

Herzschr Elektrophys 2014 · 25:252–257  
DOI 10.1007/s00399-014-0327-5  
Eingegangen: 2. April 2014  
Angenommen: 12. Juni 2014  
Online publiziert: 27. August 2014  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

**Christan Mahnkopf · Marcel Mitlacher · Johannes Brachmann**

Klinikum Coburg, II. Medizinische Klinik, Klinik für Kardiologie, Angiologie, Pneumologie,  
Coburg, Deutschland

# Relevanz der Magnetresonanztomographie für die Katheterablation von Vorhofflimmern

## Einleitung

Vorhofflimmern (VHF) ist ein global wachsendes Gesundheitsproblem, mit einer geschätzten Prävalenz von 16 Mio. Fällen bis zum Jahr 2050 alleine in den USA [1]. VHF ist häufig mit körperlichen Symptomen, wie z. B. Palpitationen oder Schwindel, assoziiert, etwa 30% der Patienten sind allerdings asymptomatisch. Dies führt zu einer Verzögerung bei der Diagnosestellung, wobei diese Verzögerung nicht nur zu einer persistierenden Form des VHF führen kann, sondern auch das Fortschreiten von strukturellen Veränderungen des linken Vorhofs im Sinne einer atrialen Fibrose begünstigt, welche wiederum als Substrat für VHF dient [2].

Die Entdeckung der ektopten Aktivität aus den Pulmonalvenen als Trigger für VHF durch Haissaguerre et al. [3] war Grundlagen des Konzepts der Pulmonalvenenisolation (PVI). Die Erfolgsraten dieser Therapie haben sich durch die Entwicklung von neuen Ablationsstrategien in den letzten Jahren deutlich verbessert. Um die mitunter beschriebenen Erfolgsraten von 70–80% [4] zu erreichen, sind allerdings z. T. wiederholte Ablationen notwendig, und nicht außer Acht zu lassen ist die Tatsache, dass das Risiko für das Auftreten von bedeutsamen Komplikationen bei ca. 5% liegt [5]. Innovative Ansätze und die stetige Weiterentwicklung in der kardialen Magnetresonanztomographie (cMRT) haben uns in die Lage versetzt, die Erfolgsraten von VHF-Ablationen bei einer gleichzeitigen Reduktion

der Komplikationen (z. B. Pulmonalvenenstenosen oder atrioösophageale Fistel) zu verbessern.

Insbesondere die Technik der kontrastmittelverstärkten Spätaufnahmen (Late-Gadolinium-MRT, LGE-MRT) hat Vorteile gegenüber anderen bildgebenden Verfahren wie der Echokardiographie und der Computertomographie (CT), da es eine direkte Visualisierung der linksatrialen Fibrose bei Patienten mit Vorhofflimmern erlaubt [6]. Diese innovativen Ansätze, welche die Beurteilung der linksatrialen Kardiomyopathie in den Vordergrund stellen, führen zu der Möglichkeit, mit Hilfe des cMRT einen individuellen Therapieansatz für Patienten mit Vorhofflimmern zu erstellen. Zudem erscheint es mit Hilfe des cMRT möglich, das Risiko von Schlaganfällen einzuschätzen und mögliche Komplikationen einer invasiven Ablationsbehandlung früh zu erkennen. Im klinischen Alltag hat sich die Durchführung einer cMRT sowohl vor als auch im Verlauf nach PVI etabliert. Dieser Artikel wird auf die Möglichkeiten und den Nutzen der cMRT zu den jeweiligen Zeitpunkten unter Berücksichtigung der aktuellen Publikationen eingehen.

## Einsatz der cMRT vor einer Pulmonalvenenisolation

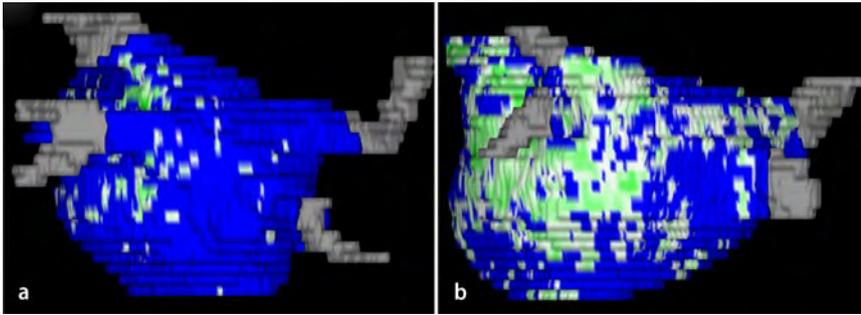
Heute besteht im klinischen Alltag die Indikation für die Durchführung einer präprozeduralen cMRT hauptsächlich in der Erstellung einer 3D-MRT-Angiographie (3D-MRA) des linken Vorhofs. Diese Angiographie erlaubt es, anatomische Varia-

tionen, wie z. B. gemeinsame Einmündungen der Pulmonalvenen in den linken Vorhof, zu detektieren. Frühere Ergebnisse deuten darauf hin, dass diese Varianten einen Einfluss auf den Erfolg einer Ablationsbehandlung haben könnten [7]. Außerdem lassen sich durch die Darstellung der anatomischen Variabilität zusätzliche Venen als mögliche Foki von VHF darstellen [8].

