Konventionelles und elektroanatomisches Mapping – zentrales diagnostisches Werkzeug als Grundlage ablativer Therapieverfahren bei komplexen atrialen und ventrikulären Arrhythmien

Wo kommen wir her?

Zunächst beschränkte sich das Spektrum zur Prävention und Therapie klinischer Tachyarrhythmien lange Zeit auf die Pharmakotherapie in Form frequenzbegrenzender oder spezifisch wirkender Antiarrhythmika. Ein Spezifikum dieser Strategie bestand und besteht in dem Umstand, dass dieser Ansatz keine kausale Therapieform, sondern lediglich Arrhythmiesuppression bewirkt. Die problematischen Konsequenzen reichen von potentiell eingeschränkter Verträglichkeit durch unerwünschte Wirkungen, reduzierter Compliance bis hin zur Tachyphylaxie.

Wenn auch zunächst keine spezifischen Therapieansätze zur Verfügung standen, wuchs durch intensive anatomische und physiologische Studien des Herzens und der Elektrokardiographie bereits sehr früh das Verständnis normaler und krankhafter elektrischer Abläufe am Herzen.

In den Anfängen bezog sich dieses Verständnis vornehmlich auf die elektroanatomischen Grundlagen der spezifischen Reizbildung und -leitung. Die Zusammenhänge zur Impulsbildung und -weitergabe durch das beteiligte Myo-

kard wurde anhand der elektrokardiographischen Beobachtungen und deren Korrelat zu anatomischen Gegebenheiten interpretiert. So gelang vergleichsweise früh eine sehr präzise Beschreibung der putativen elektrischen Abläufe im rechten Atrium unter Vorhofflattern [1, 2]. Durch korrekte Interpretation der für die Impulsausbreitung funktionellen Bedeutung anatomischer Strukturen wie der Crista terminalis, des Koronarvenensinustriums und des Trikuspidalklappenannulus konnten entsprechende Abläufe in anatomisch komplexen Situs bereits früh beschrieben werden.

Die technische Innovation der Ablationstherapie stellt einen Meilenstein in der Geschichte der Rhythmologie dar. Erstmals eröffnete sich die Möglichkeit, mittels steuerbarer Katheter kardiale Strukturen zu modulieren bzw. zu eliminieren und so kardiale elektrische Leitungen präzise zu analysieren und im Bedarfsfall zu unterbinden. Die technischen Optionen dazu entwickelten sich rasch, und so stehen zunehmend spezifischere Ablationskatheter zur Applikation unterschiedlicher, für verschiedene Zwecke konzipierter Energieformen zur Verfügung.

Anfänglich standen die Reizleitungsstrukturen im Fokus. Auf die Elimination bzw. Modulation der Atrioventrikular(AV)-Junktion zur reinen ventrikulären Frequenzbegrenzung folgten spezifischere Ablationsstrategien, z. B. zur Therapie der AV-Knoten-Tachykardie oder zur Elimination akzessorischer Verbindungen. Zunehmend wuchs das Verständnis für die passive und ggf. aktive (patho)physiologische Funktion, die die angrenzenden myokardialen Strukturen zur Genese bzw. „perpetuation“ tachykarder Arrhythmien beitrugen, beginnend mit dem Vorhofflattern vom gewöhnlichen Typ.

Etwa zeitgleich rückten fokale Arrhythmien in den Blickpunkt des Interesses. Zu deren Diagnostik stand anfänglich als zentrales diagnostisches Werkzeug lediglich das konventionelle Vorzeitigkeitsmapping zu einem gewählten Referenzsignal unter Tachykardie zur Verfügung, durch das die lokale Identifikation einer Fokalregion bzw. zumindest ihres endokardialen Durchbruchs gelingt. In den Anfängen waren Datenakquise, ihre Darstellung und Interpretation und die Korrelation zur patientenspezifischen Anatomie mühsam und aufwendig, aber letztendlich überwiegend zielführend.

Was haben wir bisher erreicht?

