



The future is near or here?

# Ablation bei Vorhofflimmern

Christoph Scharf; Zürich

Rhythmusstörung | Ablation | Lungenvene

■ Vorhofflimmern ist die häufigste Rhythmusstörung. Schon immer wollten die Kardiologen diese Rhythmusstörung mit einer Ablation behandeln. Initial versuchte man, mit komplexen linearen Ablationen analog der herzchirurgischen Maze-Operation den Sinusrhythmus zu erreichen. Erst am Ende der 90er Jahre wurde klar, dass die meisten Trigger, welche das Vorhofflimmern auslösen, an den Lungenvenen sitzen. Hier sind arrhythmogene Zellen vorhanden, welche den Vorhof ins Chaos stürzen [1]. Ist nur eine einzige Lungenvene aktiv, kann eine atriale Tachykardie mit 1:1-Überleitung resultieren. Wenn hingegen mehrere Lungenvenen gleichzeitig aktiv sind, stürzt der Vorhof ins elektrische Chaos. Erst die Entdeckung, dass die Lungenvenen die fokalen Trigger sind, welche das Vorhofflimmern auslösen, machte eine rationale und zielgerichtete Behandlung des Vorhofflimmerns möglich. Die Bedeutung dieser Entdeckung ist deshalb immens. Die ersten Eingriffe waren direkt gegen die Trigger innerhalb der Venen gerichtet und resultierten in tiefer Erfolgsrate und ernsthaften Komplikationen wie Stenosierung der Lungenvenen usw. Deshalb wurde um 2000–2001 die segmentale Isolation der Lungenvenen entwickelt und seither angewendet [2]. Damit ist die vollständige Isolation der Lungenvenen, d.h. die komplette Elimination sämtlicher elektrischer Verbindungen von und in die Lungenvenen gemeint. Kontrolliert wird dies mit einer zirkulären Elektrode (Lassokatheter). Leider hat sich aber das Verständnis für die Ursachen und Grundlagen der Behandlungsmethoden des Vorhofflimmerns seither nicht mehr massgeblich verbessert. Seit der Jahrtausendwende gibt es keine Therapiemethode, welche die Ergebnisse der Isolation der Lungenvenen signifikant verbessert hätte [3].

Die Erfolgsrate der Lungenvenenisolation beim paroxysmalen Vorhofflimmern beträgt um die 65–90%, je nach Technik, Übung und Erfahrung des Operateurs. Diese Erfolgsrate ist mindestens doppelt so gut



PD Dr. med. Christoph Scharf

Rhythmologie Zürich AG  
Seestrasse 247, 8038 Zürich  
christoph.scharf@hin.ch

wie diejenige der medikamentösen Prophylaxe, welche je nach Studien 30–45% beträgt (Amiodarone).

Bei Patienten mit persistierendem bzw. chronischem Vorhofflimmern ist die Erfolgsrate deutlich tiefer, erst recht wenn der linke Vorhof vergrössert ist und ebenfalls aktive Trigger aufweist. Im folgenden Artikel wollen wir auf die verschiedenen Techniken näher eingehen.

## Paroxysmales Vorhofflimmern

Bei Patienten mit paroxysmalen anfallsartigem Vorhofflimmern ist der Vorhof meistens noch normal gross. Das Problem sind vor allem die Trigger an den Lungenvenen. Deshalb ist die Strategie der Behandlung die Isolation der Lungenvenen. Mit der segmentalen Isolation der Lungenvenen mittels Lassokatheter und Radiofrequenzenergie haben geübte Hände seit über 20 Jahren eine sehr gute Erfolgschance, welche je nach Operateur 65–90% beträgt. Die Behandlung mit Radiofrequenzenergie wird Punkt für Punkt mit einem 4 mm Ablationskatheter durchgeführt. Wichtig ist die Kontrolle der vollständigen Isolation der Lungenvenen mit dem Lassokatheter. Eine dauerhafte und vollständige Isolation der Lungenvenen zu erreichen, ist nicht immer einfach und hängt stark von der Erfahrung und dem manuellen Geschick des Operateurs zusammen. Deshalb hat die Industrie verschiedene Technologien mit dem Ziel entwickelt, die Isolation der Lungenvenen zu vereinfachen und zu verbessern.

