

Kardiologie 2015 · 9:244–252  
 DOI 10.1007/s12181-015-0659-3  
 Online publiziert: 23. Mai 2015  
 © Deutsche Gesellschaft für Kardiologie -  
 Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by  
 Springer-Verlag Berlin Heidelberg - all rights  
 reserved 2015

C. Butter<sup>1</sup> · M. Seifert<sup>1</sup> · C.W. Israel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Herzzentrum Brandenburg in Bernau, Immanuel Klinikum, Bernau

<sup>2</sup> Klinik für Innere Medizin – Kardiologie, Nephrologie und Diabetologie,  
 Evangelisches Krankenhaus Bielefeld, Bielefeld

# Sachkunde „Kardiale Resynchronisationstherapie (CRT)“

## Sachkunde „Kardiale Resynchronisationstherapie (CRT)“

In Zusammenarbeit mit dem Nucleus der Arbeitsgruppe Rhythmologie der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie: Dietmar Bänsch (Sprecher), Christopher Piorkowski (Stellv. Sprecher), Dirk Böcker, Julian Chun, Isabel Deisenhofer, Thomas Deneke, Lars Eckardt, Thorsten Hanke, Thomas Kligenheben, Burghard Schumacher, Roland Tilz, Christian Wolpert.

Die Sachkunde „Kardiale Resynchronisationstherapie (CRT)“ wurde analog zu der Sachkunde „Herzschrittmachertherapie“ [1] und „ICD-Therapie“ [2] formuliert. Die Sachkunde definiert aus der Sicht der beteiligten Fachgremien die für eine Therapie mit CRT-Systemen erforderlichen theoretischen Kenntnisse, die zusammen mit den praktischen Erfahrungen, die in klinischer Aus- und Weiterbildung erlangt wurden, die Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Anwendung der CRT darstellen.

Die Sachkunde der CRT stellt die 3. Stufe der Sachkunden in der Therapie mit kardialen implantierbaren elektrischen Devices dar, bezüglich der antibradykarden Schrittmacherfunktionen und der ICD-Therapie werden die Sachkunde „Herzschrittmachertherapie“ und „ICD-Therapie“ vorausgesetzt und nur in einigen Themen kurz aufgegriffen. Die Sachkundekurse der kardialen Resynchronisationstherapie sollen bei entsprechend fortgeschrittenen Kenntnissen der Kursteilnehmer einen besonderen

Schwerpunkt auf Troubleshooting und die Umsetzung des theoretischen Wissens in die Praxis anhand von Einzelbeispielen legen. Eine aktive Interaktion der Kursteilnehmer ist ausdrücklich erwünscht, daher sollte die Kursgestaltung über Unterrichtseinheiten mit Troubleshooting ausreichend Möglichkeiten zur Diskussion bieten.

## 1. Grundlagen

### 1.1 Herzinsuffizienz

#### 1.1.1 Definition systolische Herzinsuffizienz

- Unterscheidung zwischen akuter und chronischer Herzinsuffizienz
- Unterscheidung von Rechts- und/oder Linksherzinsuffizienz
- Unterscheidung zwischen Herzinsuffizienz mit erhaltener und reduzierter Ejektionsfraktion (HF-PEF/HF-REF)
- Zeitlicher Ablauf

#### 1.1.2 Epidemiologie

- Inzidenz in der Bevölkerung
- Ergebnisse populationsbezogener Studien
- Prognose (Progression der Herzinsuffizienz, plötzlicher Herztod)

#### 1.1.3 Zugrunde liegende kardiale Erkrankung

- Prävalenz der Erkrankungen
- KHK: Bedeutung des akuten Myokardinfarktes, Ischämien, Myokardnarbe, chronisches Stadium

- DCM: unterschiedliche Ätiologien, Postmyokarditis, Differenzialdiagnose zur Myokarditis, Tachykardiopathie, Verlauf, Prognose
- Andere Kardiomyopathien (HCM, restriktive CMP etc.)
- Vitien: Aortenklappenerkrankungen, Mitralklappenvitien, Rolle und Formen der Mitralklappeninsuffizienz bei Herzinsuffizienz (degenerativ, funktionell)

#### 1.1.4 Klassifikation der systolischen Herzinsuffizienz

- NYHA-Klassifikation
- Bestimmung der linksventrikulären Ejektionsfraktion/LVEDD und deren Einfluss auf Mortalität und Rehospitalisierung
- BNP/NT-proBNP
- Spiroergometrie: VO<sub>2</sub>max, anaerobe Schwelle, andere Parameter der objektiven kardialen Leistungseinschränkung

#### 1.1.5 Therapie der systolischen Herzinsuffizienz

- Therapie der Grunderkrankung
- Reduktion von Risikofaktoren, Lifestyle-Änderungen
- Patientenschulung
- Rolle der systematischen und kontrollierten körperlichen Aktivität bei Herzinsuffizienz, Herzinsuffizienz-Sport
- Medikamentöse Therapie der Herzinsuffizienz (β-Blocker, ACE-Hemmer/AT<sub>1</sub>-Antagonisten, Diuretika, Aldo-

steronantagonisten, Herzglykoside, Ivabradin) mit Auftitrierung der Dosis und Zieldosen

- Interdisziplinäre ambulante Einbindung
- Telemedizin/Remote Monitoring, Studienergebnisse, DGK-Positionspapier
- Herzchirurgische und apparative Therapie: Impella®, ECMO, Assist-Devices, Herztransplantation
- Andere Device-Optionen (wie z. B. Cardiac Contractility Modulation, Barorezeptorstimulation, Vagusstimulation, spinal chord stimulation ...)