Im Rahmen komplexerer elektrophysiologischer Prozeduren kam es zu einer stetig steigenden Datenmenge, die in einem für den Patienten zumutbaren zeitlichen Umfang zu einem interpretationsfähigen Gesamtbild verdichtet werden musste. Daraus resultierte die Entwicklung computergestützter Systeme, mit denen die Erstellung präziser dreidimensionaler (3D-)Geometrien der zu untersuchenden Herzhöhle und gleichzeitig die Visualisierung der zugehörigen physiologischen bzw. pathophysiologischen elektrischen Abläufe gelingt. Systemabhängig können Daten aus anderen bildgebenden Quellen (Computertomographie [CT], Kardio-magnetresonanztomographie [Kardio-MRT]) mit den elektrophysiologisch erfassten Daten korreliert und dadurch die Präzision der Darstellungen noch gesteigert werden.

Auf diese Weise gelingen eindrucksvolle Animationen von Beginn und Verlauf kardialer Erregungsabfolgen – das *elektroanatomische Mapping*, eine Sternstunde in der Geschichte der Diagnostik und Behandlung tachykarder Arrhythmien. Sogenannte „propagation maps“ verdeutlichen Erregungsabläufe in bis dato nicht erreichbarer Nachvollziehbarkeit. „Peak-to-peak voltage maps“ zeigen normale bzw. nicht normale lokale elektrische Amplituden an. Deren Zusammenfassung erlaubt die Identifikation partieller oder kompletter Narbenregionen („dense scar“). Sie zeigen dadurch Regionen ohne bzw. erheblich verzögerter Erregungsausbreitung an. Daraus resultieren wichtige Informationen zur Erfassung eines möglichen Arrhythmiesubstrats.

Hat konventionelle elektrophysiologische Diagnostik noch eine Bedeutung?

Es darf keinesfalls vergessen werden, dass die reine Darstellung eines krankhaften Erregungsablaufs, beispielsweise eines Reentry, sei sie auch noch so eindrucksvoll und präzise, über die ursächlich beteiligten Strukturen an der Aufrechterhaltung solcher Erregungsabläufe nur bedingt Auskunft gibt. Daher sind die klassischen elektrophysiologischen diagnostischen Prinzipien wie beispielsweise das „entrainment pacing“ und die Ermittlung von Post-pacing-Intervallen zur Interpretation des vorliegenden Pathomechanismus unabdingbar.

Unter Kombination des elektroanatomischen Mappings und der funktionellen konventionellen elektrophysiologischen Diagnostik gelingt damit in zunehmendem Maße die Erfassung potentieller, im Myokard angesiedelter Phänomene und deren Bedeutung, dazu gehören z. B.:

- der Nachweis diastolischer elektrischer Aktivität in einer narbig veränderten, aber nicht komplett inaktiven Region, die sehr wohl entscheidend am Pathomechanismus einer Tachykardie beteiligt sein kann (Abb. 1);
- die Darstellung sog. „confined zones“, die den wahren Ursprung einer fokalen Aktivität von ihrem „break

out“ in das Myokard differenzieren helfen;

- die Lokalisation spezifischer Narbenstrukturen und ihre funktionelle Bedeutung, z. B. im Sinne eines artefiziellen kritischen Isthmus als Folge zwischen narbigen Strukturen verlaufender leitungsfähiger „Tunnel“;
- die topographische Darstellung iatrogenen Narbenstrukturen als Grundlage sog. „inzisionaler Tachykardien“ um eine Narbenzone herum.

Wohin bewegen wir uns?

Die ständige technische Verbesserung der in der Elektrophysiologie zum Einsatz gebrachten Hard- und Software geschieht aktuell sehr rapide. Aufbau und Gestaltung innovativer Multielektrodenkatheter verbessern den Wandkontakt zum Gewebe und arbeiten störungsfreier. Innovative Software und modernste Elektrodentechnologie erlaubt uns die Erfassung selbst minimaler lokaler elektrischer Aktivität in konventionell nicht möglichem Ausmaß. Die Optimierung im Hintergrund arbeitender Algorithmen lassen zu, dass Systeme in durch den Operateur weitgehend frei wählbaren Grenzen lokalen Signale in ihrem Rhythmus, ihrer Filtersignatur, ihrem Timing und ihrer Amplitude als der Arrhythmie zugehörig oder eher als Artefakte interpretiert werden können. Die im Zweifelsfall erforderliche und mühsame Nachbetrachtung jeder einzelnen Messung wird entbehrlich. Auf diese Weise erreicht die Datenakquise zum elektroanatomischen Mapping hinsichtlich Geschwindigkeit und Präzision eine früher nicht vorstellbare Qualität.