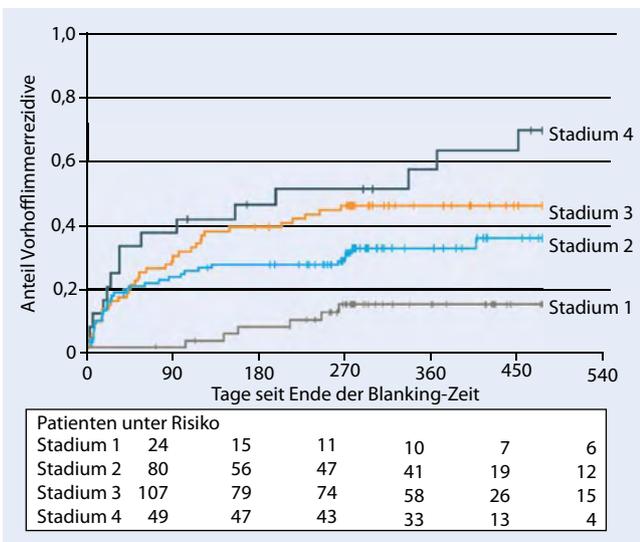
Die Fusion einer 3D-MRA mit der Fluoroskopie und elektroanatomischen Maps ermöglicht die Visualisierung von umliegenden anatomischen Strukturen, wie z. B. dem Ösophagus und der Aorta, und reduziert das Auftreten von schwerwiegenden Komplikationen [9]. Die gemeinsame Nutzung der unterschiedlichen bildgebenden Verfahren führt zudem zu einer signifikanten Reduktion des Einsatzes von ionisierender Strahlung bei der Durchführung einer PVI und scheint einen positiven Einfluss auf die Erfolgsraten von Ablationsbehandlungen zu haben [10].

## Linksatriale Kardiomyopathie und Vorhofflimmerablation

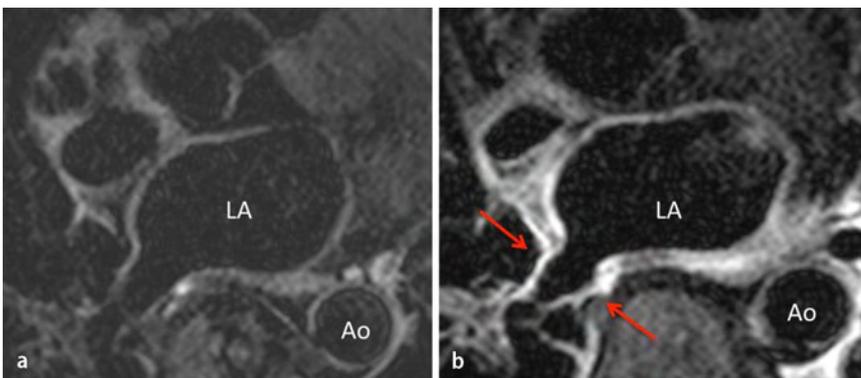
Zuletzt veröffentlichte Studien beschreiben einen neuen Ansatz zur Nutzung der cMRT. Pathophysiologisch führt VHF zu elektrischen, kontraktilen und strukturellen Veränderungen des linken Vorhofs. Die Weiterentwicklung der cMRT erlaubt es heute, mit Hilfe der Technik des LGE-MRT insbesondere die strukturellen Veränderungen am linken Vorhof zu visualisieren. Mit Hilfe speziell entwickelter Software (z. B. Corview, Marrek Inc, Salt La-



**Abb. 1** ▲ 3D-Darstellung der linksatrialen Fibrosierung (Corview-Software, Marrek Inc., Salt Lake City, Utah, USA). **a** Patienten mit geringer Fibrosierung des linken Vorhofs (3,7%); **b** fortgeschrittener fibrotischer Umbau des linken Vorhofs (31,3%). Die *blauen* Areale entsprechen gesundem Myokardgewebe. *Grüne* Areale entsprechen der linksatrialen Fibrose. Die Pulmonalvenen sind in *Grau* dargestellt