### 1.1.6 Linksschenkelblock (LSB) und elektrische Asynchronie (intra- und interventrikuläre Leitungsstörungen)

- Prävalenz des LSB bei Herzinsuffizienz
- Bedeutung für die Mortalität bei der Herzinsuffizienz
- LSB, RSB, LAHB und LPHB, bifaszikuläre Blöcke, unspezifische QRS-Verbreiterung im 12-Kanal-EKG
- AV-Block  $I^\circ \pm PQ > 300$  ms
- Messung der QRS-Breite, Bedeutung der Grenzwerte von 120 und 150 ms
- Intrakardiale Messung der elektrischen Leitung (EGM LV→RV, RV→LV, QRS im EKG in Relation zum LV-EGM = QLV)
- Bedeutung der stimulierten QRS-Breite bei Patienten mit RV-Stimulation

### 1.1.7 Mechanische Asynchronie

- Unterscheidung der verschiedenen Ebenen der mechanischen Asynchronie in atrioventrikuläre, interventrikuläre und intraventrikuläre Asynchronie
- Bildgebung der Asynchronie, Diskussion der methodischen Probleme

### 1.1.8 Echokardiographie zur Analyse der Dys-/Asynchronie

- 4-Kammer-Blick: visuelle Asynchronie, „septal flash“, „apical rocking“
- M-mode-Echo und technische Limitierung des SPWMD („septal posterior wall motion delay“), Mitralöffnung vs. Lateralwandkontraktion (vgl. DESIRE-Studie)

- PW- und CW-Doppler, Messung der Füllungszeit, einer prästolischen Mitralklappeninsuffizienz, präaortale Ejektionszeit  $> 140$  ms (s. Care-HF-Studie), isovolumetrische Kontraktionszeit, interventrikulärer Delay
- Gewebedoppler (Tissue Doppler Imaging, TDI), Messung der longitudinalen und radialen Geschwindigkeit des Myokards und Deformation („strain“)
- Strain-Imaging: Strain-/Strain-Rate-Analyse, Musterverfolgung
- 3-D-Echo
- Mangelnde Reproduzierbarkeit, Sensitivität und Spezifität echokardiographischer Parameter in Bezug auf den Nutzen der CRT (PROSPECT-Studie, ECHO-CRT-Studie)
- Diskussion der methodischen Probleme der Echokardiographie bei der Quantifizierung der Asynchronie
- Troubleshooting: Dyssynchronie oder nicht?

### 1.1.9 Koronarsinus – Venenanatomie

- Genaue Kenntnis der Venenanatomie
- Kenntnis und Häufigkeit anatomischer Varianten inklusive persistierende linksseitige obere Hohlvene
- Kenntnis der Darstellung in RAO und LAO verschiedener anatomischer Varianten
- Direkte Venographie und indirekte Durchlaufangiographie bei Koronarangiographie und Dyna-CT

### 1.1.10 EKG-Grundlagen der kardialen Stimulation

- Kenntnis der elektrischen Herzachse in Abhängigkeit zum Stimulationsort
- Kenntnis der RV-Stimulation im 12-Kanal-EKG in Abhängigkeit zum Ort
- Kenntnis der LV-Stimulation im 12-Kanal-EKG in Abhängigkeit zum Ort
- Kenntnis der BV-Stimulation im 12-Kanal-EKG in Abhängigkeit zur Elektrodenposition
- R-Welle in V1 und akzidentell zu hohe Brustwandableitungen (3. ICR)
- Fusionsschläge, Pseudofusion, anodale Stimulation

## 1.2 Besondere CRT-Komplikationen

- Hardwarekomplikationen (insbesondere Sondenrevisionen)
- N.-phrenicus-Stimulation
- LV-Stimulationsverlust, anodale RV-Stimulation
- Proarrhythmische Effekte der epikardialen LV-Stimulation
- Erhöhte Infektionsrate durch lange Implantationsdauer
- Reduktion der Strahlendosis bei langer Implantation

## 1.3 Gesetzliche Bestimmungen und formale Anforderungen

### 1.3.1 Übersicht der gesetzlichen Vorschriften

- Medizinproduktegesetz (MPG) mit den Änderungen 2010
- Medizinprodukte-Betreiberverordnung (MPBetreibV)
- Gerätesicherheitsgesetz
- Röntgenverordnung (RöV)
- Richtlinien für Krankenhaushygiene und Infektionsprophylaxe
- CE-Zeichen
- Klinische Prüfung ohne/mit CE-Zeichen

### 1.3.2 Anforderungen an den Arzt im Einzelnen

- Bei der Inbetriebnahme und Benutzung von Medizinprodukten: EKG ohne/mit intrakardialer Ableitung, Programmiergeräte, intraoperative „pacing system analyzer“ (PSA)-Geräte, Geräte zur programmierten Stimulation, Defibrillatoren, Gerätebuch, Bestandsverzeichnis, Einweisung, Geräteverantwortlicher, Sachkunde, sicherheitstechnische Kontrollen, Meldung von Vorkommnissen etc.
- Bei der Auswahl von Implantaten und Hilfsmitteln: CE-Zeichen, äußerstes Implantationsdatum (UBD), Wiederverwendung/Resterilisation
- Bei der Implantation: Räumlichkeiten, Hygienevorschriften, Strahlenschutz, Isolationsschutz etc.
- Interventionelle bzw. operative Erfahrungen durch mindestens 200 elektrophysiologische Untersuchungen/Ablationen und/oder 200 Koronaran-

giographien/PCI und/oder Implantationen von Schrittmachern und ICD und deren Kombination

- Erfolgreicher Abschluss eines zugelassenen CRT-Kurses der DGK
- Aktive Teilnahme an 20 CRT-Implantationen in Anwesenheit eines erfahrenen CRT-Implanteurs
- Papiere: Strukturpapier [3], Curriculum spezielle Rhythmologie [4]

## 2. Indikation zur CRT-Therapie

### 2.1 Übersicht der Leitlinien

- Europäische Leitlinien: Schrittmacher und CRT, Herzinsuffizienz
- Deutscher Kommentar der Leitlinien
- Amerikanische Leitlinien
- EHRA/HRS-Konsensuspapier zu praktischen Aspekten
- EHRA/HRS-Statement: Patientenselektion

### 2.2 Kenntnisse grundlegender randomisierter Studien

- CARE-HF, COMPANION, PATH-CHF I/II, RethinQ, ECHO-CRT, MADIT-CRT, REVERSE und RAFT
- Substudien und Post-hoc-Analysen

### 2.3 Bedeutung der Schenkelblockmorphologie und QRS-Breite

- Analyse der QRS-Breite in PATH CHF II und MADIT-CRT

### 2.4 Bedeutung der NYHA-Klasse

- Möglichkeit einer Stadienzuordnung mittels NT-proBNP/BNP und spirometrischer Messungen
- Zu erwartende Effekte in den NYHA-Klassen III–IV im Vergleich zu den NYHA-Klassen I–II

