

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik
Tübingen
Abteilung Innere Medizin III
(Schwerpunkt: Kardiologie und Kreislauferkrankungen)

**Effektivität und Sicherheit der strahlenfreien
Katheterablation bei rechts- und linksseitigen
supraventrikulären Tachykardien unter optionalem
Gebrauch der Anpresskraftkontrolle in der klinischen
Routine**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

Vorgelegt von
Bucher, Veronika Katharina Franziska

2019

Dekan: Professor Dr. I. B. Auenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. P. Seizer

2. Berichterstatter: Professor Dr. R. Plentz

Tag der Disputation 11.12.2018

Meinen Eltern in Liebe und Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	I
<u>ABKÜRZUNGEN</u>	IV
<u>EINLEITUNG</u>	1
TACHYKARDE HERZRHYTHMUSSTÖRUNGEN	2
FOKALE ATRIALE TACHYKARDIE	2
VORHOFFLATTERN	3
AV-NODE-REENTRY-TACHYKARDIE	4
WPW-SYNDROM	6
KOMPLIKATIONEN	9
VASKULÄRE KOMPLIKATIONEN	9
PARÄSTHESIEN	9
AV-BLOCK	9
STRAHLENSCHÄDEN	10
PERIKARDERGUSS	11
<u>STUDIENZIEL</u>	12
<u>MATERIAL UND METHODEN</u>	12
EINSCHLUSS UND AUFKLÄRUNG	12
VORBEREITUNG ZUR ABLATION	13
TECHNISCHE ASPEKTE UND ABLATIONSPROZEDUR	14
MAPPINGSYSTEM	14
MAPPINGVORGANG	14
LIMITATIONEN	16
EINSCHRÄNKUNGEN IN DER ANWENDUNG	16
ABLATIONSKATHETER	16
ABLATION	17
KRYOABLATION	17
RADIOFREQUENZABLATION	18
FOLLOW-UP	18

STATISTISCHE AUSWERTUNG	18
<u>AUSWERTUNG</u>	<u>20</u>
PATIENTENEIGENSCHAFTEN	20
ALTER	20
GRÖÖE UND GEWICHT	21
ART DER RHYTHMUSSTÖRUNG	23
ART DER BEHANDLUNG	24
URSPRUNG DER RHYTHMUSSTÖRUNG	25
DATEN DER UNTERSUCHUNGEN	25
DAUER	25
STRAHLENBELASTUNG	26
INTRAPROZEDURALER ERFOLG	27
ANPRESSKRAFTKONTROLLE	28
AUSLÖSBARKEIT BEI AVNRT	29
URSPRUNG DER RHYTHMUSSTÖRUNG	31
REZIDIVFREIES ÜBERLEBEN	32
AUSWERTUNG DER KOMPLIKATIONEN	38
VERGLEICH DER ART DER ABLATION BEI PATIENTEN MIT KOMPLIKATION	40
<u>DISKUSSION</u>	<u>41</u>
DIE ROLLE DER KATHETER	41
KATHETER MIT KONTROLLE DER ANPRESSKRAFT	41
KATHETER OHNE KONTROLLE DER ANPRESSKRAFT	42
KOMPLIKATIONEN	42
PÄDIATRISCHE PATIENTEN	43
WPW	44
VORHOFFLATTERN	45
AVNRT	45
AUSLÖSBARKEIT	46
ATRIALE TACHYKARDIE	46
AUSWIRKUNG AUF DIE KLINISCHE ROUTINE UND BENEFIT FÜR DIE UNTERSUCHER	47
LIMITATIONEN	48
<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	<u>50</u>

<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u>	51
<u>TABELLENVERZEICHNIS</u>	53
<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	54
<u>ERKLÄRUNG ZUM EIGENANTEIL DER DISSERTATION</u>	69
<u>VERÖFFENTLICHUNGEN</u>	70
<u>DANKSAGUNG</u>	71
<u>CURRICULUM VITAE</u>	72

Abkürzungen

°C	-	Grad Celsius
%	-	Prozent
§	-	Paragraph
3D	-	Dreidimensional
a	-	Jahre („anno“)
AV	-	A trio v entrikular
AVNRT	-	A trio v entrikulark n oten- R eentry- T achykardie
ca.	-	c irca
CA	-	C alifornia
CFM	-	C ontact F orce M easurement (Anpresskraftkontrolle)
cm	-	Zentimeter
CS	-	Sinus coronarius
DRG	-	D iagnose R elated G roups
EKG	-	E lektro k ardiogramm
EPU	-	E lektro p hysiologische U ntersuchung
FAT	-	fokale a triale T achykardie
HRST	-	H erz r hythmus s törung
IL	-	I llinois
inkl.	-	i nklusiv
i.v.	-	i ntravenös
Kg	-	K ilogramm
MA	-	M assachusetts
min	-	M inute
mSv	-	M illisievert
n	-	Anzahl
PTCA	-	P erkutane t ransluminale c oronare A ngioplastie
RF	-	R adiofrequenzablation
RöV	-	R öntgen v erordnung
SPSS	-	S uperior P erforming S oftware S ystem
St.	-	S ankt („heilig“)
SVT	-	S upra v entrikuläre T achykardie

TEE - **Transoesophageale Echokardiografie**
V - **Volt**
WPW - **Wolff-Parkinson-White**

Einleitung

Supraventrikuläre Tachykardien sind ein häufiger Grund für eine ärztliche Vorstellung und eine anschließende symptomatische Therapie mittels Medikamenten, Ablation oder antiarrhythmischer Chirurgie (1).

Dabei wird größtenteils auch nicht die Ursache der Herzrhythmusstörung behandelt sondern nur symptomatisch therapiert (2). Die pharmakologische Therapie der Arrhythmien hat verschiedene Nebenwirkungen besonders gefürchtet ist das proarrhythmische Potential (3). Die Rhythmuschirurgie hat in den letzten Jahren durch Zunahme der interventionellen Ablationsverfahren abgenommen (4).

Durch Katheterablation können die Nebenwirkungen der Medikamente vermieden werden, jedoch sind Personal sowie Patient bei der fluoroskopiekontrollierten Ablation einer erhöhten Dosis ionisierender Strahlung ausgesetzt (5). Die Strahlendosis für den Untersucher beträgt bei einer Radiofrequenzablation 3,3–12mSv, dies ist mit 165–600 Röntgenuntersuchungen des Thorax vergleichbar (6). Von 1980 bis 2006 hat die Strahlenexposition im klinischen Umfeld um das 600-fache zugenommen (7). Deswegen ist es nötig, Bleischürzen zu tragen und andere Vorkehrungen zu treffen. Die schweren Schürzen führen jedoch zu orthopädischen Problemen (8) und gestalten die Prozedur für den Untersucher unangenehmer.

Wood et. al. zeigten, dass eine Ablation die Lebensqualität verbessert. Dies trifft vor allem auf den Bereich der Freizeitaktivitäten zu (9).

Der Konflikt zwischen der nicht zu verachtenden Strahlenbelastung und dem großen Vorteil einer Katheterablation für Patienten führte zu Bemühungen, eine weniger belastende Methode zu entwickeln. Die strahlenfreie Ablation mittels dreidimensionalen Mappingsystemen war das Ergebnis.

Ziel der Studie war es, zu prüfen, ob und in welchen Kategorien die strahlenfreie Katheterablation der Katheterablation mit Fluoroskopie unterlegen ist.

Tachykarde Herzrhythmusstörungen

Herzrhythmusstörungen werden definiert als Störungen der Impulsbildung, Impulsleitung oder einer Kombination aus beidem (10). Tachykarde Herzrhythmusstörungen entstehen durch verstärkte Automatie, Reentry-Mechanismen und durch Veränderungen der Depolarisation aufgrund von Ionenkanalstörungen. (10)

Mittels des NavX-Mappingsystems lassen sich die Ursprünge der Tachykardien visualisieren und behandeln (11) .

Eine Tachykardie liegt ab einer Frequenz von über 100/min vor (12). Man unterscheidet zwischen ventrikulären Tachykardien, die ihren Ursprung in den Ventrikeln haben, und supraventrikulären Tachykardien mit Entstehungsort oberhalb der Bifurkation des His-Bündels. Im Rahmen der Studie wurden nur supraventrikuläre Tachykardien behandelt, und Patienten mit Vorhofflimmern wurden ausgeschlossen. Die Prävalenz der paroxysmalen SVT wird mit 2,25/1000 pro Jahr in den USA angegeben (13). Sie ist die häufigste symptomatische tachykarde HRST bei Kindern- Jugendlichen und Patienten mit angeborenem Herzfehler (14)

Fokale atriale Tachykardie

Die fokale atriale Tachykardie (FAT) ist eine seltene Form der SVT, die Prävalenz bei symptomatischen und asymptomatischen Patienten ist gering (12, 15). Die FAT entsteht durch eine rhythmische Aktivierung eines kleinen Gebietes im Vorhof, von dem sich die Erregung zentrifugal ausbreitet (14, 16). Oft sind Entstehungsorte die Crista terminalis und die Pulmonalvenen (17, 18). Man unterscheidet zwischen automatischen atrialen Tachykardien, die mit einer Warm-up-Phase beginnen und/oder in einer Cool-down-Phase enden, von Reentry-Tachykardien. Letztere zeigt sich durch eine sich verändernde P-Wellen Morphologie im Laufe der Tachykardie im EKG (10, 19).

Therapie

Da die Definition der FAT nicht strikt genug ist, wurde die medikamentöse Therapie nicht ausreichend definiert (12)

Die FAT kann akut meist mit einer medikamentösen Therapie durch Antiarrhythmika der verschiedenen Klassen terminiert werden, eine Kardioversion ist selten nötig (19). Zur Langzeittherapie kann eine medikamentöse Therapie, z. B. mit Beta-Blockern herangezogen werden. Versagt diese sollte auf die Katheterablation zurückgegriffen werden. In Studien lag die Rezidivrate unter fluoroskopisch gesteuerter Ablation bei 5-8 % und die Erfolgsquote bei 86 % (16, 20). Dies zeigt, dass diese Therapiemöglichkeit auch eine sichere präventive Option für diese Art der Rhythmusstörung bietet. Liegt der Ursprung parahissär oder im linken Vorhof, steigt die Komplikationsrate bei der Ablation, weswegen vor Therapiebeginn der Ursprung mittels eines 12-Kanal-EKGs genau ermittelt werden sollte. (10)

Vorhofflattern

Als Vorhofflattern werden Makro-Reentry-Tachykardien des Vorhofmyokards mit einer Frequenz von ca. 250–350/min bezeichnet (12). Die Herzfrequenz variiert je nach Überleitung und Kammerfrequenz, ist aber meist tachykard mit einer Frequenz von ca. 130–150/min bei einer 2:1-Überleitung. Es kann vor allem unter Belastung zur hämodynamisch wirksamen schnellen Überleitung mit der Gefahr von Kammerflimmern und plötzlichem Herztod bei 1:1-Überleitung kommen (19). Im Ruhe-EKG zeigt sich charakteristischerweise ein Sägezahnmuster der P-Wellen, welches in den Ableitungen II,III und aVF besonders gut zu erkennen ist (10, 19).

Äthiologie

In Deutschland litten 2013 in der neuen Europastandardbevölkerung 136.883 Patienten unter Vorhofflattern, der Großteil der Patienten war über 65 Jahre alt (21). Die Prävalenz von typischem isthmusabhängigem Vorhofflattern bei hospitalisierten Patienten wird mit 0,4–1,2 % angegeben (19). Ca. 15% der SVT sind typisches Vorhofflattern (22)

Pathogenese

Vorhofflattern ist ein Makro-Reentry-Mechanismus (12) und kann durch Dehnungen ausgelöst werden, die unter anderem bei

Mitralklappenerkrankungen, kongenitalen Herzfehlern oder durch eine Schädigung der Vorhöfe wie nach chirurgischen Eingriffen und Ablationen entstehen (10, 22).

Es wird zwischen Clockwise- und Counterclockwise-Vorhofflattern mit rechtsatrialem oder linksatrialem Ursprung unterschieden. Am häufigsten ist das rechtsatriale Counterclockwise-Vorhofflattern, bei dem die Erregung um den Trikuspidalklappenannulus kreist (10). Beim typischen Vorhofflattern startet der Impuls im inferioren Isthmus (12, 20).

Therapie

Die medikamentöse Therapie zur Behandlung von chronischem Vorhofflattern kann beispielsweise mit Klasse Ic (23) oder III (24) Antiarrhythmika begonnen werden. Mittel der Wahl bei der akuten hämodynamisch relevanten Form ist eine elektrische Kardioversion (12). Liegt ein erhöhtes Risiko für eine Narkose vor, kann eine pharmakologische Kardioversion mit Procainamid, Amiodaron oder Ibutilid versucht werden (25, 26). Tritt das Vorhofflattern rezidivierend auf oder ist es gegen oben genannte Therapien resistent, wird eine Ablation als Mittel der Wahl durchgeführt (10). Ist der inferiore Isthmus Bestandteil der Leitungsbahn, kann eine Erfolgsrate von über 90 % bei Induktion eines Leitungsblocks erreicht werden (20, 27). Wegen des thromboembolischen Risikos müssen Patienten vor der Therapie gut antikoaguliert werden (28-30), auch bei negativen TEE (12).

AV-Node-Reentry-Tachykardie

Die AVNRT ist die häufigste (12, 20) supraventrikuläre Tachykardie. Sie tritt vor allem zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr auf (10), die Mehrheit der Betroffenen ist weiblich (19, 31). Es handelt sich um eine angeborene HRST, welche durch kreisende Erregungen bei Vorhandensein mindestens zwei verschiedener Leitungsbahnen im AV-Knoten auftritt (20).

Pathologie

Innerhalb des AV-Knotens findet man mindestens zwei voneinander isolierte elektrische Leitungsbahnen (10, 32), den sogenannten slow Pathway mit kurzer Refraktärzeit und den fast Pathway mit langer Refraktärzeit (14, 19).

Physiologischerweise wird die Erregung nur von den Vorhöfen in die Kammern geleitet. Pathologische Rhythmen entstehen nur wenn eine Bahn leitfähig und die andere refraktär ist. Dies kann beispielsweise bei supraventrikulären Extrasystolen geschehen (33).

Bei der typischen AVNRT, die in 90 % der Fälle vorliegt, leitet der slow Pathway antegrad und der fast Pathway retrograd (33). Der fast Pathway hat eine längere Refraktärzeit als der slow Pathway. Somit kann der slow Pathway den nächsten Schlag des Sinusknoten auf die Kammer weiterleiten. Da der fast Pathway nun auch wieder leitfähig ist, wird die Erregung der Kammer retrograd auf die Vorhöfe übertragen. So entsteht der Reentry-Kreislauf. Vorhof- und Kammeraktionen treten nun fast gleichzeitig auf, da die antegrade Leitung auf die Kammer ähnlich lange dauert wie die retrograde auf die Vorhöfe. (19)

Bei der atypischen AVNRT leitet der fast Pathway antegrad und der slow Pathway retrograd (19, 20).

Außerdem gibt es noch eine slow-slow AVNRT, auch posteriorer Typ genannt, bei der ein akzessorischer slow Pathway vorliegt; dieser Mechanismus ist jedoch selten (20).

Diagnostik

Paroxysmales Auftreten in der Anamnese mit abrupten Beginn und Ende der Tachykardie deuten auf eine AVNRT hin. Die Symptome sind meist mild (33). Für die Diagnose muss ein EKG im Anfall geschrieben werden, bei selteneren Anfällen kann ein Langzeit-EKG oder ein Event-Recorder indiziert sein (19, 22). Die Frequenz liegt zwischen 120/min und 250/min, und die P-Wellen sind häufig im schmalen QRS-Komplex maskiert (10, 19).

Therapie

Die Indikation zur Behandlung wird individuell nach Anfallsfrequenz und Leidensdruck gestellt (14).

Ist durch vagomimetische Manöver wie den Karotisdruck oder durch das Trinken von eiskaltem Wasser kein Erfolg zu erzielen kann ein Adenosin-Bolus (33) gegeben werden (10). Die schnelle Leitungsbahn des AV-Knoten kann aber auch

beispielsweise durch Ajmalin (10) oder Flecainid (23, 34) verlangsamt werden (19). Flecainid ist hierfür sicher und effektiv (35).

Ist der Patient hämodynamisch instabil, sollte eine Kardioversion in Betracht gezogen werden (22).

Alle oben genannten Methoden sind nur dazu gedacht, einen Anfall zu unterbrechen. Die beste Maßnahme zur Verhinderung weiterer Anfälle ist die Katheterablation. Sie ist risikoarm und hat eine geringe Rezidivrate von unter 7 % (20). Auch bei Kindern kann diese Methode sicher angewandt werden (36-38). Alternativ kann aber auch eine Prävention mittels Betablockern, Kalziumantagonisten oder Digitalis durchgeführt werden(10).

WPW-Syndrom

Akzessorische Leitungsbündel entstehen durch eine unvollständige Isolation der Vorhöfe von den Kammern durch den Anulus fibrosus (22). Bei Patienten mit Wolf-Parkinson-White-Syndrom wird die Erregung teilweise oder ganz über ein akzessorisches Bündel geleitet, was zur Präexzitation führen kann und mit einem höheren Tachykardierisiko verbunden ist (39). Man spricht nur bei symptomatischen Patienten von WPW-Syndrom, werden nur EKG-Veränderungen mit kurzem PR-Intervall und Deltawelle festgestellt spricht man von WPW-Pattern (40).

Bei einer sichtbaren Deltawelle im EKG liegt ein offenes WPW-Pattern vor, kann keine Veränderung dargestellt werden spricht man von „concealed-WPW“.

Pathologie

Da die akzessorische Bahn schneller leitet als der AV-Knoten, bildet sich im EKG beim offenen WPW-Syndrom eine sogenannte Deltawelle (14, 19). Das PR-Intervall ist verkürzt. Die Depolarisation des Ventrikelmuskels ist jedoch etwas langsamer, was zu einem prolongierten QRS-Komplex führt (19). Kann die akzessorische Bahn nur retrograd leiten, spricht man von einem verborgenen WPW-Syndrom, bei dem man keine Deltawelle sehen kann (10).

Es gibt keinen signifikanten Zusammenhang zwischen WPW-Syndrom und anderen strukturellen Herzerkrankungen (12). Das WPW-Pattern ist eine häufige

EKG-Veränderung (39). Von 22.500 untersuchten gesunden Patienten hatten 0,25 % diese Veränderung, aber nur 1,8 % der Patienten mit WPW-Pattern zeigten auch dokumentierte Arrhythmien (22).

Besonders gefährdet sind Patienten, bei denen zusätzlich zu der akzessorischen Bahn eine Rhythmusstörung wie Vorhofflimmern vorliegt(12).

Klinik

Kommt es zur Präexitation mit Tachykardien, berichten die Patienten von plötzlich auftretenden Episoden mit abruptem Ende, während denen sie milde Symptome einer regelmäßigen Tachykardie wie Schwindel, Unwohlsein und gelegentlich auch Palpitationen verspürten (41). Seltener berichten sie von Dyspnoe, Brustschmerz, Schwindel und Synkopen. Die gefährlichste Erstmanifestation ist der plötzliche Herztod (41, 42).

Diagnostik

Für die initiale Einschätzung ist ein 12-Kanal-EKG und eine gründliche Anamnese Voraussetzung. Im EKG zeigt sich durch die muskulomuskuläre Leitung ein deformierter QRS-Komplex mit Deltawelle, das PR-Intervall ist kurz (10). Leitet die akzessorische Bahn nur retrograd, liegt ein verborgenes WPW-Syndrom vor, welches bei Sinusrhythmus nicht sichtbar ist, aber auch Tachykardien hervorrufen kann (10). Bei selteneren und kurzen Episoden ist ein Event-Recorder die beste Variante für eine EKG-Dokumentation. Entsteht eine mit dem WPW-Syndrom assoziierte Tachykardie, ist diese mit einer Frequenz von 150/min bis über 250/min meist sehr schnell (10, 22).

Therapie

Werden Patienten akut symptomatisch, kann bei erfolglosem Valsalva-Manöver eine medikamentöse Unterbrechung mit Adenosin i.v. probiert werden (10). Sind Betablocker und Kalziumantagonisten (10) unzureichend, können Flecainid oder Procainamid versucht werden (22). Adenosin sollte mit großer Vorsicht verwendet werden, da es zu Kammerflimmern führen kann (12). Medikamente, die einen AV-Block verursachen, sind nicht indiziert, da dieser nicht am Reentry-Mechanismus teilnimmt.

