Vorhofflimmern-Behandlung an vorderster technologischer Front

Praxisbericht einer Katheterablation mit dem Pulsed-Field-Verfahren

Rolf Kickuth

„Holy shit" – Dieser lockere Kurz-Kommentar des Operateurs Turgut Brodherr, dessen Team am Krankenhaus Agatharied südlich München mir eine entsprechende Filmsequenz des Geschehens anfertigte (Abbildung 1), lässt sich durchaus als Lob für die Schnelligkeit, Effizienz und Sicherheit einer neuen Methode zur Beseitigung von Herzrhythmusstörungen werten. Für das Medizinerteam und den ebenso anwesenden Spezialisten des Geräteherstellers war es ein Erfolg, für mich eine Heilung von Vorhofflimmern. Die Rede ist hier von der Pulsed-Field-Ablation.

Herzrhythmusstörungen kennt fast jeder. Wer hat es nicht schon erlebt, dass das Herz kurz stillzustehen schien, nur um dann mit einem besonders stark empfundenen Schlag weiterzuarbeiten. So etwas nennt sich Herzstolpern, verursacht durch Extraschläge. Das ist normalerweise nicht behandlungsbedürftig. Es gibt jedoch auch hochgefährliche Herzrhythmusstörungen, die schnell zum Tode führen, weil die Pumpfunktion aussetzt. Solche Kammerflimmer-Ereignisse können auch junge Menschen betreffen. Helfen kann da der Einsatz eines Defibrillators. Zwischen diesen Beispielen gibt es eine Vielzahl von Herzrhythmusstörungen.

Die am meisten vorkommende Form eines gestörten Herzrhythmus ist allerdings das Vorhofflimmern (VHF). Es ist die häufigste Form der absoluten Arrhythmie, einer völligen Unregelmäßigkeit des Herzschlags. Sie kann als eine vorübergehende (paroxysmale oder intermittierende) oder dauerhafte (permanente) Herzrhythmusstörung mit ungeordneter Tätigkeit der Herzvorhöfe vorliegen. Gebräuchliche Abkürzungen sind AF oder AFib (von englisch Atrial Fibrillation). Allein in Deutschland sind nach neueren Informationen bis zu 800 000 Menschen von Vorhofflimmern betroffen. In den nächsten 50 Jahren rechnet man mit einer Verdopplung dieser Zahl.[1] Etwa 70 Prozent der Vorhofflimmer-Attacken bemerken die Patienten nicht. Das Vorhofflimmern ist verbunden mit einem erhöhten Risiko für Schlaganfälle und für Herzinsuffizienz und sollte daher behandelt werden (siehe dazu auch den Übersichtsartikel über Herzrhythmusstörungen in CLB 3/4-2022).

Ein erster Schritt zur Vermeidung von Komplikationen, insbesondere von Schlaganfällen, besteht in der Einnahme von blutverdünnenden Medikamenten. Diese populäre Bezeichnung ist irreführend. Das Blut wird nicht verdünnt, sondern seine Gerinnungsfähigkeit herabgesetzt. Dadurch will man die Bildung von Gerinnseln vermeiden, die bei dem fehlerhaften fluiddynamischen Geschehen im Herzen während der Herzrhythmusstörung auftreten können. Anfällig dafür ist eine kleine Ausstülpung an den Vorhöfen des Herzens, den Herzohren, scherzhaft „Blinddarm des Herzens" genannt. Besonders im Herzohr des linken Vorhofs können bei Vorhofflimmern – das von eben jenem linken Vorhof ausgeht – diese Blutgerinnsel entstehen.

Im Grunde kann man mit solch einer Medikation auch mit Vorhofflimmern alt werden. Allerdings ergibt sich im Laufe der Zeit dann eine weitere Komplikation: Das Vorhofflimmern führt dazu, dass sich das Herzgewebe der Vorhöfe verändert, es fibrosiert. Damit gemeint ist eine krankhafte Vermehrung von Bindegewebe. Die Vorhöfe des Herzens werden – einfach gesagt – schlaffer. Das wiederum hat zur Folge, dass die Herzklappen, die Ventile zwischen den Vorhöfen und den Hauptkammern des Herzens (Ventrikel), nicht mehr passen. Die Blutpumpe wird so weniger effizient, man verliert an Herzleistung und somit an Kraft. Aus diesem Grunde sollte Vorhofflimmern behandelt werden.

Zum Glück hat die heutige Medizin dafür auch Möglichkeiten. Eine davon ist wiederum die Gabe von bestimmten Medikamenten, die Einfluss auf den Herzrhythmus haben. Im Grunde handelt es sich bei den Rhythmen um Schwankungen elektrischer Potenziale in den Herzzellen, hervorgerufen durch Io-

Der Autor:
Rolf Kickuth (69) ist Chemiker und Verleger der CLB. 1990 entwickelte der Autor mit der „AXON" eine Zeitung für künstliche Intelligenz, insbesondere künstliche neuronale Netze. In den späteren 1990er Jahren war er auch Chefredakteur des „Informatik-Spektrum", der Hauszeitschrift der Gesellschaft für Informatik. Seit 1985 war er zunächst beim Verlag Chemie (jetzt Wiley-VCH), später in seinem Verlag „Rubikon" für die Schweizer Wochenzeitung „Chemische Rundschau" redaktionell tätig, von 1994-1999 als Leiter der Redaktion Deutschland. Er engagiert sich für Humanismus und Atheismus.

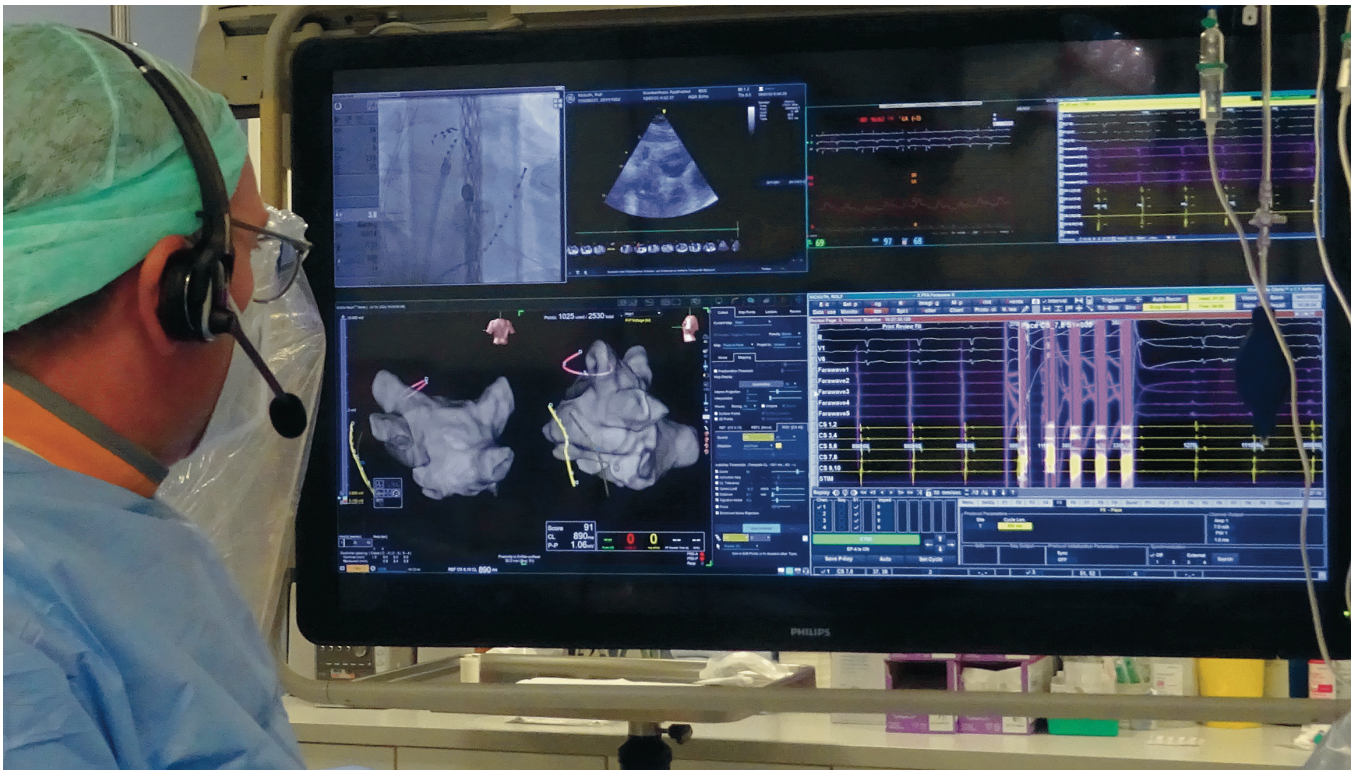


Abbildung 1: Der „Holy shit"-Moment (siehe Einleitung), die Aussendung der Millisekunden-Impulse zur Pulsed-Phase-Ablation von Vorhofflimmern, deutlich zu sehen im Bild unten rechts. Die fünf Impulsgruppen dauerten insgesamt nur 3 Sekunden. Unten links zu sehen ist das 3D-Modell des Herzens, erzeugt von einem Mapping-System. Es zeigt auch die Ablationsorte an. Die CLB-Fotos der Ablation hat freundlicherweise Julia Kranzmayer vom OP-Team aufgenommen.

nenströme durch Ionenkanäle der Herzzellen. Die vorhandenen Anti-Arrhythmika wirken jedoch relativ unspezifisch auf verschiedene Ionenkanäle und haben dementsprechend etliche mögliche Nebenwirkungen. Zwar ist ein wahrscheinlich nebenwirkungsarmes Medikament in Entwicklung; die CLB berichtete durch ein Interview mit der Heidelberger Professorin Dr. Constanze Schmidt ebenfalls in Ausgabe 3/4-2022 über diese Arbeit. Das Mittel steht jedoch noch nicht zur Verfügung.

