

# Curriculum „Praxis der Herzschrittmachertherapie“

## Curriculum

### „Praxis der Herzschrittmachertherapie“

Herausgegeben vom Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V.

Bearbeitet im Auftrag der Kommission für Klinische Kardiologie:

G. Ertl, D. Andresen, M. Böhm, M. Borggrefe, J. Brachmann, F. de Haan, A. Osterspey, S. Silber, H.J. Trappe, außerdem G. Arnold, H.M. Hoffmeister, E. Fleck und der AG Herzschrittmacher der DGK: N. Doll, C. Israel, L.I. Krämer, J. Neuzner, B. Nowak, D. Pfeiffer, K. Rybak, A. Schuchert, U. Wiegand

Korrespondierender Autor: Dr. L.-I. Krämer, Klinik II und Poliklinik für Innere Medizin der Universität (Klinikum Merheim), Ostmerheimer Straße 200, 51109 Köln, Deutschland, KraemerL@kliniken-koeln.de

Der Einsatz von Medizinprodukten einschließlich aktiver Implantate ist in Deutschland vom Gesetzgeber im Medizinproduktegesetz sowie den zugehörigen Verordnungen geregelt. In der Medizinprodukte-Betreiberverordnung (MPBetreibV) heißt es in § 2, Abs. 2: „Medizinprodukte dürfen nur von Personen errichtet, betrieben, angewendet und in Stand gehalten werden, die dafür die erforderliche Ausbildung oder Kenntnis und Erfahrung besitzen.“ Für die Therapie mit Herzschrittmachern bedeutet dies neben fundierten Kenntnissen in der Rhythmologie auch grundlegende technische Kenntnisse. Erst das tiefe Verständnis der Zusammenhänge zwischen dem Funktionieren komplexer Stimulationstherapien, deren Interaktionen und medizinischen Auswirkungen ermöglicht dem Arzt eine zeitgemäße Herzschrittmachertherapie.

Die Schwerpunktbezeichnungen Kardiologie und Kinderkardiologie wie auch der Facharzt für Herzchirurgie stellen die

formale medizinische Qualifikation zur Ausübung der Herzschrittmachertherapie dar. Zur Erlangung der Schwerpunktbezeichnung Kardiologie werden in den Weiterbildungsordnungen neben der Applikation/Implantation von 10–25 Schrittmachersystemen auch 75–100 Schrittmachernachsorgen gefordert, für den Facharzt für Herzchirurgie ausschließlich der Nachweis von Herzschrittmacherimplantationen. Ein strukturierter Erwerb theoretischer Kenntnisse wird bislang in den Weiterbildungsordnungen jedoch nicht vorgeschrieben.

Diese Lücke schließt das Curriculum „Praxis der Herzschrittmachertherapie“, das im Auftrag der Klinischen Kommission der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung und der Bundesärztekammer erarbeitet und 2001 in der Zeitschrift für Kardiologie veröffentlicht wurde. Das Curriculum definiert aus Sicht der beteiligten Fachgremien die für eine Therapie mit Herzschrittmachern erforderlichen theoretischen Kenntnisse, die zusammen mit den praktischen Erfahrungen, die in der klinischen Aus- und Weiterbildung erlangt wurden, die Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Herzschrittmachertherapie darstellen.

Die hier vorgenommene Überarbeitung des Curriculums „Praxis der Herzschrittmachertherapie“ aus dem Jahr 2001 ist konsequente Folge eines raschen technischen Fortschritts sowie erweiterter Indikationen zur Elektrotherapie des Herzens. Die Resynchronisationstherapie mittels links- bzw. biventrikulärer Stimulation des Herzens hat als etablierte Stimulationstherapie bei fortgeschrittener Herzinsuffizienz Eingang in das Curriculum gefunden. Angesichts wachsender Über-

lappungsgebiete zwischen Schrittmacher-, Resynchronisations- und Kardioverterdefibrillatortherapie ist ein weiteres Anliegen des überarbeiteten Curriculums, diagnostische Pfade zu einer differenzierten Indikationsstellung zwischen den genannten Therapieformen zu vermitteln (■ Tab. 1).

## 1 Grundlagen

### 1.1 Historischer Abriss

- Darstellung technologischer Trends bei Schrittmacheraggregaten und in der Sondentechnologie

### 1.2 Schrittmachertypen und Kodierung

- Darstellung der Kodierungen: VVI, AAI, DDD, DDI, VDD, VAT, SSI, SST, ggf. in Kombination mit Frequenzadaptation (xxxR) und/oder zusätzlichen atrialen oder ventrikulären Stimulationselektroden (z. B. DDDRv)
- Darstellung der unterschiedlichen Bedeutung der Kodebenutzung:
  - Bezeichnung des Aggregattyps (z. B. SSIR)
  - Bezeichnung des programmierten Stimulationsmodus (z. B. DDI bei DDD-Schrittmacher)
  - Bezeichnung des augenblicklichen Stimulationsbetriebs anhand des Oberflächen-EKGs (z. B. VAT-Betrieb bei programmiertem DDD-Modus eines DDDR-Schrittmachers)
  - Bezeichnung eines bestimmten Schrittmachergesamtsystems (z. B. „Single-lead-VDD“)