Versagt die medikamentöse Therapie, sollte eine Kardioversion in Betracht gezogen werden.

Die North American Society of Pacing and Electrophysiology empfiehlt die Katheterablation als First-Line-Therapie bei chronisch symptomatischen Patienten mit WPW-Syndrom (43). Die Erfolgsrate liegt nahezu bei 100 % (14, 43).

Bei asymptomatischen Patienten wird eine Ablation nur empfohlen, wenn sie viel Sport treiben oder in Berufen tätig sind, bei denen eine plötzlich eintretende, symptomatische Tachykardie großen Schaden anrichten könnte (22, 41). Dies ist z. B. bei Piloten oder Berufen, in denen das Führen von Kraftfahrzeugen notwendig ist, der Fall.

Lehnt der Patient die Ablation ab oder bestehen Kontraindikationen, kann eine pharmakologische Prophylaxe durchgeführt werden. Es gibt einige kleine Studien mit geringen Patientenzahlen ($n < 50$), die Sicherheit und Effizienz der Medikamente untersuchen (12). Beispielsweise konnte ein positiver Effekt von Flecainid zum Erhalt des Sinusrhythmus dargestellt werden (44). Auch Digitalis, Betalocker oder Kalziumantagonisten können eingesetzt werden (10)

Komplikationen

Vaskuläre Komplikationen

Die Rate der vaskulären Komplikationen liegt bei der diagnostischen Katheterisierung bei 1,76 %, wozu relevante Hämatome, Pseudoaneurysmen, arteriovenöse Fisteln, arterielle Thrombosen oder Dissektionen, venöse Thrombosen, Rupturen und Infektionen zählen (45, 46).

Hämatom und Nachblutung

Da wegen der Katheter stark antikoaguliert wird, zählt das Hämatom allgemein zu den häufigsten Komplikationen (47). 10–27 % der Patienten entwickeln in den ersten Tagen nach der Untersuchung ein Hämatom (48). Im klinischen Alltag konnte beobachtet werden, dass eine Häufung bei mehreren Punktionsversuchen, mehreren Schleusen in einem Gefäß und der Fortführung der intravenösen Heparinisierung nach der Prozedur auftritt. Auch mangelnde Compliance der Patienten, die zu einer ungenügenden Kompression der Punktionsstellen führen, erhöhen das Risiko. Hämatome können schmerzhaft sein, erfordern aber meist keine weitere Intervention (48).

Begünstigende Faktoren für die Nachblutung sind ähnlich wie beim Hämatom.

Parästhesien

4 % der iatrogenen Nervenläsionen entstehen laut Antoniadis et al. (49) nach nichtchirurgischen Eingriffen, zu denen unter anderem die Punktion der Arterien und Venen gehört. Das Risiko der Nervenläsion ist durch den anatomischen Verlauf des N. femoralis gegeben, der durch anatomische Varianten nicht lateral der Arterie und Vene liegen kann, sondern auf dem Gefäß oder darunter. 30 % der Patienten mit einer katheterassoziierten Verletzung bei Zugang über die Leiste klagen über femorale Neuralgien (46).

AV-Block

Durch die Katheterablation kann es bei der Ablation einer AVNRT zu einem inkompletten, also einem erst- und zweitgradigen Block, und zu einem kompletten, also drittgradigen Block kommen. Bei einem höhergradigen,

persistierenden AV-Block ist der Patient schrittmacherpflichtig. Das Risiko, einen permanenten AV-Block zu erleiden, liegt bei unter 1 % (50)

Strahlenschäden

Das ALRA-Prinzip dient zum Strahlenschutz. Es steht für „as low as reasonably achievable“ und fordert einen vernünftigen Umgang mit ionisierender Strahlung. Patienten sowie auch Untersucher werden während der fluoroskopiekontrollierten Ablation einer signifikanten Strahlenbelastung ausgesetzt (51). Auch wenn die Risiken durch die Strahlenbelastung geringer sind als die der Therapiealternativen (51) ist eine komplett fluoroskopiefreie Ablation der beste Weg um dem ALRA-Prinzip nachzukommen.

Durch den Verzicht auf Fluoroskopie konnten folgende Risiken und Nebenwirkungen komplett ausgeschlossen werden:

- Veränderungen der DNA, die durch Fehlreparatur nach Bruchbildung entstehen und zu Mutationen, Krebs und Spätschäden führen
- Zelluntergang durch Apoptose nach Bruchbildung

Hierdurch können Fröhschäden wie Erytheme, Ulzera und temporäre Epilation entstehen, welche für den Patienten relevant sind (52).

Spätschäden wie DNS-Schäden und Krebsentstehung sind für Patienten und Personal relevant und unterliegen keiner Schwellendosis. Das Risiko nimmt für beide Parteien mit der Eintrittswahrscheinlichkeit zu. (52)

§23 der Röntgenverordnung (RöV) besagt: (1) Röntgenstrahlung darf unmittelbar am Menschen in Ausübung der Heilkunde oder Zahnheilkunde nur angewendet werden, wenn eine Person nach §24 Abs. 1 Nr. 1 oder 2 hierfür die rechtfertigende Indikation gestellt hat. Die rechtfertigende Indikation erfordert die Feststellung, dass der gesundheitliche Nutzen der Anwendung am Menschen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt. Andere Verfahren mit vergleichbarem gesundheitlichen Nutzen, die mit keiner oder einer geringeren Strahlenexposition verbunden sind, sind bei der Abwägung zu berücksichtigen. (53). Nach §23 RöV würde die strahlenfreie Katheterablation immer in Betracht gezogen werden

müssen, da sie den gleichen gesundheitlichen Nutzen hat, jedoch keine Strahlenexposition.

Perikarderguss

Selten kann durch Elektrodenpositionierung oder während der Ablation eine Perforation des Myokards entstehen. (19) In einer Studie zur Vorhofflimmerablation wurde das Risiko für einen Perikarderguss mit 1,55% angegeben. (54)

Studienziel

Ziel der retrospektiv klinisch-experimentellen Studie war es zu zeigen, dass die strahlenfreie Katheterablation in den Punkten Sicherheit, Rezidivrate, sowie Dauer der Untersuchung der fluoroskopiekontrollierten Katheterablation bei supraventrikulären Tachykardien nicht unterlegen ist. Für die AVNRT wurde zusätzlich Auslösbarkeit sowie Medikamenteneinsatz untersucht.

Material und Methoden

In einer retrospektiven Analyse wurden im Zeitraum Juni 2010 bis Juli 2014 108 Patienten untersucht, die sich wegen supraventrikulärer Tachykardien am Universitätsklinikum Tübingen zur Ablation vorstellten. Diese wurden mit einer Kontrollgruppe verglichen.

Einschluss und Aufklärung

Das Angebot der strahlenfreien Ablation richtete sich an Patienten mit supraventrikulären Tachykardien, die medikamentös oder durch Kardioversion nur unzureichend einzustellen waren und sich zwischen Juni 2010 und Juli 2014 vorstellten.

Die Kontrollgruppe wurde anhand der Kriterien Ursprung (rechts oder links) und Art der Arrhythmie zugeteilt. Wurde ein Patient ohne Fluoroskopie untersucht, wurde der nächste im EPU-Buch aufgeführte Patient mit der gleichen Herzrhythmusstörung in die Kontrollgruppe aufgenommen.

Einschlusskriterien

- supraventrikuläre Tachykardien
- paroxysmale supraventrikuläre Tachykardien

Ausschlusskriterien

- bekannte angeborene Herzfehler

Ambulant wurde ein ausführliches Aufklärungsgespräch durchgeführt und schriftlich festgehalten. Die Patienten hatten ausreichend Zeit, um ihre Entscheidung zu überdenken und bei Unklarheiten Fragen zu stellen. Die Risiken

und Vorteile der strahlenfreien Vorgehensweise wurden hinreichend erklärt. Anschließend unterschrieben die Patienten einen Aufklärungsbogen.

Die Studie wurde von der Ethikkommission (Nummer 230/2014R) genehmigt.

Vorbereitung zur Ablation

Wenn die Patienten mit Antiarrhythmika behandelt wurden, mussten sie diese 7 Tage vor der Katheterablation absetzen. Die strahlenfreie Katheterablation wurde nur durchgeführt, wenn ein zweiter Arzt im Standby zur transösophagealen Echokardiografie sowie ein Katheter mit Anpresskraftkontrolle zur Verfügung standen.

Die Patienten wurden körperlich untersucht und es wurde eine ausführliche Anamnese insbesondere zu Gerinnungsstörungen, dem Vorliegen einer Schwangerschaft und relevanten Vorerkrankungen durchgeführt. Auch wurden Kontrastmittelallergien, Niereninsuffizienz, manifeste Hyperthyreose und andere Diagnosen, die eine Kontraindikation zur Kontrastmittelapplikation darstellen, erfragt.

Im Labor wurden der Gerinnungsstatus, die Thrombozyten, die Serumelektrolyte und das kleine Blutbild untersucht. Außerdem wurden auch der Kreatininwert und das basale TSH abgenommen, um bei einem eventuell nötigen Wechsel auf die Katheterablation mit Strahlung und Kontrastmittel schnell fortfahren zu können. Die Patienten sollten mindestens 3 Stunden vor Untersuchungsbeginn keine Nahrung und Flüssigkeit mehr zu sich genommen haben.

Vor dem Start der Untersuchung wurden die Punktionsstellen rasiert und gründlich gereinigt sowie ein Lokalanästhetikum und wenn gewünscht ein Sedativum verabreicht.

Technische Aspekte und Ablationsprozedur

Mappingsystem

Für das elektroanatomische Mapping wurde das NavX Ensite Classic und Velocity System (St. Jude Medical, Austin, Texas) verwendet (55). Es erlaubt dem Untersucher auf Durchleuchtung zu verzichten, da es die Bewegung und Position von bis zu 12 Kathetern (Ablationskatheter und Diagnostikkatheter) und 64 Elektroden gleichzeitig darstellt (22). Um eine elektroanatomische Karte erstellen zu können, müssen 6 Hautelektroden, angeordnet in 3 Paaren, angebracht werden (56). Die Elektroden werden in der linken und rechten Axillarlinie auf Herzhöhe, auf Brust und Rücken über dem Herzen, auf der linken Infrahyoidalregion und auf der Innenseite des linken Oberschenkels aufgeklebt (56). So können die X-, Y-, und Z-Achse erzeugt werden, die orthogonal zueinander stehen (22). Außerdem werden 10 EKG-Elektroden angebracht (56). Von den drei Elektrodenpaaren werden drei verschiedene Signale gesendet, sodass ein transthorakales elektrisches dreidimensionales Feld entsteht (57). Der absolute Spannungsbereich zwischen den Elektrodenpaaren hängt auch von dem dazwischenliegenden Gewebe ab. Den zentralen Punkt des Feldes bildet das Herz. Das System erkennt alle regulären Katheter und Elektroden. Wird nun ein Katheter über das venöse System ins Herz geschoben, werden gleich nach dem Passieren der Schleuse Signale für das Mapping empfangen (58). Die Katheterelektroden empfangen an jeder Stelle, an der sie sich befinden, andere korrespondierende Impedanzlevels der Hautelektroden, abgeleitet von der gemessenen Spannung. Die grafische Darstellung in Echtzeit ist möglich (58), da die X-Y-Z-Impedanzkoordinaten an jeder Katheterelektrode berechnet und in Millimetern ausgedrückt werden (Amplitude (V) / Feldstärke (V/cm)). Das Gerät kann mittels eines digitalen Arbeitsplatzes bedient werden, auf den die Daten über eine Patientenschnittstelle übertragen werden (56).

Mappingvorgang

Führt der Untersucher die Gefäße und das Endokard ab, werden ca. 96 Punkte pro Sekunde aufgenommen, und eine detaillierte elektroanatomische Karte in 3D (59) entsteht. Für eine Herzkammer werden mehrere Tausend Punkte benötigt,

und für eine glatte Oberfläche werden diese verschiedenen Punkte durch Interpolation verbunden (22). Außerdem können anatomische Landmarken oder andere Fixpunkte vom Untersucher markiert werden. Der Atemzyklus des Patienten wird vom System mitberücksichtigt (56). Die 3D-Karte entsteht durch Bewegen des Katheters über mehrere Minuten hinweg (60).

Nachdem die komplette Karte erstellt wurde, gleicht das System mittels eines Algorithmus die Impedanzunterschiede zwischen Gefäßen und Herzwänden aus (22). Der Untersucher kann in einer Sitzung beliebig viele Karten erstellen (56). Jeder Katheter kann ab dem Passieren der Schleuse dargestellt werden und nach der Platzierung mit einem Schatten hinterlegt werden, um ungewollte Veränderungen der intrakardialen Lage besser erkennen zu können (22). Nach jeder Energieabgabe wird die Position mittels eines Punktes markiert, sodass der Untersucher die Möglichkeit hat, die gezogene Linie auf Lücken zu überprüfen (56). Außerdem können Narben oder andere gering erregte Bereiche mit dem Voltagemap analysiert werden (56).

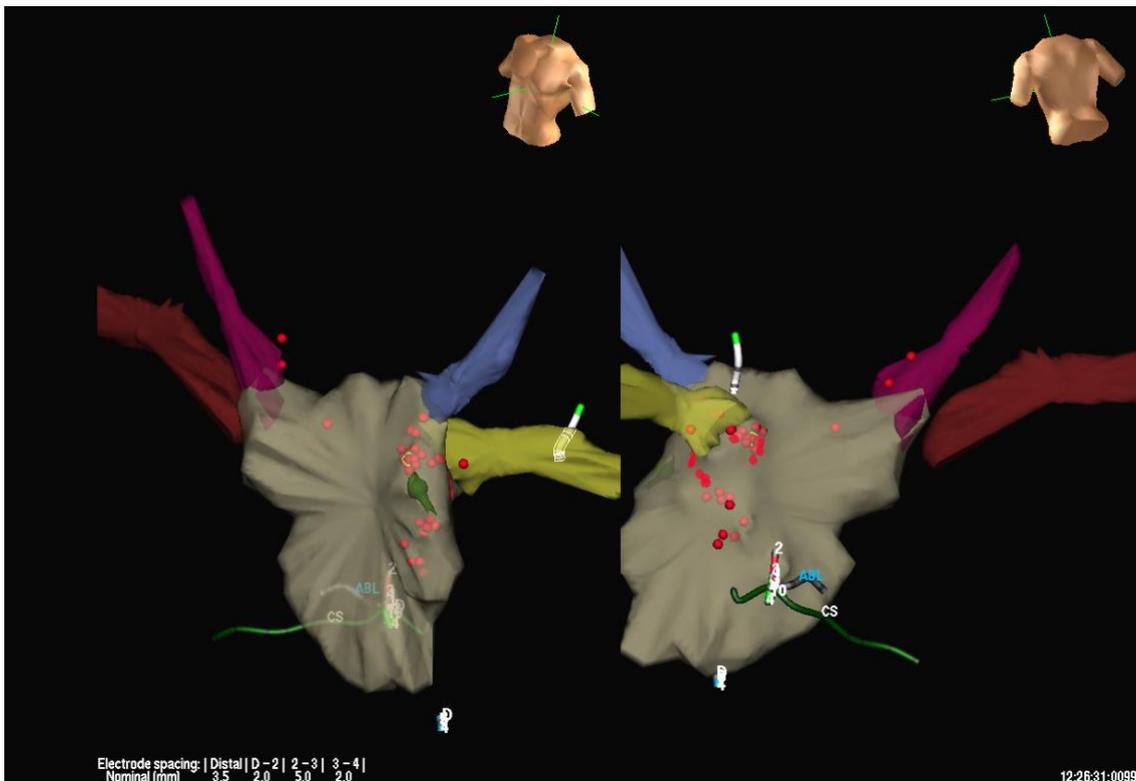


Abbildung 1: Arbeitsoberfläche des NavX-Systems

Die farbcodierte 3D-Karte zeigt die Aktivierungsabbildung, und der Ursprung der Tachykardie wird sichtbar. Die Katheter (grün) und die Energieabgaben (rote Punkte) werden ebenfalls dargestellt. Quelle: C. Frische, Screenshot der Ablation bei Patient Nummer 49

Limitationen

Die Position des intrakardialen Katheters, der als Referenz für die anatomische Karte genutzt wird, muss stabil bleiben damit die anatomische Karte genau ist. Wird eine Veränderung bemerkt sollte eine neue Karte aufgenommen werden, da es nicht sicher und akkurat ist den Katheter wieder in die Markierung zurückzuschieben (22).

Einschränkungen in der Anwendung

Das strahlenfreie Mappingsystem ist weitaus kostenintensiver als die konventionelle fluoroskopiekontrollierte Ablation. Außerdem braucht der Untersucher viel Erfahrung in der Durchführung der Katheterablation.

Ablationskatheter

Die Wahl des Ablationskatheters wurde vom Operateur getroffen. Es konnte zwischen Kryoablation und Radiofrequenzablation gewählt werden. Für die Kryoablation wurde der Freezor Xtra (Medtronic) bereitgehalten und für die Radiofrequenzablation konnte zwischen dem Solid Tip Mariner (Medtronic), dem Coolflex (St. Jude Medical) oder dem Tachicath (St. Jude Medical) mit Anpresskraftkontrolle gewählt werden (55).

Zur Diagnostik wurde ein decapolarer Katheter (Inquiry, St. Jude Medical, St. Paul, MN, USA) über den Zugang in die V. femoralis in den Sinus coronarius gelegt. Außerdem wurde durch die A. femoralis eine Schleuse für einen quadripolaren Diagnostikkatheter (Bard Electrophysiology, Lowell, MA, USA) gelegt und bis in den rechten Ventrikel vorgeschoben (55).

Zum linken Ventrikel konnte, wenn nötig, ein Zugang über ein offenes Foramen ovale geschaffen werden, oder es wurde unter TEE-Kontrolle transseptal punktiert (Preface, Biosense-Webster, Diamond Bar, CA, USA). Auch konnte eine Brockenbrough-Nadel zur transseptalen Punktion und eine atraumatische transseptale Schleuse verwendet werden (SafeSept, Pressure Products, San Pedro, CA, USA). (11)

Für die Ablation am cavotrikuspidalen Isthmus, der zwischen der Vena cava inferior und dem unteren Anteil des Anulus der Trikuspidalklappe liegt, wurde ein gekühlter Radiofrequenzkatheter (Coolflex, St. Jude) verwendet (55).

Ablation

Nach der richtigen Lagerung des Patienten, der Anlage von EKG, Pulsoxmetrie und peripherer venöser Zugänge sowie der Durchführung einer Echokardiographie bzw. eines TEE zum Ausschluss eines vorbestehenden Pericardergusses und Thromben, wird angefangen, steril abzuwaschen und abzudecken. Während der gesamten Prozedur steht ein Defibrillator zur Verfügung.

Punktiert werden die Gefäße mittels Seldinger-Technik. Meist werden Arteria und Vena femoralis sowie die Arteria radialis als Zugangswege genutzt. Liegen die Schleusen, können die Katheter vorsichtig zum Herzen vorgeschoben werden. Hierbei wird bereits mit dem Mapping begonnen. Im Vorhof wird die ganze Wand abgefahren, um ein elektroanatomisches Map zu erstellen. Ist eine transeptale Punktion nötig, wird diese unter TEE-Kontrolle durchgeführt, um auf Strahlenkontrolle verzichten zu können.

Zuerst wird der CS-Katheter positioniert, welcher die Referenz während der Ablation bildet, und danach werden die anderen Katheter positioniert. Nun kann mit der Ablation begonnen werden. Während der Prozedur werden laufend Kontrollen der Activated Clotting Time durchgeführt und, wenn nötig, wird mit Heparin nachgesteuert.

Nach der Ablation werden die Schleusen entfernt und ein Druckverband wird angelegt. Es wird ein erneuter Ultraschall durchgeführt um einen durch die Ablation entstandenen Perikarderguss auszuschließen. Der Patient muss nun 4–6 Stunden Bettruhe halten, um Nachblutungen zu vermeiden.

Kryoablation

Die Katheterspitze wird bei der Kryoablation von Distickstoffmonoxid umspült, sodass Temperaturen bis -75 °C erzielt werden können (61). Die Ischämie und die Ausbildung von Eiskristallen führt zum Zelluntergang (22). Der Vorteil dieses Systems ist, dass durch ein sogenanntes Precooling die Auswirkung des

Ablationspunktes getestet werden kann. Dies bietet sich vor allem bei Ablationspunkten nahe des AV-Knotens an. Das Precooling bis maximal $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ruft einen reversiblen Funktionsverlust des Myokards hervor; so können die Ablationspunkte leicht korrigiert werden (62). Außerdem ist es eine schmerzlose Variante zur RF-Ablation, da es keine perikardialen Nerven reizt (63).

