

Kardiologie 2021 · 15:207–216  
<https://doi.org/10.1007/s12181-021-00457-w>  
 Angenommen: 28. Januar 2021  
 Online publiziert: 5. März 2021  
 © Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2021



L. Eckardt<sup>1</sup> · P. Sommer<sup>2</sup> · H. Bogossian<sup>3</sup> · C. Butter<sup>4,10</sup> · C. Hansen<sup>5</sup> · D. Steven<sup>6</sup> · R. Tilz<sup>7</sup> · C. Veltmann<sup>8</sup> · D. Böcker<sup>9</sup>

- <sup>1</sup> Klinik für Kardiologie II – Rhythmologie, Universitätsklinikum Münster, Münster, Deutschland  
<sup>2</sup> Klinik für Elektrophysiologie und Rhythmologie, Herz- und Diabeteszentrum NRW, Bad Oeynhausen, Deutschland  
<sup>3</sup> Klinik für Kardiologie und Rhythmologie, Ev. Krankenhaus Hagen, Hagen, Deutschland  
<sup>4</sup> Herzzentrum Brandenburg, Bernau, Deutschland  
<sup>5</sup> Herz- und Gefäßzentrum am Krankenhaus Neu-Bethlehem, Göttingen, Deutschland  
<sup>6</sup> Abteilung für Elektrophysiologie, Herzzentrum der Uniklinik Köln, Köln, Deutschland  
<sup>7</sup> Medizinische Klinik II/Kardiologie, Sektion Elektrophysiologie, Universitätsklinikum Schleswig Holstein, Lübeck, Deutschland  
<sup>8</sup> Rhythmologie und Elektrophysiologie, Klinik für Kardiologie und Angiologie, Medizinische Hochschule Hannover, Hannover, Deutschland  
<sup>9</sup> Klinik für Kardiologie, St. Marien-Hospital Hamm, Hamm, Deutschland  
<sup>10</sup> Kardiologie & Medizinische Hochschule Brandenburg Theodor Fontane, Neuruppin, Deutschland

## Sachkunde ICD-Therapie

Die Sachkunde Implantierbare Cardioverter Defibrillator (ICD)-Therapie definiert aus Sicht der beteiligten Fachgremien die für eine ICD-Therapie erforderlichen theoretischen Kenntnisse (■ Tab. 1), die zusammen mit den praktischen Erfahrungen, die in der klinischen Aus- und Weiterbildung erlangt wurden, die Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige ICD-Therapie darstellen. Bezüglich der antibradykarden Schrittmacherfunktionen und der Resynchronisationstherapie wird auf die jeweiligen Sachkunden verwiesen.

Diese Empfehlungen (vormals Curriculum „Praxis der ICD-Therapie“) wurden erstmalig im Jahr 2008 publiziert. Die überarbeitete Auflage geht auf neue Techniken wie den subkutanen ICD und Veränderungen der Sondenanschlüsse ein. Die veränderten europäischen Leitlinien und neue Studien zur Indikation werden berücksichtigt. Mittlerweile erschienene neue Studien über intraoperative Testungen, Programmierungsempfehlungen zur Vermeidung von Schockabgaben sind ebenso berücksichtigt. In der Nachsorge wird

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

insbesondere auf telemedizinische Abfragen und rechtliche Grundlagen sowie die aktuelle Studienlage hingewiesen.

### 1 Grundlagen

#### 1.1 Plötzlicher Herztod

##### 1.1.1 Definition

- Unterscheidung zwischen plötzlichem Tod und plötzlichem Herztod
- Zeitlicher Ablauf, beobachtet vs. unbeobachtet, unerwarteter Zeitpunkt des Todes

##### 1.1.2 Epidemiologie

- Inzidenz in der Bevölkerung
- Ergebnisse populationsbezogener Studien
  - Unbeobachteter vs. beobachteter Tod, Geschlechts- und Altersverteilung, vorbekannte Risikofaktoren, Reanimationsinzidenz und -erfolg

##### 1.1.3 Zugrunde liegende kardiale Erkrankungen

- KHK
  - Bedeutung des akuten und zurückliegender Myokardinfarkte
  - Inzidenz des plötzlichen Herztodes in Abhängigkeit vom zeitlichen Abstand zum Myokardinfarkt

- Kardiomyopathien etc.
  - DCM, HCM, ARVD, Mitralklappenprolaps-Syndrom, Sarkoidose, Myokarditis, Amyloidose
  - Typische EKG-Befunde sowie Bedeutung der bildgebenden Diagnostik
  - Genetische Grundlagen
- Ionenkanalerkrankungen
  - LQTS, SQTs, Brugada-Syndrom, CPVT, frühe Repolarisation
  - Typische EKG-Befunde
  - Genetische Grundlagen

##### 1.1.4 Indikatoren eines erhöhten Risikos

- Risikostratifikation, LVEF und Ausmaß einer Herzinsuffizienz
- Überlebter plötzlicher Herzstillstand, Synkopen
- Ventrikuläre Tachykardien (u. a. Häufigkeit, Dauer und Ursprung)
- Bedeutung invasiver und nichtinvasiver Diagnostik (MRT, Koronarangiographie, elektrophysiologische Untersuchung, genetische Untersuchung)

##### 1.1.5 Pathomechanismen des plötzlichen Todes

- Inzidenz in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Grunderkrankung
- Rhythmogen (Tachykardien, Bradykardien, Asystolien)

- Andere kardiale Ursachen (Herzinsuffizienz, Klappenfehler etc.)
- Nichtkardiale Ursachen
  - Lungenembolie, intrazerebrale Blutung, Fremdeinwirkung etc.

