

B. Lemke  
B. Nowak  
D. Pfeiffer

## Leitlinien zur Herzschrittmachertherapie

Herausgegeben vom Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V.  
Bearbeitet im Auftrag der Kommission für Klinische Kardiologie  
R.H. Strasser, D. Andresen, F. de Haan, G. Ertl, H. Mudra,  
A. Osterspey, H.J. Trappe, K. Werdan, außerdem G. Arnold, H.M. Hoffmeister, E. Fleck und der Arbeitsgruppe Herzschrittmacher der DGK W. Hemmer, B. Nowak, C. Israel, L. Krämer, J. Neuzner, D. Pfeiffer, K. Rybak, A. Schuchert, U. Wiegand

Diese Leitlinie ist eine wissenschaftlich und systematisch erarbeitete Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V. (DGK), die den gegenwärtigen Erkenntnisstand zum Thema wiedergibt und allen behandelnden Ärzten und ihren Patienten die Entscheidungsfindung für eine angemessene Behandlung dieser spezifischen Krankheitssituation erleichtern soll. Diese Leitlinie ersetzt nicht die ärztliche Evaluation des individuellen Patienten und die Anpassung der Diagnostik und Therapie an die spezifische Situation des einzelnen Patienten.

### Empfehlungsgrad Definition

- I. Evidenz oder allgemeine Übereinkunft, dass eine Therapieform oder eine diagnostische Maßnahme effektiv, nützlich oder heilsam ist.
- II. Widersprüchliche Evidenz und/oder unterschiedliche Meinungen über den Nutzen/die Effektivität einer Therapieform oder einer diagnostischen Maßnahme.
- IIa. Evidenzen/Meinungen favorisieren den Nutzen bzw. die Effektivität einer Maßnahme.
- IIb. Nutzen/Effektivität einer Maßnahme ist weniger gut durch Evidenzen/Meinungen belegt.

### Evidenzniveau Definition

- A. Die Empfehlung wird mindestens durch zwei randomisierte Studien gestützt.
- B. Die Empfehlung wird durch eine randomisierte Studie und/oder eine Metaanalyse nicht-randomisierter Studien gestützt.
- C. Konsensus-Meinung von Experten, basierend auf Studien und klinischer Erfahrung.

Priv.-Doz.  
Dr. Bernd Lemke (✉)  
Klinikum Lüdenscheid  
Innere Klinik III  
Kardiologie und Angiologie  
Paulmannshöher Str. 14  
58515 Lüdenscheid  
Tel.: 023 51/46 33 26  
Fax: 023 51/46 32 75  
E-Mail: bernd.lemke@rub.de

Priv.-Doz. Dr. Bernd Nowak  
Cardioangiologisches Centrum  
Bethanien  
Im Prüfling 23  
60389 Frankfurt/Main

Tel.: 0 69/94 50 28-0  
Fax: 0 69/46 16 13  
E-Mail: b.nowak@ccb.de

Prof. Dr. Dietrich Pfeiffer  
Universität Leipzig  
Zentrum Innere Medizin  
Medizinische Klinik I  
Kardiologie und Angiologie  
Johannisallee 32  
04103 Leipzig  
Tel.: 03 41/971 26 50  
Fax: 03 41/971 26 59  
E-Mail:  
pfeid@medizin.uni.leipzig.de

- 1 Einführung
- 2 Indikation zur Schrittmachertherapie
  - 2.1 Erworbene atrioventrikuläre Leitungsstörungen
  - 2.2 Kongenitaler AV-Block
  - 2.3 Chronische bifaszikuläre/trifaszikuläre Leitungsstörungen
  - 2.4 Resynchronisationstherapie
  - 2.5 Akuter Myokardinfarkt mit atrioventrikulärer Leitungsstörung
  - 2.6 Bradyarrhythmie bei permanentem Vorhofflimmern
  - 2.7 Sinusknotensyndrom
  - 2.8 Präventive Stimulation bei paroxysmalen Vorhofftachyarrhythmien
  - 2.9 Karotissinus-Syndrom
  - 2.10 Vasovagale Synkope
  - 2.11 Bradykarde Rhythmusstörungen nach Herzoperationen
  - 2.12 Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie
  - 2.13 Long-QT-Syndrom
  - 2.14 Schlafapnoe-Syndrom
- 3 Systemwahl
  - 3.1 Ergebnisse der Schrittmachertherapie
    - 3.1.1 Mortalität
    - 3.1.2 Vorhofflimmern und Thromboembolien
    - 3.1.3 Herzinsuffizienz, Belastbarkeit und Lebensqualität
    - 3.1.4 Komplikationen
  - 3.2 Indikationsbezogene Systemwahl
    - 3.2.1 Atrioventrikuläre/faszikuläre Leitungsstörungen
    - 3.2.2 Bradyarrhythmie bei permanentem Vorhofflimmern
    - 3.2.3 Sinusknotensyndrom
    - 3.2.4 Karotissinussyndrom und vasovagale Synkope
    - 3.2.5 HOCM
- 4 Elektroden
- 5 Nachsorge
  - 5.1 Aufgaben der Schrittmacherkontrolle
  - 5.2 Apparative Voraussetzungen
  - 5.3 Durchführung der Schrittmacherkontrollen
    - 5.3.1 Inhalt der Nachsorge
    - 5.3.2 Bestimmung der Reizschwelle(n)
    - 5.3.3 Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle(n)
    - 5.3.4 Weitere Messungen

- 5.3.5 Individuelle Programmierung
  - 5.3.6 Aktivierung von Diagnostik- und Therapiefunktionen
  - 5.3.7 Zeitplan der Schrittmacherkontrollen
  - 5.3.8 Empfehlungen zur effektiven Zusammenarbeit
  - 6 Aggregatwechsel
  - 7 Explantation
  - 8 Temporäre Elektrostimulation
- Literatur

## Einführung

Die vorliegenden „Leitlinien zur Herzschrittmachertherapie“ sind eine Überarbeitung und Weiterentwicklung der zuletzt 1996 erschienenen Empfehlungen [1]. Hierin wurde der „2002 Guideline Update for Implantation of Cardiac Pacemakers and Antiarrhythmia Devices“ des American College of Cardiology (ACC), American Heart Association (AHA) und North American Society for Pacing and Electrophysiology, berücksichtigt [2].