Die Wirksamkeit dieser Ionenkanalblocker ist zudem auch dadurch begrenzt, dass die Mechanismen zur Entstehung von Vorhofflimmern sich auch auf die Geometrie des Vorhofs wie auch eine fehlerhafte – zu sehr mit Bindegewebe durchzogene – Herzgewebe-Zusammensetzung begründen, also nicht nur von Ionenkanalfunktionen abhängig sind.

Unmittelbar auf die elektrische Leitung falscher Herzimpulse zielt jedoch eine andere Methode, die Ablation. Ihr Prinzip ist, falsche Herzimpulse, die an einer „Ecke" des Herzens entstehen, durch Ziehen einer Narbe daran zu hindern, sich auf das ganze Herz auszubreiten. Diese „Ecken", Zentren falscher Rhythmen, findet man auf der inneren Oberfläche der Herzvorhöfe.

Für das Vorhofflimmern hat man dafür die Stellen im linken Vorhof des Herzens ausgemacht, an denen die Lungenvenen in den Vorhof münden. Es gibt vier Lungenvenen. Eventuell findet man wegen einer Vereinigung von Venen kurz vor dem Vorhof statt vier auch nur zwei Lungenvenen-Öffnungen im linken Vorhof, die meist Durchmesser zwischen 15 und 20 mm haben. Dort setzt man dann mit der Ablation an; nach dem lateinischen Wort für „Lunge" nennt man das Verfahren auch Pulmonalvenenisolation (PVI).

1. Kybernetik und Herzrhythmen: Ein Blick in die Geschichte

Die Vorstellung, dass dort ektope Erregungszentren vorhanden sind, also Herzzellen, die nicht in dem normalen Schrittmacherzentrum, dem Sinusknoten liegen, aber Rhythmen erzeugen, entstand vor knapp 30 Jahren. Noch früher, Ende der 1950er Jahre, sammelte man erste Vorhofflimmer-Erfahrungen an Hunden. Und noch früher, in den 1940er Jahren, zeigt sich die anhaltend nahe Verwandschaft von Informatik und der Erforschung von Flimmer-Mechanismen.

Der Reihe nach: Über grundlegende Erkenntnisse berichtete der mexikanische Arzt Arturo Rosenblueth (1900-1970; Abbildung 2). Er untersuchte das Flattern der Ohrmuscheln von Hunden – und wie man es nach Ausschalten der ursprünglichen neuronalen Erregung dennoch aufrechterhalten kann.[2] Interessant ist die schon damals sich entwickelnde Nähe der Forschung zur Informatik. 1930 wechselte Rosenblueth an die Harvard University, an die Abteilung für Physiologie, die damals von Walter Cannon (1871-1945) geleitet wurde. Der amerikanische Physiologe

Abbildung 2: Ein Pionier der Erforschung von Flimmer-Mechanismen war der mexikanische Arzt Arturo Rosenblueth; hier ein Foto aus den 1940er Jahren. Schon früh führten ihn seine Arbeiten zu Kooperationen mit der aufkommenden Computertechnik. Er schrieb auch Veröffentlichungen zusammen mit dem Pionier der Kybernetik, Norbert Wiener.

entwickelte u. a. das Konzept der Homöostase. Diese bezeichnet einen Gleichgewichtszustand eines offenen dynamischen Systems, der durch einen internen regelnden Prozess aufrechterhalten wird. Es handelt sich dabei um einen Spezialfall der Selbstregulation von Systemen. Mit Cannon erforschte Rosenblueth die chemische Vermittlung der Homöostase. Er schrieb Forschungsarbeiten sowohl mit Cannon als auch – ein interessantes Zusammentreffen – mit Norbert Wiener (1894-1964), dem Pionier der Kybernetik. Zusammen mit dem Kybernetiker sagte Rosenblueth die Entstehung von Spiralwellen voraus (s. S. 504). Diese autokatalytischen Wellen findet man im Gewebe der Herzvorhöfe bei Vorhofflimmern; man nennt sie auch Rotoren.

Zudem war Rosenblueth ein einflussreiches Mitglied der Kerngruppe der Macy-Konferenzen und ihrer Untergruppe der Kybernetik-Konferenzen. Diese Konferenzreihen hatten die interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener Wissenschaftsgebiete zum Ziel, gerade auch mit der aufkommenden Bedeutung der Informationswissenschaft. Sie behandelten u. a. neuronale Netze und Theorien zum Bewusstsein.

Herzrhythmusforschung und Informatik kamen in den 1960er Jahren noch näher zusammen. Mit dem 1927 geborenen, deutschen Mathematiker Werner Carl Rheinboldt und dem US-Kardiologen J. A. („Abbie“) Abildskov (1923 - 2017) entwickelte der amerikanische Elektrophysiologe Gordon Kenneth Moe (1915-1989) 1964 ein Computermodell von Vorhofflimmern.[3] Bereits 1959 entwarfen Moe und Abildskov eine Vorstellung zum Vorhofflimmern, die „Multiple Wavelet Hypothese“.[4] An Experimenten mit Hunden und mit ihren Computersimulationen konnten die Forscher so zeigen, dass Vorhofflimmern auch nach Fortfall des ursprünglich auslösenden Reizes fortbestand und sich in kreisenden Wellen (Rotoren) chaotisch über den gesamten Vorhof verbreiten konnte.

Bis zur Pulmonalvenenisolation dauerte es dann aber noch rund drei Jahrzehnte. Den grundlegenden Beitrag in der Entwicklung der PVI lieferte der französische Kardiologe Michel Haïssaguerre (geb. 1955) in den 1990er Jahren. Er identifizierte zusammen mit anderen Forschern die Lungenvenen als Ausgangspunkt von Vorhofflimmern.[5] Sie konnten zeigen, dass sich durch Verödung von VHF-triggernden Zentren oder besser noch durch gezielte elektrische Isolierung der Pulmonalvenen zum linken Vorhof (Atrium) die kreisenden Erregungen bei VHF durchbrechen und die Rhythmusstörung beenden ließen.

1994 entwarfen Michel Haïssaguerre und sein Team dazu neue Mehrelektrodenkatheter, um den Ursprung der Aktivitäten zu kartieren, die die Auslösung von Flimmer-Ereignissen erzeugen, bevor die elektrischen Aktivitäten verbreitet werden. Diese Studien haben gezeigt, dass diskrete Quellen (eben Triggerpunkte) der Ursprung dieser komplexen elektrischen Phänomene waren, was den Weg für neue heilende Therapien ebnete.