## 1.2 Pathophysiologie und Therapieprinzipien ventrikulärer Tachyarrhythmien

### 1.2.1 Kammertachykardien (VT), -flimmern (VF)

- Entstehung
  - Mechanismen von VF (u. a. Ischämie; VES als Trigger)
  - Prinzip von Narben-assoziiertem Reentry
- Defibrillation/Kardioversion/Überstimulation
  - Grundlegende Prinzipien
  - Wahrscheinlichkeitsfunktion einer erfolgreichen Defibrillation
  - Abhängigkeit des Erfolgs von der VF-Dauer
  - Definition und Bedeutung von DFT, Beeinflussbarkeit durch Medikamente

### 1.2.2 Andere ventrikuläre Tachyarrhythmien

- Idiopathische Kammertachykardien (EKG, Formen, Pathophysiologie, Diagnostik, Therapie und Prognose)
- Transiente Kammertachykardien (u. a. Proarrhythmie [Torsade de Pointes])

## 1.3 Historische Entwicklung der ICD-Therapie

### 1.3.1 Entwicklung implantierbarer Defibrillatoren

- Miniaturisierung der Aggregate, pectorale Implantation
- Transvenös-subkutane Elektroden und biphasische Defibrillation
- Vollständig subkutaner Defibrillator (S-ICD)

### 1.4 Standardmodell eines transvenösen(tv)-ICD

- Aggregat
  - Batterie, Kondensatoren, Mikroprozessor, „active-can“, Anschlusskopf

- Sonde
  - Stecker, Schockpol, Sense-Pace-Elektrode, Verankerung, Isolation

## 1.5 Funktionsprinzip eines tv-ICD

### 1.5.1 Therapeutische Möglichkeiten

- Defibrillation (Energie und Anzahl der Schocks, Impulsformen, mögliche Schockwege, Gefahr eines myokardialen Schadens durch Defibrillation)
- Kardioversion
  - Alternative zur externen Kardioversion bei Vorhoffarrhythmien
- Effektivität und Schmerzempfinden für Schocks mit niedriger Energie
- Antitachykarde Stimulation (Prinzip, Möglichkeiten [„burst“, „ramp“, „scan“], Effektivität)

### 1.5.2 Detektionsprinzipien

- Frequenzkriterium
- Dauer
- Zusatzkriterien (Sensitivität vs. Spezifität)

### 1.5.3 Basisalgorithmus

- Aufteilung in Frequenzzonen mit der Möglichkeit für verschiedene Zusatzkriterien und Therapiemöglichkeiten

## 1.6 Funktionsprinzip eines subkutanen ICD

- Entwicklung, Prinzip, Anschluss
- Indikationen (Leitlinien, Studien)
- Vergleich zu tv-ICD

## 1.7 Effektivität und Komplikationen der ICD-Therapie

### 1.7.1 Effektivität der ICD-Therapie

- Effektivität in der Terminierung von VT/VF durch Schock bzw. antitachykarde Stimulation
- Gefährdung der Effektivität durch VT unterhalb der programmierten Detektionsfrequenz und unaufhörliche VT
- Vergleich S-ICD vs. tv-ICD
- Bedeutung der zusätzlichen med. antiarrhythmischen Therapie und Konsequenzen in der Programmierung

### 1.7.2 Komplikationen der ICD-Therapie

- Art und Häufigkeit und Vermeiden von Komplikationen
- Inadäquate Therapie als häufigste Komplikation
- Vergleich S-ICD vs. tv-ICD
- Psychosoziale Auswirkungen von ICD-Therapien

### 1.7.3 Perioperative Letalität und Morbidität

- Letalität durch ICD-Implantation und mögliche Ursachen

## 1.8 Alternative Therapien zur ICD-Versorgung

### 1.8.1 Medikamentöse Therapie

- Bedeutung einer optimierten medikamentösen Herzinsuffizienztherapie
- Bedeutung von Antiarrhythmika
- Bedeutung einer interventionellen Herzinsuffizienztherapie ergänzend zur medikamentösen Therapie

### 1.8.2 Katheterablation von Kammertachykardien

- Grundprinzip der Durchführung (Indikationen und Komplikationen)
- Erfolgsaussichten (ICM vs. NICM)

## 1.9 Leitlinien und gesetzliche Bestimmungen

### 1.9.1 Übersicht der Leitlinien zur ICD-Therapie

### 1.9.2 Übersicht der gesetzlichen Vorschriften und anderer Bestimmungen

- Medizinproduktegesetz (MPG)
- Medizinprodukte-Betreiberverordnung (MPBetreibV)
- Röntgenverordnung (RöV)
- Richtlinien für Krankenhaushygiene und Infektionsprophylaxe
- Sachkunde
- Fahreignung beruflich/privat

## 2 Indikationen zur ICD-Therapie

### 2.1 Identifikation von Risikopatienten anhand der Leitlinien

- Lebensbedrohliche Rhythmusereignisse (Sekundärprävention)
  - VF/VT; erhaltene vs. reduzierte LV-Funktion
- Arrhythmie-bedingte bedrohliche klinische Ereignisse (Sekundärprävention)
  - Synkopen
- Indikatoren der Gefahr für einen plötzlichen Herztod (Primärprävention)

### 2.2 Indikationsstellung zur ICD-Implantation

- Facharzt für Kardiologie
- Prüfung medizinischer Voraussetzungen und Aufklärung über Vor- und Nachteile der ICD-Therapie
- Beachtung möglicher alternativer Therapieverfahren, insbesondere Katheterablation

### 2.3 Beachtung möglicher Einschränkungen zur ICD-Implantation

#### 2.2.1 Kontraindikationen

- U. a. geringe Lebenserwartung, NYHA-IV-Herzinsuffizienz ohne Option zur Herztransplantation oder mechanischem Unterstützungssystem; Infekt (Sepsis), evtl. dialysepflichtige Niereninsuffizienz und/oder andere schwerwiegende Begleiterkrankungen

#### 2.2.2 Fehlende Indikation

- Z. B. VT/VF im akuten Myokardinfarkt (<48 h), Primärprävention innerhalb von 6 Wochen nach akutem Herzinfarkt, Primärprävention ohne optimierte HI-Therapie, Synkope ohne strukturelle oder primär elektrische Herzerkrankung, nicht anhaltende VT, idiopathische VT, VF/Reanimation bei WPW-Syndrom, ggf. WCD als „bridge to decision“ [1]

Kardiologie 2021 · 15:207–216 <https://doi.org/10.1007/s12181-021-00457-w>  
 © Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2021