Aber auch die Fusion konventioneller Therapien mit modernen diagnostischen Optionen bietet innovative Ansätze: Die Elimination der AV-Junktion ist beispielsweise nach wie vor eine etablierte Strategie, auf sonstige Art eine nicht frequenzbegrenzbare Tachyarrhythmie bei Vorhofflimmern zu behandeln. Ein neuer Ansatz besteht darin, mittels Ablation auf Basis elektroanatomischen Mappings das linke Atrium komplett gegen das rechte Atrium zu isolieren, so dass unbeschadet eines linksatrialen Flimmerns eine AV-sequentielle Aktivierung zwischen dem

Abb. 1 ▲ „Scar“ und „activation mapping“ des linken Ventrikels, Darstellung einer RAO-Projektion („right anterior oblique“). Die graue Fläche wird über die Erfassung der lokalen Amplitude definitionsgemäß durch das eingesetzte Navigationssystem Ensité™ NavX™ (Abbott Inc., Chicago, IL, USA) als Narbenzone eingestuft. Unter laufender ventrikulärer Tachykardie erfolgt ein ergänzendes „high-density mapping“ in der Narbenzone entlang der gelb markierten Punkte. Die Pfeile von links nach rechts korrelieren mit den in den jeweiligen Positionen über den Mapping-Katheter abgegriffenen lokalen Elektrogrammen (jeweils rechts im Bild – „ROV ABL D-2“), parallel dazu Darstellung des QRS-Komplexes unter laufender ventrikulärer Tachykardie in den Ableitungen ECG I, ECG aVF, ECG V1 und REF ECG. Die breiten nach oben weisenden weißen Pfeile in ROV ABL D-2 weisen auf die niederamplitudigen lokalen Aktivierungspotentiale, die dem diastolischen Weg der Erregungsausbreitung durch die Narbe entsprechen, und ihr Verlauf kann anhand des zeitlichen Abstands zum Break-out-Punkt (Onset des QRS-Komplexes unter Tachykardie – mit grünem Balken in ROV ABL D-2 markiert und von unten nach oben kürzer werdend) exakt nachvollzogen werden

rechten Atrium und den Ventrikeln und damit eine „physiologischere“ Situation noch zu erreichen ist.

Was dürfen Sie von unserer aktuellen Ausgabe erwarten?

In den einzelnen Beiträgen der vorliegenden Ausgabe finden Sie State-of-the-art-Beiträge führender Autoren, auf die wir uns in den nachfolgenden Zeilen beziehen. Dadurch erhalten Sie aktuelle In-

formationen über neuartige technische Optionen, Entwicklungen und Perspektiven aktueller Mapping-Verfahren, aber auch Bewährtes findet Berücksichtigung.

Die Bedeutung des standardisierten konventionellen Mappings (Pace-/Entrainment-/Vorzeitigkeitsmapping) im Rahmen elektrophysiologischer Untersuchungen wird ausführlich beschrieben, insbesondere seine Bedeutung als Ergänzung zum elektroanatomischen Mapping.

Im erweiterten Sinne spielen Mappingprozeduren im Bereich des Koronarvenensinus zur Optimierung des Therapieerfolgs einer Resynchronisationstherapie im Einzelfall eine entscheidende Rolle. Klinische Implikation und Perspektiven eines dezidierten Mappings des Koronarvenensinus werden Ihnen ausführlich erläutert.

Es wird dargestellt, wie es mittels des Non-contact-mapping-Systems Ensité3000™ (EA; Abbott Medical, Chi-

cago, IL, USA) möglich ist, nicht nur zuverlässige 3D-Geometrien und Aktivierungsmaps zu erstellen, sondern auch im Sinne eines Alleinstellungsmerkmals zum Zeitpunkt der Maßnahme nur selten in Erscheinung tretende fokale Aktivität trotz geringer Präsenz sicher lokalisieren zu können.