## Verschiedene Technologien zur Isolation der Lungenvenen

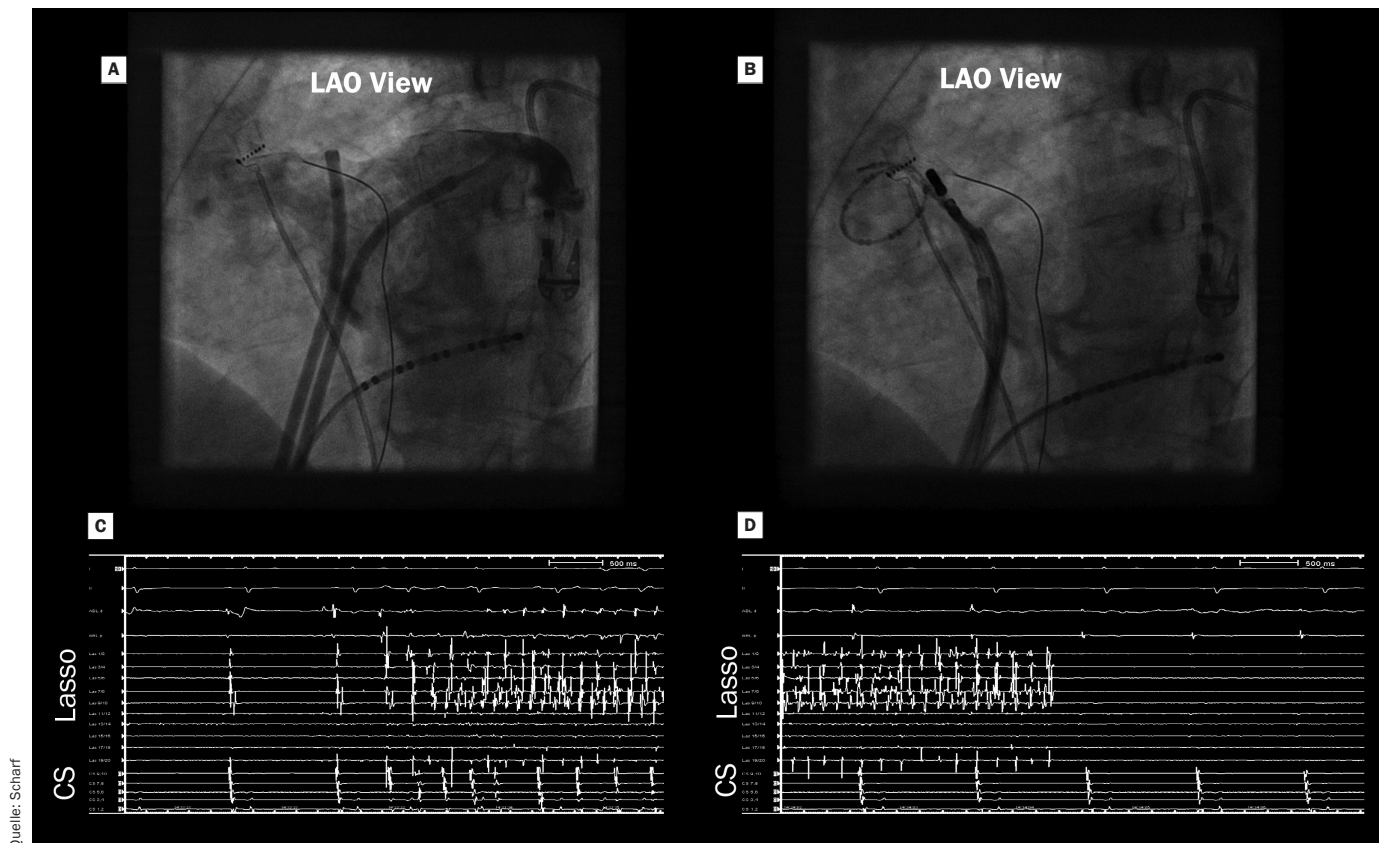
**Ballon-Technologien:** Das Ziel der Ablation mit einem aufblasbaren Ballon ist die simultane Behandlung der gesamten Lungenvene vollständig zu erreichen (single shot device). Natürlich ist das nicht immer der Fall. Der häufigste Grund ist, dass der Gewebekontakt des Ballons nie überall gleich gut ist. Deshalb werden unterschiedliche Energiemengen an den verschiedenen Orten abgegeben, häufig ohne direkte Kontrolle und Reguliermöglichkeit.