Radiofrequenzablation (64)

Die Radiofrequenzablation ist eine kausale Therapie für viele Herzrhythmusstörungen. Es werden Wellenlängen von 350 bis 1000 kHz verwendet, da wegen der hohen Schwingungsrate die Muskulatur nicht aktiviert wird und Effizienz und Sicherheit vereint werden können (64). Die Temperatur sollte zwischen $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegen, um eine ausreichende Koagulationsnekrose zu schaffen, aber kein Aufkochen des Plasmas hervorzurufen (22). Beim Aufkochen erhöht sich die Impedanz an der Katheterspitze schlagartig, da sich denaturierte Proteine und Koagel an ihr absetzen, sodass ein weiterer Schaden verhindert und eine theoretische maximale Ausbreitung der Läsion bedingt wird (64). Die Ausdehnung der Läsion wird vor allem von Kathetergröße und gewählter Temperatur bestimmt (20). Bereits zwei Monate nach der Ablation wird die Nekrose bindegewebig umgebaut (20). In der Randzone können sich Myokardzellen erholen, was zu einem Rezidiv führen kann (22).

Follow-up

Das Follow-up erfolgte telefonisch oder ambulant. Bei allen Patienten mit WPW-Syndrom wurde im Follow-up eine EKG-Kontrolle durchgeführt.

Statistische Auswertung

Die gesamte statistische Auswertung wurde mittels SPSS Version 24.0 (SPSS Inc, Chicago IL, USA) durchgeführt. Das kumulative rezidiv-freie Überleben wurde durch Kaplan-Meier-Kurven dargestellt. Zum Vergleich des rezidiv-freien Überlebens zwischen Patienten, die strahlenfrei und mit Strahlung behandelt

wurden, wurde der Log-Rank-Test angewendet. Kategorische Variablen wurden mit dem Chi-Quadrat Test verglichen. Verteilungen der Mediane wurden mittels Mann-Whitey-U-Test verglichen und Verteilungen des Mittelwerts mit dem Student-T-Test.

Als statistisch signifikant wurde ein P-Wert von $<0,05$ angesehen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit und die Wahrscheinlichkeit, dass das Ergebnis dieser Studie einem Zufall entspricht, liegt demnach bei unter 5 %.

Grafiken und Tabellen zur Visualisierung der Statistiken wurden ebenfalls mit SPSS erstellt.

Auswertung

Patienteneigenschaften

In der strahlenfreien Studiengruppe wurden 108 Patienten eingeschlossen und im Bezug auf Behandlungszeit und Herzrhythmusstörung 107 Patienten, die eine fluoroskopiekontrollierte Ablation erhalten haben, zugeordnet.

In der strahlenfreien Gruppe sind 58 (50,9 %) der Patienten weiblich und 50 (49,5 %) männlich. In der Fluoroskopiegruppe sind 56 (49,1 %) weiblich und 51 (50,5 %) männlich. Die beiden Gruppen unterscheiden sich bezüglich des Geschlechts nicht signifikant ($p = 0,841$).

Alter

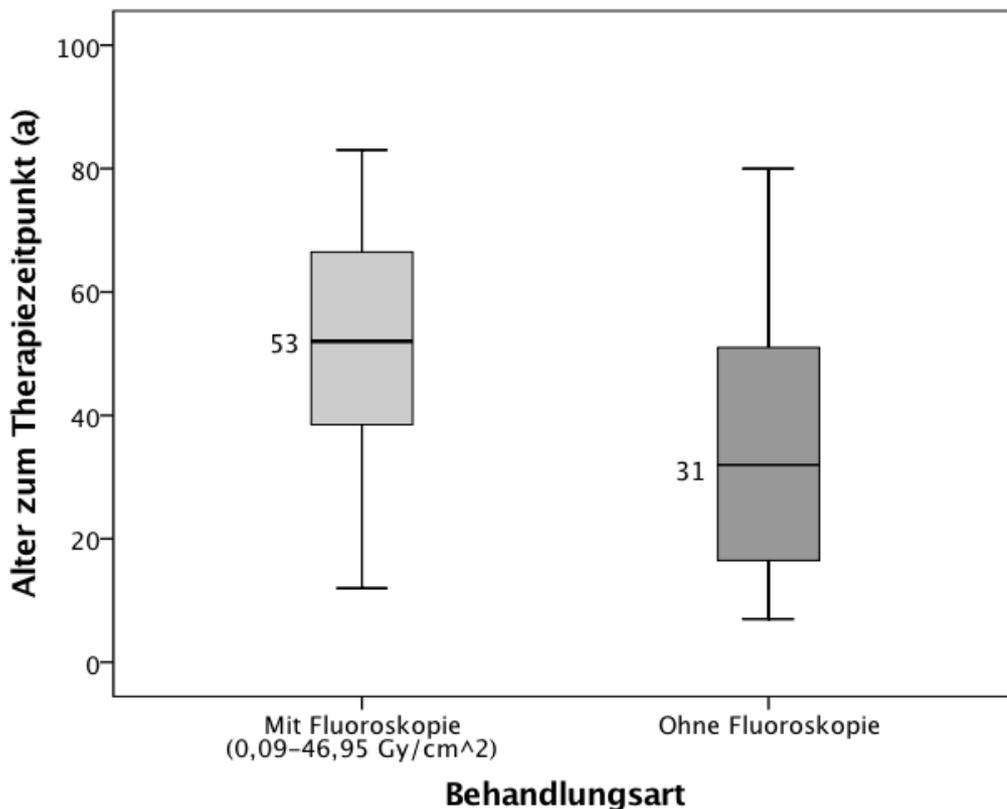


Abbildung 2: Patienten die ohne Fluoroskopie behandelt wurden sind signifikant jünger.

Dargestellt ist der Vergleich der Verteilung des Alters zum Therapiezeitpunkt in den Gruppen mit (n=107) und ohne Fluoroskopie (n=108) mittels Boxplot. Der Median unterscheidet sich statistisch signifikant mit $p < 0,000$.

Das Alter unterscheidet sich im Median beider Gruppen signifikant, da es ethisch nicht vertretbar war, Kinder mit Strahlung zu untersuchen, wenn es keine Kontraindikationen gegen eine strahlenfreie Behandlung gab. In der Gruppe mit gab es nur 13 Patienten unter 21 Jahren, in der Gruppe ohne Fluoroskopie hingegen 43.

Größe und Gewicht

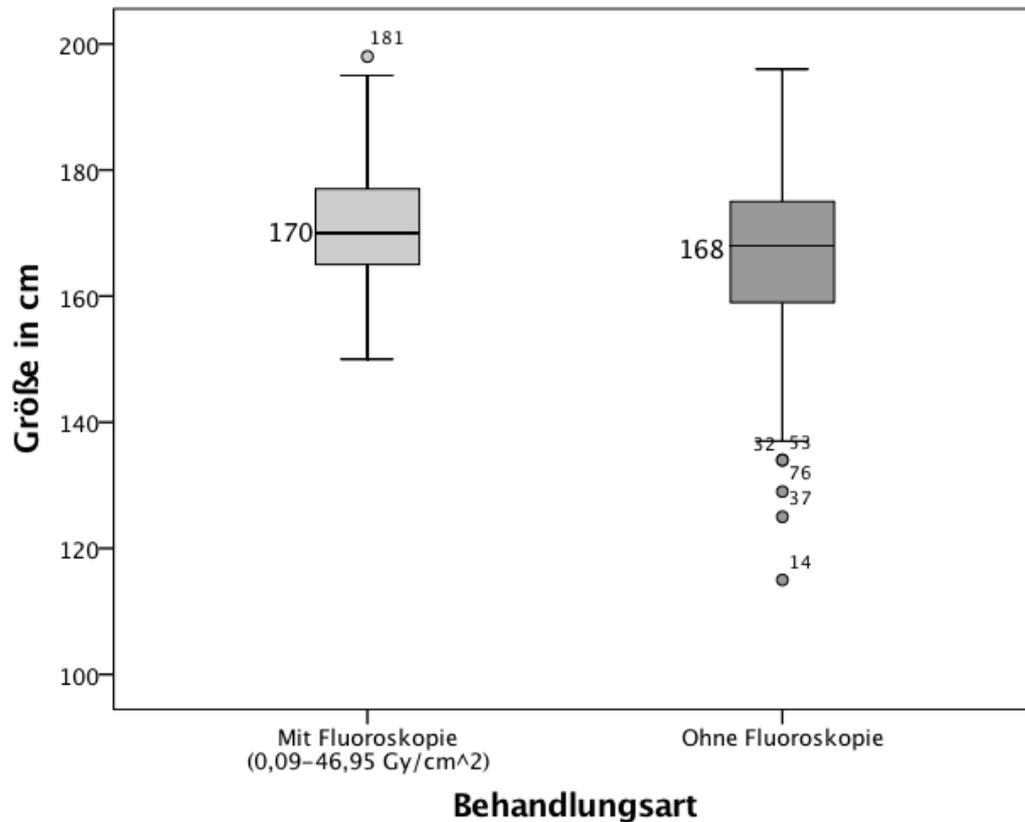


Abbildung 3: Patienten die ohne Fluoroskopie behandelt wurden sind signifikant kleiner. Dargestellt ist der Vergleich der Verteilung der Größe in cm in den Gruppen mit (n=107) und ohne Fluoroskopie (n=108). Der Median unterscheidet sich statistisch signifikant mit $p=0,045$.

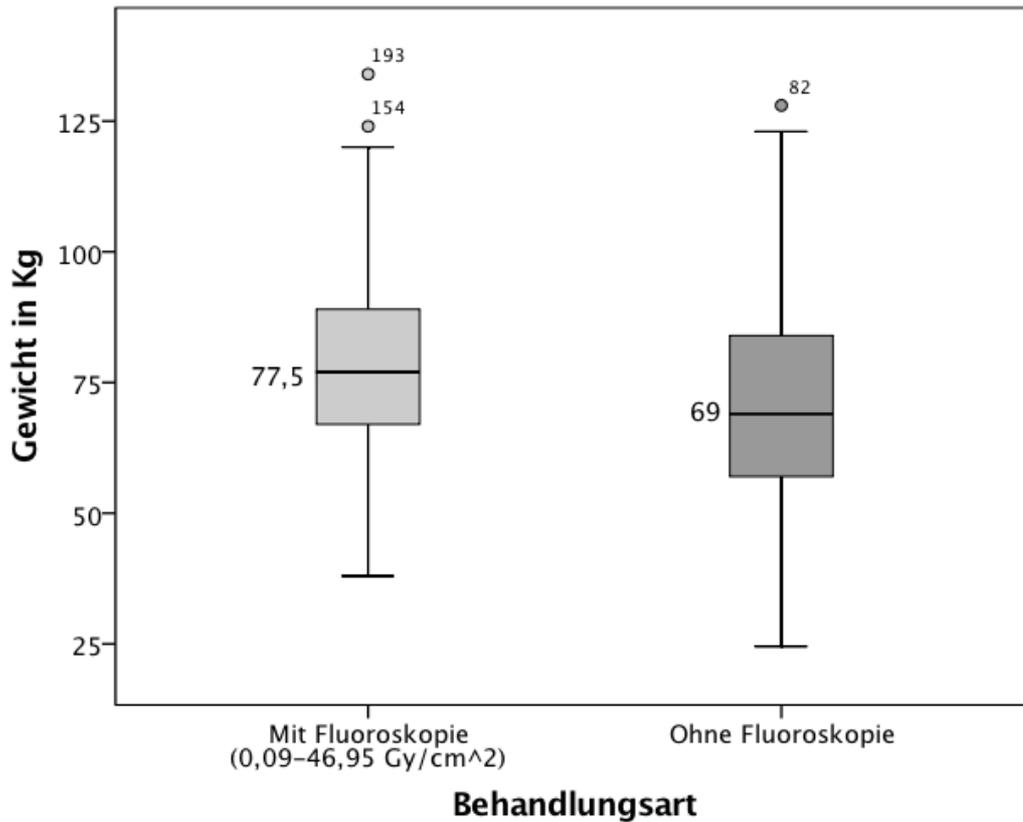


Abbildung 4: Patienten die ohne Fluoroskopie behandelt wurden sind signifikant leichter. Dargestellt ist der Vergleich der Verteilung des Gewichts in kg in den Gruppen mit (n=107) und ohne Fluoroskopie (n=108). Der Median unterscheidet sich statistisch signifikant mit $p=0,002$.

Die beiden Gruppen unterscheiden sich statistisch signifikant in Gewicht ($p=0,002$) und in der Größe ($p=0,045$). Dies ist auf den Unterschied in der Altersverteilung zurückzuführen.

Art der Rhythmusstörung

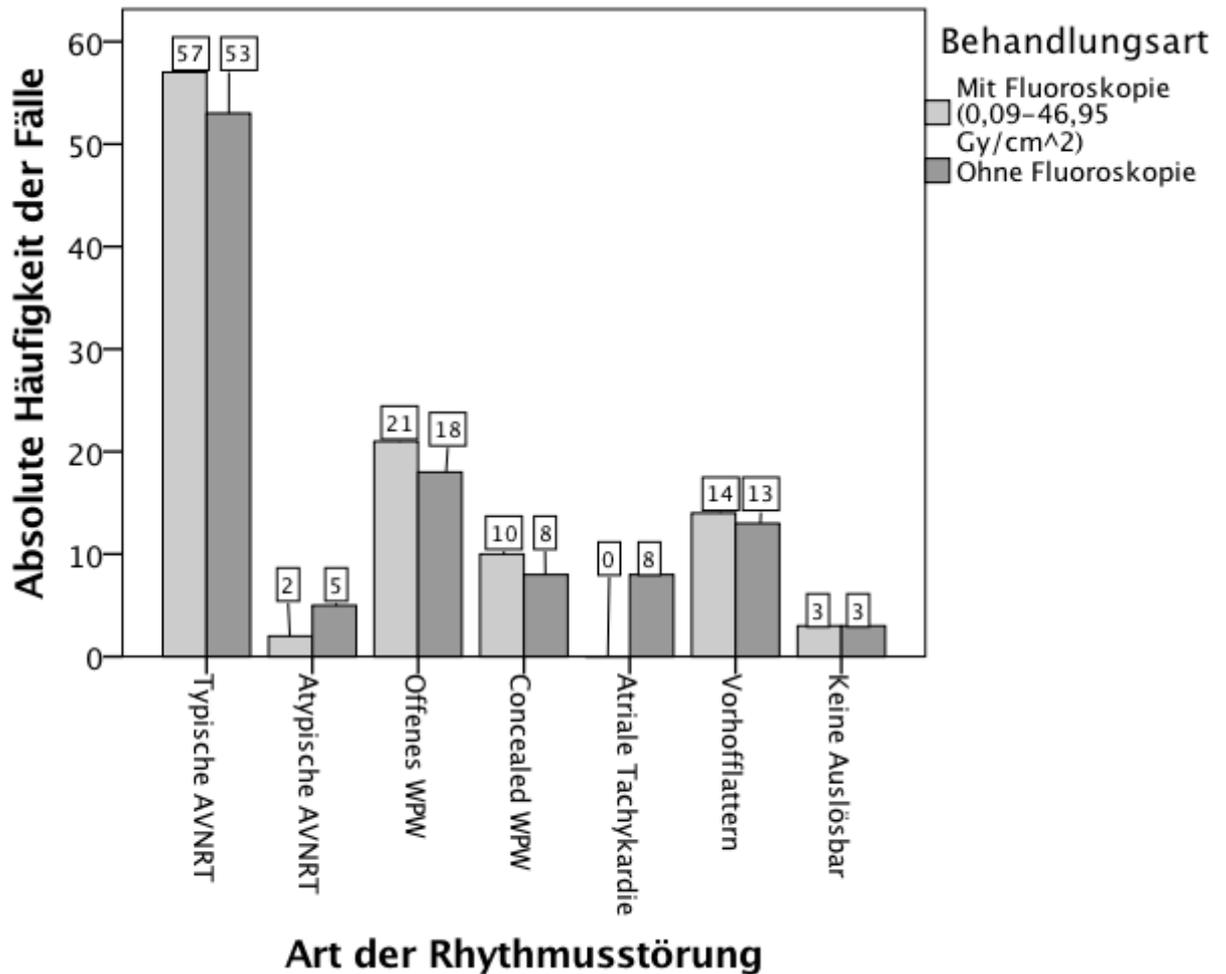


Abbildung 5: Verteilung der verschiedenen Herzrhythmusstörungen

In dem Balkendiagramm ist der Vergleich der Verteilung der absoluten Häufigkeiten der HRST in den Gruppen mit (n=107) und ohne Fluoroskopie (n=108) dargestellt.

Die beiden Gruppen unterscheiden sich im Bezug auf die Art der Herzrhythmusstörung statistisch nicht signifikant ($p=0,128$). Um eine optimale Vergleichbarkeit in der Auswertung zu haben, wurden die Patienten für die Kontrollgruppe unter anderem nach der Art der Rhythmusstörung ausgewählt.

Art der Behandlung

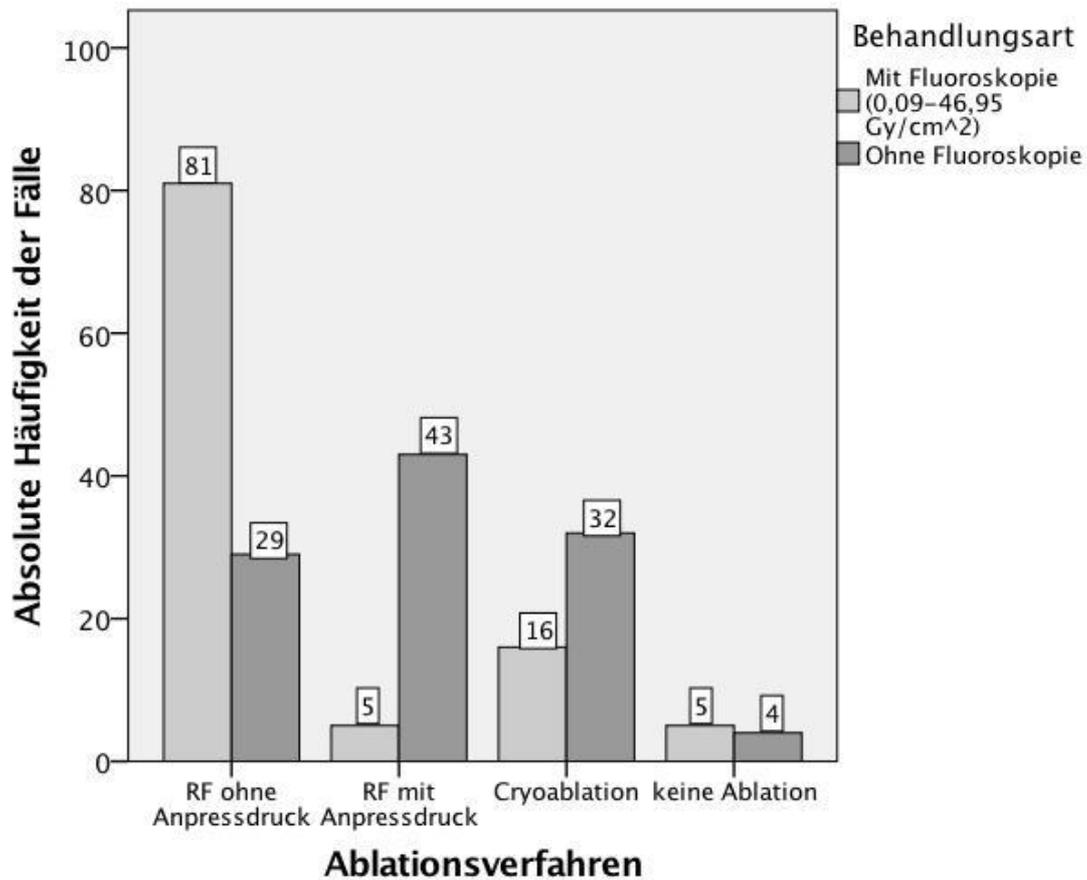


Abbildung 6: Die gewählten Ablationsverfahren unterscheiden sich in beiden Kohorten signifikant.

Dargestellt ist der Vergleich der Verteilung der absoluten Häufigkeiten der Art der Ablation in den Gruppen mit (n=107) und ohne Fluoroskopie (n=108).