Sie erfahren, wie es das sog. „dipole density mapping“ ermöglicht, mittels eines mit 48 Ultraschallkristallen sowie 48 Elektroden ausgestatteten Katheters (AcQMap®-Katheter, Acutus Medical Inc., Carlsbad, CA, USA) eine simultan kontaktlose Erfassung der Anatomie sowie der elektrischen lokalen Aktivität des Herzens mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung und somit schlüssiger Maps zu generieren.

Sie können sich umfassend über das nicht-invasive Mapping mittels der CardioInsight™-Mapping-Weste (Medtronic Inc., Medtronic plc, Dublin, Irland), durch die elektrische epikardiale Potentiale über eine EKG-Weste (Elektrokardiographie) von der Haut zwecks Ablation von Vorhof- und Kammerarrhythmien abgeleitet werden, informieren.

Sie finden beschrieben, wie es unter Einsatz aktueller elektroanatomischer Mappingsysteme mittels Lokalisation elektrophysiologischer Katheter in elektrischen oder elektromagnetischen Feldern gelingt, eine von Fluoroskopie weitestgehend unabhängige Katheternavigation zu ermöglichen und hochauflösende wirklichkeitsnahe Modelle von Arrhythmiemechanismen zu generieren, und wie die Integration anderweitiger Bilddateien für die Ablation ventrikulärer Arrhythmien zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Einem weiteren Beitrag können Sie entnehmen, wie das Rhythmia™-Mappingssystem (Boston Scientific, Corporation, Carlsbad, CA, USA) unter Verwendung eines 64-poligen, magnetfeld- und impedanzbasierten bidirektional steuerbaren Mappingkatheters (Intella-Map Orion™, Boston Scientific), schnell und automatisiert hochauflösende dreidimensionale elektroanatomische Maps mit einer sehr hohen Punktdichte erzeugt.

Vor dem Hintergrund, dass ein relevanter Anteil ventrikulärer Tachykardien bei unterschiedlichen Grunderkrankungen ein epikardiales Substrat aufweist, werden Sie in einem weiteren Beitrag über die Möglichkeiten, die technischen Optionen und Voraussetzungen epikardialer VT-Ablationen eingehend informiert.

Ein in Teilen noch weit offenes Feld besteht in der Bedeutung der elektroanatomischen Analyse chaotischer elektrischer Abläufe unter Vorhofflimmern. Zu diesem Thema bieten wir Ihnen mehrere Artikel an. High-density-Mappings, teils in Kombination mit Daten aus anderen Bildgebungsstrategien bzw. extrakardialer Langzeiterfassung erweiterter Oberflächenelektrokardiographie, erlauben mittlerweile die Darstellung potentieller Makro- und Mikroentry-Kreisläufe, auf deren Basis der Pathomechanismus persistierenden und permanenten Vorhofflimmerns oder komplexer atrialer Flatterprozesse erfasst, analysiert und (neu) bewertet werden kann, um so potentielle innovative Therapiestrategien zu etablieren.

Im Bereich des Mappings und dem Verständnis persistierenden Vorhofflimmerns wurden bedeutsamste Fortschritte erzielt: endokardiale und extrakardiale Mapping-Tools ermöglichen die Darstellung potentieller, das Vorhofflimmern perpetuierender „driver“ oder sog. Rotoren, wodurch das arrhythmogene Substrat genauer erfasst und dargestellt werden kann, um die Entwicklung korrelierender Therapiestrategien zu ermöglichen.

Wo stehen wir heute, was erwarten wir von künftigen Entwicklungen und worin bestehen die offenen Fragen?

