

Kardiologie 2021 · 15:38–56

<https://doi.org/10.1007/s12181-020-00440-x>

Angenommen: 16. November 2020

Online publiziert: 26. Januar 2021

© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2021



Thomas Deneke<sup>1,7</sup> · Ralph Bosch<sup>2,8</sup> · Isabel Deisenhofer<sup>3</sup> · Lars Eckardt<sup>4</sup> · Boris Schmidt<sup>5,7</sup> · Philipp Sommer<sup>6,7</sup>

<sup>1</sup> Klinik für Interventionelle Elektrophysiologie, Rhön-Klinikum AG, Campus Bad Neustadt, Bad Neustadt a. d. Saale, Deutschland

<sup>2</sup> Cardio Centrum Ludwigsburg-Bietigheim, Ludwigsburg, Deutschland

<sup>3</sup> Abteilung für Elektrophysiologie, Deutsches Herzzentrum München, München, Deutschland

<sup>4</sup> Klinik für Kardiologie II – Rhythmologie, Universitätsklinikum Münster, Münster, Deutschland

<sup>5</sup> Cardioangiologisches Centrum Bethanien, AGAPLESION Markus Krankenhaus, Frankfurt, Deutschland

<sup>6</sup> Klinik für Elektrophysiologie/Rhythmologie, Herz- und Diabeteszentrum NRW, Bad Oeynhausen, Deutschland

<sup>7</sup> Nucleus der Arbeitsgruppe Elektrophysiologie und Rhythmologie (AGEP) (AG1), Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland

<sup>8</sup> Kommission für Klinische Kardiovaskuläre Medizin, Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland

## Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie zur Katheterablation ventrikulärer Arrhythmien

### 1. Hintergrund

Die Katheterablation von Kammertachykardien stellt für viele Patienten mit und ohne strukturelle Herzerkrankung eine sehr effektive Therapieoption dar. Etwa 10 % der Katheterablationen in Deutschland werden zur Behandlung von Kammertachykardien durchgeführt [1] – mit jährlich wachsendem Volumen. So wurden im Jahr 2018 in Deutschland geschätzte 9000 Ablationen bei ventrikulären Arrhythmien in ca. 234 Zentren durchgeführt. Diese Zahlen beinhalten das gesamte Spektrum ventrikulärer Arrhythmien (VA), wobei die Effektivität der Ablation individuell von den behandelten Patienten und Parametern der VA abhängt. In den letzten Jahren haben unterschiedliche Studien Grundlagen für eine Optimierung der Katheterablation bei VA etabliert, woraus der Bedarf praxisorientierter Empfehlungen zur stan-

dardisierten Indikationsstellung, Durchführung, Patientenselektion und Nachsorge von Patienten mit VA entstanden ist. Auch gibt es neue Therapieformen, die entweder bereits in der Praxis angewendet werden oder aber kurz vor der Etablierung zur Behandlung von VA stehen.

Die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie hat diese Autorengruppe beauftragt, auf der Basis des Expertenkonsensus „2019 HRS/EHRA/APHRS/LAHR expert consensus statement on catheter ablation of ventricular arrhythmias“ [2] Empfehlungen zur Katheterablation ventrikulärer Arrhythmien für Deutschland zu erarbeiten. Diese Empfehlungen beinhalten eine fokussierte Zusammenfassung und stellen die für Deutschland relevanten Neuerungen zusammen. Basierend auf dem sich schnell ändernden Wissenstand, wurde das 2019 erarbeitete Konsensdokument als Ergänzung zu der 2015 publizierten ESC-Leitlinie „Management von Patienten mit ventrikulären Arrhythmien und der Prävention des plötzlichen Herztodes“ [3] und der 2017 publizierten AHA/ACC/HRS-Leitlinie [4] konzipiert. Die Empfehlungen

entstanden aus einer Zusammenarbeit der amerikanischen, europäischen, asiatischen und lateinamerikanischen Herzrhythmus-Gesellschaften und beinhalten die klassischen Level der Indikationen (Klasse der Empfehlungen I bis III). Alle Empfehlungen des Konsensusmanuskripts wurden von mindestens 80 % der internationalen Autorengruppe konsentiert.

Der Fokus der DGK-Empfehlungen liegt nicht auf einer detaillierten Übersetzung des Konsensusmanuskripts, sondern auf einer zusammenfassenden Darstellung neuer praxisrelevanter Aspekte für die Therapie von Patienten mit VA in Deutschland. Auch wenn das Originalmanuskript multiple Empfehlungen beinhaltet, wurden diese in unseren Empfehlungen lediglich zusammengefasst und die aus Sicht der Autoren relevanten Gesichtspunkte als Auswahl ohne Anspruch auf Vollständigkeit herausgestellt. Die Therapie von Patienten mit VA stellt aufgrund der differenzierten Therapieoptionen eine Herausforderung in der kardiologischen Versorgung dar, und eine interdisziplinäre Evaluation der Patienten mit Einbeziehung einer

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit der Texte wird in Springer-Publikationen in der Regel das generische Maskulinum als geschlechtsneutrale Form verwendet. Diese Form impliziert immer alle Geschlechter.

Studie (Publikation)	Gruppe	N	Follow-up-Dauer (Mo)	Freiheit von VA-Rezidiven/ICD-Therapie (%)	p =	Mortalität	p
SMS – 2017 [15]	Katheterablation	54	26 (± 12)	53,7	0,84	16,7 %	0,65
	Keine Katheterablation	57	27 (± 14)	54,4		19,3 %	
VANISH – 2016 [13]	Katheterablation + fortgeführte AAD	132	23	40,9	NA	27,3 %	0,86
	Eskalation der AAD	127		36,2		27,6 %	
CALYPSO – 2015 [14]	Katheterablation + keine AAD	13	NA	38	NA	15,4 %	NA
	AAD	14		57		14,3 %	
VTACH – 2010 [11]	Katheterablation	52	22 (± 8)	46,4	0,051	9,6 %	0,68
	Keine Katheterablation	55	23 (± 10)	28,8		7,3 %	
SMASH-VT – 2007 [12]	Katheterablation	64	Median overall FU	67	0,007	9 %	0,29
	Keine Katheterablation	64	22,5 (± 5,5)	88		17 %	

	N	Intervention/Besonderheiten	Follow-Up (mo)	Freiheit von VA	Mortalität
Wolf – 2018 [19]	159	Erste VT-Ablation, „single center experience“ 27 % epikardial	47	55 %	25 %
Porta-Sanchez – 2018 [20]	20	DEEP-Mapping, „multicenter experience“	NA	75 % nach 6 Monaten	NA
De Riva – 2018 [21]	60	DEEP-Mapping	16	78 %	8,3 %

DEEP „decrement evoked potential“

elektrophysiologischen Expertise zur Beurteilung der Notwendigkeit einer Katheterablation ist sinnvoll.

## 2. Neue Studien zur Ablation von Kammertachykardien

Die Effektivität der Ablation von VA schwankt erheblich in publizierten Kollektiven. Bei fehlender struktureller Herzerkrankung sind Erfolgsraten von mehr als 80 % bei Patienten mit anhaltenden VA oder gehäuften Extrasystolen publiziert [5]. Lediglich bei idiopathischen Kammertachykardien mit epikardialen Ursprung finden sich nicht ganz so hohe Erfolgsraten [6].

### 2.1. Ischämische Kardiomyopathie (ICM)

Insbesondere bei Postinfarktpatienten stellen wiederkehrende VA trotz medikamentöser antiarrhythmischer Therapie ein häufiges klinisches Problem dar. Bei Patienten mit struktureller Herzerkrankung und ICD-Schocks führt eine Katheterablation zur relevanten Reduktion von Rhythmusereignissen [7]. Darüber hinaus kann eine Katheterablation v. a.

bei Patienten im elektrischen Sturm die Prognose verbessern [8]. Bei struktureller Herzerkrankung ist die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Ablation von VA auf dem Boden einer ischämischen Kardiomyopathie mit 56–77 % deutlich größer als für Patienten mit nichtischämischer Kardiomyopathie (38–67 %). Außerdem sind VT-Rezidive nach Ablation bei Patienten mit struktureller Herzerkrankung mit einer höheren Mortalität assoziiert. Die Analyse von retrospektiv erhobenen Daten von 2061 Patienten mit erfolgter VT-Ablation zeigt eine Freiheit von VT-Rezidiven nach 1 Jahr von etwa 70 % [9, 10].

Es liegen aktuell 5 randomisierte klinische publizierte Studien zum möglichen Nutzen einer VT-Ablation bei überwiegend ischämischer Kardiomyopathie vor (s. [Tab. 1](#); [11–15]). Zusätzlich wurden weitere Single-Center-Ergebnisse zum Teil spezieller Methoden einer Ablation bei ischämischer Kardiomyopathie publiziert (s. [Tab. 2](#)). Metaanalysen dieser Studien [16, 17] dokumentierten in den randomisierten Untersuchungen den Nutzen der VT-Ablation auf die Reduktion von ICD-Therapien und kardial bedingter Hospitalisationen. Ein Effekt

auf die Mortalität konnte in keiner der 5 Studien dokumentiert werden. Auch muss klar sein, dass keine dieser Studien einen randomisierten Vergleich von Katheterablation vs. Antiarrhythmikatherapie darstellt, sondern die Ablation jeweils eine Ergänzung zur fortgeführten medikamentösen Therapie darstellt.

Der optimale Zeitpunkt für eine VT-Ablation bleibt auch weiterhin unklar. Aktuelle Daten der BERLIN-VT-Studie [18] zeigen, dass Patienten im Hinblick auf einen kombinierten Endpunkt aus Tod oder Hospitalisierung aufgrund symptomatischer VT sowie einer Verschlechterung ihrer Herzinsuffizienz nicht von einer frühzeitigen VT-Ablation profitieren. Eine vor Studienbeginn festgelegte Zwischenanalyse führte zur vorzeitigen Beendigung der Studie, da keine relevante Änderung des Studienergebnisses unter Fortsetzen der Studie zu erwarten war. In der frühen Ablationsgruppe starben 6 Patienten gegenüber 2 Patienten bei verzögerter Ablationsstrategie (7,9 % vs. 2,4 %;  $p = 0,18$ ). Bei den sekundären Endpunkten nahm der Anteil der Patienten mit anhaltenden VT durch die frühe Ablation ab (39,7 % vs. 48,2 %;  $p = 0,05$ ). Dies galt auch für adä-

T. Deneke · R. Bosch · I. Deisenhofer · L. Eckardt · B. Schmidt · P. Sommer

## Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie zur Katheterablation ventrikulärer Arrhythmien

### Zusammenfassung

Die Katheterablation ventrikulärer Tachykardien (VT) stellt für viele Patienten mit und ohne strukturelle Herzerkrankung eine effektive Therapieoption dar. Bei Patienten ohne strukturelle Herzerkrankung (idiopathische VT oder ventrikuläre Extrasystolen [VES]) erfolgt die Indikationsstellung üblicherweise symptombezogen. Die Ablation asymptomatischer VES erscheint nur zur Wiederherstellung einer eingeschränkten Ventrikelfunktion gerechtfertigt. Bisher konnte keine Studie einen Mortalitätsvorteil durch die VT-Ablation demonstrieren, allerdings zeigt sich je nach zugrunde liegender kardialer Pathologie in unterschiedlichem Ausmaß eine Reduktion von VT-Rezidiven. Die Indikation zur Ablation von VT bei ischämischer Kardiomyopathie basiert auf mehreren randomisierten Studien, wohingegen die Indikationsempfehlungen zur Ablation bei nichtischämischer VT auf

Daten aus Expertenzentren basieren. Eine Klasse-I-Empfehlung zur Katheterablation gibt es unabhängig von der kardialen Pathologie für Patienten mit rezidivierenden VTs trotz chronischer antiarrhythmischer Therapie sowie im elektrischen Sturm. Bei Patienten mit nichtischämischer Kardiomyopathie ist häufig ein epikardiales Vorgehen notwendig. In diesen Fällen können das VT-EKG und die präinterventionelle Bildgebung hilfreich sein. Das intraprozedurale Vorgehen zur Ablation von VTs bei struktureller Herzerkrankung kann auf einer Identifikation von VT-Kanälen mittels präinterventioneller Bildgebung sowie intraprozeduralem Mapping mit einem elektroanatomischen Mappingsystem basieren, zunehmend wird ein High-Density-Mapping angewendet. Entscheidend erscheint die notwendig hohe Expertise der Untersucher und des durchführenden

Teams zur Versorgung von Patienten mit VTs. Das Einbinden eines multidisziplinären Teams in der Betreuung von VT-Patienten erscheint insbesondere auch zur optimierten Therapie der Grunderkrankung sinnvoll. Für die Versorgungsstruktur in Deutschland ist die Einbindung einer rhythmologischen Expertise für die differenzierte Versorgung von Patienten mit VTs notwendig. Die epikardiale Ablation von VTs sollte sinnvollerweise in Zentren mit einer dokumentierten Erfahrung von mindestens 75 Ablationen ventrikulärer Arrhythmien sowie allen Voraussetzungen für ein effektives und sicheres Management dieser komplex kranken Patienten erfolgen.