**Abb. 2** ◀ Ergebnis der DECAAF-Studie: Kumulative Inzidenz von Vorhofflimmerrezidiven 475 Tage nach PVI (Stadium I: < 10% Fibrose, Stadium II: ≥ 10% bis < 20% Fibrose; Stadium III: ≥ 20% bis < 30% Fibrose, Stadium IV: ≥ 30% Fibrose). (Nach [13]. Mit freundl. Genehmigung von Rightslink/JAMA)



**Abb. 3** ▲ T2-gewichtetes DB-MRT, 3 T. **a** vor und **b** unmittelbar nach Pulmonalvenenisolation mit RF-Energie. Die *roten Pfeile* deuten auf das deutlich erkennbare Ödeme (Signalanhebung in T2-gewichteten Sequenzen) sowie die Wandverdickung im Bereich der rechten unteren Pulmonalvene hin (LA linkes Atrium, Ao Aorta)

City, Utah USA) ist es zudem möglich, das Ausmaß der linksatrialen Fibrose zu quantifizieren.

Der fibrotische Umbau des linken Vorhofs im Sinne einer linksatrialen Kardio-

myopathie dient der Erhaltung des VHF und trägt zur Entwicklung von persistierendem Vorhofflimmern bei [2]. Die Ergebnisse von veröffentlichten Studien weisen darauf hin, dass der Grad der links-

atrialen Fibrosierung streng mit dem Erfolg einer Ablationsbehandlung korreliert. In ersten Arbeiten zu diesem Thema zeigten sich bei Patienten mit sehr geringen strukturellen Veränderungen des linken Vorhofs eine sehr gute Erfolgsrate nach der PVI. Bei Patienten mit ausgeprägter Fibrosierung des linken Vorhofs kam es hingegen zu einer hohen Rückfallrate von VHF nach PVI ([11, 12],

Abb. 1). Diese frühen Arbeiten zu dem Konzept der links-atrialen Fibrosierung haben zu neuen Möglichkeiten einer individuellen Behandlung und zu einem Paradigmenwechsel bei der Therapie von Patienten mit Vorhofflimmern geführt. So wurde z. B. erkannt, dass die Diagnose eines sogenannten „lone AF“ nicht ohne Weiteres gestellt werden kann. Ursächlich dafür waren die Ergebnisse einer retrospektiven Analyse, in der 333 Patienten mit paroxysmalem Vorhofflimmern mit Hilfe des LGE-MRT auf das Ausmaß der linksatrialen Fibrosierung und dessen Einfluss auf das klinische Ergebnis nach PVI untersucht wurden. Bei 48 dieser Patienten wurde die Diagnose eines „lone AF“ gestellt. Interessanterweise zeigte dieses eigentlich homogene „lone-AF-Patientenkollektiv“ sehr unterschiedliche Ausprägungen der linksatrialen Fibrosierung und war in dieser Hinsicht vergleichbar mit Vorhofflimmerpatienten, die zusätzliche Komorbiditäten (z. B. arterielle Hypertonie, Diabetes mellitus etc.) aufwiesen. In der Analyse der Ablationsergebnisse konnte gezeigt werden, dass Erfolg einer Ablation in beiden Patientengruppen mit dem Grad des strukturellen Umbaus des linken Vorhofs und nicht mit dem „Typ“ des zugrunde liegenden Vorhofflimmerns korrelierte [12].

Die Euphorie, die durch die Veröffentlichung dieser frühen Studien entstand, wurde jedoch dadurch geschmälert, dass es sich hierbei um monozentrische, retrospektive Arbeiten handelte. Daher wurden die Ergebnisse der DECAAF-Studie („Delayed Enhancement – MRI determinant of successful Catheter Ablation of Atrial Fibrillation“) mit Spannung erwartet [13]. Ziel dieser multizentrischen, prospektiven Beobachtungsstudie war es, zu untersuchen, ob und in welchem Ausmaß der Grad der linksatrialen Fibrose mit dem Erfolg einer Ablations-

behandlung bei Patienten mit paroxysmalem und persistierendem Vorhofflimmern korreliert.

Hierzu wurden weltweit in 15 Zentren 329 Patienten eingeschlossen. Bei 272 Patienten konnte der Grad der linksatrialen Fibrose mit Hilfe des LGE-MRT beurteilt werden. Basierend auf dem graduellen Fibrosegrad wurden die Patienten in ein vierstufiges Klassifikationssystem eingeordnet, wobei in der Stadium I < 10 % und in der Stadium IV > 30 % des atrialen Myokardgewebes von fibrotischen Veränderungen betroffen ist.