### 2.5 CRT bei konventioneller Schrittmacherindikation

- Problematik der chronischen rechtsventrikulären Stimulation
- CRT-Indikation bei konventioneller Schrittmacherindikation und hochgradig eingeschränkter systolischer Funktion

Kardiologie 2015 · 9:244–252 DOI 10.1007/s12181-015-0659-3

© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer-Verlag Berlin Heidelberg - all rights reserved 2015

C. Butter · M. Seifert · C.W. Israel

## Sachkunde „Kardiale Resynchronisationstherapie (CRT)“

### Zusammenfassung

Die Sachkunde „Kardiale Resynchronisationstherapie“ (CRT) definiert analog zu den Sachkunden „Herzschrittmachertherapie“ und „ICD-Therapie“ die für eine Therapie mit CRT-Systemen erforderlichen theoretischen Kenntnisse, die zusammen mit den praktischen Erfahrungen der klinischen Aus- und Weiterbildung die Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Anwendung der CRT darstellen. Für die Sachkunde CRT werden die Sachkunde „Herzschrittmachertherapie“ und „ICD-Therapie“ vorausgesetzt. Es werden erforderliche spezielle Kenntnisse der Herzinsuffizienz, der Schenkelblockierungen im EKG, der Echokardiographie (inklusive Dys-synchronieparametern), der CRT-Indikations-

stellung, der Koronarsinusanatomie, der Implantation, der CRT-Geräte- und -Elektroden-technologie und der CRT-Nachsorge aufgelistet. Ein besonderer Schwerpunkt der CRT-Sachkunde wird auf Troubleshooting und die Umsetzung des theoretischen Wissens in die Praxis anhand von Einzelbeispielen gelegt. Mit den Kursen zur Herzschrittmacher-, ICD- und CRT-Therapie wird das theoretische Angebot zur Erlangung des Zertifikats „Spezielle Rhythmologie“ komplettiert.

### Schlüsselwörter

Herzinsuffizienz · Device-Therapie · Spezielle Rhythmologie · Weiterbildung · Troubleshooting

## Knowledge on cardiac resynchronization therapy (CRT)

### Abstract

The listing of knowledge on cardiac resynchronization therapy (CRT) summarizes the theoretical knowledge required for the use of CRT in analogy to the listing of knowledge in pacemaker therapy and in implantable cardioverter defibrillator (ICD) therapy. Together with practical experience gained during in-house training and education, they form the prerequisites for a high quality utilization of CRT. Participation in courses on CRT require prior participation in courses on pacemaker therapy and ICD therapy. The listing includes specific knowledge of heart failure, bundle branch block in the ECG, echocardiography (including parameters of dyssynchrony), indi-

cations for CRT, coronary sinus anatomy, implantation, CRT device and electrode technology, and CRT follow-up, which are necessary to adequately apply CRT. Special emphasis lies on troubleshooting and translating theoretical knowledge into practice using clinical examples. Courses on pacemaker, ICD and CRT therapy complete the theoretical program to attain the certificate of special rhythmology.

### Keywords

Heart failure · Device therapy · Special rhythmology · Further education · Troubleshooting

- CRT-Indikation bei konventioneller Schrittmacherindikation bei nicht oder leicht eingeschränkter systolischer Funktion (PACE, BLOCK-HF etc.)

### 2.6 Vorhofflimmern und CRT

- CRT-Indikation bei Herzinsuffizienz und Vorhofflimmern
- Prävention von Eigenüberleitung, Erzielen einer biventrikulären Stimulation nahe 100% bei Vorhofflimmern (Medikamente, Algorithmen, His-Bündelablation)

- CRT bei Patienten mit geplanter His-Bündelablation bei Vorhofflimmern: Indikation, praktisches Vorgehen

### 2.7 Kontraindikationen und Einschränkungen zur CRT-Implantation

- Lebenserwartung, Komorbidität

### 2.8 Kosten, Kosteneffektivität

- Kosten pro gewonnenes Lebensjahr im Vergleich zu anderen anerkannten medizinischen Therapien
- Fallpauschalen im G-DRG-System, Kosten für CRT-P/CRT-D und Son-

den, Kostenerstattung im G-DRG-System, Sachkostenanteil der Implantation und Auswirkung auf das Krankenhausbudget

- Fallpauschalen im G-DRG-System bei CRT-Aggregatwechsel
- Besondere Aspekte der G-DRG-Klassifizierung von CRT-P/-Wechsel

## 2.9 Troubleshooting: CRT-Indikation

- Falldiskussionen: Indikation unter Berücksichtigung der indikationsstellenden Parameter (Klinik, Grunderkrankung, EKG, Echokardiographie, medikamentöse Therapie, Krankheitsverlauf) und der Komorbidität, Diskussion CRT-P vs. CRT-D

## 3. CRT-Systeme und Sondenfunktionen

### 3.1 Bestandteile des Aggregats

- Gehäuse: aktiv, Dicke, Volumen, Röntgenkennzeichnung
- Konnektoren für Sonden (IS-1, IS-4, LV-1)-Anschlüsse
- Batterien und Lebensdauer, Kondensator, Magnetschalter
- Antenne für Telemetrie und deren Bedeutung für eine telemedizinische Funktion

### 3.2 Gerätewahl CRT-D oder CRT-P

- Lebenserwartung, Patientenwunsch/Beratung, internationale Unterschiede

### 3.3 Coronarsinus-Elektroden

- Unterschiedliche Fixierungsmechanismen: Form (herstellerabhängig), aktiv, passiv
- Unterschiedliche Größen, Dicken, Kurven
- Anzahl der elektrischen Leiter: unipolar, bipolar, multipolar
- Bedeutung der Kenntnis und der Verfügbarkeit für den Implantationserfolg

## 4. Implantation CRT-System

### 4.1 Vorbereitung der Operation

#### 4.1.1 Aufklärung und Einverständniserklärung des Patienten

- Aushändigung eines Patientenhandbuchs
- Aufklärung in den eigentlichen Eingriff
- Aufklärung über ICD- bzw. Schrittmacher-spezifische Punkte wie Schocks, Synkopen und Auswirkungen auf Fahrerlaubnis, Sexualleben, Schwangerschaft, notwendige Kontrollen, mögliche Interferenzen insbesondere mit medizinischen Prozeduren, wie z. B. MNRE, Aufklärung über mit dem ICD nicht vereinbaren Tätigkeiten, z. B. Lichtbogenschweißen, tiefes Tauchen