Die strahlenfreie Gruppe und die Kontrollgruppe unterscheiden sich in der Art der durchgeführten Art der Ablation statistisch signifikant ($p < 0,00$). Dies ist auf die verschiedenen Untersucher zurückzuführen. Ihnen wurde die Wahl der Katheter freigestellt. In der fluoroskopiefreien Gruppe wurde häufiger mit Kontrolle des Anpressdruckes gearbeitet, außerdem wurden mehr Patienten mit Cryotechnik behandelt.

Ursprung der Rhythmusstörung

In der fluoroskopiefreien Kohorte zeigte sich bei 84 (77,8 %) Patienten der Ursprung der Rhythmusstörung rechts, bei 22 (20,4 %) Patienten links und bei 2 (1,9 %) Patienten konnte keine Tachykardie ausgelöst werden.

In der Kontrollgruppe mit Strahlung war bei 85 (79,4 %) Patienten der Ursprung rechts und bei 22 (20,6 %) Patienten links.

Die Gruppen unterscheiden hinsichtlich des Ursprungs der Herzrhythmusstörung statistisch nicht signifikant ($p=0,368$)

Daten der Untersuchungen

Dauer

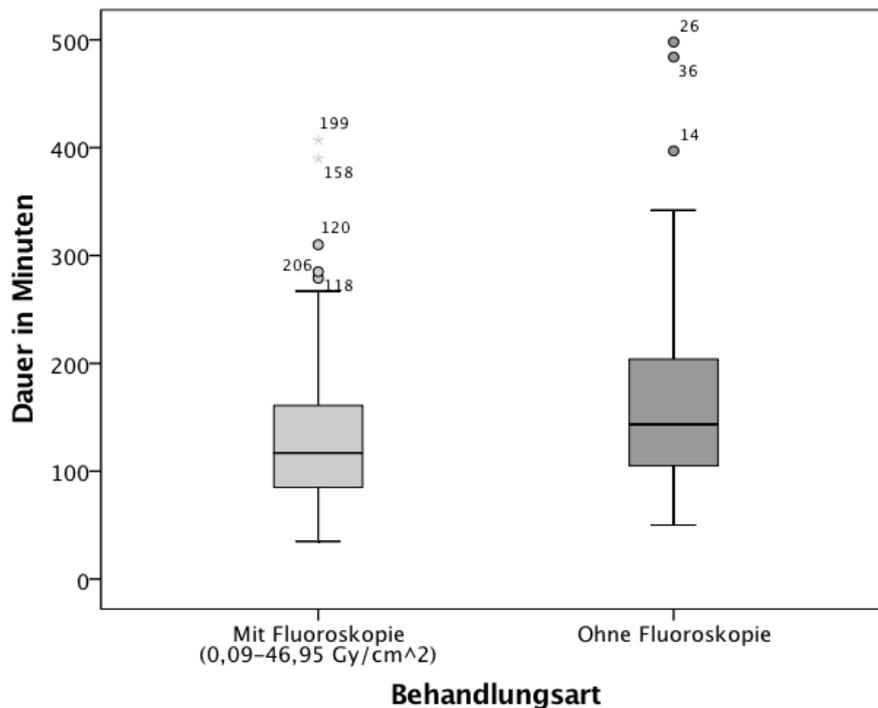


Abbildung 7: Die Behandlung ohne Fluoroskopie dauert signifikant länger

Dargestellt ist der Vergleich der Verteilung der Dauer der Ablation in Minuten in den Gruppen mit ($n=107$) und ohne Fluoroskopie ($n=108$). Der Unterschied ist signifikant ($p=0,003$). Punkte sind mit der Patienten-ID beschriftet und markieren Ausreißer, Sterne kennzeichnen Extreme.

Als Dauer wurde die Door-to-Door-Zeit von der Ankunft des Patienten bis zum Verlassen der Elektrophysiologie dokumentiert. Wie erwartet war die Behandlungsdauer in der Gruppe ohne Fluoroskopie länger und die Mittelwerte unterscheiden sich signifikant ($p=0,003$). Dies kann auf die komplexere

Vorbereitung des Patienten für die fluoroskopiefreie Untersuchung mit längerem Mappingvorgang zurückgeführt werden (55). In der Kontrollgruppe betrug die Untersuchungszeit $131,3 \pm 69,12$ min und in der Studienkohorte $163,32 \pm 84,46$ min. Ausreißer und Extreme in der Auswertung können durch die hohe Komplexität der Herzrhythmusstörung dieser Patienten oder eine fehlende Induzierbarkeit erklärt werden. Es konnte jedoch bei den verschiedenen Untersuchern eine Lernkurve mit abnehmenden Untersuchungszeiten festgestellt werden.

Vor allem im Vergleich der Patienten mit WPW-Syndrom ergab sich ein großer Unterschied in der Behandlungsdauer. Unter Fluoroskopiekontrolle betrug die Door-to-Door-Zeit 153 ± 78 min, bei Verzicht auf Fluoroskopie hingegen 222 ± 91 min. Der Unterschied ist auch hier statistisch signifikant ($p=0,04$).

Strahlenbelastung

Strahlendosis

Kohorte	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
<i>Keine Fluoroskopie</i>	0 Gy/cm ²	0 Gy/cm ²	0 Gy/cm ²	0 Gy/cm ²
<i>Fluoroskopie</i>	0,09 Gy/cm ²	46,95 Gy/cm ²	4,88 Gy/cm ²	2,75 Gy/cm ²

Tabelle 1: Vergleich der Strahlendosis in beiden Kohorten

Der Unterschied ist statistisch signifikant ($p < 0,000$). Der große Range in der Kontrollgruppe ist auf die unterschiedliche Statur der Patienten sowie die Unterschiede in der Komplexität der HRST zurückzuführen.

Durchleuchtungszeit

Kohorte	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
<i>Strahlenfrei</i>	0 min	0 min	0 min	0 min
<i>Strahlung</i>	0,58 min	64 min	12,85 min	9,15 min

Tabelle 2: Vergleich der Durchleuchtungszeit in beiden Kohorten

Der Unterschied ist statistisch signifikant ($p < 0,000$).

Intraprozeduraler Erfolg

		Fluoroskopie	Keine Fluoroskopie	Gesamt
<i>Intraprozeduraler Erfolg</i>	Nein	6	6	12
	Ja	100	101	201
	Keine Ablation	0	1	1
<i>Gesamt</i>		106	108	214

Tabelle 3: Vergleich der des unmittelbaren Therapieerfolgs in beiden Kohorten

Der unmittelbare Erfolg der Ablation war gegeben, wenn am Ende der Untersuchung die ursprüngliche HRST nicht mehr auszulösen war. Der Unterschied beider Gruppen ist nicht statistisch signifikant ($p=0,611$).

Von den Patienten ohne intraprozeduralen Erfolg hatten aus der fluoroskopiekontrollierten Gruppe 3 Patienten ein offenes WPW-Syndrom, und bei 3 Patienten konnte keine Tachykardie ausgelöst werden. In der Studiengruppe ohne Fluoroskopie war bei 2 Patienten keine Tachykardie auslösbar, 2 hatten die Diagnose des offenen WPW-Syndroms und 2 hatten eine atriale Tachykardie. Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Patienten ohne unmittelbaren Erfolg beider Gruppen ($p=0,301$).

Anpresskraftkontrolle

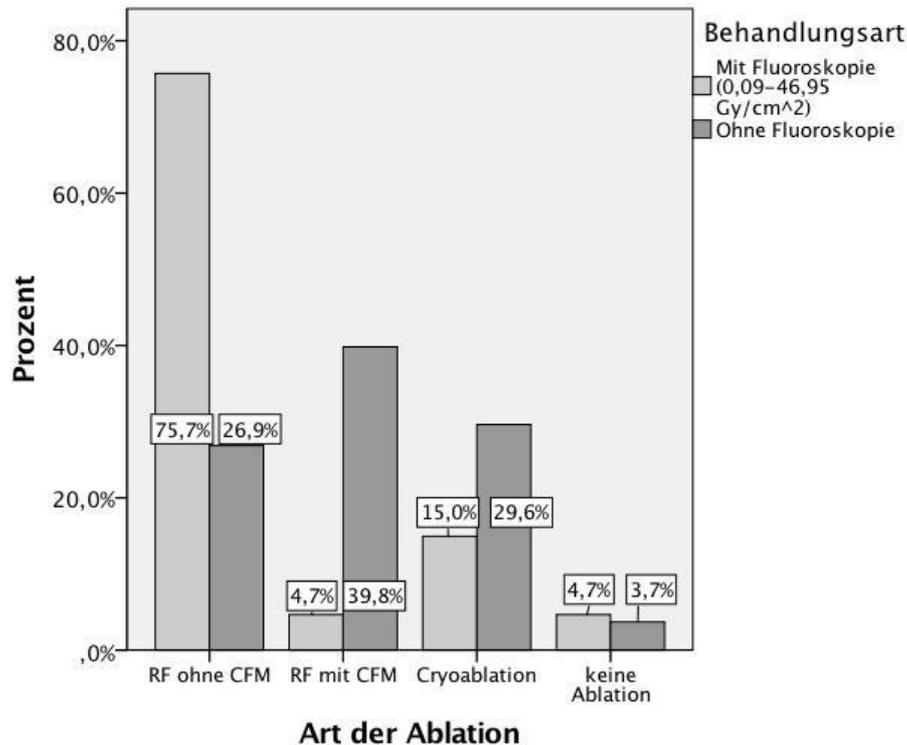


Abbildung 8: Balkendiagramm zur Verwendung der Anpresskraftkontrolle

Die Balken zeigen die Wahl der Art der Ablation im Vergleich in den Gruppen mit (n=107) und ohne Fluoroskopie (n=108).

Bei der Gruppe mit Fluoroskopiekontrolle überwog mit 75,7 % die Radiofrequenzablation (RF) ohne Anpresskraftkontrolle (CFM), bei der Gruppe ohne Fluoroskopie wurde in 39,8 % auf die RF mit CFM zurückgegriffen.

Art der Rhythmusstörung	Mit Fluoroskopie		Ohne Fluoroskopie	
	Mit CFM	Ohne CFM	Mit CFM	Ohne CFM
<i>AVNRT</i>	2	57	17	41
<i>WPW</i>	2	29	20	6
<i>Vorhofflattern</i>	1	13	3	10
<i>Atriale Tachykardie</i>	0	0	3	5
<i>Nicht auslösbar</i>	0	3	0	3

Tabelle 4: Vergleich von Gebrauch des CFM bei verschiedenen HRST in beiden Kohorten

Es wird die absolute Anzahl der Patienten in den Gruppen mit (n=107) und ohne Fluoroskopie (n=108) angegeben. Verglichen wurde der Gebrauch von CFM bei den verschiedenen HRST.

Vor allem für die AVNRT und das WPW-Syndrom wurde in der Gruppe ohne Fluoroskopiekontrolle mit CFM gearbeitet. Es wurde bei der AVNRT-Ablation mit CFM ein Median von 4 g und eine maximale Kraft von 10 g bei den pädiatrischen Patienten gemessen(55).

Auslösbarkeit bei AVNRT

Induktion mit Medikamenten

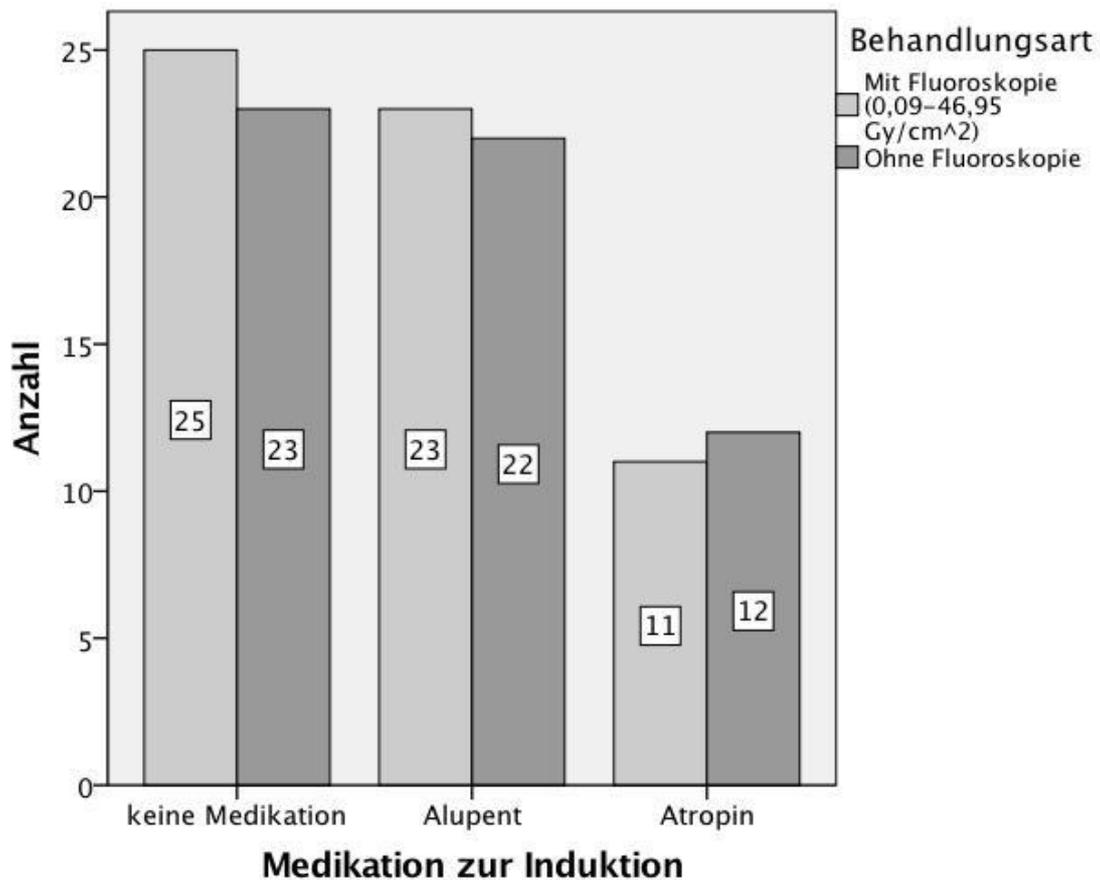


Abbildung 9: Art und Häufigkeit der eingesetzten Medikamente für die Induktion der AVNRT unterscheiden sich in beiden Kohorten nicht signifikant.

Dargestellt ist der Vergleich der Verteilung der Auslösbarkeit mit Medikamenten in den Gruppen mit (n=59) und ohne Fluoroskopie (n=57). Die Säulen stellen die absoluten Zahlen der Patienten dar, welche keine Medikation, Alupent oder Atropin zur Induktion der AVNRT benötigten. Es zeigt sich kein signifikanter Unterschied.

Konnte ohne Medikation keine AVNRT induziert werden, wurde auf Alupent oder Atropin zurückgegriffen. Konnte mittels Alupent keine Tachykardie induziert werden, wurde zusätzlich Atropin verabreicht. Die Patienten, welche beide Medikamente bekamen, sind in der Statistik in der Gruppe Atropin geführt.

Medikamente waren bei insgesamt 33 Patienten in der Gruppe mit Fluoroskopiekontrolle und bei 34 Patienten in der Gruppe ohne Anwendung von Fluoroskopie nötig. Die Fälle in den verschiedenen Gruppen, bei denen Medikamente zur Induktion verwendet wurden, unterscheiden sich statistisch nicht signifikant ($p=0,944$).

Allgemeine Induzierbarkeit

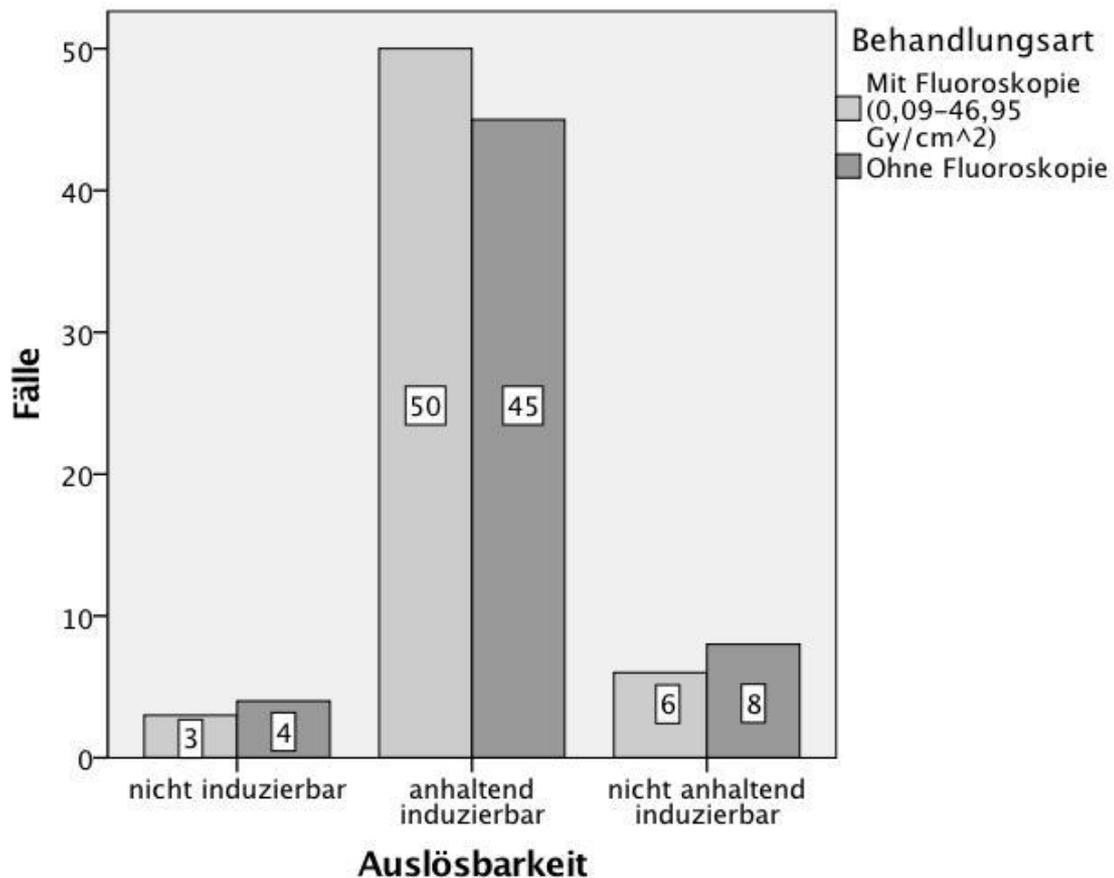


Abbildung 10: Es gab keinen signifikanten Unterschied bei der Auslösbarkeit der Herzrhythmusstörungen in beiden Kohorten.

Dargestellt ist der Vergleich der Verteilung der Induzierbarkeit der HRST in den Gruppen mit ($n=59$) und ohne Fluoroskopie ($n=57$). Die Säulen stellen die absoluten Zahlen der Patienten nach Effektivität der Induzierbarkeit der AVNRT dar.

Die anhaltende Induzierbarkeit der AVNRT ist wichtig für eine präzise Diagnostik und Ablation. Ist eine Tachykardie nicht induzierbar, aber es liegt ein eindeutiges EKG mit dokumentierter AVNRT vor, wird die Entscheidung für die Ablation individuell getroffen. Durch Medikamente, wie oben beschrieben, oder eine

Neupositionierung der Katheter kann die Tachykardie oft trotz anfänglichem Misserfolg ausgelöst werden. In den untersuchten Gruppen gab es bezüglich der Dauer der Induzierbarkeit keinen statistisch signifikanten Unterschied ($p=0,720$).

Ursprung der Rhythmusstörung

In der Gruppe mit Fluoroskopiekontrolle wurden 79,4 % (85/107) Patienten mit einer rechtsseitigen HRST diagnostiziert und 20,6 % (22/107) mit einem Ursprung der HRST auf der linken Seite. Die Ablation der linksseitigen HRST dauerte 208 ± 77 min, die der rechtsseitigen hingegen nur 154 ± 83 min. Der Unterschied in der Behandlungsdauer ist statistisch signifikant ($p=0,007$).

In der Gruppe ohne Fluoroskopiekontrolle war bei 77,8 % (84/108) der Patienten der Ursprung auf der rechten Seite und bei 20,4 % (22/108) der Patienten auf der linken Seite. Bei 1,9 % (2/108) fand keine Ablation statt und es konnte kein Ursprung der HRST diagnostiziert werden. Die Ablation der linksseitigen HRST dauerte 156 ± 75 min, die der rechtsseitigen hingegen nur 125 ± 66 min. Der Unterschied in der Behandlungsdauer ist nicht statistisch signifikant ($p=0,06$).