Tab. 1 Zeitrahmen		
<b>1</b>	<b>GRUNDLAGEN</b>	13 UE
1.1	Historischer Abriss (0:15)	
1.2	Schrittmachertypen und Kodierung (0:15)	
1.3	Medikamentöse Therapie bradykarder Herzrhythmusstörungen (0:15)	
1.4	Pathophysiologie/Diagnostik/Differenzialdiagnose (2:15)	
1.5	Indikation zur permanenten und passageren Stimulation, zur Kardioverterdefibrillatortherapie und zur Resynchronisationstherapie (2:00)	
1.6	Grundlagen der Elektrostimulation (1:30)	
1.7	Technik der Schrittmacherimplantation und Komplikationen (2:45)	
1.8	Gesetzliche Bestimmungen <sup>a</sup> (0:30)	
<b>2</b>	<b>STIMULATIONSFORMEN</b>	7 UE
2.1	Frequenzadaptive Stimulation (1:00)	
2.2	Hämodynamik der Schrittmacherstimulation (1:30)	
2.3	Systemauswahl (0:45)	
2.4	Zeitsteuerung von Herzschrittmachern (2:00)	
<b>3</b>	<b>SCHRITTMACHERFEHLFUNKTIONEN</b>	5 UE
3.1	Schrittmacherfehlfunktionen (1:15)	
3.2	Störbeeinflussung von Herzschrittmachern <sup>a</sup> (1:00)	
3.3	Schrittmacherbeteiligte Tachykardien (1:30)	
<b>4</b>	<b>PROGRAMMIERUNG UND NACHSORGE</b>	14 UE
4.1	Diagnostische Schrittmacherfunktionen (1:00)	
4.2	Schrittmacher-EKG-Analyse (4:00)	
4.3	Nachsorge (1:30)	
4.4	Programmierung (2:00)	
4.5	Troubleshooting (2:00)	
<b>5</b>	<b>ERFOLGSKONTROLLE</b>	1 UE
	(1 UE=45 min)	40 UE

(4-tägig; Grundkurs: 1.1–2.3, Abschlusskurs: 2.4–5)  
 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.  
<sup>a</sup>Die Themen „Störbeeinflussung von Herzschrittmachern“ und „Gesetzliche Bestimmungen“ sollten durch einen entsprechend sachkundigen Referenten, z. B. einen Ingenieur der Biomedizintechnik, vertreten werden.

### 1.3 Medikamentöse Therapie bradykarder Herzrhythmusstörungen

- Differenzielle Betrachtung der Bedeutung der medikamentösen Therapie in der Akut-/Notfalltherapie und der Langzeittherapie
- Pathophysiologische Begründung für den Einsatz von Parasympatholytika und Sympathomimetika bei Sinusbradykardie, AV-Blockierungen
- Bei neurokardiogenen Synkopen (Vasopressoren,  $\beta$ -Blocker, Darstellung der aktuellen Datenlage)
- Darstellung der Indikation, Durchführung der Therapie, der zu beachtenden Kontraindikationen sowie der zu erwartenden Nebenwirkungen und Risiken

- Beurteilung der Langzeiterfolge
- Besonderheiten bei der antiarrhythmischen Begleittherapie nach Schrittmacherimplantation

### 1.4 Pathophysiologie/Diagnostik/Differenzialdiagnose

#### 1.4.1 Sinusknotensyndrom (SKS)

- Definition der Unterformen
  - Persistierende Sinusbradykardie
  - Bradykardie-Tachykardie-Syndrom
  - Intermittierender SA-Block/Sinusalarrhythmie
  - Chronotrope Inkompetenz
- Klinische Symptome  
 Physiologie und Pathophysiologie des Sinusknotens sowie seiner autonomen Steuerung, Bedeutung für die Interpretation

tation diagnostischer Verfahren, pathologisch-anatomische Befunde

- Nichtinvasive Testverfahren:  
 Ruhe-EKG, Langzeit-EKG, Belastungs-EKG (in der Diagnostik des SKS, zur Bestimmung der chronotropen Inkompetenz)
- Pharmakologische Testverfahren:  
 Atropin, autonome Blockade, andere
- Invasive Testverfahren:  
 Bestimmung der Sinusknotenerholungszeit
- Für die Testverfahren jeweils Darstellung des technischen Vorgehens, Demonstration typischer Ergebnisse, Diskussion der Möglichkeiten falsch-positiver und falsch-negativer Befunde
- Wertung der diagnostischen Befunde im Sinne ihres Stellenwertes zur Diagnostik des SKS

#### 1.4.2 AV-Blockierungen (AVB), Schenkelblockierungen und Bradyarrhythmia absoluta (BAA)

- Physiologie und Pathophysiologie der AV-Überleitung sowie ihre autonomen Steuerung, pathologisch-anatomische Befunde (einschließlich BAA bei Vorhofflimmern, chirurgischem AVB, AVB nach AV-Knoten-Ablation)
- Klinische Symptomatik
- Einteilung der AVB nach Kriterien des Oberflächen-EKGs
- Einteilung der AVB nach intrakardialen EKG-Befunden
- Nichtinvasive Testverfahren:  
 Ruhe-EKG, Belastungs-EKG, Langzeit-EKG,
- Pharmakologische Provokationen:  
 Ajmalin, Disopyramid i.v.
- Invasive Testverfahren:  
 Ableitung des HIS-Bündel-EKGs, Wenckebach-Punkt-Bestimmung
- Für die einzelnen Testverfahren jeweils Darstellung des technischen Vorgehens, Demonstration typischer Ergebnisse, Diskussion der Möglichkeiten falsch-positiver und -negativer Befunde

#### 1.4.3 Neurokardiogene Synkopen

- Physiologie und Pathophysiologie der reflexvermittelten Steuerung des Herzrhythmus (und des peripheren Widerstandes), klinische Symptome

