

Kardiologie

<https://doi.org/10.1007/s12181-026-00838-z>

Eingegangen: 14. Juli 2026

Angenommen: 15. Juli 2026

© The Author(s) 2026



Katheterablation ventrikulärer Tachykardien – DGK-Empfehlung

Aus der Kommission für Klinische Praxis und Leitlinien in Kooperation mit der AGEF

Andreas Rillig¹ · Thomas Deneke² · Arash Arya³ · Micaela Ebert⁴ · Claudius Hansen⁵ · Arian Sultan^{6,7} · Lars Eckardt^{8,9}

¹ Klinik und Poliklinik für Kardiologie, Bereich Rhythmologie, Universitäres Herz- und Gefäßzentrum Hamburg, Hamburg, Deutschland; ² Klinik für Innere Medizin 8, Schwerpunkte Kardiologie und Rhythmologie, Klinikum Nürnberg, Campus Süd, Nürnberg, Deutschland; ³ Klinik für Innere Medizin III, Universitätsklinikum Halle (Saale), Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale), Deutschland; ⁴ Sektion Rhythmologie, Klinik für Innere Medizin und Kardiologie, Herzzentrum Dresden, Medizinische Fakultät, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland; ⁵ Kardiologie, Herz- und Gefäßzentrum am Krankenhaus Neu-Bethlehem, Göttingen, Deutschland; ⁶ Klinik für Kardiologie und internistische Intensivmedizin, Asklepios Klinik St. Georg, Hamburg, Deutschland; ⁷ Universität zu Köln, Medizinische Fakultät Uniklinik Köln, Köln, Deutschland; ⁸ Klinik für Kardiologie II – Rhythmologie, Universitätsklinikum Münster, Münster, Deutschland; ⁹ Kommission für Klinische Praxis und Leitlinien, Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland

Zusammenfassung

Die Katheterablation ventrikulärer Arrhythmien (VA) hat sich als zentrales Therapieverfahren im Rhythmusmanagement etabliert. Das vorliegende Update der 2021 DGK Empfehlungen zur Katheterablation von VA fasst die wesentlichen aktuellen Empfehlungen zusammen und berücksichtigt die internationalen Leitlinien. VA-Ablationen bei zugrunde liegender struktureller Herzerkrankung sind komplexe Eingriffe und erfordern ein erfahrenes, interdisziplinäres Team sowie ein strukturiertes Management potenzieller Komplikationen. Bei Patienten mit ischämischer Kardiomyopathie und rezidivierenden anhaltenden monomorphen Kammertachykardien (VT) ist die primäre Katheterablation einer antiarrhythmischen Medikation hinsichtlich der Reduktion von Rezidiven überlegen und daher empfohlen. Bei symptomatischen idiopathischen VT aus dem rechtsventrikulären Ausflusstrakt sowie bei VA-bedingter Einschränkung der linksventrikulären Ejektionsfraktion oder des biventrikulären Stimulationsanteils wird die Katheterablation zudem unabhängig von der Symptomatik als Primärtherapie empfohlen. Für Zentren, die Ablationen von VA bei struktureller Herzerkrankung durchführen, werden u. a. die Möglichkeit der Intensivüberwachung und einer nichtmedikamentösen hämodynamischen Unterstützung, Expertise mit implantierten kardialen aktiven Devices und die Durchführung von mindestens 50 VT-Ablationen pro Jahr sowie standardisierte Prozesse im Umgang mit Komplikationen gefordert. Für epikardiale VT-Ablationen wird vor dem Hintergrund internationaler Empfehlungen und des Komplikationsspektrums die Bindung an das Vorhandensein einer herzchirurgischen Abteilung befürwortet.

Schlüsselwörter

Ventrikuläre Arrhythmie · Positionspapier · Management von ventrikulären Arrhythmien · Ventrikuläre Tachykardie · Ischämische Kardiomyopathie · Nichtischämische Kardiomyopathie · Katheterablation



Der Verlag veröffentlicht die Beiträge in der von den Autorinnen und Autoren gewählten Genderform. Bei der Verwendung des generischen Maskulinums als geschlechtsneutrale Form sind alle Geschlechter impliziert.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

1. Einleitung und Hintergrund

Die Katheterablation hat sich in den vergangenen Jahren zur entscheidenden Therapie idiopathischer ventrikulärer Arrhythmien (VA), aber auch von VA auf dem Boden struktureller Herzerkrankungen etabliert. Dies spiegelt sich unter anderem in einer deutlich zunehmenden Anzahl von Ablationen ventrikulärer Tachykardien (VT) und ventrikulärer Extrasystolen (VES) wider [1, 2]. Zwischen 2015 und 2020 ist bei einem vergleichbaren Anteil an allen Ablationen von 11 % ein 35 %iger Anstieg an VA-Ablationen in Deutschland beobachtet worden [1]. Etwa 80 % der Zentren in Deutschland führen linksventrikuläre Ablationen durch [1, 2]. Der Anstieg an VT-Ablationen ist neben zunehmender Erfahrung der Untersucher und kontinuierlich verbesserter Technologie (u. a. Energieform, Mapping, Bildgebung) sowie geringen Komplikationsraten [3–17] insbesondere durch die verbesserte Studienlage mit Nachweis einer Reduktion von VT-Rezidiven, ICD-Interventionen und reduzierten Krankenhausaufenthalten aufgrund einer Herzinsuffizienz zu erklären. Vor diesem Hintergrund hat die VT-Ablation insbesondere bei Patienten mit ischämischer Kardiomyopathie (ICM) – mit einem Trend zur bevorzugten VT-Ablation gegenüber medikamentöser antiarrhythmischer Therapie bei ICD-Patienten nach einem ersten Schock – an Bedeutung gewonnen [18]. Bisher konnte allerdings keine der größeren randomisierten Studien zur VT-Ablation eine Mortalitätsreduktion nachweisen (■ Abb. 1; [12–16]) Diese Evidenz beruht überwiegend auf Studien bei Patienten mit ICM nach Myokardinfarkt; eine Übertragung auf andere Formen struktureller Herzerkrankung ist nur eingeschränkt möglich. Demgegenüber erfolgt bei Patienten mit nichtischämischer Kardiomyopathie eine VT-Ablation oftmals erst nach mehreren VT-Rezidiven trotz medikamentöser Rhythmusstabilisierung [19]. Zudem ist ein Shift vom Mapping während laufender VT hin zur Modifikation des zugrunde liegenden Substrats zu verzeichnen, was ebenfalls zu einem Anstieg an Katheterablationen geführt hat [19, 20]. Die vorliegende Arbeit stellt eine Aktualisierung der Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (DGK) zur Katheterablation ventriku-

lärer Arrhythmien von 2019 dar (■ Tab. 1) und berücksichtigt die europäischen Empfehlungen [18, 21, 22] wie das HRS/EHRA/APHRS/LAHRS-Konsensus-Dokument [23] im Hinblick auf die Versorgungssituation in Deutschland [18, 23].

2. Grundlagen und technische Aspekte der Katheterablation ventrikulärer Arrhythmien

Grundsätzlich lassen sich 2 *Hauptindikationen* bei der Ablation von VA unterscheiden:

1. einerseits die Ablation ventrikulärer Extrasystolen (VES) oder VT bei strukturell gesundem Herz – meist fokal mit typischer Lokalisation im Ausflusstrakt, entlang des Faszikelsystems oder an Mitralk- bzw. Aortenannulus [24–28],
2. andererseits die Ablation von VT/VES bei zugrunde liegender struktureller Herzerkrankung (SHD), bei der die Arrhythmien zumeist durch Reentry-Mechanismen im Bereich fibrotisch umgebauter Myokardareale entstehen [29].

Der therapeutische Ansatz sowie der zu erwartende Erfolg einer Ablation werden wesentlich durch den zugrunde liegenden Mechanismus, die Lokalisation, die Anatomie sowie die Genese des Substrats bestimmt [30]. Diese lassen sich häufig bereits aus dem 12-Kanal-EKG der Rhythmusstörung antizipieren [31]. Eine Dokumentation der VA mittels 12-Kanal-EKG ist eine wichtige diagnostische Hilfe und soll immer angestrebt werden. Fokale VT lassen sich meist mit gezielten Ablationsläsionen behandeln [32]. Als zugrunde liegende Mechanismen kommen Automatie, getriggerte Aktivität oder Mikroreentry infrage. Idiopathische VT, häufig aus dem RVOT, sind meist durch getriggerte Aktivität und Nachdepolarisationen infolge intrazellulärer Kalziumüberladung bedingt [30, 33]. Auch bei SHD treten fokale VT auf, beispielsweise infolge abnormer Automatie aus dem Purkinje-System. Die häufigste Ursache monomorpher VT bei SHD ist jedoch Narben-assoziiertes Reentry [29, 34]. Bei VT mit typischer LBB-Morphologie sollte insbesondere bei Patienten mit SHD differenzialdiagnostisch an eine Bundle-Branch-Reentry-VT gedacht werden, die mittels

einer Ablation des rechten Schenkels effektiv therapiert werden kann [35–37].

Zwei *Hauptstrategien* lassen sich bei der Katheterablation von VT unterscheiden:

1. das aktivierungs- und entrainment-basierte Mapping während einer anhaltenden Tachykardie sowie
2. das Substratmapping im Sinusrhythmus oder unter ventrikulärer Stimulation.

Während bei der aktivierungsbasierten Ablation die direkte Darstellung des Reentry-Kreises im Vordergrund steht, fokussiert sich die substratbasierte Ablation auf die Behandlung des zugrunde liegenden Substrats. Eine Metaanalyse von 6 Studien, darunter 2 kleinere randomisierte Untersuchungen, zeigte vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich Effektivität, prozeduraler Komplikationen, Rezidivrate und Mortalität [38]. Das substratbasierte Vorgehen scheint allerdings insbesondere bei Patienten mit hochgradig reduzierter systolischer LV-Funktion oder hämodynamischer Instabilität während laufender VT Vorteile zu bieten.

Ein elektroanatomisches Mapping bildet die technische Grundlage der VT-Ablation. Das häufig eingesetzte bipolare Voltage-Mapping erlaubt die Differenzierung zwischen Narbengewebe ($< 0,5$ mV), Übergangszone ($0,5$ – $1,5$ mV) und gesundem Myokard ($> 1,5$ mV); diese Werte können bei Verwendung von Kathetern mit kleineren Elektroden abweichen [39]. Im Gegensatz zu diesem statischen Approach werden auch zunehmend Techniken eines funktionellen Mappings (z. B. Isochronen- oder Decrement-Evoked-Potential-Mapping [DEEP]) eingesetzt [40–44].

VT-Ablationen werden aktuell überwiegend mit gekühltem Radiofrequenzstrom durchgeführt, häufig unter Verwendung von Kathetern mit Messung der Anpresskraft („contact force“) [19]. In vereinzelten Fällen werden Strategien zur Erhöhung der Läsionstiefe und Transmuralität über eine Erhöhung von Ablationsdauer und -energie hinaus angewandt (s. Kapitel 15) [45]. Der Stellenwert der Elektroporation wird aktuell untersucht, erste Studien zeigen vielversprechende Ergebnisse [46].

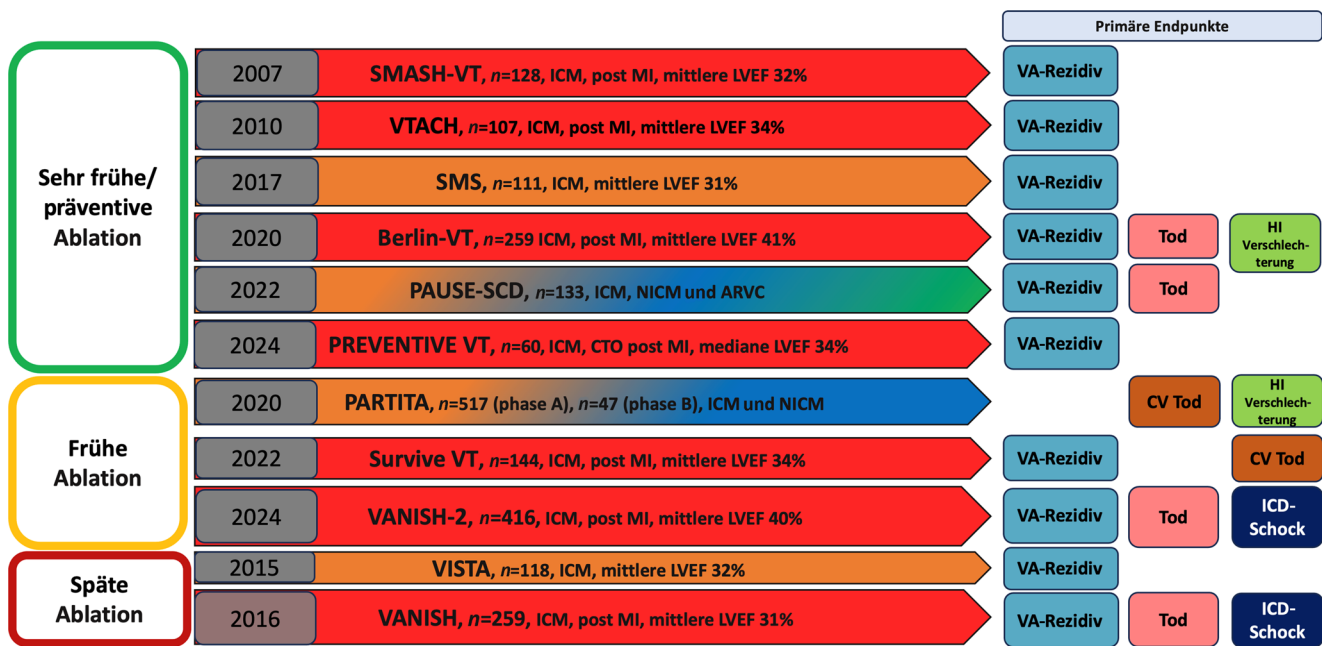


Abb. 1 ▲ Katheterablation ventrikulärer Arrhythmien VA ventrikuläre Arrhythmie, HI Herzinsuffizienz, ICD „implantable cardioverter and defibrillator“, LVEF linksventrikuläre Ejektionsfraktion, ICM ischämische Kardiomyopathie, MI Myokardinfarkt, NICM nichtischämische Kardiomyopathie, ARVC arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie, VT ventrikuläre Tachykardie. Farbkodierung der mittigen Pfeile: rot ICM und post MI, orange ICM, blau NICM, grün ARVC. Ergänzende LVEF-Werte: PARTITA: mean LVEF 34 %; Pause-SCD median LVEF 40 %

3. Indikationsstellung, Patientenselektion und Zeitpunkt der VT-Ablation

Bei der Patientenselektion sollten insbesondere das Prozedurrisiko, die erforderlichen Zugangswege (endo-/epikardiale Ablation) und/oder der Einsatz von Katecholaminen/Unterstützungssystemen sowie medikamentöse Alternativen diskutiert werden [47]. Die Komplexität des Eingriffs und das entsprechende prozedurassoziierte Risiko steigen mit der Schwere der Erkrankung [11, 48, 49]. Zielgrößen der VT-Ablation sind VT-Rezidive, ICD-Interventionen, das Auftreten oder Rezidiv eines VT-Sturms oder häufig auch kombinierte Endpunkte. Die Indikationsstellung zur Ablation richtet sich neben dem Vorhandensein und der Entität einer SHD auch nach dem Wiederauftreten von VT trotz antiarrhythmischer Medikation. Klasse-I-Empfehlungen der ESC zur VT-Ablation existieren für idiopathische VT, VT bei ischämischer Kardiomyopathie (ICM) sowie im elektrischen Sturm (ES).