L. Eckardt · P. Sommer · H. Bogossian · C. Butter · C. Hansen · D. Steven · R. Tilz · C. Veltmann · D. Böcker

### Sachkunde ICD-Therapie

#### Zusammenfassung

Der Einsatz aktiver Implantate ist in Deutschland vom Gesetzgeber im Medizinproduktegesetz sowie den zugehörigen Verordnungen geregelt. Über die Medizinprodukte-Betreiberverordnung dürfen Medizinprodukte nur von Personen betrieben oder angewendet werden, die eine dafür erforderliche Ausbildung und Erfahrung besitzen. Dies bedeutet, dass Ärzte, die eine Therapie mit implantierbaren Defibrillatoren (ICD) anwenden, neben fundierten Kenntnissen in der Rhythmologie auch grundlegende technische Kenntnisse erwerben müssen. Die vorliegende „Sachkunde der ICD-Therapie“ fasst die Inhalte für den Erwerb der erforderlichen Sachkunde und die vermittelten theoretischen Kenntnisse zusammen. Die Sachkunde behandelt neue Techniken wie den vollständig subkutanen ICD und

Veränderungen der Sonden Anschlüsse sowie die aktuellen europäischen Leitlinien, neue Studien zur Indikation und Studien über intraoperative Testungen und Programmierungsempfehlungen. In der Nachsorge wird insbesondere auf telemedizinische Abfragen und rechtliche Grundlagen sowie die aktuelle Studienlage hingewiesen. Gemeinsam mit den praktischen Erfahrungen, die in der klinischen Aus- und Weiterbildung erlangt werden, stellen die dargestellten Inhalte die Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige ICD-Therapie dar.

#### Schlüsselwörter

ICD-Therapie · Plötzlicher Herztod · ICD-Implantation · ICD-Programmierung · ICD-Fehlfunktionen

### Expertise in ICD therapy

#### Abstract

The use of active implants is regulated in Germany by law and the associated ordinances. Medical devices may only be operated or used by people who have the necessary training and experience. This means that physicians who use implantable cardioverter defibrillator (ICD) treatment need to acquire basic technical knowledge in addition to in-depth knowledge of rhythmology. This “expertise in ICD treatment” summarizes the contents for acquiring the necessary expertise and the theoretical knowledge imparted. The expertise covers new techniques, such as the subcutaneous ICD as well as the current guidelines, new studies on the indications

and studies on intraoperative testing and programming recommendations. In the follow-up care, particular attention is paid to telemedical aspects and the legal basis as well as the current study situation. Together with the practical experience gained in clinical training and further education, the contents presented are the prerequisite for high-quality ICD treatment.

#### Keywords

ICD treatment · Sudden cardiac death · ICD implantation · ICD programming · ICD malfunction

#### 2.2.3 Bedeutung vermeidbarer oder passagerer Ursachen von VT/VF

- Z. B. akute Ischämie, Trauma, Stromunfall, erworbenes QT-Syndrom mit z. B. medikamentös ausgelösten Torsade-de-pointes-Tachykardien, Takotsubo-Kardiomyopathie
- Z. B. Elektrolythaushalt, metabolische Entgleisung, Hyperthyreose, ggf. WCD als „bridge to decision“ [1]

#### 2.2.4 Umgang mit ICD-Patienten am Lebensende oder bei schweren Begleiterkrankungen

- Möglichkeit der Inaktivierung von ICD-Therapien am Lebensende sowie auf Patientenwunsch

Tab. 1 Zeitrahmen der Themenblöcke

		UE
1	Grundlagen	2
2	Indikationen zur ICD-Therapie	2
3	ICD- und Sondenmodelle	1
4	Implantation	2
5	Programmierung	2
6	Nachsorgeuntersuchungen	2
7	Intervention bei häufigen ICD-Therapien	1
8	Fehlfunktionen, Aggregataustausch, Revisionseingriff	2
9	Erfolgskontrolle	1

## 2.3 Diagnostik und Evaluation der Arrhythmien

### 2.3.1 Anamnese, Fremdanamnese

### 2.3.2 Arrhythmiedokumentation (12-Kanal-EKG, Monitorstreifen)

### 2.3.3 Begleitende Umstände zum Zeitpunkt der Indexarrhythmie

- Medikation (z. B. proarrhythmische Medikation)
- Ischämiezeichen (Klinik, EKG, Labormarker)
- Elektrolyte (z. B. Kalium, Magnesium)

### 2.3.4 Typische Zeichen der Arrhythmie-bedingten Synkope

- Umstände, Beginn, Dauer, Erholung

### 2.3.5 Bedeutung weiterführender Untersuchungen

- Echokardiographie, Koronarangiographie, MRT, elektrophysiologische Untersuchung etc.

## 2.4 Wertigkeit von Parametern der Risikostratifikation

### 2.4.1 Familienanamnese

- Verdacht auf genetisch determinierte Erkrankungen

### 2.4.2 LVEF und Stadien der Herzinsuffizienz (NYHA)

### 2.4.3 Arrhythmiedokumentation

- VES, nicht anhaltende/anhaltende VT, VF

### 2.4.4 Spezifische EKG-Befunde

Z. B. bei ARVD, Brugada-Syndrom, LQTS und anderen seltenen Kardiomyopathien

## 2.5 ICD-Indikationen in der Sekundär- und Primärprävention entsprechend den Leitlinien

### 2.5.1 Bedeutung der Indexarrhythmie

### 2.5.2 Bedeutung der Grundkrankheit zur Indikationsstellung

- Kardiomyopathie (KHK, DCM, HCM, ARVD), angeborene und erworbene Herz(klappen)fehler, Ionenkanalerkrankungen, andere seltene Erkrankungen (z. B. Sarkoidose, Mitralklappenprolaps-Syndrom, Amyloidose)

### 2.5.3 Kenntnisse der Studien zur Sekundär- und Primärprävention

- Beurteilung im Kontext aktueller Daten

## 3 ICD- und Sondenmodelle

### 3.1 1-Kammer-ICD

#### 3.1.1 Bestandteile des Aggregats

- Aufbau, Batterie, Lebensdauer

#### 3.1.2 Erkennungszonen

- VF-Zone, VT-Zone(n), Bradykardiezone

#### 3.1.3 Diagnostische Funktionen

- Anzeige des Batteriestatus und der Funktionsparameter: Wahrnehmung,

Impedanz, Ladezeiten, Programmierung

- Episodenzähler: Angaben zu abgegebenen/erfolgreichen Therapien
- Elektrogrammspeicher: Markersignale, Nahfeld- vs. Fernfeldsignal des Ventrikels
- Programmierte Stimulation über den ICD