#### 4.1.2 Vorbereitende Untersuchungen

- Kenntnis der Zielregion für die Platzierung der CS-Elektrode (Echokardiographie, Cardio-MR zur Narbenlokalisation)
- Auswertung bereits erfolgter Untersuchungen wie venöse Phase einer Koronarangiographie oder Cardio-CT zur Analyse der Koronarvenenanatomie
- Wahl der Implantationslokalisation im Herzkatheterlabor/Bedeutung der Bildqualität
- Venöser Zugang, ggf. Armphlebographie, Inspektion und Rasur der Haut im Operationsbereich
- Klinisch-chemische Laborwerte

#### 4.1.3 Vorbereitung im Katheterlabor

- Testung aller Geräte auf Funktionsfähigkeit
- Lagerung des Patienten
- Oberflächen-EKG
- Transkutane Messung der O<sub>2</sub>-Sättigung
- Direkte arterielle vs. nichtinvasive Blutdruckmessung
- Durchleuchtungseinheit
- Perkutane Stimulationseinheit/externer Defibrillator
- Aufbau des Instrumententisches, Operationsinstrumente, Kabel für ex-

ternen Schrittmacher, Kabel für intrakardiale Ableitung

- Entfettung und Desinfektion der Haut, steriles Abdecken unter Ausräumung des Operationsfeldes
- Intubationsnarkose oder Sedierung mit Kurznarkose
- Antibiotikatherapie zur Prophylaxe

### 4.2 Implantation

#### 4.2.1 Lokalanästhesie

#### 4.2.2 Maßnahmen zur Vermeidung einer über das notwendige Maß hinausgehenden Strahlenbelastung für Patient und Operationspersonal

- Besondere Maßnahme zum Strahlenschutz: Tischschutz, Bleiglasschutz, Personenschutz, gepulste Strahlung, Bildraten, Einblenden
- Diskussion der besonderen Strahlenexposition des Patienten und Implantateurs bei CRT-Implantation

#### 4.2.3 Hautschnitt und Blutstillung

#### 4.2.4 Zugänge für die Sonden

- Präparation der V. cephalica für 1, 2 oder 3 Elektroden
- Punktion der V. subclavia, subkutane Präparation, Wahl geeigneter Schleusen und Drähte, Punktionstechniken, Punktionszahl 2–3
- Selten verwendete venöse Zugänge V. axillaris, V. jugularis interna etc.
- Implantation von rechts (CS-Schleusen etc.)

#### 4.2.5 Platzierung der Sonden

- Platzierung der rechtsventrikulären Kammersonde wegen der Gefahr eines AV-Blocks bei CS-Sondierung
- Verschiedene Techniken der Platzierung (RV-Apex, RVOT, septal)
- Verschiedene Katheter und Techniken der CS-Sondierung, z. B. spezielle CS-Katheter, allgemeine Katheter wie Amplatz, Judkins, Teleskopkatheter, Intubation mittels steuerbarem oder fest vorgebogenem Elektrophysiologiekatheter
- Anatomische Varianten der CS-Anatomie, Thebesische Klappen, sichere Positionierung des Katheters im Ko-

ronarsinus, Zuhilfenahme von geeigneten Drähten, Injektion von Kontrastmittel, Gefahr der Dissektion, Verhalten bei Dissektion

- Nutzung von Anterior-posterior-, LAO- und RAO-Projektionen
- Angiographie der Koronarvenen, geblockt oder nicht geblockt, Gefahr der Verletzung von Venenklappen durch Blockung
- Wahl der geeigneten Zielvene und geeigneten Elektrode, Techniken des Vorbringens der Elektrode an Zielposition, subselektive Katheter
- Geeignete Führungsdrähte: hydrophile, beschichtete Koronardrähte
- Hindernisse im Koronarsinus: Stenosen, Kurven, Vieussen-Klappe
- Nutzung von Kollateralen, retrogrades Vorschieben von Führungsdrähten
- Spezielle Techniken: Ballons als Anker, retrogrades Vorschieben mittels inneren Kathetern (Finecross, CorAir etc.), 300 cm Drähte, mehrere CS-Katheter, Snares etc.
- Platzierung der Koronarvenenelektrode, Messungen, Messwertgrenzen, Signableitung, Verletzungspotenzial, Messung der Phrenikusschwelle
- Schlitzen oder Peeling der Einführungskatheter, Gefahr der Dislokation der Elektrode, Maßnahmen zur Vermeidung
- Platzierung der Vorhofsonde

#### 4.2.6 Fixierung der Sonden

- Platzierung des „sleeves“, Nahttechnik und -material
- Testung der Sondenposition und -fixation

#### 4.2.7 Präparation der Schrittmachertasche

- Subfaszial, subkutan, submuskulär, abdominal

#### 4.2.8 Aggregatimplantation

- Sondenkonnexion (IS-1, IS-4, DF-1, DF-4)
- Platzierung des Aggregats in der Tasche
- Fixierung des Aggregats, Taschen-naht, Subkutannaht, Hautnaht

#### 4.2.9 Intraoperative Funktionstestung

- Messung der Sondenparameter und Kenntnis der erforderlichen Werte: Wahrnehmung, Reizschwellenmessung: Messung des Widerstands der Elektroden
- Test auf Zwerchfellzucken
- Testung der Sicherheitsmarge für die Defibrillation, Messung des Widerstands der Schockelektroden
- Diskussion der Testung der Sicherheitsmarge für die Defibrillation, Risikopatienten für eine frustrane Testung, Vor- und Nachteile einer Testung, Studien (SIMPLE, NORDIC und andere)

#### 4.2.10 Troubleshooting: Implantation

- Der schwierige venöse Zugang (z. B. Subclavia-Verschluss bei Aufrüstung, Gefäßanomalie, persistierende linksseitige obere Hohlvene)
- Die schwierige Koronarsinus-Intubation (z. B. Thebesische Klappe, kleines Ostium, kurviger Verlauf)
- Die schwierige Seitenastintubation (z. B. Nutzung subselektiver Katheter, verschiedene vorgebogene koronare Guidewire)
- Die schwierige Elektrodenplatzierung (z. B. schwieriges Vorschieben, schlechte Reizschwelle, Phrenikusstimulation, Instabilität)