**Laserballon:** Die Energie wird mittels eines Lasers

## Glossar

**Trigger:** elektrisch instabile Zelle, welche das Ruhepotenzial von 80 mV nicht halten kann und vorzeitig depolarisiert. Damit wird eine Rhythmusstörung ausgelöst.

**Ablation:** wörtlich «Abtragung» (engl); abladiere = abtragen. In der Medizin das selektive Abtöten von krankmachenden Zellen. Bei der Behandlung von Herzrhythmusstörungen werden die dafür verantwortlichen Zellen mittels hochfrequentem Strom (Radiofrequenz) abgetötet. Dadurch, dass die krankmachenden Zellen eliminiert (abladiert) werden, lässt sich die Rhythmusstörung in den meisten Fällen beheben.



Quelle: Scharf

**Abb. 1:** Beispiel eines Vorhofflimmerns von der rechten oberen Pulmonalvene. **A)** Kontrastmittelinjektion in den Vorhof und die Lungenvenen. Röntgenprojektion von links schräg (LAO). **B)** Platzierung der Elektrodenkatheter: Lassokatheter am Ostium der rechten oberen Lungenvene, Ablationskatheter etwas ausserhalb der Vene zur Ablation. Referenzelektrode im Koronarsinus. **C)** Elektrische Signale: der erste Herzschlag ist Sinusrhythmus mit einer Erregung um Vorhof und in der Herzkammer. Anschliessend an den 2. Schlag beginnt das Vorhofflimmern in der Lungenvene, sichtbar auf dem Lassokatheter. **D)** Nach der Isolation der Lungenvene ist der Vorhof im Sinusrhythmus. Der Elektrodenkatheter im Koronarsinus zeigt ein einzelnes Signal, es besteht eine P-Welle. Die Lungenvene ist initial aber noch im Vorhofflimmern, sichtbar auf dem Lassokatheter. Später kommt es dann zur Konversion auch in der Lungenvene.

direkt auf die Vorhofswand abgegeben. Voraussetzung ist, dass der Ballon sämtliches Blut wegdrückt. Die Erfolgsrate liegt bei etwa 60%.

**Cryoballon:** Dieser Ballon gefriert die Herzzellen auf hohe Minustemperaturen. Natürlich muss die Vene vollständig verschlossen sein. Das bedeutet, dass in der Vene selbst ein Eiszapfen entsteht, welcher dann nach dem Ablassen des Ballons auf dem Weg in den Kopf auftauen muss, um keine Verstopfung der Gefässe zu bewirken. Die Erfolgsrate beträgt in der randomisierten Studie 65% nach einem Jahr und 50% nach drei Jahren [4].

Daneben gibt es noch den Ballon mit Wärme (RF-Ballon), welcher fast nur in Japan verwendet wird. Der Ballon mit hochfrequentem Ultraschall war zu gefährlich und wird deshalb nicht mehr hergestellt.

**Pulse field ablation (PFA):** Bereits in den 1980er Jah-

ren wurden Katheterbehandlungen mit starken kurzen Stromstössen aus einem externen Defibrillator durchgeführt, wie er für die Elektrokonversion eingesetzt wird. Die Schocks waren sehr effektiv, konnten aber schlecht dosiert werden. Aktuell erlebt diese Technologie seit vielen Jahren eine Renaissance. Kurze Schocks werden über Multielektroden, d.h. viele Elektroden um die Lungenvenen herum gleichzeitig abgegeben. Da es meist nur eine einzige Energiequelle gibt, welche dann auf viele verschiedene Elektroden verteilt wird, fliesst der Strom nur am Ort des geringsten Widerstandes. Die Dosierung der Energiemenge, welche an den einzelnen Elektroden ankommen soll, bleibt also schwierig. Langzeitstudien mit Erfolgsraten fehlen aktuell.