### 3.1.4 Therapeutische Funktionen

- Therapeutische Prinzipien: antitachykarde Stimulation, Kardioversion, Defibrillation
- Therapiezone: VT-Zonen, Defibrillationszone
- Defibrillationstherapie
  - Benötigte Spannungen und Energien
  - Kondensatorentladung und resultierende Schockformen, monophasisch, biphasisch
  - Programmierbarkeit in der VF-Zone
- Antitachykarde Stimulation, Kardioversion
  - Einzelstimulus, „burst-“, „scan-“, „ramp“-Stimulation
  - Programmierbarkeit in den VT-Zone(n) 1, 2- vs. 3-Zonen-Programmierung
  - Therapieinhibierung und zeitliche Begrenzung
- Redetektion

### 3.1.5 Besondere ICD-Funktionen

- Telemedizinisches Monitoring
- Magnetmodus
- Warntöne
- Möglichkeiten zur Induktion von VF

## 3.2 2-Kammer-ICD

### 3.2.1 Unterschiede in der Indikation zum 1-Kammer-System

- Aus bradykarder Indikation
- Zur Vermeidung von inadäquaten Therapien

### 3.2.2 Zusätzliche Hardware

- Anschlusskopf zur Aufnahme einer atrialen Elektrode

### 3.2.3 Besonderheiten von „Single-lead-VDD-ICD-Systemen“

### 3.2.4 Vor- und Nachteile von 2-Kammer-Systemen

## 3.3 3-Kammer-ICD

### 3.3.1 Unterschiede in der Indikation gegenüber dem 1- bzw. 2-/3-Kammer-System

- Indikation zur Resynchronisation (CRT)

### 3.3.2 Zusätzliche Hardware

- Anschlusskopf zur Aufnahme einer LV-Elektrode

### 3.3.3 Spezifische diagnostische Möglichkeiten biventrikulärer Systeme

- Z. B. Aktivitätsmarker, Bestimmung des Lungenwassers, Herzfrequenzvariabilität

### 3.3.4 Vor- und Nachteile von 3-Kammer-Systemen

## 3.4 Subkutaner ICD (S-ICD)

### 3.4.1 Bestandteile des Aggregats

- Unterschiede zum 1-Kammer-ICD

### 3.4.2 Erkennung

- Erkennungsmöglichkeiten bei Verzicht auf endokardiale Signale
- Detektionsalgorithmen zur Vermeidung von Oversensing

### 3.4.3 Therapie

- Therapiemöglichkeiten des S-ICD

### 3.4.4 Vor- und Nachteile gegenüber tv-ICD

## 3.5 ICD-Sonden

### 3.5.1 Aufbau der Pace/Sense/Defibrillationselektrode

- Steckerverbindungen an das Aggregat (IS-1, DF-1, DF-4)
- Aufbau des Elektrodenkörpers und der Elektrodenspitze
- Besonderheiten des Elektrodendesigns des S-ICD

### 3.5.2 Zusätzliche Pace/Sense-Elektroden

- Atriale Elektrode, Koronarsinuselektrode, epimyokardiale Elektrode

### 3.5.3 Zusätzliche Elektroden zur Defibrillation

- Vor- und Nachteile der verschiedenen zusätzlichen Elektroden

### 3.5.4 Mögliche Konfigurationen zur internen Defibrillation

- Transvenöse Konfigurationen mit aktivem Gehäuse
- Unterschiedliche Schockeffektivität bei verschiedenen Positionen des Aggregats
- Transvenöse Konfigurationen ohne aktives Gehäuse
- Transvenös-subkutane Konfigurationen
- Subkutane Konfigurationen (S-ICD)

## 4 Implantation

### 4.1 Vorbereitung der Operation

#### 4.1.1 Aufklärung und Einverständniserklärung des Patienten

- Aushändigung eines Patientenhandbuchs
- Inhalt und Zeitpunkt der Aufklärung über den eigentlichen Eingriff
- Aufklärung über „Leben mit dem ICD“, z. B. Schmerzen bei Schocks, mögliche Synkopen und Auswirkungen auf Fahrerlaubnis, Sexualleben, Schwangerschaft, Sport, notwendige Kontrollen, „End-of-Life“-Optionen, mögliche Interferenzen, z. B. MRT
- Aufklärung über mit dem ICD nicht vereinbaren Tätigkeiten, z. B. Lichtbogenschweißen, Tauchen
- Aufklärung über die Möglichkeit telemedizinischer Abfragen

#### 4.1.2 Vorbereitende Untersuchungen

- Wahl der Implantationslokalisierung
  - Ggf. Ultraschalluntersuchung des geplanten venösen Zugangs, Armphlebographie
  - Inspektion und Rasur der Haut im Operationsbereich
- Klinisch-chemische Laborwerte

- Evtl. Röntgen Thorax, Echokardiographie
- Antikoagulationsmanagement

### 4.1.3 Vorbereitung im Operationssaal

- Testung aller Geräte auf Funktionsfähigkeit
- Lagerung des Patienten
- Oberflächen-EKG
- Transkutane Messung der O<sub>2</sub>-Sättigung
- Hämodynamisches Monitoring
- Durchleuchtungseinheit
- Perkutane Stimulationseinheit/externer Defibrillator
- Aufbau des Instrumententisches, Operationsinstrumente
- Kabel für externen Schrittmacher und intrakardiale Ableitung
- Entfettung und Desinfektion der Haut, steriles Abdecken
- Anästhesie: Intubationsnarkose vs. Analgosedierung [2]
- Maßnahmen zur Vermeidung perioperativer Infektionen, u. a. Antibiotikatherapie