### Schlüsselwörter

Substratmodifikation · Herzinsuffizienz · VT-Einheit · Epikardiale Ablation · VT-Zentrum · Hochauflösendes Mapping · Indikationen · Idiopathische VT

## Recommendations of the German Cardiac Society on catheter ablation of ventricular arrhythmia

### Abstract

Catheter ablation of ventricular tachycardia (VT) has been documented to be an effective treatment option in patients with and without structural heart disease. In patients without structural heart disease the indications for ablation are based on symptomatic VT or premature ventricular complexes (PVC). Ablation of asymptomatic PVC is reserved for reversal of left ventricular dysfunction. No study so far has indicated a benefit of VT ablation with respect to mortality in patients with structural heart disease. The use of VT ablation leads to a reduction of VT recurrences depending on the underlying structural

cardiac pathology. Indications for VT ablation in ischemic cardiomyopathy are based on the results of multiple randomized trials, whereas in nonischemic cardiomyopathy VT patients recommendations are based on data from expert ablation centers. Ablation is recommended in patients with recurrent VT despite chronic antiarrhythmic medication. In patients with nonischemic VT epicardial ablation is frequently needed and VT electrocardiograph (ECG) and preinterventional cardiac imaging may be helpful for procedural planning. As VT ablation is a complex procedure, the experience of the surgeon, team and center

appear to be decisive. A multidisciplinary team approach to patients with structural VT to optimize treatment of the underlying cardiac pathology may be of help. For Germany recommendations on how to organize VT treatment, requirements for operator and center experience and prerequisites for epicardial VT ablation are documented.

### Keywords

Substrate modification · Heart failure · VT unit · Epicardial ablation · VT-center · High-density mapping · Imaging · Idiopathic VT

quate ICD-Therapien (34,2 % vs. 47,0 %;  $p=0,03$ ).

### 2.2. Nichtischämische Kardiomyopathie (NICM)

Randomisierte Studien zur VT-Ablation bei NICM existieren nicht; Empfehlungen basieren auf Daten, die von erfahrenen großen Zentren publiziert wurden (s. [Tab. 3](#)).

### 3. Indikationen VT und VES-Ablation

#### 3.1. Katheterablation Idiopathischer ventrikulärer Arrhythmien

Die Diagnose idiopathischer VA beinhaltet den Ausschluss einer relevanten anzuschuldigenen strukturellen Herzerkrankung einerseits und daraus resultierend dem in der Regel gutartigen

Charakter der VA. Prinzipiell basiert aufgrund der guten Prognose idiopathischer VA die Indikation zur Katheterablation meist auf den Patientenbeschwerden.

**Idiopathische Ausflusstrakt-VT.** Aufgrund der nachgewiesenen Überlegenheit der Ablation im Vergleich zur medikamentösen Behandlung sowie der niedrigen Komplikations- und hohen Erfolgsrate eines interventionellen Vor-

Hier steht eine Anzeige.



**Tab. 3** Ausgewählte Studien der letzten Jahre (Ein- oder multizentrisch) bei Patienten mit nichtschämischer Kardiomyopathie (gemischte Population) und ventrikulärer Tachykardie

	N	Intervention/Besonderheiten	Follow-up (mo)	Freiheit von VAs	Mortalität
Vaseghi – 2018 [22]	780	Multizentrisch; 39 % epikardiale Ablation	12,8	69 % beim 12-Mo-Follow-up (59 % zum Ende des Follow-up)	18 %
Muser – 2016 [23]	282	Monozentrisch; 38 % epikardial 36 % mit multiplen Prozeduren (insgesamt 442 Prozeduren)	48	79 %	15 %
Gökoglan – 2016 [24]	93	Monozentrisch; 71 % epikardiales Mapping bei 36 Patienten mit kompletter Narbenhomogenisierung	14	Single-procedure-Erfolg: 48,4 % (Scar Homogenization Group 63,9 %)	NA

gehens ist der hohe Empfehlungsgrad für eine Ablation gut begründet. Es wird die Empfehlung ausgesprochen, dass in der Konstellation von RVOT-VES die Ablation einem medikamentösen Therapieversuch vorzuziehen ist. Allerdings entspringen aus dem linksventrikulären Bereich 12–45 % der Ausflusstrakt-VES, hier ist eine Ablation insgesamt komplexer und mit einer höheren Komplikationsrate behaftet. Trotz typischer Ausflusstraktmorphologie kann der Ursprung auch im LV-Summit liegen, einer oftmals schwer zu erreichenden Region mit dickem Myokardanteil und häufig intramyokardial gelegenen Fokus. Hierzu werden mögliche Herangehensweisen zum Mapping und zur Ablation in dieser Region gegeben: Das Mapping im epikardialen venösen System kann ebenso zielführend sein wie eine endokardiale Ablation aus dem nächstgelegenen Areal des LV, wenn die früheste Stelle sich in großer Nähe zu einem Koronargefäß darstellt (<5–10 mm).

**Idiopathische VT (nicht Ausflusstrakt).**

Folgende anatomische Lokalisationen können ebenfalls typischerweise Ursprungsort für idiopathische VES/VT sein: im Bereich des rechten Ventrikels die Papillarmuskeln, das Moderatorband und der Trikuspidalklappenring. Aus dieser Region entspringen 10–15 % der RV-VES, wobei nach Ansicht der Autoren dieses Positionspapiers der Anteil niedriger ist. Analog treten ca. 15 % der LV-VES im Bereich der Papillarmuskeln (posteromedial oder anterolateral) auf; zudem sind der Mitralklappenring und die aortomitrale Kontinuität Prädispositionsorte [25]. Für diese Lokalisationen wird die Empfehlung zur Ablation für die Patienten ausgesprochen, bei denen

Medikamente ineffektiv, nicht gewünscht oder nebenwirkungsreich sind.

**3.2. VES bei Patienten mit und ohne strukturelle Herzerkrankung**

Beim Verdacht auf das Vorliegen einer Tachykardiomyopathie ist die Grenze der VES-Last, ab der eine LV-Dysfunktion auftreten kann, individuell unterschiedlich. Umstritten ist sicherlich der Aspekt, wie mit gehäuften VES bei asymptomatischen Patienten und normaler LV-Funktion umgegangen werden soll. Hier hat sich die Hälfte der Autoren des Konsensuspapiers [2] für eine prophylaktische Ablation nach entsprechender Aufklärung ausgesprochen, die andere Hälfte dagegen – hier findet sich also auch in den Kreisen der Experten keine Einigkeit.

Nach Ansicht der Autoren dieser Empfehlungen rechtfertigt die aktuelle Datenlage eine Ablation asymptomatischer VES unabhängig von deren Häufigkeit nur zur Wiederherstellung einer eingeschränkten linksventrikulären Funktion. Aber auch bei Patienten mit bekannter struktureller Herzerkrankung sollte im Einzelfall zur Verbesserung der LV-Funktion eine VES-Ablation erwogen werden. Im Vordergrund steht aber sicherlich die Katheterablation bei Patienten mit symptomatischen VES (evtl. nach ineffektiver entsprechender antiarrhythmischer Medikation).

**3.3. Katheterablation ventrikulärer Tachykardien bei Patienten mit struktureller Herzerkrankung (strukturelle VA)**

In dem aktuellen Konsensusdokument [2] ergeben sich aufgrund aktueller Studien veränderte Empfehlungen zur Indikationsstellung insbesondere in Bezug

auf den Zeitpunkt der Katheterablation von VA bei struktureller Herzerkrankung. Während die Katheterablation als Sekundärtherapie bei ineffektiver oder nicht möglicher antiarrhythmischer Therapie als Klasse-I-Empfehlung unabhängig von der zugrunde liegenden Herzerkrankung empfohlen wird, ist die prophylaktische Ablation nach einer ersten VT-Episode bei ICM auf eine Klasse-IIb-Empfehlung, basierend auf Daten mehrerer kürzlich publizierter Studien (s. unter 2.), heruntergestuft worden. Die Katheterablation wird andererseits bei Patienten mit elektrischem Sturm trotz medikamentöser Therapie eindeutig empfohlen (■ Tab. 4).

**VT-Ablationen bei Patienten mit ICM.**

In zahlreichen Ablationsstudien konnte gezeigt werden, dass durch Ablation eine deutliche Reduktion von ICD-Therapien (ATP und Schock) erreicht werden kann. Trotz mehrerer Studien, die eine Ablation bereits nach der ersten ICD Therapie untersucht haben, wird im vorliegenden Konsensusdokument aufgrund des geringen, aber vorhandenen prozeduralen Risikos eine frühzeitige Intervention zurückhaltender empfohlen als noch in den vorausgehenden Empfehlungen (aktuell Klasse-IIb-Indikation). Zu Recht stellen rezidivierende ICD-Therapieabgaben trotz einer antiarrhythmischen medikamentösen Therapie allerdings weiterhin eine klare Indikation zur Katheterablation (Klasse-I-Empfehlung) dar. Auch bei Patienten mit ischämischer CM und VT kann eine kombiniert endo- und epikardiale Ablation notwendig werden. Nicht erfahrenen Zentren wird empfohlen, eine Verlegung der Patienten in ein Zentrum mit Erfahrung im Bereich des epikardialen Mappings zu erwägen (s. 7. Voraussetzungen für

**Tab. 4** Auswahl der Indikationen zur endo- und/oder epikardialen Ablation bei Patienten mit strukturellen Herzerkrankungen und VTs. (Mod. nach [2])

Empfehlung zur Katheterablation		Klasse der Empfehlung
Ischämische Kardiomyopathie	Rezidivierende monomorphe VT trotz chronischer Amiodaron-Therapie (einer eskalierenden AAD-Therapie vorzuziehen)	I
	Rezidivierende symptomatische monomorphe VT trotz AAD-Behandlung (oder wenn AADs nicht toleriert oder kontraindiziert) zur Reduktion von VT-Rezidiven	I
	AAD-refraktärer elektrischer Sturm	I
	Rezidivierende monomorphe VT, wenn eine AAD-Therapie nicht gewünscht ist	IIa
	Bei Patienten mit ICD und einer ersten VT-Episode zur Reduktion rezidivierender VT-Rezidive oder ICD-Therapien	IIb
	Epikardiale Ablation bei rezidivierenden symptomatischen VT und fehlgeschlagener endokardialer Ablation oder als Ersteingriff bei Hinweisen (EKG, Bildgebung, Mapping) auf ein epikardiales Substrat	IIb
Nichtischämische Kardiomyopathie	Rezidivierende monomorphe VT trotz AAD-Therapie oder wenn eine AAD-Therapie nicht toleriert oder kontraindiziert ist zur Reduktion von VT-Rezidiven und ICD-Schocks	I
	AAD-refraktärer elektrischer Sturm zur Reduktion rezidivierender VT und ICD-Schocks	I
	Epikardiale Katheterablation bei nichteffektiver endokardialer Ablation oder als Ersteingriff bei Hinweisen (EKG, Bildgebung, Mapping) auf ein epikardiales Substrat	IIa

AAO Antiarrhythmika, in der Regel Amiodaron

Zentren). Bei der Entscheidung zu einer epikardialen Ablation sollte zudem berücksichtigt werden, dass der interventionelle subxyphoidale Zugangsweg im Gegensatz zum endokardialen Mapping bei wiederholten Eingriffen durch perikardiale Verklebungen/Verwachsungen erschwert bis unmöglich werden kann.

#### VT-Ablationen bei Patienten mit NICM.

Grundsätzlich ist die Ablationstherapie bei nichtischämischen Grunderkrankungen komplexer und zeigt eine höhere Rezidivrate als bei der ICM. Diverse zugrunde liegende Pathologien mit einem intra- und epimyokardialen Substrat, häufige pleomorphe und schnelle VT, eine schlechtere Induzierbarkeit und die mögliche Notwendigkeit eines epikardialen Zugangsweges sind nur einige Aspekte, die die interventionelle Therapie erschweren. Ein epikardialer Zugang ohne vorheriges endokardiales Mapping sollte nur bei eindeutigen EKG-Kriterien für das Vorliegen eines epikardialen Targets erwogen werden. In Einzelfällen kann neben dem EKG auch die präinterventionelle Bildgebung auf ein epikardiales Ablationstarget hinweisen.

#### 3.4. Ablationstherapie bei Patienten mit faszikulären VT und Bundle-Branch-Reentry-Tachykardien

Eine besondere Form der Rhythmusstörung ist der sog. Bundle Branch Reentry (BBR), der mit exzellenten Ergebnissen zu abladieren ist. Die mittel- und langfristige Prognose der Patienten hängt hier entscheidend von der Grunderkrankung ab: BBR kann sowohl beim strukturell Herzgesunden als auch bei verschiedenen Kardiomyopathien auftreten. Hierdurch wird die Prognose im Wesentlichen bestimmt. Interessanterweise zeigen in der Literatur bis zu etwa 40% der Patienten im SR normale HV-Intervalle [2], auch wenn die Tachykardie selbst auf Leitungsverzögerungen im spezifischen Reizleitungssystem beruht. Neben NICM-Patienten mit AV-Überleitungsstörungen und Schenkelblockierungen sollte bei VT in der frühpostoperativen Phase nach Klappenoperationen an BBR gedacht werden. Auch bei den sog. faszikulären VT sind die Erfolgsraten der Ablation mit >95% Rezidivfreiheit exzellent. Häufig treten nach Ablation im spezifischen Reizleitungssystem im Anschluss Blockbilder auf – die Rate eines kompletten AV-Blocks wird jedoch als niedrig beschrieben.

#### 3.5. Ablationstherapie bei Patienten mit kongenitalen Herzerkrankungen

Das der Rhythmusstörung hier zugrunde liegende Substrat ist in der überwiegenden Zahl der Patienten mit kongenitalen Vitien durch die morphologische Veränderung des Myokards (z. B. Hypertrophie) und v. a. durch zurückliegende operative Korrekturen (Inzisionen, Kanülierungsstellen, Patches etc.) bedingt. Eine operative Korrektur hämodynamischer Probleme kann die Auftretenswahrscheinlichkeit von VT reduzieren, belastbare Daten hierfür liegen allerdings nur für die Fallot-Tetralogie vor. Für „Fallot-Patienten“ liegt das VT-Substrat meist im Bereich zwischen septalem Patch bzw. der Ventrikulotomienarbe und der Pulmonalklappe oder zwischen TK Annulus und dem Ausflustrakt-patch bzw. septalem Patch. Gegebenenfalls kann eine Ablation auch im Kontext einer notwendigen operativen Korrektur („concomitant“) durchgeführt werden. Aktuell liegen vielversprechende Daten zu einer prophylaktischen Ablation im Bereich kritischer Isthmen mit relevanter Leitungsverzögerung vor [26].