2. Mechanismen des Vorhofflimmerns

Vollständig aufgeklärt ist der Mechanismus zur Entstehung von VHF noch nicht (Abbildung 3). Wie bereits angesprochen entwickelte man bereits 1959 die Multiple Wavelet-Hypothese. Sie besagt, dass multiple, voneinander unabhängige Erregungsfronten in beiden Vorhöfen koexistieren, aufeinanderprallen, sich auslöschen und neue Erregungsfronten produzieren. Mit diesem Hintergrund hat man eine Kompartimentierung des rechten beziehungsweise beider Vorhöfe durch lineare Narben herbeigeführt. Diese Ablationsstrategie gilt jedoch als veraltet. Vom Tisch ist die Multiple Wavelet-Hypothese selbst dadurch jedoch nicht. Erst 2020 prüfte man sie durch neue Experimente und kam zu ähnlichen Schlussfolgerungen wie bereits Moe und Abildskov.[6]

Zudem gibt es die Hypothese mit ektopische Zentren an den Lungenvenen, die als Auslöser, Trigger für VHF wirken, die Fokushypothese. Patienten mit Vorhofflimmern haben eine kürzere Refraktärzeit am Übergang vom Herzgewebe zu den Lungenvenen aufzuweisen als gesunde Menschen. Als Refraktärzeit bezeichnet man den Zeitraum nach Auslösung eines neuronalen Aktionspotentials, in dem die auslösende Nervenzelle nicht erneut auf einen Reiz reagieren kann. Diese Refraktärzeit beträgt bei Skelettmuskeln 2 Millisekunden. In Herzmuskelzellen ist die Refraktärzeit deutlich länger als in Neuronen; sie beträgt etwa 300 Millisekunden. Damit werden normalerweise kreisende Erregungen unterbunden. Kurze Refraktärzeiten wiederum begünstigen die Entstehung sowie Aufrechterhaltung solcher Erregungen. Offenbar begünstigt das Zusammentreffen der elektrisch leitenden Ausläufer des Herzmuskel-Vorhofgewebes

mit dem elektrisch nicht leitenden Gewebe der Lungenvenen das Entstehen von Erregungszentren. Dort dienen ektope Schläge aus den arrhythmogenen Pulmonalvenen als Trigger für die Rhythmusstörung. Es ist den Erkenntnissen nach so, dass sowohl die Struktur der Vorhöfe, die Zusammensetzung des Vorhofgewebes wie auch die chemisch-elektrische Situation an den Ionenkanälen zu Vorhofflimmern führt. Von daher kommen auch verschiedene Risikoelemente in Betracht, etwa Alkoholkonsum oder langjähriger Ausdauersport. Das mit Abstand wichtigste Element dafür ist aber – der Alterungsprozess.

Zur gerade angesprochenen gesellt sich die Rotorhypothese. Nach ihr kann Vorhofflimmern von einer ununterbrochenen hochfrequenten periodischen Aktivität ausgehen, die eine oder mehrere kreisende Erregungen im linken Vorhof erzeugen. Diese Wellenfronten breiten sich über die Vorhöfe aus und brechen im Verlauf in unabhängige Tochterwellen, deren Ausdruck die charakteristische ungeordnete, flimmernde Aktivität der Vorhöfe darstellt.

Letztlich dürften alle genannten Beschreibungen zu einem Gesamtbild von Vorhofflimmern führen, das sich gemeinsam mit Methoden der nichtlinearen Physik (Chaosforschung), aber auch der Chemie hinsichtlich des Ausbildens von elektrischen Potenzialen an Ionenkanälen darstellen lässt.

3. Entwicklung der Katheterablation

Nach der Entdeckung, dass die Isolation der Lungenvenen zur Beendigung des Vorhofflimmerns führt, zog die dafür notwendige Katheterablation in den Klinikalltag ein. Ablation bedeutet: Gezielte Zerstörung bzw. Verödung des Herzmuskelgewebes und Erzeugung einer Narbe. Diese dient dann quasi als Mauer, um fehlerhafte Rhythmen, die an bestimmten Stellen entstehen, nicht auf die ganze innere Oberfläche der Herzvorhöfe weiterlaufen zu lassen.

3.1 Der heiße Draht

Zunächst verwendete man als Katheterspitze praktisch einen „heißen Draht“, aufgeheizt mit Gleichstrom oder Niederfrequenz-Wechselstrom. Schnell ging man jedoch zur Radiofrequenzablation (RFA) über. Bei dieser Methode erfolgt die Aufheizung durch hochfrequenten Wechselstrom von 350 bis 750 kHz. Der wichtigste Vorteil: Solch ein Katheter stimuliert Nerven oder Herzmuskel nicht direkt und lässt sich daher oft ohne Vollnarkose verwenden. Mit der Katheterspitze setzt der Arzt Punkt neben Punkt um die Öffnungen der Lungenvenen herum, bis jeweils ein Kreis von verödeten Gewebepunkten geschlossen ist (point-by-point-Technik; Abbildung 4, linkes Bild).

Das braucht seine Zeit; solch ein Eingriff dauert insgesamt durchaus vier Stunden – ein Zeitraum, in dem auch ein Arzt mal müde wird und einen Punkt nicht exakt setzt. Schon ergibt sich damit ein

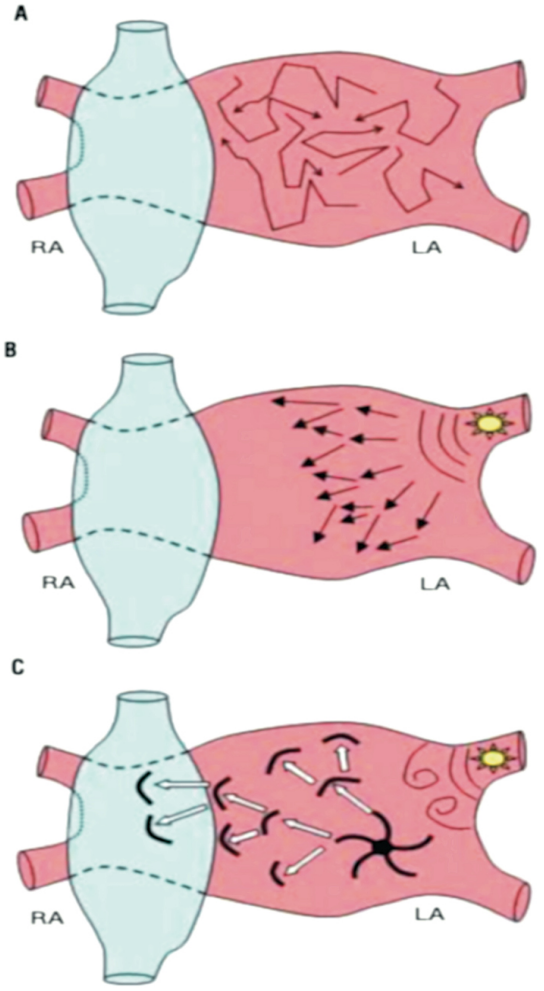


Abbildung 3: Hypothesen zum Vorhofflimmern. A: Multiple Wavelet Hypothese. Vorhofflimmern wird durch verschiedene Wellenfronten erzeugt, die sich über das erregbare Vorhofgewebe ausbreiten würden. B) Fokushypothese. Vorhofflimmern wird durch kontinuierliche Entladung einer sehr hochfrequenten fokalen Quelle in oder um die Lungenvenen aufrechterhalten. Die aus dem Fokus entstehenden Aktivierungsfronten werden im umgebenden Gewebe fraktioniert und desorganisiert und führen zu einer fibrillatorischen Leitung. C) Rotorhypothese. Vorhofflimmern wird durch einen Ausbruch ektopischer Schläge ausgelöst, die ihren Ursprung in den Lungenvenen haben, deren Wellenfronten bei Ankunft an der Krümmung des venoatrialen Übergangs fragmentieren und zwei Wirbel erzeugen, die sich in entgegengesetzte Richtungen drehen. Schließlich etabliert sich einer der Wirbel in der hinteren Wand, was zur Bildung eines „Rotors“, einer autokatalytischen Spiralwelle, führen würd. Sie könnte dann das lokale Gewebe mit hoher Frequenz aktivieren und Wellenfronten erzeugen, die fragmentieren und ausbreiten (RA =rechter Vorhof; LA = linker Vorhof. Abb.: Felipe Atienza Fernández: The Atrial Fibrillation Substrate: Pulmonary Veins, Posterior Wall, or Both; Rev Esp Cardiol. 2006;59(7):643-6).

„Schlupfloch“ für fehlerhafte Herzrhythmen, die so wieder auf den ganzen Vorhof übergreifen können. Zudem gilt es für den Arzt, eine gute Balance zwischen möglichst ausreichender Narbenbildung einerseits, Vermeidung von Schäden umliegenden Gewebes andererseits zu finden. Ein – geringes – Risiko besteht zum Beispiel in der Verletzung der Speiseröhre, die unmittelbar an der Ablationsstelle vorbeiführt. Solche Verletzungen können tödlich en-