### 4.2 Implantation des ICD mit transvenösen Elektroden

#### 4.2.1 Lokalanästhesie

#### 4.2.2 Maßnahmen zur Vermeidung/Reduktion von Röntgenstrahlen

#### 4.2.3 Hautschnitt und Blutstillung

#### 4.2.4 Implantation von transvenösen Sonden

- Punktionstechniken
- V. cephalica (präferiert, Präparation des OP-Bereichs, Gefäßeröffnung, Einführen der Sonde)
- V. subclavia/axillaris (Präparation des OP-Bereichs, Gefäßeröffnung, Einführen der Sonde)
- Selten verwendete venöse Zugänge

#### 4.2.5 Implantation von Sonde bei subkutanen ICD-Systemen(n)

- Platzierung der Kammersonde
  - Verschiedene Techniken der Platzierung

- Messungen, Messwertgrenzen, Signalleitung, Verletzungspotenzial
- Platzierung der Vorhofsonde
  - Verschiedene Techniken der Platzierung
  - Messungen, Messwertgrenzen, Signalleitung, Verletzungspotenzial

#### 4.2.6 Fixierung der Sonden

- Platzierung des „sleeves“, Nahttechnik und -material

#### 4.2.7 Präparation der Aggregattasche

- Subkutan, subfaszial, submuskulär

#### 4.2.8 Aggregatimplantation

- Sondenkonnexion
- Platzierung und Fixierung des Aggregats in der Tasche

#### 4.2.9 Intraoperative Funktions- testung

- Messung der Schrittmacherparameter und Kenntnis der erforderlichen Werte
- Evtl. Testung der Defibrillationsreizschwelle
- Variationsmöglichkeiten bei unzureichender DFT

#### 4.2.10 Wundverschluss

- Muskulär/subkutan
- Kutan
- Verband

#### 4.3. Besonderheiten bei der Implantation von S-ICD

- Einzeichnen der anatomischen Landmarks und angestrebte Position von Aggregat und Elektrode prä-OP unter radiologischer Kontrolle
- Präparation der Tasche
- Implantation der Sonde
- Intraoperative Messungen und Testung

#### 4.4 Spezielle Implantations- bedingungen

##### 4.4.1 Patienten mit kongenitaler Herzkrankung

##### 4.4.2 Kinder

##### 4.4.3 Schrittmacherträger

- Interferenzen
- Versorgung der „alten“ Schrittmachersonden

##### 4.4.4 Nach Systemexplantation

#### 4.5 Nachsorge nach Operation

##### 4.5.1 Postoperative Kontrollen

- Thoraxröntgenaufnahme
- Testung der Schrittmacherfunktionen
- Ausstellung eines ICD-Ausweises
- Verhaltensmaßregeln bis zur Wundheilung
- Empfehlungen zur Fahreignung

#### 4.6 Perioperative Komplikationen

##### 4.6.1 Lokale Komplikationen im Bereich der Aggregattasche

- Taschenhämatom
- Stimulation der Skelettmuskulatur
- Wunddehiszenz

##### 4.6.2 Komplikationen bei Sondenplatzierung/-lage

- Arterielle Fehlfunktion
- Zwerchfellstimulation
- Perforationen
  - Myokard mit evtl. Perikardtamponade
  - Koronarsinus mit evtl. Perikardtamponade
  - V. cava superior mit ggf. mediastinaler Blutung
- Pneumothorax, Hämatothorax
- Luftembolie
- Thoraxwandstimulation
  - Fehlplatzierungen (Koronarsinus, linksatrial, linksventrikulär)
- Frühdislokation
- „subclavian crush“ (chronisch)

### 5 Programmierung

#### 5.1 Voraussetzungen und Ziele

##### 5.1.1 Primäres Ziel

- Vermeidung des plötzlichen Herztodes durch VT/VF
- Studienlage zu Therapieabgaben und Letalität

##### 5.1.2 Sekundäre Ziele

- Vermeidung von Synkopen
- Ersatz von adäquaten Schocks durch antitachykarde Stimulation
- Vermeidung von nicht therapierten oder nicht erfolgreich therapierten VT/VF
- Vermeidung von inadäquaten Therapien, insbesondere Schockabgaben
- Vermeidung von unnötigen Therapien

#### 5.2 Interventionsfrequenz

##### 5.2.1 Einzonen- oder Mehrzonensystem

##### 5.2.2 Programmierung eines Einzonengerätes

- Detektionsdauer bzw. Anzahl der bis zur Tachykardieerkennung benötigten schnellen Intervalle in der „VF-Zone“
- Bestätigung der Tachykardiepersistenz vor Schockabgabe („non-committed shock“)

##### 5.2.3 Programmierung eines Mehrzonengerätes

- Detektionsdauer bzw. Anzahl der bis zur Tachykardieerkennung benötigten schnellen Intervalle in der „VT-Zone“
- Programmierung mehrerer „VT-Zonen“

### 5.3. Bedeutung von Frequenz und Zeit zur Vermeidung nicht benötigter Therapieabgaben

### 5.4. Bedeutung von Zusatzkriterien der Detektion

- Funktionsweise und Programmierung, Vor- und Nachteile

### 5.5 Detektionsalgorithmen von 2-Kammer-ICD

#### 5.5.1 Allgemeines zu 2-Kammer-Detektionsalgorithmen

- Verwendung des Vorhofsignals im Vergleich zum Ventrikelsignal
  - Zykluslänge im Vorhof im Vergleich zum Ventrikel
  - AV-Assoziation
  - Relation zwischen Anzahl der Vorhof- und Ventrikelsignale
  - „Onset“ zuerst im Vorhof oder im Ventrikel
- Möglichkeiten der Verwendung des Vorhofsignals im Algorithmus
  - Keine Überprüfung der Stabilität bei höherer Kammer- als Vorhoffrequenz
- Abhängigkeit der Detektionsalgorithmen in 2-Kammer-ICDs von der atrialen Elektrodenfunktion
  - „Farfield“-R-Wellen-Oversensing
  - P-Wellen-Undersensing
  - Firmenspezifische Detektionsalgorithmen

### 5.6 Darstellung von Vorschlägen für eine standardisierte Programmierung von ICDs

### 5.7 VT unterhalb der Detektionsgrenze

- Häufigkeit, Prädiktoren, Risiken und Konsequenzen, Therapieoptionen

## 5.8 ICD-Therapien

### 5.8.1 Defibrillation und Kardioversion

- Defibrillation
  - Gefahr der Erhöhung der DFT durch Änderung der antiarrhythmischen Medikation
- Kardioversion
  - Häufigkeit der Akzeleration
  - Programmierung der Kardioversionsenergien