- Definition des hypersensitiven Karotissinusreflexes
- Definition des Karotissinussyndroms (KSS)
- Definition des vasovagalen Syndroms/neurokardiogene Synkope
- Definition der konstituierenden Komponenten (kardioinhibitorische/vasodepressorische Reaktion)
- Darstellung verschiedener Auslösemechanismen neurokardiogener Synkopen (vasovagale Reaktion auf Schmerzreize oder bei/nach Belastungssituationen, Glossopharyngeusneuralgie, Schlucksynkope, Miktionssynkope, andere vagal vermittelte Reflexreaktionen z. B. auf Augenbulbusdruck, gastrointestinale Dehnungsreflexe)
- Abgrenzung zur orthostatischen Hypotonie
- Durchführung des Karotissinusdruckversuches und Interpretation seiner Ergebnisse
- Durchführung der Kipptischuntersuchung und zusätzlicher medikamentöser Provokationsverfahren
- Demonstration typischer Befunde für eine isolierte kardioinhibitorische Reaktion, eine isolierte vasodepressorische Reaktion sowie eine Mischreaktion aus Kardioinhibition und herzfrequenzunabhängiger vasodepressorischer Komponente

### 1.4.4 Häufigkeit und Erscheinungsform von kombinierten Störungen aus SKS zusammen mit AV-Blockierungen (Zweiknotenerkrankung) oder einem Karotissinussyndrom

### 1.4.5 Differenzialdiagnose zu Synkopen durch tachykarde Herzrhythmusstörungen

- Darstellung potenzieller Synkopenmechanismen durch supraventrikuläre und ventrikuläre Tachykardien, insbesondere bei Patienten mit struktureller Herzerkrankung
- Darstellung der Differenzialdiagnose „Bundle-brunch-Reentry-Tachykardie“ bei Patienten mit unklarer Synkope, Schenkelblockierung und eingeschränkter linksventrikulärer Funktion
- Darstellung genetischer Erkrankungen wie des Long-QT-Syndroms,

- Brugada-Syndroms und Short-QT-Syndroms als Synkopenursache bei jungen Patienten
- Nichtinvasive Testverfahren: EKG, LZ-EKG, Belastungs-EKG
- Durchführung von Provokationstests zur Demaskierung des Brugada-Syndroms (Ajmalintest)
- Indikationen zur elektrophysiologischen Untersuchung bei Patienten mit unklaren Synkopen und struktureller/genetischer Herzerkrankung

### 1.4.6 Kardiale Desynchronisation

- Definition der interventrikulären und intraventrikulären Dyssynchronie
- Pathophysiologie und hämodynamische Auswirkungen des desynchronisierten kardialen Erregungsablaufs
- Diagnose der kardialen Desynchronisation: EKG-Kriterien, echokardiographische Messverfahren

## 1.5 Indikation zur permanenten und passageren Stimulation, zur ICD- und Resynchronisationstherapie

### 1.5.1 Indikation zur passageren Stimulation

- Bei medikamentös induzierten bradykarden Herzrhythmusstörungen, Bradykardien im Rahmen des akuten Myokard- (Hinterwand-)Infarktes, postoperativ nach Herzoperationen, nach AV-Knoten-Ablation, perioperativ bei extrakardialen Operationen sowie anderen extrakardialen Erkrankungen (z. B. Hirnödeme bei Schädel-Hirn-Trauma)

### 1.5.2 Indikationen zur permanenten Stimulation

- Anhand der Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie mit Darstellung der für die genannten Indikationen jeweils notwendigen Resultate diagnostischer Untersuchungen
- Einbeziehung der Indikationen zur kardialen Resynchronisationstherapie

### 1.5.3 Darstellung neuer sowie bisher noch unzureichend abgesicherter oder kontroverser Indikationen zur Schrittmacherstimulation, die in die aktuellen Leitlinien noch keinen Eingang gefunden haben (jeweils mit Darstellung pathophysiologischer Grundlagen und bisheriger klinischer Ergebnisse)

### 1.5.4 Übersicht über die Indikationen zur Implantation von Kardioverterdefibrillatoren (ICDs)

- Anhand der Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie mit Darstellung der für die genannten Indikationen jeweils notwendigen Resultate diagnostischer Untersuchungen
- Darstellung geräteübergreifender Indikationen:
  - Prophylaktische ICD-Therapie bei Patienten mit Herzschrittmacherindikation und entsprechender kardialer Risikokonstellation
  - Kombination der Resynchronisationstherapie mit einer ICD-Therapie
  - Verwendung von ICDs mit 2- bzw. 3-Kammer-Schrittmacherstimulation bei Patienten mit symptomatischer/prophylaktischer ICD-Indikation und bradykarden Herzrhythmusstörungen

## 1.6 Grundlagen der Elektrostimulation

- Wichtige physikalische Größen und Gesetze sowie deren Herleitung (Spannung, Strom, Impedanz, Ladung, Energie, Ohm-Gesetz etc.)
- Darstellung unterschiedlicher Batterietechniken und -charakteristika
  - Besonderheiten der Spannungs-/Impedanz-Entladekurven von LiJ-Batterien
  - Bestimmung des Austauschzeitpunktes (BOS, IRI, ERI, EOS)
- Komponenten, Materialien und Aufbau verschiedener Stimulationselektroden und Darstellung der jeweiligen Vor- und Nachteile/Risiken
- Unterschiede unipolarer/bipolarer Stimulation und Wahrnehmung