Der Unterschied bezüglich des Ursprungs der HRST in beiden Kohorten unterscheidet sich statistisch nicht signifikant ($p=0,368$)

Rezidivfreies Überleben

Die Rezidive wurden mittels Kaplan-Meier-Kurven und des Log-Rank Test ausgewertet.

Allgemein

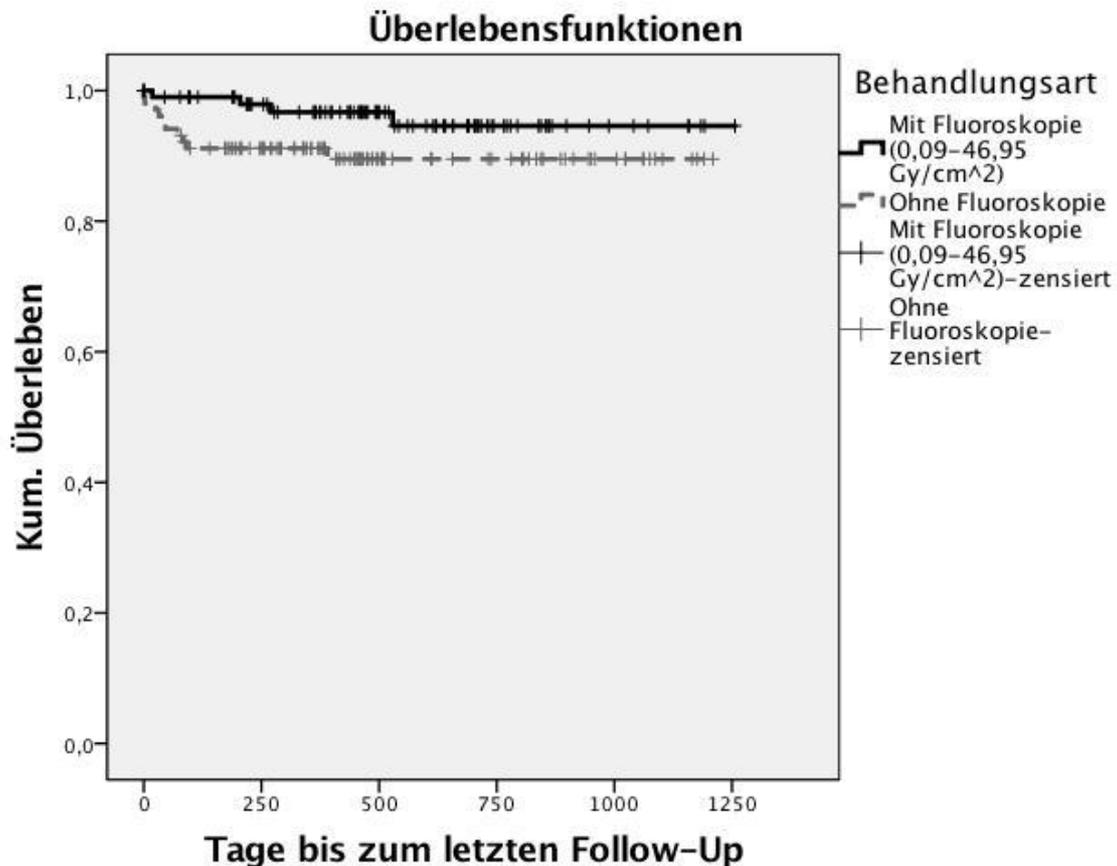


Abbildung 11: Das rezidivfreie Überleben in beiden Kohorten unterscheidet sich nicht Signifikant.

Dargestellt ist das kumulative Überleben ohne Rezidiv bei allen Patienten der Gruppen mit (n=103) und ohne Fluoroskopie (n=102). Die Tage geben das Intervall von der Behandlung bis zum letzten Follow-up an. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied (55)

Das rezidivfreie Überleben wurde bis 365 Tage nach der Untersuchung verfolgt. Teilweise konnte eine längere Follow-up-Periode bis maximal 1256 Tage erreicht werden; manche Patienten sind früher ausgeschieden, da sie sich nicht mehr in der Klinik vorstellten und telefonisch nicht erreichbar waren.

In der fluoroskopiekontrollierten Gruppe gab es insgesamt 4 Rezidive, was eine Rezidivquote von 5,4 % bedeutet. In der Gruppe ohne Fluoroskopiekontrolle gab

es insgesamt 10 Fälle mit Rezidiv, mit einer Rezidivquote von 10,5 %. Unter den 10 Patienten waren 8 unter 21 Jahre alt.

Der Unterschied beider Gruppen bezüglich der Rezidivrate ist nicht statistisch signifikant ($p=0,083$).

AVNRT

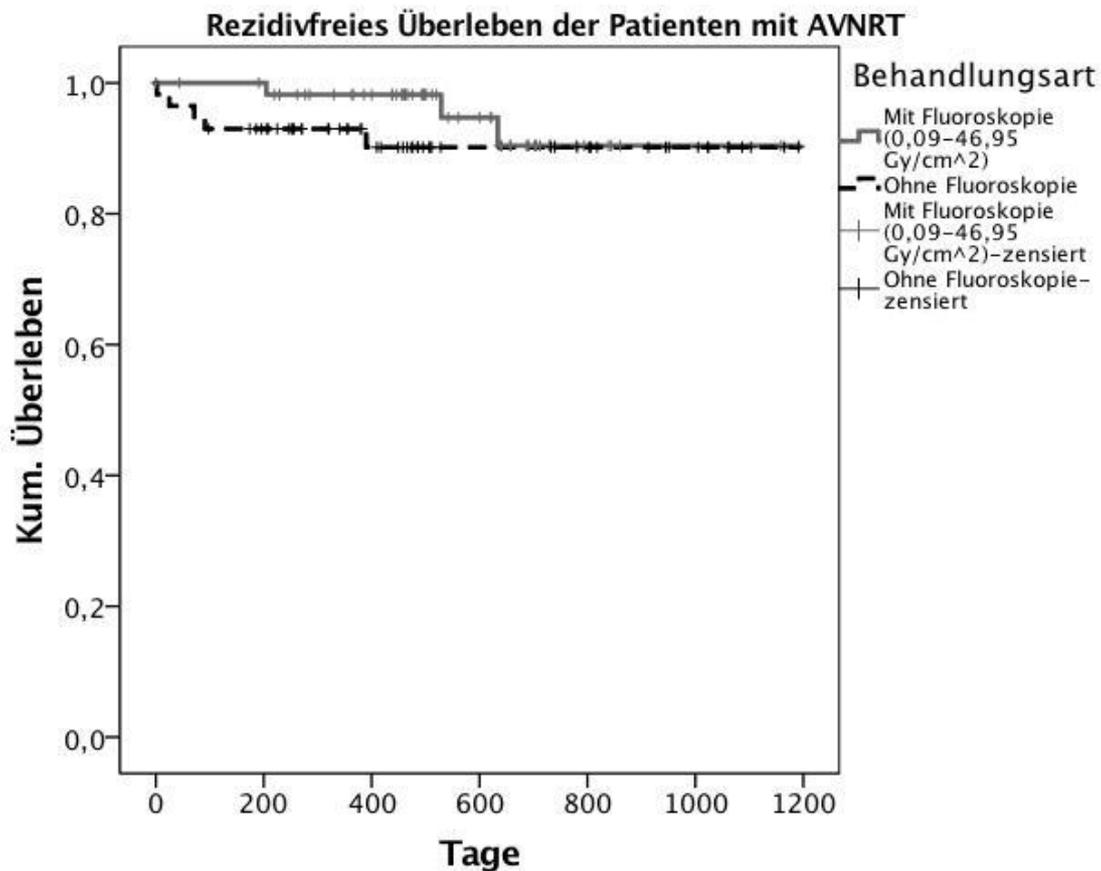


Abbildung 12: Das rezidivfreie Überleben bei Patienten mit AVNRT in beiden Kohorten unterscheidet sich nicht signifikant.

Dargestellt ist das kumulative Überleben ohne Rezidiv bei Patienten mit AVNRT in der Gruppe mit ($n=59$) und ohne Fluoroskopie ($n=58$). Die Tage geben das Intervall von der Behandlung bis zum letzten Follow-up an (55). Der Unterschied ist nicht signifikant.

Es wurden in der fluoroskopiefreien Gruppe 5 Rezidive beobachtet. Diese traten vor allem in den ersten drei Monaten nach der Untersuchung auf. 4 von den 5 Patienten waren unter 21 Jahre alt.

In der fluoroskopiekontrollierten Gruppe traten 3 Rezidive auf. Davon war kein Patient unter 21 Jahre alt.

In beiden Gruppen gab es eine Rezidivquote von 10 %, der Unterschied ist nicht statistisch signifikant mit $p=0,361$.

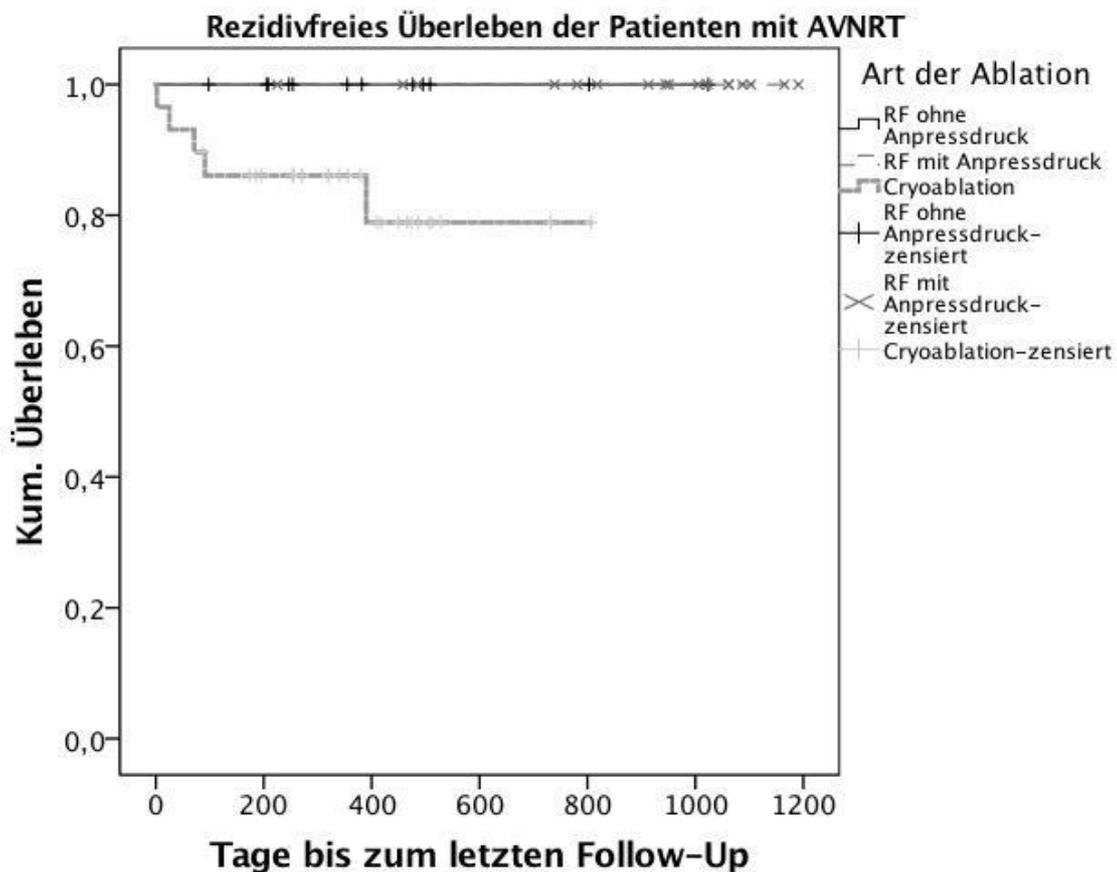


Abbildung 13: Bei Patienten mit AVNRT der strahlenfreien Kohorte gibt es bei der Cryoablation signifikant mehr Rezidive.

Dargestellt ist das kumulative Überleben ohne Rezidiv bei Patienten mit AVNRT in der Gruppe ohne Fluoroskopie ($n=58$). Es wurden die Rezidive bei verschiedenen Methoden für die Ablation verglichen. Die Tage geben das Intervall von der Behandlung bis zum letzten Follow-up an (55). Das Ergebnis ist statistisch signifikant ($p=0,052$)

Bei Vergleich der Art der Ablation in der Gruppe ohne Fluoroskopiekontrolle ($n=58$) fällt auf, dass sich alle Rezidive bei Patienten ereigneten, die mittels Cryoablation behandelt wurden ($n=29$). Das unterschied ist statistisch signifikant ($p=0,052$).

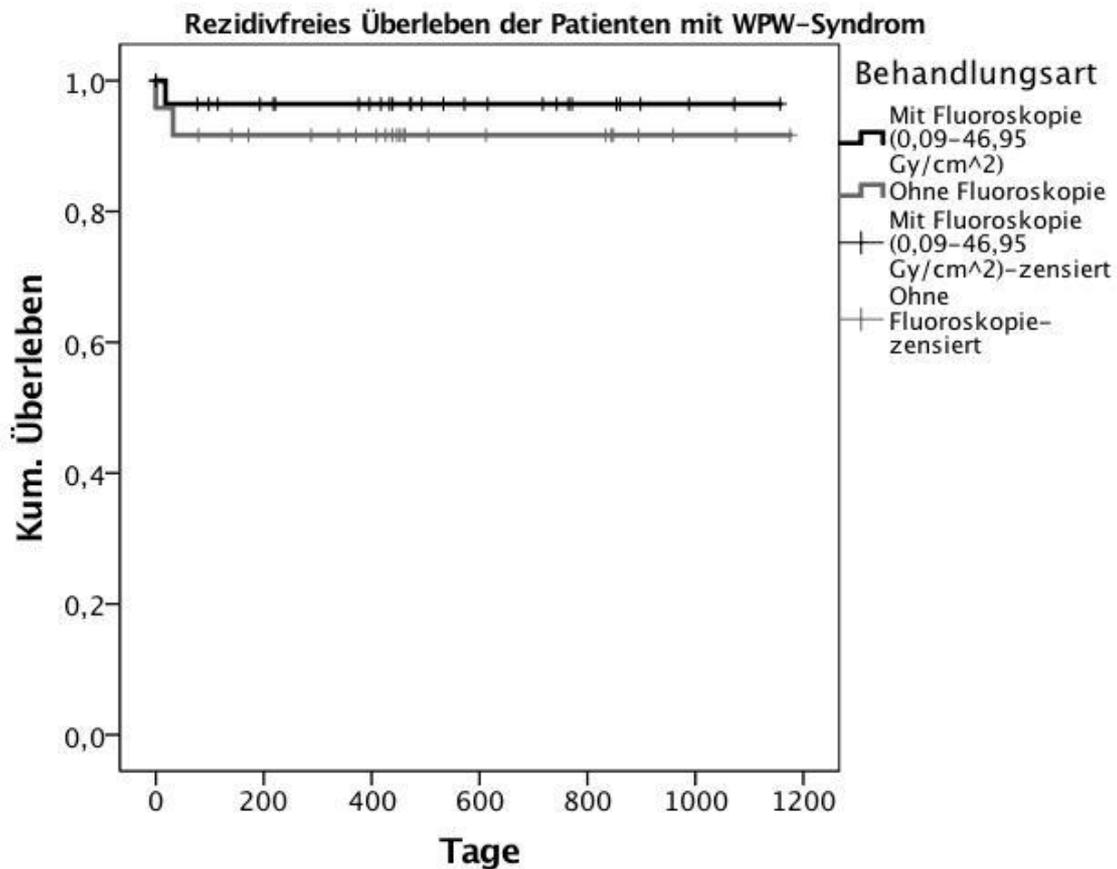


Abbildung 14: Bei Patienten mit WPW-Syndrom beider Kohorten gibt es keinen Signifikanten Unterschied bezüglich des rezidivfreien Überlebens.

Dargestellt ist das kumulative Überleben ohne Rezidiv bei Patienten mit WPW-Syndrom in der Gruppe mit (n=30) und ohne Fluoroskopie (n=24). Die Tage geben das Intervall von der Behandlung bis zum letzten Follow-up an (55).

In der fluoroskopiefreien Gruppe wurden zwei Rezidive bei rechtsseitigen akzessorischen Bahnen beobachtet. Einer dieser Patienten wurde mit Cryoablation behandelt, einer mittels RF-Ablation mit CFM. Bei einem Patienten konnte keine Ablation durchgeführt werden, da das akzessorische Bündel rechts parahissär gelegen war. Insgesamt hatten 7 Patienten eine rechtsseitige akzessorische Bahn und 17 Patienten eine linksseitige. 20 Patienten wurden mittels RF-Ablation mit CFM behandelt.

In der fluoroskopiekontrollierten Gruppe gab es ein Rezidiv (RF-Ablation ohne CFM) einer linksseitig gelegenen akzessorischen Bahn und 2 Patienten, bei denen keine Ablation möglich war. Insgesamt wurden 9 Patienten mit rechts

gelegener akzessorischer Bahn und 21 Patienten mit links gelegener beobachtet. Zwei dieser Patienten wurden mittels RF-Ablation mit CFM behandelt. Der Unterschied bezüglich der Rezidive in beiden Gruppen ist nicht statistisch signifikant ($p=0,455$).

Vorhofflattern

12 Patienten in der fluoroskopiefreien Gruppe zeigten ein typisches Vorhofflattern. In den 441 ± 306 Tagen Follow-up gab es kein Rezidiv. Es wurden drei Patienten mit anpresskraftkontrollierter RF-Ablation behandelt.

13 Patienten wurden mit Fluoroskopie untersucht und 558 ± 423 Tage nachverfolgt. In dieser Periode zeigte sich kein Rezidiv.

Ein Patient wurde mit anpresskraftkontrollierter RF-Ablation behandelt.

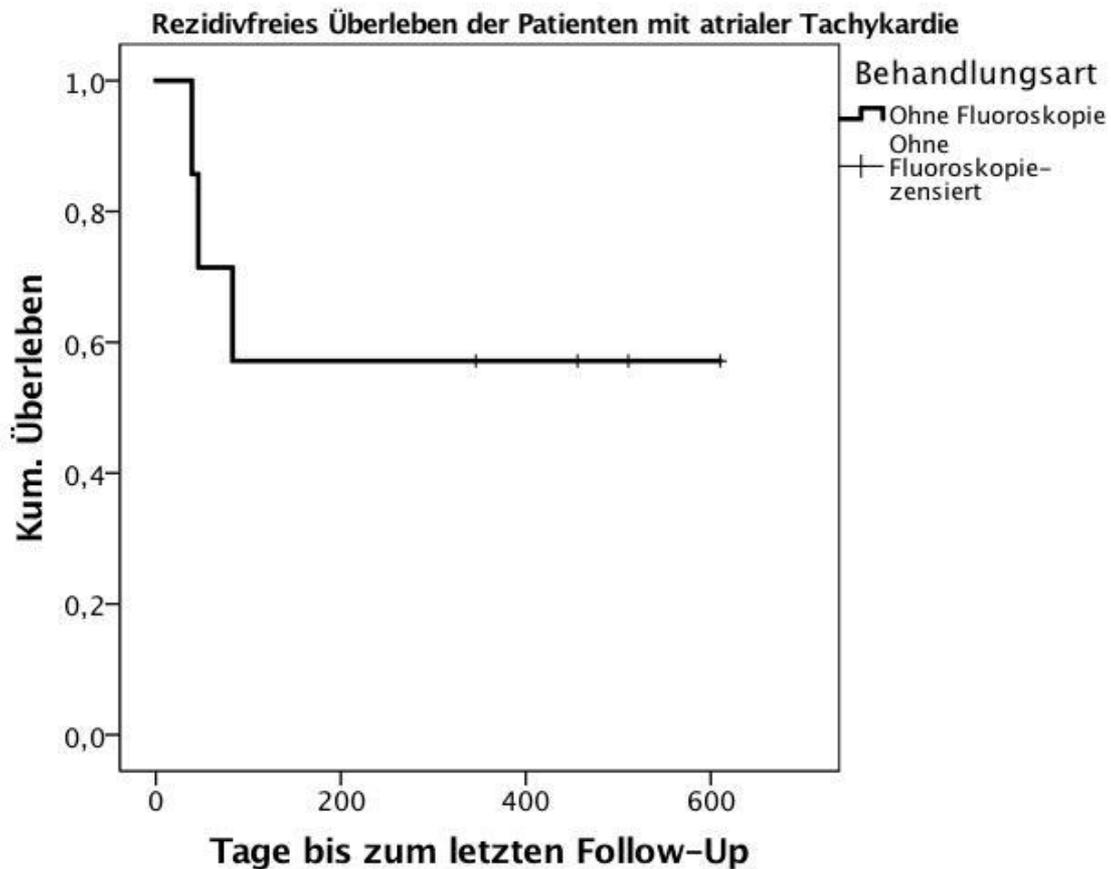


Abbildung 15: **Kaplan-Meier-Kurve zum rezidivfreien Überleben bei Patienten mit atrialen Tachykardien**

Dargestellt ist das kumulative Überleben ohne Rezidiv bei Patienten mit atrialer Tachykardie ohne Fluoroskopie (n=7). Die Tage geben das Intervall von der Behandlung bis zum letzten Follow-up an.