Eine symptomatische Bradykardie impliziert in der Regel eine Schrittmachertherapie. Bei der Indikationsstellung ist vor allem die Frage zu stellen, ob die Symptomatik wirklich in kausalem Zusammenhang mit der dokumentierten oder vermuteten Bradykardie steht. Dabei ist auszuschließen, dass der Zustand passager ist (Ischämie, Medikamentenintoxikation, Elektrolytentgleisung, entzündliche Herzkrankung, Sepsis) und durch temporäre Stimulation und/oder Absetzen einer verzichtbaren chronotropen/dromotropen Medikation beseitigt werden kann.

Bei der Indikationsstellung zur Schrittmacherimplantation muss oft neben der jeweiligen Rhythmusstörung eine etwaige kardiale Grunderkrankung und hier insbesondere eine Einschränkung der linksventrikulären Pumpfunktion beachtet werden. Bei diesen Patienten wird die Indikation zur Schrittmachertherapie meist früher gestellt und findet bei den jeweiligen Indikationsgruppen entsprechende Erwähnung.

Diese Leitlinien beziehen sich auf den adäquaten Einsatz von Herzschrittmachern und nicht auf die allgemeine Behandlung von Rhythmusstörungen. Eine Klasse-I-Indikation für eine Schrittmacherimplantation schließt daher nicht aus, dass alternative Behandlungsmöglichkeiten existieren. Differenzialdiagnostisch sind andere kardiale und nichtkardiale Ursachen wie insbesondere tachykarde Rhythmusstörungen, neurologische Erkrankungen und ein Schlafapnoesyndrom auszuschließen.

## 2 Indikation zur Schrittmachertherapie

### 2.1 Erworbene atrioventrikuläre Leitungsstörungen

#### Indikation bei symptomatischen Patienten

##### Indikation (Klasse I)

- AV-Block III. [C] und II. Grades [B] [3], permanent oder intermittierend, ungeachtet der anatomischen Lokalisation, spontan oder infolge einer erforderlichen Medikation.

##### Indikation (Klasse IIb)

- AV-Block I. Grades mit deutlich verlängerter AV-Überleitung (>300 ms) bei Patienten mit linksventrikulärer Dysfunktion und symptomatischer Herzinsuffizienz, bei denen eine Verkürzung des AV-Intervalls zur hämodynamischen Verbesserung führt [C] (siehe auch Indikation zur Resynchronisationstherapie).

#### Prognostische Indikation bei asymptomatischen Patienten

##### Indikation (Klasse I)

- AV-Block III. Grades permanent [C].
- Häufige intermittierende AV-Blockierungen III. Grades oder II. Grades vom Mobitz Typ II, 2:1 oder höhergradig mit breiten QRS-Komplexen [B] [4].
- AV-Block III. Grades im Zusammenhang mit einer AV-Knoten-Ablation (HIS-Bündel-Ablation) [C].

##### Indikation (Klasse IIa)

- AV-Block III. Grades intermittierend, außerhalb von Schlafphasen oder bei eingeschränkter linksventrikulärer Funktion [C].
- AV-Block II. Grades bei Nachweis einer Blockierung im His-Purkinje-System [B] [5, 6].
- AV-Block II. Grades Mobitz Typ II, 2:1 oder höhergradig mit schmalen QRS-Komplexen bei persistierender Blockierung unter Belastung, insbesondere bei eingeschränkter linksventrikulärer Funktion [C].
- Patienten mit neuromuskulärer Erkrankung (Myotone Dystrophie, Kearns-Sayre-Syndrom, Schultergürtel-Dystrophie, Emery-Dreifus-Muskeldystrophie) und AV-Block II. Grades (Typ I und II) [B] [7–9].

##### Indikation (Klasse IIb)

- AV-Block III. Grades intermittierend, ohne die oben aufgeführten Kriterien [C].
- AV-Block II. Grades Mobitz Typ I (Wenckebach), bei älteren Patienten [B] oder bei eingeschränkter linksventrikulärer Funktion [C].

- Patienten mit neuromuskulärer Erkrankung und AV-Block I. Grades [B] [7–9].

### Kommentar

Beim **erworbenen AV-Block** gilt der Nachweis einer intra- oder infrahissären Blockierung als gesicherte prognostische Indikation. Hierzu kann **invasiv** ein His-Bündel-Elektrogramm abgeleitet werden. Für die Mehrzahl der Patienten kann der Gefährdungsgrad **nichtinvasiv** anhand der QRS-Breite festgelegt werden. Ein Ersatzrhythmus mit breitem Kammerkomplex muss nicht in jedem Fall einer distalen AV-Blockierung entsprechen. Dies gilt z.B. bei einem bereits vorbestehenden faszikulären Block. Demgegenüber entspricht ein Ersatzrhythmus mit schmalem Kammerkomplex meist einer proximalen und damit prognostisch günstigen Blockierung. Zusätzlich kann die Reaktion auf Atropin, Katecholamine, Belastung und Vagusreizung herangezogen werden.

