hamilton, L. Soucie, E. A. Stephenson and J. A. Kirsh** (2012). "The effect of NavX on fluoroscopy times in pediatric catheter ablation." Journal of interventional cardiac electrophysiology **33**(1): 123-126.
- Lemery, R.** (2012). "Interventional Electrophysiology at the Crossroads: Cardiac Mapping, Ablation and Pacing Without Fluoroscopy." Journal of Cardiovascular Electrophysiology **23**(10): 1087-1091.
- Long, D. Y., J. Z. Dong, X. P. Liu, R. B. Tang, M. Ning, L. Y. Gao, R. H. Yu, D. P. Fang, C. X. Jiang, Y. Q. Yuan, C. H. Sang, X. D. Yin, G. Chen, X. Y. Zhang, C. Liang and C. S. Ma** (2011). "Ablation of right-sided accessory pathways with atrial insertion far from the tricuspid annulus using an electroanatomical mapping system." J Cardiovasc Electrophysiol **22**(5): 499-505.
- Lu, C. W., M. H. Wu, H. C. Chen, F. Y. Kao and S. K. Huang** (2014). "Epidemiological profile of Wolff-Parkinson-White syndrome in a general population younger than 50 years of age in an era of radiofrequency catheter ablation." Int J Cardiol **174**(3): 530-534.
- Macedo, P. G., S. M. Patel, S. E. Bisco and S. J. Asirvatham** (2010). "Septal accessory pathway: anatomy, causes for difficulty, and an approach to ablation." Indian Pacing Electrophysiol J **10**(7): 292-309.
- Mah, D. Y., C. Y. Miyake, E. D. Sherwin, A. Walsh, M. J. Anderson, K. Western, D. J. Abrams, M. E. Alexander, F. Cecchin and E. P. Walsh** (2014). "The use of an integrated electroanatomic mapping system and intracardiac echocardiography to reduce radiation exposure in children and young adults undergoing ablation of supraventricular tachycardia." Europace **16**(2): 277-283.
- McDaniel, G. M. and G. F. Van Hare** (2006). "Catheter ablation in children and adolescents." Heart Rhythm **3**(1): 95-101.
- Mines, G. R.** (1914). "On circulating excitations in heart muscles and their possible relationship to tachycardia and fibrillation." Proc Trans R Soc Can **8**: 43-52.
- Munger, T. M., D. L. Packer, S. C. Hammill, B. J. Feldman, K. R. Bailey, D. J. Ballard, D. R. Holmes, Jr. and B. J. Gersh** (1993). "A population study of the natural history of Wolff-Parkinson-White syndrome in Olmsted County, Minnesota, 1953-1989." Circulation **87**(3): 866-873.
- Nath, S., J. P. DiMarco and D. E. Haines** (1994). "Basic aspects of radiofrequency catheter ablation." J Cardiovasc Electrophysiol **5**(10): 863-876.
- Orczykowski, M., F. Walczak, P. Derejko, R. Bodalski, P. Urbanek, J. Zakrzewska-Koperska, A. Przybylski, R. Kepski, Z. Jedynek, A. Maryniak, M. Miszczak-Knecht, K. Bieganowska, E. Szufiadowicz, A. Biederman, M. Bilinska and L. Szumowski** (2013). "Ventricular fibrillation risk factors in over one thousand patients with accessory pathways." Int J Cardiol **167**(2): 525-530.
- Orejarena, L. A., H. J. Vidaillet Jr, F. DeStefano, D. L. Nordstrom, P. N. Smith and J. J. Hayes** (1995). "998-61 Population Prevalence of Wolff-Parkinson-White Syndrome." Journal of the American College of Cardiology **25**(2, Supplement 1): 327A.
- Packer, D. L.** (2005). "Three-dimensional mapping in interventional electrophysiology: techniques and technology." J Cardiovasc Electrophysiol **16**(10): 1110-1116.
- Packer, D. L., J. J. Gallagher and E. N. Prystowsky** (1992). "Physiological substrate for antidromic reciprocating tachycardia. Prerequisite characteristics of the accessory pathway and atrioventricular conduction system." Circulation **85**(2): 574-588.
- Pappone, C., V. Santinelli, F. Manguso, G. Augello, O. Santinelli, G. Vicedomini, S. Gulletta, P. Mazzone, V. Tortoriello, A. Pappone, C. Dicandia and S. Rosanio** (2003). "A randomized study of prophylactic catheter ablation in asymptomatic patients with the Wolff-Parkinson-White syndrome." N Engl J Med **349**(19): 1803-1811.
- Riccardi, R., F. Gaita, D. Caponi, S. Grossi, M. Scaglione, E. Caruzzo, P. Di Donna, G. Pistis, E. Richiardi and C. Giustetto** (2003). "Percutaneous catheter cryothermal ablation of atrioventricular nodal reentrant tachycardia: efficacy and safety of a new ablation technique." Italian Heart Journal **4**: 35-43.

- Rodriguez, L. M., C. de Chillou, J. Schlapfer, J. Metzger, X. Baiyan, A. van den Dool, J. L. Smeets and H. J. Wellens** (1992). "Age at onset and gender of patients with different types of supraventricular tachycardias." Am J Cardiol **70**(13): 1213-1215.
- Scheinman, M. M.** (2012). "The history of the wolff-Parkinson-white syndrome." Rambam Maimonides Med J **3**(3): e0019.
- Scheinman, M. M., F. Morady, D. S. Hess and R. Gonzalez** (1982). "Catheter-induced ablation of the atrioventricular junction to control refractory supraventricular arrhythmias." JAMA **248**(7): 851-855.