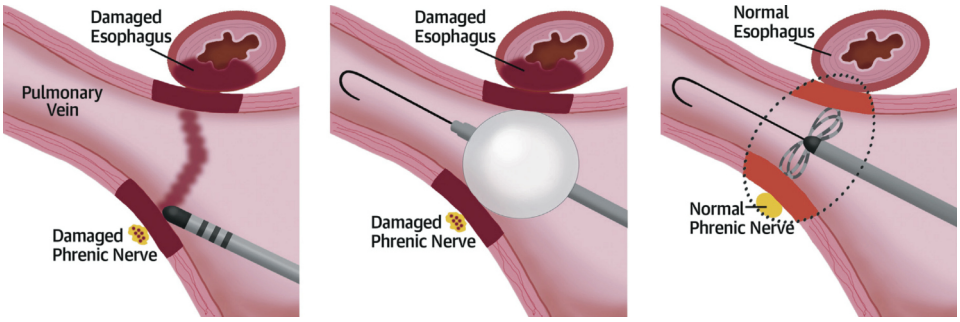


Abbildung 4: Schematische Darstellung verschiedener Methoden der Pulmonalvenenisolation. Ziel ist, fehlerhafte Leiterbahnen möglichst vollständig zu unterbrechen, umliegendes Gewebe jedoch zu schonen. Links dargestellt: die RF-Ablation. Mit solch einer durch hochfrequente Ströme aufgeheizten Katheterspitze setzt der Arzt Punkt neben Punkt um die Öffnungen der Lungenvenen herum, bis jeweils ein Kreis von verödeten Gewebepunkten geschlossen ist (point-by-point-Technik). Mitte: Ein Kryoballonkatheter. Die thermische Ablation mit Radiofrequenz- oder Kryoballonkathetern schädigt ohne Unterschied alle Gewebearten. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Speiseröhre (Ösophagus) und auch dem Zwergfellnerv (Nervus phrenicus), die nicht zu Schaden kommen dürfen. Im Gegensatz dazu hat sich gezeigt, dass die Pulsed-Field-Ablation (PFA; rechtes Bild) bevorzugt das Herzmuskelgewebe schädigt und damit diese angrenzenden Strukturen schont (Abb.: V. Y. Reddy et al.: Pulsed Field Ablation for Pulmonary Vein Isolation in Atrial Fibrillation; Journal of the American College of Cardiology, Volume 74, Issue 3, 23 July 2019, Pages 315-326).

den. Man hat daher mittlerweile Katheterspitzen mit Drucksensoren ausgestattet, die den Anpressdruck an das Herzgewebe messen und so eine bessere Kontrolle des Vorgangs ermöglichen. Man muss sich immer vor Augen halten: Der ganze Prozess geschieht bei schlagendem Herzen unter Blutfluss!

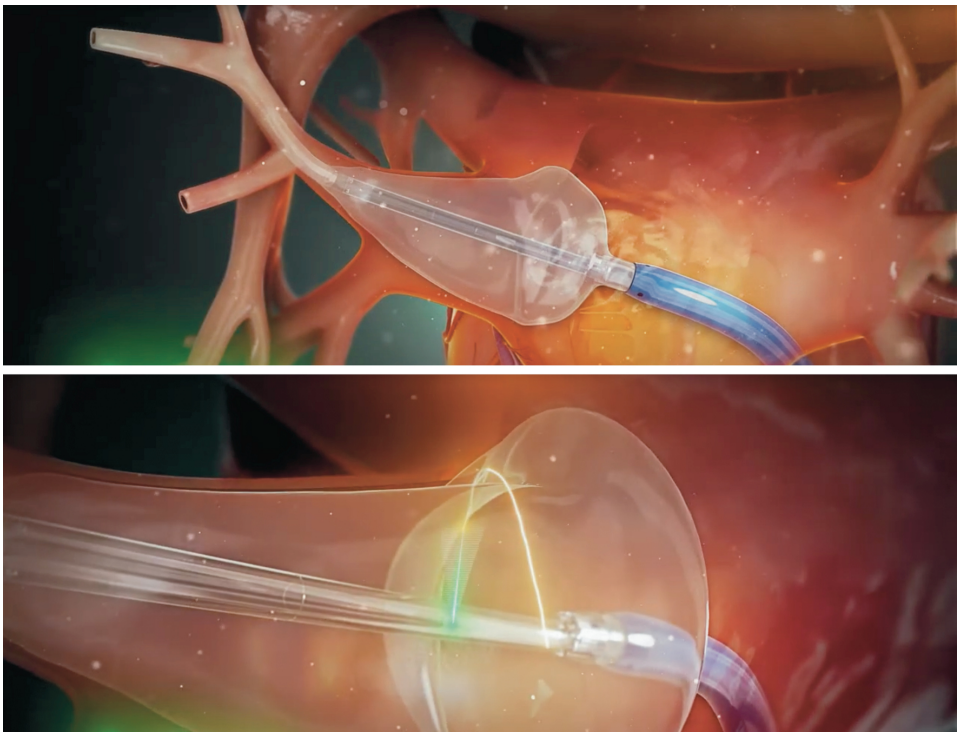
Eine Vereinfachung der Methodik erfolgte dann mit der Einführung von Ballonkathetern (Abbildung 4, mittleres Bild). Die Idee dahinter: Wenn man etwas größeres Rundes hat und dies an eine kleinere runde Öffnung heranbringt, bildet sich am Rand der Öffnung automatisch ein Narbenkreis, wenn der Ballon eine entsprechende Energie aufbringt.

3.2 Der kalte Ballon

Dies gelingt in zweierlei Weise: Durch starke Kälte oder – seltener – durch Laserstrahlung. Erste Erfahrungen mit einem Kälteballon, der Kryothermie zur Ablation von Herzrhythmusstörungen sammelte man durch Versuche bei Hunden und Schweinen. Der erste Einsatz der Kryothermie im Ballonverfahren beim Menschen gelang im Jahr 2007. Bei dem Verfahren wird flüssiges Lachgas (N_2O) in einem Doppelballon versprüht. Durch Änderung des Aggregatzustands entstehen Ballontemperaturen zwischen –50 bis –80 °C. Der Ballon ist in zwei Größen verfügbar mit Durchmessern von 23 und 28 mm. Durch Aktivierung der Kühlmitteleinspritzung friert der Ballon innerhalb von wenigen Sekunden an der Öffnung der Vene in den Vorhof fest und erzeugt eine homogene, breite Verödung durch die Kälte. Der Vorteil dieser Singleshot-Technik der Kryoballonablation ist, dass nicht wie bei der Radiofrequenzablation viele einzelne Punkte isoliert werden müssen, sondern durch den Ballon eine durchgehende, kreisförmige Verletzung gesetzt wird, die dann vernarbt. Mittlerweile arbeitet man mit der vierten Generation von Kryoballon-Kathetern, die jetzt auch während der Ablation elektrische Signale aufnehmen können sowie durch verbesserte N_2O-Einleitung schneller vereisen. Der direkte Kontakt des Kryoballons mit dem Gewebe beträgt einige Minuten. Das damit erzeugte kurzzeitige Verschließen der entsprechenden Lungenvene hat für den Patienten übrigens keinen nennenswerten Einfluss.

Die Kryoballon-Katheterablation hat sich jetzt neben der RF-Ablation als Standardverfahren durchgesetzt. Allerdings ist ihr Einsatz auf die Pulmonalvenenisolation begrenzt. Hingegen lässt sich die die RFA auch zur Ablation von Triggerpunkten oder dem Ziehen von Ablationslinien verwenden.[7]

Abbildung 5: 3D-Visualisierung eines flexiblen Laserballons im Eintritt einer Lungenvene in einem Herzvorhof; unten der in Stärke und Richtung steuerbare Laser. Nicht extra gekennzeichnet, aber in der Nähe des Lasers vorhanden ist die endoskopische Faser (Abb.: Bildschirmfotos aus einem Video der Herstellerfirma CardioFocus).



3.3 Der Laser mit Kamera

Ein anderer Ballonkatheter verwendet eine Laser in seiner Spitze (Abbildung 5). Das Besondere da-

bei: In dem Katheter verläuft auch eine endoskopische Faser. Somit wird eine direkte Sichtkontrolle von dem Kontakt des Ballons auf das Herzgewebe ermöglicht.

Der endoskopische Laserballon hat seit seiner Einführung auch mehrere Versionen durchlaufen. Das ursprüngliche Konzept bestand darin, einen 360-Grad-Umfangsstrahl zu liefern, der eine vollständige Pulmonalvenenisolation mit einer Energieabgabe ermöglichen würde. Es wurde jedoch bald erkannt, dass die Lungenvenen ovale Strukturen mit variabler Verzweigung sind, und dass kein einzelnes Umfangsmuster für die PV-Anatomie geeignet war. Der Ballon der zweiten Generation war ein Ballon mit festem Durchmesser, der in den Durchmessergrößen 20, 25 und 30 mm erhältlich war. Eine endoskopische Faser ermöglichte die direkte Visualisierung der Herzvorhof-Oberfläche in Kontakt mit dem Ballon. Die Laserenergie wurde in einem 90-Grad-Bogen um den Rand der Lungenvenen gelenkt. Dadurch sollte die Energieabgabe gerichteter sein. Aus mehreren Bögen ließen sich die nötige kreisförmige Verödung hervorrufen.