In der klinischen Praxis wird bei Patienten mit **permanentem AV-Block III** in der Regel eine Schrittmachertherapie durchgeführt werden. In Einzelfällen kann bei asymptomatischen Patienten mit ausreichendem Ersatzrhythmus und Frequenzanstieg unter Belastung abgewartet werden. Beim **intermittierenden AV-Block** liegen meist AV-Überleitungsstörungen wechselnden Ausmaßes vor. Er kann jedoch auch unvorhergesehen mit einer lang andauernden Asystolie auftreten (**paroxysmaler AV-Block**). Tritt ein **höhergradiger AV-Block unter Belastung** auf, sollte vor einer Schrittmacherimplantation eine ischämische und damit potenziell reversible Genese ausgeschlossen werden.

Der **AV-Block II. Grades** bezieht sich auf stabilen Sinusrhythmus und nicht auf funktionelle Blockierung im Rahmen von Vorhoftachykardien. Der häufig auftretende **AV-Block II. Grades Mobitz Typ I (Wenckebach)** kann insbesondere bei Patienten in höherem Lebensalter (>70 Jahren) einer höhergradigen AV-Blockierung vorausgehen. Demgegenüber findet sich der gleiche Befund häufig bei jüngeren Patienten (<50 Jahren) als Ausdruck einer nicht behandlungsbedürftigen Vagotonie. Das gleiche gilt für einzelne Phasen von **AV-Blockierungen II. und III. Grades**, insbesondere nachts oder bei gleichzeitiger Zunahme der Sinus-Zyklus-Längen. Sie stellen bei asymptomatischen herzgesunden Patienten in der Regel keine prophylaktische Schrittmacherindikation dar. Die Prognose des isolierten **AV-Blocks I. Grades** ist gut.

Bei Patienten mit **Emery-Dreifus-Muskeldystrophie** und **Kearns-Sayre-Syndrom** kommt es regelhaft zur Ausbildung von AV-Leitungsstörungen, so dass bei diesen Erkrankungen eine frühzeitige Schrittmacherimplantation gerechtfertigt ist.

Bei Patienten mit **Schlafapnoe-Syndrom** kann es im Rahmen nächtlicher Hypoxien zu AV-Blockierungen kommen. Die prognostische Bedeutung dieser Bradykardien ist unklar. Daher unterliegt eine Schrittmacherindikation der Einzelfallentscheidung.

## ■ 2.2 Kongenitaler AV-Block

### Indikation (Klasse I)

- AV-Block III. und II. Grades bei symptomatischen Patienten [C].
- AV-Block III. und II. Grades bei asymptomatischen Patienten mit [B] [11, 12]
  - eingeschränkter LV-Funktion,
  - assoziiertem Herzfehler,
  - Herzfrequenz  $< 50 \text{ min}^{-1}$ , fehlender Frequenzanstieg unter Belastung oder Asystolien  $> 3 \text{ s}$ ,
  - Ersatzrhythmus mit verbreitertem Kammerkomplex,
  - gehäuften ventrikuläre Ektopien,
  - verlängertem QT-Intervall.

### Indikation (Klasse IIa)

- AV-Block III. und II. Grades bei asymptomatischen Patienten ohne die oben angeführten Kriterien [B] [13].

### Kommentar

In einer prospektiven Studie zum kongenitalen AV-Block III war das Risiko von Adams-Stokes-Anfällen und plötzlichem Herztod in jedem Alter und unabhängig von prognostischen Hinweisen erhöht, so dass von Michaëlsson et al. [13] eine prophylaktische Schrittmacherimplantation bei allen Patienten mit angeborenem AV-Block III empfohlen wurde. Bei abwartender Haltung sind jährliche Nachuntersuchungen durchzuführen, um auch milde Symptome und prognostisch ungünstige Kriterien rechtzeitig zu erfassen.

Eine eingeschränkte Belastbarkeit lässt sich hier insbesondere mit Belastungstests (Spiroergometrie) erfassen.

## ■ 2.3 Chronische bifaszikuläre/trifaszikuläre Leitungsstörungen

### Indikation (Klasse I)

- Bifaszikulärer Block mit intermittierendem totalen AV-Block (siehe atrioventrikuläre Leitungsstörungen) [C].
- Bifaszikulärer Block mit häufigen AV-Blockierungen II. Grades vom Mobitz Typ II, 2:1 oder höhergradig (siehe atrioventrikuläre Leitungsstörungen) [B] [4].
- Alternierender Schenkelblock [C].

### Indikation (Klasse IIa)

- Bifaszikulärer Block, bei Patienten mit Verdacht auf kardiale Synkopen, nach Ausschluss anderer Ursachen. Dies sind insbesondere ventrikuläre Tachyarrhythmien bei Patienten mit kardialer Grunderkrankung [B] [14–16].
- Nachweis einer deutlichen HV-Zeit-Verlängerung ( $\geq 100$  ms) oder infrahissären Blockierung unter kontinuierlicher Vorhofstimulation bei asymptomatischen Patienten im Rahmen einer elektrophysiologischen Untersuchung aus anderer Indikation [B] [17].

### Indikation (Klasse IIb)

- Patienten mit neuromuskulärer Erkrankung und faszikulärem Block unabhängig von Symptomen [B] [7–9].