Nach einem Beobachtungszeitraum von 325 bzw. 475 Tagen konnte die Studie zeigen, dass das Ausmaß der Fibrose vor der Pulmonalvenenisolation wesentlich das Risiko für ein neuerliches Auftreten von Vorhofflimmern nach PVI beeinflusst. Bei Patienten, die vor der Ablation wenig linksatriale Fibrose (Stadium I, < 10 % Fibrose) aufwiesen lag, die Rückfallrate nach 475 Tagen bei 15,3 %, bei Patienten im Stadium II (≥ 10 % bis < 20 % Fibrose) bei 35,8 %, bei Patienten im Stadium III (≥ 20 % bis < 30 %) bei 45,9 % und bei Patienten mit ausgeprägter linksatrialer Fibrosierung (Stadium IV, ≥ 30 % Fibrose) bei 69,4 % (■ **Abb. 2**). Weitere klinische Studien werden nun die Reproduzierbarkeit dieser Daten sowie den Einsatz des cMRT im klinischen Alltag zur Beurteilung der linksatrialen Fibrose und damit zur individuellen Therapieplanung von Patienten mit Vorhofflimmern auch außerhalb der initial beteiligten Zentren zeigen müssen.

### Einsatz des cMRT akut nach einer Pulmonalvenenisolation

Auch nach einer erfolgten PVI hat sich die cMRT in der klinischen Routine etabliert. Mit Hilfe von sog. T2-gewichteten Sequenzen ist es möglich, die myokardialen Läsionen im Sinne des durch die Ablationsbehandlung induzierten Ödems zu visualisieren (■ **Abb. 3**). Eine kürzlich veröffentlichte Studie von McGann et al. [14] konnte zeigen, dass die Darstellung von induzierten Läsionen mit Hilfe der cMRT akut nach der Ablationsbehandlung von Vorhofflimmern dazu dienen kann, permanente Läsionen vorherzusagen und so gegebenenfalls auch den

Herzschrittmach. 2014 · 25:252–257 DOI 10.1007/s00399-014-0327-5  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

C. Mahnkopf · M. Mitlacher · J. Brachmann

## Relevanz der Magnetresonanztomographie für die Katheterablation von Vorhofflimmern

### Zusammenfassung

Vorhofflimmern (VHF) ist heute die häufigste Herzrhythmusstörung in der klinischen Praxis. Bis heute werden die therapeutischen Ansätze für die Behandlung von Patienten mit VHF durch z. T. unvollständige Risikoprognosemodelle und suboptimale Therapieansätze für Ablationsbehandlungen beschränkt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt stellt die kardiale Magnetresonanztomographie (cMRT) ein wichtiges unterstützendes bildgebendes Verfahren bei der Durchführung von komplexen elektrophysiologischen Untersuchungen und Ablationsbehandlungen dar. Die cMRT wird in der klinischen Routine zur Erstellung von dreidimensionalen (3D-)Modellen der Herzhöhlen sowie von komplexen anatomischen Strukturen genutzt. Durch die Weiterentwicklung der cMRT ist es möglich, den durch Vorhofflimmern verursachten fibrotischen Umbau des linken Vorhofs zu detektieren. Neueste klinische Daten weisen auf eine enge Korrelation zwischen dem Ausmaß dieser linksatrialen Fibrose und VHF-Rezidiven

nach Ablationsbehandlung hin und ermöglichen in Zukunft eine individualisierte Behandlung von Patienten mit Vorhofflimmern. Ferner erlaubt die direkte Visualisierung von induzierten Läsionen mit Hilfe der cMRT nach Ablationsbehandlung den Erfolg einer Therapie abzuschätzen und mögliche eingetretene Komplikationen frühzeitig zu erkennen. Zudem erscheint es möglich, mit Hilfe des cMRT eine Risikostratifizierung in Hinsicht auf das Schlaganfallrisiko bei Patienten mit Vorhofflimmern durchzuführen. Zukünftige Entwicklungen versprechen, die Therapie von Patienten mit Vorhofflimmern zu individualisieren, sowie die Ergebnisse nach Vorhofflimmerablation und die Sicherheit bei der Behandlung zu verbessern.

### Schlüsselwörter

Ablation · Fibrose · Linksatriale Kardiomyopathie · Magnetresonanztomographie, kardiale · Pulmonalvenenisolation

## Relevance of magnetic resonance imaging for catheter ablation of atrial fibrillation

### Abstract

Currently, atrial fibrillation is the most common form of arrhythmia encountered in clinical practice. Until recently the treatment approach to atrial fibrillation was limited by imprecise risk stratification models and suboptimal therapy options. At present cardiac magnetic resonance imaging (MRI) is an important noninvasive diagnostic modality which aids in the completion of complex electrophysiological and ablation interventions. Cardiac MRI and 3D imaging reconstruction are used clinically to assess the cardiac chambers as well as complex anatomical structures. Through the development of cardiac MRI it has become possible to detect areas of fibrosis in the left atrium which can be the cause of atrial fibrillation. The most recent clinical data suggest that there is a strong correlation between the amount of left atrial fibrosis and recurrent atrial fibrillation following ablation procedures and will in the future al-