Idiopathische VA. Idiopathische VA haben in der Regel eine günstige Prognose [50, 51]. Daher wird die Entscheidung für eine

Katheterablation primär anhand der Symptomatik getroffen. Bei idiopathischen VA mit Ursprungsort im rechtsventrikulären Ausflusstrakt oder faszikulären VT ist die Ablation aufgrund ihrer nachgewiesenen Überlegenheit gegenüber einer medikamentösen Behandlung sowie ihrer niedrigen Komplikationsrate [50] einer medikamentösen Therapie vorzuziehen. Auch bei idiopathischen VA in Zusammenhang mit einer LV-Dysfunktion wird eine Katheterablation empfohlen [18]. Für asymptomatische idiopathische VES mit erhaltener LV-Funktion und einer VES-Last über 20 % in wiederholten LZ-EKG besteht in den europäischen Leitlinien eine zurückhaltende Empfehlung zur Ablation (Klasse IIb). Bis zu 20 % der Ausflusstrakt-VA können ihren Ursprung im LV haben [52]. Die Ablation dieser VES ist komplexer und mit einem höheren Komplikationsrisiko assoziiert, so dass eine primäre Ablation gegenüber einer medikamentösen Therapie abgewogen werden sollte [53, 54]. Weitere seltene anatomische Regionen idiopathischer VA sind Papillarmuskeln, Moderatorband sowie Trikuspidalklappenring im rechten Ventrikel (ca. 5–10 % der RV-VES). Ähnlich treten 5–10 % der LV-VA im Bereich der Papillarmuskeln dem Mitralklappenring und

der aortomitralen Kontinuität auf [55]. Der Einsatz der intrakardialen Echokardiographie (ICE) sowie der Einsatz steuerbarer Schleusen kann bei der Ablation von Papillarmuskel-VES die präzise Katheterpositionierung erleichtern, die Stabilität erhöhen und so Sicherheit und Erfolg der Prozedur verbessern [56].

Ischämische Kardiomyopathie (ICM). Bei Patienten, mit bekannter ICM (betrifft in den relevanten randomisierten Studien in der Regel ICM mit stattgehabtem Myokardinfarkt), bei denen trotz optimaler medikamentöser antiarrhythmischer Therapie (AAD) rezidivierende symptomatische monomorphe VT auftreten, wird eine Ablation empfohlen (s. ▣ Abb. 1). Mehrere aktuelle Studien zeigen, dass die Ablation in diesen Hochrisikogruppen ICD-Interventionsraten und Hospitalisierungen verringert und die Lebensqualität der Patienten steigert [3, 5, 7, 16, 18]. Die VANISH-II-Studie zeigte im randomisierten Vergleich zur medikamentösen Therapie mit Amiodaron oder Sotalol die Überlegenheit einer primären Katheterablation in Bezug auf VT-Rezidive bei Patienten mit ICM und stattgehabtem Myokardinfarkt [3]. Deshalb sollte bei Patienten

Tab. 1 Auswahl von Neuerungen im Vergleich zu den DGK-Empfehlungen 2021	
VT-Ablation bei ICM	
Empfehlungen 2021	Empfehlungen aktuell
Antiarrhythmika (AA) als Erstlinientherapie bei struktureller VT	Eine primäre VT-Ablation bei ICM ist der AA Medikation überlegen, weswegen die Ablation vor Amiodaron-Gabe erwogen werden sollte
Ablation nach Versagen von AA oder bei Amiodaron-refraktärer VT	
Keine Überlegenheit der Ablation gegenüber Amiodaron bei initialer Therapie	
Frühzeitige Ablation – Vorteile der VT-Ablation bei Patienten ohne ICD bei ICM+LVEF≥40% und hämodynamisch tolerierten VT	
VT-Ablation bei Patienten mit ICD zur Rezidivprophylaxe empfohlen, nicht als Alternative zum ICD	VT-Ablation kann als Alternative zum ICD bei definierten Ablationsendpunkten in erfahrenen Zentren erwogen werden
	Ein strukturiertes Follow-up zur Früherfassung von Rezidiven wird empfohlen
VT-Ablation bei struktureller Herzerkrankung fokussiert in erfahrenen Zentren mit strukturiertem Vorgehen u.a. zum Management von Komplikationen	
Generelle Empfehlung, VT-Ablation in erfahrenen Zentren durchzuführen	Die VT-Ablation bei strukturellen Herzerkrankungen sollte in erfahrenen Zentren vorgenommen werden (i. e. mind. 50 Ablationen VT pro Jahr pro Zentrum, interdisziplinäres Team, Ressourcen)
Mindestfallzahlen oder Qualitätsanforderungen nicht definiert	Ein strukturiertes Komplikationsmanagement (Perikardtamponade, vaskuläre Komplikationen, Schlaganfall) muss vorgehalten werden
Komplikationsmanagement nicht systematisch adressiert	
Epikardiale Ablation von VT in Zentren mit herzchirurgischem Backup	
Keine explizite Empfehlung zur Notwendigkeit herzchirurgischer Bereitschaft im gleichen Haus	Entsprechend internationaler Empfehlungen wird für epikardiale VT-Ablationen das Vorhandensein einer bettenführenden Herzchirurgie befürwortet
Bildgebung zur Substratcharakterisierung und -lokalisierung	
MRT zur Substratcharakterisierung bei struktureller Herzerkrankung empfohlen	Aufwertung der Bildgebung vor VT-Ablation
CT nicht explizit adressiert	CT für Wanddicke, Substrat und insbesondere bei Device-Trägern erwägen
Integration von Bildgebung in Mappingsystemen noch nicht standardisiert	Digital-Twin-Konzepte im Entstehen
Ultraschallgesteuerte Leistenpunktion	
Keine Empfehlung für ultraschallunterstützte Zugangstechnik zur Leistenpunktion	Eine ultraschallgesteuerte Punktion wird sowohl für den arteriellen als auch den venösen Leistenzugang empfohlen
Anatomische Landmark-Technik als Standard	
Hämodynamische Unterstützungssysteme und „protected VT ablation“	
Hämodynamische Unterstützung bei instabiler VT als Option erwähnt	Hämodynamische Unterstützungssysteme im Rahmen der („protected“) VT-Ablation nicht primär empfohlen
Keine formale Empfehlung für oder gegen routinemäßigen Einsatz	Hämodynamische Unterstützungssysteme sollten ausgewählten Hochrisikopatienten vorbehalten bleiben
VES-Ablation bei gehäuften VES (asymptomatisch, normale LV-Funktion)	
Ablation bei VES nur bei Symptomen oder VES-induzierter Kardiomyopathie empfohlen	Ablation bei > 20 % VES Last ohne Symptome vertretbar, wenn „shared decision making“ und sorgfältige Selektion
„Asymptomatic high-burden PVC“ mit normaler LV-Funktion: abwartende Haltung, regelmäßige Echokontrolle	
ICM ischämische Kardiomyopathie, LV linker Ventrikel, LVEF linksventrikuläre Ejektionsfraktion, MI Myokardinfarkt, VES ventrikuläre Extrasystolie	

mit ICM und VT die Katheterablation einer medikamentösen antiarrhythmischen Therapie vorgezogen werden. Eine frühe Ablation kann zudem VT-Rezidive im Vergleich zur medikamentösen Therapie reduzieren und zeigt niedrigere Komplikationsraten, insbesondere bei Patienten mit ICM [57–59]. Studien zur Ablation vor dem ersten Auftreten einer VT zeigen in

Hochrisikokollektiven mit ICM, reduzierter systolischer LV-Funktion und chronischer Okklusion eines Infarkt-assoziierten Koronargefäßes auch einen Benefit in Bezug auf die Reduktion von ICD-Interventionen (PREVENTIVE VT).

Nichtischämische Kardiomyopathie (NICM). Für Patienten mit NICM besteht

im Gegensatz zur postinfarktbedingten VT keine vergleichbar robuste randomisierte Evidenz. Es existiert in den ESC-Leitlinien keine Klasse-I-Empfehlung zur VT-Ablation bei Patienten mit NICM [18]. Die Ablation sollte aber bei rezidivierenden VT trotz antiarrhythmischer Medikation auch aufgrund fehlender Therapiealternativen erwogen werden. Unterschiedliche Enti-

Tab. 2 VT-Ablation bei nichtischämischen Kardiomyopathien – Übersicht nach Entität						
Kardiomyopathie Entität	Studiengröße (n)	Akuter Ablationserfolg	Follow-up (Monate)	Langzeiterfolg	Studienkommentar	Zitationen
ARVC (arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie)	n=21–284	60–90 % („non-inducible“); 85–94 % bei kombinierter endo-epi Abl.	11–79	VT-Freiheit: 70–85 % (endo-/epi) vs. 43–54 % (endol)	Registerdaten und Metaanalysen. Endo-epik ABL. signifikant überlegen, da Substrat häufig epikardial. Rezidive oft durch Fortschreiten der ARVC	Bai et al. [83] Chaumont et al. [84] Garcia et al. [85] Liang et al. [86] Romero et al. [87] Santangeli et al. [88] Shen et al. [89] Tokuda et al. [90] Vaseghi et al. [72]
Myokarditis (Post-Myokarditis)	n=20–186	65–100 % („procedural success“); meist epikardiales Mapping erforderlich (bei 30–73 %)	12–63	VT-Freiheit: 76,9–90 %; Rezidivrate: 10–23 %; signifikante Verbesserung der LVEF möglich	Prospektive Fallserien und Metaanalysen bei Z. n. Myokarditis	Androulakis et al. [91] Berte et al. [92]
					Exzellente Ergebnisse bei postentzündlicher Form (PM)	Dello Russo et al. [93] Li et al. [94]
					Akute Myokarditis (AM) relative Kontraindikation aufgrund hoher Rezidivrate (63–64)	Maccabelli et al. [95] Peretto et al. [96]
Sarkoidose (kardiale Sarkoidose)	n=21–158	44–90 % (Unterdrückung/„non-inducible“); Metaanalyse: 57; hohe intraprozedurale Rezidivrate	4–68	VT-Freiheit (2 Jahre): 37–55 %; Rezidivrate: 52–71 %; VT-Freiheit nach Mehrfacheingriffen ca. 63 %	Überwiegend retrospektive Kohortenstudien	Adhaduk et al. [97]
					Sehr hohes Rezidivrisiko unter NICM-Entitäten durch multifokale/intramurale Narben	Kumar et al. [98] Koplan et al. [99]
					PET-Aktivität korreliert mit nicht erfolgreicher Ablation	Muser et al. [100] Papageorgiou et al. [101] Rodríguez-Rascos et al. [102] Siontis et al. [103]
HCM (hypertrophe Kardiomyopathie)	n=22–35	87,5–100 % („non-inducible“)	20–31	VT-Freiheit: 63–78 %; hoher Erfolg bei apikalen Aneurysmen	Retrospektive Fallserien und Register. Komplexes Substrat mit hoher intramuraler Beteiligung; epi Mapping oft erforderlich	Dukkipati et al. [104]
				Sehr geringer Erfolg bei basal-septalem Substrat Rezidivrate ca. 40–50 % nach 1 Jahr	Jin et al. [105] Santangeli et al. [106] Vaseghi et al. [72]	
Amyloidose (ATTR & AL)	n=21–22	73 % komplette Erfolgsrate (n = 22); 14 partieller Erfolg	32	> 5 % VT-VF-Freiheit nach 36 Monaten; signifikante Reduktion von ICD-Schocks	Retrospektive internationale Multicenterstudien. Datenlage begrenzt. Hohe Komplikationsrate (18 %); septale/intramurale Substrate technisch herausfordernd	Compagnucci et al. [107] Orini et al. [108] Sarkar & Ajijola [109]
Laminopathie (LMNA)	n=25–62	Gering: 25–37 % („non-inducible“)	7–26	VT-Rezidivrate: 83–91 %; Mortalität/ Herztransplantationsrate: 26–31 %	Review und multizentrische Studie. Schlechte Prognose aufgrund progredienter Erkrankung und intramuraler basal-septaler Narben. Ablation oft nur palliativ	Castrichini et al. [82] Kumar et al. [79]

täten und Substratmuster der zugrunde liegenden NICM-Formen sowie die Komplexität der Ablation sind entscheidende Faktoren, die bezüglich der Indikationsstellung berücksichtigt werden sollten. Eine Katheterablation soll bei VES/VT, die zu einer Beeinträchtigung der linksventrikulären Auswurfleistung (LVEF) oder zu einer Beeinträchtigung des biventrikulären Stimulationsanteils bei CRT-Trägern führen, unabhängig von der Symptomatik erwogen werden [18, 23, 60–62].

Idiopathisches Kammerflimmern (IVF) und Kanalerkrankungen: Häufig lassen sich bei IVF fokale Trigger nachweisen, meist Purkinje-assoziierte Extrasystolen, die überwiegend aus dem linken Ventrikel stammen [63]. Die Katheterablation dieser Trigger kann bei rezidivierenden VF-Episoden oder auch ischämiegetriggertem VF und multiplen VF-Episoden/ICD-Schocks die Arrhythmiebelastung reduzieren [63]. Auch bei Kanalerkrankungen wie dem Brugada-Syndrom sowie dem Early-Repolarization-Syndrom [64–66] kann die Ablation in Einzelfällen sinnvoll sein, etwa bei fokalen Triggern oder elektrischem Sturm. Beim Brugada-Syndrom kann die gezielte Ablation arrhythmogener Substrate im epikardialen rechtsventrikulären Ausflusstrakt VF-Rezidive verhindern [67–70].