#### 3.6. VT-Ablationen bei Patienten mit HCM

Auch diese Subgruppe an VT-Patienten stellt besondere Herausforderungen an



den Untersucher: Bei der HCM ist es die Dicke des Myokards, die häufig durch einen alleinigen endokardialen Ansatz nicht effektiv ablatiert werden kann. Hier sind in der Mehrzahl der Fälle kombiniert endo- und epikardiale Ansätze notwendig – auch können ggf. alternative Techniken wie die intrakoronare Ethanolinjektion, eine bipolare Ablation zwischen 2 Kathetern mit einer speziellen Verschaltung des Generators oder zukünftig auch die Verwendung in Evaluation befindlicher spezieller Tools (z. B. RF-Nadel) zum Einsatz kommen.

In der Zusammenschau stärkt das vorliegende Konsensusstatement die Rolle der Ablationstherapie, relativiert jedoch auch die Bestrebungen prophylaktischer bzw. sehr frühzeitiger Ablationen. Auffallend ist, dass wiederholt betont wird, wie wichtig die Erfahrung des Untersuchers, aber auch des behandelnden Zentrums bei VES- und VT-Ablationen ist. Fernab einer möglichen und sicher schwierigen Diskussion von Mindestzahlen und -erfahrung schlagen die Autoren dieses Positionspapiers im Sinne einer optimalen Patientenversorgung in Deutschland vor, bei der Planung und Durchführung von VT-Ablation insbesondere bei strukturellen Herzerkrankungen besonders kritisch zu prüfen, wie und wo dem Patienten am besten geholfen werden kann.

#### 4. Prozedurplanung, Bildgebung, Diagnostik

Die Katheterablation von VA kann in Abhängigkeit von der jeweiligen Arrhythmie, aber auch patientenbezogenen Charakteristika wie hämodynamischem Status und zugrunde liegender struktureller Herzerkrankung einfach sein, aber zum Teil auch eine sehr komplexe Intervention beinhalten. Prinzipiell ist zu berücksichtigen, dass je stabiler ein Patient ist, desto besser und sicherer eine Ablation durchgeführt werden kann. Die Ablationsbehandlung kann unter anderem durch Auftreten von VA zu einer hämodynamischen Kompromittierung des Patienten führen. Die Patientensicherheit wird neben der Prozedur selber auch durch die optimierte Vorbereitung und Nachsorge des Patienten bestimmt. Bei den hier zusammengefassten Empfeh-

lungen handelt es sich um einen Vorschlag, Prozeduren zu standardisieren, um die Sicherheit und Effektivität durch eine suffiziente Vorbereitung zu optimieren.

**Präprozedurale Risikostratifikation.** Es werden zunehmend auch sehr komplexe Patienten aus einem Hochrisikokollektiv einer VT-Ablation zugeführt. Insbesondere bei diesem Kollektiv ist eine präprozedurale Stratifikation des Risikos möglicher periprozeduraler Komplikationen wie akute hämodynamische Dekompensation zur optimierten Prozedurvorbereitung sinnvoll. Es existieren verschiedene Risikoscores, die zur Vorhersage von „Hochrisikoeingriffen“ herangezogen werden können, die aber zum Teil nur in kleinen Kollektiven prospektiv untersucht wurden. So kann beispielsweise der PAAINESD-Risiko-Score (= Pulmonary Disease [Lungenerkrankung], Age [Alter], General Anaesthesia [Vollnarkose], Ischemic cardiomyopathy [koronare Herzerkrankung], NYHA, Ejection fraction [Ejektionsfraktion], VT-Storm [VT-Sturm], Diabetes [Diabetes mellitus]) [27, 28] oder der I-VT-Score ([29]; [www.vtscore.org](http://www.vtscore.org)) helfen, Patienten mit struktureller Herzerkrankung und VT zu identifizieren, die ein besonders hohes Risiko periprozeduraler und postprozeduraler Komplikationen (insbesondere akute kardiale Dekompensation) aufweisen. Insbesondere bei einem Patienten mit hohem Risiko (Patienten mit einem PAAINESD-Score >17) sollte die Strategie bezüglich Analgosedierung oder Narkose eruiert und die Notwendigkeit einer bereits präprozedural eingeleiteten hämodynamischen Unterstützung diskutiert werden. Gerade identifizierte Hochrisikopatienten sollten nach Einschätzung der Autoren in Zentren mit entsprechender Expertise versorgt werden.

**12-Kanal-EKG der VA.** Bei allen Patienten mit dem Verdacht einer VA wird empfohlen, ein 12-Kanal-EKG anzufertigen (*Klasse-I-Empfehlung*). Dieses 12-Kanal-EKG (außerhalb der Arrhythmie) kann wichtige Informationen zu einer möglichen zugrunde liegenden Herzerkrankung sowie prognostische

Informationen beinhalten. Zusätzlich wird empfohlen, ein 12-Kanal-EKG von der jeweiligen Arrhythmie anzufertigen. Dies hilft bei der Planung von VES/VT-Ablationen (*Klasse-I-Empfehlung*). In Einzelfällen kann ein 12-Kanal-EKG-Monitoring zur Evaluation der Arrhythmie sinnvoll oder notwendig sein. Das Arrhythmie-EKG liefert neben einer Hilfestellung zur Differenzialdiagnose des Arrhythmiemechanismus wichtige Hinweise auf den Ursprungsort. So kann die QRS-Morphologie bei fokalen Arrhythmien helfen, den Ursprungsort einzugrenzen, während das EKG bei Narben-assoziierten Reentry-Tachykardien den Austrittspunkt aus dem diastolischen Leitungskanal (VT-Kanal, -Isthmus) charakterisiert. Es existieren unterschiedliche Algorithmen für die Lokalisierung der zu erwartenden Zielregion auf dem Boden verschiedener kardialer Pathologien. Prinzipiell kann das 12-Kanal-EKG einer VT genutzt werden, um die Mapping-Strategie auf eine Region zu fokussieren, ohne allerdings den optimalen Ablationsort exakt voraussagen zu können.

**Präinterventionelle Bildgebung. Echokardiographie:** Eine Echokardiographie wird bei allen Patienten mit dem Verdacht auf VA zur Evaluation der linksventrikulären Funktion sowie möglicher kardialer Pathologien empfohlen (*Klasse-I-Empfehlung*). Ebenso wird empfohlen, bei Patienten mit linksventrikulärer Dysfunktion echokardiographisch vor Ablation einen intrakardialen Thrombus auszuschließen (*Klasse-I-Empfehlung*). Nach Meinung der Autoren dieses Positionspapiers sollte bei Patienten mit persistierendem Vorhofflimmern vor einer Ablation ein intraatrialer Thrombus ausgeschlossen werden, insbesondere wenn ein transeptaler Zugang gewählt wird oder aber zu erwarten ist, dass eine Defibrillation während der Katheterablation notwendig werden könnte (Gefahr thromboembolischer Komplikationen). Eine Ausnahme können Patienten unter effektiver Antikoagulation, nach LAA-Verschluss oder -Exzision darstellen. Eine kardiale Basisdiagnostik ist bei allen Patienten vor Katheterablation sinnvoll.

**Koronarangiographie:** Eine Koronar-diagnostik (Ischämietest oder Koronar-darstellung) inklusive möglicherweise notwendiger sukzessiver Revaskularisa-tion sollte bei Patienten mit dem Ver-dacht auf Ischämie-induzierte VA (vor oder während der Ablationsprozedur) erwogen werden (*Klasse-IIa-Empfeh-lung*). Eine alleinige Revaskularisation ist allerdings zur Verhinderung mono-morpher VT nicht effektiv. Transiente Myokardischämien sind eine bekannte Ursache von polymorphen, aber nicht von monomorphen VTs.

**Kardiale Schnittbilddiagnostik (Com-putertomographie [CT], Magnetreso-nanztomographie [MRT]):** Eine kardiale Schnittbilddiagnostik wie CT oder MRT sollte zur Evaluation einer zugrunde liegenden strukturellen Herzerkrankung erwogen werden (*Klasse-IIa-Empfeh-lung*). Insbesondere die MRT sollte aufgrund ihrer Detektion von intramy-okardialen Narbenzonen („late gadolini-um enhancement“) bei Patienten mit gehäuften VES zur Risikostratifikati-on bezüglich des plötzlichen Herztodes herangezogen werden (*Klasse-IIa-Emp- fehlung*), kann aber auch sinnvoll in der Differenzialdiagnostik und zum Verständnis von Reentry-Tachykardien sein.

Auch wenn keine randomisierten Studien existieren, die eine höhere Ef-fektivität von Katheterablationen unter Verwendung kardialer Bildinformation dokumentieren, scheint eine präpro-zedurale hochauflösende Bildgebung teilweise sinnvoll. Fortschritte in der Bildgebungstechnologie und -technik, Bildintegration und -analyse sowie Auswertung haben die Dokumentation von strukturellen Veränderungen des Ven-trikelmuskels sowie auch die Charak-terisierung potenziell arrhythmogener Substratanteile vereinfacht. Insbesonde-re bei ischämischer Kardiomyopathie (ICM) können sowohl MRT als auch CT vitale Myokardfaserstränge als po-tenzielle „VT-Kanäle“ und als Target innerhalb von Narbenzonen detektie-ren. Der Vorteil der CT ist hierbei die höhere räumliche Auflösung, während die MRT Goldstandard der Gewebe-charakterisierung ist. Zur artefaktfreien Beurteilbarkeit sollte eine MRT-Unter-

suchung idealerweise vor einer ICD-Implantation (*Klasse-IIa-Empfehlung*) durchgeführt werden.

## 5. Intraprozedurales Mapping und Ablation

Zur Identifikation des Ursprungsortes bzw. der kritischen Bestandteile eines Reentry-Kreises bei VA können unter-schiedliche Techniken und Technologien verwendet werden. Diese sind in der Re-gel für die ICM gut evaluiert, dezidierte Untersuchungen für NICM-Kollektive fehlen allerdings.

### 5.1. Elektrophysiologische Testung und prozedurale Endpunkte

Bei spontan auftretenden VA wie VES ist der prozedurale Endpunkt die voll-ständige Elimination der VES. Im Falle geringer oder fehlender Spontanaktivität können medikamentöse Provokations-manöver (z. B. Isoproterenol) oder Sti-mulationsmanöver (z. B. „Burstpacing“) hilfreich sein. Bei Patienten mit VT sollte die Prozedur mit einer elektrophy-siologischen Untersuchung begonnen werden, um die (reproduzierbare) Indu-zierbarkeit zu überprüfen, sofern es der klinische Zustand des Patienten zulässt. Dies gilt insbesondere für Patienten mit struktureller Herzerkrankung. Während kein universelles Stimulationsprotokoll existiert, besteht allgemeiner Konsens, dass zumindest von einem Ort mit 1 bis 2 Basiszykluslängen und Ankopplung von 1 bis 4 Extrastimuli bis zur jewei-ligen Refraktärzeit stimuliert werden sollte. Neben der vermuteten klinischen VT wird ebenfalls die Induzierbarkeit weiterer („nichtklinischer“) VT doku-mentiert. Allerdings gelingt es in etwa 10% der Fälle nicht, die klinische VT zu induzieren [30]. Einen Einfluss auf die Induzierbarkeit von VT kann hierbei auch eine prozedurale Analgosedierung haben. Die Nicht-Induzierbarkeit jegli-cher VT stellt den am besten evaluierten Endpunkt einer VT-Ablation dar. Insbe-sondere bei ICM-Patienten ist die Nicht-Induzierbarkeit nach der Ablation mit einem besseren arrhythmiefreien Über-leben assoziiert. Demgegenüber kommt es auch dann häufiger zu Arrhyth-

mierzidiven, wenn zwar die klinisch dokumentierte VT nicht mehr, jedoch weitere VT induzierbar bleiben. Die Mi-nimalanforderung an jede VT-Ablation sollte aber die Nicht-Induzierbarkeit der klinisch dokumentierten VT sein. Einige Zentren führen zusätzlich eine nichtinva-sive programmierte Elektrostimulation (sog. NIPS) über ein implantiertes Ag-gregat in den Folgetagen nach Ablation durch. Hierdurch kann evtl. die Prog-nose nach Ablation noch zuverlässiger vorhergesagt werden [31].

Aufgrund der vorgenannten Limi-tationen einer programmierten Kam-merstimulation werden zusätzliche End-punktkriterien vorgeschlagen, die mit dem Begriff Substratmodifikation zu-sammengefasst werden können. Hierbei werden Regionen mit abnormer elek-trischer Aktivität – die während des intrinsischen Rhythmus des Patienten also außerhalb einer VA identifiziert werden – ablatiert mit dem Ziel, po-tenzielle Reentry-Kreise zu eliminieren. Die abnorme elektrische Aktivität ist in der Regel charakterisiert durch niede-ramplitudige, fragmentierte, verspätete und/oder späte lokale Elektrogramme. Die Identifikation gelingt durch ein detailliertes, u. U. High-Density-Ma-ping mit einem Ablationskatheter oder einem multipolaren Mappingkatheter unter Verwendung eines 3-D-Mapping-Systems. Je nach Strategie (u. a. „late potentials, local abnormal ventricular activation [LAVA], core isolation, de-channeling“) ist eine extensive endo- und epikardiale Ablation erforderlich. Während vergleichende Studien keinen prognostischen Unterschied zur „Nicht-Induzierbarkeit“ als Endpunkt feststellen konnten, wird auch für eine Substrat-modifikation empfohlen, den Erfolg der Ablation mit einer programmierten Ventrikelstimulation zu evaluieren.