- Schneider, H. E., T. Kriebel, V. D. Gravenhorst and T. Paul** (2009). "Incidence of coronary artery injury immediately after catheter ablation for supraventricular tachycardias in infants and children." Heart Rhythm **6**(4): 461-467.
- Sethi, K. K., A. Dhall, D. S. Chadha, S. Garg, S. K. Malani and O. P. Mathew** (2007). "WPW and preexcitation syndromes." J Assoc Physicians India **55 Suppl**: 10-15.
- Smith, G. and J. M. Clark** (2007). "Elimination of Fluoroscopy Use in a Pediatric Electrophysiology Laboratory Utilizing Three-Dimensional Mapping." Pacing and Clinical Electrophysiology **30**(4): 510-518.
- Sporton, S. C., M. J. Earley, A. W. Nathan and R. J. Schilling** (2004). "Electroanatomic versus fluoroscopic mapping for catheter ablation procedures." Journal of cardiovascular electrophysiology **15**(3): 310-315.
- Telishevskaja, M.** (2016). "Irrigated-tip Catheters for Radiofrequency Ablation of Right-sided Accessory Pathways in Adolescents." J Intervent Card Electrophysiol (UNDER REVIEW 10/2016).
- Triedman, J. K.** (2009). "Management of asymptomatic Wolff-Parkinson-White syndrome." Heart **95**(19): 1628-1634.
- Van Hare, G. F., S. D. Colan, H. Javitz, D. Carmelli, T. Knilans, M. Schaffer, J. Kugler, C. J. Byrum and J. P. Saul** (2007). "Prospective assessment after pediatric cardiac ablation: fate of intracardiac structure and function, as assessed by serial echocardiography." American heart journal **153**(5): 815-820. e816.
- Van Hare, G. F., H. Javitz, D. Carmelli, J. P. Saul, R. E. Tanel, P. S. Fischbach, R. J. Kanter, M. Schaffer, A. Dunnigan, S. Colan and G. Serwer** (2004). "Prospective assessment after pediatric cardiac ablation: recurrence at 1 year after initially successful ablation of supraventricular tachycardia." Heart Rhythm **1**(2): 188-196.
- Wan, G., K. Shannon and J. Moore** (2012). "Factors associated with fluoroscopy exposure during pediatric catheter ablation utilizing electroanatomical mapping." Journal of Interventional Cardiac Electrophysiology **35**(2): 235-242.
- Wang, L. and R. Yao** (2003). "Radiofrequency catheter ablation of accessory pathway-mediated tachycardia is a safe and effective long-term therapy." Arch Med Res **34**(5): 394-398.
- Wellens, H. J. and D. Durrer** (1974). "Patterns of ventriculo-atrial conduction in the Wolff-Parkinson-White syndrome." Circulation **49**(1): 22-31.
- Wittkamp, F. H. M. and H. Nakagawa** (2006). "RF Catheter Ablation: Lessons on Lesions." Pacing and Clinical Electrophysiology **29**(11): 1285-1297.
- Wolff, L., J. Parkinson and P. D. White** (1930). "Bundle-branch block with short P-R interval in healthy young people prone to paroxysmal tachycardia." Ann Noninvasive Electrocardiol **11**(4): 340-353.
- Yamane, T., P. Jais, D. C. Shah, M. Hocini, J. T. Peng, I. Deisenhofer, J. Clementy and M. Haissaguerre** (2000). "Efficacy and safety of an irrigated-tip catheter for the ablation of accessory pathways resistant to conventional radiofrequency ablation." Circulation **102**(21): 2565-2568.

9 ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: EHRA/AEPC Leitlinien	14
Tabelle 2: Rezidive nach Bahnlage	36
Tabelle 3: 3D Mappingsysteme bei rechtsseitiger Bahnlage	37
Tabelle 4: Auffälligkeiten und Komplikationen.....	39
Tabelle 5: Komplikationen und Auffälligkeiten nach Bahnlage	44
Abbildung 1: Erregung bei Präexitation vom WPW-Typ:.....	6
Abbildung 2: Initiation (links) und Ablauf (rechts) einer ORT	7
Abbildung 3: Orthodrome Reentry-Tachykardie	8
Abbildung 4: Initiation (links) und Ablauf (rechts) einer ART	9
Abbildung 5: Antidrome Reentry Tachykardie bei linksseitiger akzessorischer Leitungsbahn.	10
Abbildung 6: Schema zur anatomischen Lage akzessorischer Leitungsbahnen.	11
Abbildung 7: Untersuchungszahlen pro Jahr	23
Abbildung 8: Altersverteilung der 217 Patienten mit akzessorischen Leitungsbahnen	24
Abbildung 9: Schema zur anatomischen Lage der akzessorischen Leitungsbahnen.	26
Abbildung 10: Schema zur Bahnlage bei multiplen Leitungsbahnen	27
Abbildung 11: Einsatz von 3D-Mapping über den Untersuchungszeitraum.....	28
Abbildung 12: Mittlere Durchleuchtungszeiten im Untersuchungszeitraum	30
Abbildung 13: Zur Ablation benutzte Energiearten	31
Abbildung 14: Rezidivfreier Zeitraum	33
Abbildung 15: Consort-Diagramm	34
Abbildung 16: Outcome bei rechtsseitigen Bahnen gekühlt vs. ungekühlt.....	38
Abbildung 17: Komplikationen nach Untersuchungsjahr	40
Abbildung 18: Komplikationen nach Alter	45