- Unterschiede anodaler/kathodaler Stimulation
- Bedeutung der einzelnen Komponenten der Schnittstelle Elektrode/Myokard für die Stimulation (Ladungsverbrauch) und Wahrnehmung sowie Erörterung verschiedener Konzepte zur Optimierung des Stimulationssystems
  - Darstellung der biophysikalischen Besonderheiten der Phasengrenze (Helmholtz-Schicht)
  - Bedeutung der Fibrosekapselbildung für Stimulation und Wahrnehmung
  - Bedeutung des Shuntstroms für den Ladungsverbrauch und die Stimulationsimpedanz
  - Einfluss einer mikroporösen Beschichtung und der geometrischen/elektrochemischen Oberfläche auf Impedanz und Reizschwelle
  - Einfluss eines Steroidreservoirs auf den Reizschwellenverlauf
  - Vorteile und Nachteile/Risiken von Hochimpedanzelektroden
- Grundgesetz der Elektrostimulation:
  - Definition und Darstellung der Bedeutung von Chronaxie und Rheobase
  - Berechnung des Ladungs-/Energieverbrauches
  - Bestimmung einer ausreichenden Sicherheitsschwelle mit der Chronaxie-Rheobase-Kurve
  - Intra-/Interelektrodenvergleich anhand der Chronaxie-Rheobase-Kurve
- Berechnung des Gesamtladungsverbrauchs und der Laufzeit

## 1.7 Technik der Schrittmacherimplantation und Komplikationen

### 1.7.1 Operationsvorbereitung

- Patientenaufklärung über
  - anästhesiologische, intra-, peri- und postoperative Risiken
  - Notwendigkeit regelmäßiger Nachkontrolle
  - mögliche SM-Fehlfunktionen und Störbeeinflussungen
  - evtl. berufliche Einschränkungen
- Wahl des Narkoseverfahrens
- Wahl des Implantationsortes:

Zugang von rechts/links pectoral/abdominal unter Beachtung von Beruf und Gewohnheiten des Patienten sowie von Begleiterkrankungen

### 1.7.2 Implantationstechnik

- Zugang über V. cephalica, durch Subklaviapunktion, epikardial (V. jugularis externa/interna)
- Sondenauswahl atrial, ventrikulär: Aktive/passive Fixierung, uni-/bipolar, Länge, Isolationsmaterial usw. (s. auch Kap. 1.6)
- Sondenplatzierung atrial, ventrikulär: Vorgehen, Lagekontrolle, Fehlpositionierungen und ihre Erkennung intraoperativ
- Besonderheiten bei der Platzierung von Elektroden an alternativen atrialen (Bachmann-Bündel, Koch-Dreieck) bzw. ventrikulären Positionen (RV-Ausflusstrakt, interventrikuläres Septum)
- Besonderheiten bei der Auswahl von Koronarsinuselektroden: Guidingsysteme, konventionelle Elektrodensteuerung, „Over-the-wire-Elektroden“
- Auswahl geeigneter linksventrikulärer Stimulationsorte bei transvenöser oder epikardialer Elektrodenplatzierung
- Diskussion der Vor- und Nachteile einer angiographischen und/oder elektrophysiologischen Diagnostik vor geplanter Implantation einer linksventrikulären Elektrode
- Besonderheiten der Schrittmacherimplantation im Kindesalter
- Tasche: Präparation, Fixierung von Sonde und Aggregat, ggf. lokale Antisepsis
- Messwerte intraoperativ:
  - Reizschwelle, intrinsische Signalamplitude, „slew-rate“, Stimulationsimpedanz
  - Prüfung der Fremdstimulation atrial/ventrikulär inklusive Phrenikusstimulationsschwelle bei linksventrikulärer Stimulation
  - EKG, Echokardiographie und hämodynamische Messwerte zur Bestimmung einer günstigen atrialen oder ventrikulären Elektrodenlage bei alternativen Stimulationsorten oder linksventrikulärer Stimulation

- Jeweils Darstellung der Bedeutung, der Messdurchführung und der Grenzwerte bei unterschiedlichen Sondensystemen und zugrunde liegender Rhythmusstörung
- Schrittmacheraggregatwechsel („Batteriewechsel“)

### 1.7.3 Komplikationen

Darstellung typischer Komplikationen mit Empfehlungen zur Vorbeugung und Behandlung

- Intraoperativ:
  - Asystolie, Kammerflimmern, Vorhofflimmern
  - Myokardperforation, -penetration
  - Pneumothorax, Hämatothorax, Luftembolie
  - Ungewollte linkskardiale Implantation
- Peri-/postoperativ
  - Taschenhämatom
  - Primäre und sekundäre Tascheninfektion
  - Primäre und sekundäre Infektion des gesamten Schrittmachersystems: Darstellung der Diagnostik, Vorgehen bei Infektion der Tasche und/oder der Sonde
  - Vorgehensweise zur Sondenextraktion entsprechend dem Kommentar der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie
  - Drucknekrose
  - Schmerzhaftes Schrittmachertasche
  - Sepsis, Endokarditis
  - Allergie, „zirkumskriptes Schrittmachererythem“
  - Stimulation von Zwerchfell oder Pektoralismuskulatur
  - Venenthrombose
  - Sondendislokation (Mikro-, Makrodislokation, Twiddler-Syndrom)
  - Spezielle Komplikationen bei linksventrikulären Elektroden