### 5.8.2 Antitachykarde Überstimulation

- Funktionsweise, Formen und Effektivität der antitachykarden Überstimulation

## 5.9 Programmierung der Schrittmacherfunktion bei ICD

### 5.9.1 Nachteile einer häufigen rechtsventrikulären Schrittmacherstimulation

- Optionen zur Minimierung der RV-Stimulation

### 5.9.2 Programmierung der antibradykarden Stimulation nach Schockabgabe

## 6 Nachsorgeuntersuchungen

### 6.1 Indikationen zur Nachsorge

#### 6.1.1 Sofortige Vorstellung

- Anhaltende VT/VF, elektrischer Sturm
- Repetitive zeitlich gehäufte Schockinterventionen (z. B. innerhalb von 48 h)

#### 6.1.2 Dringliche Vorstellung

- Neu aufgetretene oder Verschlechterung einer vorbestehenden Herzinsuffizienz
- Wiederholte Schockinterventionen in kürzerem Zeitraum (Tage bis Wochen)
- Erster Schock
- Synkope unklarer Genese
- Verdacht auf Infektion des Defibrillatorsystems und/oder Auffälligkeit
- Neu aufgetretene Rhythmusstörungen (z. B. Vorhofflimmern/-flattern)

- Zunehmende psychische Belastung
- Änderungen der antiarrhythmischen Medikation

### 6.1.3 Routinemäßige Nachsorge

- Entlassungsuntersuchung
- Zeitintervalle für geplante Nachsorgen
- Ggf. kürzere Intervalle bei z. B. drohender Batterieerschöpfung, häufigen Arrhythmieepisoden, Verdacht auf Fehlfunktionen

### 6.1.4 Telemedizinische Überwachung

- Bedeutung der telemedizinischen Nachsorge
- Organisation eines telemedizinischen Zentrums

## 6.2 Ablauf der Nachsorgeuntersuchungen

### 6.2.1 Organisation einer Defibrillatorambulanz

- Personelle Erfordernisse
  - Geschulte Ärzte mit klinischer Erfahrung im Umgang mit ICD-Patienten
  - Regelmäßige Wiederholungen von Schulungen
  - Eingehende Kenntnisse in der Indikationsstellung, Implantationstechnik und alternativer antiarrhythmischer Therapieverfahren
- Apparative Ausrüstung
  - Programmiergeräte
  - Handbücher oder elektronische Dokumentation der einzelnen Programmiergeräte, der jeweiligen Software und ICD-Modelle
  - EKG-Gerät
  - Notfallsausrüstung einschließlich externen Defibrillators und i.v.-Antiarrhythmika
- Dokumentation der Untersuchungen
- Gewährleistung der Nachverfolgung von Implantaten

### 6.2.2 Strukturierte Nachsorge

- Therapiezentrierte Anamnese und kardiopulmonale Untersuchung
- Medikamenteneinnahme (insbesondere Antiarrhythmika und Herzinsuffizienzmedikation)
- Psychisches Befinden

- Fahreignung
- Inspektion der Defibrillatortasche
- EKG
- Technische Funktionskontrolle
- Telemetrische Abfrage
- Bewertung der Messwerte und gespeicherten Episoden

### 6.2.3 Kontrollen

Mindestanforderungen an eine reguläre Kontrolle

- Dokumentation des Ausgangs-EKG
- Telemetrische Messungen
  - Batteriestatus, Ladezeit, Elektrodenimpedanz
  - Stimulations- und Wahrnehmungsschwelle
  - Markerkanal, intrakardiales Elektrogramm
- Abfrage der programmierten und gespeicherten Daten
  - Ereigniszähler („Counter“, Therapiezähler, Statistiken)
  - Herzfrequenzprofil, Frequenzhistogramm, RR-Intervalle
  - Gespeicherte Elektrogramme
  - Anzahl spontaner anhaltender und/oder nicht anhaltender Tachykardien
  - Bradykarde Funktionsparameter (effektive Stimulation und Wahrnehmung)
  - Tachykardiedetektion (adäquate Erkennung der Tachykardie, ggf. Vorhofflimmern und atrialen „high rate episodes“, VES Last)
  - Effektive Terminierung (antitachykarde Stimulation, Schocktherapien)

### 6.2.4 Zusätzliche optionale Messungen bei erweiterter Kontrolle

- T-Wellen-Sensing, „cross-talk“
- „Undersensing“, „Oversensing“-Test
  - Arm-/Schulterbewegungen, Bauchpresse, Inspiration
- Überprüfung von zusätzlichen programmierten Detektionskriterien
- Nichtinvasive Induktion von Tachykardien zur Verifizierung der adäquaten Diskriminierung, Detektion und Terminierung von Tachykardie

### 6.2.5 Optionale Diagnostik

- Laboruntersuchungen, z. B. CRP, Leukozyten, BNP, Kalium
- Langzeit-EKG
- Echokardiographie
- Thoraxröntgenaufnahme bzw. Durchleuchtung (z. B. bei V. a. S-ICD Aggregatverlagerung)
- Ergometrie (z. B. bei S-ICD [Diskriminierung P-R-T unter Tachykardie])

## 6.3 Interpretation von EGMs zur Analyse der durch den ICD registrierten Ereignisse

- Diskriminierung zwischen adäquater und inadäquater Therapie
- Auslösemechanismus von Arrhythmien
- Beurteilung der Therapieeffektivität
- Trouble-Shooting (Elektrodenprobleme etc.)