### 5.2. Mappingtechniken

Aufgrund der Komplexität der Ablation von VA kommen in der überwiegen- den Zahl der Fälle 3-D-Mapping-Systeme zur Anwendung. Neben herkömmlichen bipolaren Ablationskathetern kön-nen spezielle multipolare hochauflösen-de Elektrodenkatheter bei der Identifika-



tion des Ursprungsortes bzw. der Charakterisierung des Substrats nützlich sein. Nachteilig ist, dass insbesondere in kleinen Ventrikeln während des Mappings oftmals vermehrt mechanisch induzierte VES entstehen, die die Analyse erschweren.

**Aktivierungsmapping.** Bei VES oder hämodynamisch tolerierten VT kann eine Analyse der Impulsausbreitung erfolgen, indem von zahlreichen Stellen des Ventrikels die lokale elektrische Aktivierung in Bezug zu einem vorab definierten Zeitpunkt (z.B. Spitze des QRS-Komplexes) gesetzt wird. Hierzu ist die Verwendung eines 3-D-Mapping-Systems vorteilhaft. Bei fokalen Arrhythmien kann der Ursprungsort anhand verschiedener Charakteristika der intrakardialen Elektrogramme identifiziert werden. Da die Aktivierung des übrigen Myokards zentrifugal von dieser Stelle erfolgt, muss das lokale bipolare Elektrogramm zeitlich vor dem QRS-Komplex liegen. Außerdem weist das unipolare Elektrogramm eine spezielle QS-Konfiguration auf. Ausnahmen stellen intramyokardiale Foci dar, bei denen von allen Seiten um den Fokus herum das unipolare Elektrogramm eine rS-Konfiguration annimmt.

Durch das Aktivierungsmapping kann es gelingen, die unterschiedlichen Abschnitte eines Reentry-Kreises zu charakterisieren, die optimale Ablationsstrategie festzulegen und gezielte Ablationen im zentralen VT-Kanal (Isthmus) durchzuführen, wodurch die Erfolgsrate der Ablation erhöht werden kann. Die lokalen Elektrogramme am Austritt aus der Narbenregion sind zeitlich unmittelbar vor dem Beginn des QRS-Komplexes lokalisiert. Demgegenüber sind Elektrogramme innerhalb der Narbe, in der Zone der Leitungsverzögerung, diastolisch. Diese Elektrogramme aus dem sog. Isthmus (kritischer VT-Kanal) sind häufig niederamplitudig und können aus mehreren Anteilen (lokaler Elektrogrammanteil, ventrikuläres Far-Field) bestehen. Die Verwendung multipolarer Mappingkatheter kann bei der Darstellung des kompletten Reentry-Kreises sowie zur Unterscheidung von Nah- und Fernfeldsignalen vorteilhaft

sein. Zur detaillierten Analyse und der Unterscheidung wahrer Bestandteile des Reentry von sog. „Sackgassen“ oder „Bystandern“ sollte das Aktivierungsmapping mit Stimulationstechniken („entrainment“) kombiniert werden.

**Entrainment-Mapping.** Entrainment ist ein Stimulationsmanöver, das einerseits zur Diagnosestellung einer Reentry-Tachykardie verwendet wird, andererseits können Stellen innerhalb des Reentry-Kreises von Stellen außerhalb des Reentry-Kreises differenziert werden. Zur Durchführung wird während einer laufenden Tachykardie von einem Katheter im Ventrikel mit einer Zykluslänge, die kürzer als die VT-Zykluslänge (üblicherweise 10 bis 30 ms) ist, stimuliert. Zunächst wird dann der QRS-Komplex in allen 12 EKG-Ableitungen während Stimulation mit dem während VT verglichen. Liegt der Stimulationskatheter außerhalb des zentralen Isthmus, werden unterschiedliche QRS-Morphologien beobachtet. Befindet sich der Stimulationsort innerhalb oder sehr nah am Reentry-Kreis, bleibt die QRS-Morphologie identisch („concealed entrainment“). Als Nächstes gilt es zu unterscheiden, ob der Stimulationsort an einer für den Reentry kritischen Stelle liegt oder an einer Bystander-Faser. Diese Unterscheidung ist zum einen durch Analyse des Post-pacing-Intervalls (PPI, Zeitdauer von letztem stimuliertem Impuls zur nächsten lokalen Aktivierung) möglich und bietet wichtige Hinweise über die Lage des Stimulationskatheters relativ zum Reentry-Kreis: Ein PPI >30 ms als die VT-Zykluslänge deutet auf eine Position außerhalb des Reentry-Kreises hin. Prinzipiell gilt, je länger das PPI, desto weiter ist der Stimulationsort vom Reentry entfernt. Entscheidend hierbei ist die Identifikation des lokalen Elektrograms und des „gecapturten“ Myokardanteils. Eine weitere Unterscheidungshilfe kann über den Vergleich der Zeitintervalle zwischen Stimulus-zu-QRS-Komplex und lokalem Elektrogramm-zu-QRS-Komplex erfolgen. Sind diese Zeitintervalle unterschiedlich (in der Regel kürzer bei Stimulation einer Bystander-Region), befindet sich der Stimulationsort nicht in einer für den Reentry

kritischen Zone. Darüber hinaus kann auch bestimmt werden, ob der Stimulationsort am Eingang, im Isthmus oder am Ausgang des Reentry-Kreises („inner loop“) liegt.

Es gilt zu beachten, dass nur unmittelbar anliegendes Gewebe stimuliert werden sollte („near field capture“), um Fernfeldstimulation („far field capture“) zu vermeiden. Hierzu sollte die Stimulationsenergie möglichst gering gewählt werden, außerdem können multipolare Elektrodenkatheter mit kleinen Elektroden u.U. hilfreich sein. Bei umschriebenem Substrat und hämodynamisch tolerierten VT kann durch ein Entrainment der Isthmus des Reentry charakterisiert werden und nachfolgend häufig mit wenigen gezielten Läsionen ablatiert werden.

**Pacemapping.** Mit dieser Stimulations-technik wird versucht, den Ursprungsort von VES/VT zu lokalisieren, indem man mit einem Katheter ventrikulär stimuliert und die QRS-Morphologien im 12-Kanal-EKG des stimulierten und des spontanen Schlags vergleicht. Bei Übereinstimmung der Morphologie in allen EKG-Ableitungen kann davon ausgegangen werden, dass man sich in Nähe des Exits befindet. Einschränkend gilt, dass die räumliche Auflösung des Pacemaps sehr eingeschränkt und dem Aktivierungsmapping unterlegen ist. Bei einem Abstand bis zu 2 cm vom Ursprungsort können noch hohe Übereinstimmungen der QRS-Morphologien beobachtet werden [32]. Wichtig ist immer die exakte Betrachtung aller 12 EKG-Ableitungen, es existieren automatisierte Algorithmen in modernen Mappingsystemen, die das prozentuale Maß der Übereinstimmung erfassen.

**Substratmapping.** Unter Verwendung von 3-D-Mapping-Systemen kann eine detaillierte Charakterisierung des zugrunde liegenden Substrats im Sinusrhythmus (oder im Grundrhythmus des Patienten, auch unter Ventrikelstimulation, dann vorgezogenerweise bei rechtsventrikulärer Stimulation) durchgeführt werden. Hierzu wird anhand lokaler Elektrogramme eine elektrische Landkarte erstellt. Anhand definierter

Hier steht eine Anzeige.



Kriterien werden elektrisch gesunde (z. B. bipolare Amplitude  $>1,5$  mV) von elektrisch kranken Arealen (z. B.  $0,5$ – $1,5$  mV) und Narbenzonen (z. B.  $<0,5$  mV) im Map unterschieden. Für epikardiale Substratmaps gelten zum Teil andere Spannungskriterien [33]. Diese Cut-off-Werte sind normiert für das Mapping mit einem Ablationskatheter (8 bis 3,5 mm Spitze), unterschiedliche Elektrodenkonfigurationen können andere Einstellungen notwendig machen [34].

Daneben erlaubt die Aufzeichnung unipolarer Elektrogramme einen „Blick in die Tiefe“, d. h. nach mid-myokardial und epikardial [35], und ermöglicht Rückschlüsse über die 3-D-Geometrie des Substrats (vorgeschlagenes Cut-off für unipolares Low-Voltage-Areal im Bereich des RV  $<5,5$  mV, im Bereich des LV  $<8,3$  mV). Allerdings ist die Trennschärfe des unipolaren Elektrogramms eher gering, sodass bildgebende Verfahren wie das MRT vermutlich eine bessere Analyse erlauben.

Neben den Spannungsamplituden sollten noch weitere Elektrogrammcharakteristika wie Fragmentierung oder zeitliches Auftreten des lokalen Elektrogramms im Vergleich zum QRS-Komplex (späte Elektrogramme oder „late potentials“) berücksichtigt werden. Zusammengefasst werden diese unter dem Terminus „LAVA“: „late abnormal ventricular activation“ (frühe und späte „late potentials“). Neuere Studien fokussieren auf der Identifikation der für VTs kritischen Spätpotenziale, deren spezielle elektrophysiologische Eigenschaften wie dekrementales Leitungsverhalten (sog. „decrement evoked potential“ [DEEP]) oder abnehmende lokale Leitungseigenschaften („wavefront discontinuities“) für die Charakterisierung genutzt werden [21, 36].

Im Hinblick auf die Methodik der VT-Ablation auf dem Boden einer strukturellen Herzerkrankung gewinnen zunehmend High-Density-Mapping-Systeme an Bedeutung.

## 6. Komplikationen und Komplikationsmanagement (s. Tab. 5)

Die Inzidenz von Prozedur-assoziierten Komplikationen im Rahmen von VT-Ablation liegt in publizierten Studien zwischen 8 und 10 % [37]. Naturgemäß liegt die Komplikationsrate für Patienten mit struktureller Herzerkrankung höher als bei Ablation idiopathischer VT. Hierbei handelt es sich häufig um Patienten mit eingeschränkter linksventrikulärer Funktion und Herzinsuffizienz mit entsprechend erhöhtem Risiko einer intra-prozeduralen akuten hämodynamischen Dekompensation (s. Präprozedurales Management).

Eine akute Dekompensation während der Ablationsprozedur ist ein Prädiktor für eine höhere Mortalität und ist mit höheren Arrhythmieerzidivraten verbunden [38]. Neben der sorgfältigen Auswahl und Vorbereitung des Patienten (Rekompensation, optimale medikamentöse Herzinsuffizienztherapie) sollten intraprozedural optimale Bedingungen durch vorsichtigen Einsatz von Analgosedierung und Vasopressoren bzw. Katecholamintherapie, möglichst auf der Basis von SOPs, geschaffen werden. Außerdem sollte bei entsprechenden Risikopatienten der prophylaktische Einsatz von Linksherzunterstützungssystemen erwogen werden. Es gilt, lange Phasen nicht tolerierter VT zu vermeiden und ggf. eine substratbasierte Ablationsstrategie vorzuziehen.

**Mortalität.** Die Sterblichkeit im Rahmen der VT-Ablation liegt in Studien bei bis zu 3 % und ist u. a. vom klinischen Zustand des Patienten vor der Prozedur abhängig [39]. Prophylaktische Ablationen bei stabilen Patienten haben eine geringere Sterblichkeit gegenüber Patienten im elektrischen Sturm. Dementsprechend gelten vorgenannte Empfehlungen zur optimalen Vorbereitung und Selektion der Patienten. Daneben hat die Erfahrung des Zentrums bzw. des Operateurs einen signifikanten Einfluss auf die Mortalität, sodass Eingriffe bei Risikopatienten wie oben ausgeführt nur an Zentren mit besonderer Erfahrung durchgeführt werden sollten.

**Vaskuläre Komplikationen.** Die häufigsten Komplikationen im Rahmen der VT-Ablation sind vaskuläre Verletzungen oder Blutungen im Zusammenhang mit dem Gefäßzugang. Vor Einlage der Schleusen sollte die intraluminale Drahtlage sichergestellt werden, um Dissektionen/Gefäßverletzungen zu vermeiden. Letztere können auch durch Vorbringen des Ablationskatheters entstehen, insbesondere bei stark geschlängelten oder arteriosklerotisch veränderten Beckenarterien. In solchen Fällen können längere Schleusen die Manipulation vereinfachen. Um eine Blutung nach Schleusenentfernung zu verhindern, kann einerseits eine Antagonisierung der Heparinwirkung erwogen werden, andererseits kann die Verwendung einer mechanischen Kompressionshilfe oder eines Verschlussystems nützlich sein. Beim transseptalen Zugangsweg, der von etwa der Hälfte der Zentren in Deutschland als primärer Zugangsweg bei linksventrikulären VT gewählt wird, können arterielle Gefäßkomplikationen vermieden werden. Nach Entfernung des Druckverbandes sollte die Punktionsstelle immer engmaschig kontrolliert werden. Im Falle von Strömungsgeräuschen oder einem relevanten Hämatom wird zusätzlich eine Ultraschalluntersuchung zum Ausschluss AV-Fistel/Pseudoaneurysma empfohlen.