### Kommentar

Bei Patienten mit Synkopen, bifaszikulärem Block und unauffälliger elektrophysiologischer Untersuchung konnte im Langzeitverlauf gezeigt werden, dass in 42% paroxysmale AV-Blockierungen und Asystolien auftraten [14]. Daher kann bei diesen Patienten mit bifaszikulärem Block, rezidivierenden Synkopen und unauffälligem elektrophysiologischem Befund auch eine primäre Schrittmacherimplantation gerechtfertigt sein. Alternativ kann ein implantierbarer Event Recorder zur Diagnosesicherung eingesetzt werden. Unter den bifaszikulären Blockierungen zeigt insbesondere die Kombination Rechtsschenkelblock mit linksposterioem Hemiblock eine erhöhte Inzidenz kompletter AV-Blockierungen, da der verbliebene linksanteriore Faszikel die geringste Stabilität aufweist. Der bifaszikuläre Block mit oder ohne AV-Block I. Grades stellt dennoch bei asymptomatischen Patienten keine Indikation zur prophylaktischen Schrittmacherimplantation dar.

## ■ 2.4 Resynchronisationstherapie

Patienten mit symptomatischer Herzinsuffizienz trotz optimaler medikamentöser Therapie mit einer Ejektionsfraktion  $\leq 35\%$ , einer linksventrikulären Dilatation  $\geq 55$  mm enddiastolisch und einer intraventrikulären Leitungsverzögerung.

### Indikation (Klasse I)

- NYHA-Stadium III/IV, Linksschenkelblock mit einer QRS-Breite  $> 150$  ms und Sinusrhythmus [A] [18–22].

### Indikation (Klasse IIa)

- NYHA-Stadium III/IV, Linksschenkelblock mit einer QRS-Breite von 120–150 ms und Sinusrhythmus [A] [20–24].
- NYHA-Stadium III/IV, Linksschenkelblock mit einer QRS-Breite  $> 150$  ms und Vorhofflimmern [C].

### Indikation (Klasse IIb)

- NYHA-Stadium III/IV und einer QRS-Breite  $> 120$  ms ohne Linksschenkelblock [B] [20–24].
- NYHA-Stadium III/IV und konventionelle Schrittmacherindikation mit erforderlicher rechtsventrikulärer Stimulation [C].
- NYHA-Stadium II, Linksschenkelblock mit einer QRS-Breite  $> 150$  ms und Sinusrhythmus [B] [25].

### Kommentar

Es wird auf das Positionspapier zur kardialen Resynchronisationstherapie verwiesen [26]. Neben der Breite des QRS-Komplexes spielt der echokardiographische Nachweis einer ventrikulären Dyssynchronie eine zunehmende Rolle bei der Indikationsstellung zur Resynchronisationstherapie. Bisher gibt es jedoch keinen Konsensus, welche echokardiographischen Parameter zur Quantifizierung der Asynchronie am besten geeignet sind.

Patienten mit Rechtsschenkelblock oder mit QRS-Verbreiterung ohne typisches Schenkelblockbild wurden nur in geringer Zahl in Studien zur Resynchronisationstherapie eingeschlossen. Daher ist der klinische Nutzen bei dieser Patientengruppe bislang weniger gut belegt. Bei diesen Patienten sollte der echokardiographische Nachweis einer ventrikulären Dyssynchronie erfolgen.

Die Implantation eines biventrikulären Schrittmachers sollte nicht bei Dekompensation sondern nach Stabilisierung erfolgen. Bei Patienten mit ischämischer Herzinsuffizienz sollte vor einer Resynchronisationstherapie die Möglichkeit zur Revaskularisation geprüft werden.

Zur Implantation links- oder biventrikulärer Systeme bei Patienten mit konventioneller Schrittmacherindikation, z. B. bei intermittierendem höhergradigem AV-Block, liegen derzeit keine Daten vor. Wenn jedoch bei einem herzinsuffizienten Patienten (NYHA III/IV) alle Kriterien (außer dem LSB) erfüllt sind (s. o.), kann die Implantation eines solchen Systems erwogen werden, um mögliche negative, hämodynamische Auswirkungen der ansonsten erforderlichen rechtsventrikulären Stimulation zu vermeiden. Bei allen Patienten zur Resynchronisationstherapie muss eine gleichzeitig bestehende Indikation zur prophylaktischen Defibrillatorimplantation geprüft werden.

## ■ 2.5 Akuter Myokardinfarkt mit atrioventrikulärer Leitungsstörung

### Indikation (Klasse I)

- AV-Block II. Grades Mobitz Typ II oder III. Grades, der mehr als 2 Wochen nach Infarktereignis besteht [C].

### Indikation (Klasse IIa)

- Transienter AV-Block III. oder II. Grades mit konsekutivem persistierendem Schenkelblock [B] [27, 28].

### Indikation (Klasse IIb)

- Vorbestehender Schenkelblock mit transientem AV-Block II. Grades Mobitz Typ II oder III. Grades [B] [27, 28].

### Kommentar

Durch den häufigen Einsatz reperfundierender Maßnahmen in der Akuttherapie des Myokardinfarkts sind bleibende atrioventrikuläre Leitungsstörungen seltener geworden. Bei Patienten mit inferiorem Infarkt kommt es in der Regel bereits innerhalb einer Woche zu einer Restitution der AV-Überleitung. Demgegenüber muss bei einem Vorderwandinfarkt häufiger mit einer bleibenden Schädigung des Erregungsleitungssystems gerechnet werden. Ein neu aufgetretener Schenkelblock und/oder AV-Block I. Grades stellt keine prophylaktische Schrittmacherindikation dar. Vor der Indikationsstellung zur Schrittmacherimplantation nach länger zurückliegendem Myokardinfarkt mit deutlich eingeschränkter LV-Funktion muss überlegt werden, ob eine ICD-Indikation besteht.