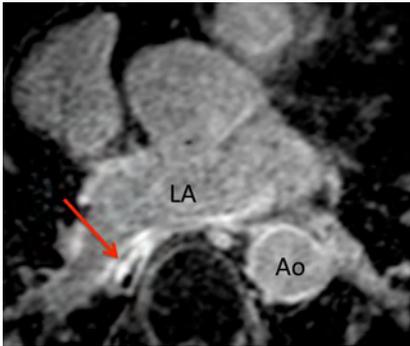
low more individualized treatment strategies for patients with atrial fibrillation. In addition, cardiac MRI allows the direct visualization of catheter-induced lesions after ablation procedures which helps in assessing therapy success and can also assist in the early detection of procedure-related complications. Furthermore, with the implementation of cardiac MRI it appears possible to assess the stroke risk in patients with atrial fibrillation. Promising future developments will allow individualized therapy for patients with atrial fibrillation in addition to improving safety and procedure results after ablation.

### Keywords

Ablation · Fibrosis · Left atrial cardiomyopathy · Arrhythmia · Pulmonary vein isolation · Magnetic resonance imaging, cardiac

Therapieerfolg frühzeitig hervorzusagen vermag. Zudem ermöglicht die Durchführung einer cMRT akut nach der Ablationsbehandlung, gefürchtete Komplika-

tionen, wie z. B. Herzbeutelamponanden und atrioösophageale Fisteln, frühzeitig zu erkennen [15].



**Abb. 4** ▲ LGE-MRT des linken Vorhofs akut nach Cryoballoon-Ablation. Nach Kontrastmittelgabe (Dotarem, Fa. Guerbet) kann ein deutlicher Signalanstieg im Bereich der vorderen Ösophaguswand (roter Pfeil) als Zeichen der akuten Gewebeaffektion gezeigt werden. Beachte die enge anatomische Korrelation zur rechten unteren Pulmonalvene (LA linkes Atrium, Ao Aorta)

### MRT zur Detektion von ablationsbedingten Komplikationen

Es gibt eine Vielzahl von z. T. lebensbedrohlichen Komplikationen, die mit einer PVI assoziiert sein können. Das Risiko für das Auftreten von bedeutsamen Komplikationen nach einer PVI liegt bei ca. 5% [5]. In den den zur Verfügung stehenden Publikationen ist die Inzidenz von schweren Komplikationen gering, allerdings kann von den Berichten in der Literatur nicht auf die wahre Inzidenz von Komplikationen in klinischen Alltag geschlossen werden [16]. Rostamian et al. [17] beschrieben kürzlich, dass das Risiko einer Pulmonalvenenstenose gemäß der vorhandenen Literatur bei ca. 3–8% läge. Die Autoren wiesen aber darauf hin, dass die Inzidenz von Pulmonalvenenstenosen nach PVI wahrscheinlich unterschätzt wird, da spezifische Screeningmethoden nicht in die Leitlinien aufgenommen wurden. Letztlich konnten die Autoren schlussfolgern, dass bildgebende Verfahren wie z. B. das cMRT frühzeitig für das Screening von Komplikationen nach PVI eingesetzt werden sollten, um etwaige Behandlungsergebnisse dieser Komplikationen zu verbessern. In Einklang damit konnte eine frühere Arbeit [18] zeigen, dass PV-Stenosen akut nach PVI mit Hilfe des cMRT sicher detektiert werden können.

Eine der gefürchtetsten Komplikationen ist das Auftreten einer Verletzung des Ösophagus bzw. das Auftreten einer atrioösophagealen Fistel. Diese potential letalen Komplikationen haben in der Regel einen latenten Verlauf, bevor Symptome einsetzen. Auch hier zeigen Studien den Nutzen des cMRT im klinischen Alltag. In einer prospektiven Studie [15] wurden 41 Patienten nach der Durchführung einer PVI mit Hilfe des cMRT untersucht. Die Autoren dieser Arbeit konnten schlussfolgern, dass mit Hilfe des cMRT sowohl akute Läsionen in der Ösophaguswand nach PVI detektiert und zudem der klinische Verlauf beurteilt werden kann. Übereinstimmend damit konnte eine kürzlich vorgestellte Arbeit zeigen, dass Signalanhebungen in der Ösophaguswand, als Zeichen einer akuten Gewebereaktion nach PVI mit Hilfe des cMRT nachgewiesen werden können. Ferner konnte gezeigt werden, dass diese Reaktionen in erster Linie von der anatomischen Lage des Ösophagus und nicht dem eingesetzten Katheter abhängig sind (Abb. 4). Da die anatomische Lokalisation des Ösophagus mit Hilfe des cMRT einfach und sicher ist, scheint dies ein weiterer Vorteil eines präprozedural durchgeführten cMRT im Sinne der Patientensicherheit zu sein. Zukünftige multizentrischen Studien werden zeigen, wie mit Hilfe des cMRT Komplikationen nach PVI reduziert, wenn nicht gar ganz vermieden werden können.