## 1.8 Gesetzliche Bestimmungen

### 1.8.1 Übersicht gesetzlicher Vorschriften

- Medizinproduktegesetz (MPG)
- Medizinprodukte-Betreiberverordnung (MPBetreibV)
- Gerätesicherheitsgesetz
- Röntgenverordnung (RöV)

- Richtlinien für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention
- CE-Zeichen
- Klinische Prüfungen ohne/mit CE-Zeichen
- Sachkunde

### 1.8.2 Für den Arzt in Zusammenhang mit Schrittmachern relevante Vorschriften im Einzelnen

- Bei der Inbetriebnahme und Benutzung von Medizinprodukten
  - EKG ohne/mit intrakardialer Ableitung, Programmiergeräte, Reizschwellenmessgeräte
  - Gerätebuch, Bestandsverzeichnis, Einweisung, Geräteverantwortlicher, Sachkunde
  - Sicherheitstechnische Kontrollen, Meldung von Vorkommnissen etc.
- Bei der Auswahl von Implantaten und Hilfsmitteln
  - CE-Zeichen, äußerstes Implantationsdatum (UBD), Wiederverwendung/Restertilisation
- Bei der Implantation
  - Räumlichkeiten, Hygienevorschriften, Strahlenschutz, Isolationschutz etc.

### 1.8.3 Für den Patienten relevante Vorschriften nach Schrittmacher-/ICD-Implantation

- Fahrerlaubnis beruflich/privat
- Anschnallpflicht

## 2 Stimulationsformen

### 2.1 Frequenzadaptive Stimulation

- Darstellung und Charakterisierung möglicher Parameter zur Frequenzadaptation
- Charakteristika und Besonderheiten der verfügbaren Sensoren mit Darstellung der möglichen Vor-/Nachteile und Fehlfunktionen sowie verfügbarer klinischer Daten und Studienergebnisse (Bewegungs-, QT-Zeit-, Atemminutenvolumen-, PEA-, VIP-Sensoren)
- Einteilung der Sensoren:
  - Physiologische/nichtphysiologische (Bewegungs-)Sensoren
  - Entsprechend der Reaktionszeit

- Entsprechend der Sensitivität und Spezifität in Bezug zur Belastungshöhe
- Kombinationen von Sensoren und Besonderheiten der verfügbaren Realisierungen
- Unterschied zwischen Steuerkette und (geschlossenen) Regelkreis
- Problematik der hämodynamischen Optimierung der frequenzadaptiven Stimulation

### 2.2 Hämodynamik der Schrittmacherstimulation

- Bedeutung der Vorhofkontraktion für ein optimales Schlagvolumen
- (AAI/DDD-Stimulation vs. VVI-Stimulation) in Ruhe und unter Belastung
  - Darstellung der Bedeutung der Vorhofkontraktion im Verlauf der Belastung und bei unterschiedlichen Stadien der Einschränkung der linksventrikulären Förderleistung
- Darstellung der Bedeutung eines optimalen AV-Intervalls bei DDD-Stimulation:
  - Quantitative Bedeutung in Ruhe und unter Belastung sowie in Relation etwa zum Herzfrequenzverhalten unter Belastung
  - Bestimmung des optimalen AV-Intervalls
  - Darstellung klinisch praktikabler Bestimmungsmethoden
- Bedeutung des Herzfrequenzanstieges für das Verhalten des Herzminutenvolumens unter Belastung
- Definition des Schrittmachersyndroms, Determinanten des „Schrittmachereffektes“ unter VVI-Stimulation (einschließlich Desynchronisationsarrhythmie unter Zweikammerstimulation):
  - Fehlender Vorhofbeitrag zur diastolischen Füllung
  - Asynchrone Ventrikelkontraktion
  - Trikuspidal-, Mitralinsuffizienz
  - Durch kardiale Mechanorezeptoren vermittelte vasodepressorische Reflexreaktionen (einschließlich erhöhter ANP-Freisetzung)
- Bedeutung der vorhofbeteiligenden Stimulation im Gegensatz zur Ventrikelstimulation für die Belastungsfähigkeit der Patienten, die Häufigkeit des Auftretens von Vorhofflimmern im Langzeitverlauf sowie für die Mortalität der Patienten nach Schrittmacherimplantation (jeweils Darstellung der aktuellen Datenlage und zurzeit noch laufender Studien)

higkeit der Patienten, die Häufigkeit des Auftretens von Vorhofflimmern im Langzeitverlauf sowie für die Mortalität der Patienten nach Schrittmacherimplantation (jeweils Darstellung der aktuellen Datenlage und zurzeit noch laufender Studien)

- Bedeutung der Vermeidung einer rechtsventrikulären Stimulation bei Patienten ohne (permanente) ventrikuläre Stimulationsnotwendigkeit (jeweils Darstellung der aktuellen Datenlage und zurzeit noch laufender Studien):
  - Vor- und Nachteile einer AAI(R)-Schrittmachertherapie bei Sinusknotenerkrankung
  - Vor- und Nachteile alternativer Konzepte zur Vermeidung der ventrikulären Stimulation (langes AV-Intervall, AV-Hysterese, AAI/DDD-Moduswechsel)
- Vor- und Nachteile alternativer ventrikulärer Stimulationsstrategien bei Patienten mit ventrikulärer Stimulationsnotwendigkeit: HIS-Bündelstimulation, RV-Ausflusstraktstimulation, Stimulation am intraventrikulären Septum, links- bzw. biventrikuläre Stimulation
- Bedeutung der Resynchronisationstherapie für die kardiale Pumpfunktion, Belastungsfähigkeit, Lebensqualität sowie Prognose von Patienten mit fortgeschrittener Linksherzinsuffizienz und ventrikulärer Desynchronisation (jeweils Darstellung der aktuellen Datenlage und zurzeit noch laufender Studien)