## ■ 2.6 Bradyarrhythmie bei permanentem Vorhofflimmern

### Indikation bei symptomatischen Patienten

#### Indikation (Klasse I)

- Vorhofflimmern mit langsamer Kammerfrequenz (z. B.  $< 40 \text{ min}^{-1}$ ) oder langen Pausen (z. B.  $> 3 \text{ s}$  tagsüber und  $> 4 \text{ s}$  nachts), spontan oder infolge einer erforderlichen Medikation, mit eindeutigen Zusammenhang zur klinischen Symptomatik, inklusive der symptomatischen chronotropen Inkompetenz [C].

#### Indikation (Klasse IIa)

- Vorhofflimmern mit langsamer Kammerfrequenz (z. B.  $< 40 \text{ min}^{-1}$ ) oder langen Pausen (z. B.  $> 3 \text{ s}$  tagsüber und  $> 4 \text{ s}$  nachts), spontan oder infolge einer erforderlichen Medikation, und vermutetem Zusammenhang zur klinischen Symptomatik [C].

## Prognostische Indikation bei asymptomatischen Patienten

### Indikation (Klasse I)

- Vorhofflimmern mit langsamer *regelmäßiger* Kammerfrequenz und breiten QRS-Komplexen [C].
- Im Zusammenhang mit einer geplanten AV-Knoten-Ablation [C].

### Indikation (Klasse IIa)

- Vorhofflimmern mit langsamer *unregelmäßiger* Kammerfrequenz ( $< 40 \text{ min}^{-1}$ ) oder langen Pausen ( $> 3 \text{ s}$  tagsüber und  $> 4 \text{ s}$  nachts) und breiten QRS-Komplexen [C].
- Vorhofflimmern mit anhaltend langsamer *regelmäßiger* Kammerfrequenz und schmalen QRS-Komplexen, insbesondere bei kardialer Grunderkrankung [C].

### Indikation (Klasse IIb)

- Vorhofflimmern mit chronischen Herzfrequenzen  $< 40 \text{ min}^{-1}$  oder längeren asystolischen Pausen ( $> 3\text{--}4 \text{ s}$ ) und schmalen QRS-Komplexen außerhalb von Schlafphasen, bei herzkranken Patienten mit eingeschränkter linksventrikulärer Funktion [C].

### Kommentar

Bei der Beurteilung der Kammerfrequenzen muss beachtet werden, dass sich die Angaben auf die Anzahl der QRS-Komplexe pro Minute beziehen. Hierbei können einzelne Intervalle auch einer niedrigeren Frequenz entsprechen. Eine Pausendauer tags bis 2,8 s und nachts bis 4 s gehören zum Normalbefund einer absoluten Arrhythmie bei Vorhofflimmern.

Bei Vorhofflimmern mit langsamer *regelmäßiger* Kammerfrequenz (im Allgemeinen Frequenzschwankungen  $< 10\%$ ) ist von einem totalen AV-Block, bei *unregelmäßiger* Kammerfrequenz von einer instabilen AV-nodalen Leitung auszugehen. Ein breiter QRS-Komplex weist auf eine distale Blockierung hin. In Analogie zu den atrioventrikulären Leitungsstörungen begründet dies bei asymptomatischen Patienten eine Klasse-I- bzw. Klasse-IIa-Indikation.

Vorhofflimmern kann auf ein Sinusknotensyndrom hinweisen, das erst nach Kardioversion diagnostizierbar wird. Neu aufgetretenes Vorhofflimmern sollte vor der Schrittmacherimplantation auf die Möglichkeit und Indikation zur Kardioversion überprüft werden.

## ■ 2.7 Sinusknotensyndrom

### Indikation (Klasse I)

- Sinusknotenfunktionsstörung (z. B. Herzfrequenz  $< 40 \text{ min}^{-1}$ , Pausen  $> 3 \text{ s}$ ), spontan oder infolge ei-

ner erforderlichen Medikation, mit eindeutigem Zusammenhang zur klinischen Symptomatik, inklusive der symptomatischen chronotropen Inkompetenz [C].

#### Indikation (Klasse IIa)

- Sinusknotenfunktionsstörung (z. B. Herzfrequenz  $<40 \text{ min}^{-1}$ , Pausen  $>3 \text{ s}$ ), spontan oder infolge einer erforderlichen Medikation mit vermutetem Zusammenhang zur klinischen Symptomatik [C].

#### Indikation (Klasse IIb)

- Chronische Herzfrequenzen  $<40 \text{ min}^{-1}$  oder längere asystolische Pausen ( $>3 \text{ s}$ ) außerhalb von Schlafphasen bei herzkranken Patienten mit eingeschränkter linksventrikulärer Funktion [C].

#### Kommentar

Die Schrittmacherindikation der Sinusknotenerkrankung ist symptomorientiert. Bei fraglicher Indikation ist eine abwartende Haltung gerechtfertigt.

Die symptomatische chronotrope Inkompetenz wird jetzt als eigenständiger Bestandteil der Sinusknotenerkrankung aufgeführt. Hierfür liegen unterschiedliche Definitionen vor. Als allgemein anerkannt gelten eine Maximalfrequenz  $<100\text{--}110 \text{ min}^{-1}$  oder eine Frequenz an der anaeroben Schwelle von  $<90 \text{ min}^{-1}$ .

Eine Sinusknotenerkrankung kann zu Synkopen führen. Im Rahmen der Synkopenagnostik kann eine elektrophysiologische Untersuchung indiziert sein. Sofern hierbei eine deutlich pathologische Sinusknotenerholungszeit nachgewiesen wird, ist eine Sinusknotenerkrankung als Ursache der Synkope möglich.