### Einsatz des cMRT im Langzeitverlauf nach einer Pulmonalvenenisolation

Ziel einer PVI ist die komplette elektrische Isolierung der Pulmonalvenen durch induziertes Narbengewebe zirkulär um die Pulmonalvenenostien. Die Darstellung dieser induzierten Läsionen ist mit der bereits beschriebenen Technik des LGE-MRT möglich und kann ebenso wie die linksatriale Fibrose mit Hilfe von spezieller Software in einem 3D-Modell visualisiert und quantifiziert werden (Abb. 5). Zahlreiche Studien haben sich in der Vergangenheit mit der Darstellung dieses Narbengewebes mit Hilfe der cMRT beschäftigt. Es konnte gezeigt werden, dass das Ausmaß des Narbengewebes sowie

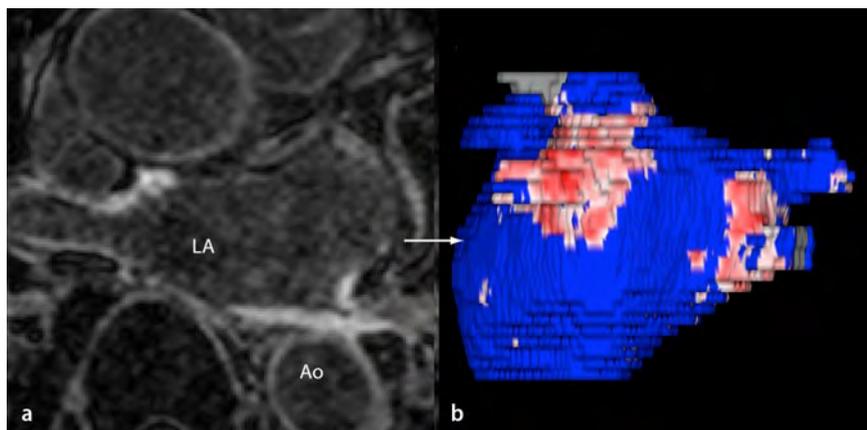
der komplette zirkuläre Verlauf der induzierten Läsionen um die Pulmonalvenenostien mit dem Erfolg einer Pulmonalvenenisolation korreliert. Diese Autoren äußerten zudem, dass die Darstellung von Narbengewebe mit Hilfe des cMRT dazu dient, Lücken in den induzierten Läsionen darzustellen und diese Lücken bei einer erneuten Ablationsbehandlung gezielt aufgesucht werden können ([19], Abb. 6).

Die cMRT ermöglicht im Gegensatz zu elektroanatomischen Kartierungen eine nicht-invasive Visualisierung der induzierten Läsionen nach einer Ablationsbehandlung ohne den Einsatz von ionisierender Strahlung. Zudem konnte eine kürzlich veröffentlichte Studie zeigen, dass die elektroanatomische Kartierung das Ausmaß des induzierten Narbengewebes nach PVI im Vergleich mit dem LGE-MRT überschätzen kann [20].

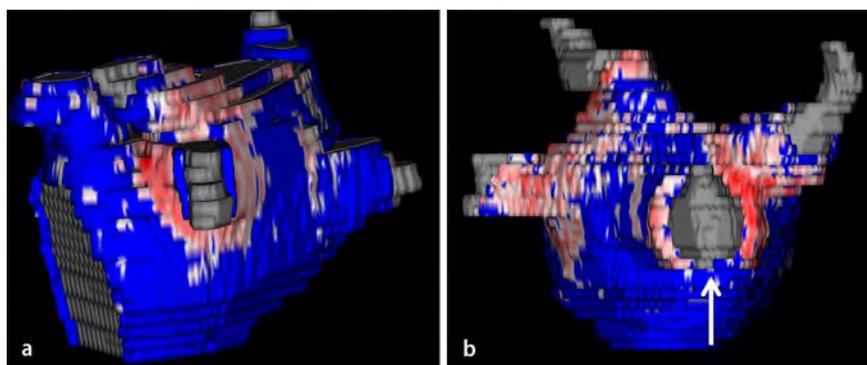
Weitere klinische Studien sollten sich auf diesen Ansatz fokussieren, um insbesondere den Zusammenhang der visualisierten Läsionen akut nach der Ablation mit dem persistierenden Narbengewebe im Langzeitverlauf nach PVI besser zu verstehen. Dadurch könnte der Erfolg einer Ablationsbehandlung direkt nach der Intervention beurteilt und zudem eine optimale und eine individuelle Therapie eingeleitet werden.