### 2.3 Systemauswahl

- Darstellung anhand der einzelnen Stimulationsformen (VVI/R, AAI/R, DDI/R, DDD/R, VDD) in Bezug zu den jeweiligen Indikationen (SKS, AVB, BAA, KSS, ZKE)
- Jeweils Erörterung der hämodynamischen, klinischen und elektrophysiologischen Aspekte der einzelnen Stimulationsformen und Darstellung der Indikationen und Kontraindikationen sowie ggf. notwendiger zusätzlicher Diagnostik (z. B. Ausschluss SKS bei VDD-Implantation)

- Erarbeitung eines Flussdiagramms zur Systemauswahl
- Darstellung spezieller Stimulationsformen (z. B. Frequenzanhebung bei Karotissinussyndrom/neurokardiogenen Synkopen, präventive atriale Stimulationsalgorithmen zur Vermeidung von Vorhofflimmern, Algorithmen zur Vermeidung unnötiger ventrikulärer Stimulation)

## 2.4 Zeitsteuerung von Herzschrittmachern

- Umrechnung Frequenzen in Zeitintervalle
- Markerkanal-Annotierungen (P, A, R, V)
- Zuordnung intrakardialer Ereignisse zum Oberflächen-EKG
- Fusion, Pseudofusion, Pseudopseudofusion
- Zeitintervalle
  - Bedeutung der Kenntnis der Zeitintervalle zur Interpretation des Schrittmacher-EKGs sowie zur Erkennung und Vermeidung von Schrittmacherfehlfunktionen
    - Frequenzen
      - Untere Grenzfrequenz (LRL), obere Grenzfrequenz (URL, MTR)
      - Sensorfrequenz (SIR), maximale Sensorfrequenz (MSR), Hysterese-frequenz (HRL)
    - Refraktärperioden
      - Atriale Refraktärperiode (ARP), ventrikuläre Refraktärperiode (VRP)
      - Postventrikuläre ARP (PVARP), totale ARP (TARP)
      - Atriales Blanking (AB), ventrikuläres Blanking (VB)
      - Postatriales Ventrikelblanking (PAVB), postventrikuläres Vorhofblanking (PVAB)
      - Vorzeitigkeitsfenster (WARAD u. a.)
  - AV-Intervalle
    - AV-Intervall (AVI), PV-Intervall (PVI)
    - Frequenzadaptives AV-Intervall, AV-Intervall-Hysterese (positiv, negativ)
    - VV-Intervall bei biventrikulärer Stimulation

- Steuerungsgrundlagen
  - Betriebsarten
    - AAI, VVI, DDI, DDD, sensorge-steuert
  - Steuerungsarten
    - Atriale (AA-)Steuerung, ventriku-läre (VV-)Steuerung
    - Kombinierte Steuerungen
  - Crosstalk
    - AV-Crosstalk, VA-Crosstalk
    - Sicherheitsstimulation/“safety-(window-)pacing“
    - VV-Crosstalk bei biventrikulärer Stimulation
  - Störerkennung
    - Störsammelperiode (NSP)
- T-Wellen-Sensing
- Grenzfrequenzverhalten
  - Obere Grenzfrequenz
    - Wenckebach-Verhalten, n:1-Block-Verhalten, Mode-Switch
  - Untere Grenzfrequenz
    - Frequenzhysterese, Suchhysterese, Frequenzabfallreaktion
- Tachykardieerkennung
  - Mode-Switch, Fallback, Vorhofflat-tererkennung (Lock-in-Schutz)
  - Schrittmacherbeteiligte Tachykardie-(PMT-)Algorithmen

## 3 Schrittmacherfehlfunktionen

### 3.1 Schrittmacherfehlfunktionen

Dargestellt anhand der möglichen unterschiedlichen Ursachenkomplexe, jeweils mit EKG-Beispielen (bzw. Röntgenbildern) und Empfehlungen zur Vorbeugung und Behandlung:

- Schrittmacheraggregat:
  - Hardware-, Softwarefehler, fehlerhafte Schaltungsentwicklung
- Sonden:
  - Kabelbruch, Isolationsdefekt, Diskonnektion, Vertauschung der Anschlüsse, Makro-, Mikrodislokation
- Programmierung:
  - Modus, Sensitivity, PVARP, Frequenzadaptationsparameter u. a.
- Kardiovaskuläre Ursachen (einschließlich iatrogenen Auslösemechanismen):
  - Rhythmusstörungen (supraventrikulär, ventrikulär), retrograde ventrikuloatriale Leitung, Reizschwellenveränderungen (z. B. nach Herz-

infarkt, bei Herzinsuffizienz, medikamentös)

- Externe Störbeeinflussung

## 3.2 Störbeeinflussung von Herzschrittmachern

### 3.2.1 Biologische Grundlagen/Auswirkungen einer Störbeeinflussung

Asystolie, Parasystolie, Myokardschäden, Störbetrieb, Schaltungsdefekte, Umprogrammierungen