4. VES/VT-Ablation bei Patienten mit struktureller Herzerkrankung

Bei der ICM sind die „kritischen Isthmen“ meist endo- bis midmyokardial lokalisiert. Die NICM hingegen zeichnet sich oftmals durch eine ubiquitäre Gefügedilatation mit überwiegend epikardialer oder intramuraler Fibrose aus [23], hat je nach Grunderkrankung unterschiedliche Narbenmuster und zeigt gegebenenfalls eine progressive Dynamik [59, 71]. Bei der ICM erreichen Ablationsstrategien mit hochauflösender Darstellung des Substrates akute Erfolgsraten von bis zu 80–90 %. Dennoch liegt die 1-Jahres-Rezidivrate bei etwa 30–40 %. Bei NICM fallen die Ergebnisse u. a. aufgrund des weniger umschriebenen Substrats schlechter aus, und die endokardiale Ablation muss häufiger um eine epikardiale Ablation erweitert werden [1, 18, 23, 72–74]. Katheterablationen von VT im Rahmen einer NICM sollen daher an erfahre-

nen Zentren mit entsprechender Expertise durchgeführt werden.

Die Ätiologie der strukturellen Herzerkrankung beeinflusst maßgeblich die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Katheterablation [72, 75, 76]. Die VT-Ablation bei diesen Subgruppen sollte deshalb individualisiert unter Einbeziehung genetischer Diagnostik, bildgebender Verfahren und detaillierter elektrophysiologischer Substratcharakterisierung geplant werden (s. ■ Tab. 2). Neben der Kenntnis der VT-Morphologie können bildgebende Verfahren wie die kardiale MRT mit LGE und CT zur Erhöhung der Präzision des Substratmappings hilfreich sein (s. Kapitel 7). Insbesondere bei basal anteroseptalen Narben und teils intramuralem Substrat wie sie bei Laminopathien oder Titin-assoziiierter NICM auftreten, ist die Ablation komplex und mit höheren Rezidivraten assoziiert [77–82].

Auch bei hypertropher Kardiomyopathie (HCM) liegen die Substrate oft intramural, was häufig wiederholte Ablationen erfordert sowie die Anwendung alternativer Ablationsstrategien [105, 110, 111].

Bei der arrhythmogenen rechtsventrikulären Kardiomyopathie (ARVC) sind die Substrate typischerweise epikardial im rechten Ventrikel lokalisiert. Dennoch ist die Ablation im Vergleich zu anderen hereditären NICM-Formen mit deutlich günstigeren Langzeitergebnissen assoziiert [112, 113].

Beim arrhythmogenen Mitralklappenprolapsyndrom (MVPS) können basierend auf Reentry-Mechanismen oder getriggertem Automatie potenziell lebensbedrohliche VA auftreten [114, 115]. Der Ursprung der VT liegt oftmals in den Papillarmuskeln, am Mitralklappenannulus, im inferioren und inferolateralen LV und im Reizleitungssystem/den Faszikeln. Im Falle von gehäuften VES oder VT kann eine Katheterablation indiziert sein [116, 117].

Nach abgelaufener Myokarditis treten VT häufig in Zusammenhang mit inferolateral betonten epikardialen Narben auf. Eine Ablation kann erfolgreich sein, erfordert jedoch oft einen epikardialen Zugang sowie eine sorgfältige Nutzen-Risiko-Abwägung [72, 91, 94].

Eine Sonderrolle nimmt die kardiale Sarkoidose ein. Das Substrat variiert je nach entzündlicher Aktivität (granulomatös oder fibrotisch) und ist sowohl endo-,

intra- als auch epikardial lokalisiert. Eine Ablation sollte rezidivierenden therapierefraktären monomorphen VT vorbehalten bleiben und immer im Kontext einer immunmodulatorischen Therapie erfolgen, da bei progredientem Verlauf häufig keine vollständige Arrhythmiekontrolle alleinig mittels Ablation erreicht wird und insgesamt die Prognose auch nach VT-Ablation eingeschränkt bleibt [72, 98, 101].

Bei Patienten mit chirurgisch korrigierten kongenitalen Herzfehlern wie der Fallot-Tetralogie entstehen VA meist durch narbenassoziierte Reentry-Mechanismen entlang chirurgischer Isthmen im rechtsventrikulären Ausflusstrakt [118, 119]. Die Katheterablation dokumentierter VT ist bei diesen Patienten eine etablierte Therapieoption, insbesondere bei rezidivierenden Tachykardien oder ICD-Schocks [118]. Eine prophylaktische Ablation langfristig leitender anatomischer Isthmen kann möglicherweise auch bei Patienten ohne klinische VT das VT-Risiko senken [120–122].

5. Bildgebende Diagnostik und Navigationssysteme

Die transthorakale Echokardiographie ermöglicht die Erfassung struktureller und funktioneller Parameter der kardialen Funktion und wird vor VT-Ablation empfohlen. In den letzten Jahren hat sich die MRT zum Goldstandard hinsichtlich der Differenzierung struktureller Herzerkrankungen etabliert [123]. Daneben hat sich die hochauflösende kardiale CT zu einem hilfreichen Tool auch für die Katheterablation weiterentwickelt [123]. Als mögliche Alternative zur MRT kann die CT nicht nur zur Prozedurplanung vor VT-Ablation (Anatomie), sondern auch zur Beurteilung des potenziell arrhythmogenen Substrates durch Wandausdünnungen oder später Kontrastmittelanreicherung sinnvoll sein [124–127]. Zusätzliche Informationen wie der Verlauf von Koronararterien und des N. phrenicus sind bei epikardialen Ablationen (Zugang, Ablationsort) hilfreich. Die gewonnenen Informationen der Bildgebung können teilweise in elektroanatomische Maps implementiert werden.

Tab. 3 Übersicht der häufigsten Komplikationen bei VT-Ablationen			
Komplikationsart	Inzidenzen (%)	Datenqualität & Definition	Wichtigste Zitationen
<i>Intrahospitale Mortalität</i>	0,6–1,8 % (0,9 % ICM, 0,6 % NICM); RCTs < 2 %	Tod während Indexhospitalisation oder 30 Tage post Gemischte Studienlage inklusive RCT Individuelle Fallanalyse nur vereinzelt erfolgt; teilweise administrative Datenanalysen mittels ICD-10-Codes RCT (SMASH-VT, VTACH, SMS, VISTA, BERLIN-VT, PAUSE-SCD, VANISH) konsistent ≤ 2 % In-hospital-Mortalität	Di Biase L et al. [20] Ding W et al. [137] Eckardt L et al. [11] Kuck KH et al. [16] Reddy VY et al. [17] Sapp JL et al. [5] Tung R et al. [76] Willems S et al. [6]
<i>Perikardtamponade</i>	0,7–1,4 % interventionspflichtig; bis 5,5 % bei epikardialem Zugang	Interventionspflichtige Tamponaden (Perikardpunktion, -fensterung, OP) Vereinzelt individuelle Fallanalyse; teilweise administrative Datenanalysen mittels ICD-10-Codes Epi-Prozeduren (z. B. PAUSE-SCD): bis 5,5 % VISTA-Trial: alle Ergüsse konservativ behandelt	Di Biase L et al. [20] Doldi F et al. [49] Eckardt L et al. [11] Mehta V et al. [139] Tung R et al. [76]
<i>Gefäßkomplikationen (major)*</i>	0,4–2,5 % je nach Register/Definition; 1,7–2,0 % in prospektiven Serien	Major* vaskuläre Ereignisse: Pseudoaneurysma, AV-Fistel, große Hämatome, chirurgische Intervention Definitionen variieren; klinische Register & Studien 1,7–2,5 % Administrative Daten ≤ 2 % RCT (VISTA, BERLIN-VT, SMASH-VT, VTACH) berichten ähnliche Raten	Di Biase L et al. [20] Doldi F et al. [49] Eckardt L et al. [11] Mehta V et al. [139] Kuck KH et al. [16] Reddy VY et al. [17] Willems S et al. [6]
<i>Schlaganfall/TIA</i>	0,2–0,5 %	Klinisch manifeste ischämische Schlaganfälle/TIA Meist mit Bildgebung oder Falladjudikation Administrative Daten: 0,4–0,5 % STROKE-VT: 12–23 % asymptomatische Läsionen im MRT, aber keine klinischen Schlaganfälle unter DOAC vs. 6,5 % unter ASS RCT mit niedrigen Fallraten (VASNISH/PAUSE-SCD)	Doldi F et al. [49] Eckardt L et al. [11] Lakkireddy D et al. [140] Mehta V et al. [139] Sapp JL et al. [5] Tung R et al. [76]
<i>Akute hämodynamische Dekompensation (HD)/kardiogener Schock</i>	1,1–1,2 % intraprozedural/≤ 12 h HD; 7–11,4 % Schock in administrativen Analysen	In RCT nicht separat erfasst Einzelne Single-center-Analysen mit Lungenödem oder refraktärer Hypotonie intraprozedural bzw. ≤ 12 h. Administrative Analysen: Inzidenzen von 7–11,4 % ohne fallbasierte Adjudikation	Duhan S et al. [141] Morcos R et al. [142] Stojadinovic P et al. [143]
*Gefäßkomplikationen waren zwischen den Studien heterogen definiert; erfasst wurden meist klinisch relevante Zugangskomplika-tionen oder ICD-kodier-te vaskuläre Ereignisse, nicht jedoch standardisiert: pragmatische Erfassung ohne vorselektierte Standarddefinition; BERLIN-VT, <i>VANISH</i> klinisch-basierte Erfassung; <i>PAUSE-SCD</i> detaillierte ereignisbezogene Erfassung			

Die Erstellung sog. „digital twins“ könn-te zukünftig die Rolle der Bildgebung in der VT-Ablation weiter stärken [128, 129].

6. Rolle der Katheterablation beim elektrischen Sturm

Über 85 % der Arrhythmien im elektrischen Sturm (ES) sind monomorphe VT [21]. Ur-sachen dieser VT sind in der Regel ein sta-biles strukturelles Substrat, während bei polymorphen VA häufig Auslöser wie aku-te Myokardischämie, exazerbierte Herzin-suffizienz, Elektrolytstörungen oder auch medikamentöse/iatrogene Effekte vorlie-gen [21]. Eine Ablation ist essenzieller Bau-stein in der Behandlung von Patienten mit elektrischem Sturm (ohne erkennba-re reversible Faktoren) und führt zur Re-duktion der Arrhythmiebelastung, von VA-Rezi-dividen und elektrischen Sturm-Ereignissen

und kann individuell die Prognose verbes-sern [130]; dies insbesondere im Rahmen monomorpher VES, die VT oder Kammer-flimmern triggern, bzw. monomorphen VT [21]. Während der optimale Zeitpunkt für die Ablation nicht abschließend geklärt ist, scheint eine zeitnahe früh-elektive Ablati-on nach vorheriger hämodynamischer und Rhythmusstabilisierung [131] einem not-fallmäßigen Eingriff überlegen, welcher mit einem hohen VA-Rezidivrisiko asso-ziiert ist [23, 132–134].

7. Sicherheitsaspekte und Komplikationsmanagement

Die Häufigkeit periprozeduraler Komplika-tionen im Rahmen der VA-Ablation hängt neben der Erfahrung des Untersucher-teams von der Komplexität der Prozedur und patientenspezifischen Faktoren ab

[48, 49, 72]. Die Komplikationsraten sind bei Ablation idiopathischer VA signifikant niedriger als bei strukturellen VA und hängen entscheidend von der Zielregion der Ablation (rechtsventrikulär vs. links-ventrikulär, epikardial) ab [23, 135]. Ein relevanter Anteil der Mortalität nach VT-Ablationen ist mit dem Auftreten von Komplikationen assoziiert oder aber die Konsequenz einer ineffektiven Ablation mit VT-Rezidiv.

Die berichtete Gesamtinzidenz relevan-ter Komplikationen bei der VT-Ablation liegt zwischen 3,8 und 11,2 % [23] und ist je nach Studie und Definitionen sehr va-riabel (■ Tab. 3; [11, 49, 135]). In einer Analyse deutscher Zentren zeigten sich bei über 3300 VT-Ablationen Komplika-tionen bei 5,3 % der Patienten (Gefäßkom-plikationen 1,1 %, Schlaganfall 0,4 %, Pe-rikardtamponade 2,2 % und In-hospital-

Tod 0,4 %) [11]. Determinanten einer höheren Komplikationsrate können SHD, nicht-elektive oder Notfallprozedur, elektrischer Sturm, höheres Alter und Niereninsuffizienz sein [23, 49, 135–137]. Verletzungen des spezifischen Reizleitungssystems sind selten, können aber in einigen Situationen wie Bundle-Branch-Reentry-Tachykardien oder septaler Zielregion der Ablation auftreten [23]. Relevant niedrigere Komplikationsraten finden sich in Zentren mit höherem VT-Ablationsvolumen (≥ 50 VT-Ablationen pro Jahr) sowie in Abhängigkeit der Erfahrung des Untersuchers und des gesamten Teams [11]. Eine Fokussierung der VT-Ablation auf Zentren mit entsprechender Expertise ist daher sinnvoll, ebenso wie eine strukturierte Ausbildung von Untersucher und Team [22, 138], um prozedurassoziierte Morbidität/Komplikationen zu reduzieren [136].

8. Die epikardiale Ablation von VA

Hinweise für das Vorliegen einer epikardialen Zielregion können Bildgebung, vorangegangene fehlgeschlagene endokardiale Ablationsversuche, die VT-Morphologie im 12-Kanal-EKG sowie die Narbenmuster der jeweiligen Kardiomyopathie (z. B. ARVC) liefern [22]. Aufgrund der Komplexität des Zugangsweges und der Dauer der Prozedur kann bei absehbarer epikardialer Prozedur vor einer Heparinisierung ein epikardialer Zugang gewählt werden.