### Additiver Nutzen des MRT bei Patienten mit Vorhofflimmern

Vorhofflimmern ist mit einem erhöhten Schlaganfallrisiko von ca. 3–4% pro Jahr vergesellschaftet [21]. Die aktuell in der klinischen Praxis angewandten Risikostratifizierungssysteme wie z. B. der CHADS2-Vasc-Score sind einfach zu benutzen. Allerdings werden das Ausmaß des linksatrialen strukturellen Umbaus des einzelnen Patienten in diesen Scores nicht erfasst. Dieser Zustand hat umso mehr Gewicht, nachdem eine Arbeit von Dacarett et al. [22] den Zusammenhang zwischen der linksatrialen Fibrose und dem Risiko eines Schlaganfalls bei Patienten mit Vorhofflimmern untersuchte. Die Autoren konnten in dieser retrospektiven Analyse, in der insgesamt 387 Patienten mit Vorhofflimmern eingeschlossen wurden, zeigen, dass Patienten mit einem ho-



**Abb. 5** ▲ **a** Typisches LGE-MRT des linken Vorhofs 3 Monate nach Pulmonalvenenisolation mit deutlichen Signalanhebungen im Bereich der Pulmonalvenenostien. **b** Beispiel der 3D-Visualisierung des induzierten Narbengewebes. (Corview-Software, Marrek Inc., Salt Lake City, Utah, USA). (blau gesundes Myokardgewebe, rot induziertes Narbengewebe grau Pulmonalvenen)



**Abb. 6** ▲ **a** Darstellung einer komplett zirkumferentiellen Läsion um die linke untere Pulmonalvene 3 Monate nach Cryoballoon-Ablation. **b** Darstellung einer „Gap“ (Pfeil) in der induzierten Läsion im Bereich der rechten unteren Pulmonalvene 3 Monate nach Cryoballoon-Ablation. Corview-Software, Marrek Inc., Salt Lake City, Utah, USA). (blau gesundes Myokardgewebe, rot induziertes Narbengewebe, grau Pulmonalvenen)

hen Grad an linksatrialer Fibrose häufiger einen Schlaganfall erlitten hatten als Patienten mit einem niedrigen Grad an linksatrialer Fibrose. Dementsprechend schlussfolgerten die Autoren, dass das Ausmaß der Fibrosierung als möglicher Marker für die Risikostratifizierung von Schlaganfällen bei Patienten mit Vorhofflimmern eingesetzt werden kann.

Aus früheren Studien ist zudem bekannt, dass ein bedeutender Anteil von Patienten mit Vorhofflimmern nicht ausreichend oral antikoaguliert ist [23]. Durch die Beurteilung der linksatrialen Fibrose mit Hilfe des cMRT könnte eine individualisierte Therapieplanung nicht nur bei der Ablationsbehandlung sondern auch bei der nachfolgenden, im klinischen Alltag häufig nicht einfach zu entscheiden Frage der Fortsetzung oder des

Beendens einer oralen Antikoagulationstherapie etabliert werden. Um die Technik des LGE-MRT in die individuelle Risikoabschätzung für Schlaganfälle miteinzubeziehen, sind allerdings weitere randomisierte, prospektive Studien notwendig. Sollten diese Studien aber ein positives Ergebnis zeigen, stände der modernen Kardiologie mit dem Kardio-MRT ein mächtiges Werkzeug zur optimalen Therapieplanung und damit zur Prävention von Schlaganfällen nicht nur bei Patienten mit Vorhofflimmern zur Verfügung.

## Korrespondenzadresse



**Dr. C. Mahnkopf**  
Klinikum Coburg,  
II. Medizinische Klinik  
Klinik für Kardiologie  
Angiologie, Pneumologie  
Ketschendorferstraße 33  
96450 Coburg  
christian.mahnkopf@klinikum-coburg.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** C. Mahnkopf, M. Mitlacher und J. Brachmann geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Für die Erstellung dieses Beitrages wurden keine Studien an Menschen oder an Tieren durchgeführt.