Sinusknotenfunktionsstörungen treten oft in Kombination mit paroxysmalem Vorhofflimmern als Bradykardie-Tachykardie-Syndrom auf. Nach spontaner Termination von Vorhofflimmerepisoden können symptomatische präautomatische Pausen auftreten.

Bei Ausdauersportlern werden häufig ausgeprägte vagotoniebedingte Sinusbradykardien mit Frequenzen  $<40 \text{ min}^{-1}$  dokumentiert. Eine Therapienotwendigkeit ist nur bei eindeutigen und persistierenden bradykardieassoziierten Symptomen zu erwägen. Niedrige Herzfrequenzen und Pausen bei asymptomatischen herzgesunden Patienten sind keine prophylaktischen Schrittmacherindikationen.

### ■ 2.8 Präventive Stimulation bei paroxysmalen Vorhoftachyarrhythmien

#### Indikation (Klasse I)

- Keine

#### Indikation (Klasse IIa)

- Hochsymptomatische, medikamentös refraktäre paroxysmale Vorhoftachyarrhythmien vor geplanter AV-Knoten-Ablation [C].

#### Indikation (Klasse IIb)

- Patienten mit medikamentös refraktären, bradykardieassoziierten paroxysmalen Vorhoftachyarrhythmien [C].

#### Kommentar

Für die präventive Stimulation bei refraktären paroxysmalen Vorhoftachyarrhythmien liegen bisher uneinheitliche Daten vor. Eine eigenständige Klasse-I-Indikation zur präventiven Stimulation ist derzeit nicht gegeben.

Bei Patienten, die eine konventionelle Schrittmacherindikation aufweisen, können Präventivalgorithmen erfolgreich sein. Die Identifikation von Therapierespondern ist Gegenstand aktueller Studien. Für die aktive Terminierung atrialer Tachykardien besteht keine primäre Schrittmacherindikation.

### ■ 2.9 Karotissinus-Syndrom

#### Indikation (Klasse I)

- Rezidivierende Synkopen, die in eindeutigem Zusammenhang mit einer Reizung des Karotissinus stehen und die durch Alltagsbewegungen (z. B. Drehen des Kopfes) auslösbar sind und dadurch zu einer Asystolie von  $>3 \text{ s}$  führen [C].

#### Indikation (Klasse IIa)

- Rezidivierende, anderweitig nicht erklärbare Synkopen ohne eindeutig auslösende Alltagsbewegungen, aber mit positivem Nachweis eines symptomatischen hypersensitiven Karotissinus-Reflexes (Pause  $>3 \text{ s}$ ) [C].

#### Kommentar

Ein hypersensitiver Karotissinus-Reflex (Pause  $>3 \text{ s}$ ) ohne spontane Symptomatik stellt keine Schrittmacherindikation dar. Dies gilt ebenso für uncharakteristische Symptome wie Schwindel, Benommenheit oder Verwirrheitszustände sowie für die rein vasodepressorische Form des hypersensitiven Karotissinus-Reflexes. Es wird empfohlen, die Karotissinusmassage sowohl im Liegen als auch im Stehen durchzuführen.

## ■ 2.10 Vasovagale Synkope

### Indikation (Klasse I)

- Keine [B] [16, 29].

### Indikation (Klasse IIa)

- Rezidivierende ( $\geq 5$ /Jahr) vasovagale Synkopen oder schwere synkopenbedingte Verletzungen bei Patienten über 40 Jahre mit kardiainhibitorischen Pausen  $> 3$  s, z.B. im Rahmen einer Kipptischuntersuchung, mit unzureichendem Ansprechen auf andere Maßnahmen [B] [16, 29].

### Indikation (Klasse IIb)

- Rezidivierende vasovagale Synkopen mit dokumentierter Bradykardie, z.B. im Rahmen einer Kipptischuntersuchung, mit unzureichendem Ansprechen auf andere Maßnahmen [C].

### Kommentar

Bei der Mehrzahl der Patienten mit vasovagalen Synkopen stehen Allgemeinmaßnahmen wie Vermeiden auslösender Trigger und Verhaltensregeln sowie ein Orthostasetraining im Vordergrund, bevor Medikamente zum Einsatz kommen.

## ■ 2.11 Bradykarde Rhythmusstörungen nach Herzoperationen

Der höhergradige AV-Block ist die überwiegende Indikation zur Schrittmacherimplantation nach Herzoperationen. Insbesondere nach Klappenchirurgie, am häufigsten Aortenklappen-, Trikuspidalklappenoperationen, und VSD-Verschluss, besteht das Risiko einer mechanischen Schädigung des Erregungsleitungssystems. Die Indikationsstellung orientiert sich dabei an den allgemeinen Leitlinien. Da postoperative Bradykardien reversibel sein können – dies gilt insbesondere für Sinusknotendysfunktionen – sollte mit einer Schrittmacherimplantation in der Regel zunächst etwa eine Woche abgewartet werden. Eine individuelle Verkürzung dieses Warteintervalls bis zur Schrittmacherimplantation kann unter Berücksichtigung der folgenden Faktoren vorgenommen werden: bereits präoperativ bestehende Überleitungsstörungen, ausgedehnte mechanische Schädigung des Erregungsleitungssystems zu erwarten (z.B. ausgedehntes Debridement bei Endokarditis), keine Hinweise für eine Erholung der Überleitung in den ersten postoperativen Tagen.

Für den AV-Block gibt es Hinweise, dass er wenig bis keine Rückbildungstendenz zeigt, wenn er innerhalb der ersten 24 postoperativen Stunden nach Aorten- oder Mitralklappenchirurgie auftritt und dann mehr als 48 h anhält.