Es existieren 2 unterschiedliche Punktionsvorgehensweisen für einen epikardialen Zugang, wobei der anteriore Zugangsweg mit Punktion in Richtung der Vorderwand des rechten Ventrikels die niedrigere Komplikationsrate aufweist [144]. Es ist hierbei zu berücksichtigen, dass die posteriore Punktion potenziell durch abdominelle Strukturen und den muskulären Anteil des Zwerchfells erfolgt. Spezielle Techniken wie Punktion mittels Micro-Puncture-Needle oder Punktion nach vorheriger perikardialer CO₂-Insufflation können einen atraumatischen Zugang erleichtern, wobei vergleichende Studien fehlen [145, 146]. Spezifische Komplikationen der epikardialen Ablation sind Verletzungen abdomineller oder mediastinaler Strukturen auf dem Punktionsweg, Perikardblutungen/-tamponaden sowie Verletzungen epikardialer Gefäße und des linksseitigen

N. phrenicus mit Zwerchfellparese [74]. Komplikationen finden sich häufiger bei Patienten mit vorbestehenden perikardialen Adhäsionen, die ein freies Manövrieren der Katheter oder den perikardialen Zugang verhindern können [147]. Aus dem Lösen perikardialer Adhäsionen können relevante Blutungskomplikationen resultieren, welche ggf. ein notfallmäßiges chirurgisches Eingreifen erfordern. Das Vorhandensein perikardialer Adhäsionen ist bei Patienten nach vorherigen herzchirurgischen Eingriffen, nach Peri-Myokarditiden oder bei Patienten mit relevanter Niereninsuffizienz erhöht und bisher nicht voraussagbar [148].

Die Bindung an das Vorhandensein einer herzchirurgischen Abteilung wird vor dem Hintergrund internationaler Empfehlungen und des Komplikationsspektrums befürwortet [22].

9. Ablationsstrategien und Endpunkte

Ein etablierter Endpunkt der VT-Ablation ist die Nichtinduzierbarkeit von VT. Obwohl dieser Endpunkt in Studien und Registern validiert ist, bleibt seine Aussagekraft für die langfristige VT-Freiheit begrenzt. Fehlende Induzierbarkeit, unterschiedliche Stimulationsprotokolle, die Abhängigkeit vom Stimulationsort sowie die unklare Bedeutung induzierter nicht-klinisch dokumentierter VT und Analgosedierung und Antiarrhythmika schwächen die Aussagesagekraft [16, 73, 149–151].

Aufgrund hämodynamischer Instabilität und/oder fehlender Induzierbarkeit hat sich in den letzten Jahren zunehmend die substratbasierte Ablation etabliert und wird außerdem häufig mit der Nichtinduzierbarkeit kombiniert [152, 153]:

1. zielgerichtete Ablation abnormer Elektrogramme sog. „late potentials“ (LPs) und lokaler/„late abnormal ventricular activities“ (LAVAs) mit dem Endpunkt der möglichst vollständigen Elimination und der Nichterregbarkeit [43, 154, 155],
2. funktionelles Substrat-Mapping mit Demaskierung von Arealen mit versteckter Leitungsverzögerung [43, 156],
3. Scar-Homogenisierung (endo/epi) oder die sog. Core-Isolation des kri-

tischen VT-Isthmus mit Ablation der pathologischen Signale im Substrat-areal [43, 152, 154, 157, 158].

10. VT-Ablation mit kardialem Unterstützungsdevice

Eine periprozedurale hämodynamische Dekompensation (HD) im Rahmen einer VT-Ablation ist selten, dann aber mit einem ungünstigen klinischen Verlauf assoziiert [159, 160]. Zum Erkennen von Risikopatienten wurden der PAINESD- und der PAAINESD-Score entwickelt, welche die Entscheidung hinsichtlich des prophylaktischen Einsatzes einer mechanischen Kreislaufunterstützung (MCS) erleichtern sollen [143, 159]. Allerdings zeigt der PAINESD-Score nur eine unbefriedigende Übereinstimmung mit tatsächlicher Dekompensation während VT-Ablation [4]. Sogenannte prophylaktische oder auch „protected“ VT-Ablationen können ein ausführlicheres Mapping von VT ermöglichen, jedoch spiegelt sich dies bisher nicht in einem besseren Outcome wider. Insbesondere die Möglichkeit einer substratbasierten VT-Ablation zeigt relevant niedrigere Raten einer HD, weswegen der generelle präinterventionelle Einsatz einer MCS in der Regel entbehrlich erscheint [143, 160]. Mögliche Komplikationen wie Leistenkomplikationen, Blutungen und Schlaganfälle sollten in der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden.

11. Qualitätsanforderungen an Zentren mit VT-Ablation, Nachsorge und Verlaufskontrolle

Aufgrund der Komplexität der VT-Ablation, insbesondere bei Patienten mit SHD, sind Erfolgs- und Komplikationsrate entscheidend abhängig von der Erfahrung des Untersuchers und des Teams [11, 136, 161]. Daher ist eine Dokumentation im Sinne eines Qualitätsmanagements von Ablationsprozeduren sinnvoll. Es wird ein multidisziplinärer Team-Approach empfohlen, um neben einer Rhythmusstabilisierung auch ein optimiertes Management der kardialen Grund- und Begleiterkrankungen sicherzustellen. Für das Management komplexer VT-Ablationen ist die Versorgung in Zentren mit besonderer Erfahrung (evtl.

Tab. 4 Vergleich des transseptalen vs. retrograden Zugangsweges		
	Transseptal (antegrad)	Transaortal (retrograd)
<i>Zugang</i>	Venöse Punktion	Arterielle Punktion
	Transseptale Punktion Passage der Mitralklappe	Passage der Aortenklappe
<i>Mögliche Limitationen/ potenzielle Hindernisse und Komplikationen</i>	Transseptale Punktion Erreichbarkeit aortaler „targets“	Arteriosklerose
	Linksatriale Thromben	Kinking Aortenklappensklerose/-stenose
<i>Mögliche Lösungsan- sätze</i>	TEE- oder ICE-gesteuerte TSP Steuerebare transseptale Schleuse	Längere Schleusen und Positionierung in der Aorta (descen- dens, ascendens, Aortenbogen)
<i>Mögliche Vorteile</i>	Reduktion von Gefäßkomplikationen (unter fortgeführter OAK/Thrombozytenaggregation)	Invasive Blutdruckmessung, Darstellung der Koronarien ohne zusätzliche arterielle Punktion
<i>Mögliche Nachteile</i>	Risiken der transseptalen Punktion	Risiko der Gefäßkomplikation
	Kathetermanipulation über die Mitralklappe	Höheres embolisches Risiko, höhere Rate von SCL [165]
	Notwendigkeit transseptaler Schleuse/Nadel	Kathetermanipulation bei arteriellem Kinking erschwert Zu- gangswegversorgung Postinterventionell aufwendiger

über überregionale Netzwerke) anzustreben [134].

In Zentren, die Ablationen von VA bei struktureller Herzerkrankung durchführen, sollten folgende Punkte vorgehalten werden:

1. Möglichkeit der Intensivüberwachung und des erweiterten Monitorings,
2. Möglichkeit und Expertise bezüglich einer nichtmedikamentösen hämodynamischen Unterstützung,
3. Expertise im Management von implantierten kardialen aktiven Devices (optimierte Device-Programmierung, -Nachsorge),
4. Durchführung von mindestens 50 Ablationen VT pro Jahr pro Zentrum,
5. standardisierte Prozesse zum Umgang mit Komplikationen wie Gefäßzugang, kardiale Verletzung/Tamponade, hämodynamische Instabilität und Schlaganfall,
6. standardisierte Prozesse zur Rhythmusstabilisierung bei Patienten mit rezidivierenden VT/ES,
7. entsprechend internationaler Empfehlungen wird für epikardiale VT-Ablationen das Vorhandensein einer bettenführenden Herzchirurgie befürwortet.

Die Nachsorge von Patienten nach VT-Ablation stellt eine entscheidende Säule in der Versorgung dar, weshalb eine engmaschige interdisziplinäre Nachsorge empfohlen wird. VT-Rezidive sind bei Patienten mit struktureller Herzerkrankung ein Marker eines schlechteren Langzeit-Outcomes, sodass frühzeitig eine Re-Ablation

in einem erfahrenen Zentrum diskutiert werden sollte [75, 162].

12. Periprozedurales und postprozedurales Management

Bei linksventrikulären VT sind die Vor- und Nachteile des jeweiligen Zugangs (transseptal oder transaortal) zu berücksichtigen (s. Tab 3). Eine ultraschallgesteuerte Punktion der Femoralgefäße wird empfohlen [163]. Eine Manipulation elektrophysiologischer Katheter durch mechanische Herzklappen darf nicht erfolgen. In Abhängigkeit von Patienten und avisierten Zielregion sollte individuell der Zugangsweg gewählt werden. Zum Vergleich der beiden Zugangswege wird auf [Tab. 4](#) verwiesen. Beim mechanischen Doppelklappenersatz wird auf die spezielle Literatur verwiesen [164].

Die postinterventionelle Versorgung der Zugangswege hängt neben den punktierten Gefäßen auch von der periprozeduralen Antikoagulation ab. Die postinterventionelle Versorgung des arteriellen Zugangsweges mit Gefäßverschlusssystemen [166–168] sowie die Versorgung der venösen Punktion mittels Z-Naht sind übliche Strategien bei linksventrikulärer Ablation. Ob grundsätzlich Gefäßverschlusssysteme die Rate an Gefäßkomplikationen reduzieren, ist bislang nicht in großen randomisierten Studien untersucht [166, 169].

In den Leitlinien wird basierend auf Expertenkonsens eine an das Ausmaß der Ablation angepasste postinterventionelle Antikoagulation nach VT-Ablation emp-

fohlen [23, 51, 140, 170]. Insgesamt scheint die Gabe von ASS (in Studien teilweise 325 mg/Tag) oder nach ausgedehnter linksventrikulärer Ablation bei Patienten mit SHD die transiente Einleitung einer DOAK-Therapie eine sinnvolle Strategie ohne relevante Erhöhung des periprozeduralen Blutungsrisikos darzustellen [140, 171–173]. Bei Patienten mit bereits vorbestehender Indikation zur Antikoagulation sollte diese postinterventionell fortgeführt werden.

13. Bail-out-Strategien bei therapierefraktären VA, technologische Innovationen und zukünftige Entwicklungen

Die Radiofrequenz-basierte VT-Ablation ist insbesondere bei Patienten mit SHD vor allem aufgrund der Komplexität des Substrats mit relevanten Rezidivraten assoziiert [50, 174–179]. Ein Ansatz zur Läsionsoptimierung von RF-Applikationen ist der Einsatz von Spüllösungen mit reduzierter Leitfähigkeit wie „half-normal saline“ oder Glukoselösungen. Auch Strategien der Impedanzmodulation können die Effektivität der Energieübertragung steigern [180]. Neben der klassischen unipolaren Ablation hat sich auch die simultane unipolare bzw. bipolare Ablation als vielversprechende Technik zur Erzeugung transmuraler Läsionen erwiesen [169, 181, 182]. Weitere, weltweit lediglich sehr selten angewandte Technologien sind die Alkoholablation des Ventrikelmuskels über geeignete Koronararterien oder -venen [183], die Ablation mittels Nadel-basierten Ablationska-

thetern [19] oder die entweder katheterbasiert oder herzchirurgisch vorgenommene Kryoablation oder Ultra-low-temperature-Kryoablation von VT [19, 184–186].

Der Einsatz der PFA-Technologie hat sich im Rahmen der Vorhofflimmerablation bereits etabliert [187, 188] und könnte zukünftig auch bei VT-Ablationen Erfolg versprechend eingesetzt werden. In präklinischen Arbeiten konnten bei Anwendung monopolarer PFA tiefere Läsionen als mit RF in LV und Papillarmuskeln erzeugt werden [189–191]. Die Ausbildung effektiver Läsionen insbesondere bei veränderter Myokardtextur und unterschiedlichen Gewebeeigenschaften kann mittels PFA möglicherweise im Vergleich zu RF verbessert werden [191], unterstützt durch die in der Regel sehr kurzen Applikationszeiten. Verschiedene PFA-Katheter wurden bereits im Ventrikel klinisch zur Ablation eingesetzt, allerdings im Rahmen kleinerer Fallserien als Bail-out-Strategie bei derzeit noch fehlender Zulassung für die Ablation im Ventrikel beim Menschen [192–194]. Der Einsatz dieser Technologie sollte derzeit nur von erfahrenen Untersuchern in streng selektierten Patientenkollektiven mit klar definierten Protokollen und konsequenter Nachsorge erwogen werden.

Eine nichtinvasive Option stellt die stereotaktische Strahlentherapie (SBRT) dar [195]. Hierbei erfolgt die Zieldefinition des arrhythmogenen Substrats basierend auf elektroanatomischem Mapping in Kombination mit bildgebenden Verfahren. SBRT kann bei Patienten mit schwer zugänglichem Substrat, auch als Ergänzung zur Katheterablation eingesetzt werden, sollte aktuell aber individuellen Patienten nach strenger Indikationsstellung vorbehalten bleiben [196].

14. Zusammenfassung und Ausblick

Wenngleich die Katheterablation von VA eine Reduktion von Arrhythmierezidiven, die Reduktion von Rehospitalisierungen und eine Verbesserung der Lebensqualität insbesondere bei Patienten mit ICM mit sich bringen kann, steht ein Nachweis zur Verringerung der Sterblichkeit aus [12, 15–18, 197, 198]. Während sich die Langzeiterfolgsraten bei Patienten mit idiopathischen VES/VT positiv darstellen, sind

die Rezidivraten bei Patienten mit SHD insbesondere im Falle der NICM relevant höher [50, 199]. Es bleibt abzuwarten, ob neue Technologien wie die PFA-Ablation die Erfolgsraten auch bei diesen Patienten verbessern können.

Zusätzliche Ergebnisse randomisierter Studien sind weiterhin erforderlich. Die CASTLE-VT-Studie prüft, ob die präventive Katheterablation bei Patienten mit arrhythmogenem Substrat auf dem Boden einer ICM und Vorstellung zur Herztransplantation den kombinierten Endpunkt aus Gesamtmortalität, Verschlechterung der Herzinsuffizienz mit priorisierter Herztransplantation oder Implantation eines LVAD-Systems reduzieren kann [200].

Während im Rahmen der AF-Ablation bereits erste potenzielle Benefits einer durch künstliche Intelligenz unterstützten Ablation gezeigt werden konnten [201, 202], ist die Rolle der KI im Rahmen der VT-Ablation noch unzureichend untersucht. Erste Ergebnisse der Anwendung im Rahmen von Tiermodellen und in kleineren Fallserien lassen auf einen Einsatz insbesondere zur Unterstützung beim VT-Mapping hoffen [203, 204].