**Radiofrequenzenergie:** Diese Energieform wird seit den 1990er Jahren verwendet, weil sie sich je nach Temperatur und Leistung bis zum gewünschten Effekt auftitrieren lässt. Auch die Ablation mit Radiofrequenzenergie wurde in den letzten Jahren modifiziert. Es wurden gekühlte Katheter entwickelt, welche das Risiko für Überhitzung senken. Zusätzlich wurde auch ein Drucksensor in die Spitze integriert, welcher den Anpressdruck am Gewebe misst. So weiss der Operateur, mit welchem Druck der Katheter an der Herz-

medizinonline



> Fortbildungsfragen auf Seite xx

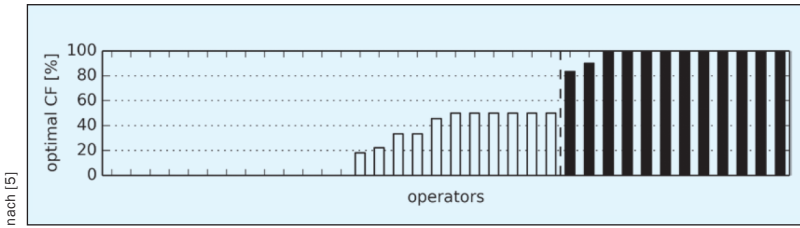


Abb. 2: Wandkontakt der Ablationselektrode

wand angedrückt werden muss. In randomisierten Studien zeigte sich, dass bei besserem Anpressdruck eine erhöhte Erfolgsrate vorliegt. In der einzigen randomisierten Studie konnte aber kein Unterschied bezüglich der Erfolgsrate gefunden werden [5]. Vielmehr zeigt sich, dass bei etwa einem Drittel der Operateure nie ein guter Anpressdruck erreicht wird und bei einem weiteren Drittel immer ein guter Anpressdruck vorliegt (Abb. 2) [5]. Somit scheint der Erfolg also eher vom individuellen Operateur abhängig als vom technischen Equipment. Dies scheint auch intuitiv verständlich zu sein, wenn man die sehr guten Erfolgsraten der Radiofrequenzablation bei Rhythmusstörungen wie AV-Knoten-Tachykardie, WPW oder Vorhofflattern anschaut. Hier entscheidet nicht die Energiewahl oder die Katheterwahl über den Erfolg, sondern einzig die Charakteristik der Messsignale und des Operators. Es ist also davon auszugehen, dass auch bei der Vorhofflimmer-Ablation die Diskussion um die richtige Energieform mit der Zeit in den Hintergrund rücken wird.

**Probleme bei der Vorhofflimmer-Ablation**

Rezidive: Ein häufiger Grund für erneutes Auftreten von Vorhofflimmern nach einer primär erfolgreichen Ablation ist die Rekonnexion der Lungenvenen. Dies geschieht möglicherweise ähnlich, wie wenn ein peripherer Hautnerv durch einen chirurgischen Hautschnitt durchtrennt wird und deshalb ein taubes Gefühl besteht. Dieses Gefühl kann nach einigen Monaten oder Jahren wieder zurückkommen, wenn der Nerv nachwächst. So kann auch an der Lungenvene die elektrische Verbindung nachwachsen. In diesem Fall ist eine erneute Ablation zur erneuten Isolation der Lungenvene zielführend. Jedoch lohnt es

sich, die Lungenvenen nicht immer als alleinigen Trigger zu sehen. Es kann auch sein, dass extrapulmonale Trigger zu Rezidiven führen, z.B. an der Vena cava superior, am Koronarsinus, der Crista terminalis oder an sonstigen Lokalisationen irgendwo im linken Vorhof. Um diese zu lokalisieren und erfolgreich zu veröden, sind kompliziertere Techniken notwendig, da diese Rhythmusstörungen sehr unregelmässig sind und nicht gegenüber einer Referenz annotiert werden können. Bei Patienten mit persistierendem Vorhofflimmern und vergrössertem Vorhof sind solche extrapulmonalen Trigger viel häufiger als beim paroxysmalen Vorhofflimmern, da ja der gesamte Vorhof erkrankt ist.