Ein weiterentwickeltes endoskopische Laserablationssystem besteht aus drei Komponenten: einem äußeren nachgiebigen Ballon, einem Läsionsgenerator – dem Laser für die Ablation – und dem Endoskop. Die Ballongröße ist je nach Aufblasdruck einstellbar und hat Durchmesser zwischen 25 und 32 mm. Der Laser erzeugt einen 30 Grad-Bogen aus Lichtenergie und wird von einem 980-nm-Diodenlaser angetrieben. Die Wellenlänge von 980 nm infraroten Lichts wurde gewählt, weil sie optimal für die Absorption durch Wasser ist, was die gewünschte Erhitzung des Gewebes ermöglicht. Innerhalb des Ballons befindet sich hingegen schweres Wasser, D_2O, das die Laserenergie, die zwischen 5 und 14 Watt beträgt, nur schlecht absorbiert.[8] Der Arzt benötigt für den Lasereinsatz an jeder Pulmonalvene einige Minuten, ähnlich wie bei der Ablation mit dem Kryoballon. Neuere Veröffentlichungen mit einem Laserballon der 3. Generation nennen eine Gesamtzeit des Lasereinsatzes von rund 20 Minuten.[9, 10]

Im Verhältnis zur RF-Ablation und zur Kryoballonablation werden Ballonkatheter mit Lasern bislang nur wenig zur Ablation eingesetzt. Man ging dann aber davon aus, dass sich die Laserablation in stärkerem Maße verbreitet.[10] Doch das Bessere ist der Feind des Guten, und das kündigt sich nun an.

3.4 Die neueste Technik: Selektiv, sicher, schnell

Allen vorgestellten Ablationstechniken ist eins gemeinsam: Sie veröden das Gewebe, auf das sie treffen, auch wenn es eventuell mal das falsche sein sollte. Zudem ist die eingesetzte Energie nicht leicht steuerbar. Das erschwert dem Arzt die Balance zwischen ausreichendem Energie-Einsatz zur sicheren Verödung, zur vollständigen Narbenziehung, um keine Schlupflöcher für fehlerhafte Rhythmen zu lassen, und andererseits zur Vermeidung von Schädigungen

Abbildung 6: Der eingesetzte Pulsed-Field-Katheter von Farapulse weist fünf Arme auf, die sich durch Ziehen am zentralen Befestigungsfaden blumenförmig ausweiten lassen; der Katheter hat dann einen Durchmesser von 31 mm. Jeder Arm verfügt über vier Elektroden. Das gepulste elektrische Feld wird zwischen den einzelnen Elektroden aufgebaut. Die dritte Elektrode jeden Arms kann auch zur Aufzeichnung elektrischer Potenziale der Vorhofwände dienen (Foto: RK).

benachbarter Gewebe. Bei der Pulmonalvenenisolation kommt man zum Beispiel der Speiseröhre (Ösophagus) gefährlich nahe; auch der Zwergfellnerv (Nervus phrenicus) liegt nicht fern. Seine Beschädigung kann zu einer Zwergfelllähmung führen; eine – sehr seltene (0,03 % von 20 000 Patienten [11]) – Beschädigung des Ösophagus führt meist zum Tode.

Diesen Balanceakt zwischen Sicherheit und Behandlungserfolg will die Pulsed-Field-Ablation erleichtern (Abbildung 4, rechtes Bild; Abbildung 6). Wie mir mein Operateur, Dr. Turgut Brodherr, leitender Oberarzt am Krankenhaus Agathariedin Hausham am Schliersee bestätigte, ist dieser Sicherheitsaspekt das Wichtigste für ihn bei der Einführung der neuen Methode, auch wenn sie zudem noch sehr schnell ist.

Wie bereits erwähnt dauerten Radiofrequenz-Ablationen nach der point-by-point-Technik durchaus mal vier Stunden. Mit Vor- und Nachbereitung verbrachte ich hingegen knappe zwei Stunden im Operationsraum, dem Katheterlabor, davon knapp eine Stunde für den gesamten Operationsprozess – und nur drei Sekunden für die eigentliche Ablation einer Lungenvene. Da bei mir im linken Vorhof vier Lungenvenen-Öffnungen vorliegen (manche Menschen haben nur

Abbildung 7: Der Operateur demonstriert vor dem Eingriff den PF-Katheter in aufgespannter Form, die an eine Blüte erinnert. Dessen Durchmesser beträgt dann 31 mm.

zwei, weil je zwei Venen sich vor den Vorhöfen vereinigen), wurde die Prozedur viermal durchgeführt.

Das Geheimnis des neuen Verfahrens: Es wirkt selektiv nur auf das Gewebe des Herzens; die eingesetzte Energie wirkt zellspezifisch. Wenn der Pulsed-Field-Ablationskatheter aus Versehen mal die Speiseröhre treffen sollte, passiert praktisch nichts.

Der Grund dafür: Pulsed-Field-Ablation (PFA) ist im Gegensatz zu den bisher genutzten Methoden eine nichtthermische Ablationstechnologie. Sie verursacht durch kurz anhaltende, gepulste elektrische Felder mit hoher Amplitude im Gewebe Läsionen. Die Beschreibung „hohe Amplitude“ erläutert Brodherr mit konkreten Werten: 1500 Volt werden maximal an das Gewebe angelegt. Dies destabilisiert Zellmembranen durch Bildung irreversibler nanoskaliger Poren und Auslaufen von Zellinhalten, was den Zelltod zur Folge hat. Im Detail: Die gepulsten Felder führen zur Peroxidation der Phospholipide und Inaktivierung der Membranproteine.[12] Durch Steigerung der Permeabilität an der Zellmembran kommt es zu einem freien Fluss von Ionen und Molekülen sowie zu einem dann folgenden Zelltod.

Wichtig ist, dass verschiedene Gewebe spezifische charakteristische Schwellenfeldstärken für die eingesetzten elektrischen Felder aufweisen, bei denen der Zelltod eintritt. Das machte man sich vor dem Einsatz der Methode bei Vorhofflimmern in der Krebsbehandlung zu Nutze. Dort wird PFA zur Behandlung von soliden Tumoren eingesetzt, die aufgrund der Nähe zu großen Blutgefäßen oder Nerven nicht chirurgisch zu entfernen sind. In ähnlicher Weise scheint PFA für die Herzablation einzigartig geeignet zu sein, da Kardiomyozyten für die Empfindlichkeit auf gepulste elektrische Felder die niedrigsten Schwellenwerte aller Gewebe aufweisen.[13] Beispielsweise liegt der Schwellenwert für eine Zellwandschädigung, eine irreversible Elektroporation bei Herzzellen (Myozyten), bei ungefähr 400 V/cm. Der Grenzwert des Endothels (der innersten Wandschicht) etwa der Speiseröhre) oder der glatten Gefäßmuskulatur liegt mit ungefähr 1750 V/cm über viermal so hoch, und der von Nervengewebe sogar 9-fach höher (ca. 3800 V/cm).[12]

Der eingesetzte PF-Katheter weist fünf Arme auf, die sich durch Ziehen am zentralen Befestigungsfaden blumenförmig ausweiten lassen; der Katheter hat dann einen Durchmesser von 31 mm (Abbildung 7). Jeder Arm verfügt über vier Elektroden (Abbildung 6). Das gepulste elektrische Feld wird zwischen den einzelnen Elektroden aufgebaut. Die dritte Elektrode jeden Arms kann auch zur Aufzeichnung elektrischer Potenziale der Vorhofwände dienen. Als Variablen für die Anwendung des Katheters dienen neben der Spannung die Dauer der Impulse (Nano- bis Millisekunden), die Frequenz sowie die Anzahl der Phasenwechsel des elektrischen Feldes. So lässt sich die Methode spezifisch auf das vorliegende Gewebe einstellen.

4. Arbeiten nach Visualisierungen

Auch die Schnelligkeit des Verfahrens hat Vorteile. Insbesondere führt es zu niedrigeren Strahlenbelastungen für den Patienten, bei dem die Ablation ja unter Röntgenkontrolle durchgeführt wird. Sie beträgt bei den bislang zum Einsatz kommenden Methoden RF-Ablation rund 17 Minuten, bei der Kryoablation 20 Minuten, und bei der PFA nur ungefähr 5 Minuten.[12, 14] Damit wären wir bei der Frage: Wie findet der Arzt die Stellen, die zu abladieren sind? Um nochmal die Situation zu schildern: Der Katheter ist in einem schlagenden Herzen voller Blut...

4.1 Röntgentechnik

Zunächst denkt man da wohl an Röntgentechnik, und das ist auch zutreffend (Abbildungen 8 und 9). Allerdings will man den Patienten nicht stundenlang – was die bisherigen Ablationsmethoden betrifft – den Röntgenstrahlen aussetzen, auch wenn moderne Röntgengeräte durch gesteigerte Empfindlichkeit schon mit geringen Strahlenstärken auskommen.

4.2 3D-Mapping

Von daher hat man neue bildgebende Verfahren ersonnen. Im wesentlichen sind heute zwei Systeme im Einsatz, nach denen ein Computer aus ermittelten

Messwerten das Innere des Herzens modelliert; das nennt sich dann 3D-Mapping.