15. Fazit für die Praxis

10 Key messages

- Eine 12-Kanal-EKG-Dokumentation der ventrikulären Rhythmusstörung soll immer angestrebt werden.
- Eine Katheterablation sollte bei Patienten mit struktureller Herzerkrankung und rezidivierenden ventrikulären Tachykardien (VT) und/oder ICD-Shock(s) erwogen werden.
- Eine Katheterablation wird bei rezidivierenden anhaltenden monomorphen VT und struktureller Herzerkrankung trotz medikamentöser antiarrhythmischer Therapie empfohlen, wobei bei ischämischen Kardiomyopathie (ICM)- und nichtischämischen Kardiomyopathie (NICM)-Formen unterschiedliche Empfehlungsgrade existieren.
- Eine Katheterablation soll bei Patienten mit ICM und anhaltenden VT als Primärtherapie erwogen werden, da sie effektiver als eine antiarrhythmische Medikation VT-Rezidive reduzieren kann.

- Eine Katheterablation wird bei ventrikulärer Extrasystolie (VES) mit Beeinträchtigung der linksventrikulären Auswurfleistung oder des biventrikulären Stimulationsanteils bei CRT-Trägern unabhängig von der Symptomatik empfohlen.
- Eine Katheterablation bei Patienten mit symptomatischen idiopathischen VT/VES aus dem rechtsventrikulären Ausflusstrakt wird als Primärtherapie empfohlen.
- Vor einer Katheterablation ventrikulärer Arrhythmien (VA) sollen eine Echokardiographie und gegebenenfalls eine weiterführende Bildgebung (Kontrastechokardiographie, CT, MRT, TEE) zur Charakterisierung des zugrunde liegenden Substrats und/oder eines Thrombenausschlusses erfolgen.
- Katheterablationen insbesondere bei Patienten mit NICM sollten in Zentren mit entsprechender Expertise erfolgen. Eine Herzchirurgie vor Ort wird vor dem Hintergrund des möglichen Komplikationsspektrums bei epikardialen VT-Ablationen befürwortet.
- Die Nicht-Induzierbarkeit von VT nach Ablation ist der etablierteste prozedurale Endpunkt, sollte aber mit substratspezifischen Endpunkten kombiniert werden.
- Ein interdisziplinärer Team-Approach wird empfohlen, um neben einer Rhythmusstabilisierung auch ein optimales Management der kardialen Grunderkrankung bei Patienten mit VA zu ermöglichen.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. med. Andreas Rillig

Klinik und Poliklinik für Kardiologie, Bereich Rhythmologie, Universitäres Herz- und Gefäßzentrum Hamburg
Martinistr. 52, 20246 Hamburg, Deutschland
a.rillig@uke.de

Förderung. Für diese Arbeit wurde keine Förderung erhalten.

Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Datenverfügbarkeit. Alle dieser Arbeit zugrunde liegenden Daten sind in diesem Artikel enthalten.

Interessenkonflikt. A. Rillig: Beratungstätigkeit: Medtronic, Biosense Webster, Boston scientific, Atricure, Lifetech, CorLector. Reisekostenunterstützung, Vortragshonorare oder Vergütungen für Beratertätigkeiten (Advisory board): Medtronic, Cardiofocus, Biosense Webster, Abbott, Boehringer Ingelheim, Philips, Ablamap, Bayer, Novartis, Lifetech, Boston Scientific, Atricure, CorLector und Lilly. Forschungsstipendien: Medtronic, Else Kröner Fresenius, DFG., M. Ebert: Vortragshonorare: Boehringer Ingelheim, Novartis, Abbott und Medtronic., L. Eckardt: Beraterhonorare, Vortragshonorare und Reisekostenunterstützung von: Abbott, Bayer Healthcare, Biotronik, Boehringer, Boston Scientific, Bristol-Myers Squibb, Daiichi Sankyo, Medtronic, Pfizer, und Sanofi Aventis. Wissenschaftliche Förderungen von German Research Foundation (DFG) and German Heart Foundation außerhalb der eingereichten Arbeit. T. Deneke, A. Arya, C. Hansen und A. Sultan geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen

Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Eckardt L, Doldi F, Busch S et al (2023) 10-year follow-up of interventional electrophysiology: updated German survey during the COVID-19 pandemic. *Clin Res Cardiol* 112(6):784–794. <https://doi.org/10.1007/s00392-022-02090-3>
2. Metzner A, Reubold SD, Schonhofer S et al (2023) Management of pericardial tamponade in the electrophysiology laboratory: results from a national survey. *Clin Res Cardiol* 112(12):1727–1737. <https://doi.org/10.1007/s00392-022-02042-x>
3. Sapp JL, Tang ASL, Parkash R et al (2025) Catheter Ablation or Antiarrhythmic Drugs for Ventricular Tachycardia. *N Engl J Med* 392(8):737–747. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2409501>
4. Sapp JL, Tang ASL, Parkash R, Stevenson WG, Healey JS, Wells G (2024) A randomized clinical trial of catheter ablation and antiarrhythmic drug therapy for suppression of ventricular tachycardia in ischemic cardiomyopathy: The VANISH2 trial. *Am Heart J* 274:1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2024.04.009>
5. Sapp JL, Wells GA, Parkash R et al (2016) Ventricular Tachycardia Ablation versus Escalation of Antiarrhythmic Drugs. *N Engl J Med* 375(2):111–121. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1513614>
6. Willems S, Tilz RR, Steven D et al (2020) Preventive or Deferred Ablation of Ventricular Tachycardia in Patients With Ischemic Cardiomyopathy and Implantable Defibrillator (BERLIN VT): A Multicenter Randomized Trial. *Circulation* 141(13):1057–1067. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.043400>
7. Arenal A, Avila P, Jimenez-Candil J et al (2022) Substrate Ablation vs Antiarrhythmic Drug Therapy for Symptomatic Ventricular Tachycardia. *JACC Adv* 79(15):1441–1453. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.01.050>
8. Della Bella P, Baratto F, Vergara P et al (2022) Does Timing of Ventricular Tachycardia Ablation Affect Prognosis in Patients With an Implantable Cardioverter Defibrillator? Results From the Multicenter Randomized PARTITA Trial. *Circulation* 145(25):1829–1838. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.059598>
9. Kuck KH, Tilz RR, Deneke T 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>
10. Rademaker R, de Riva M, Piers SRD, Wijnmaalen AP, Zeppenfeld K (2024) Excellent Outcomes After First-Line Ablation in Post-MI Patients With Tolerated VT and LVEF > 35. *JACC Clin Electrophysiol* 10(11):2303–2311. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2024.06.027>
11. Eckardt L, Doldi F, Anwar O et al (2023) Major in-hospital complications after catheter ablation of cardiac arrhythmias: individual case analysis of 43 031 procedures. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/ead361>
12. Kanagasundram AN, Richardson TD, Stevenson WG (2022) Can Early Ablation of Ventricular Tachycardia Improve Survival? *Circulation* 145(25):1850–1852. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.059730>
13. Markman TM (2025) Catheter Ablation for Ventricular Tachycardia - The Case for Earlier Intervention. *N Engl J Med* 392(8):818–819. <https://doi.org/10.1056/NEJMe2500487>
14. Kampaktsis PN, Doulamis IP, Tzani A, Cheung JW (2020) Preventive versus deferred catheter ablation of myocardial infarct-associated ventricular tachycardia: A meta-analysis. *Heart Rhythm* 17(4):275–282. <https://doi.org/10.1016/j.hrro.2020.08.001>
15. Shalghanov T, Stoyanov M, Traykov V (2022) Outcomes of early catheter ablation for ventricular tachycardia in adult patients with structural heart disease and implantable cardioverter-defibrillator: An updated systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Front Cardiovasc Med* 9:1063147. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.1063147>
16. Kuck KH, Schaumann A, Eckardt L 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(9708):31–40. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61755-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61755-4)
17. Reddy VV, Reynolds MR, Neuzil P et al (2007) Prophylactic catheter ablation for the prevention of defibrillator therapy. *N Engl J Med* 357(26):2657–2665. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa065457>
18. Zeppenfeld K, Tfelt-Hansen J, de Riva M et al (2022) 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes* 43(40):3997–4126. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac262>
19. Sultan A, Futyma P, Metzner A et al (2024) Management of ventricular tachycardias: insights on centre settings, procedural workflow, endpoints, and implementation of guidelines—results from an EHRA survey. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/ead030>
20. Di Biase L, Burkhardt JD, Lakkireddy D et al (2015) Ablation of Stable VTs Versus Substrate Ablation in Ischemic Cardiomyopathy: The VISTA Randomized Multicenter Trial. *JACC Adv* 66(25):2872–2882. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.10.026>
21. Lenarczyk R, Zeppenfeld K, Tfelt-Hansen J et al (2024) Management of patients with an electrical storm or clustered ventricular arrhythmias: a clinical consensus statement of the European Heart Rhythm Association of the ESC-endorsed by the Asia-Pacific Heart Rhythm Society, Heart Rhythm Society, and Latin-American Heart Rhythm Society. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/ead049>
22. Arya A, Di Biase L, Bazan V et al (2025) Epicardial ventricular arrhythmia ablation: a clinical consensus statement of the European Heart Rhythm Association of the European Society of Cardiology and the Heart Rhythm Society, the Asian Pacific Heart Rhythm Society, the Latin American Heart Rhythm Society, and the Canadian Heart Rhythm Society. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/ead055>
23. Cronin EM, Bogun FM, Maury P et al (2019) 2019 HRS/EHRA/APHRS/LAHRS expert consensus statement on catheter ablation of ventricular arrhythmias. *Europace* 21(8):1143–1144. <https://doi.org/10.1093/europace/euz132>
24. Wasmer K, Kobe J, Decherer DG et al (2013) Ventricular arrhythmias from the mitral annulus:

- patient characteristics, electrophysiological findings, ablation, and prognosis. *Heart Rhythm* 02 10(6):783–788. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2013.02.007>
25. Tada H, Ito S, Naito S et al (2005) Idiopathic ventricular arrhythmia arising from the mitral annulus: a distinct subgroup of idiopathic ventricular arrhythmias. *JACC Adv* 4(5):877–886. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.12.025>
26. Tada H, Tadokoro K, Ito S et al (2007) Idiopathic ventricular arrhythmias originating from the tricuspid annulus: Prevalence, electrocardiographic characteristics, and results of radiofrequency catheter ablation. *Heart Rhythm* 02 4(1):7–16. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2006.09.025>
27. Nogami A (2011) Purkinje-related arrhythmias part ii: polymorphic ventricular tachycardia and ventricular fibrillation. *Pacing Clin Electrophysiol* 34(8):1034–1049. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2011.03145.x>
28. Lerman BB (2015) Mechanism, diagnosis, and treatment of outflow tract tachycardia. *Nat Rev Cardiol* 12(10):597–608. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2015.121>
29. Stevenson WG, Khan H, Sager P et al (1993) Identification of reentry circuit sites during catheter mapping and radiofrequency ablation of ventricular tachycardia late after myocardial infarction. *Circulation* 88(4 Pt 1):1647–1670. <https://doi.org/10.1161/01.cir.88.4.1647>
30. Cherry EM, Fenton FH, Gilmour RF Jr (2012) Mechanisms of ventricular arrhythmias: a dynamical systems-based perspective. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 302(12):H2451–H2463. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00770.2011>
31. de Riva M, Watanabe M, Zeppenfeld K (2015) Twelve-lead ECG of ventricular tachycardia in structural heart disease. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 8(4):951–962. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.115.002847>
32. Buxton AE, Waxman HL, Marchlinski FE, Simson MB, Cassidy D, Josephson ME (1983) Right ventricular tachycardia: clinical and electrophysiologic characteristics. *Circulation* 68(5):917–927. <https://doi.org/10.1161/01.cir.68.5.917>
33. Busch S, Eckardt L, Sommer P et al (2019) Premature ventricular contractions and tachycardia in a structurally normal heart : Idiopathic PVC and VT. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol* 30(2):212–224. <https://doi.org/10.1007/s00399-019-0607-1>
34. Piers SR, Tao Q, de Riva Silva M et al (2014) CMR-based identification of critical isthmus sites of ischemic and nonischemic ventricular tachycardia. *JACC Cardiovasc Imaging* 7(8):774–784. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.03.013>
35. Cohen TJ, Chien WW, Lurie KG et al (1991) Radiofrequency catheter ablation for treatment of bundle branch reentrant ventricular tachycardia: results and long-term follow-up. *J Am Coll Cardiol* 18(7):1767–1773. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(91\)90519-f](https://doi.org/10.1016/0735-1097(91)90519-f)
36. Chen H, Shi L, Yang B et al (2018) Electrophysiological Characteristics of Bundle Branch Reentry Ventricular Tachycardia in Patients Without Structural Heart Disease. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 11(7):e006049. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.117.006049>
37. Pathak RK, Fahed J, Santangeli P et al (2018) Long-Term Outcome of Catheter Ablation for Treatment of Bundle Branch Re-Entrant Tachycardia. *JACC Clin Electrophysiol* 4(3):331–338. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2017.11.021>
38. Kumar S, Baldinger SH, Romero J et al (2016) Substrate-Based Ablation Versus Ablation Guided by Activation and Entrainment Mapping for Ventricular Tachycardia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Cardiovasc Electrophysiol* 27(12):1437–1447. <https://doi.org/10.1111/jce.13088>
39. Dello Russo A, Compagnucci P, Bergonti M et al (2023) Microelectrode voltage mapping for substrate assessment in catheter ablation of ventricular tachycardia: A dual-center experience. *J Cardiovasc Electrophysiol* 34(5):1216–1227. <https://doi.org/10.1111/jce.15908>
40. Di Marco A, Oloriz Sanjuan T, Paglino G et al (2018) Late potentials abolition reduces ventricular tachycardia recurrence after ablation especially in higher-risk patients with a chronic total occlusion in an infarct-related artery. *J Cardiovasc Electrophysiol* 29(8):1119–1124. <https://doi.org/10.1111/jce.13488>
41. Irie T, Yu R, Bradfield JS et al (2015) Relationship between sinus rhythm late activation zones and critical sites for scar-related ventricular tachycardia: systematic analysis of isochronal late activation mapping. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 8(2):390–399. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.114.002637>
42. de Riva M, Naruse Y, Ebert M et al (2018) Targeting the Hidden Substrate Unmasked by Right Ventricular Extrastimulation Improves Ventricular Tachycardia Ablation Outcome After Myocardial Infarction. *JACC Clin Electrophysiol* 4(3):316–327. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2018.01.013>
43. Guichard JB, Regany-Closa M, Vazquez-Calvo S et al (2024) Substrate Mapping for Ventricular Tachycardia Ablation Through High-Density Whole-Chamber Double Extra Stimuli: The S3 Protocol. *JACC Clin Electrophysiol* 10(7 Pt 2):1534–1547. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2024.04.023>
44. Porta-Sanchez A, Jackson N, Lukac P et al (2018) Multicenter Study of Ischemic Ventricular Tachycardia Ablation With Decrement-Evoked Potential (DEEP) Mapping With Extra Stimulus. *JACC Clin Electrophysiol* 4(3):307–315. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2017.12.005>
45. Guandalini GS, Liang JJ, Marchlinski FE (2019) Ventricular Tachycardia Ablation: Past, Present, and Future Perspectives. *JACC Clin Electrophysiol* 5(12):1363–1383. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2019.09.015>
46. Reddy VY, Koruth JS, Peichl P et al (2025) High-Voltage Focal Pulsed Field Ablation to Treat Scar-Related Ventricular Tachycardia: The First-in-Human VCAS Trial. *Circulation* 152(24):1691–1704. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.125.077025>
47. van den Bruck JH, Hohendanner F, Heil E et al (2025) Characterization of ventricular tachycardia ablation in end-stage heart failure patients with left ventricular assist device (CHANNELED registry). *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/eaaf054>
48. Lee JZ, Tan MC, Karikalan S et al (2023) Causes of Early Mortality After Ventricular Tachycardia Ablation in Patients With Reduced Ejection Fraction. *JACC Clin Electrophysiol* 9(6):824–832. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2022.10.024>
49. Doldi F, Doldi PM, Plagwitz L et al (2023) Predictors for major in-hospital complications after catheter ablation of ventricular arrhythmias: validation and modification of the Risk in Ventricular Ablation (RIVA) Score. *Clin Res Cardiol* 112(12):1778–1789. <https://doi.org/10.1007/s00392-023-02223-2>
50. Rottner L, Metzner A, Hochadel M et al (2025) Ten-Year Outcomes and Predictors of Mortality Following Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia. *J Am Heart Assoc* 14(1):e034814. <https://doi.org/10.1161/JAHA.124.034814>
51. Tilz RR, Lin T, Eckardt L et al (2018) Ablation Outcomes and Predictors of Mortality Following Catheter Ablation for Ventricular Tachycardia: Data From the German Multicenter Ablation Registry. *J Am Heart Assoc*. <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.007045>
52. Anderson RD, Kumar S, Parameswaran R et al (2019) Differentiating Right- and Left-Sided Outflow Tract Ventricular Arrhythmias: Classical ECG Signatures and Prediction Algorithms. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 12(6):e007392. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.119.007392>
53. Steven D, Pott C, Bittner A et al (2013) Idiopathic ventricular outflow tract arrhythmias from the great cardiac vein: challenges and risks of catheter ablation. *Int J Cardiol Heart Vasc* 169(5):366–370. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.09.008>
54. Heeger CH, Hayashi K, Kuck KH, Ouyang F (2016) Catheter Ablation of Idiopathic Ventricular Arrhythmias Arising From the Cardiac Outflow Tracts - Recent Insights and Techniques for the Successful Treatment of Common and Challenging Cases. *Circ J* 80(5):1073–1086. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-16-0293>
55. Yoneda ZT, Stevenson WG (2024) Idiopathic Annular Ventricular Arrhythmias. *Arrhythm Electrophysiol Rev* 13:e21. <https://doi.org/10.15420/aer.2024.40>
56. Yamada T, McElderry HT, Doppalapudi H et al (2010) Idiopathic ventricular arrhythmias originating from the left ventricular summit: anatomic concepts relevant to ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 3(6):616–623. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.110.939744>
57. Maan A, Waseem M, Carter A et al (2025) Early vs. deferred catheter ablation of ventricular tachycardia in patients of ischaemic substrate: systematic review and meta-analysis of clinical outcomes. *Eur Heart J Open* 5(4):oeaf076. <https://doi.org/10.1093/ehjopen/oeaf076>
58. Romero J, Di Biase L, Diaz JC et al (2018) Early Versus Late Referral for Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia in Patients With Structural Heart Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Outcomes. *JACC Clin Electrophysiol* 4(3):374–382. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2017.12.008>
59. Dinov B, Fiedler L, Schonbauer R 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 (HELP-VT) Study. *Circulation* 129(7):728–736. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003063>
60. Voskoboinik A, Hadjis A, Alhede C et al (2020) Predictors of adverse outcome in patients with frequent premature ventricular complexes: The ABC-VT risk score. *Heart Rhythm* 02 17(7):1066–1074. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2020.02.020>
61. Briceño DF, Romero J, Villablanca PA et al (2018) Long-term outcomes of different ablation strategies for ventricular tachycardia in patients with structural heart disease: systematic review and meta-analysis. *Europace* 20(1):104–115. <https://doi.org/10.1093/europace/eux109>
62. Vazquez-Calvo S, Roca-Luque I, Althoff TF (2023) Management of Ventricular Arrhythmias in Heart

- Failure. *Curr Heart Fail Rep* 20(4):237–253. <https://doi.org/10.1007/s11897-023-00608-y>
63. Haissaguerre M, Shoda M, Jais P et al (2002) Mapping and ablation of idiopathic ventricular fibrillation. *Circulation* 106(8):962–967. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000027564.55739.b1>
64. Pappone C, Boccellino A, Ciconte G, Anastasia L (2024) Ablation of the epicardial substrate in patients with long-QT syndrome at risk of sudden death. *Eur Heart J Suppl* 26(Suppl 1):i88–i92. <https://doi.org/10.1093/eurheartjsupp/suae009>
65. Nademanee K, Wilde AA, Ackerman MJ et al (2026) Contemporary Perspectives on J-Wave Syndromes: An Expert Consensus Statement. *J Arrhythm* 42(1):e70284. <https://doi.org/10.1002/joa3.70284>
66. Yuniadi Y, Hanafy DA, Raharjo SB, Hermanto DY (2025) Catheter Ablation of Triggers and Arrhythmogenic Epicardial Substrates in Patients with QT Prolongation. *Arch Med Res* 56(7):103257. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2025.103257>
67. Nademanee K (2021) Radiofrequency ablation in Brugada syndrome. *Heart Rhythm* 18(10):1805–1806. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2021.08.005>
68. Nademanee K, Veerakul G, Chandanamatha P et al (2011) Prevention of ventricular fibrillation episodes in Brugada syndrome by catheter ablation over the anterior right ventricular outflow tract epicardium. *Circulation* 123(12):1270–1279. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.972612>
69. Brugada P (2016) Brugada syndrome: More than 20 years of scientific excitement. *J Cardiol* 67(3):215–220. <https://doi.org/10.1016/j.jicc.2015.08.009>
70. Nademanee K, Chung FP, Sacher F et al (2023) Long-Term Outcomes of Brugada Substrate Ablation: A Report from BRAVO (Brugada Ablation of VF Substrate Ongoing Multicenter Registry). *Circulation* 147(21):1568–1578. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.063367>
71. Zeppenfeld K, Wijnmaalen AP, Ebert M et al (2022) Clinical Outcomes in Patients With Dilated Cardiomyopathy and Ventricular Tachycardia. *JACC Adv* 8(11):1045–1056. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.06.035>
72. Vaseghi M, Hu TY, Tung R 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. *JACC Clin Electrophysiol* 4(9):1141–1150. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2018.05.007>
73. Konemann H, Ellermann C, Zeppenfeld K, Eckardt L (2023) Management of Ventricular Arrhythmias Worldwide: Comparison of the Latest ESC, AHA/ACC/HRS, and CCS/CHRS Guidelines. *JACC Clin Electrophysiol* 9(5):715–728. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2022.12.008>
74. Fink T, Sciacca V, Feickert S et al (2020) Outcome of cardiac tamponades in interventional electrophysiology. *Europace* 22(8):1240–1251. <https://doi.org/10.1093/europace/euaa080>
75. Tung R, Vaseghi M, Frankel DS 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* 12(9):1997–2007. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2015.05.036>
76. Tung R, Xue Y, Chen M et al (2022) First-Line Catheter Ablation of Monomorphic Ventricular Tachycardia in Cardiomyopathy Concurrent With Defibrillator Implantation: The PAUSE-SCD Randomized Trial. *Circulation* 145(25):1839–1849. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.060039>
77. Piers SR, Leong DP, van Huls van Taxis CF et al (2013) Outcome of ventricular tachycardia ablation in patients with nonischemic cardiomyopathy: the impact of noninducibility. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 6(3):513–521. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.113.000089>
78. Oloriz T, Silberbauer J, Maccabelli G et al (2014) Catheter ablation of ventricular arrhythmia in nonischemic cardiomyopathy: antero-septal versus inferolateral scar sub-types. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 7(3):414–423. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.114.001568>
79. Kumar S, Androulakis AF, Sellal JM et al (2016) Multicenter Experience With Catheter Ablation for Ventricular Tachycardia in Lamin A/C Cardiomyopathy. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.116.004357>
80. Ebert M, de Riva M, Wijnmaalen AP et al (2025) The Relevance of the Type of Ventricular Arrhythmia in Titin-Related Dilated Cardiomyopathy: A Multicenter Study. *JACC Clin Electrophysiol* 11(6):1193–1204. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2025.01.010>
81. Ebert M, Wijnmaalen AP, de Riva M et al (2020) Prevalence and Prognostic Impact of Pathogenic Variants in Patients With Dilated Cardiomyopathy Referred for Ventricular Tachycardia Ablation. *JACC Clin Electrophysiol* 6(9):1103–1114. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2020.04.025>
82. Castrichini M, Ferreira Felix I, Karlinski V, Zentgraf V et al (2026) Outcomes of Ventricular Tachycardia Ablation in Cardiac Laminopathy: An Updated Systematic Review and Single-Arm Meta-Analysis. *J Cardiovasc Electrophysiol* 37(2):268–274. <https://doi.org/10.1111/jce.70193>
83. Bai R, Di Biase L, Shivkumar K et al (2011) Ablation of ventricular arrhythmias in arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy: arrhythmia-free survival after endo-epicardial substrate based mapping and ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 4(4):478–485. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.111.963066>
84. Chaumont C, Tschabrunn CM, Orsai A et al (2024) Long-Term Freedom From Ventricular Arrhythmias in ARVC With Endocardial Only Ablation: Predictors of Success. *JACC Clin Electrophysiol* 10(7 Pt 2):1551–1561. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2024.05.003>
85. Garcia FC, Bazan V, Zado ES, Ren JF, Marchlinski FE (2009) Epicardial substrate and outcome with epicardial ablation of ventricular tachycardia in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia. *Circulation* 120(5):366–375. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.834903>
86. Liang E, Wu L, Fan S et al (2020) Catheter ablation of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy ventricular tachycardia: 18-year experience in 284 patients. *Europace* 22(5):806–812. <https://doi.org/10.1093/europace/euaa046>
87. Romero J, Grushko M, Briceño DF, Natale A, Di Biase L (2017) Radiofrequency Ablation in Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy (ARVC). *Curr Cardiol Rep* 19(9):82. <https://doi.org/10.1007/s11886-017-0893-3>
88. Santangeli P, Zado ES, Supple GE et al (2015) Long-Term Outcome With Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia in Patients With Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 8(6):1413–1421. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.115.003562>
89. Shen LS, Liu LM, Zheng LH et al (2020) Ablation strategies for arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy: a systematic review and meta-analysis. *J Geriatr Cardiol* 17(11):694–703. <https://doi.org/10.11909/j.issn.1671-5411.2020.11.001>
90. Tokuda M, Tedrow UB, Kojodjojo P et al (2012) Catheter ablation of ventricular tachycardia in nonischemic heart disease. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 5(5):992–1000. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.112.971341>
91. Androulakis E, Falconer D, Briassoulis A et al (2022) Long-term Outcomes of Catheter Ablation for Ventricular Arrhythmias in Post-Myocarditis Patients: Insights from a Meta-Analysis of Current Data. *SN Compr Clin Med* 4(1):62. <https://doi.org/10.1007/s42399-022-01137-w>
92. Berte B, Sacher F, Cochet H et al (2015) Postmyocarditis ventricular tachycardia in patients with epicardial-only scar: a specific entity requiring a specific approach. *J Cardiovasc Electrophysiol* 26(1):42–50. <https://doi.org/10.1111/jce.12555>
93. Dello Russo A, Casella M, Pieroni M et al (2012) Drug-refractory ventricular tachycardias after myocarditis: endocardial and epicardial radiofrequency catheter ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 5(3):492–498. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.111.965012>
94. Li L, Ding L, Liu S et al (2024) Catheter Ablation for Ventricular Tachycardia in Patients With Biopsy-Proven Myocarditis. *JACC Asia* 4(12):1000–1009. <https://doi.org/10.1016/j.jacasi.2024.08.018>
95. Maccabelli G, Tsiachris D, Silberbauer J et al (2014) Imaging and epicardial substrate ablation of ventricular tachycardia in patients late after myocarditis. *Europace* 16(9):1363–1372. <https://doi.org/10.1093/europace/euu017>
96. Peretto G, Sala S, Basso C et al (2020) Inflammation as a Predictor of Recurrent Ventricular Tachycardia After Ablation in Patients With Myocarditis. *JACC Adv* 7(14):1644–1656. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.08.012>
97. Adhikari M, Paudel B, Liu K, Ashwath M, Giudici M (2022) Meta-Analysis of Catheter Ablation Outcomes in Patients With Cardiac Sarcoidosis Refractory Ventricular Tachycardia. *Am J Cardiol* 174:136–142. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2022.03.038>
98. Kumar S, Barbhaiya C, Nagashima K et al (2015) Ventricular tachycardia in cardiac sarcoidosis: characterization of ventricular substrate and outcomes of catheter ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 8(1):87–93. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.114.002145>
99. Koplan BA, Soejima K, Baughman K, Epstein LM, Stevenson WG (2006) Refractory ventricular tachycardia secondary to cardiac sarcoid: electrophysiologic characteristics, mapping, and ablation. *Heart Rhythm* 3(8):924–929. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2006.03.031>
100. Muser D, Santangeli P, Pathak RK et al (2016) Long-Term Outcomes of Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia in Patients With Cardiac Sarcoidosis. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.116.004333>
101. Papageorgiou N, Providencia R, Bronis K et al (2018) Catheter ablation for ventricular tachycardia in patients with cardiac sarcoidosis: a systematic review. *Europace* 20(4):682–691. <https://doi.org/10.1093/europace/eux077>
102. Rodríguez-Rascos JF, Vemulapalli HS, Prajapati P et al (2025) Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia in Histologically Confirmed, Clinically Diagnosed, and Suspected Cardiac Sarcoidosis.