#### 4.2.11 Vorgehen bei Unmöglichkeit einer Implantation im Koronarsinus

- Chirurgische epikardiale Implantation der LV-Elektrode: Patientenlagerung, Zugang über linkslaterale Minithorakotomie, epikardiale Elektrodenmodelle, laterale Elektrodenpositionierung, Ergebnisse der akuten Implantation, Probleme im Langzeitverlauf
- Transseptale endokardiale Implantation

### 4.3 Nachsorge nach Operation

#### 4.3.1 Postoperative Kontrollen

- Thoraxröntgenaufnahme, Echokontrolle, 12-Kanal-EKG
- Ausstellung eines ICD-Ausweises

- Verhaltensmaßregeln bis zur Wundheilung, ggf. Anweisung für Wundfadenentfernung
- Verhaltensmaßregeln bei Phrenikusstimulation
- Verhaltensregeln bei ICD-Schock, Auswirkungen auf das Führen von KFZ

### 4.3.2 Antibiotikatherapie

### 4.4 Perioperative Komplikationen

- Perioperative Letalitätsrate und Häufigkeit der wichtigsten Komplikationen

#### 4.4.1 Rhythmusstörungen

- Bradykarde Rhythmusstörungen, insbesondere bei vorbestehendem LSB
- Tachykarde Rhythmusstörungen, insbesondere bei leichter VT-Induzierbarkeit
- Möglichkeit der Induktion von VT/VF durch epikardiale LV-Stimulation und endokardiale RV-Stimulation

#### 4.4.2 Lokale Komplikationen im Bereich der Punktion/Aggregattasche

- Taschenhämatom
- Pneumothorax
- Luftembolie
- Hämatothorax, Chylothorax
- Stimulation der Skelettmuskulatur

#### 4.4.3 Komplikationen der Sondenlage

- Perforationen Myokard mit ggf. Perikardtamponade
- Koronarsinus mit ggf. Perikardtamponade V. cava superior mit ggf. mediastinaler Blutung
- Zwerchfellstimulation
- Fehlplatzierungen und deren Erkennung
- Dislokationen und deren Erkennung

## 5. Programmierung

Programmierung der Tachydetecktion und Tachytherapie entsprechend der Sachkunde „ICD-Therapie“.

## 5.1 Voraussetzung und Ziele der CRT-Programmierung

### 5.1.1 Primäres Ziel

- Anhaltende und sichere AV-synchrone effektive biventrikuläre Stimulation ohne Phrenikusstimulation, individuell optimierte Zeitsteuerung für einen maximalen Resynchronisationseffekt
- Gewährleistung einer sicheren Detektion von tachykarden Herzrhythmusstörungen

### 5.1.2 Sekundäre Ziel

- Energetisch ökonomische Programmierung zur Optimierung der Aggregatlaufzeit
- Monitoring von Herzrhythmusstörungen und Vermeidung von Vorhofflimmern
- Monitoring der Herzinsuffizienz
- Monitoring der Aggregatfunktion und der Sondenintegrität
- Telemetrisch optimierte Überwachung und Nachsorge der Patienten

## 5.2 Stimulationsparameter

- Bedeutung von DDD und VDD für die differenzierte AV-Zeit-Programmierung
- Mode-Switch bei atrialen Tachykardien, Einfluss der Mode-Switch-Grundfrequenz auf die Stimulationsrate
- VVIR bei chronischem Vorhofflimmern
- Diskussion der rechtsventrikulär getriggerten LV-Stimulation

## 5.3 Interventionsfrequenz

- Präferenz der Sinusfrequenz durch niedrige Interventionsfrequenz
- Anpassung bei Sinusbradykardie, Bedeutung der unterschiedlich programmierbaren AV-Zeit für atriale Stimulation und Wahrnehmung
- Bedeutung der maximalen Triggerfrequenz auf die Resynchronisation bei Belastung sowie deren Einfluss auf die Zeitsteuerung
- Bedeutung der Sensorfrequenzstimulation und der maximalen Sensorfrequenz

## 5.4 Elektrodenfunktion

- Kenntnis erforderlicher Sicherheitsmargen der Stimulations- und Wahrnehmungsschwelle für RA, RV und LV
- Bedeutung der Stimulationsimpedanz für die RA, RV und LV-Elektroden
- Testung aller Reizschwellen und Phrenikusschwelle in verschiedenen LV-Konfigurationen zur Ermittlung der optimalen LV-Stimulation
- Kontrolle der BiV-Stimulation im 12-Kanal-EKG
- Diskussion der automatischen Programmierung der Stimulations- und Wahrnehmungsparameter nach automatischer Schwellentestung

### 5.4.1 Programmierung der AV-Zeit

- Kenntnis des Einflusses individuell optimierter AV-Zeiten auf die Hämodynamik bei CRT
- Kenntnis unterschiedlicher Methoden: invasive AV-Zeit-Optimierung, echokardiographische AV-Zeit-Optimierung, 12-Kanal-EKG-Methoden, Impedanzkardiographie, nichtinvasive Blutdruckmessung (Finapres®)
- Aggregatspezifische Optimierungsalgorithmen (Quick-Opt®, SonR®, Smart-AV®, AdaptiveCRT® etc.): Funktion, Studiendaten, Limitationen
- Bedeutung RV-Wahrnehmung und Fusion
- Praktisches Beispiel: echokardiographische Optimierung der AV-Zeit nach aortalem VTI, transmitem VTI, diastolischer Füllungszeit (DFT), E/A-Welle u. a. Parametern

### 5.4.2 Programmierung der VV-Zeit

- Kenntnis des Einflusses individuell optimierter VV-Zeiten auf die Hämodynamik
- Im Vergleich zur AV-Zeit-Optimierung eingeschränkte Bedeutung der VV-Zeit
- Kenntnis unterschiedlicher Methoden: invasive VV-Zeit-Optimierung, echokardiographische VV-Zeit-Optimierung, 12-Kanal-EKG-Methoden, Einschränkungen der aggregatspezifischen Optimierungsalgorithmen
- Kenntnis unterschiedlicher herstellerspezifischer Definitionen der AV-

Zeiten bei unterschiedlich programmierter VV-Zeit

- Praktisches Beispiel: echokardiographische Optimierung der VV-Zeit mittels aortalem VTI, transmitem VTI, diastolischer Füllungszeit (DFT), Präjektionszeit (RV/LV) etc.