### 3.2.2 Technische Grundlagen

- Beeinflussung durch
  - elektromagnetische Felder:
    - Darstellung der Einflüsse unterschiedlicher Felder (bis 50 Hz, Haushaltsgeräte; bis 30 MHz, 30–100 MHz, 100 MHz bis 2,5 GHz)
  - statische/dynamische Magnetfelder
  - direkten galvanischen Strom
  - ionisierende Strahlen
- Störschutzvorrichtungen und deren Realisierung
  - Abschirmung, Filter, Störbetrieb, uni-/bipolarer Betrieb
  - Studienergebnisse zur unterschiedlichen Störsicherheit existierender Schrittmachermodelle
  - Technische Grenzen der Störschutzoptimierung heutiger Schrittmacher
  - Empfehlungen zur optimalen Störschutzprogrammierung

### 3.2.3 Reale Störquellen und Empfehlungen zur Vermeidung einer Störbeeinflussung

- Funkeinrichtungen
  - Schnurlostelefone, Mobilfunk: C/D/E-Netz, Autotelefon, Amateurfunk, Funkfernsteuerungen, Radio-/Fernseher, Radar
- Artikelsicherungsanlagen, Metalldetektoren, elektromagnetische Störfelder (Kaufhäuser, Flughäfen, Personenschleusen u. a.)
- Haushaltsgeräte
  - Mikrowelle, Fön, Rasierer, Bohrmaschine, Lautsprechermagnete, Gartengeräte etc.
- Berufliche Gefahrenquellen
  - Elektroschweißgeräte, Trafos, Hochspannungsleitungen, Autoelektrik, Ei-

senbahn, Elektrotechnik, Elektrostahlöfen, Hebemagnete etc.

- Medizinische Geräte  
Bestrahlungen (Infrarot, Mikrowelle, Ultraschall, ionisierende), Elektrokauter, Kernspintomographie, Defibrillatoren, Dentalgeräte, Neurostimulatoren, Stoßwellenlithotripsie
- Militärische Einrichtungen  
Flugplätze, Radar etc.
- Empfehlungen zur Patientenaufklärung

### 3.3 Schrittmacherbeteiligte Tachykardien

- Definition des Begriffes „schritt-macherbeteiligte Tachykardie“ (PMT)
- Einteilung der PMTs
  - Schrittmacher-Reentrytachykardien  
Antidrome SM-Reentrytachykardien durch retrograde VA-Leitung  
Orthodrome SM-Reentrytachykardien (z. B. durch vertauschte Elektroden u. a.)
  - PMT bei atrialen Tachyarrhythmien
  - PMT bei Oversensing
  - PMT bei frequenzadaptiven Systemen durch  
Sensor-Oversensing  
positive Rückkoppelung  
falsche Programmierung
  - PMT durch Spezialalgorithmen (z. B. Sudden-rate-drop-Algorithmus)
  - PMT durch Schaltungsdefekt („SM-Rasen“, „runaway-pacemaker“)
- Darstellung jeweils mit EKG-Beispielen, Erläuterung der Ursachen und Erörterung der verschiedenen Algorithmen und Programmiermöglichkeiten zur Vermeidung der PMT
  - PMT-Algorithmen zur Erkennung und/oder Vermeidung von SM-Reentrytachykardien
  - Mode-Switch-Algorithmen  
Erörterung unterschiedlich realisierter Mode-Switch-Konzepte

## 4 Programmierung und Nachsorge

### 4.1 Diagnostische Schrittmacherfunktionen

- Telemetrische Messungen
  - Batterieimpedanz, Elektrodenimpedanz
  - Reizschwellenmessung, Signalamplitudenmessung
  - Markerkanal, intrakardiales EKG (IKEG)
  - Retrograder Leitungstest u. a.
- Speicherfunktionen
  - Ereigniszähler („counter“, „Statistiken“)
  - Herzfrequenzprofil 1–24 h („Holter“), Sensorsimulation
  - Frequenzhistogramm, AV-Histogramm, Sensorhistogramm u. a.
  - Amplitudenhistogramme, Elektrodenimpedanzhistogramm u. a.
  - Ereignisspeicher (Marker, IKEG)
- Neue Formen diagnostischer Schrittmacherfunktionen
  - Automatische Elektrodenintegritätsüberwachung
  - Automatische Reizschwellen-/Wahrnehmungsschwellenbestimmung mit/ohne Adaptation von Output/Sensitivität durch das Schrittmachersystem
  - Expertensysteme zur vereinfachten Auswertung von multiplen oder komplexen, im Schrittmacher abgelegten, diagnostischen Informationen
  - Transtelefonisches Monitoring/Remote-Monitoring
  - Patientenwarnsysteme

(Darstellung jeweils mit Beispielen und Hinweisen zur sinnvollen Anwendung)

### 4.2 Schrittmacher-EKG-Analyse

- Darstellung des normalen Schrittmacher-EKGs
  - Bei den einzelnen Stimulationsformen (AAI, VVI, DDI, VDD, DDD)
  - In verschiedenen EKG-Ableitungen (z. B. Erkennung linksventrikulärer Stimulation)

- Darstellung typischer Fehlfunktionen (ggf. bei verschiedenen Stimulationsformen)
  - Stimulationsstörungen (Exitblock, Capture-Defekt)
  - Wahrnehmungsstörungen (Undersensing, Oversensing)
  - Detektionsstörungen (refraktäre Wahrnehmung)
  - Unterschiedlich lange AV-Intervalle
  - Falsche Wahl der Betriebsart
  - Bedeutung der Steuerungsform (atrial, ventrikulär, kombiniert)
- Erarbeitung eines Schemas zur schrittweisen Schrittmacher-EKG-Analyse
- *Schrittmacher-EKG-Quiz:*
  - Selbstständige Bearbeitung von mindestens 20 Schrittmacher-EKGs durch die Teilnehmer und anschließende gemeinsame Diskussion der Lösungen