Die heute häufig verwendeten 3D-Mappingsysteme sind das System „Carto“ (Biosense Webster, Inc., Diamond Bar, California, USA) sowie „NavX“ (vormals St. Jude Medical, Inc., St. Paul, MN, USA; jetzt Abbott Laboratories).

4.2.1 Magnetfeld-Mappingsystem

Das Carto-System basiert auf der Erzeugung eines Magnetfelds zur elektroanatomischen Darstellung des linken Herzvorhofs. Ein unter dem Patienten angebrachter Magnetfeldsender generiert drei magnetische Wechselfelder und erzeugt so ein elektromagnetisches Feld im dreidimensionalen Raum. An der Spitze des Katheters befinden sich elektromagnetische Sensoren. Mithilfe dieser Sensoren kann die Feldstärke der einzelnen Magnetfelder gemessen und darüber die exakte Katheterpositionierung ermittelt werden. Durch Abtasten der Vorhofwand mit dem Mappingkatheter lässt sich so durch die Registrierung von genügend Orientierungspunkten eine dreidimensionale Darstellung des Vorhofs erzeugen.[7]

4.2.2 Impedanz-Mappingsystem

Bei mir kam ein EnSite Precision NavX-System zum Einsatz. Das Prinzip hinter dem NavX-System beruht auf Impedanz-Messungen, Ermittlungen von Wechselstrom-Widerständen (Abbildung 9). An drei Elektrodenpaaren (entsprechend der drei Raumebenen), die auf der Haut des Patienten angebracht sind, werden Spannungsgradienten zwischen je einem Elektrodenpaar aufgebaut und so ein dreidimensionales niedrigenergetisches elektrisches Feld erzeugt.

Abbildung 8: Röntgenbild des aufgespannten, fünfblättrig-blütenförmigen PFA-Katheters im Herzen; rechts daneben ein Mapping-Katheter.

Abbildung 9: Das bewegliche Röntgengerät ist Mitte links zu sehen. Auf dem Bildschirm links unten ist das 3D-Mapping des Herzens zu sehen. Farben zeigen den – hier guten – Zustand des Vorhofgewebes an. Im Vordergrund rechts unten erkennt man zwei Katheter, die gleichzeitig über zwei Ports in der Leiste zum Herzen geführt wurden.

Abbildung 10: Elektrodenabdruck auf dem Rücken drei Tage nach dem Eingriff (Foto: RK).

Die Positionierung jeder Elektrode eines Katheters in diesem Feld kann bei Bewegung durch Veränderungen der Spannungsgradienten bestimmt werden. Insgesamt kamen drei verschiedene Katheter zum Einsatz (maximal zwei gleichzeitig; Abbildungen 8 und 9). Ein Katheter war der beschriebene PFA-Katheter. Ein weiterer Katheter diente als Ankerpunkt für das 3D Mapping, und ein dritter Katheter verfügte über 20 Pole, konnte zwischen je zweien davon Signale der Vorhofwände abgreifen. Auch er diente speziellen Mapping-Aufgaben.

Das NavX-System hat einen Modus zur automatischen Erstellung der anatomischen Map, wobei es Korrekturen und Veränderungen sowie Neueinfügen einzelner Orientierungspunkte erlaubt. .

Die Verwendung eines Mapping-Systems vermindert die Belastung durch Röntgenstrahlen erheblich, und zudem liefert es zusätzliche Informationen über die Qualität der Herzgewebe beispielsweise. Es wundert mich jetzt nicht mehr, dass ich vor dem Eingriff mit Elektroden nur so zugepflastert wurde, im wörtlichen Sinne, deren Spuren etliche Zeit nach dem Klinikaufenthalt auf der Haut zu sehen waren (Abbildung 10).

4.3 Echo im Hals

Um sicher Arbeiten zu können, zogen die Ärzte in Agatharied noch eine dritte Bildquelle mit ein: Während des Eingriffs überwachte man das Herz mit einer transösophagealen Echokardiographie (TEE; Abbildung 11). Dabei wird eine Ultraschallsonde über die Speiseröhre (Ösophagus) bis auf Herzhöhe vorgeschoben. Durch die unmittelbare Nähe zum Herzen, die gute Ankoppelung des Schallkopfs an den feuchten Schleimhäuten und das Fehlen der Haut als mögliche Barriere bekommt man durch die Sonographie von der Speiseröhre aus eine sehr hohe Ortsauflösung. Insbesondere Strukturen der Herzvorhöfe und der Herzklappen sind mit TEE sehr viel besser darstellbar als bei der Echokardiographie von außen. In den Vorhöfen können Thromben im linken Vorhof und linken Herzohr dargestellt, ein offenes Foramen ovale diagnostiziert, der Fluss in den Lungenvenen gemessen und Lungenvenenanomalien untersucht werden.

Die TEE diente den Ärzten bei der Ablation zusätzlich dazu, den Katheterkopf an die richtigen Stellen im Herzen zu positionieren.

5. Operation gelungen – Patient lebt wieder besser

Gemerkt habe ich von dem allen zum Glück – außer einer leisen Heiserkeit nach dem Eingriff – nichts, da man mich in eine leichte Propofol-Narkose versetzte. Propofol erfordert keine Intubierung, wirkt als Hypnotikum, hat jedoch keine schmerzlindernde Wirkung. Dennoch konnte man über zwei Ports – zwei Eingänge in die Adern – gleichzeitig zwei Katheter in die Leiste legen, ohne dass sich dies vernehmen ließ. An die zwei venösen Armzugänge (für Sedierung, Kontrastmittel) und einen arteriellen Zugang (online-Blutdruckmessung) denkt man dann schon gar nicht mehr.

Es hat sich aber gelohnt: Nach dem Eingriff war das Vorhofflimmern verschwunden. Zudem teilte mir Turgut Brodherr mit, die Vorhöfe seien in „ausgezeichnetem Zustand“, ein positives Ergebnis des Mapping, und das, obwohl mein Flimmerereignis bereits seit einigen Monaten bestand. Das lässt hoffen, dass die Behandlung einen relativ langen Erfolg haben wird.

Von selbst begann das Herz

Abbildung 11: Illustration eines transösophagealen Echokardiographie-Systems mit einer Sonde, die durch die Speiseröhre direkt ans Herz geführt wird (Abb.: Wikipedia / BruceBlaus CC BY-SA 4.0).

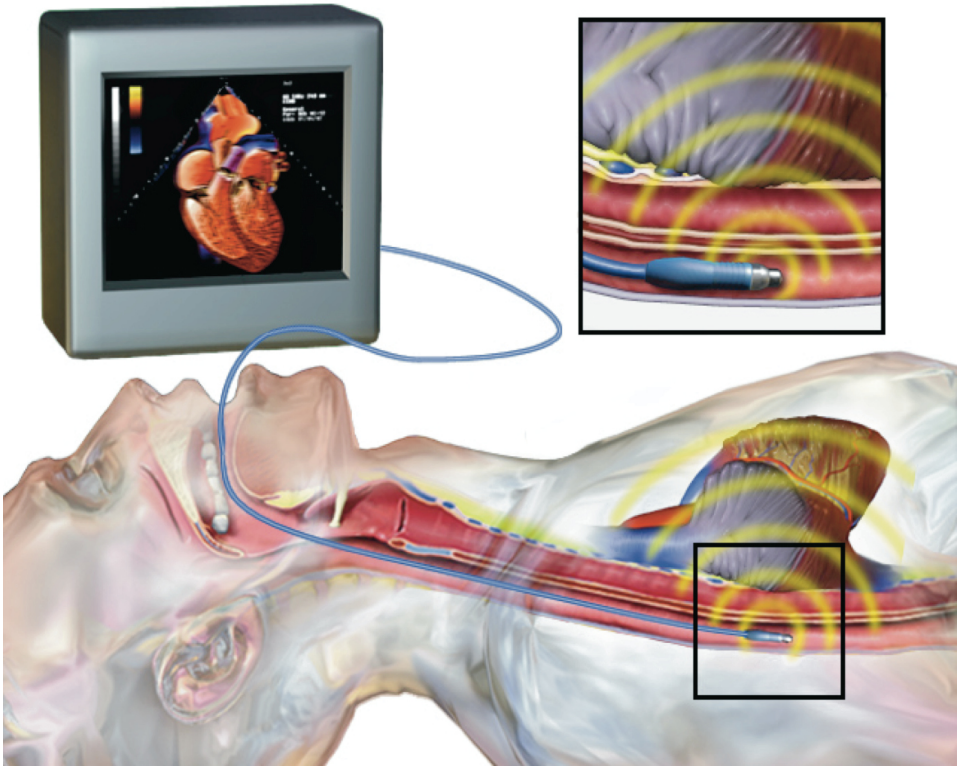


Abbildung 12: Das Bild zeigt einen Defibrillator, der auf die R-Zacke des QRS-Komplexes für eine Kardioversion synchronisiert ist (Pfeile über der R-Zacke; Foto: Wikipedia / Student-DoctorDG CC BY-SA 4.0).

nach dem eigentlichen Ablationsvorgang übrigens nicht wieder, in regelmäßigem Rhythmus zu schlagen. Dafür sorgte erst eine Kardioversion, natürlich auch noch unter Propofol-Narkose. Bei der elektrischen Kardioversion gibt man über Brustelektroden einen heftigen Stromstoß ab. Dieser synchronisiert fast immer die Aktivität der Herzmuskelzellen. Das Verfahren ähnelt dem Einsatz eines Defibrillators, wird aber auf die R-Zacke des QRS-Komplexes abgestimmt. Bei diesem handelt es sich um eine Gruppe von Ausschlägen im Elektrokardiogramm. Die R-Zacke ist der deutlich sichtbare höchste positive Ausschlag (Abbildung 12). Diese Synchronisation soll vermeiden, dass Kammerflimmern auftritt, und das Herz wieder in Rhythmus bringen. Der Einsatz der Kardioversion *nach* der Ablation zeigt auch, dass die chaotischen Wellen im Vorhofgewebe ein sich selbst erhaltendes System darstellen.