### 5.4.3 Spezielle Algorithmen für CRT

- Negative AV-Hysterese, ventrikuläre Sensing-Reaktion, atriale Triggerwiederherstellung, Vorhofflimmerreaktion etc.
- Gefahr des Sinusrhythmus-Lock-in bei PVARP-Extension (VES-Reaktion, PMT-Intervention)
- Bedeutung des Mode-Switches (auch des inadäquaten) in den DDI(R)-Modus für die CRT-Stimulation

### 5.4.4 Verlust der CRT: Erkennung und korrigierende Maßnahmen

- Reizschwellenanstieg/“loss of capture“ rechtsventrikulär und linksventrikulär
- Atriale Tachyarrhythmien
- Ventrikuläre Extrasystolie, nicht anhaltende ventrikuläre Tachykardien
- AV-Zeit zu lang programmiert, atriales Undersensing, ventrikuläres Oversensing etc.

### 5.4.5 Programmierung der Patientenüberwachung und IEGM-Speicher

- Spezifische Programmierung der Speicher für atriale Tachykardien, Vorhofflimmern, Schrittmacher-induzierte Tachykardien und ventrikuläre Tachykardien
- Signalfunktion bei Herzrhythmusstörungen sowie Mode-Switch-Verhalten
- Signalfunktion bei Verlust der biventrikulären Stimulation
- Messung der Impedanz zur Erkennung einer kardialen Dekompensation: Algorithmen verschiedener Hersteller
- Kombination verschiedener Parameter zur Erkennung einer kardialen Dekompensation (PARTNER-HF): Herzfrequenz (inklusive nächtliche), Herzfrequenzvariabilität, Vorhofflimmern, ventrikuläre Frequenz während Vorhofflimmern, Patientenaktivität,

Atemminutenvolumen, Impedanzmessungen etc.

- Bedeutung der Verknüpfung dieser Parameter mit der Telemedizin

#### 5.4.6 Programmierung für die telemetrische Überwachung der Aggregat- und Elektrodenfunktion

- Messung der Elektrodenimpedanz, Batteriespannung, Ladezeit, Wahrnehmung und Reizschwelle
- Spezifische Clustererkennung, typische Impedanzsprünge, Häufigkeit von Kurzintervallerkennung im RV-Kanal als Früherkennung von Elektrodenfehlfunktionen und deren Bedeutung für die Vermeidung von inadäquaten Schocks
- Verknüpfung dieser Funktionen mit einer Signalfunktion oder telemedizinischer Überwachung

#### 5.4.7 Definition und Optimierung der Response

- Klinische Parameter der Response (NYHA-Klasse, Rehospitalisierungen wegen Herzinsuffizienz, Belastbarkeit, 6-min-Gehtest, Ergometrie, Spiroergometrie, Quality of Life, Minnesota Living with Heart Failure-Fragebogen, Mortalität, Notwendigkeit von i.v.-Diuretika)
- Echokardiographische Parameter der Response (LVESD/LVESV, LVEF etc.)
- EKG-Parameter der Response (Verkürzung der QRS-Dauer)
- BNP/NT-proBNP in der Beurteilung der Response auf CRT
- Definition und Häufigkeit der Response in verschiedenen CRT-Studien
- Ursachen für eine fehlende Response (schlechte Indikation, fehlende Dys-synchronie, Schenkelblockmorphologie, QRS-Dauer, Geschlecht, Grunderkrankung, Prozentsatz biventrikulärer Stimulation, ventrikuläre Extrasystolie, Vorhofflimmern/-flattern, suboptimale LV-Elektrodenlage, suboptimale AV-/VV-Zeit, Fehler der weiteren Programmierung des Systems)
- Optimierung der Response (Optimierung der AV-/VV-Zeit mittels Echokardiographie und EKG, Optimierung der sonstigen Programmierung, Medikamente, Elektrodenrevision,

Katheterablation von VES/His-Bündel/Pulmonalvenenisolation/kavotrikuspidalem Isthmus)

## 6. Nachsorge

### 6.1 Indikationen zur Nachsorge

#### 6.1.1 Notfallmäßige Vorstellung

- Anhaltende Tachykardie, unaufhörliche („incessant“) Kammertachykardie
- Zeitlich gehäufte Tachykardien innerhalb 24 h („electrical storm“)
- Repetitive Schockinterventionen an 1 Tag
- Synkope unklarer Ursache
- Kardiogener Schock (atriale oder ventrikuläre Arrhythmien, Verlust der CRT, Ischämie, Progression der Grunderkrankung etc.)

#### 6.1.2 Dringliche Vorstellung

- Progression der vorbestehenden Herzinsuffizienz
- Phrenikusstimulation
- Patientenalarm, -vibration
- Wiederholte Schockinterventionen in kürzerem Zeitraum (Tage), erster Schock
- Verdacht auf Infektion des Defibrillator- bzw. Schrittmachersystems
- Erste Synkope oder gehäufte Synkopen
- Neu aufgetretener unregelmäßiger Herzrhythmus
- Zunehmende psychische Belastung
- Änderungen der antiarrhythmischen Medikation oder Herzinsuffizienzmedikation
- Probleme bei der telemedizinischen Datenübertragung

#### 6.1.3 Routinemäßige Vorstellung

- Entlassungsuntersuchung
- Erste Kontrolle nach 1 bis 3 Monaten
- Weitere Kontrollen alle 3 bis 6 Monate in Abhängigkeit des klinischen Zustandes des Patienten
- Gegebenenfalls kürzere Intervalle bei z. B. drohender Batterieerschöpfung, häufigen Arrhythmieepisodes, Verdacht auf Fehlfunktionen, kleiner Sicherheitsmarge der Phrenikusstimulation, drohender LV-Stimulationsverlust

## 6.2 Ablauf der Nachsorgeuntersuchung

### 6.2.1 Organisation einer Defibrillatorambulanz

- Personelle Erfordernisse: geschulte Ärzte, regelmäßige Wiederholungen von Schulungen, klinische Erfahrung im Umgang mit ICD-Patienten, Kenntnisse in der Indikationsstellung, Implantationstechnik und alternativer antiarrhythmischer Therapieverfahren
- Apparative Ausrüstung: Programmiergeräte aller Hersteller, Handbücher oder elektronische Dokumentation der einzelnen Programmiergeräte, jeweilige Software und ICD-Modelle, EKG-Schreiber, Notfallausrüstung einschließlich externem Defibrillator und i.v.-Antiarrhythmika
- Dokumentation der Untersuchungen
- 24-stündige Notfallbereitschaft