## Literatur

- Go AS, Hylek EM, Phillips KA et al (2001) Prevalence of diagnosed atrial fibrillation in adults: national implications for rhythm management and stroke prevention: the AnTicoagulation and Risk Factors in Atrial Fibrillation (ATRIA) Study. *JAMA* 285:2370–2375
- Platonov PG, Mitrofanova LB, Orshanskaya V et al (2011) Structural abnormalities in atrial walls are associated with presence and persistency of atrial fibrillation but not with age. *J Am Coll Cardiol* 58:2225–2232
- Haissaguerre M, Jais P, Shah DC, Takahashi A (1998) Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med* 339(10):659–666
- Calkins H (2012) Catheter ablation to maintain sinus rhythm. *Circulation* 125:1439–1445
- Dong J, Calkins H (2005) Technology insight: catheter ablation of the pulmonary veins in the treatment of atrial fibrillation. *Nat Clin Pract Cardiovasc Med* 2(3):159–166
- McGann CJ, Kholmovski EG, Oakes RS et al (2008) New magnetic resonance imaging-based method for defining the extent of left atrial wall injury after the ablation of atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 52:1263–1271
- Mahnkopf C, Duecker M, Holzmann S et al (2012) Variant pulmonary vein anatomy detected by cardiac MRI may predict outcome after pulmonary vein isolation in patients with atrial fibrillation. *J Cardiovasc Magn Reson* 14(Suppl 1):P202
- Kolandaivelu A, Lardo A, Halperin H (2009) Cardiovascular magnetic resonance guided electrophysiology studies. *J Cardiovasc Magn Reson* 11:21
- Cury RC, Abbasa S, Schmidt S et al (2005) Relationship of the esophagus and aorta to the left atrium and pulmonary veins: implications for catheter ablation of atrial fibrillation. *Heart Rhythm* 2(12):1317–1323
- Caponi D, Corleto A, Scaglione M et al (2010) Ablation of atrial fibrillation: does the addition of three-dimensional magnetic resonance imaging of the left atrium to electroanatomic mapping improve the clinical outcome? A randomized comparison of Carto-Merge vs. Carto-XP three-dimensional mapping ablation in patients with paroxysmal and persistent atrial fibrillation. *Europace* 12:1098–1104

- 
11. Akoum N, Daccarett M, McGann C et al (2011) Atrial fibrosis helps select the appropriate patient and strategy in catheter ablation of atrial fibrillation: a DE-MRI guided approach. *J Cardiovasc Electrophysiol* 22(1):16–22
  12. Mahnkopf C, Badger TJ, Burgon NS et al (2010) Evaluation of the left atrial substrate in patients with lone atrial fibrillation using delayed-enhanced MRI: implications for disease progression and response to catheter ablation. *Heart Rhythm* 7(10):1475–1481
  13. Marrouche N, Wilber D, Hindricks G et al (2014) Association of atrial tissue fibrosis identified by delayed enhancement MRI and atrial fibrillation catheter ablation, The DECAAF Study. *JAMA* 311(5):498–506
  14. Mc Gann C, Kholmovski, Blauer J et al (2011) Dark regions of no-reflow on late gadolinium enhancement magnetic resonance imaging result in scar formation after atrial fibrillation ablation. *J Am Coll Cardiol*. 58(2):177–185
  15. Badger TJ, Adjei-Poku YA, Burgon NS et al (2009) Initial experience of assessing esophageal tissue injury and recovery using delayed-enhancement MRI after atrial fibrillation ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2(6):620–625
  16. Cappato R, Calkins H, Chen SA et al (2010) Updated worldwide survey on the methods, efficacy, and safety of catheter ablation for human atrial fibrillation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 3:32–38
  17. Rostamian A, Narayan SM, Thomson L et al (2014) The incidence, diagnosis, and management of pulmonary vein stenosis as a complication of atrial fibrillation ablation. *J Interv Card Electrophysiol* 15(2):120–123
  18. Mahnkopf C, Ritscher G, Burgon N et al (2009) Pulmonary vein stenoses are reversible early after pulmonary vein isolation in patients with paroxysmal atrial fibrillation – a cardiac MRI analysis. *J Cardio Magn Reson* 11:30
  19. Badger TJ, Daccarett M, Akoum NW et al (2010) Evaluation of left atrial lesions after initial and repeat atrial fibrillation ablation: lessons learned from delayed-enhancement MRI in repeat ablation procedures. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 3(3):249–259
  20. Parmar BR, Jarrett TR, Burgon NS et al (2014) Comparison of left atrial area marked ablated in electroanatomical maps with scar in MRI. *J Cardiovasc Electrophysiol* 25(5):464–465
  21. Atrial Fibrillation Investigators (1994) Risk factors for stroke and efficacy of antithrombotic therapy in atrial fibrillation. *Arch Intern Med* 154:1449–1457
  22. Daccarett M, Badger TJ, Akoum N et al (2011) Association of left atrial fibrosis detected by delayed-enhancement magnetic resonance imaging and the risk of stroke in patients with atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 57(7):831–838
  23. Gladstone D, Bui E, Fang J et al (2009) Potentially preventable strokes in high-risk patients with atrial fibrillation are not adequately anticoagulated. *Stroke* 40:235–240