Ursprünglich waren konventionelle elektrophysiologische Untersuchungsverfahren von langen Prozedurdauern, aufwendiger Datenakquise, langen Durchleuchtungszeiten und entsprechender Strahlenbelastung gekennzeichnet. Moderne elektrophysiologische Untersuchungsanlagen in Verbindung mit aktuellen, zweckorientiert gestalteten Kathetern erlauben die präzise Erfassung einer

erheblichen Menge anatomischer und elektroanatomischer Daten. Mittlerweile stehen computergestützte Datenverarbeitungsverfahren zur Verfügung, die diese Datenflut in bislang unerreichter Geschwindigkeit in nachvollziehbare Maps der untersuchten kardialen Strukturen umwandeln. Hochspezialisierte Software unterstützt den Operateur bei der Erstellung dieser diagnostischen Daten. Die Integration von Datensätzen anderer Untersuchungsverfahren trägt in erheblichem Maß zur Qualität und Interpretierbarkeit des Mappings bei. Gleichwohl stellen uns speziell die chaotisch anmutenden elektrischen Abläufe der irregulären Arrhythmien vor interpretative Herausforderungen, und wir erhoffen uns von der Zunahme der erfassbaren Datenmenge und ihrer Analysierbarkeit weitere Einblicke in die aktuell noch schwer zu verstehenden Arrhythmien und ihre Substrate. Dass dies durch elektrische, elektromagnetische und mittlerweile auch ultraschallgestützte Verfahren immer besser und schneller gelingt, reduziert die Strahlenbelastung für Patient und das operative Team. Und eine verkürzte Prozedurzeit, speziell in den subaortalen Abschnitten des Herzens, reduziert nachweislich das periprozedurale Komplikationsrisiko.

Noch sind lange nicht alle Pathomechanismen, die Vorhofflimmern bzw. atypisches Vorhofflattern verursachen und/oder perpetuieren, verstanden. Die intensive Beschäftigung mit den pathoanatomischen und funktionellen Zusammenhängen haben bereits zu hochinteressanten Modellen geführt, die sich in der nächsten Zeit sicher noch präzisieren lassen.

Ein weiteres spannendes Feld ist die Beschäftigung mit der Bedeutung der elektrischen Abläufe zwischen Endokard und Epikard. Bislang wurden in erster Linie endokardial abgegriffene Signale der untersuchten Herzhöhlen zur Analyse herangezogen. Epikardiale Signale können in direktem invasiven Zugang oder konventionell elektrophysiologisch aus dem Koronarvenensinus, in Grenzen aus den Herzkranzgefäßen unter Einsatz spezieller Multielektrodenkatheter und gelegentlich indirekt über die Aortenwurzel bzw. die Hohlvenen er-

fasst werden. Welchen Beitrag die myo- und perikardialen Strukturen zwischen den bislang zugänglichen Geweben zum Pathomechanismus klinischer Arrhythmien beitragen, ist eine der Aufgaben, mit denen sich Elektrophysiologen in Zukunft werden auseinandersetzen müssen.

Reinhard Höltgen

Philipp Sommer

Korrespondenzadresse

Reinhard Höltgen

I. Medizinische Klinik – Kardiologie/Elektrophysiologie,
St. Agnes Hospital Bocholt –
Klinikum Westmünsterland
Barloer Weg 125,
46397 Bocholt, Deutschland
reinhard.hoeltgen@st-agnes-bocholt.de

**Prof. Dr. med.
Philipp Sommer, FHRS,
FESC, FEHRA**

AG 1 (Rhythmologie)
der DGK und Abteilung
für Rhythmologie, Klinik
für Kardiologie, Helios-
Stiftungsprofessur,
Herzzentrum Leipzig
Leipzig, Deutschland
philipp.sommer
@helios-gesundheit.de

Interessenkonflikt. P. Sommer gibt Referentenhonorare sowie Mitglied des Advisory Boards von Abbott und Biosense Webster an. R. Höltgen gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Olgin JE, Kalman JM, Lesh MD (1996) Conduction barriers in human atrial flutter: correlation of electrophysiology and anatomy. *J Cardiovasc Electrophysiol* 7(11):1112–1126
2. Waldo AL (1987) Mechanisms of atrial fibrillation, atrial flutter, and ectopic atrial tachycardia – a brief review. *Circulation* 75(4 Pt 2):III37–III40