**Perikarderguss/-tamponade.** In bis zu 4,5 % der Ablationen kommt es zu relevanten Perikardergüssen oder -tamponaden [40]. Im Falle eines periprozeduralen Blutdruckabfalls sollte daher unverzüglich eine Echokardiographie zur Klärung erfolgen. Bei VT-Ablationen auf dem Boden einer strukturellen Herzerkrankung empfehlen die Autoren dieses Positionspapiers ein invasives arterielles Monitoring während der Ablationsbehandlung. Ursächlich für Perikardtampnaden sind neben der rein mechanischen Perforation im Zuge des Mappings oder der transseptalen Punktion auch Perforationen durch „steam pops“ (Entstehung von hitzeinduzierten Geweberissen während hochenergetischer Ablation). Dementsprechend können die Verwendung von intrakardialer Ultraschall und ein sorgfältiges Titrieren der Ablati-

**Tab. 5** Komplikationen der Katheterablation von VA [37–72]

Komplikation	Inzidenz (%)	Mechanismus	Klinische Präsentation	Prävention	Behandlung	Literatur
In-Hospital-Mortalität	0–3	VT Rezidiv, Herzinsuffizienz (HI), Ablationskomplikation	n.a.	Elektrolytstatus, Flüssigkeitshaushalt, Gesamtzustand vor Intervention optimieren	–	[14, 19–22]
Langzeitmortalität	3–35 (12 bis 39 Monate Follow-up)	VT-Rezidiv und Progression der HI	Kardial: Herzinsuffizienz und VT-Rezidiv	Ggf. zügige Herztransplantationslistung, LVAD	–	[19–22]
Neurologische Komplikationen	0–2,7	Embolie aus dem LV, Aortenklappe oder Aorta; intrazerebrale Blutung	Fokal- oder globalneurologisches Defizit	Abwägung orale Antikoagulation, präprozedurales Imaging der Aorta, intrakardiales Echo, TEE	Nach neurologischer Maßgabe	[14, 19–22]
Perikardtamponade, Blutung und Perikarditis	0–4,5	Kathetermanipulation, RF-Applikation, Perforation	Blutdruckabfall, unbedingt arterielle Druckmessung bei komplexer Ablation	Anpressdruckmessung evtl. hilfreich; Vorsicht bei perivenöser Ablation oder Ablation im RV(OT)	Perikarddrainage; notfalls chirurgische Sanierung; Steroide/Colchicin zur Prävention/Behandlung der Perikarditis	[14, 19–22]
AV-Block	0–1,4	Ablation im Bereich des spezifischen Reizleitungssystems	AV-Block, QRS-Verbreiterung	Vorsichtige Ablation in der Nähe des spez. Reizleitungssystems; ggf. Kryoenergie verwenden	Herzschrittmacherimplantation/CRT-Upgrade	[14, 19–21]
Verletzung Koronararterie/ Herzinfarkt	0,4–1,9	Ablation nahe den Koronarostien, Dissektion durch Kathetermanipulation	ACS, Ischämie Direkte Koronarangiographie anstreben	Abstand >5 mm zu Koronarostien bei Ablation; Energie limitieren in der Nähe von Koronarien; ggf. intrakardiales Echo	PCI	[14, 19–22]
Akute Dekompensation, Lungenödem	0–3	Überwässerung (durch Abl.-Katheter und therapeutische Volumensubstitution); adrenerge Entgleisung; VT-Induktion	Symptome der akuten Dekompensation	Bilanzierte Diurese, Dauerkatheter, reduzierte Katheterspülung, Optimierung der Nierenfunktion vor Ablation	Intensivierung der Diurese	[19–22]
Klappenverletzung	0–0,7	Kathetermanipulation, insbesondere bei retrogradem Zugang, Aortenklappe und Mitralklappe	Notfallsituation, akute hämodynamische Verschlechterung, neues Herzgeräusch	Vorsichtige Katheterbewegung, intrakardiales Echo	Diagnose (durch Echo) ist die wichtigste therapeutische Maßnahme; Katecholamine und sonstige hämodynamische Stabilisierung bis zu chirurgischen Sanierung	[19–22]
Akute Dekompensation; kardiogener Schock	0–11	Volumenüberlastung, Intubationsnarkose, anhaltende VT	Anhaltende Hypotension trotz maximaler medikamentöser Therapie	Genaueres Volumenmanagement; ggf. präventiv LVAD, möglichst keine (anhaltende) VT-Induktion	Mechanische Herzunterstützung	[19–22]
Gefäßverletzung, Hämatome, AV Fisteln, Pseudoaneurysma	0–6,9	Zugang (femoral) und Dissektion im weiteren Verlauf; Kathetermanipulation	Leistenhämatome, Hb-Abfall	Ultraschallgestützte Punktion	Ultraschallgesteuerte Kompression; Thrombininjektion, ggf. gefäßchirurgische Sanierung	[14, 19–22]
Alle Major-Komplikationen bei Patienten mit struktureller Herzkrankung	3,8–11,2	–	–	–	–	[14, 19–22]
Alle Komplikationen	7–14,7	–	–	–	–	[15, 20, 24]

onsenergie zur Vermeidung einer Perforation beitragen [41]. Es wird empfohlen, nach Ablation eine Echokardiographie zum Ausschluss eines Perikardergusses durchzuführen. Im Falle eines relevanten Perikardergusses sollte eine sofortige Entlastung erfolgen, die Autotransfusion des Punktats über eine venöse Schleuse sollte erwogen werden. In Abhängigkeit von der Persistenz der Blutung trotz Antagonisierung der Antikoagulation, muss eine rasche chirurgische Entlastung initiiert werden. Im Falle einer nicht anhaltenden Blutung sollte erwogen werden, einen Drainagekatheter passager intraperikardial zu belassen. Nach Perikardentlastung, aber auch nach epikardialen Ablationen kann eine Perikarditis auftreten. Die Therapie besteht in der Regel aus der Gabe von nichtsteroidalen Antiphlogistika ggf. in Einzelfällen einer Kombination mit Colchicin.

**Neurologische Komplikationen.** Infolge arterieller (Kalzifikationen der ascendierenden Aorta) oder kardialer (Luft, Thrombus) Embolien kann es in 0–2,7% zu zerebralen ischämischen Ereignissen kommen. Neben dem optimalen Schleusenmanagement mit kontinuierlicher Spülung und sorgfältiger Entlüftung sollte intraprozedural eine Antikoagulation mit unfraktioniertem Heparin mit einer Ziel-ACT um 300s erfolgen. Obwohl das Embolierisiko bis zu 14 Tage postprozedural erhöht ist, gibt es keine einheitlichen Empfehlungen zur prophylaktischen Antikoagulation oder antithrombozytären Therapie nach Ablation.

Im Falle neurologischer Symptome nach Ablation sollte eine unmittelbare zerebrale Bildgebung (CT, MRT, CT-Angiographie) erfolgen, um in Absprache mit Fachärztinnen/Fachärzten für Neurologie ggf. eine Thrombolyse oder mechanische Thrombusextraktion vorzunehmen. Eine weiterführende Diagnostik und Behandlung in einer Stroke-Unit sind wünschenswert.

**Myokardiale Ischämie.** Im Rahmen einer VT-Ablation kann die Arrhythmie selber, eine Embolie oder eine Verletzung von Koronararterien zu einer myokardialen Ischämie führen. Dem-

entsprechend sollte eine kontinuierliche invasive Blutdrucküberwachung erfolgen, insbesondere wenn das Mapping während anhaltender VT erfolgt. Im Falle hämodynamisch nicht tolerierter VT kann der Einsatz von Vasopressoren und/oder mechanischer Unterstützungssysteme erwogen werden. Bezüglich embolisch bedingter myokardialer Ischämien ergeben sich die gleichen prophylaktischen Maßnahmen wie oben angegeben. Verletzungen von Koronararterien können bei der Passage der ascendierenden Aorta und der Aortenklappen, durch Ablation in der Aortenwurzel und bei epikardialen Ablationen auftreten. Neben der vorsichtigen Manipulation und ggf. Wechsel auf einen transseptalen Zugang bei kalzifizierten Aortenklappen sollte bei Ablationen in der zu erwartenden Nähe des Koronararterienverlaufs (Aortenbulbus, LV-Summit, distaler Koronarsinus, supra- und subvalvuläre Pulmonalarterie/RV-Ausflusstrakt, jede epikardiale Ablation) vorab eine Koronarangiographie erfolgen, um die räumliche Beziehung zwischen Koronarostien/-arterien zum Ablationsort zu bestimmen. Bei enger räumlicher Beziehung zum Koronarostium bei Ablationen im Aortenbulbus kann die Einlage eines Drahtes oder Koronardiagnostikkatheters in die jeweilige Koronararterie eine Dislokation des Ablationskatheters in eine Koronararterie verhindern.

**Klappenverletzungen.** Die Beschädigung der Aorten- und oder AV-Klappen kann durch mechanisches Trauma oder durch eine Ablation auf den Segeln/in den Taschen bzw. am Mitralklappenapparat oder aber im Rahmen der Kathetermanipulation/-passage erfolgen. Sie tritt selten ein (0,7%) [42], dennoch sollte bei der Passage der Aortenklappe und im linken Ventrikel vorsichtig manipuliert werden, um ein Trauma oder eine Einklemmung am Papillarmuskel und den Sehnenfäden der Mitralklappe zu vermeiden. Eine direkte Energieabgabe auf der Klappe sollte vermieden werden. Zum Ausschluss stattgehabter Klappenbeschädigung stellt neben der Auskultation die postprozedurale Echokardiographie das wichtigste Diagnostikum dar.

**AV-Blockierungen.** In Abhängigkeit der zugrunde liegenden Pathologie des Reizleitungssystems und des Ablationsorts (basales Septum) kann es zu AV-Leitungsstörungen infolge einer VT-Ablation kommen (ca. 1,7%). Zur Minimierung des Risikos sollte bei Ablationen in der Nähe des Reizleitungssystems während Sinusrhythmus abladiert werden, da bei laufender VT Veränderungen der AV-Überleitung nicht überwacht werden können. Mechanisch induzierte Leitungsstörungen sind reversibel, während ablationsbedingte Leitungsstörungen häufig persistieren.

## 7. Postprozedurales Management nach VT-Ablation (Tab. 6)

**Zugangsmanagement.** Bei der Versorgung der Zugangswege nach Ablation muss zwischen 3 Zugangswegen unterschieden werden: venöser, arterieller und epikardialer Zugang.

*Venöser Zugang:* Nach großlumiger venöser Punktion existieren prinzipiell 3 Möglichkeiten der Hämostase: manuelle Kompression, Anbringen einer (Tabaksbeutel- oder Z-)Naht oder venöses Verschlussystem. Bei der Hämostase haben sich sowohl die manuelle Kompression als auch das Anbringen einer (temporären) Naht bewährt, wobei durch die Anlage einer Naht eine schnellere Blutungsstillung erzielt werden kann als durch manuelle Kompression; zu venösen Verschlussystemen liegen in kleineren Untersuchungen ebenfalls gute Erfahrungen bezüglich der Verlässlichkeit und Schnelligkeit der Hämostase vor [43–45].

*Arterieller Zugang:* Nach arterieller Punktion haben sich neben der manuellen Kompression Verschlussysteme etabliert. Sie zeigen gegenüber der manuellen Kompression Vorteile bezüglich der Schnelligkeit der Hämostase, der Mobilisierung der Patienten und des Auftretens von Hämatomen, sodass nach arteriellem Zugang bei Ablationen für ventrikuläre Arrhythmien die Verwendung von Verschlussystemen empfohlen wird [2, 46, 47] (Klasse-I-Empfehlung).

*Epikardialer Zugang:* Der epikardiale Zugang stellt eine Besonderheit dar: Ei-



**Tab. 6** Ausgewählte Übersicht über Empfehlungen zum postprozeduralen Management. (Nach [2])

	<b>Empfehlung</b>	<b>Empfehlungsgrad</b>
Venöser Zugang	Manuelle Kompression	I
	Temporäre Naht (Tabaksbeutel- oder Z-Naht) zur schnelleren Hämostase und Schmerzreduktion im Vergleich zur manuellen Kompression/Druckverband	IIa
Arterieller Zugang	Verschlussystem oder manuelle Kompression	I
Epikardialer Zugang	Bei Blutung oder Tamponade <i>Einlage einer Perikarddrainage</i> bis zum Blutungsstopp	I
	Wenn keine Blutung oder Tamponade, <i>keine Perikarddrainage</i> (es sei denn hohes Risiko einer späten Blutung/Tamponade)	IIa
	Intraperikardiale Kortisoninstillation zur Reduktion perikarditischer Thoraxschmerzen	IIb
Antikoagulation nach VA-Ablation	Nach limitierter endokardialer Ablation (<3 cm maximale Distanz aller Ablationsareale) – antithrombotische Therapie (z. B. ASS 100 mg)	IIa
	Nach extensiver endokardialer Ablation – orale Antikoagulation für einen begrenzten Zeitraum (z. B. für 1 bis 3 Monate)	IIb

nerseits kann es zu (Nach-)Blutungen in den epikardialen Raum kommen, und andererseits kann die Ablation zu einer ausgeprägten perikarditischen Reizung führen. In den meisten Fällen ist keine postinterventionelle Drainage notwendig. Zur Vermeidung von postprozeduralen Einblutungen/späten Tamponaden wird allerdings empfohlen, den epikardialen Zugang in der Regel einige Stunden zu belassen, wenn es während der Ablation zu Blutungen gekommen ist oder nach Zurückziehen der Schleuse (unter Belassen des Drahtes) ein Perikarderguss zu beobachten war. Grundsätzlich sollte die epikardiale Schleuse/Drainage aber möglichst früh entfernt werden, da ein Belassen des epikardialen Zugangs zu signifikant mehr perikarditischem Reiz mit entsprechend bedeutsamem Schmerz führt. Ferner können die ablationsinduzierten Perikarditisschmerzen durch eine intraperikardiale Steroidinjektion reduziert bzw. vermieden werden [46–48]. Eine intraperikardiale Gabe von Prednisolon zur Vermeidung einer Perikarditis kann erwogen werden.