- Circ J 90(1):99–108. <https://doi.org/10.1253/circ.CJ-25-0285>
103. Siontis KC, Santangeli P, Muser D et al (2022) Outcomes Associated With Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia in Patients With Cardiac Sarcoidosis. *JAMA Cardiol* 7(2):175–183. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2021.4738>
104. Dukkkipati SR, d' Avila A, Soejima K et al (2011) Long-term outcomes of combined epicardial and endocardial ablation of monomorphic ventricular tachycardia related to hypertrophic cardiomyopathy. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 4(2):185–194. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.110.957290>
105. Jin S, Li M, Jiang C et al (2025) Catheter Ablation for Ventricular Tachycardia in Patients With Hypertrophic Cardiomyopathy: Electrophysiological Characteristics and Long-Term Outcomes. *JACC Clin Electrophysiol* 11(10):2151–2164. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2025.05.028>
106. Santangeli P, Di Biase L, Lakkireddy D et al (2010) Radiofrequency catheter ablation of ventricular arrhythmias in patients with hypertrophic cardiomyopathy: safety and feasibility. *Heart Rhythm* 7(8):1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2010.05.022>
107. Compagnucci P, Dello Russo A, Gasperetti A et al (2024) Substrate Characterization and Outcomes of Ventricular Tachycardia Ablation in Amyloid Cardiomyopathy: A Multicenter Study. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 17(9):e012788. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.124.012788>
108. Orini M, Graham AJ, Martinez-Naharro A et al (2019) Noninvasive Mapping of the Electrophysiological Substrate in Cardiac Amyloidosis and Its Relationship to Structural Abnormalities. *J Am Heart Assoc* 8(18):e012097. <https://doi.org/10.1161/JAHA.119.012097>
109. Sarkar A, Ajjola OA (2024) Ablating the Limits: Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia in Cardiac Amyloid Patients. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 17(10):e013340. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.124.013340>
110. Ueda A, Fukamizu S, Soejima K et al (2012) Clinical and electrophysiological characteristics in patients with sustained monomorphic reentrant ventricular tachycardia associated with dilated-phase hypertrophic cardiomyopathy. *Europace* 14(5):734–740. <https://doi.org/10.1093/europace/eur344>
111. Naeemah QJ, Komatsu Y, Nogami A et al (2022) Catheter ablation of ventricular tachycardia in dilated-phase hypertrophic cardiomyopathy: Substrate characterization and ablation outcome. *Pacing Clin Electrophysiol* 45(6):773–785. <https://doi.org/10.1111/pace.14508>
112. Tschabrunn CM, Zado ES, Schaller RD et al (2022) Isolated critical epicardial arrhythmogenic substrate abnormalities in patients with arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy and ventricular tachycardia. *Heart Rhythm* 19(4):538–545. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2021.11.035>
113. Romero J, Patel K, Briceno D et al (2020) Endo-epicardial ablation vs endocardial ablation for the management of ventricular tachycardia in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy: A systematic review and meta-analysis. *J Cardiovasc Electrophysiol* 31(8):2022–2031. <https://doi.org/10.1111/jce.14593>
114. Sabbag A, Essayagh B, Barrera JDR et al (2022) EHRA expert consensus statement on arrhythmic mitral valve prolapse and mitral annular disjunction complex in collaboration with the ESC Council on valvular heart disease and the European Association of Cardiovascular Imaging endorsed by the Heart Rhythm Society, by the Asia Pacific Heart Rhythm Society, and by the Latin American Heart Rhythm Society. *Europace* 24(12):1981–2003. <https://doi.org/10.1093/europace/ueac125>
115. Malyshev Y, Miller MA (2023) Catheter Ablation of Arrhythmic Mitral Valve Prolapse: Should We Be MAD? No, Quite the Opposite. *JACC Clin Electrophysiol* 9(8 Pt 1):1276–1278. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2023.05.008>
116. Chakrabarti A, Giudicessi JR, Ezzeddine FM et al (2025) Characteristics of Patients With the Arrhythmogenic Mitral Valve Prolapse Syndrome and Sudden Cardiac Arrest and Sustained Ventricular Arrhythmias. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 18(3):e013099. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.124.013099>
117. Chakrabarti AK, Deshmukh A, Liang JJ et al (2023) Mitral Annular Substrate and Ventricular Arrhythmias in Arrhythmogenic Mitral Valve Prolapse With Mitral Annular Disjunction. *JACC Clin Electrophysiol* 9(8 Pt 1):1265–1275. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2023.02.010>
118. Krieger EV, Zeppenfeld K, DeWitt ES et al (2022) Arrhythmias in Repaired Tetralogy of Fallot: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 15(11):e000084. <https://doi.org/10.1161/HAEL.0000000000000084>
119. Wallet J, Kimura Y, Blom NA et al (2024) Ventricular Tachycardia Substrates in Children and Young Adults With Repaired Tetralogy of Fallot. *JACC Clin Electrophysiol* 10(12):2613–2624. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2024.07.016>
120. Kimura Y, Wallet J, Brouwer C et al (2025) Proactive Mapping and Preventive Ablation Reduce Defibrillator Implantation Rates in Tetralogy of Fallot. *JACC Adv* 8(17):1695–1705. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2025.03.523>
121. Zeppenfeld K, Kimura Y (2025) Top stories on proactive ventricular arrhythmia assessment in repaired tetralogy of Fallot. *Heart Rhythm* 22(7):1877–1879. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2025.04.046>
122. Zeppenfeld K, Wijnmaalen AP (2017) Clinical Aspects and Ablation of Ventricular Arrhythmias in Tetralogy of Fallot. *Card Electrophysiol Clin* 9(2):285–294. <https://doi.org/10.1016/j.ccep.2017.02.010>
123. Berrueto A, Penela D, Jauregui B et al (2023) Twenty-five years of research in cardiac imaging in electrophysiology procedures for atrial and ventricular arrhythmias. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/uead183>
124. Deneke T, Kutiyafa V, Hindricks G et al (2024) Pre- and post-procedural cardiac imaging (computed tomography and magnetic resonance imaging) in electrophysiology: a clinical consensus statement of the European Heart Rhythm Association and European Association of Cardiovascular Imaging of the European Society of Cardiology. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/ueae108>
125. Ghannam M, Cochet H, Jais P et al (2018) Correlation between computer tomography-derived scar topography and critical ablation sites in postinfarction ventricular tachycardia. *J Cardiovasc Electrophysiol* 29(3):438–445. <https://doi.org/10.1111/jce.13441>
126. Stokar J, Leibowitz D, Durst R, Shaham D, Zwas DR (2019) Echocardiography overestimates LV mass in the elderly as compared to cardiac CT. *PLoS One* 14(10):e0224104. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224104>
127. Pontone G, Rossi A, Guglielmo M et al (2022) Clinical applications of cardiac computed tomography: a consensus paper of the European Association of Cardiovascular Imaging-part II. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 23(4):e136–e161. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab292>
128. Waight MC, Prakosa A, Li AC et al (2025) Personalized Heart Digital Twins Detect Substrate Abnormalities in Scar-Dependent Ventricular Tachycardia. *Circulation* 151(8):521–533. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.124.070526>
129. Chrispin J, Prakosa A, Kholmovski E et al (2026) Digital Twin-Guided Ablation for Ventricular Tachycardia. *N Engl J Med* 394(13):1345–1347. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2517822>
130. Meyer C, Arya A, Bode K (2026) Management des elektrischen Stürms – DGK-Positionspapier. *Kardiologie*. <https://doi.org/10.1007/s12181-026-00837-0>
131. Konemann H, Camu A, Buscher A et al (2026) Efficacy and safety of ajmaline in patients with electrical storm. *Heart Rhythm* 23(4):868–875. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2025.12.023>
132. Jimenez Candil J, Castro JC, Hernandez J et al (2020) Timing of Ablation and Prognosis of Patients With Electrical Storm and Scar-Related Left Ventricular Dysfunction. *Am J Cardiol* 136:87–93. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2020.09.010>
133. Al Mohani G, Israel C, Casella M, Carbuicchio C (2014) Epicardial ablation as a bailout in electrical storm? *Herzschrittmacherther Elektrophysiol* 25(2):93–101. <https://doi.org/10.1007/s00399-014-0308-8>
134. Deneke T, Shin DL, Lawo T et al (2011) Catheter ablation of electrical storm in a collaborative hospital network. *Am J Cardiol* 108(2):233–239. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2011.03.030>
135. 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(4):684–690. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.114.001530>
136. Bansal A, Nandan A, Sroubek J et al (2025) Impact of Hospital VT Ablation Volume on Postprocedural Complications: Argument for Selective Referral to High-Volume Centers. *JACC Clin Electrophysiol* 11(7):1453–1461. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2025.02.041>
137. Ding WY, Pearman CM, Bonnett L et al (2022) Complication rates following ventricular tachycardia ablation in ischaemic and non-ischaemic cardiomyopathies: a systematic review. *J Interv Card Electrophysiol* 63(1):59–67. <https://doi.org/10.1007/s10840-021-00948-6>
138. Trines SA, Moore P, Burri H et al (2024) 2024 updated European Heart Rhythm Association core curriculum for physicians and allied professionals: a statement of the European Heart Rhythm Association of the European Society of Cardiology. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/ueae243>
139. Mehta V, Boo LM, Ghaly N et al (2020) Real-world characteristics and readmissions among patients undergoing ablation for ventricular tachycardia: a retrospective database analysis of commercially insured patients in the USA. *Open Heart*. <https://doi.org/10.1136/openhrt-2020-001247>
140. Lakkireddy D, Shenthar J, Garg J et al (2021) Safety/Efficacy of DOAC Versus Aspirin for Reduction of Risk of Cerebrovascular Events Following VT Ablation. *JACC Clin Electrophysiol* 7(12):1493–1501. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2021.07.010>