Insgesamt wurden 8 Patienten mit atrialer Tachykardie untersucht. Hierunter fallen komplexe HRST wie die ektope atriale Tachykardie, die sich teilweise mit multiplen Foci präsentierte, die junctionale ektope Tachykardie, eine nicht näher bezeichnete paroxysmale SVT sowie supraventrikuläre Extrasystolen.

Es wurden drei Rezidive beobachtet, welche alle innerhalb der ersten 3 Monate nach Behandlung auftraten. Bei einer Patientin fand keine Ablation statt.

In der Kontrollgruppe mit Fluoroskopie gab es keine Patienten, die derartige HRST aufwiesen.

Auswertung der Komplikationen

In der Auswertung wurden die Komplikationen in Minor- und Major-Komplikationen unterteilt.

1) Minor-Komplikationen

- a. Hämatom
- b. passagerer AV-Block
- c. hämodynamisch nicht relevante Nachblutung
- d. hämodynamisch nicht relevanter Perikarderguss
- e. Sonstiges

2) Major-Komplikationen

- a. persistierender AV-Block
- b. hämodynamisch relevanter Perikarderguss
- c. Sonstiges

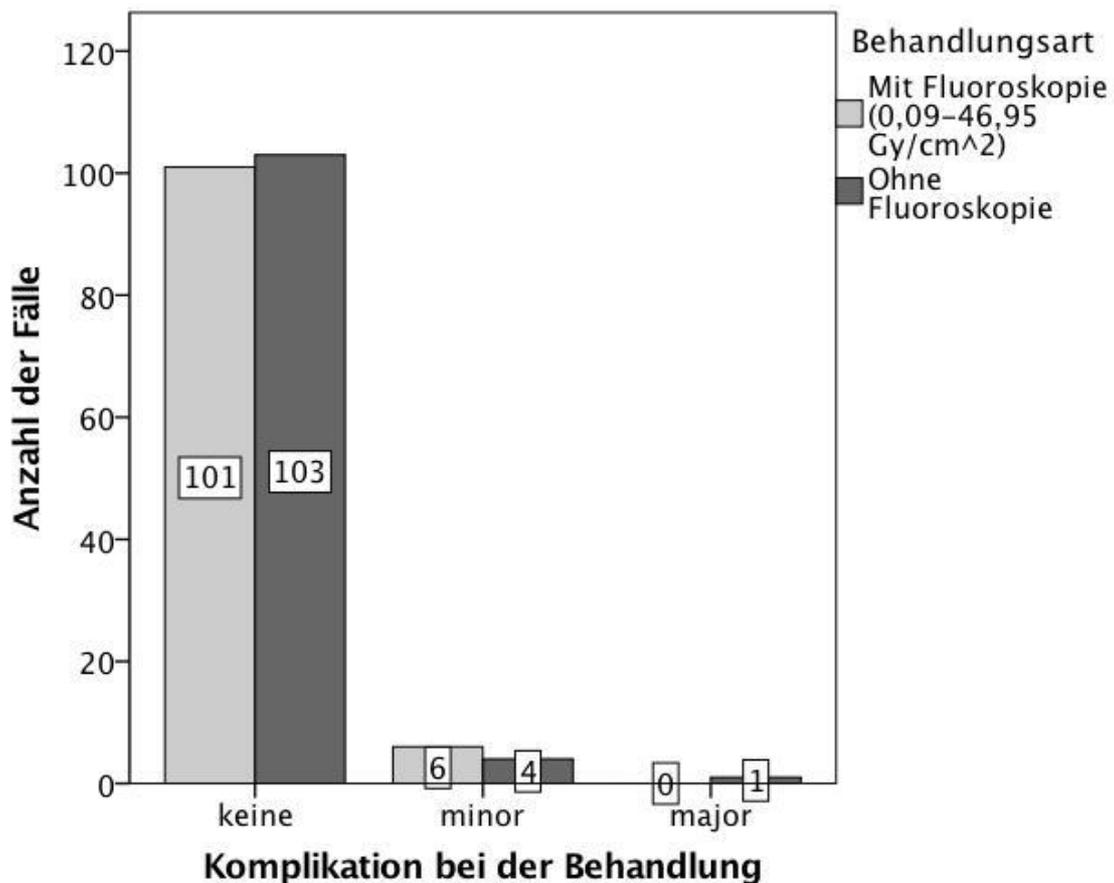


Abbildung 16: Es gab keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Komplikationen in beiden Kohorten.

Gezeigt ist die Anzahl der Komplikationen in den Gruppen mit (n=107) und ohne Fluoroskopie (n=108).

In der fluoroskopiefreien Gruppe gab es eine Komplikationsrate von insgesamt 4,5 % (5/108). Es trat ein therapiebedürftiger AV-Block als Major-Komplikation auf (0,9 %), der Patient erhielt einen Schrittmacher. 3,7 % der Patienten erlitten Minor-Komplikationen, die keiner weiteren Therapie bedurften und beobachtet wurden. Darunter waren 3 Patienten mit Parästhesien der Beine nach der Ablation, welche sich im Verlauf besserten. Eine Patientin erhielt Physiotherapie. In der Studiengruppe ohne Fluoroskopie erlitten 4 Männer und eine Frau eine Komplikation. Der Unterschied zwischen den Geschlechtern ist statistisch nicht signifikant ($p=0,273$).

In der Gruppe mit Fluoroskopiekontrolle gab es eine Komplikationsrate von insgesamt 5,6 % (6/107). Es wurden keine Major-Komplikationen beobachtet. Bei einer Patientin wurde eine relevante Nachblutung zusammen mit einer Wundheilungsstörung beschrieben, konnte aber suffizient therapiert werden. Bei einer Patientin trat eine therapieresistente Parästhesie des Beines auf. 3 Patienten zeigten einen spontan sistierenden AV-Block. Ein Patient der Fluoroskopiegruppe hatte eine 15 Sekunden andauernde ventrikuläre Aystolie, die in einen AV-Block dritten Grades überging und nach 40 weiteren Sekunden in einen Sinusrhythmus konvertierte. Er bedarf keiner weiteren Therapie.

In beiden Gruppen berichteten die Patienten von Hämatomen verschiedenen Ausmaßes.

In der Komplikationsrate beider Gruppen gab es keinen signifikanten Unterschied ($p=0,493$).

Vergleich der Art der Ablation bei Patienten mit Komplikation

		Mit Fluoroskopie	Ohne Fluoroskopie
<i>Art der Ablation</i>	RF ohne CFM	5	1
	RF mit CFM	1	3
	Cryoablation	0	1
<i>Gesamt</i>		6	5

Tabelle 5: Vergleich der Art der Ablation bei Patienten mit Komplikation in beiden Kohorten

Es wird die absolute Anzahl der Patienten mit Rezidiv in den Gruppen mit (n=6) und ohne Fluoroskopie (n=5) angegeben. Verglichen wurden die verschiedenen Arten der Ablation.

Bei den Patienten mit Komplikation bei Therapie der HRST wurden in beiden Gruppen die Arten der Ablation verglichen. In der Gruppe mit Fluoroskopie gab es bei 5 Patienten mit RF-Ablation ohne Anpresskraftkontrolle Komplikationen, bei der RF-Ablation mit Anpresskraftkontrolle nur bei einem Patienten, und bei Patienten die mittels Cryoablation behandelt wurden, trat keine Komplikation auf. In der Gruppe ohne Fluoroskopiekontrolle gab es bei der RF-Ablation ohne CFM und bei der Cryoablation jeweils eine Komplikation, bei den Patienten mit RF-Ablation mit CFM 3 Patienten, die eine Komplikation erlitten.

Bei keinem Patienten traten strahlenbedingte Fröhschäden auf.

Bei der strahlenfreien Gruppe trat ein hämodynamisch nicht relevanter Perikarderguss mit ca. 8 mm am anterioren und basalen rechten Vorhof auf. Dieser ist mit großer Wahrscheinlichkeit im Zusammenhang mit der schwierigen Sondierung des Coronarsinus bei diesem Patienten zu sehen.

Diskussion

Die Katheterablation nimmt bei den Interventionen nach der PTCA den zweiten Platz im Bezug auf die Häufigkeit der Anwendungen mit ca. 20.000 Prozeduren pro Jahr ein (20). Deswegen ist es wichtig, eine möglichst sichere Methode zu etablieren. Durch die Integration des strahlenfreien Mapping im klinischen Alltag kann die Untersuchung und Therapie für den Patienten risikoärmer gestaltet werden. Eine weitere Methode, um die Sicherheit und Effektivität für den Patienten weiter zu erhöhen, kann die Verwendung anpresskraftkontrollierter Katheter sein (11)

Die Rolle der Katheter

Katheter mit Kontrolle der Anpresskraft

Der Anpressdruck hat einen wesentlichen Einfluss auf die Größe der durch den Katheter entstandenen Läsion (65). Wird er zu niedrig gewählt, ist die Läsion eventuell nicht ausreichend, um die HRST zu eliminieren, ist er zu hoch, können Komplikationen wie eine Perforation entstehen (66). In der Arbeit wurde CFM vor allem bei der fluoroskopiefreien Gruppe eingesetzt. Hier erlitten 2 der Patienten mit CFM ein Rezidiv, 2 weitere Patienten mit RF-Ablation ohne CFM, und 6 der Patienten mit Cryoablation erlitten ebenfalls ein Rezidiv. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Behandlungsarten ($p=0,096$). Dies könnte ein Anhaltspunkt dafür sein, dass sich der Gebrauch von CFM nicht positiv auf die Rezidivrate auswirkt. Schwerwiegende Komplikationen wie die Perforation der Herzwand können hiermit jedoch vermieden werden (67). Im Schweinmodell war eine Anpresskraft von 77–376 g nötig, um eine Perforation hervorzurufen (67). Mit einem Spitzenwert von 10 g lagen wir bei unseren Untersuchungen weit darunter. In der Studie mit Hunden von Okumura et al. (68) wurde durch die Anwendung einer Anpresskraft von 10–20 g die Größe der entstandenen Läsion bei der Ablation optimiert. Der Mittelwert unserer Untersuchungen lag bei 4 g, sodass eine Steigerung der Anpresskraft zu besseren Ergebnissen ohne Erhöhung des Risikos für eine Perforation führen könnte.

Es existieren vor allem Studien zum Gebrauch von CFM in Bezug auf die Ablation von Vorhofflimmern. Bei anderen HRST ist die Datenlage dünner.

Katheter ohne Kontrolle der Anpresskraft

Bei Gebrauch der Cryoablation in der fluoroskopiefreien Gruppe erlitten 20 % (6/31) der Patienten ein Rezidiv. 5 dieser Patienten wurden wegen einer AVNRT behandelt, bei der die Cryoablation die Inzidenz eines höhergradigen AV-Blocks senken soll. In der Peripherie der Katheterspitze kann es jedoch zu einer reversiblen Schädigung der Herzmuskelzelle kommen, die eher zu einem Rezidiv führt (61). Diese höhere Rezidivquote, die in mehreren Studien gezeigt werden konnte (38, 69-71), muss gegen die niedrigere Inzidenz hochgradiger Komplikation aufgewogen werden. In der fluoroskopiefreien Gruppe trat ein AV-Block dritten Grades unter Verwendung der Radiofrequenzablation ohne CFM zur Therapie einer AVNRT auf. Unter der Verwendung der Cryoablation wurden keine höhergradigen Blockbilder beobachtet. Dies spricht für die Sicherheit dieser Methode. Mit zunehmender Erfahrung des Untersuchers kann die Wahrscheinlichkeit eines Rezidivs zudem gesenkt werden (72).

Komplikationen

Bei den Ablationen unter Gebrauch des 3D-Mapping wurde eine Komplikationsrate von 4,5 % beobachtet. In anderen Studien lag die Komplikationsrate bei 2,2 % bis 12 % (73-75), wobei die Komplikationsrate bei kleinen Kindern mit 25 kg und darunter höher ist (75).

In der Auswertung wurden Auffälligkeiten strikt eingeschlossen, sodass auch kleinere Hämatoeme als Minor-Komplikation gewertet wurden. Hämatoeme waren wie auch in anderen Studien (76) die häufigste Komplikation. Keiner der Patienten benötigte eine weiterführende Therapie. Die erhöhte Rate von Hämatomen kann durch die starke Antikoagulation erklärt werden, die während der Untersuchung und Ablation zum Teil nötig ist.

Bei keinem der Patienten wurde ein hämodynamisch wirksamer Perikarderguss diagnostiziert, was unter anderem am erhöhten Einsatz von CFM liegen könnte.

Bei 6 Patienten (WPW-Syndrom und atriale Tachykardie) wurde von einem Katheter mit steifer Spitze auf einen mit CFM gewechselt.

Um das Risiko eines höhergradigen AV-Blocks zu senken, wurde bei der Ablation der AVNRT häufiger auf die Cryoablation zurückgegriffen. Hierunter wurde kein AV-Block beobachtet, jedoch traten vermehrt Rezidive auf.

Kugler et al. berichteten von Major-Komplikationen inklusive Todesfällen bei 3,6 % der Fälle bei pädiatrischen Patienten (77). Wir konnten keine Major-Komplikationen in der fluoroskopiefreien Gruppe feststellen, lediglich eine Minor-Komplikation bei einem Patienten (1,7 %). Er berichtete über eine Femoralisneuralgie, welche sich unter Krankengymnastik vollständig zurückbildete.

Pädiatrische Patienten

10 Patienten der fluoroskopiefreien Kohorte erlitten ein Rezidiv. Davon waren 8 unter 21 Jahre alt. Es existiert meines Wissens keine Studie, die Erfolgsraten der strahlenfreien Ablation zwischen Erwachsenen und Kindern vergleicht. Auch in der Studie von Stec et al. (78) wurde bei Kindern eine höhere Rezidivrate in der fluoroskopiekontrollierten sowie fluoroskopiefreien Methode beobachtet.

Dass Kinder für die Ablation tief sediert werden, könnte eine Ursache für die höhere Rate an Rezidiven sein. Erwachsene tolerieren die Prozedur oft unter der alleinigen Verwendung einer Lokalanästhesie für die Einstichstellen. Dies stellt einen Unterschied der verschiedenen Patientengruppen dar.

Bezüglich des technischen Vorgehens ist anzumerken, dass durch das geringere Herzvolumen von Kindern die Anwendung von „safety freezes“ deutlich eingeschränkt ist. Die anatomische Struktur ist hochkomplex, da sich alle wichtigen Strukturen dichter nebeneinander befinden und so ein längeres Testen durch Anfrieren des Katheters leichter andere Strukturen ungewollt mitbeeinflusst.

Auch die Ablationsherde werden bei Kindern zurückhaltender gesetzt.

Weitere Untersuchungen zwischen Ablationen mit und ohne Verwendung von Fluoroskopie bei Kindern wären nötig um zu eruieren, ob die Rezidivrate bei Kindern im Allgemeinen höher ist, oder ob es sich um eine Einschränkung der Anwendung des fluoroskopiefreien Vorgehens handelt.

WPW

Insgesamt wurden in der fluoroskopiefreien Kohorte 31 Patienten mit WPW-Syndrom diagnostiziert. Davon präsentierten 10 Patienten eine rechtsseitige akzessorische Bahn und 21 eine linksseitige. Die Ablation von links gelegenen Bahnen stellt bei Verzicht auf Fluoroskopie eine besondere Herausforderung dar, da unter TEE-Kontrolle der Zugang in das linke Atrium geschaffen werden muss. Deswegen wurde eine längere Dauer der Prozedur im Vergleich zur röntgenkontrollierten Methode angenommen, die auch bestätigt werden konnte. Unter Fluoroskopiekontrolle betrug die Door-to-Door-Zeit im Durchschnitt ca. eine Stunde weniger als bei Verzicht auf Fluoroskopie.

Wie von Reddy et al. (79) beschrieben, könnte die Behandlung mittels intrakardialer Echografie verkürzt und vereinfacht werden. Auch konnten wir eine Lernkurve der einzelnen Untersucher beobachten, die im Laufe der Studie zu kürzeren Untersuchungszeiten führte, was beispielsweise auch von Gist et al. (80) beschrieben wurde.

Es traten keine schwerwiegenden therapiebedürftigen Komplikationen wie ein Perikarderguss oder Ähnliches auf. Bei einem Patienten zeigte sich kurzzeitig ein spontan sistierender AV-Block ersten Grades. Bei einem anderen Patienten wurde akzidentiell Vorhofflimmern ausgelöst, welches wegen der noch bestehenden akzessorischen Bahn zu einer Breitkomplex-Tachykardie führte. Der Patient war jederzeit hämodynamisch stabil und konnte erfolgreich kardiovertiert und anschließend ablatiert werden.

In der Literatur wird beschrieben, dass durch die Anpresskraftkontrolle Komplikationen reduziert werden können, da vor allem im linken Herz nach Ablation nur noch ein geringerer Anpressdruck nötig ist, um eine Perforation zu verursachen (81-83).

Es ist davon auszugehen, dass die fluoroskopiefreie Ablation, vor allem mittels Anpresskraftkontrolle, auch für das linke Herz eine sichere Methode darstellt.

Vorhofflattern

Besonders erfolgreich zeigte sich die Ablation für das Vorhofflattern. 100 % der Patienten wurden primär erfolgreich ablatiert, und in beiden Gruppen wurde in der Follow-up-Periode kein Rezidiv festgestellt. Es traten keine Komplikationen bei der Behandlung auf.

Die Durchleuchtungszeit betrug im Durchschnitt 21 ± 15 min und es wurde eine Durchleuchtungsdosis von durchschnittlich 8 ± 12 Gy/cm² erreicht. In der fluoroskopiefreien Gruppe gelang es, diese Belastung vollständig zu eliminieren. In beiden Gruppen war keiner der Patienten unter 21 Jahre alt oder eine Frau im gebärfähigen Alter. Hier muss individuell abgewogen werden, ob die höheren Kosten der strahlenfreien Ablation durch einen Vorteil für den Patienten aufgewogen werden können.

In den meisten Fällen wird keine Anpresskraft bei der fluoroskopiefreien Methode benötigt und kann durch einen herkömmlichen RF-Katheter ersetzt werden, um eine Übertherapie zu vermeiden (55).

Die fluoroskopiefreie Ablation scheint eine sichere und effektive Methode zur kurativen Therapie des Vorhofflatterns zu sein. Dies berichteten bereits mehrere Studien (76, 84, 85).

AVNRT

In der fluoroskopiefreien Gruppe wurden 58 Patienten behandelt, in der Gruppe mit Fluoroskopiekontrolle 57 Patienten. In beiden Gruppen lag die Rezidivquote bei 10 % und es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen.

Die Rezidivquote liegt im Rahmen derer aus anderen Studien und bewegte sich von bis 5–9 % und einem Ausreißer mit 31 % (10, 77, 86-88). Die Patienten der Studien wurden bis zu vier Jahre nachuntersucht.

Die Gefahr eines AV-Blocks bei Ablation der AVNRT ist mit ca. 1 % in der Literatur angegeben (10). In Studien variiert sie von 1–25 % (19, 20, 87, 89). Mittels der Cryoablation und zunehmender Erfahrung des Untersuchers kann die Wahrscheinlichkeit gesenkt werden. Aber auch mit der zunehmenden Erfahrung des Untersuchers mit der RF-Ablation kann die Inzidenz gesenkt werden (90).