**Persistierendes Vorhofflimmern mit vergrössertem Vorhof**

Patienten mit persistierendem Vorhofflimmern benötigen eine Elektrokonzersion, um wieder in den Sinusrhythmus zu gelangen. Häufig ist hier nicht ein alleiniges Problem der Lungenvenen ursächlich vorhanden, sondern auch extrapulmonale Trigger. Die Vorhöfe sind meist vergrössert, das normale atriale Myokard wird durch fibrotisches Gewebe ersetzt und damit auch das arrhythmogene Potenzial im Vorhof erhöht. Solche Patienten entwickeln häufig auch eine Herzinsuffizienz, weil sie dauernd in der Rhythmusstörung sind. Die unregelmässige Füllung des Herzens schädigt mit der Dauer auch das Ventrikelmyokard und kann die Prognose verschlechtern. Eine Radiofrequenzablation hat hier einen prognostisch günstigen Effekt im Vergleich zu antiarrhythmischen Medikamenten (Amiodarone), wie in mehreren randomisierten Studien gezeigt wurde. Für eine erfolgreiche Radiofrequenzablation beim chronischen Vorhofflimmern ist sicher auch eine Isolation der Lungenvenen ein wichtiger Bestandteil. Daneben gilt es aber auch extrapulmonale Trigger zu lokalisieren und zu behandeln.

Empirische Ablationsstrategien mit linearen Ablationen zwischen den oberen Lungenvenen (Dachlinie) oder zur Mitralklappe hin (mitrale Isthmuslinie) haben in einer grossen randomisierten Studie keinen Benefit gebracht. Auch die empirische Ablation komplexer Elektrogramme hat keinen zusätzlichen Benefit gebracht in dieser Studie [3]. Es scheint vielmehr notwendig zu sein, individuell bei jedem Patienten den Ort der Trigger zu suchen.

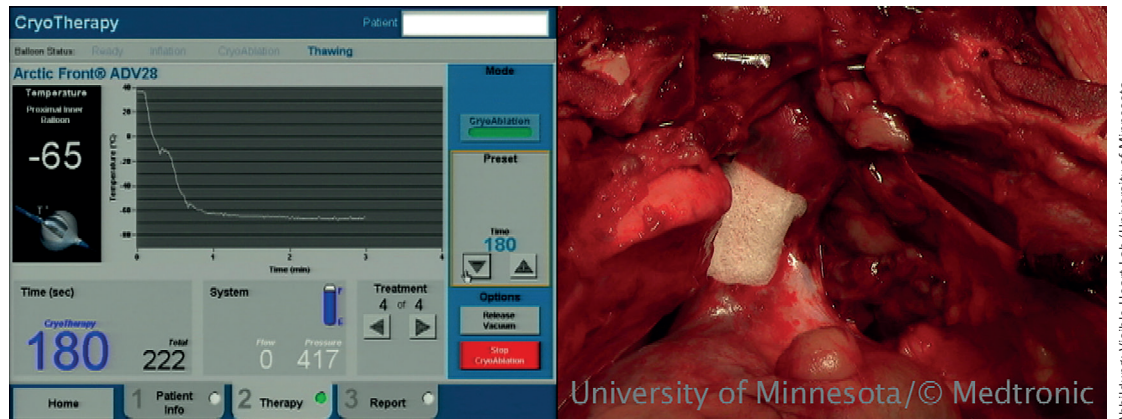


Abb. 3: Gefrorene Lungenvene während einer Cryoballon-Ablation (Tierversuch).

Abbildung: Visible Heart Lab/ University of Minnesota



**Mapping von unregelmässigen Rhythmusstörungen und Vorhofflimmern**

Weil das Vorhofflimmern eine unregelmässige Rhythmusstörung ist, kann ein konventionelles Kontaktmapping mit Annotation der Signale in Bezug zu einem Referenzsignal nicht funktionieren. Stattdessen muss eine simultane Analyse der elektrischen Erregung im gesamten Vorhof durchgeführt werden, um Trigger mit fokaler Aktivität und zentrifugaler Ausbreitung zu finden. Auch Regionen mit lokal irregulärer Erregungsausbreitung, Erregungsverzögerung und erneuter Induktion von Flimmerwellen sind so identifizierbar. Meistens sind diese Regionen repetitiv am gleichen Ort vorhanden während Vorhofflimmern, Flattern und beim Pacing mit hohen Frequenzen. Zur Bestimmung dieser Trigger wurde ein neuartiges Mappingsystem entwickelt (ACUTUS), welches die elektrische Ladung an der Herzwand lokalisiert (Coulomb). Dadurch ist eine höhere Auflösung möglich, als wenn das elektrische Feld (Potenzial, Millivolt) direkt analysiert wird [6]. Das elektrische Feld breitet sich im gesamten Körper aus und ist deshalb überall von der gesamten Herzkammer bestimmt, welche die lokale Information überlagert (*far field effect*). Durch