### 6.2.2 Strukturierte Nachsorge

- Anamnese und klinische Evaluation der Herzinsuffizienz, Kontrolle der Medikamenteneinnahme und Compliance
- Nachfrage nach Phrenikusstimulation und Schockabgaben
- Psychische Befindlichkeit
- Inspektion der Defibrillatortasche
- 12-Kanal-EKG: Erkennung von Arrhythmien und der Effektivität der biventrikulären Stimulation
- Nutzung des telemetrischen EKGs: Marker-Annotationen und Elektroprogramme verschiedener Hersteller
- Telemetrische Abfrage mit Auslesen der gespeicherten und programmierten Daten
- Ausdruck aller Daten am Ende der ICD-Abfrage oder adäquate elektronische Speicherung in Patientenakte

### 6.2.3 Kontrollen

- Überprüfung von Spontanrhythmus, telemetrische Messungen des Batteriestatus, Ladezeit und Elektrodenimpedanzen, Überprüfung des Markerkanals und der intrakardialen Elektroprogramme
- Abfrage der programmierten und gespeicherten Daten: Stimulationsstatistik und deren kritische Hinterfra-

- gung, Ereigniszähler (Counter, Statistiken), Herzfrequenzprofil, Frequenzhistogramm, RR-Intervalle
- Gespeicherte Elektrogramme: Anzahl spontaner anhaltender und nicht anhaltender Tachykardien
- CRT-Funktionsparameter, direkte Kontrolle der effektiven biventrikulären Stimulation und ggf. Wahrnehmung
- Tachykardiedetektion (adäquate Erkennung der Tachykardie)
- Effektive Terminierung (antitachykardie Stimulation, Schocktherapien)
- Reizschwellentest aller Elektroden, Messung in unterschiedlichen Konfigurationen ggf. mit Überprüfung der biventrikulären Stimulation und Ausschluss einer anodalen RV-Stimulation im 12-Kanal-EKG
- Oversensing-Tests: Pectoralis-Test, Arm-/Schulterbewegungen, Bauchpresse, Inspiration, Husten, Manipulation an Tasche und Aggregat
- Spezielle Provokationsmanöver zur Phrenikusstimulation: Links-/Rechtsseitenlage, Sitzen mit über gebeugtem Oberkörper in Abhängigkeit von unterschiedlichen Konfigurationen
- Sensingschwelle, T-Wellen-Sensing, Far-Field-Oversensing, Cross-Talk, Undersensing mit Präventionsstrategien
- Überprüfung von zusätzlichen programmierten Detektionskriterien: Mehrzonenkonfiguration („tiered therapy“), Frequenzsprung und -stabilität, Frequenzdauer, Morphologie oder Template-Kriterien, Akzelerationskriterien
- Verifizierung der programmierten Therapieparameter, Non-committed-Therapie („bestätigter Schock“), Time-out nach antitachykarder Therapie, nichtinvasive Induktion von Tachykardien zur Verifizierung der adäquaten Diskriminierung, Detektion und Termination von Tachykardie

### 6.2.4 Zusätzliche Diagnostik

Gezielter Einsatz zusätzlicher Diagnostik bei bestimmten Fragestellungen:

- Laboruntersuchungen (CRP, Leukozyten, BNP, NT-proBNP, Kalium, Amiodaron-, Digitoxinspiegelbestimmung)

- Belastungs-EKG, Spiroergometrie
- Langzeit-EKG
- Echokardiographie
- Thoraxröntgenaufnahme bzw. Durchleuchtung
- Schlafscreening, Schlaflabor

## 7. Psychosoziale Auswirkungen

### 7.1 Psychische Beeinträchtigungen

- Abhängigkeit von der Häufigkeit von Schocks, dem Verlauf der Herzinsuffizienz, der Komorbidität, von Schlafstörungen und weitere psychosoziale Faktoren
- Diskussion von Home-Care-Modellen als Unterstützung der ambulanten Therapie der Herzinsuffizienz
- Bedeutung der Telemedizin auf psychische Beeinträchtigungen und Mobilität
- Adjuvante anxiolytische Therapie und psychosoziale Betreuung
- Selbsthilfegruppen

### 7.2 Einschränkung der Fahrerlaubnis

- Beeinträchtigung der Fahrtüchtigkeit durch den Schweregrad der Herzinsuffizienz, Schocks, Synkopen
- Gesetzliche Grundlagen, Aufklärungspflicht
- Kenntnis der europäischen Leitlinie

## 8. Fehlfunktionen, Aggregataustausch, Revisionseingriff

### 8.1 Elektrodendysfunktion

- Elektrodendislokation, Elektrodenperforation, Elektrodenfehlage
- Beschädigung der Elektrode, Elektrodenbruch, Elektrodenisulationsdefekt
- Konnektorprobleme, Konnektorisulationsdefekt, fehlerhafte Konnektion am Aggregat, Inkompatibilität zwischen Konnektor und Elektrode
- Anstieg der Stimulationsreizschwelle
- Anstieg der DFT
- Sensing-Probleme, Oversensing, Undersensing, Cross-Talk
- Zwerchfellstimulation und Muskelzucken

- Parameter zur Erkennung von Elektrodendysfunktionen: Impedanz, das Elektrogramm (Echtzeit, gespeichert), Oversensing, Provokationstests, Bildgebung

### 8.2 Interferenzen mit externen Quellen

- Technische Grundlagen: mögliche externe Störquellen: z. B. Mobiltelefone, Diebstahlsicherungsanlagen, Elektroschweißgeräte, Elektroauter
- Mögliche Formen der Interferenz
- Gerätetechnische und klinische Konsequenzen
- Sicherheitsvorkehrungen
- Geräteseitige Sicherheitsschaltungen; Feldstärkemessungen; Verhaltensregeln; postexpositionelle Kontrollen (z. B. Kardioversion, MRT, Strahlentherapie)

### 8.3 Dysfunktion des Aggregates

- Physikalische Beschädigung
- Vorzeitige Batterieerschöpfung, ERI/EOL
- Verlängerte Ladezeiten des Kondensators, Fehlfunktion des Pulsgenerators, Störungen der Hardware, Störungen der Software
- Aggregatbedingte lokale Störungen, Aggregatdislokation, Aggregatperforation

### 8.4 Troubleshooting

- EKG-Troubleshooting: „loss of capture“, anodale Stimulation, Oversensing, Undersensing, Pseudofusion, Arrhythmien, Funktion und Fehlfunktion spezieller Stimulationsalgorithmen etc.
- Interpretation von Marker-Annotationen und Elektrogrammen (alle Hersteller): Undersensing, Oversensing, Arrhythmien, Stimulationsverlust, Funktion und Fehlfunktion spezieller Stimulationsalgorithmen etc.