Bei einem Patienten unserer fluoroskopiefreien Kohorte mit atypischer AVNRT wurde mehr als 72 Stunden nach der Ablation ein AV-Block dritten Grades festgestellt, der mittels Schrittmacher versorgt wurde. Der Patient präsentierte während der Untersuchung eine atypische AVNRT, die bereits durch die vorzeitige Vorhofstimulation anläuft. Sie ist auch nach mehreren Energieabgaben am slow Pathway noch induzierbar und erfordert das Setzen weiterer Ablationspunkte. Vorher wurde jedoch von einem RF-Katheter auf einen gekühlten RF-Katheter gewechselt. Mittels eines Cryokatheters hätte sich die Komplikation vielleicht vermeiden lassen.

Wie bereits in anderen Studien (89, 91, 92), die eine Reduzierung der Durchleuchtungszeit mithilfe von elektroanatomischem Mapping erwirkt hatten, konnten wir zeigen, dass es sich um eine sichere und effiziente Möglichkeit für die Therapie der AVNRT handelt. Die Rezidivquote bewegt sich hier bei 6,5-10% und ist damit vergleichbar mit unseren Ergebnissen.

Auslösbarkeit

Eine These über die fluoroskopiefreie Katheterablation ist, dass die Auslösbarkeit für die Herzrhythmusstörung durch den Mappingvorgang herabgesetzt ist. Dies geschieht durch das Abfahren der Herzzinnenräume mit dem Mappingkatheter. Durch die mechanische Alteration der betroffenen Herzmuskelzellen leiten sie teilweise in einer anderen Geschwindigkeit als zuvor, oder gelangen in die Refraktärphase. Beide Mechanismen führen dazu, dass es nicht mehr zum Kreisen der Erregung kommen kann, da die ursprünglichen Pfade verändert wurden. Diese These haben wir speziell für die AVNRT untersucht. Sowohl bei der allgemeinen Auslösbarkeit als auch bei den eingesetzten Medikamenten zur Induktion konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen mit und ohne Fluoroskopie bestätigt werden.

Atriale Tachykardie

In unserem Kollektiv waren insgesamt 8 Patienten mit verschiedenen atrialen Tachykardien vertreten. Es wurden 3 Rezidive, alle innerhalb der ersten 3 Monate, festgestellt. Bei einem Patienten fand keine Ablation statt. Da es sich

um eine sehr heterogene Gruppe handelt gab es in der Vergleichsgruppe keine Patienten mit ähnlichen Herzrhythmusstörungen, sodass nur eingeschränkt Aussagen getroffen werden können. In der Literatur ist die primäre Erfolgsrate für die Therapie der EAT mit 86 % angegeben, wenn am Ort der frühesten Aktivierung ablatiert wird, und die Rezidivrate liegt bei 8 % (20, 93). Für die junctionale ektope Tachykardie ist die Erfolgsrate mit 90 % angegeben, jedoch tritt bei bis zu 10 % ein totaler AV-Block auf (20, 94).

Bei einem Patienten war keine Tachykardie induzierbar, weswegen auf die Ablation verzichtet werden musste. Bei den übrigen Patienten lag die primäre Erfolgsrate bei 100 %, jedoch gab es bei unserem übrigen kleinen Kollektiv eine hohe Rezidivrate von ca. 43 % (3/7).

Der Vorteil des strahlenfreien Mappings bei dieser Art der Rhythmusstörungen ist die Möglichkeit der Erstellung einer voltkodierten Karte, um die Katheter präzise an den richtigen Ort steuern zu können, was sich in einer kürzeren Untersuchungszeit niederschlagen könnte. Mit einem Mittelwert von 245 ± 123 min lag die Untersuchungszeit in diesem Kollektiv jedoch ca. 90 min über dem Durchschnitt des Gesamtkollektivs in der fluoroskopiefreien Kohorte. Dies ist auf die komplexen Fälle in der kleinen Gruppe zurückzuführen, die verschiedene Foci und teilweise auch verschiedene HRST präsentierten.

Auswirkung auf die klinische Routine und Benefit für die Untersucher

Bereits in mehreren Studien (95-98) wurde der Effekt der ionisierenden Strahlung auf den interventionellen Kardiologen untersucht. Er ist in der klinischen Routine hohen Dosen vor allem der linken Körperhälfte ausgesetzt. Roguin et al. sammelten Daten über linksseitige Hirntumore in dieser Berufsgruppe und konnten einige Fälle bei langjährig praktizierenden Ärzten aufdecken.

Durch die Elimination von Fluoroskopie in der täglichen Routine bei Ablationen kann die schädliche Wirkung der Strahlung im Berufsalltag des interventionellen Kardiologen reduziert werden, was den Beruf für Frauen attraktiver gestalten könnte. Persönliche Erfahrungen zeigen, dass das weibliche Geschlecht bei interventionell tätigen Ärzten (Kardiologen, Radiologen) deutlich unterrepräsentiert ist.

Erkrankungen des Bewegungsapparates stellen mit 21,1 % den zweithäufigsten Grund für Berufsunfähigkeit nach den Nervenerkrankungen dar, wie eine von Helberg Versicherungen ausgewertete Studie von Morgan & Morgan zeigt (99). Die Ärztezeitung (100) berichtete 2014, dass eine Auswertung der Daten der Techniker Krankenkasse ergab, dass 2013 ca. 40 Mio. Krankheitstage durch Rückenleiden entstanden sind. Goldsteil et al. (8) befragten 424 interventionelle Kardiologen, von denen 42 % angaben, an orthopädischen Problemen zu leiden. Die Rückenprobleme korrelierten mit der jährlichen Fallzahl der Ärzte. Diese Probleme könnten durch den selteneren Gebrauch der bis zu 5 kg schweren Bleischürzen durch Integrieren des elektroanatomischen Mappings in den Alltag reduziert werden. Auch müssten weniger Bleischürzen angeschafft und vorgehalten werden. Das Potential, hier Einsparungen zu treffen und durch eine niedrigere Krankheitsrate effizienter zu arbeiten, könnte die Anschaffung des teureren Mappingsystems für die Klinik lukrativer gestalten.

Limitationen

Eine wesentliche Limitation ist, dass es sich um eine retrospektive Studie handelt. Um zu zeigen, dass die fluoroskopiefreie EPU und Ablation der fluoroskopiekontrollierten Variante nicht unterlegen ist, sind weitere randomisierte kontrollierte Studien nötig, um mehr Daten zu gewinnen.

Es wurden nur Patienten mit symptomatischer Tachykardie eingeschlossen, und nicht alle Patienten wurden mittels Langzeit-EKG nachuntersucht.

Durch die Notwendigkeit der TEE-Kontrolle bei transseptaler Punktion und dem anspruchsvollen Mappingsystem konnte die fluoroskopiefreie Kohorte nur von erfahrenen Untersuchern behandelt werden.

Der Mappingvorgang und die aufwändigere transseptale Punktion haben die Door-to-Door-Zeit signifikant verlängert.

Da Kinder stärker von der fluoroskopiefreien Methode profitieren, unterscheiden sich die Studienpopulationen in der Altersverteilung. In weiteren Studien sollte versucht werden, dies anzugleichen, was ethisch aber nur schwer zu rechtfertigen ist, da immer mehr positive Ergebnisse zur strahlenfreien Ablation vorliegen.

Das deutsche DRG-System macht die Abrechnung der strahlenfreien Ablation komplizierter. So kann die Verwendung des 3D-Mapping mit CFM nur bei linksseitig gelegenen HRST vollständig abgerechnet werden. Da bei rechtsseitigen HRST oft kein CFM vonnöten ist, kann häufig nur die Verwendung des 3D-Mapping Systems abgerechnet werden. Die Verwendung der anderen Katheter (ohne CFM und Cryokatheter) können bei beiden Systemen gleich zurückerstattet werden. Im Vergleich ist die Behandlung der Patienten ohne Fluoroskopie jedoch deutlich kostenintensiver, da weniger Patienten pro Tag therapiert werden können und sich die Rückerstattung teilweise schwieriger gestaltet. Auch die Anschaffungskosten des Systems sind höher.

Zusammenfassung

Unsere Studie war eine der ersten welche die Katheterablation mittels 3D-Mapping in einem breiten Kollektiv von Patienten mit paroxysmalen rechts und linksseitigen supraventrikulären Tachykardien untersucht hat. In Zusammenschau der erstellten Daten und Analysen lässt sich feststellen, dass die fluoroskopiefreie Katheterablation der herkömmlichen Variante mit Fluoroskopie nicht unterlegen ist. Die Verwendung der Anpresskraftkontrolle gibt vor allem bei linksseitigen Herzrhythmusstörungen zusätzliche Sicherheit. Die Rezidivquote und die aufgetretenen Komplikationen unterschieden sich nicht signifikant von der Kontrollgruppe. Die Untersuchungszeit war bei der fluoroskopiefreien Patientenkohorte jedoch signifikant länger.

Nicht nur die Patienten profitieren von einer Untersuchung ohne Fluoroskopie, auch die Untersucher und Pflegenden werden keiner zusätzlichen Strahlung ausgesetzt und können auf die körperlich sehr belastenden Bleischürzen verzichten.

Die fluoroskopiefreie Ablation konnte gut in die klinische Routine eingegliedert werden und ist sicher und effizient.

Leider lässt sich feststellen, dass aufgrund der noch relativ hohen Kosten eine routinemäßige Verwendung nicht absehbar ist.

Die strahlenfreie Katheterablation gewinnt zunehmend an Beliebtheit und wird auch bereits an kleineren Häusern angewandt (101). Durch unsere Analysen, welche die Sicherheit und Effektivität bei rechts- und linksseitigen supraventrikulären Tachykardien bestätigte, konnten wir zur weiteren Verbreitung beitragen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Arbeitsoberfläche des NavX-Systems	15
Abbildung 2	Patienten die ohne Fluoroskopie behandelt wurden sind signifikant jünger.	20
Abbildung 3	Patienten die ohne Fluoroskopie behandelt wurden sind signifikant kleiner.	21
Abbildung 4	Patienten die ohne Fluoroskopie behandelt wurden sind signifikant leichter.	22
Abbildung 5	Verteilung der verschiedenen Herzrhythmusstörungen ...	23
Abbildung 6	Die gewählten Ablationsverfahren unterscheiden sich in den beiden Kohorten nicht signifikant.	24
Abbildung 7	Die Behandlung ohne Fluoroskopie dauert signifikant länger.	25
Abbildung 8	Balkendiagramm zur Verwendung der Anpresskraftkontrolle	28
Abbildung 9	Art und Häufigkeit der eingesetzten Medikamente für die Induktion der AVNRT unterscheiden sich in beiden Kohorten nicht signifikant.	29
Abbildung 10	Es gab keinen signifikanten Unterschied bei der Auslösbarkeit der Herzrhythmusstörungen in beiden Kohorten.	30
Abbildung 11	Das rezidivfreie Überleben in beiden Kohorten unterscheidet sich nicht signifikant.	32
Abbildung 12	Das rezidivfreie Überleben bei Patienten mit AVNRT in beiden Kohorten unterscheidet sich nicht signifikant	33
Abbildung 13	Bei Patienten mit AVNRT der strahlenfreien Kohorte gibt es bei der Cryoablation signifikant mehr Rezidive.	34
Abbildung 14	Bei Patienten mit WPW-Syndrom in beiden Kohorten gibt es keinen Unterschied bezüglich des Rezidivfreien Überleben.	35
Abbildung 15	Kaplan-Meier-Kurve zum rezidivfreien Überleben bei Patienten mit atrialen Tachykardien	37

Abbildung 16 Es gab keinen signifikanten Unterschied bezüglich der
Komplikationen in beiden Kohorten.39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Vergleich der Strahlendosis in beiden Kohorten	26
Tabelle 2	Vergleich der Durchleuchtungszeit in beiden Kohorten	26
Tabelle 3	Vergleich des unmittelbaren Therapieerfolgs in beiden Kohorten	27
Tabelle 4	Vergleich von Gebrauch des CFM bei verschiedenen HRST in beiden Kohorten	28
Tabelle 5	Vergleich der Art der Ablation bei Patienten mit Komplikation in beiden Kohorten	40

Literaturverzeichnis

1. Lüderitz B, Manz M. Pharmacologic treatment of supraventricular tachycardia: the German experience. *AM J Cardiol.* 1992.
2. Calkins H, Ajit Kumar V, Francis J. Radiofrequency Catheter Ablation of Supraventricular Tachycardia. *Indian Pacing and Electrophysiology Journal.* 2002;2(2):45-9.
3. Katriotis D, Camm A. Are antiarrhythmic drugs safe? *Clinical Cardiology.* 1990.
4. Rhythmuschirurgie. Leitfaden Erwachsenenherzchirurgie. Darmstadt: Steinkopff; 2007. p. 151-70.
5. Clay MA, Campbell RM, Strieper M, Frias PA, Stevens M, Mahle WT. Long-term risk of fatal malignancy following pediatric radiofrequency ablation. *The American journal of cardiology.* 2008;102(7):913-5.
6. Ernst S, Castellano I. Radiation exposure and safety for the electrophysiologist. *Curr Cardiol Rep.* 2013;15(10):402.
7. Linet MS, Slovis TL, Miller DL, Kleinerman R, Lee C, Rajaraman P, et al. Cancer Risks Associated with External Radiation From Diagnostic Imaging Procedures. *CA: a cancer journal for clinicians.* 2012;62(2):75-100.
8. Goldstein JA, Balter S, Cowley M, Hodgson J, Klein LW. Occupational hazards of interventional cardiologists: prevalence of orthopedic health problems in contemporary practice. *Catheterization and cardiovascular interventions : official journal of the Society for Cardiac Angiography & Interventions.* 2004;63(4):407-11.

9. Wood KA, Stewart AL, Drew BJ, Scheinman MM, Froelicher ES. Patient perception of symptoms and quality of life following ablation in patients with supraventricular tachycardia. *Heart & lung : the journal of critical care.* 2010;39(1):12-20.
10. Longo F, Kasper, Hauser, Jameson, Loscalzo. *Harrisons Innere Medizin.* 18. Auflage ed2012.
11. Kerst G, Weig HJ, Weretka S, Seizer P, Hofbeck M, Gawaz M, et al. Contact force-controlled zero-fluoroscopy catheter ablation of right-sided and left atrial arrhythmia substrates. *Heart Rhythm.* 2012;9(5):709-14.
12. Blomstrom-Lundqvist C, Scheinman MM, Aliot EM, Alpert JS, Calkins H, Camm AJ, et al. 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). *Circulation.* 2003;108(15):1871-909.
13. Orejarena LA, Vidaillet H, Jr., DeStefano F, Nordstrom DL, Vierkant RA, Smith PN, et al. Paroxysmal supraventricular tachycardia in the general population. *Journal of the American College of Cardiology.* 1998;31(1):150-7.
14. Paul T, Gebauer R, Kriebel T, Schneider H, Janoušek J. S2k Leitlinie Pädiatrische Kardiologie: Tachykardie Herzrhythmusstörungen im Kindes- und Jugendalter. 2011. p. 1-24.

15. Poutiainen AM, Koistinen MJ, Airaksinen KE, Hartikainen EK, Kettunen RV, Karjalainen JE, et al. Prevalence and natural course of ectopic atrial tachycardia. *European heart journal*. 1999;20(9):694-700.
16. Chen SA, Chiang CE, Yang CJ, Cheng CC, Wu TJ, Wang SP, et al. Sustained atrial tachycardia in adult patients. Electrophysiological characteristics, pharmacological response, possible mechanisms, and effects of radiofrequency ablation. *Circulation*. 1994;90(3):1262-78.
17. Saoudi N, Cosio F, Waldo A, Chen SA, Iesaka Y, Lesh M, et al. A classification of atrial flutter and regular atrial tachycardia according to electrophysiological mechanisms and anatomical bases; a Statement from a Joint Expert Group from The Working Group of Arrhythmias of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European heart journal*. 2001;22(14):1162-82.
18. Kalman JM, Olgin JE, Karch MR, Hamdan M, Lee RJ, Lesh MD. "Cristal tachycardias": origin of right atrial tachycardias from the crista terminalis identified by intracardiac echocardiography. *Journal of the American College of Cardiology*. 1998;31(2):451-9.
19. Erdmann E, Hoppe UC. *Klinische Kardiologie*: Springer; 2011.
20. Kuck KH, Ernst S, Dorwarth U, Hoffmann E, Pitschner H, Tebbenjohanns J, et al. [Guidelines for catheter ablation]. *Clin Res Cardiol*. 2007;96(11):833-49.
21. Krankenhausstatistik - Diagnosedaten der Patienten und Patientinnen in Krankenhäusern SB. *Diagnosedaten der Krankenhäuser ab 2000 - Vorhofflattern*. 2015.
22. Issa ZF, Miller JM, Zipes DP. *Clinical Arrhythmology and Electrophysiology - A Companion to Braunwald's Heart Disease*: Elsevier 2012.

- 23.** Naccarelli GV, Dorian P, Hohnloser SH, Coumel P. Prospective comparison of flecainide versus quinidine for the treatment of paroxysmal atrial fibrillation/flutter. The Flecainide Multicenter Atrial Fibrillation Study Group. *The American journal of cardiology.* 1996;77(3):53a-9a.
- 24.** Singh S, Zoble RG, Yellen L, Brodsky MA, Feld GK, Berk M, et al. Efficacy and safety of oral dofetilide in converting to and maintaining sinus rhythm in patients with chronic atrial fibrillation or atrial flutter: the symptomatic atrial fibrillation investigative research on dofetilide (SAFIRE-D) study. *Circulation.* 2000;102(19):2385-90.
- 25.** Volgman AS, Carberry PA, Stambler B, Lewis WR, Dunn GH, Perry KT, et al. Conversion efficacy and safety of intravenous ibutilide compared with intravenous procainamide in patients with atrial flutter or fibrillation. *Journal of the American College of Cardiology.* 1998;31(6):1414-9.
- 26.** Chiladakis JA, Kalogeropoulos A, Patsouras N, Manolis AS. Ibutilide added to propafenone for the conversion of atrial fibrillation and atrial flutter. *Journal of the American College of Cardiology.* 2004;44(4):859-63.
- 27.** Tai CT, Chen SA. Cavotricuspid isthmus: anatomy, electrophysiology, and long-term outcome of radiofrequency ablation. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2009;32(12):1591-5.
- 28.** Lanzarotti CJ, Olshansky B. Thromboembolism in chronic atrial flutter: is the risk underestimated? *Journal of the American College of Cardiology.* 1997;30(6):1506-11.
- 29.** Lip GY, Kamath S. Thromboprophylaxis for atrial flutter. *European heart journal.* 2001;22(12):984-7.

30. Seidl K, Hauer B, Schwick NG, Zellner D, Zahn R, Senges J. Risk of thromboembolic events in patients with atrial flutter. *The American journal of cardiology*. 1998;82(5):580-3.
31. Wieczorek. *Kursbuch Kardiologische Elektrophysiologie*: Georg Thieme Verlag KG; 2009.
32. Sung RJ, Waxman HL, Saksena S, Juma Z. Sequence of retrograde atrial activation in patients with dual atrioventricular nodal pathways. *Circulation*. 1981;64(5):1059-67.
33. Akhtar M, Jazayeri MR, Sra J, Blanck Z, Deshpande S, Dhala A. Atrioventricular nodal reentry. Clinical, electrophysiological, and therapeutic considerations. *Circulation*. 1993;88(1):282-95.
34. Alboni P, Tomasi C, Menozzi C, Bottoni N, Paparella N, Fuca G, et al. Efficacy and safety of out-of-hospital self-administered single-dose oral drug treatment in the management of infrequent, well-tolerated paroxysmal supraventricular tachycardia. *Journal of the American College of Cardiology*. 2001;37(2):548-53.
35. Neuss H, Schlepper M. Long-term efficacy and safety of flecainide for supraventricular tachycardia. *The American journal of cardiology*. 1988;62(6):56d-61d.
36. Krause U, Backhoff D, Klehs S, Kriebel T, Paul T, Schneider HE. Catheter ablation of pediatric AV nodal reentrant tachycardia: results in small children. *Clin Res Cardiol*. 2015;104(11):990-7.
37. Backhoff D, Klehs S, Muller MJ, Schneider HE, Kriebel T, Paul T, et al. Long-Term Follow-Up After Catheter Ablation of Atrioventricular Nodal Reentrant Tachycardia in Children. *Circulation Arrhythmia and electrophysiology*. 2016;9(11).