In erfahrenen Zentren ist die Komplikationsrate bei epikardialer Punktion und Manipulation sehr niedrig. Punktionsbedingte Verletzungen von abdominalen Organen sowie kardialen Strukturen können zu relevanten Komplikationen führen, sodass in allen Zentren, die epikardiale Prozeduren durchführen, klar strukturierte Vorgaben für das Komplikationsmanagement zu fordern sind. Das Vorhandensein von perikardialen Adhäsionen kann die Ma-

nipulation im Perikardraum erheblich einschränken und erhöht das Komplikationsrisiko.

**Postprozedurale Antikoagulation.** Die präprozedurale orale Antikoagulation sollte post ablationem fortgesetzt werden [49]. Für das spezifische postprozedurale Antikoagulationsmanagement muss zwischen ausschließlich rechtsventrikulärer vs. (auch) linksventrikulärer Ablation und zwischen ausgedehnter und limitierter Ablation unterschieden werden. Bei ausschließlicher RV-Ablation kann auf eine spezifische postprozedurale Antikoagulation verzichtet werden.

Nach limitierter LV-Ablation (meist wird ein Richtwert von einem Areal mit einem Durchmesser <3 cm angegeben) erscheint nach aktueller Datenlage für 1 bis 3 Monate eine Thrombozytenaggregationshemmung (z. B. 325 mg ASS oder in Deutschland 100 mg ASS/Tag) erwägenswert, wohingegen bei einer ausgedehnteren LV-Ablation eine zeitlich begrenzte orale Antikoagulation erwogen werden kann. Diese Antikoagulation nach VT-Ablation wird von den Autoren in der Regel in der Praxis nicht durchgeführt. Generell muss berücksichtigt werden, dass hierzu keine vergleichenden Studien existieren und die NOAKs nicht zugelassen sind, sodass dementsprechend nur ein Vitamin-K-Antagonist verwendet werden könnte [11–15, 50]. Bei Patienten unter laufender oraler Antikoagulation sollte diese in der Regel ohne zusätzliche Thrombozytenaggregationshemmung fortgesetzt werden.

**Postprozedurales Monitoring.** Die Intensität des postprozeduralen Monitorings richtet sich im Wesentlichen nach dem präprozeduralen Zustand des Patienten und dem intraprozeduralen Verlauf. Oft ist ein Monitoring auf einer Überwachungsstation sinnvoll, zumindest sollte aber eine Hämodynamik- und Rhythmusüberwachung in den ersten 24 h nach Ablation erfolgen (Klasse I-Empfehlung). Eine Auslesung eines ICD/Schrittmachers zur Evaluation der postprozeduralen Arrhythmie sollte, wann immer möglich, über die ersten 48 h nach Ablation durchgeführt werden [11, 14, 50].

#### **Inzidenz und Management von Prozedur-assoziierten Komplikationen.**

Neben den intraprozeduralen Komplikationen können Prozedur-assoziierte Nebenwirkungen bis zu mehrere Tage nach der Ablation auftreten. Ein stationäres Monitoring ist bei allen Patienten nach Ablation von VA indiziert und sollte zumindest ein EKG-Monitoring beinhalten. Prozedur-assoziierte Komplikationsraten blieben bei allerdings „kränkeren“ Patientenkollektiven über die letzten Jahre stabil (s. auch [Tab. 5](#); [21, 38–41, 50–65]).

#### **Hämodynamische Verschlechterung und Proarrhythmie.**

Da es sich oft um schwer erkrankte Patienten in schlechtem Allgemeinzustand handelt, sollte jedes postprozedurale Management eine engmaschige hämodynamische Kontrolle umfassen. Bei (akuter) klinischer Verschlechterung muss immer an Proze-

**Tab. 7** Explizite Empfehlungen für Zentren, welche VT-Ablationen durchführen. (Nach [2])

Empfehlung	Klasse der Empfehlung
„On-site“ interventionell-kardiologische Expertise wird für EP-Prozeduren, bei denen die Koronar解剖ie notwendigerweise dargestellt werden muss (epikardiale Ablation, Ablationen oberhalb der Aortenklappe), sowie zur perkutanen hämodynamischen Unterstützung empfohlen	I
Herz-Thorax-chirurgisches Backup wird für Prozeduren mit epikardialen Zugang aufgrund der möglicherweise notwendigen Sternotomie oder kardiopulmonalen Bypassanlage empfohlen. Für Deutschland empfehlen die Autoren zumindest eine enge und dokumentierte Kooperation mit einer Herzchirurgie zur zeitnahen Behandlung möglicher Komplikationen <sup>a</sup>	I
Die Verfügbarkeit einer adäquaten intensivmedizinischen Versorgung wird empfohlen für alle Patienten, bei denen VA ablatiert werden	I

<sup>a</sup>Siehe auch Kapitel 9: Für Deutschland abweichende Empfehlungen der Autoren

dur-assoziierte Komplikationen gedacht werden, insbesondere eine Perikardtamponade und Verletzungen der Klappen und Koronararterien können auch verzögert, u. U. erst Stunden nach der Ablation klinisch apparent werden.

Durch die Ablation kann es in seltenen Fällen auch zu einer Zunahme ventrikulärer Arrhythmien bis hin zu einem (erneuten) elektrischen Sturm kommen. Neben einer medikamentösen Rhythmusstabilisierung durch Antiarrhythmika kann hier u. U. auch eine (frühe) Reablation oder auch die Implantation einer mechanischen Herzunterstützung (z. B. durch LVAD oder extrakorporale Zirkulation) angezeigt sein.

Bei Patienten mit implantiertem ICD kann – zur Frühevaluation des Ablationserfolges – eine nichtinvasive programmierte Ventrikelstimulation (NIPS) vor Entlassung durchgeführt werden, um die Gefahr von Frührezidiven nach Ablation einzuschätzen. Allerdings gibt es keine randomisierte Studie zur klinischen Wertigkeit dieses Vorgehens, und der positive und negative prädiktive Wert einer NIPS ist eher moderat. Ziel einer NIPS kann neben der evtl. notwendigen Optimierung der ICD-Programmierung auch eine mögliche Terminierung einer erneuten Ablation sein. Eine erneute programmierte Ventrikelstimulation kann in Einzelfällen auch genutzt werden, um den Erfolg der Katheterablation bei Patienten ohne bisherige ICD-Implantation zu beurteilen oder zur Vermeidung/Diskussionsgrundlage der ICD-Implantation angewendet werden [66–68].

### Outcome-Bewertung nach Ablation.

Wichtige Parameter in der Risiko-Nutzen-Bewertung einer VT-Ablation sind

die periprozeduralen Komplikationen inklusive Mortalität sowie die Erfolgsraten der Ablation bezüglich Arrhythmiefreiheit/-last und Lebensqualität [70–72]. Die Freiheit von Arrhythmie rezidiven ist gerade für ICD-Träger der vermutlich bedeutsamste Aspekt nach Ablation und wird in den meisten Studien zu VT-Ablation erfasst. Darüber hinaus ist aber auch die Prävention eines elektrischen Sturms, die Möglichkeit zur Reduktion von Antiarrhythmika und auch die Verschiebung von symptomatischen, mit ICD-Schockabgaben behandelten VT-Episoden hin zu asymptomatischen, mit ATP terminierbaren VT-Episoden ein wichtiger Outcome-Parameter. Gerade die zuletzt genannten Effekte einer VT-Ablation sind zwar unter Umständen schwierig zu erfassen, sollten aber unbedingt in die Bewertung für den möglichen Nutzen einer VT-Ablation mit einfließen.

## 8. Voraussetzungen für Zentren und Training (▣ Tab. 7)

Die Katheterablation von Patienten mit VA kann – insbesondere bei Patienten mit struktureller Herzerkrankung – eine komplexe Prozedur sein [2]. Es existiert (für die Vorhofflimmerablation belegt) eine inverse Korrelation zwischen der Anzahl der durch einen Untersucher/Zentrum durchgeführten Ablationen und der Komplikationsrate [73, 74]. Daher sollten diese Prozeduren (als Risikoeingriffe) nur durch erfahrene Untersucher in Zentren mit Expertise in der Behandlung von Patienten mit VA durchgeführt werden, um eine möglichst hohe Effektivität und Sicherheit der Prozedur zu gewährleisten. In diesen komplexen

Situationen stellt die Katheterablation eine Herausforderung an Untersucher, Assistenzpersonal, Analgosedierung sowie das in die Vor- und Nachbereitung der Patienten involvierte Personal dar.

Nach Meinung der Autoren sollte das Personal Erfahrungen in der Ablation von VT haben, der Hauptuntersucher sollte seitens der DGK in der Elektrophysiologie zertifiziert sein. Die Expertise zur Durchführung von VT-Ablationen beinhaltet eine dauerhafte Fortführung der Ausbildung im Bereich der Rhythmologie und Elektrophysiologie mit Fokus auf der Katheterablation. In einem kürzlich publizierten Positionsdokument der französischen Fachgesellschaft werden Mindestprozedurzahlen für Zentren, die komplexe Ablationen durchführen, festgelegt. Für die Katheterablation von VT werden pro Jahr pro Zentrum mindestens 30 Ablationen vorwiegend bei Patienten mit SHD vorgeschlagen [75]. Die Autoren dieser Empfehlungen halten eine regelmäßige Durchführung von VT-Ablationen bei Patienten mit struktureller Herzerkrankung zur kontinuierlichen Erhaltung der Expertise des gesamten Teams ebenfalls für sinnvoll.

Die Etablierung von Zentren, in denen aufgrund der Organisationsstrukturen und hohen Erfahrung der Untersucher komplexe VT-Ablationen gebündelt werden, kann auch für die Versorgungsstruktur in Deutschland sinnvoll sein. Das Vorgehen bei Patienten mit komplexen VT beinhaltet häufig eine multidisziplinäre Diagnostik und Therapie, der in den Empfehlungen für Zentren zur VT-Ablation [2] Rechnung getragen worden ist. Hierzu zählen neben der Einbindung der interventionellen Kardiologie und Intensivstation auch Personal

aus dem Bereich der Anästhesie, Bildgebung/Radiologie und allgemeinen sowie Gefäßchirurgie sowie auch eine dokumentierte Kooperation mit einer Herzchirurgie. Dieses ist insbesondere für die Ablation komplex erkrankter VT-Patienten mit struktureller Herzerkrankung zur Gewährleistung einer optimalen Patientensicherheit entscheidend.

Definierte Voraussetzungen für die Ablation komplexer VT-Patienten stellen neben entsprechender personeller Expertise (s. oben) und technisch-räumlichen Voraussetzungen des Katheterlabors (inklusive elektroanatomischem Mappingsystem) auch die entsprechende Vor- und Nachsorge der Patienten dar. Komplexe VT-Ablationen sollten nur unter stationären Bedingungen in Zentren mit interventioneller Kardiologie (24-h-Interventionsbereitschaft), der Verfügbarkeit einer anästhesiologischen Unterstützung (Klasse-I-Empfehlungen) sowie der Möglichkeit eines adäquaten Monitorings vor und nach der Prozedur durchgeführt werden. Profunde Kenntnisse in der Kontrolle und Programmierung von aktiven kardialen Rhythmusimplantaten sind Voraussetzung für die kritische Indikationsstellung. Hierzu zählt für Deutschland zumindest ein Facharzt für Kardiologie mit Sachkunde Schrittmacher und ICD sowie weiterführenden Erfahrungen und Möglichkeiten zur Nachsorge von Device-Patienten.

Für die Durchführung epikardialer Prozeduren wird in dem Originalmanuskript das Vorhandensein einer Herzchirurgie im Haus (*Klasse-I-Empfehlung*) empfohlen. Diese Empfehlung beruht v. a. darauf, dass bei epikardialen Ablationen prinzipiell die Gefahr schwerwiegender Komplikationen beim epikardialen Mapping und bei Ablation besteht. Allerdings liegt in erfahrenen Arbeitsgruppen die Komplikationsrate bei epikardialer VT-Ablation bei ca. 5 %, wobei die allermeisten Komplikationen nicht herzchirurgisch versorgt wurden [76]. Die Autoren dieser Empfehlungen halten neben möglichen strukturellen Voraussetzungen v. a. die Expertise und Erfahrung des jeweiligen Zentrums bzw. der Untersucher/Operateure für die Sicherheit und Effektivität einer epikardialen Ablation für maßgebend. 80 %

der Autoren dieser Empfehlungen können in ihrem Zentrum eine On-site-Herzchirurgie vorhalten. Insbesondere erscheint den Autoren aber die Erfahrung der Untersucher und des Zentrums in der Ablation von VTs entscheidend für die sichere und effektive epikardiale Ablation. Die Autoren empfehlen neben einer engen und dokumentierten Kooperation mit einer Herzchirurgie zur möglichst zeitnahen Versorgung von Komplikationen bei epikardialen Vorgehen generell das Vorhandensein gut strukturierter Abläufe für das Komplikationsmanagement bei Ablation jeglicher VT.

## 9. Besonderheiten für die Versorgungsstruktur in Deutschland

Das Gesundheitssystem in Deutschland bietet Chancen und Herausforderungen für die Katheterablation von Patienten mit VA, die in Details von den Empfehlungen des Konsensuspapiers abweichen können.

Zum einen wird in dem Originalmanuskript der intrakardiale Ultraschall (ICE) bei bestimmten Indikationen empfohlen (was v. a. auf die Mehrzahl der US-amerikanischen Autoren zurückzuführen ist), was sich in Deutschland durch die geringe Erfahrung und die fehlende Vergütung eher nicht umsetzen lässt, auch wenn es z. B. für Papillarmuskel-VA sinnvoll sein kann.