5.1 Erfolg nicht immer garantiert

Wie gesagt: Bei mir lässt die Vorhofbeschaffenheit auf einen anhaltend positiven Verlauf hoffen. Katheterablation von Vorhofflimmern ist jedoch nicht immer von Erfolg gekrönt. Die Erfolgsraten liegen etwa zwischen 20 und 90 Prozent. Diese große Spanne ergibt sich einerseits aus Verfahrensmöglichkeiten; wie gesagt, müssen die Verödungen nahtlos um die Pulmonalvenen-Eingänge im linken Vorhof gelegt werden. Andererseits hat die Konstitution der Vorhöfe Einfluss darauf, auch die Zeitdauer des Bestehens des Vorhofflimmerns. Zudem verändern sich die Vorhöfe im Laufe des Alterungsprozesses, werden größer, mehr mit Bindegewebe durchzogen. Dadurch ist es möglich, dass das Flimmern nach etlichen Jahren wieder auftritt.

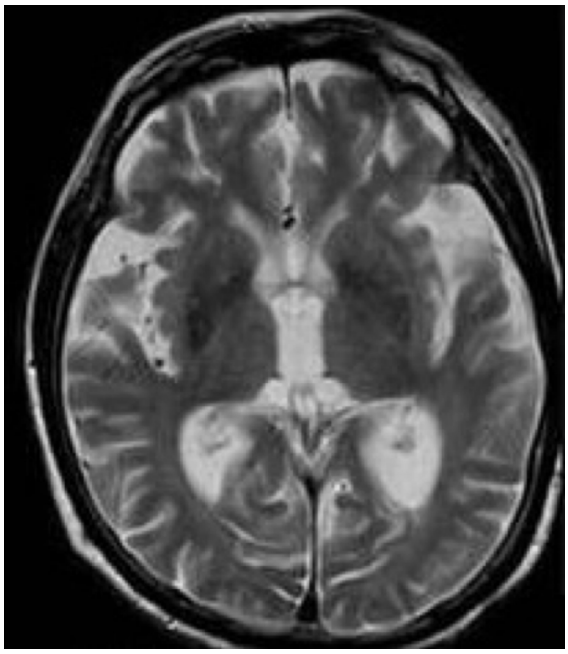
Auch direkt nach solch einem Eingriff sind durch Veränderungsprozesse nach der Verödung oder durch Entzündungsprozesse noch Vorhofflimmer-Ereignisse möglich, die dann aber zurückgehen sollten. Auch mein Herz war im wahrsten Sinne „aufgeregt“, was sich erfreulicherweise aber nur in einigen Extrasystolen äußerte, die auch nachließen. In Fällen wiederauftretenden Vorhofflimmerns kann eine erneute Ablation helfen.

5.2 Gering wahrscheinliche Schädigung ausschließen

Anschließend prüfte man das Herz mehrfach per Ultraschall auf einen Perikarderguss, eine Flüssigkeitsansammlung im Herzbeutel. Solch eine Komplikation kann sich in seltenen Fällen ergeben (2014 in Deutschland: 3,5 %; nur 0,8 % erforderten einen Eingriff [15]). Ergebnis jedesmal: negativ.

Vom Blutkreislauf her gesehen ist der linke Herzvorhof direkt mit dem Gehirn verbunden. Umso gefährlicher könnte es sein, wenn winzige Geweberückstände nach Ablationen – egal mit welchem Verfahren – in die engen Adern des Gehirns gelangen. Dort könnten sie Mikroembolien verursachen, die nicht unmittelbar spürbar wären, aber zu langfristigen Schäden führen können. Da die Methode der PFA noch sehr neu ist und man den Grad möglicher Gewebereste im Blut noch genau statistisch erfassen will, machte man noch einen fünf Minuten dauernden MRT-Gehirnscan (Abbildung 13) – mit ebenfalls absolut beruhigendem Ergebnis.

Abbildung 13: Bei Ablationen generell können in seltenen Fällen kleinste Gewebeteilchen von dem Herzvorhof direkt ins Gehirn gelangen. Sie verursachen nicht unmittelbar eine merkliche Verletzung, können aber nach Jahren zu mentalen Ausfallerscheinungen führen. Bei Anwendung der neuen Methode PFA werden dazu noch Daten gesammelt. Nach dem Eingriff macht man daher zur Sicherheit eine Magnetresonanz-Untersuchung des Gehirns. Das Bild ist eine Beispielabbildung für einen Hirnscan mit Magnetresonanz (Abb.: Jian-Min Shen et al.: BMC Medical Imaging 11 (1); DOI:10.1186/1471 -2342-11-2. ISSN 1471-2342; CC-BY-2.0).



6. Ausblick

Die Katheterablation des Vorhofflimmerns hat sich für mich gelohnt; das Lebensgefühl, die Leistungsfähigkeit (nach einem Herzinfarkt im Herbst letzen Jahres, der zu dem anhaltenden Vorhofflimmern führte) haben sich beide deutlich verbessert – wichtig gerade auch deshalb, weil das Infarkt-geschädigte Herz eben an Leistungsfähigkeit eingebüßt hat.

Gelohnt hat sich wohl auch die Fahrt von Heidelberg nach Hausham 70 km südlich München – mit einer Anreise-Übernachtung in einem wunderbaren Hotel am 15 km vom Krankenhaus Agatharied südlich gelegenen Spitzingsee (Abbildung 14). Die Sicherheit der Pulsed-Field-Methode und ihre kürzere Eingriffszeit sprechen für sich. Von daher kam ich – angeleitet durch meinen Beruf als Wissenschaftsjournalist – überhaupt auf die Idee dieser Reise. Es gibt zur Zeit nur wenige Kliniken in Deutschland, die mit der neuen Technik ausgestattet sind, nach Angaben von Turgut Brodherr (Abbildung 15) 15 an der Zahl.

Bei meiner Erstrecherche waren es nur fünf, und es entwickelte sich eine sehr gute Kommunikation gerade zur Klinik nach Agatharied. Dass dieses gegenüber anderen Herzzentren und Unikliniken nicht im Zentrum der Forschung stehende Landeskrankenhaus über die neueste Technik verfügt, erklärt sich über die Aktivität des Spezialisten Brodherr: Er war zuvor am Isar-Herzzentrum in München mit federführend an der Einführung der Laserablation beteiligt, und Mitarbeiter der damalige Medizintechnik-Firma wechselten dann zu dem Anbieter der Pulsed-Field-Geräte. So ergab sich die Verbindung zu neuester Ablationstechnik.

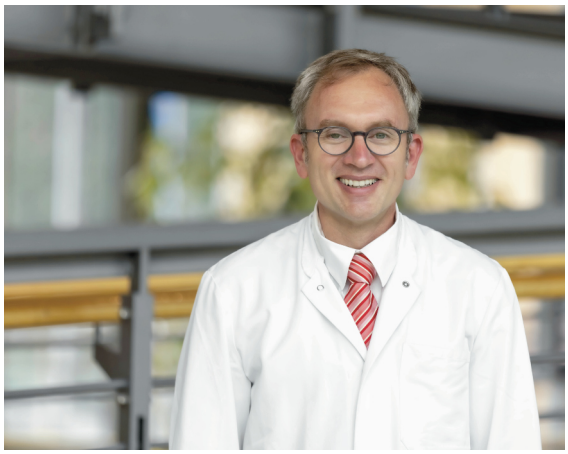


Abbildung 15: Turgut Brodherr erläuterte dem Autor im Detail, wie die Pulsed-Field-Ablation in seinem Herzen ablief. Der Elektrophysiologe ist von der neuen Methode überzeugt und nimmt an, dass sie ihre guten Ergebnisse auch in der Langzeitbeobachtung bestätigt. Er war bereits an der Einführung der Laserablation am Isar-Herzzentrum in München beteiligt (Foto: Krankenhaus Agatharied).