die Bestimmung der elektrischen Ladungsdichten ist deshalb eine höhere Auflösung mit weniger Far-Field-Effekt möglich. Dieses neuartige Mappingsystem ist rein diagnostisch, zur Ablation wird die herkömmliche Ablationselektrode verwendet. Das Risiko ist für den Patienten dadurch nicht erhöht. Bei Patienten, welche trotz Isolation der Lungenvenen weiterhin Rhythmusstörungen haben, ist erfahrungsgemäss eine individuelle Strategie mit Lokalisation und Ablation der extrapulmonalen Trigger nötig. Die Art der Ablationsenergie ist dabei eher nebensächlich. Es kommt vor allem darauf an, dass am richtigen Ort ablatiert wird. Dies ist ähnlich wie bei den übrigen Rhythmusstörungen wie AV-Knoten-Tachykardie, WPW usw.

**Risiken der Vorhofflimmerablation**

Das Risiko einer Vorhofflimmerablation für ernsthafte Komplikationen sollte in geübten Händen unter 1% betragen. Am gefährlichsten ist sicher die Embolie, deshalb empfiehlt sich eine vorgängige transösophageale Echokardiografie zum Ausschluss von Thromben und eine Blutverdünnung während der Intervention mit Heparin, sodass eine ACT von über 250–350 Sekunden erreicht wird. Das Risiko einer Perikard-