Bei Patienten, die im postoperativen Verlauf intermittierende höhergradige AV-Blockierungen entwickeln, kann unter individueller Nutzen-/Risiko-Abwägung eine Schrittmacherimplantation erfolgen.

Nach rhythmuschirurgischen Operationen (z.B. MAZE-Techniken) treten häufig postoperativ Sinusknotenfunktionsstörungen auf. Wegen der hohen, wenn auch teilweise verzögerten, Remissionsrate ist die Indikation zur Schrittmacherimplantation hier zurückhaltend zu stellen.

AV-Blockierungen nach Herztransplantation sind eine Rarität. Bei Auftreten einer Sinusknotenfunktionsstörung sollte die Entscheidung über eine Schrittmacherimplantation möglichst erst nach Ablauf eines Monats gestellt werden.

## ■ 2.12 Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie

Bei Patienten mit hypertropher obstruktiver Kardiomyopathie (HOCM) kann unter AV-synchroner rechtsventrikulärer Stimulation eine Reduktion des linksventrikulären Ausflusstraktgradienten erreicht werden. Die stimulationsinduzierte ventrikuläre Desynchronisation wird neben anderen Mechanismen als Ursache für die Reduktion des LVOT-Gradienten angesehen. Zur Effektivität der Therapie liegen keine überzeugenden Daten aus randomisierten Studien vor. Es besteht ein wiederholt gesicherter Placeboeffekt der Schrittmachertherapie. Das eigentliche Therapieziel, die ausreichende Senkung des Ausflusstraktgradienten, wird in der Regel nicht erreicht und ein dauerhafter Therapieeffekt ist nicht vorhersehbar. Ein ausbleibender akuter hämodynamischer Effekt in einer invasiven Testung mittels temporärer AV-synchroner Stimulation identifiziert Patienten, die nicht profitieren. Ein positiver Effekt der Akuttestung ist aber kein Prädiktor für einen dauerhaften klinischen Erfolg der Schrittmachertherapie.

Die hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie stellt daher keine primäre Schrittmacherindikation dar. Ihr Einsatz kann als alternatives Behandlungsverfahren insbesondere bei älteren medikamentös refraktären Patienten angesehen werden, bei denen eine Myektomie oder eine transkoronare Ablation der Septumhypertrophie nicht in Frage kommt. Nach Alkohol-Injektion in einen Septalast (TASH), ist in etwa 10% der Patienten mittel- bis langfristig mit einer Schrittmacherpflichtigkeit zu rechnen.

Sofern eine Schrittmachertherapie bei HOCM durchgeführt wird, ist eine hämodynamische Kontrolle der Programmierung erforderlich. Diese muss neben der Quantifizierung der Reduktion des Ausflusstraktgradienten auch Parameter der diastolischen Ventrikelfunktion berücksichtigen.

### 2.13 Long-QT-Syndrom

Die Basistherapie des Long-QT-Syndroms besteht in adrenolytischen Maßnahmen durch  $\beta$ -Rezeptorenblocker oder chirurgischer Grenzstrangresektion. Die Schrittmachertherapie hat einen Stellenwert bei therapierefraktären Patienten, insbesondere wenn durch Bradykardien oder Pausen Torsades-de-pointes-Tachykardien induziert werden, und bei hämodynamisch wirksamer Bradykardie unter  $\beta$ -Blockertherapie. Die  $\beta$ -Blockertherapie muss auch nach Schrittmacherimplantation konsequent fortgeführt werden.

Hierbei ist ein vorhofbeteiligendes frequenzadaptives System mit Frequenzglättung einzusetzen. Bei der Programmierung muss eine ausreichend hohe Grundfrequenz ( $\geq 80$ /min) gewählt werden. Es müssen abrupte Frequenzabfälle mit Long-short-long-Sequenzen vermieden werden. Bei Patienten mit Long-QT-Syndrom kann auch eine gleichzeitige ICD-Indikation bestehen.

### 2.14 Schlafapnoe-Syndrom

Bei Patienten mit Schlafapnoe-Syndrom kann es im Rahmen nächtlicher Hypoxien zu Sinusbradykardien und Vorhofstillstand kommen. Die prognostische Bedeutung dieser Bradykardien ist unklar. Daher unterliegt eine Schrittmacherindikation der Einzelfallentscheidung. Im Vordergrund steht die CPAP-Beatmung. Sofern trotz suffizienter Therapie längere Bradykardien/Asystolien persistieren kann eine Schrittmachertherapie indiziert sein.

In einer Studie mit 15 Patienten mit Schlafapnoe-Syndrom, bei denen aufgrund eines Sinusknotensyndroms ein Zweikammerschrittmacher implantiert war, konnte durch eine atriale Overdrivestimulation die Anzahl der Apnoeepisoden reduziert werden. In einzelnen polysomnographischen Aufzeichnungen zeigte sich, dass eine Bradykardie dem Abfall der Atemfrequenz voranging. Für derartige Patienten wird derzeit untersucht, ob eine Verhinderung des Herzfrequenzabfalls durch Schrittmacherstimulation eine gesteigerte Vagotonie und damit die Reduktion der Atemfrequenz vermeiden kann.

Eine eigenständige Indikation zur Schrittmachertherapie des Schlafapnoe-Syndroms ist derzeit nicht gegeben.

## 3 Systemwahl

Bei der Systemwahl müssen die folgenden Punkte berücksichtigt werden: Art und Häufigkeit der zugrunde liegenden Rhythmusstörung, kardiale Grund-

Tab. 1 Revidierter NASPE/BPEG-Code

I Ort der	II Ort der	III Betriebsart	IV Frequenz- adaptation	V Multifokale Stimulation
0 = keine	0 = keine	0 = keine	0 = keine	0 = keine
A = Atrium	A = Atrium	T = getriggert	R = Rate modulation	A = Atrium
V = Ventrikel	V = Ventrikel	I = Inhibiert		V = Ventrikel
D = Dual A+V	D = Dual A+V	D = Dual T+I		D = Dual A+V
S = single (A oder V)	S = single (A oder V)	[Nur für Hersteller]		

erkrankung, Hämodynamik, Medikation und Alter, Allgemeinzustand und Prognose des Patienten.