141. Duhan S, Ali S, Alsaedi T et al (2025) Periprocedural Outcomes of VT Ablation in Ischemic Compared to Non-Ischemic Dilated Cardiomyopathy. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 30(6):e70126. <https://doi.org/10.1111/anec.70126>
142. Morcos R, Malik S, Hanna P et al (2024) Ventricular tachycardia ablation across age groups: Outcomes, trends and demographics. Insights from the National Inpatient Sample Database. *Heart Rhythm* 02 5(12):900–909. <https://doi.org/10.1016/j.hrro.2024.09.014>
143. Stojadinovic P, Wichterle D, Peichl P et al (2024) Periprocedural acute haemodynamic decompensation during substrate-based ablation of scar-related ventricular tachycardia: a rare and unpredictable event. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/euae145>
144. Mathew S, Feickert S, Fink T et al (2021) Epicardial access for VT ablation: analysis of two different puncture techniques, incidence of adhesions and complication management. *Clin Res Cardiol* 110(6):810–821. <https://doi.org/10.1007/s00392-020-01711-z>
145. Ditac G, Verhaeghe L, Pambrun T et al (2025) Transatrial pericardial insufflation of carbon dioxide to facilitate epicardial mapping and ablation of atrial and ventricular arrhythmias. *Heart Rhythm* 02 22(7):1718–1727. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2025.03.1967>
146. Silberbauer J, Gomes J, O'Nunain S, Kirubakaran S, Hildick-Smith D, McCready J (2017) Coronary Vein Exit and Carbon Dioxide Insufflation to Facilitate Subxiphoid Epicardial Access for Ventricular Mapping and Ablation: First Experience. *JACC Clin Electrophysiol* 3(5):514–521. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2016.11.002>
147. Tung R, Shivkumar K (2015) Epicardial Ablation of Ventricular Tachycardia. *Methodist DeBakey Cardiovasc J* 11(2):129–134. <https://doi.org/10.14797/mdcj-11-2-129>
148. Li A, Buch E, Boyle NG, Shivkumar K, Bradfield JS (2018) Incidence and significance of adhesions encountered during epicardial mapping and ablation of ventricular tachycardia in patients with no history of prior cardiac surgery or pericarditis. *Heart Rhythm* 02 15(1):65–74. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2017.09.007>
149. Kawamura I, Koruth JS, Kusa S et al (2025) Outcomes of Scar-Related Ventricular Tachycardia Ablation With Percutaneous Left Ventricular Assist Device Support. *JACC Clin Electrophysiol* 11(12):2673–2684. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2025.07.016>
150. Oloriz T, Baratto F, Trevisi N et al (2018) Defining the Outcome of Ventricular Tachycardia Ablation: Timing and Value of Programmed Ventricular Stimulation. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 11(3):e005602. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.117.005602>
151. Wolf M, Sacher F, Cochet H et al (2018) Long-Term Outcome of Substrate Modification in Ablation of Post-Myocardial Infarction Ventricular Tachycardia. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 11(2):e005635. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.117.005635>
152. Briceno DF, Romero J, Gianni C et al (2017) Substrate Ablation of Ventricular Tachycardia: Late Potentials, Scar Dechanneling, Local Abnormal Ventricular Activities, Core Isolation, and Homogenization. *Card Electrophysiol Clin* 9(1):81–91. <https://doi.org/10.1016/j.ccep.2016.10.014>
153. Santangeli P, Higuchi K, Sroubek J (2024) Ventricular Tachycardia Ablation Endpoints: Moving Beyond Noninducibility. *JACC Clin Electrophysiol* 10(5):981–999. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2023.12.009>
154. Bhaskaran A, Fitzgerald J, Jackson N, Gizurason S, Nanthakumar K, Porta-Sanchez A (2020) Decrement Evoked Potential Mapping to Guide Ventricular Tachycardia Ablation: Elucidating the Functional Substrate. *Arrhythm Electrophysiol Rev* 9(4):211–218. <https://doi.org/10.15420/aer.2020.25>
155. Sacher F, Lim HS, Derval N et al (2015) Substrate mapping and ablation for ventricular tachycardia: the LAVA approach. *J Cardiovasc Electrophysiol* 26(4):464–471. <https://doi.org/10.1111/jce.12565>
156. Arana-Rueda E, Acosta J, Frutos-Lopez M et al (2024) Automated isochronal late activation mapping for substrate characterization in patients with repaired tetralogy of Fallot. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/euae062>
157. Tzou WS, Frankel DS, Hegeman T et al (2015) Core isolation of critical arrhythmia elements for treatment of multiple scar-based ventricular tachycardias. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 8(2):353–361. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.114.002310>
158. Mohanty S, Trivedi C, Di Biase L et al (2022) Endocardial Scar-Homogenization With vs Without Epicardial Ablation in VT Patients With Ischemic Cardiomyopathy. *JACC Clin Electrophysiol* 8(4):453–461. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2021.12.011>
159. Pothineni NVK, Enriquez A, Kumareswaran R et al (2023) Outcomes of a PAINESD score-guided multidisciplinary management approach for patients with ventricular tachycardia storm and advanced heart failure: A pilot study. *Heart Rhythm* 02 20(1):134–139. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2022.08.037>
160. Kautzner J, Haskova J, Stojadinovic P, Peichl P, Wichterle D (2024) Percutaneous mechanical support in catheter ablation of ventricular arrhythmias: hype or hope? *Europace*. <https://doi.org/10.1093/europace/euae186>
161. Scirra CT, Kogan EV, Ip JE et al (2022) Trends and Outcomes of Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia in Patients With Ischemic and Nonischemic Cardiomyopathy. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 15(4):e010742. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.121.010742>
162. Kumar S, Romero J, Mehta NK et al (2016) Long-term outcomes after catheter ablation of ventricular tachycardia in patients with and without structural heart disease. *Heart Rhythm* 02 13(10):1957–1963. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2016.07.001>
163. Schaack D, Chun KRJ, Neven K et al (2026) Ultrasound-guided vs conventional venous puncture for atrial fibrillation ablation: the ULYSSES trial. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes*. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehag291>
164. Wolfes J, Ellermann C, Frommeyer G, Eckardt L (2025) Comparison of the Latest ESC, ACC/AHA/ACCP/HRS, and CCS Guidelines on the Management of Atrial Fibrillation. *JACC Clin Electrophysiol* 11(4):836–849. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2024.12.018>
165. Marcus GM, Tung R, Gerstenfeld EP et al (2025) Left Ventricular Entry to Reduce Brain Lesions During Catheter Ablation: A Randomized Trial. *Circulation* 151(15):1051–1059. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.124.071352>
166. Alnaimi A, Mause SF, Alachkar N et al (2025) Comparison of safety and efficacy in venous access closure using a double purse string suture technique vs. Z-suture technique after MitraClip procedure. *Front Cardiovasc Med* 12:1585522. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1585522>
167. Lakshmanadoss U, Wong WS, Kutinsky I, Khalid MR, Williamson B, Haines DE (2017) Figure-of-eight suture for venous hemostasis in fully anticoagulated patients after atrial fibrillation catheter ablation. *Indian Pacing Electrophysiol J* 17(5):134–139. <https://doi.org/10.1016/j.ipej.2017.02.003>
168. Schulz-Schupke S, Helde S, Gewalt S et al (2014) Comparison of vascular closure devices vs manual compression after femoral artery puncture: the ISAR-CLOSURE randomized clinical trial. *JAMA* 312(19):1981–1987. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.15305>
169. Tabaja C, Hight N, Younis A et al (2025) Vascular access complications after catheter ablation of ventricular arrhythmias: Impact of vascular closure devices. *Heart Rhythm* 02 22(3):685–692. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2024.09.001>
170. Makimoto H, Yamana H, Isogai T et al (2025) Association Between Periprocedural Anticoagulation in Ventricular Tachycardia Ablation and Post-procedural Stroke and Intracranial Hemorrhage. *JACC Asia* 5(4):595–598. <https://doi.org/10.1016/j.jacasi.2025.01.010>
171. Hasegawa K, Yoneda ZT, Powers EM et al (2024) Stroke and Bleeding Risks of Endocardial Ablation for Ventricular Arrhythmias. *JACC Clin Electrophysiol* 10(2):193–202. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2023.10.011>
172. Deshmukh A, Gunda S, Siontis KC et al (2023) Comparison of warfarin with direct oral anticoagulants for thromboembolic prophylaxis after catheter ablation of ventricular tachycardia. *J Cardiovasc Electrophysiol* 34(4):967–972. <https://doi.org/10.1111/jce.15827>
173. Nesti M, Luca F, Duncker D et al (2023) Antiplatelet and Anti-Coagulation Therapy for Left-Sided Catheter Ablations: What Is beyond Atrial Fibrillation? *J Clin Med*. <https://doi.org/10.3390/jcm12196183>
174. Wasmer K, Reinecke H, Heitmann M et al (2020) Clinical, procedural and long-term outcome of ischemic VT ablation in patients with previous anterior versus inferior myocardial infarction. *Clin Res Cardiol* 109(10):1282–1291. <https://doi.org/10.1007/s00392-020-01622-z>
175. Yamashita S, Cochet H, Sacher F et al (2016) Impact of New Technologies and Approaches for Post-Myocardial Infarction Ventricular Tachycardia Ablation During Long-Term Follow-Up. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.116.003901>
176. Latchamsetty R, Yokokawa M, Morady F et al (2015) Multicenter Outcomes for Catheter Ablation of Idiopathic Premature Ventricular Complexes. *JACC Clin Electrophysiol* 1(3):116–123. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2015.04.005>
177. Schwartzman D, Chang I, Michele JJ, Mirotz-nik MS, Foster KR (1999) Electrical impedance properties of normal and chronically infarcted left ventricular myocardium. *J Interv Card Electrophysiol* 3(3):213–224. <https://doi.org/10.1023/a:1009887306055>
178. Barkagan M, Leshem E, Shapira-Daniels A et al (2019) Histopathological Characterization of Radiofrequency Ablation in Ventricular Scar Tissue. *JACC Clin Electrophysiol* 5(8):920–931. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2019.05.011>
179. Kumar S, Barbhuiya CR, Sobieszczyk P et al (2015) Role of alternative interventional procedures when endo- and epicardial catheter ablation attempts for ventricular arrhythmias fail. *Circ Arrhythm*

- Electrophysiol 8(3):606–615. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.114.002522>
180. Shapira-Daniels A, Barkagan M, Rottmann M et al (2019) Modulating the Baseline Impedance: An Adjunctive Technique for Maximizing Radiofrequency Lesion Dimensions in Deep and Intramural Ventricular Substrate: An Adjunctive Technique for Maximizing Radiofrequency Lesion Dimensions in Deep and Intramural Ventricular Substrate. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 12(6):e007336. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.119.007336>
 181. Futyma P, Sultan A, Zarebski L et al (2024) Bipolar radiofrequency ablation of refractory ventricular arrhythmias: results from a multicentre network. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/eurpace/ueae248>
 182. Futyma P, Sauer WH (2023) Bipolar Radiofrequency Catheter Ablation of Left Ventricular Summit Arrhythmias. *Card Electrophysiol Clin* 15(1):57–62. <https://doi.org/10.1016/j.jccp.2022.07.001>
 183. Valderrabano M, Fuentes Rojas SC, Lador A et al (2022) Substrate Ablation by Multivein, Multiballoon Coronary Venous Ethanol for Refractory Ventricular Tachycardia in Structural Heart Disease. *Circulation* 146(22):1644–1656. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.122.060882>
 184. Jathanna N, Shanmuganathan S, Staniforth A, Jamil-Copley S (2023) Hybrid surgical epicardial cryoablation for ventricular tachycardia in the electrophysiology laboratory: a case report. *Eur Heart J Case Rep* 7(5):ytad223. <https://doi.org/10.1093/ehjcr/ytad223>
 185. Sanchez-Somonte P, Verma A, Da Rosa LB et al (2024) Ultra-Low-Temperature Cryoablation for Ventricular Tachycardia: An Early Single-Centre Report of Acute Results. *CJC Open* 6(3):560–568. <https://doi.org/10.1016/j.cjco.2023.11.009>
 186. De Potter T, Balt JC, Boersma L et al (2023) First-in-Human Experience With Ultra-Low Temperature Cryoablation for Monomorphic Ventricular Tachycardia. *JACC Clin Electrophysiol* 9(5):686–691. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2022.11.017>
 187. Chun KJ, Miklavcic D, Vlachos K et al (2024) State-of-the-art pulsed field ablation for cardiac arrhythmias: ongoing evolution and future perspective. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/eurpace/ueae134>
 188. Reddy VY, Gerstenfeld EP, Schmidt B et al (2025) Pulsed Field Ablation of Persistent Atrial Fibrillation With Continuous Electrocardiographic Monitoring Follow-Up: ADVANTAGE AF Phase 2. *Circulation* 152(1):27–40. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.125.074485>
 189. Nies M, Metzner A, Rillig A (2025) Pulsed Field Ablation Using a Lattice-Tip Catheter for Treatment of Ventricular Tachycardias. *Card Electrophysiol Clin* 17(2):227–237. <https://doi.org/10.1016/j.ccep.2025.02.010>
 190. Younis A, Tabaja C, Kleve Ret al (2024) Comparative Efficacy and Safety of Pulsed Field Ablation Versus Radiofrequency Ablation of Idiopathic LV Arrhythmias. *JACC Clin Electrophysiol* 10(9):1998–2009. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2024.04.025>
 191. Kawamura I, Reddy VY, Santos-Gallego CG et al (2023) Electrophysiology, Pathology, and Imaging of Pulsed Field Ablation of Scarred and Healthy Ventricles in Swine. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 16(1):e011369. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.122.011369>
 192. Pannone L, Doundoulakis I, Cespon-Fernandez M et al (2024) A large footprint focal catheter toggling between pulsed field and radiofrequency energy: first clinical experience for ventricular

Catheter ablation of ventricular tachycardia—German Cardiac Society recommendation. From the Committee for Clinical Practice and Guidelines in cooperation with the Working Group on Electrophysiology and Rhythmology

Catheter ablation of ventricular arrhythmia (VA) has become established as a key therapeutic strategy in contemporary rhythm management. This update of the 2021 German Cardiac Society (DGK) recommendations on catheter ablation of VA summarizes the most relevant current recommendations and integrates the latest international guideline statements and available evidence. Catheter ablation of VA in the setting of structural heart disease is a complex intervention and requires an experienced interdisciplinary team as well as structured management pathways for potential complications. In patients with ischemic cardiomyopathy and recurrent persistent monomorphic ventricular tachycardia (VT), primary catheter ablation is superior to antiarrhythmic pharmacotherapy in reducing arrhythmia recurrences and is therefore recommended. For symptomatic idiopathic VT originating from the right ventricular outflow tract as well as in patients with VA associated with impairment of left ventricular ejection fraction or reduction of biventricular pacing percentage, catheter ablation is recommended as first-line treatment irrespective of the symptom status. Centers performing VA ablation in patients with structural heart disease should fulfil specific structural and procedural requirements, including the availability of intensive care monitoring and advanced hemodynamic support, expertise in the management of cardiac implantable electronic devices, a minimum institutional volume of 50 VT ablation procedures per year and standardized protocols for the management of procedural complications. For epicardial VT ablation procedures, the availability of an on-site cardiac surgery department in compliance with international recommendations and with respect to the spectrum of complications is advocated.

Keywords

Ventricular arrhythmia · Position paper · Management of ventricular arrhythmia · Ventricular tachycardia · Ischemic cardiomyopathy · Non-ischemic cardiomyopathy · Catheter ablation

- tachycardia ablation. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/eurpace/ueae193>
193. Peichl P, Bulava A, Wichterle D et al (2024) Efficacy and safety of focal pulsed-field ablation for ventricular arrhythmias: two-centre experience. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/eurpace/ueae192>
194. Younis A, Mdahly M, Hight N et al (2025) Pulsed-Field Ablation With a Pentaspline Catheter for Ventricular Arrhythmias: First US Series. *Heart Rhythm* 02. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2025.06.006>
195. Zeppenfeld K, Rademaker R, Al-Ahmad A et al (2025) Patient selection, ventricular tachycardia substrate delineation, and data transfer for stereotactic arrhythmia radioablation: a clinical consensus statement of the European Heart Rhythm Association of the European Society of Cardiology and the Heart Rhythm Society. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/eurpace/ueae214>
196. Kovacs B, Lehmann HI, Manninger M et al (2024) Stereotactic arrhythmia radioablation and its implications for modern cardiac electrophysiology: results of an EHRA survey. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/eurpace/ueae110>
197. Virk SA, Kumar S (2023) Catheter Ablation of Ventricular Tachycardia in Patients With Structural Heart Disease: A Meta-Analysis. *JACC Clin Electrophysiol* 9(2):255–257. <https://doi.org/10.1016/j.jacep.2022.09.002>
198. Zizek D, Mrak M, Jan M et al (2024) Impact of preventive substrate catheter ablation on implantable cardioverter-defibrillator interventions in patients with ischaemic cardiomyopathy and infarct-related coronary chronic total occlusion. *Europace*. <https://doi.org/10.1093/eurpace/ueae109>
199. Kanagaratnam A, Virk SA, Pham T et al (2022) Catheter Ablation for Ventricular Tachycardia in Ischaemic Versus Non-Ischaemic Cardiomyopathy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Heart Lung Circ* 31(8):1064–1074. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2022.02.014>
200. Sohns C, Fink T, Crijns H et al (2025) Preventive catheter ablation for ventricular arrhythmias in patients with end-stage heart failure referred for heart transplantation evaluation: Rationale for and design of the CASTLE-VT trial. *ESC Heart Fail* 27(4):690–696. <https://doi.org/10.1002/ehf.3512>
201. Deisenhofer I, Albenque JP, Busch S et al (2025) Artificial intelligence for individualized treatment of persistent atrial fibrillation: a randomized controlled trial. *Nat Med* 31(4):1286–1293. <https://doi.org/10.1038/s41591-025-03517-w>
202. Wegner FK, Plagwitz L, Doldi F et al (2022) Machine learning in the detection and management of atrial fibrillation. *Clin Res Cardiol* 111(9):1010–1017. <https://doi.org/10.1007/s00392-022-02012-3>
203. Fox SR, Toomu A, Gu K et al (2024) Impact of artificial intelligence arrhythmia mapping on time to first ablation, procedure duration, and fluoroscopy use. *J Cardiovasc Electrophysiol* 35(5):916–928. <https://doi.org/10.1111/jce.16237>

-
204. Wang X, Dennis A, Hesselkilde EM et al (2025) Machine learning approach for automated localization of ventricular tachycardia ablation targets from substrate maps: development and validation in a porcine model. *Eur Heart J Digit Health* 6(4):645–655. <https://doi.org/10.1093/ehjdh/ztaf064>

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.