## 6.4 Anpassung der Programmierung

### 6.4.1 Klinisch adäquate Therapien

- Rezidivierende, hämodynamisch tolerierte VT
- Häufung (Cluster) von VT/VF
- Unaufhörliche („incessant“) VT

### 6.4.2 Klinisch inadäquate Therapien

- Supraventrikuläre Tachykardien
- Oversensing von internen Signalen
  - T-Wellen- oder P-Wellen-Oversensing
  - Elektroden- oder Adapterbruch
  - Elektroden- oder Adapterisoliationsdefekt
  - Lockere Schrauben am Gehäuse
  - Sensing von Schrittmacherstimuli
  - Automatische „gain-control-oversensing“
- Oversensing von externen Signalen
  - Elektrokauter
  - Elektromagnetische Interferenzen (z. B. Handy, Mikrowelle)

### 6.4.3 Fehlererkennung von spontanen VT

- Z. B. Undersensing von VT/VF, VT unterhalb der Detektionsfrequenz, nicht anhaltende VT

### 6.4.4 Ineffektivität der abgegebenen Therapie

- Auswahl der Burst/Ramp-Sequenzen
- Akzeleration der Tachykardie
- Programmiertes „time-out“
- Intensität des programmierten Schocks
- Veränderte Defibrillationsschwelle (z. B. Antiarrhythmika)
- Elektrodendislokation

## 7 Analyse und mögliche Interventionen von ICD-Therapien

### 7.1 Differenzierung zwischen adäquaten und inadäquaten Therapien

#### 7.1.1 Nach Symptomatik und Situation

#### 7.1.2 Nach Elektrogrammen

Morphologie, Stabilität, plötzlicher Beginn, Verhältnis von Vorhof-zu-Ventrikel-Signalen

#### 7.1.3 Nach Therapieeffekt

Terminierung, ATP-Return-Cycle

### 7.2 Intervention bei inadäquaten Therapien

#### 7.2.1 Spezifizierung des zugrunde liegenden Problems

- SVT (Sinustachykardie, Vorhofflimmern/-flattern, seltene SVT [AVNRT etc.]
- Oversensing

#### 7.2.2 Therapieoptionen

- Anpassung von Zusatzkriterien
- Katheterablation
- Medikamentöse Therapie
- Elektrodenrevision bei Oversensing
- Aufrüstung auf ein 2-Kammer-Gerät und/oder 3-Kammer-Gerät



## 7.3 Intervention bei adäquaten Therapien

### 7.3.1 Unterschiedliche Bedeutung von VT/VF

(Frequenz, Häufigkeit, Grunderkrankung)

### 7.3.2 Arrhythmie-begünstigende Faktoren (u. a. Hypokaliämie, Fieber, Ischämie, Medikamente)

### 7.3.3 Therapie

- Anxiolytika/Sedierung
- Antiarrhythmika bei häufigen VT
- Ablationsbehandlung bei VT und/oder VES-induziertem VF

## 7.4 Psychosoziale Auswirkungen

## 8 Fehlfunktionen, Aggregat-austausch, Revisionseingriff

### 8.1 Fehlfunktionen

#### 8.1.1 Definition

#### 8.1.2 Elektrodendysfunktion

- Elektrodendislokation, -perforation
- Elektrodenfehlage
- Beschädigung der Elektrode
  - Elektrodenbruch
  - Elektrodenisoliationsdefekt
- Konnektorprobleme
  - Fehlerhafte Konnektion am Aggregat
  - Konnektorisoliationsdefekt
- Anstieg der Stimulationsreizschwelle
- Anstieg der Defibrillationsreizschwelle
  - Sensing-Probleme (Oversensing, Undersensing, Cross-Talk)
- Zwerchfellstimulation und Muskelzucken
- Parameter zur Erkennung von Elektrodendysfunktionen

#### 8.1.3 Interferenzen mit externen Quellen

- Technische Grundlagen
- Externe Störquellen
- Mögliche Formen der Interferenz
  - Gerätetechnische Konsequenzen
  - Klinische Konsequenzen

- Sicherheitsvorkehrungen
  - Geräteseitige Sicherheitsschaltungen
  - Feldstärkemessungen
  - Verhaltensregeln
  - Postexpositionelle Kontrollen (u. a. MRT, Strahlentherapie)

#### 8.1.4 Dysfunktion des Aggregates

- Physikalische Beschädigung
- Vorzeitige Batterieerschöpfung
  - „Elective replacement indicator“ (ERI)/„end of life“ (EOL)
- Verlängerte Ladezeiten des Kondensators, Fehlfunktion des Pulsgenerators
  - Störungen der Hardware/Software
- Aggregatbedingte lokale Störungen
  - Aggregatdislokation, -perforation

## 8.2 Infektion des ICD-Systems

### 8.2.1 Klinik

- Zeichen der Infektion der Aggregat-tasche und der Elektrode(n)

### 8.2.2 Diagnostik

- Abstrich der Tasche, Blutkulturen, TEE, PET-CT

### 8.2.3 Therapie

- Indikation zur Explantation
- Adjuvante Antibiotikatherapie
- Re-Implantation
- Bedeutung der tragbaren Defibrillatorweste vor Re-Implantation [2]

## 8.3 Aggregataustausch

### 8.3.1 Indikationen

- Austauschkriterien
- Überprüfen eines Fortbestehens der ICD-Indikation (z. B. Erholung LVEF, geänderte Datenlage)

### 8.3.2 Mögliche Erfordernis von Adaptern

- Kenntnis der Stecker der implantierten Elektroden

### 8.3.3 Mögliche Systemaufrüstung

- Aufrüstung zum 2-Kammer-System
- Aufrüstung zum biventrikulären System
- Aufrüstung mit His-Stimulation

### 8.3.4 Mögliche Elektrodenrevision

- Präoperative Elektrodentests
- Kenntnisse über die Langzeitstabilität des implantierten Elektrodenmodells
- Kenntnisse über die möglichen Zugänge

### 8.3.5 Durchführung des Aggregatwechsels

- Narkoseformen
- Antikoagulation
- Antibiotikaphylaxe
- Sorgfältige Inspektion der Elektroden und der Tasche
- Geräteauswahl
- Präparation/Modifikation der Aggregattasche
- Ggf. intraoperative Testung
- Kontrolle von Operationswunde, Geräteparameter und Medikation vor Entlassung

### 8.3.6 Komplikationen

- Klinik, Diagnostik, Therapie

## 8.4 Revisionseingriff

### 8.4.1 Indikationen

- Dysfunktion von Sonde und/oder Aggregat
- Konnektorprobleme
- Erhöhte DFT
  - Lokale Störungen (z. B. Aggregatdislokation, Aggregatperforation, hypermobiles Aggregat)
  - Elektrodenperforation
- Infektion
- Aggregatverlagerung