**Tab. 1** Vorschlag zur Verteilung der Unterrichtseinheiten (UE) zur Sachkunde Kardiale Resynchronisationstherapie (1 UE = 45 min)

<b>1. Indikationen zur Resynchronisationstherapie: Leitlinien und Studien</b>	4 UE
– Epidemiologie und Pathogenese der Herzinsuffizienz, optimale medikamentöse Therapie, EKG: Schenkelblockierungen	45 min = 1 UE
– Echokardiographie: Techniken zur Erfassung der Dyssynchronie	45 min = 1 UE
Pause	
– CRT-Studien und Guidelines	45 min = 1 UE
– Troubleshooting Patientenselektion (inklusive CRT-P vs. CRT-D)	45 min = 1 UE
Pause	
<b>2. Implantation von CRT-Systemen</b>	4 UE
– Anatomie des Koronarsinus und seiner Seitenäste, Projektionen	90 min = 2 UE
– Koronarsinusschleusen, Intubationstechniken des Koronarsinus	
– Fallbeispiele (Bilder/Videos)	
Pause	
– Auswahl des Zielgefäßes, Auswahl der geeigneten Elektrode	90 min = 2 UE
– Elektrodenimplantation (Nutzung von subselektiven Kathetern, Guidewire, Vorgehen bei Schwierigkeiten)	
– Komplikationen und deren Beherrschung, chirurgische Implantationsalternativen	
– Fallbeispiele (Bilder/Videos)	
Ende erster Tag	
<b>3. Nachsorge und Optimierung von CRT-Systemen</b>	8 UE
– Definition von Respondern, Response in Studien (inklusive Subgruppen)	30 min
– Theorie der echokardiographischen und EKG-Optimierung	30 min
– Fallbeispiele Echo-Optimierung, Troubleshooting (Bilder/Videos)	30 min
	90 min = 2 UE
Pause	
– Programmierung von CRT-Systemen inklusive spezielle Algorithmen: Theorie	30 min
– Programmierung von CRT-Systemen: Praxis am Programmiergerät	60 min
	90 min = 2 UE
Pause	
– Diagnostische Unterstützung von CRT-Systemen: Speicherfunktionen	30 min
– EKG-Troubleshooting	60 min
	90 min = 2 UE
Pause	
– Komplikationen im Langzeitverlauf: Erfassung und Behandlung (inklusive Remote Monitoring)	60 min
– Fallbeispiele (EKGs/Bilder/Videos)	30 min
	90 min = 2 UE
Erfolgskontrolle 45 min	

## 9. Infektion des CRT-Systems

### 9.1 Leitlinien und Empfehlungen

- Leitlinien der DGK zur Diagnostik und Therapie der infektiösen Endokarditis
- Empfehlungen der AHA zu „nonvalvular cardiovascular device-related infections“
- Empfehlungen der Mayo-Klinik zum Vorgehen bei Device-Infektion (Diagnostik per TEE und Blutkulturen,

Explantation, Antibiose und Reimplantation)

- Empfehlungen der HRS zur Elektrodenextraktion bei Infektion

### 9.2 Spezielle Aspekte

- Thromboembolien der Sonde (inklusive Erkennung in der Echokardiographie)
- Lokale Tascheninfektion ohne Beteiligung intravasaler Anteile der Sonde
- Chronische Infektion

- Aggregatverlagerung, Modifikation der Aggregattasche
- Re-Implantation bei Infektion
- Perioperative Antibiotikaphylaxe, Antibiotikatherapie bei Systeminfektion, Keimspektrum und Substanzwahl, Therapiedauer, Erfolgskriterien
- Kontrolluntersuchungen, Kontrollintervalle
- Lokalbehandlung, Verhaltensregeln

## 10. Erfolgskontrolle

Pro Unterrichtseinheit sind 3 Multiple-Choice-Fragen zu stellen. Die Prüfungsfragen sind durch den Nucleus der AG Herzschrittmacher und Arrhythmie der DGK zu genehmigen.

Die Prüfung gilt als erfolgreich bestanden, wenn zwei Drittel der Fragen richtig beantwortet wurden. Die Bestätigung der erfolgreichen Teilnahme obliegt der Weiter- und Fortbildungsakademie „Kardiologie“ (Tab. 1).

## Korrespondenzadresse

### PD Dr. C.W. Israel

Klinik für Innere Medizin – Kardiologie, Nephrologie und Diabetologie, Evangelisches Krankenhaus Bielefeld Burgsteig 13, 33617 Bielefeld  
Carsten.Israel@evkb.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** C. Butter, M. Seifert und C.W. Israel: Advisory Board/Beratertätigkeit: Biotronik, Boston-Scientific, Medtronic, Sorin, St. Jude Medical. Vortragshonorare, Reisekostensponsoring: Biotronik, Boston-Scientific, Medtronic, Sorin, St. Jude Medical. Sponsoring von Studien: Biotronik, Boston-Scientific, Medtronic, Sorin, St. Jude Medical.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

## Literatur

1. Krämer LI, Wiegand U, Stellbrink C et al (2007) Curriculum „Praxis der Herzschrittmachertherapie“. *Kardiologie* 1:177–186
2. Block M, Bänsch D, Gradaus R et al (2008) Curriculum „Praxis der ICD-Therapie“. *Kardiologie* 2:49–64
3. Hemmer W, Rybak K, Markewitz A et al (2009) Empfehlungen zur Strukturierung der Herzschrittmacher- und Defibrillatortherapie. *Kardiologie* 2:108–120
4. Breithardt G, Krämer LI, Willems S (2012) Curriculum Spezielle Rhythmologie. *Kardiologie* 6:219–225