Zum anderen halten die Autoren – abweichend von der eindeutigen Empfehlung einer On-site-Herzchirurgie im Originalmanuskript – aufgrund der aktuell überschaubaren Notwendigkeit und geringen Anzahl epikardialer Ablationen in Deutschland eine dokumentierte Kooperation mit einer Herzchirurgie zur zeitnahen Therapie von Komplikationen für sinnvoll und ausreichend. Für die Durchführung epikardialer Ablationen halten wir für Deutschland die dokumentierte Erfahrung der Zentren mit mindestens 75 Ablationen ventrikulärer Arrhythmien pro Jahr sowie Erfahrung in der epikardialen „trockenen“ Punktion und Mapping sowie Ablation für sinnvoll. Hierbei muss eine enge Kooperation mit einer Herzchirurgie zur möglichst umgehen-

den chirurgischen Versorgung anderweitig nicht therapierbarer Komplikationen vorhanden sein.

Prinzipiell wird auch für Deutschland empfohlen, komplexe VT-Ablationen in erfahrenen Zentren zu behandeln, die alle Voraussetzungen für ein effektives und sicheres Management dieser Patienten vorhalten (inklusive hämodynamischem Support, LVAD oder/und Herztransplantation, Herzinsuffizienzmanagement).

Die differenzierte Therapie von Patienten mit VA ist komplex und bedarf einer rhythmologischen Expertise. Auch da die klinische Präsentation von Patienten mit VT von Beschwerdefreiheit bis zum plötzlichen Herztod reichen kann, erscheint gerade in der Versorgungsstruktur in Deutschland eine Einbindung von Rhythmologen in die Identifikation, Diagnostik und Therapie von Patienten mit VA notwendig.

## 10. Zukünftige Entwicklungen

Die Ablation von VA entwickelt sich rasant, und auch in der Zukunft werden randomisierte Studien die Effektivität in unterschiedlichen Patientenkollektiven untersuchen. Prinzipiell scheint aktuell eine VT-Ablation keinen relevanten Effekt auf die Prognose von Patienten mit struktureller Herzerkrankung zu haben, hier steht das optimierte Management der kardialen Grunderkrankung mit dem größten Effekt auf die mittelfristige Überlebenswahrscheinlichkeit der Patienten im Vordergrund. Viele groß angelegte Studien wurden aufgrund des zögerlichen Patienteneinschlusses frühzeitig terminiert, andere randomisierte Studien, die die Katheterablation mit einer medikamentösen Rezidivprophylaxe vergleichen, rekrutieren weiterhin Teilnehmer. Die beste First-line-Therapiestrategie bei VA auf dem Boden einer strukturellen Herzerkrankung (außerhalb der ICD-Therapie) sowie der optimale Zeitpunkt einer VT-Ablation müssen in zukünftigen Studien evaluiert werden und bleiben aktuell unklar.

Bei Patienten mit Kardiomyopathien (insbesondere nichtischämisch) scheint die kardiale Bildgebung einen Beitrag für das (bereits präprozedurale) Verständnis des 3-dimensionalen Tachykardieme-

Abkürzungen	
AAD	Antiarrhythmika („anti-arrhythmic drug“)
ATP	Anti-Tachykardie-Pacing
BBR	Bundle Branch Reentry
CALYPSO	Catheter Ablation for VT in Patients with an Implantable Cardioverter Defibrillator (Studie)
CT	Computertomographie/-tomogramm
DEEP	Decrement evoked potential
ICM	Ischämische Kardiomyopathie
ICD	Implantierbarer Kardioverter/Defibrillator
LAA	Linkes Vorhofohr („left atrial appendage“)
LAVA	Late abnormal ventricular activation
LV	Linker Ventrikel
MRT	Magnetresonanztomographie/-tomogramm
NICM	Nichtischämische Kardiomyopathie
NIPS	Nichtinvasive programmierte Stimulation
OT	Ausflustrakt („outflow tract“)

Abkürzungen (Fortsetzung)	
PAAINESD	Risiko Score (= Pulmonary Disease [Lungenerkrankung], Age (Alter), General Anaesthesia [Vollnarkose], Ischemic cardiomyopathy [koronare Herzerkrankung], NYHA, Ejection fraction [Ejektionsfraktion], VT-Storm [VT-Sturm], Diabetes [Diabetes mellitus])
RF	Radiofrequenz
RV	Rechter Ventrikel
SMASH-VT	Substrate Mapping and Ablation in Sinus Rhythm to Halt Ventricular Tachycardia (Studie)
SMS	Substrate Modification Study (Studie)
SR	Sinusrhythmus
TEE	Transösophageale Echokardiographie
VA	Ventrikuläre Arrhythmien
VANISH	Ventricular Tachycardia Ablation versus Escalated Antiarrhythmic Drug Therapy in Ischemic Heart Disease (Studie)
VES	Ventrikuläre Extrasystole(n)
VT	Ventrikuläre Tachykardie(n)
VTACH	Ventricular Tachycardia Ablation in Coronary Heart Disease (Studie)

chanismus zu leisten. High-Density-Mapping mit unterschiedlichen Kathertypen und Mappingsystemen kann zu einer besseren intraprozeduralen Darstellung von VT-Mechanismen und des zugrunde liegenden Myokardsubstrats führen. Eine Integration von präprozeduraler Bildgebung und intraprozeduralem elektrophysiologischem Mapping scheint damit eine sinnvolle Synthese. Ob diese technisch aufwendigen und zum Teil zeitintensiven Optionen einen Einfluss auf die Behandlungsqualität und -sicherheit haben, muss untersucht werden. Eventuell kann zukünftig auch eine Ablation direkt im MRT mittels speziell dafür konzipierter Katheter diese Synthese auch inklusive einer möglichen Darstellung der Ablationsläsionen ermöglichen.

Auch komplett nichtinvasive Mappingmethoden scheinen eine Option der Identifikation von Ablationszielregionen

basierend auf auch nur kurzen VA-Episoden darzustellen.

Eine interessante Möglichkeit der Risikostratifikation von Patienten mit struktureller Herzerkrankung ergibt sich aus der Möglichkeit, basierend auf MRT- oder CT-Datensätzen mögliche VA-Ereignisse voraussagen zu können. Hier wird aktuell intensiv auf dem Bereich des „virtual heart models“ gearbeitet, und erste Erfahrungen sind vielversprechend [77].

Entscheidend für den Erfolg einer Katheterablation ist die Möglichkeit, identifizierte Zielregionen auch suffizient zu „schädigen“. Eine Optimierung der Applikation von Radiofrequenzläsionen mittels der vorhandenen Kathertertechnologien und Verbesserung der Läsionscharakteristika von RF-Läsionen ist dringend notwendig. Eine Verbesserung der Ablationsläsionen kann evtl. mittels RF-Nadel-Katheter [78] oder bipolarer Ablationsstrategien erfolgen.

Aber auch andere Ablationstechnologien wie beispielsweise „Pulsed-Field-Ablation“ (Elektroporation) [79] oder die intrakoronare Alkoholinjektion werden in ersten klinischen oder präklinischen Studien getestet. Die stereotaktische Ablation von VA (mittels nichtinvasiver Bestrahlung) wurde in ersten klinischen Studien als effektive Option bei Patienten mit fehlgeschlagener Katheterablation in fortgeschrittenen Stadien dokumentiert [80].

### Korrespondenzadresse



**Prof. Dr. Thomas Deneke**  
Klinik für Interventionelle Elektrophysiologie, Rhön-Klinikum AG, Campus Bad Neustadt  
Von-Guttenberg-Str. 11,  
97616 Bad Neustadt a. d. Saale, Deutschland  
thomas.deneke@campus-nes.de

**Interessenkonflikt.** Den Interessenkonflikt der Autoren finden Sie online auf der DGK-Homepage unter <http://leitlinien.dgk.org/> bei der entsprechenden Publikation.

### Literatur

- Eckardt L et al (2018) Updated survey on interventional electrophysiology. 5-year follow-up of infrastructure, procedures and training positions in Germany. *J Am Coll Cardiol* 4:820–827
- Cronin et al (2019) 2019 HRS/EHRA/APHRS/LAHR expert consensus statement on catheter ablation of ventricular arrhythmias. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/euz132>
- Priori SG et al (2015) 2015 ESC guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Europace* 17:1601–1687
- Al-Khatib et al (2018) 2017 AHA/ACC/HRS guideline for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Heart Rhythm* 15:e73–e189
- Busch S et al (2019) Ventrikuläre Extrasystolen und Tachykardien bei strukturell normalem Herz. *Herzschrittmacher Elektrophysiol* 30:212–224
- Steven Det al (2013) Idiopathic ventricular outflow tract arrhythmias from the great cardiac vein: challenges and risks of catheter ablation. *Int J Cardiol* 169:366–370
- Stevenson W et al (2008) Irrigated radiofrequency catheter ablation guided by electroanatomic mapping for recurrent ventricular tachycardia after myocardial infarction: the multicenter Thermocool ventricular tachycardia ablation trial. *Circulation* 118:2773–2782
- Carbucicchio C et al (2008) Catheter ablation for the treatment of electrical storm in patients with Implantable Cardioverter-Defibrillators: short-