### 8.4.2 Präoperative Diagnostik

- Beurteilung des Lokalbefundes
- Ggf. vorab Phlebographie
- Labordiagnostik
- Bildgebung
- ICD-Funktionsdiagnostik

### 8.4.3 Begleittherapie

- Antikoagulation
- Antibiotische Therapie

### 8.4.4 Intraoperative Überprüfung

- Inspektion aller sichtbaren Systemanteile

Abkürzungen	
ARVD	Arrhythmogene rechtsventrikuläre Dysplasie
ATP	Antitachykarde Stimulation
AVNRT	Atrioventrikuläre Reentry-Tachykardie
BNP	Brain natriuretic peptide
CRP	C-reaktives Protein
CPVT	Catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia
CT	Computertomographie
DCM	Dilatative Kardiomyopathie
DFT	Defibrillationsschwelle
DGK	Deutsche Gesellschaft für Kardiologie
ERI	Elective replacement indicator
EOL	End of life
HCM	Hypertrophe Kardiomyopathie
HI	Herzinsuffizienz
ICD	Implantierbarer „Cardioverter-Defibrillator“
KHK	Koronare Herzerkrankung
LQTS	Langes QT-Syndrom
LV	Linksventrikulär

- Ggf. erneuter Funktionstest zur eindeutigen Identifizierung des Funktionsfehlers

#### 8.4.5 Vorgehen bei Sondenrevision

- Sondenexplantation, falls möglich, v. a. bei Sondenalter < 1 Jahr
- Sondenextraktion, falls erforderlich
- Sondenauswahl
- Sondenplatzierung
  - Technische Hilfsmittel zur Überwindung von intravenösen Engstellen

#### 8.4.6 Sondenextraktion

- Technisches Vorgehen
  - Transvenös vs. transthorakal
  - Extraktionstechniken- und -systeme
- Mögliche Komplikationen
  - Resultierende infrastrukturelle Voraussetzungen, z. B. Bereitschaft zur Notfallthorakotomie
- Absolute und relative Indikationen

Abkürzungen (Fortsetzung)	
LVEF	Linksventrikuläre Ejektionsfraktion
MRT	Magnetresonanztomographie
NICM	Nichtischämische Kardiomyopathie
NYHA	Herzinsuffizienzklasse
PET	Positronenemissionstomographie
RV	Rechtsventrikulär
S-ICD	Vollständig subkutaner Defibrillator
SQTS	Kurzes QT-Syndrom
SVT	Supraventrikuläre Tachykardie
TEE	Transösophageale Echokardiographie
tv-ICD	Transvenöser implantierbarer „Cardioverter-Defibrillator“
VES	Ventrikuläre Extrasystole(n)
VF	Kammerflimmern
VT	Ventrikuläre Tachykardie
WCD	„Wearable cardioverter defibrillator“; tragbare Cardioverter/Defibrillator
WPW	Wolf-Parkinson-White (Syndrom)

#### 8.4.7 Intraoperative Überprüfung des revidierten ICD-Systems

#### 8.4.8 Nachbehandlung

- Antibiotikatherapie bei Systeminfektion
  - Keimspektrum und Substanzwahl
  - Therapiedauer, Erfolgskriterien
  - Kontrolluntersuchungen, Kontrollintervalle
- Lokalbehandlung, Verhaltensregeln
- Postoperative ICD-Funktionstests

## 9 Erfolgskontrolle

### Multiple-Choice-Prüfung: mindestens 30 Fragen

Kurse, die nach dem Curriculum von der DGK durchgeführt werden und deren Teilnahme durch die Weiter- und Fortbildungsakademie der DGK urkundlich bestätigt werden, bedürfen bezüglich des Programms und der vorgesehenen Re-

ferenten der Genehmigung des Nucleus der Arbeitsgruppe Elektrophysiologie (AGEP) der DGK. Alle Referenten müssen Mitglied der AGEP sein.

Nicht im Kurs enthalten ist die sachkundige Einweisung in die Programmiergeräte der einzelnen Hersteller. Diese muss durch den jeweiligen Hersteller vor Ort in der Klinik/Praxis oder in einem Programmiergerätekurs erfolgen.

### Korrespondenzadresse



**Prof. Dr. L. Eckardt**  
Klinik für Kardiologie  
II – Rhythmologie,  
Universitätsklinikum Münster  
Albert-Schweitzer-Campus 1,  
A1, Münster, Deutschland  
lars.eckardt@ukmuenster.de

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** L. Eckardt: Vortragshonorare, Reisekostensponsoring: Abbott, Biotronik, Boston Scientific, Medtronic. Sponsoring von Studien: Abbott, Biotronik, Boston Scientific, Medtronic. P. Sommer: Beraterstätigkeit: Abbott, Boston Scientific, Medtronic. Sponsoring von Studien: Abbott, Boston Scientific. H. Bogossian: Vortragshonorare, Fortbildungs- und Reisekostensponsoring: Abbott, Biotronik, Boston Scientific, Medtronic. D. Steven: Vortragshonorare und Reisekosten: Abbott, Biosense Webster, Medtronic. Studienunterstützung: Abbott, Boston Scientific, Biosense Webster. R. Tilz: Beraterstätigkeit: Biosense Webster, Biotronik, Boston Scientific. Vortragshonorare: Medtronic, Boston Scientific, Abbot Medical, Biotronik. C. Veltmann: Vortrags- und/oder Beratungshonorare: Abbott, Biotronik, Boston Scientific, Medtronic. D. Böcker hat einen Consultant-Vertrag für die Mitarbeit im Adverse-Events Advisory Committee von Medtronic Europe (Bakken Research Center). C. Butter und C. Hansen geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

### Literatur

1. Deneke T, Bosch R, Eckardt L et al (2019) Der tragbare Cardioverter/Defibrillator (WCD) – Indikationen und Einsatz. *Kardiologie* 13:292. <https://doi.org/10.1007/s12181-019-0331-4>
2. Tilz RR, Chun KR, Deneke T et al (2017) Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie zur Kardioanalgesiedierung. *Kardiologie* 11:369–382