Man darf nicht aus den Augen verlieren, dass Herzrhythmusstörungen eine komplexe Angelegenheit sind. Wie bereits angedeutet und in CLB 3/4-2022 beschrieben gibt es neue Entwicklungen, die zu verbesserten medikamentösen Behandlungen führen können. Auch minimal-invasive Operationen sind möglich. Sie haben den Vorteil, dass das Vorhofohr gleich mit geschlossen werden kann, in dem sich Blutgerinnsel ansammeln könnten (siehe auch CLB 3/4-2022)

Zudem lässt sich eventuell auch das Vorhofflimmern ablativ anders behandeln als durch Pulmonalvenenisolation. Es wurde anfangs dargestellt, dass sich bei dem Prozess in den Vorhöfen kreisende Ströme ausbilden, Rotoren. In der aktuellen internationalen Studie TAILORED-AF wird untersucht, ob künstliche Intelligenz dabei helfen kann, bestimmte Strommuster in den Vorhöfen zu finden; das deutsche Herzzentrum in München ist daran beteiligt. Dabei analysiert die Software VX1 KI des Startup-Unternehmens Volta Medical aus Marseille in Echtzeit die Signale einer elektrophysiologischen Untersuchung, um Zentren in den Vorhöfen zu identifizieren, von denen fehlerhafte Erregungen ausgehen, die dann anschließend gezielt abladiert werden.

Abbildung 14: Der Spitzingsee liegt etwa 15 km südlich vom Krankenhaus Agatharied in Hausham. Die Straße führt vorbei am Schliersee und dann über eine kleine Passhöhe zu dem rund 300 m höher, auf 1000 Höhenmetern liegenden Spitzingsee. Das Foto zeigt den gleichnamigen Ort, aufgenommen von der gegenüberliegenden Seeseite. Im Hintergrund das 1986 m hohe Hintere Sonnenwendjoch in Österreich (Foto: RK).

6.1 33 Millionen Patienten mit Vorhofflimmern weltweit

Es ist anzunehmen, dass die Komplexität der Herzrhythmusstörungen, auch des Vorhofflimmerns, dazu führen wird, dass jede Methode – medikamentös, Pulmonalvenenisolation, Rotorenisolation – eine Besonderheit aufweist, die sie jeweils für die bestimmten Gegebenheiten geeignet macht. Unter den Ablationsmethoden dürfte die Pulsed-Field-Technologie jedoch aufgrund ihrer Sicherheit und Schnelligkeit die Nase vorn haben, sofern langfristig keine gravierenden Nachteile sichtbar werden. Der Markt ist umkämpft: Ausgehend von 33 Millionen Patienten mit Vorhofflimmern weltweit wurde der Markt für Ablationstechnologien auf 5,4 Milliarden US-Dollar im Jahr 2019 geschätzt.[16]

Ob sich Arturo Rosenblueth und Norbert Wiener in den 1940er Jahren je hätten ausdenken können, welche Rolle die Kybernetik bzw. Informatik einmal für die Herzrhythmustherapie spielen wird...

Literatur / Quellen

[1] Mathew, Shibu; Kuck, Karl-Heinz; Tilz, Roland: Perspektiven der Kardiologie; Dtsch Arztebl 2014 Supplement; 111(15): [24]

[2] A.Rosenblueth, J.Garcia Ramos: Studies on flutter and fibrillation: II. The influence of artificial obstacles on experimental auricular flutter; American Heart Journal, Volume 33, Issue 5, May 1947, Pages 677-684

[3] Gordon K Moe, Werner C Rheinboldt, J. A. Abildskov: A computer model of atrial fibrillation; American Heart Journal Volume 67, Issue 2, February 1964, Pages 200-220.

[4] Gordon K Moe, J. A. Abildskov: Atrial fibrillation as a self-sustaining arrhythmia independent of focal discharge; American Heart Journal Volume 58, Issue 1, July 1959, Pages 59-70

[5] Michel Haïssaguerre , Pierre Jaïs , Dipen C. Shah, Atsushi Takahashi: Spontaneous Initiation of Atrial Fibrillation by Ectopic Beats Originating in the Pulmonary Veins; New England Journal of Medicine, vol. 339, Nr. 10, 3. September 1998, p. 659–666

[6] Lee S, Khrestian CM, Sahadevan J, Waldo AL: Reconsidering the multiple wavelet hypothesis of atrial fibrillation; Heart Rhythm. 2020 Nov;17(11):1976-1983

[7] Florian Rainer Straube: Die Katheterablation von symptomatischem paroxysmalem und persistierendem Vorhofflimmern mittels Kryoballontechnik; Kumulative Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia Legendi der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München für das Fach Innere Medizin und Kardiologie 2019

[8] Edward P. Gerstenfeld, MD: How to Perform Pulmonary Vein Isolation Using Laser Catheter Ablation; https://thoracickey.com/how-to-perform-pulmonary-vein-isolation-using-laser-catheter-ablation/#ref1

[9] C.-H. Heeger et al.: Rapid pulmonary vein isolation utilizing the third-generation laserballoon – The PhoeniX registry; IJC Heart & Vasculature Volume 29, August 2020, 100576

[10] J. R. Skeete et al.: Clinical Applications of Laser Technology: Laser Balloon Ablation in the Management of Atrial Fibrillation; Micromachines 2021, 12(2), 188

[11] Ghia, K.K., Chugh, A., Good, E. et al. A nationwide survey on the prevalence of atrioesophageal fistula after left atrial radiofrequency catheter ablation. J Interv Card Electrophysiol 24, 33–36 (2009).

[12] Lindemann · S. Nedios · T. Seewöster · G. Hindricks: Pulmonalvenenisolation bei Vorhofflimmern mittels „pulsed field ablation“; Herz 2021 · 46:318–322, 17.6.2021, Springer-Nature

[13] Kaminska I, Kotulska M, Stecka A, et al.: Electroporation-induced changes in normal immature rat myoblasts (H9C2); Gen Physiol Biophys 2012; 31:19–25.

[14] Reddy VY, Neuzil P, Koruth JS et al.: Pulsed field ablation for pulmonary vein isolation in atrial fibrillation;. J Am Coll Cardiol 74:315–326 (2019)

[15] https://www.kardiologie.org/vorhofflimmern/ueberraschend-viele-komplikationen-nach-katheterablation-in-deut/16020318; 8.8.2018

[16] https://www.goingpublic.de/life-sciences/intelligente-software-gegen-vorhofflimmern/

Neue Website der Allianz der Wissenschaftsorganisationen

Die Allianz der Wissenschaftsorganisationen ist ab sofort mit einer eigenen Website im Netz präsent. Der nun eröffnete Internetauftritt unter www.allianz-der-wissenschaftsorganisationen.de bündelt alle Informationen zur Allianz und ihren Mitgliedern. Insbesondere werden die wissenschaftspolitischen Stellungnahmen und Aktivitäten der Allianz dort zentral veröffentlicht und archiviert.

Prof. Katja Becker, Präsidentin der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), kommentiert: „Die Leistungsfähigkeit des deutschen Wissenschaftssystems beruht nicht zuletzt auf der Vielfalt möglicher Forschungs- und Förderformen. Diese Vielfalt ist der institutionelle Ausdruck der Wissenschaftsfreiheit, die wir in Deutschland genießen. In den Abstimmungen der Allianz der Wissenschaftsorganisationen kommt diese Freiheit zu ihrer vollen Blüte: Gemeinsam stärken wir die Komplementarität der verschiedenen Förderansätze und koordinieren wichtige Fragen und Themen, um dauerhaft exzellente Spitzenforschung zu ermöglichen.“

Die Allianz der Wissenschaftsorganisationen ist ein Zusammenschluss der bedeutendsten Wissenschaftsorganisationen in Deutschland. Sie nimmt regelmäßig Stellung zu wichtigen Fragen der Wissenschaftspolitik. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft ist Mitglied der Allianz und hat für 2022 die Sprecherrolle übernommen. Weitere Mitglieder sind die Alexander von Humboldt-Stiftung, der Deutsche Akademische Austauschdienst, die Fraunhofer-Gesellschaft, die Helmholtz-Gemeinschaft, die Hochschulrektorenkonferenz, die Leibniz-Gemeinschaft, die Max-Planck-Gesellschaft, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und der Wissenschaftsrat. Die neue Internetpräsenz als zentrale Anlaufstelle bietet nun auf einen Blick alles Wissenswerte zur Allianz und zu ihren Initiativen.