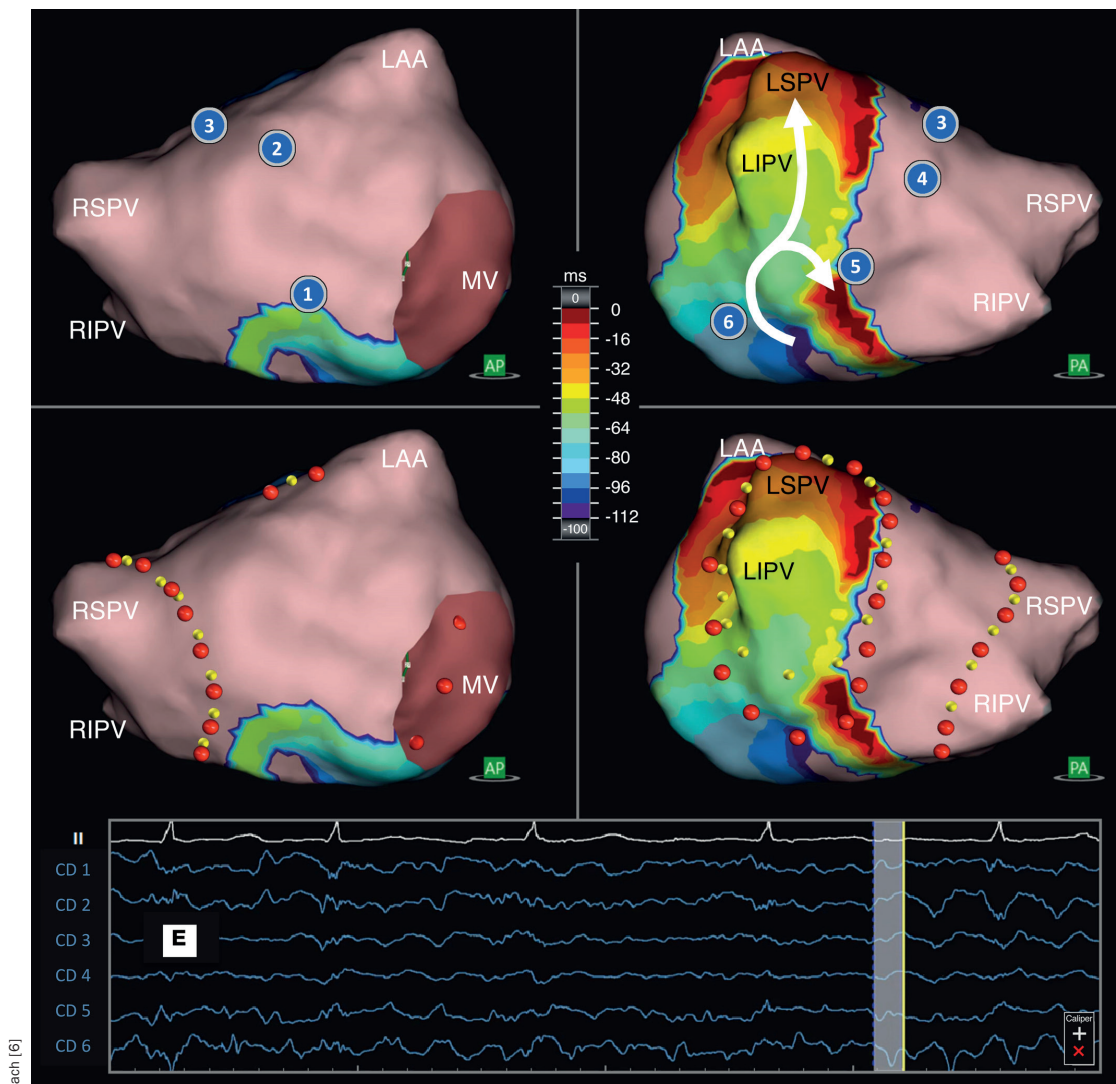


Abb. 4: Mapping der Flimmerwellen durch Bestimmung der elektrischen Ladungsdichten im Herz (Acutus).

## TAKE-HOME-MESSAGES

- Die Ablation beim paroxysmalen Vorhofflimmern richtet sich gegen Trigger in den Lungenvenen.
- Die Energiewahl ist sekundär, wichtig ist, dass die Lungenvenen dauerhaft isoliert sind.
- Beim persistierenden Vorhofflimmern sind neben den Lungenvenen häufig auch Trigger im linken Vorhof vorhanden. Eine alleinige Isolation der Lungenvenen hat deshalb eine tiefere Erfolgsrate.
- Ein neues Mappingsystem erlaubt die simultane Aktivierung im gesamten Vorhof gleichzeitig zu bestimmen, ohne Annotation zu einem Referenzsignal nötig zu machen. Damit können auch unregelmässige Trigger z.B. beim Vorhofflimmern lokalisiert werden. Damit ergeben sich neue Therapieoptionen bei Patienten mit erfolgloser Isolation der Lungenvenen.

blutung liegt in geübten Händen auch unter 1%. Am häufigsten ist sicher die Leistenblutung, hier können wegen der Antikoagulation auch grössere Hämatome entstehen, welche aber fast immer spontan resorbieren. Das Auftreten einer AV-Fistel, eines Aneurysma spurium oder sonstiger operationsbedürftiger Komplikationen ist ebenfalls gering. Zusätzlich sind zu erwähnen sehr seltene, aber beschriebene Komplikationen mit Zwerchfelllähmung oder Ösophagusfistel, Verletzung der Herzklappen usw. Nota bene treten solche Komplikationen bei allen Energieformen auf, in unterschiedlicher Häufigkeit. Die Zwerchfelllähmung ist etwas häufiger beim Cryoballoon, die Ösophagusfistel häufiger bei Radiofrequenz mit hohem Anpressdruck und die Embolien möglicherweise nach Ballonokklusion der Venen etwas häufiger.