### 4.3 Nachsorge

#### 4.3.1 Organisation einer Schrittmacherambulanz

- Personelle Erfordernisse
- Erforderliche Geräte
- Dokumentation
- Qualitätssicherung

#### 4.3.2 Organisation einer strukturierten Nachsorge

- Durchführung einer Nachsorgeuntersuchung
  - Zwischenanamnese, Medikamentenanamnese
  - Orientierende kardiale Untersuchung
  - Untersuchung der Schrittmachertasche
  - EKG
  - Technische Funktionskontrolle
- Reguläre Kontrollen (mindestens alle 6 Monate)  
Mindestanforderungen an eine reguläre Kontrolle: Überprüfung von Spontanrhythmus, effektiver Stimulation, effektiver Wahrnehmung, Batteriekapazität, Messung der Elektrodenimpedanz, Abfrage diagnostischer Daten
- Erweiterte Kontrollen (ca. alle 1 bis maximal 2 Jahre)

- Indikationen für vorzeitige/häufigere erweiterte Kontrollen
- Zusätzliche Messungen bei der erweiterten Kontrolle: Reizschwelle, Sensingschwelle, Muskelinhibitionsschwelle, retrograder Leitungstest, Wenckebach-Punkt, Sensorverhalten, intrakardiales EKG, AV-Zeit-Optimierung, VV-Zeit-Optimierung bei biventrikulärer Stimulation, Optimierung präventiver Stimulationsalgorithmen zur Vermeidung intermittierenden Vorhofflimmerns, Abfrage aller diagnostischer Daten, ggf. Neueinstellung aller programmierbaren Parameter
- Zusätzliche Diagnostik
  - Langzeit-EKG, Eventrekorder, Thoraxröntgenaufnahme/-durchleuchtung, Echokardiographie, Belastungs-EKG
- Besonderheiten bei der Nachsorge biventrikulärer Systeme
  - Echokardiographie, kardiopulmonale Funktionstests

### 4.3.3 Leitfaden zur Messdurchführung

(Jeweils mit praxisbezogener Anleitung zur Messdurchführung und Bewertung der Ergebnisse)

- Kenntnis der zugrunde liegenden Rhythmusstörung (Indikation zur Implantation)
- Analyse des Spontanrhythmus
- Bestimmung der Batteriekapazität und Restlaufzeitabschätzung
- Messung der Elektrodenimpedanz
- Bestimmung der Reizschwelle und Programmierung von Amplitude und Impulsdauer
- Bestimmung der Sensingschwelle und der Muskelinhibitionsschwelle und Programmierung der Empfindlichkeit und Polarität
- Retrograder Leitungstest, Messung der Fernfeld-R-Wahrnehmung (bei Zweikammersystemen)
- Bestimmung des Wenckebach-Punktes [bei AAI(R)- und DDI(R)-Systemen]
- Überprüfung der frequenzadaptiven Funktion

## 4.4 Programmierung

- Programmierleitfaden [Darstellung der grundlegenden Programmierparameter unter Berücksichtigung möglicher unerwünschter Wirkungen und Interaktionen der Parameter untereinander, möglichst mit praxisbezogener Programmierempfehlung (Standardempfehlungen)]:
  - Betriebsart
  - Frequenzgrenzen
    - Untere Grenzfrequenz (LRL)
    - Obere Grenzfrequenz (URL, MTR)
    - Maximale Sensorfrequenz (MSR)
  - Frequenzadaptive Parameter bei nicht automatisch regulierenden Sensoren (Schwelle, Anstieg, Slope, Abfallzeit etc.)
  - AV-Intervall
    - Wahrgenommenes Intervall (PVI), stimuliertes Intervall (AVI)
    - Frequenzadaptives P/AVI, P/AVI-Hysterese
    - P/AVI-Optimierung (z. B. durch Echo-/Dopplermessung)
  - VV-Intervall bei biventrikulärer Stimulation
  - Frequenzhysterese
  - Gleitintervall („rate smoothing“, „flywheel“ etc.)
  - Frequenzabfallreaktion (Frequenzanhebung nach Hysterese, Suchhysterese)
  - Schutz vor Crosstalk und Fernfeldwahrnehmung
    - Sicherheitsstimulation („safety-window-pacing“)
    - Ventrikelblanking, Vorhofblanking
  - Schutz vor schrittmacherbeteiligten Tachykardien
    - PVARP
    - Algorithmen zum Schutz vor Schrittmacher-Reentrytachykardien: PVARP-Verlängerung, VES-synchrone Vorhofstimulation, spezielle PMT-Algorithmen s. Kap. 3.3 (schrittmacherbeteiligte Tachykardien)
    - Programmierung des automatischen Mode-Switchs
  - Nichtkonkurrierende atriale Stimulation
  - Amplitude, Impulsdauer, Empfindlichkeit, Polarität s. Kap. 4.3.3 (Leitfaden zur Messdurchführung)

- Programmierung von Spezialalgorithmen (AAI-DDD-Moduswechsel, präventive Stimulationsalgorithmen zur Unterdrückung von Vorhofflimmern u. a.)

## 4.5 Troubleshooting

- Praxisbezogene Falldarstellungen typischer Problemsituationen am EKG-Simulator und gemeinsame Erarbeitung der Lösungsansätze mit allen Teilnehmern

## 5 Erfolgskontrolle

Multiple-Choice-Prüfung: mindestens 30 Fragen