- and long-term outcomes in a prospective single-center study. *Circulation* 117:462–469
9. Tung R et al (2015) Freedom from recurrent ventricular tachycardia after catheter ablation is associated with improved survival in patients with structural heart disease: an International VT Ablation Center Collaborative Group study. *Heart Rhythm* 9:1997–2007
  10. Dinov B et al (2014) Outcomes in catheter ablation of ventricular tachycardia in dilated nonischemic cardiomyopathy compared with ischemic cardiomyopathy: results from the prospective heart centre of leipzig VT (HELLP-VT) study. *Circulation* 129:728–736
  11. Kuck KH et al (2010) Catheter ablation of stable ventricular tachycardia before defibrillator implantation in patients with coronary heart disease (VTACH): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 375:31–40
  12. Reddy VA et al (2007) Prophylactic catheter ablation for the prevention of defibrillator therapy. *N Engl J Med* 357:2657–2665
  13. Sapp JL et al (2016) Ventricular tachycardia ablation versus escalation of antiarrhythmic drugs. *N Engl J Med* 375:111–121
  14. Al-Khatib SM et al (2015) Catheter ablation for ventricular tachycardia in patients with an implantable cardioverter defibrillator (CALYPSO) pilot trial. *J Cardiovasc Electrophysiol* 26:151–157
  15. Kuck HK et al (2017) Impact of substrate modification by catheter ablation on implantable cardioverter-defibrillator interventions in patients with unstable ventricular arrhythmias and coronary artery disease: results from the multicenter randomized controlled SMS (Substrate Modification Study). *Circ Arrhythm Electrophysiol*. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.116.004422>
  16. Martinez BK et al (2019) Systematic review and meta-analysis of catheter ablation of ventricular tachycardia in ischemic heart disease. *Heart Rhythm* 1:e206–e219
  17. Anderson RD et al (2019) Catheter ablation versus medical therapy for treatment of ventricular tachycardia associated with structural heart disease: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials and comparison with observational studies. *Heart Rhythm* 16:1484–1491
  18. Willems S et al (2020) Preventive or deferred ablation of ventricular tachycardia in patients with Ischemic Cardiomyopathy and Implantable Defibrillator (BERLIN VT). *Circulation* 141:1057–1067
  19. Wolf M et al (2018) Long-term outcome of substrate modification in ablation of post-myocardial infarction ventricular tachycardia. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.117.005635>
  20. Porta-Sánchez A et al (2018) Multicenter study of Ischemic ventricular tachycardia ablation with decrement-evoked potential (DEEP) mapping with extra stimulus. *J Am Coll Cardiol* 4:307–315
  21. de Riva M et al (2018) Targeting the hidden substrate unmasked by right ventricular extrastimulation improves ventricular tachycardia ablation outcomes after myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 4:316–327
  22. Vaseghi M et al (2018) Outcomes of catheter ablation of ventricular tachycardia based on etiology in nonischemic heart disease: an international ventricular tachycardia ablation center collaborative study. *J Am Coll Cardiol* 4:1141–1150
  23. Muser D et al (2016) Long-term outcome after catheter ablation of ventricular tachycardia in patients with nonischemic dilated cardiomyopathy. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP/116.004328>
  24. Gökoglan Y et al (2016) Scar homogenization versus limited-substrate ablation in patients with nonischemic cardiomyopathy and ventricular tachycardia. *J Am Coll Cardiol* 68:1990–1998
  25. Wasmer K et al (2013) Ventricular arrhythmias from the mitral annulus: patient characteristics, electrophysiological findings, ablation and prognosis. *Heart Rhythm* 10:783–788
  26. Zeppenfeld K et al (2007) Catheter ablation of ventricular tachycardia after repair of congenital heart disease: electroanatomic identification of the critical right ventricular isthmus. *Circulation* 116:2241–2252
  27. Santangeli P et al (2017) Management of ventricular arrhythmia in patients with advanced heart failure. *J Am Coll Cardiol* 69:1842–1860
  28. Muser D et al (2018) Identifying risk and management of acute haemodynamic decompensation during catheter ablation of ventricular tachycardia. *Arrhythm Electrophysiol Rev* 7:282–287
  29. Vergara P (2018) Predictive score for identifying survival and recurrence risk profiles in patients undergoing ventricular tachycardia ablation. The I-VT score. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.118.00673>
  30. Silberbauer J, Oloriz T, Maccabelli G et al (2014) Noninducibility and late potential abolition: a novel combined prognostic procedural end point for catheter ablation of postinfarction ventricular tachycardia. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 7:424–435
  31. Frankel DS, Mountantonakis SE, Zado ES et al (2012) Noninvasive programmed ventricular stimulation early after ventricular tachycardia ablation to predict risk of late recurrence. *J Am Coll Cardiol* 59:1529–1535
  32. Bogun F, Taj M, Ting M et al (2008) Spatial resolution of pace mapping of idiopathic ventricular tachycardia/ectopy originating in the right ventricular outflow tract. *Heart Rhythm* 5:339–344
  33. Tung R, Nakahara S, Ramirez R, Lai C, Fishbein MC, Shivkumar K (2010) Distinguishing epicardial fat from scar: analysis of electrograms using high-density electroanatomic mapping in a novel porcine infarct model. *Heart Rhythm* 7:389–395
  34. Berte B, Relan J, Sacher F et al (2015) Impact of electrode type on mapping of scar-related VT. *J Cardiovasc Electrophysiol* 26:1213–1223
  35. Hutchinson MD, Gerstenfeld EP, Desjardins B et al (2011) Endocardial unipolar voltage mapping to detect epicardial ventricular tachycardia substrate in patients with nonischemic left ventricular cardiomyopathy. *Circ Arrhythmia Electrophysiol* 4:49–55
  36. Aziz Z, Shatz D, Raiman M et al (2019) Targeted ablation of ventricular tachycardia guided by wavefront discontinuities during sinus rhythm. *Circulation* 140:1383–1397
  37. Pothineni NV, Deshmukh A, Padmanabhan D et al (2015) Complication rates of ventricular tachycardia ablation: comparison of safety outcomes derived from administrative databases and clinical trials. *Int J Cardiol* 201:529–531
  38. Santangeli P, Muser D, Zado ES et al (2015) Acute hemodynamic decompensation during catheter ablation of scar-related ventricular tachycardia: incidence, predictors, and impact on mortality. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 8:68–75
  39. Palaniswamy C, Kolte D, Harikrishnan P et al (2014) Catheter ablation of postinfarction ventricular tachycardia: ten-year trends in utilization, in-hospital complications, and in-hospital mortality in the United States. *Heart Rhythm* 11:2056–2063
  40. Katz DF, Turakhia MP, Sauer WH et al (2015) Safety of ventricular tachycardia ablation in clinical practice: findings from 9699 hospital discharge records. *Circ Arrhythmia Electrophysiol* 8:362–370
  41. Ren JF, Marchlinski FE (2010) Early detection of iatrogenic pericardial effusion: importance of intracardiac echocardiography. *JACC Cardiovasc Interv* 3:127
  42. Stevenson WG, Wilber DJ, Natale A et al (2008) Irrigated radiofrequency catheter ablation guided by electroanatomic mapping for recurrent ventricular tachycardia after myocardial infarction: the multicenter thermocool ventricular tachycardia ablation trial. *Circulation* 118:2773–2782
  43. Jackson N, McGee M, Ahmed W et al (2018) Groin haemostasis with a purse string suture for patients following catheter ablation procedures (GITAR study). *Heart Lung Circ*. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2018.03.011>
  44. Pracon R, Bangalore S, Henzel J et al (2018) A randomized comparison of modified subcutaneous “Z”-stitch versus manual compression to achieve hemostasis after large caliber femoral venous sheath removal. *Catheter Cardiovasc Interv* 91:105–112
  45. Ben-Dor I, Craig P, Torguson R et al (2018) Mynx. Grip vascular closure device versus manual compression for hemostasis of percutaneous transfemoral venous access closure: results from a prospective multicenter randomized study. *Cardiovasc Revasc Med* 19:418–422
  46. Jiang J, Zou J, Ma H et al (2015) Network meta-analysis of randomized trials on the safety of vascular closure devices for femoral arterial puncture site haemostasis. *Sci Rep* 5:13761
  47. Bella DP, Brugada J, Zeppenfeld K et al (2011) Epicardial ablation for ventricular tachycardia: a European multicenter study. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 4:653–659
  48. Dyrda K, Piers SR, van Huls van Taxis CF, Schalij MJ, Zeppenfeld K (2014) Influence of steroid therapy on the incidence of pericarditis and atrial fibrillation after percutaneous epicardial mapping and ablation for ventricular tachycardia. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 7:671–676
  49. Calkins H, Epstein A, Packer D et al (2000) Catheter ablation of ventricular tachycardia in patients with structural heart disease using cooled radiofrequency energy: results of a prospective multicenter study. Cooled RF Multi Center Investigators Group. *J Am Coll Cardiol* 35:1905–1914
  50. Marchlinski FE, Haffajee CI, Beshai JF et al (2016) Long-term success of irrigated radiofrequency catheter ablation of sustained ventricular tachycardia: post-approval THERMOCOOL VT trial. *J Am Coll Cardiol* 67:674–683
  51. Latchamsetty R, Yokokawa M, Morady F et al (2015) Multicenter outcomes for catheter ablation of idiopathic premature ventricular complexes. *JACC Clin Electrophysiol* 1:116–123
  52. Peichl P, Wichterle D, Pavlu L, Cihak R, Aldhoon B, Kautzner J (2014) Complications of catheter ablation of ventricular tachycardia: a single center experience. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 7:684–690
  53. Santangeli P, Frankel DS, Tung R et al (2017) Early mortality after catheter ablation of ventricular tachycardia in patients with structural heart disease. *J Am Coll Cardiol* 69:2105–2115
  54. Liang JJ, Kodali S, Schaller RD, Birati EY, Marchlinski FE, Santangeli P (2018) Intraprocedural slow continuous ultrafiltration: a novel strategy



to prevent acute hemodynamic decompensation from volume overload during VT ablation. *Pacing Clin Electrophysiol* 41:1043–1044

55. Turagam MK, Vuddanda V, Atkins D et al (2017) Hemodynamic support in ventricular tachycardia ablation: an International VT Ablation Center Collaborative Group study. *JACC Clin Electrophysiol* 3:1534–1543
56. Muser D, Liang JJ, Castro SA et al (2018) Outcomes with prophylactic use of percutaneous left ventricular assist devices in high-risk patients undergoing catheter ablation of scar-related VT: a propensity-matched analysis. *Heart Rhythm* 15:1500–1506
57. Mathuria N, Wu G, Rojas-Delgado F et al (2017) Outcomes of pre-emptive and rescue use of percutaneous left ventricular assist device in patients with structural heart disease undergoing catheter ablation of ventricular tachycardia. *J Interv Card Electrophysiol* 48:27–34
58. Reddy YM, Chinitz L, Mansour M et al (2014) Percutaneous left ventricular assist devices in ventricular tachycardia ablation: multicenter experience. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 7:244–250
59. Piccione W Jr, Goldin MD (1988) Mitral valve dysfunction following papillary muscle cryoablation. *Ann Thorac Surg* 46:347–348
60. Tokuda M, Tedrow UB, Kojodjojo P et al (2012) Catheter ablation of ventricular tachycardia in nonischemic heart disease. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 5:992–1000
61. Seto AH, Abu-Fadel MS, Sparling JM et al (2010) Real-time ultrasound guidance facilitates femoral arterial access and reduces vascular complications: FAUST (Femoral Arterial Access With Ultrasound Trial). *J Am Coll Cardiol Interv* 3:751–758
62. Biancarfi F, D'Andrea V, Di Marco C, Savino G, Tiozzo V, Catania A (2010) Meta-analysis of randomized trials on the efficacy of vascular closure devices after diagnostic angiography and angioplasty. *Am Heart J* 159:518–531
63. Nikolsky E, Mehran R, Halkin A et al (2004) Vascular complications associated with arteriotomy closure devices in patients undergoing percutaneous coronary procedures: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 44:1200–1209
64. Jongbloed MR, Bax JJ, van der Burg AE, van der Wall EE, Schalij MJ (2004) Radiofrequency catheter ablation of ventricular tachycardia guided by intracardiac echocardiography. *Eur J Echocardiogr* 5:34–40
65. Desimone CV, Hu T, Ebrille E et al (2014) Catheter ablation related mitral valve injury: the importance of early recognition and rescue mitral valve repair. *J Cardiovasc Electrophysiol* 25:971–975
66. Frankel DS, Mountantonakis SE, Zado ES, Anter E, Bala R, Cooper JM, Deo R, Dixit S, Epstein AE, Garcia FC, Gerstenfeld EP, Hutchinson MD, Lin D, Patel VV, Riley MP, Robinson MR, Tzou WS, Verdino RJ, Callans DJ, Marchlinski FE (2012) Noninvasive programmed stimulation early after ventricular tachycardia ablation to predict risk of late recurrence. *J Am Coll Cardiol* 59:1529–1535
67. Oloriz T, Baratto F, Trevisi N, Barbaro M, Bisceglia C, D'Angelo G, Yamase M, Paglino G, Radinovic A, Bella DP (2018) Defining the outcome of ventricular tachycardia ablation. Timing and value of programmed ventricular stimulation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 11:e5602
68. Frontera A, Kalinsek TP, Hadjis A, Delle Bella P (2020) Noninvasive programmed stimulation in the setting of ventricular tachycardia catheter ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 31:1828–1835
69. Souissi Z, Boule S, Hermida JS et al (2018) Catheter ablation reduces ventricular tachycardia burden in patients with arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy: insights from a north-western French multicentre registry. *Europace* 20:362–369
70. Guerra F, Shkzoza M, Scappini L, Flori M, Capucci A (2014) Role of electrical storm as a mortality and morbidity risk factor and its clinical predictors: a meta-analysis. *Europace* 16:347–353
71. Anker SD, Agewall S, Borggrefe M et al (2014) The importance of patient-reported outcomes: a call for their comprehensive integration in cardiovascular clinical trials. *Eur Heart J* 35:2001–2009
72. Stehlik J, Estep JD, Selzman CH et al (2017) ROADMAP Study Investigators: Patient-reported health-related quality of life is a predictor of outcomes in ambulatory heart failure patients treated with left ventricular assist device compared with medical management: results from the ROADMAP Study (Risk Assessment and Comparative Effectiveness of Left Ventricular Assist Device and Medical Management). *Circ Heart Fail* 10:e3910
73. Steinbeck G, Sinner MF, Lutz M, Müller-Nurasyid M, Käbb S, Reinecke H (2018) Incidence of complications related to catheter ablation of atrial fibrillation and atrial flutter: a nationwide in-hospital analysis of administrative data for Germany in 2014. *Eur Heart J* 39:4020–4029
74. Deshmukh A, Patel NJ, Pant S, Shah N, Chothani A, Mehta K, Grover P, Singh V, Vallurupalli S, Savani GT, Badheka A, Tuliani T, Dabhadkar K, Dibu G, Reddy YM, Sewani A, Kowalski M, Mitrani R, Paydak H, Viles-Gonzales JF (2013) In-hospital complications associated with catheter ablation of atrial fibrillation in the United States between 2000 and 2010: analysis of 93801 procedures. *Circulation* 128:2104–2112
75. Maury P et al (2019) Position paper concerning the competence, performance and environment required in the practice of complex ablation procedures. *Arch Cardiovasc Dis* 112:67–73
76. Sacher F, Roberts-Thomson K, Maury P, Tedrow U, Nault I, Steven D, Hocini M, Koplan B, Leroux L, Derval N, Seiler J, Wright MJ, Epstein L, Haissaguerre M, Jais P, Stevenson WG (2010) Epicardial ventricular tachycardia ablation: a multicenter safety study. *J Am Coll Cardiol* 55:2366–2372
77. Arevalo HJ, Vadakkumpadan F, Guallar E, Jebb S, Malamas P, Wu KC, Trayanova NA (2016) Arrhythmic risk stratification of patients after myocardial infarction using personalized heart models. *Nat Commun* 7:11437
78. Stevenson WG, Tedrow UB, Reddy V, Abdelwahab A, Dukkipati S, John RM, Fujii A, Schaeffer B, Tanigawa S, Elsokkari I, Koruth J, Nakamura T, Naniwadekar A, Ghidoli D, Pellegrini C, Sapp JL (2019) Infusion needle radiofrequency ablation for treatment of refractory ventricular arrhythmias. *J Am Coll Cardiol* 73:1413–1425
79. Koruth JS, Kuroki K, Iwasawa J, Viswanathan R, Brose R, Buck ED, Dosnkoy E, Dukkipati SR, Reddy VY (2020) Endocardial ventricular pulsed field ablation: a proof-of-concept preclinical evaluation. *Europace* 22:434–439
80. Cuculich PS, Schill MR, Kashani R, Mutic S, Lang A, Cooper D, Faddis M, Gleva M, Noheria A, Smith TW, Hallahan D, Rudy Y, Robinson CG (2017) Noninvasive cardiac radiation for ablation of ventricular tachycardia. *N Engl J Med* 377:2325–2336

# Autoren WERKSTATT

GRATIS

Ein Service für Autoren von Springer Medizin

## Fortbildungen für Autor\*innen und Gutachter\*innen

Die ersten Veröffentlichungen sind für Jeden ein wichtiger Schritt in der angestrebten Karriere. Wissenschaftliche Artikel sind entscheidend dafür, dass die eigene Arbeit in der Community wahrgenommen wird. Es geht darum, die eigenen Ideen national und international auszutauschen und sicherzustellen, dass die Ergebnisse Wirkung erzielen.

Die Online-Kurse der Autorenwerkstatt helfen, sich leicht einen Überblick über das Schreiben, Einreichen, Begutachten und Veröffentlichen eines Manuskripts zu verschaffen.

**5 Online-Kurse** zu den wichtigsten Standards des wissenschaftlichen Publizierens:

- Wie verfasse ich ein Manuskript?
- Writing in English für deutschsprachige Autorinnen und Autoren
- Wie funktionieren Publikation und Begutachtung?
- Anleitung zur Open-Access-Veröffentlichung
- Leitfaden zur Peer-Review-Begutachtung

Für alle, die auf SpringerMedizin.de registriert sind!

Jetzt gratis fortbilden unter [www.springermedizin.de/autorenwerkstatt/](http://www.springermedizin.de/autorenwerkstatt/)