**Behandlung nach Ablation:** Gerade nach der Ablation eines chronischen Vorhofflimmerns ist es sehr wichtig, dass der Patient eine gewisse Zeit im Sinusrhythmus gehalten wird. Nur so kann das Remodeling stattfinden und der Vorhof sich wieder normalisieren bezüglich seiner elektrischen Eigenschaften wie Leitungszeiten, Refraktärzeiten usw. Es kann also durchaus nötig sein, dass in den ersten Wochen und Monaten nach der Ablation eine Elektrokonversion und eine antiarrhythmische Behandlung nötig sind. Wenn im Verlauf der Vorhof wieder eine mechanische Kontraktion zurückgewinnt und in der Grösse etwas abgenommen hat, kann davon ausgegangen werden, dass gleichzeitig mit dem mechanischen Remodeling auch das elektrische Remodeling stattgefunden hat. Dann ist der Rhythmus im Vorhof meistens stabiler und die antiarrhythmischen Medikamente können gestoppt werden. Wichtig ist auch, dass im Verlauf eine optimale Kontrolle der Blutdruckwerte im Vorhof durchgeführt wird. Ein erhöhter Vorhofdruck verhindert, dass der Vorhof wieder kleiner wird, und erschwert das Remodeling. Der Füllungsdruck des Herzens und damit der Vorhofdruck korreliert mit dem diastolischen Blutdruck, welcher idealerweise <80 mmHg betragen sollte.

**Emboliegefahr nach Ablation:** Immer wieder stellt sich die Frage, ob nach einer Radiofrequenzablation des Vorhofflimmerns die Antikoagulation weitergeführt werden muss. Es gibt keine randomisierten Studien, welche einen protektiven Effekt einer Ablation bezüglich Embolierisiko nachweisen. Andererseits

muss gesagt werden, dass eine solche Studie auch nie durchgeführt werden kann, weil sich dafür keine Patienten randomisieren lassen. Auf der anderen Seite gibt es grosse Registries mit vielen 1000 Patienten von vielen verschiedenen Spitalern, welche nach einer erfolgreichen Radiofrequenzablation ein sehr niedriges Embolierisiko dokumentieren. Meistens treten solche Embolien in den ersten Wochen bis maximal drei Monate nach der Intervention auf. Bei Patienten, welche also nur z.B. das Geschlecht oder das Alter als Risikofaktor haben und normal grosse Vorhöfe besitzen, kann die Antikoagulation wahrscheinlich auch gestoppt werden, obwohl der CHA<sub>2</sub>DS<sub>2</sub>-VASc-Score zwei Punkte beträgt. Falls es sich aber um Patienten mit einem höheren Embolierisiko handelt, speziell nach TIA usw., d.h. wenn bereits einmal eine Embolie stattgefunden hat, sollte die Antikoagulation unbedingt lebenslang weitergeführt werden. Alternativ empfiehlt sich gleichzeitig mit der Radiofrequenzablation des Vorhofflimmerns auch das Vorhofrohr zu verschliessen. Dieser Eingriff ist in geübten Händen nicht mehr risikoreich, verlängert die Prozedur um vielleicht 20 Minuten und ermöglicht anschliessend einen dauerhaften Embolieschutz aus dem Vorhofrohr. Natürlich müssen solche Therapieempfehlungen immer im Einzelfall diskutiert werden und können nicht generalisiert werden.

### Literatur:

1. Haïssaguerre M, et al.: Spontaneous Initiation of Atrial Fibrillation by Ectopic Beats Originating in the Pulmonary Veins. *N Engl J Med* 1998; 339: 659–666; DOI: 10.1056/NEJM199809033391003.
2. Oral H, et al.: Segmental Ostial Ablation to Isolate the Pulmonary Veins During Atrial Fibrillation. Feasibility and Mechanistic Insights. *Circulation* 2002; 106:1256–1262; <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000027821.55835.00>.
3. Verma A, et al.: Approaches to Catheter Ablation for Persistent Atrial Fibrillation. *N Engl J Med* 2015; 372: 1812–1822; DOI: 10.1056/NEJMoa1408288.
4. Kuck KH, et al.: Cryoballoon or Radiofrequency Ablation for Paroxysmal Atrial Fibrillation. *N Engl J Med* 2016; 374: 2235–2245; DOI: 10.1056/NEJMoa1602014.
5. Reddy VY, et al.: Randomized, Controlled Trial of the Safety and Effectiveness of a Contact Force–Sensing Irrigated Catheter for Ablation of Paroxysmal Atrial Fibrillation. Results of the TactiCath Contact Force Ablation Catheter Study for Atrial Fibrillation (TOCCASTAR) Study. *Circulation* 2015; 132: 907–915; <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.014092>.
6. Grace A, et al.: High-resolution noncontact charge-density mapping of endocardial activation. *JCI Insight* 2019 Mar 21; 4(6): e126422; DOI: 10.1172/jci.insight.126422.