38. Drago F. Paediatric catheter cryoablation: techniques, successes and failures. *Current opinion in cardiology*. 2008;23(2):81-4.
39. Lown B, Ganong WF, Levine SA. The syndrome of short P-R interval, normal QRS complex and paroxysmal rapid heart action. *Circulation*. 1952;5(5):693-706.
40. Wolff L, Parkinson J, White PD. Bundle-branch block with short P-R interval in healthy young people prone to paroxysmal tachycardia. 1930. *Annals of noninvasive electrocardiology : the official journal of the International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology, Inc.* 2006;11(4):340-53.
41. Santinelli V, Radinovic A, Manguso F, Vicedomini G, Gulletta S, Paglino G, et al. The natural history of asymptomatic ventricular pre-excitation a long-term prospective follow-up study of 184 asymptomatic children. *Journal of the American College of Cardiology*. 2009;53(3):275-80.
42. Pappone C, Manguso F, Santinelli R, Vicedomini G, Sala S, Paglino G, et al. Radiofrequency ablation in children with asymptomatic Wolff-Parkinson-White syndrome. *The New England journal of medicine*. 2004;351(12):1197-205.
43. Scheinman M, Calkins H, Gillette P, Klein R, Lerman BB, Morady F, et al. NASPE policy statement on catheter ablation: personnel, policy, procedures, and therapeutic recommendations. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2003;26(3):789-99.
44. Helmy I, Scheinman MM, Herre JM, Sharkey H, Griffin JC. Electrophysiologic effects of isoproterenol in patients with atrioventricular reentrant tachycardia treated with flecainide. *Journal of the American College of Cardiology*. 1990;16(7):1649-55.

45. Berge PG, Winter UJ, Hoffmann M, Albrecht D, Hopp HW, Hilger HH. [Local vascular complications in heart catheter studies]. Zeitschrift für Kardiologie. 1993;82(7):449-56.
46. Hallett JW, Jr., Wolk SW, Cherry KJ, Jr., Gloviczki P, Pairolero PC. The femoral neuralgia syndrome after arterial catheter trauma. Journal of vascular surgery. 1990;11(5):702-6.
47. H L, I K. Das Herzkatheterbuch: Thieme; 2013. 429 p.
48. Dalsgaard AB, Jakobsen CS, Riahi S, Hjortshøj S. Groin hematoma after electrophysiological procedures-incidence and predisposing factors. Scandinavian cardiovascular journal : SCJ. 2014;48(5):311-6.
49. Antoniadis G, Kretschmer T, Pedro MT, König RW, Heinen CP, Richter HP. Iatrogenic nerve injuries: prevalence, diagnosis and treatment. Dtsch Arztebl Int. 2014;111(16):273-9.
50. Washington Heart Rhythm Associates MM. Treatment for AV Nodal Reentrant Tachycardia [Available from: <http://www.washingtonhra.com/arrhythmias/av-nodal-reentrant-tachycardia-avnrt.php>].
51. Calkins H, Niklason L, Sousa J, el-Atassi R, Langberg J, Morady F. Radiation exposure during radiofrequency catheter ablation of accessory atrioventricular connections. Circulation. 1991;84(6):2376-82.
52. Ott B. Interventionelle Radiologie - Schutz in der Fluoroskopie. In: Radiology SCo, editor. 2012.
53. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlung (Röntgenverordnung - RöV). 2010.

54. Walker MS. Effektivität und Sicherheit der Katheterablation bei Vorhofflimmern: Ergebnisse des prospektiven, multizentrischen Vorhofflimmerablationsregisters. Hamburg2012.
55. Seizer P, Bucher V, Frische C, Heinzmann D, Gramlich M, Müller I, et al. Efficacy and safety of zero-fluoroscopy ablation for supraventricular tachycardias. Use of optional contact force measurement for zero-fluoroscopy ablation in a clinical routine setting. *Herz*. 2016;41(3):241-5.
56. Medical SJ. EnSite™ Velocity™ Cardiac Mapping System Instructions for Use2015.
57. Wittkamp FH, Wever EF, Derksen R, Wilde AA, Ramanna H, Hauer RN, et al. Localisa: new technique for real-time 3-dimensional localization of regular intracardiac electrodes. *Circulation*. 1999;99(10):1312-7.
58. Bigelow AM, Smith G, Clark JM. Catheter Ablation Without Fluoroscopy: Current Techniques And Future Direction. *Journal of atrial fibrillation*. 2014;6(6):1066.
59. Medical SJ. ENSITE™ NAVX™ NAVIGATION AND VISUALIZATION TECHNOLOGY 2013 [Available from: <https://www.sjm.com/professionals/resources-and-reimbursement/technical-resources/electrophysiology/mapping-visualization/ensite-velocity-system-disposable-products/ensite-navx-navigation-and-visualization-technology?halert=show&clset=af584191-45c9-4201-8740-5409f4cf8bdd%3ab20716c1-c2a6-4e4c-844b-d0dd6899eb3a>].
60. Ma Y, Qiu J, Yang Y, Tang A. Catheter Ablation of Right-Sided Accessory Pathways in Adults Using the Three-Dimensional Mapping System: A

Randomized Comparison to the Conventional Approach. PloS one. 2015;10(6):e0128760.

61. Skanes AC, Klein G, Krahn A, Yee R. Cryoablation: potentials and pitfalls. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2004;15(10 Suppl):S28-34.
62. Leila R, Raluca P, Yves G, Dirk S, Bruno S. Cryoablation Versus Radiofrequency Ablation in AVNRT: Same Goal, Different Strategy. *Journal of atrial fibrillation.* 2015;8(1):1220.
63. Lowe MD, Meara M, Mason J, Grace AA, Murgatroyd FD. Catheter cryoablation of supraventricular arrhythmias: a painless alternative to radiofrequency energy. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2003;26(1 Pt 2):500-3.
64. Haines DE. The biophysics of radiofrequency catheter ablation in the heart: the importance of temperature monitoring. *Pacing Clin Electrophysiol.* 1993;16(3 Pt 2):586-91.
65. Thiagalingam A, D'Avila A, Foley L, Guerrero JL, Lambert H, Leo G, et al. Importance of catheter contact force during irrigated radiofrequency ablation: evaluation in a porcine ex vivo model using a force-sensing catheter. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2010;21(7):806-11.
66. Neuzil P, Reddy VY, Kautzner J, Petru J, Wichterle D, Shah D, et al. Electrical reconnection after pulmonary vein isolation is contingent on contact force during initial treatment: results from the EFFICAS I study. *Circulation Arrhythmia and electrophysiology.* 2013;6(2):327-33.
67. Perna F, Heist EK, Danik SB, Barrett CD, Ruskin JN, Mansour M. Assessment of catheter tip contact force resulting in cardiac perforation in swine atria using force sensing technology. *Circulation Arrhythmia and electrophysiology.* 2011;4(2):218-24.

68. Okumura Y, Johnson SB, Bunch TJ, Henz BD, O'Brien CJ, Packer DL. A systematical analysis of in vivo contact forces on virtual catheter tip/tissue surface contact during cardiac mapping and intervention. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2008;19(6):632-40.
69. Hanninen M, Yeung-Lai-Wah N, Massel D, Gula LJ, Skanes AC, Yee R, et al. Cryoablation versus RF ablation for AVNRT: A meta-analysis and systematic review. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2013;24(12):1354-60.
70. Rodriguez-Entem FJ, Exposito V, Gonzalez-Enriquez S, Olalla-Antolin JJ. Cryoablation versus radiofrequency ablation for the treatment of atrioventricular nodal reentrant tachycardia: results of a prospective randomized study. *Journal of interventional cardiac electrophysiology : an international journal of arrhythmias and pacing.* 2013;36(1):41-5; discussion 5.
71. Reents T, Springer B, Ammar S, Wu J, Fichtner S, Jilek C, et al. Long-term follow-up after cryoablation for adolescent atrioventricular nodal reentrant tachycardia: recurrence is not predictable. *Europace.* 2012;14(11):1629-33.
72. Cokkinakis C, Avramidis D, Alexopoulos C, Kirvassilis G, Papagiannis J. Cryoablation of atrioventricular nodal reentrant tachycardia in children and adolescents: improved long-term outcomes with increasing experience. *Hellenic journal of cardiology : HJC = Hellenike kardiologike epitheorese.* 2013;54(3):186-91.
73. Calkins H, Yong P, Miller JM, Olshansky B, Carlson M, Saul JP, et al. Catheter ablation of accessory pathways, atrioventricular nodal reentrant tachycardia, and the atrioventricular junction: final results of a prospective, multicenter clinical trial. The Atakr Multicenter Investigators Group. *Circulation.* 1999;99(2):262-70.

74. Lee MA, Morady F, Kadish A, Schamp DJ, Chin MC, Scheinman MM, et al. Catheter modification of the atrioventricular junction with radiofrequency energy for control of atrioventricular nodal reentry tachycardia. *Circulation*. 1991;83(3):827-35.
75. Krause U, Backhoff D, Klehs S, Kriebel T, Paul T, Schneider HE. Catheter ablation of pediatric AV nodal reentrant tachycardia: results in small children. *Clin Res Cardiol*. 2015.
76. Deutsch K, Sledz J, Mazij M, Ludwik B, Labus M, Karbarz D, et al. Maximum voltage gradient technique for optimization of ablation for typical atrial flutter with zero-fluoroscopy approach. *Medicine*. 2017;96(25):e6939.
77. Kugler JD, Danford DA, Houston KA, Felix G. Pediatric radiofrequency catheter ablation registry success, fluoroscopy time, and complication rate for supraventricular tachycardia: comparison of early and recent eras. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2002;13(4):336-41.
78. Stec S, Sledz J, Mazij M, Ras M, Ludwik B, Chrabaszcz M, et al. Feasibility of implementation of a "simplified, No-X-Ray, no-lead apron, two-catheter approach" for ablation of supraventricular arrhythmias in children and adults. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2014;25(8):866-74.
79. Reddy VY, Morales G, Ahmed H, Neuzil P, Dukkipati S, Kim S, et al. Catheter ablation of atrial fibrillation without the use of fluoroscopy. *Heart Rhythm*. 2010;7(11):1644-53.
80. Gist K, Tigges C, Smith G, Clark J. Learning curve for zero-fluoroscopy catheter ablation of AVNRT: early versus late experience. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2011;34(3):264-8.
81. Tilz RR, Makimoto H, Lin T, Rillig A, Metzner A, Mathew S, et al. In vivo left-ventricular contact force analysis: comparison of antegrade transseptal with

retrograde transaortic mapping strategies and correlation of impedance and electrical amplitude with contact force. *Europace*. 2014;16(9):1387-95.

82. Shah D, Lambert H, Langenkamp A, Vanenkov Y, Leo G, Gentil-Baron P, et al. Catheter tip force required for mechanical perforation of porcine cardiac chambers. *Europace*. 2011;13(2):277-83.
83. Kerst G, Parade U, Weig HJ, Hofbeck M, Gawaz M, Schreieck J. A novel technique for zero-fluoroscopy catheter ablation used to manage Wolff-Parkinson-White syndrome with a left-sided accessory pathway. *Pediatric cardiology*. 2012;33(5):820-3.
84. Macias R, Uribe I, Tercedor L, Jimenez J, Barrio T, Alvarez M. A zero-fluoroscopy approach to cavotricuspid isthmus catheter ablation: comparative analysis of two electroanatomical mapping systems. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2014;37(8):1029-37.
85. Hindricks G, Willems S, Kautzner J, De Chillou C, Wiedemann M, Schepel S, et al. Effect of electroanatomically guided versus conventional catheter ablation of typical atrial flutter on the fluoroscopy time and resource use: a prospective randomized multicenter study. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2009;20(7):734-40.
86. Kay GN, Epstein AE, Dailey SM, Plumb VJ. Selective radiofrequency ablation of the slow pathway for the treatment of atrioventricular nodal reentrant tachycardia. Evidence for involvement of perinodal myocardium within the reentrant circuit. *Circulation*. 1992;85(5):1675-88.
87. Jazayeri MR, Hempe SL, Sra JS, Dhala AA, Blanck Z, Deshpande SS, et al. Selective transcatheter ablation of the fast and slow pathways using radiofrequency energy in patients with atrioventricular nodal reentrant tachycardia. *Circulation*. 1992;85(4):1318-28.

88. Kriebel T, Bertram H, Windhagen-Mahnert B, Bokenkamp R, Kaulitz R, Rohloff A, et al. [Atrioventricular nodal reentry tachycardia in children: curative treatment by high frequency catheter ablation]. *Zeitschrift fur Kardiologie*. 2000;89(6):538-45.
89. Scaglione M, Ebrille E, Caponi D, Blandino A, P DID, Siboldi A, et al. Single center experience of fluoroles AVNRT ablation guided by electroanatomic reconstruction in children and adolescents. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2013;36(12):1460-7.
90. Hindricks G. Incidence of complete atrioventricular block following attempted radiofrequency catheter modification of the atrioventricular node in 880 patients. Results of the Multicenter European Radiofrequency Survey (MERFS) The Working Group on Arrhythmias of the European Society of Cardiology. *European heart journal*. 1996;17(1):82-8.
91. Kopelman HA, Prater SP, Tondato F, Chronos NA, Peters NS. Slow pathway catheter ablation of atrioventricular nodal re-entrant tachycardia guided by electroanatomical mapping: a randomized comparison to the conventional approach. *Europace*. 2003;5(2):171-4.
92. See J, Amora JL, Lee S, Lim P, Teo WS, Tan BY, et al. Non-fluoroscopic navigation systems for radiofrequency catheter ablation for supraventricular tachycardia reduce ionising radiation exposure. *Singapore medical journal*. 2016;57(7):390-5.
93. Natale A, Breeding L, Tomassoni G, Rajkovich K, Richey M, Beheiry S, et al. Ablation of right and left ectopic atrial tachycardias using a three-dimensional nonfluoroscopic mapping system. *The American journal of cardiology*. 1998;82(8):989-92.

- 94.** Scheinman MM, Gonzalez RP, Cooper MW, Lesh MD, Lee RJ, Epstein LM. Clinical and electrophysiologic features and role of catheter ablation techniques in adult patients with automatic atrioventricular junctional tachycardia. *The American journal of cardiology*. 1994;74(6):565-72.
- 95.** Andreassi MG, Cioppa A, Botto N, Joksic G, Manfredi S, Federici C, et al. Somatic DNA damage in interventional cardiologists: a case-control study. *FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*. 2005;19(8):998-9.
- 96.** Zakeri F, Hirobe T, Akbari Noghabi K. Biological effects of low-dose ionizing radiation exposure on interventional cardiologists. *Occupational medicine (Oxford, England)*. 2010;60(6):464-9.
- 97.** Maluf SW, Passos DF, Bacelar A, Speit G, Erdtmann B. Assessment of DNA damage in lymphocytes of workers exposed to X-radiation using the micronucleus test and the comet assay. *Environmental and molecular mutagenesis*. 2001;38(4):311-5.
- 98.** Cardoso RS, Takahashi-Hyodo S, Peitl P, Jr., Ghilardi-Neto T, Sakamoto-Hojo ET. Evaluation of chromosomal aberrations, micronuclei, and sister chromatid exchanges in hospital workers chronically exposed to ionizing radiation. *Teratogenesis, carcinogenesis, and mutagenesis*. 2001;21(6):431-9.
- 99.** Versicherungsmarker H. Berufsunfähigkeit Ursachen – mehr als Statistik: Leistungsfälle 2017 [Available from: <https://www.helberg.info/versicherungen/versicherungssparten/berufsunfaehigkeitsversicherung/berufsunfaehigkeit-ursachen/>].
- 100.** chb. Ein Kreuz mit dem Kreuz - 40 Millionen Fehltag 2014 [Available from: https://www.aerztezeitung.de/politik_gesellschaft/krankenkassen/article/863363/kreuz-kreuz-40-millionen-fehltage-wegen-rueckenschmerzen.html].

- 101.** Haegeli LM, Stutz L, Mohsen M, Wolber T, Brunckhorst C, On CJ, et al. Feasibility of zero or near zero fluoroscopy during catheter ablation procedures. *Cardiology journal*. 2018.

Erklärung zum Eigenanteil der Dissertation

Die Arbeit wurde in der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen Abteilung für Innere Medizin III (Schwerpunkte: Kardiologie und Kreislauferkrankungen) unter der Betreuung von Prof. Dr. Seizer durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Seizer und PD Dr. Schrieck.

Die Behandlung der Patienten erfolgte durch das Team der Elektrophysiologie der Uniklinik Tübingen und die Daten wurden von mir aus den verschiedenen Kliniksystemen ausgelesen.

Die statistische Auswertung erfolgte durch mich nach Beratung durch das Institut für Biometrie, vertreten durch Frau Naumann.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 31.05.2018

Veröffentlichungen

Teile der Arbeit wurden bereits veröffentlicht. Eine Teilauswertung der Daten war in folgenden Publikationen und Vorträgen enthalten:

Seizer, P.; Bucher, V.; Frische, C.; Heinzmann, D.; Gramlich, M.; Mueller, I.; Henning, A.; Hofbeck, M.; Kerst, G.; Gawaz, M.; Schreieck J - *Efficacy and safety of zero-fluoroscopy ablation for supraventricular tachycardias. Use of optional contact force measurement for zero-fluoroscopy ablation in a clinical routine setting.* - Herz (2016), Bd. 41, H. 3, S. 241-245

P. Seizer, V. Bucher, K. Rizas, C. Frische, K. Müller, I. Müller, A. Henning, G. Kerst, M. Hofbeck, M. Gawaz, J. Schreieck - *Zerofluoroscopic Catheter Ablation of all type of supraventricular arrhythmia* - Clin Res Cardiol 103, Suppl 1, April 2014 (80. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie)

P. Seizer, V. Bucher, C. Frische, I. Müller, K. Müller, A. Henning, G. Kerst, M. Hofbeck, M. Gawaz, J. Schreieck - *Zerofluoroscopic catheter ablation of supraventricular arrhythmias* - September 2014, Congress of the European-Society-of-Cardiology (ESC) , European Heart Journal Volume: 35

Danksagung

An dem Gelingen meiner Arbeit waren viele Menschen beteiligt, denen ich Dank schulde.

An erster Stelle möchte ich meinen Doktorvater Professor Doktor Peter Seizer nennen. Danke, dass Du mich über die ganze Zeit betreut hast, mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden bist und für Fragen ein offenes Ohr hattest. Ohne Dich wäre diese Doktorarbeit nie entstanden.

Christian Frische hat mich vor allem bei unseren pädiatrischen Patienten unterstützt und mir freundlicherweise das Bildmaterial seiner Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Herzlichen Dank!

Auch möchte ich dem ganzen Team der EPU danken, ohne Euch wäre die Datenerhebung um einiges komplizierter gewesen. Vor allem Dieter Siemeister-Sonntag, der mich seinen lieben Worten immer wieder motiviert hat und sich im EPU-Labor sowie mit allen Programmen einfach perfekt auskennt und sein Wissen mit mir geteilt hat.

Herrn PD Dr. Schreieck möchte ich für Möglichkeit diese Arbeit in seiner Abteilung durchzuführen danken und auch für die zahlreichen Untersuchungen, die er für meine Studie durchgeführt hat.

Liebe Viki, danke, dass Du meine Arbeit gelesen und so schnell korrigiert hast, auch wenn Du mit medizinischen Themen eigentlich sonst nicht viel zu tun hast. Nicht zu vergessen Charlotte, Katja und Tanja, die über die ganze Zeit Freud und Leid mit mir geteilt haben und mich durch mein gesamtes Studium bis heute begleiten und unterstützen.

Darüberhinaus gilt mein Dank meinen Eltern und Johannes. Ihr habt mich regelmäßig angeregt diese Arbeit fertigzustellen – vor allem in meinen schwachen Phasen.

Curriculum vitae

Persönliche Daten

Name: Veronika Katharina Franziska Bucher
Geburtstag: 24.08.1988
Geburtsort: München

Schulbildung

1995 – 1999 Grundschule am Dom-Pedro-Platz in München
1999 – 2008 Adolf-Weber-Gymnasium in München
2009 – 2010 Walner-Schulen, Ausbildung zur Rettungsassistentin

Hochschulausbildung

09/10 - 03/11 Studium der Humanmedizin an der medizinischen Fakultät der Semmelweis Universität Budapest
04/11 - 06/17 Studium der Humanmedizin an der medizinischen Fakultät der Eberhard Karls Universität Tübingen
03/13 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
04/16 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
05/17 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
12.06.2017 Approbation als Ärztin

Praktisches Jahr

05/16 – 08/16 Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Tübingen
09/16 – 12/16 Innere Medizin, Barmherzige Brüder München
12/16 – 05/17 Allgemein-, Viszeral und Transplantationschirurgie und Kinderchirurgie, Universitätsklinikum Tübingen

Aktuelle Anstellung

10/17 – heute Weiterbildungsassistentin in der Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum Tübingen