Zur Charakterisierung der Schrittmachermodi wird der revidierte NASPE/BPEG-Code für die anti-bradykarde, frequenzadaptive und multifokale Stimulation verwendet [30]. Die ersten 3 Buchstaben charakterisieren die Stimulation, die Wahrnehmung und die Betriebsart. Der 4. Buchstabe charakterisiert das Vorhandensein einer Frequenzadaptation und der 5. Buchstabe bezieht sich auf eine biventrikuläre oder biatriale Stimulation.

### 3.1 Ergebnisse der Schrittmachertherapie

#### 3.1.1 Mortalität

Eine Senkung der Mortalität für alle Indikationen innerhalb der ersten 3 Jahre nach Schrittmacherimplantation durch eine Zweikammerstimulation ist bisher nicht belegt. Für Patienten mit Sinusknotenerkrankung kann eine Prognoseverbesserung (Gesamt mortalität und kardiovaskuläre Mortalität) bisher nur für die AAI-Stimulation gezeigt werden [B] [31].

In Subgruppenanalysen der CTOPP- und MOST-Studien profitierten vor allem Patienten unter 74 bzw. unter 75 Jahre von einer vorhofbeteiligenden Stimulation [B] [32, 33]. Subgruppenanalysen der CTOPP-Studie zeigen eine Abhängigkeit der Prognose von der Spontanfrequenz. Bei Patienten mit einer Spontanfrequenz  $\leq 60$ /min bestand unter vorhofbeteiligter Stimulation eine signifikant geringere Gesamtmortalität und kardiovaskuläre Mortalität als unter VVI-Stimulation [B] [34].

#### 3.1.2 Vorhofflimmern und Thromboembolien

Nach den Ergebnissen kleinerer prospektiv-randomisierter Studien [31, 35, 36] und dem Ergebnis zweier großer Studien mit Vorhofflimmern als sekundärem Endpunkt (CTOPP, MOST) reduziert die vorhofbeteiligende Stimulation im Vergleich zur reinen Ventri-

kelstimulation das Auftreten von Vorhofflimmern im Langzeitverlauf [A] [32, 33, 37].

Auch unter AV-sequenzieller Stimulation ist die Häufigkeit von Vorhofflimmern abhängig von dem Ausmaß der rechtsventrikulären Stimulation [B] [38].

Für Patienten mit Sinusknoten-Syndrom zeigte sich in einer kleinen randomisierten Studie im Vergleich zur AAI-Stimulation, ein erhöhtes Thromboembolierisiko unter VVI-Stimulation [39]. Dagegen konnte der Zusammenhang zwischen Schlaganfallhäufigkeit und Schrittmachertherapie in zwei großen prospektiv-randomisierten Studie nicht nachgewiesen werden. Die Art der Schrittmachertherapie spielt demnach bei der Verhinderung thromboembolischer Ereignisse nur eine untergeordnete Rolle [A] [32, 33].

Den größten Einfluss auf die Thromboembolierate hat die adäquate Antikoagulation.

### 3.1.3 Herzinsuffizienz, Belastbarkeit und Lebensqualität

Die in kleineren Studien nachgewiesenen Verbesserungen der Belastbarkeit und des subjektiven Befindens unter physiologischer Stimulation lassen sich nicht auf die Alltagssituation aller Schrittmacherpatienten übertragen.

Patienten mit häufiger Schrittmacherstimulation (CTOPP) sowie Patienten mit Sinusknoten-Syndrom (PASE, MOST) profitieren bezüglich der Belastbarkeit und Lebensqualität von einer vorhofbeteiligten Stimulation [B] [33, 36].

Rechtsventrikuläre Impulsabgabe bei erhaltener spontaner AV-Überleitung scheint die Morbidität durch Herzinsuffizienz zu erhöhen [38]. Durch die Resynchronisationstherapie konnte bei entsprechenden Patienten eine Verbesserung der Herzinsuffizienz, der Belastbarkeit, der Lebensqualität und der Überlebensrate nachgewiesen werden [A] [18, 20, 21, 22].

### 3.1.4 Komplikationen

Bei Verwendung einer Vorhofelektrode muss im Vergleich zur reinen Ventrikelstimulation mit einer höheren Sondenkomplikationsrate gerechnet werden [A] [32, 33, 39, 40].

## ■ 3.2 Indikationsbezogene Systemwahl

### 3.2.1 Atrioventrikuläre/faszikuläre Leitungsstörungen

Die vorhofbeteiligende Stimulation (DDD/VDD) ist im Vergleich zur VVI- und VVIR-Stimulation die hämodynamisch günstigere Stimulationsform [B] [1]. Voraussetzung für die VDD-Stimulation ist eine normale Sinusknotenfunktion. Insbesondere Patienten mit überwiegender Schrittmacherbedürftigkeit pro-

fitieren von der Zweikammerstimulation [I-B] [34]. Eine VVIR-Stimulation ist wegen des erhöhten Auftretens von Vorhofflimmern und höherer Mortalität nicht als gleichwertige Alternative zur Zweikammerstimulation zu empfehlen [IIb-B] [32, 37]. Ein VVI-System ohne Frequenzadaptation ist ungeeignet.

Bei Patienten mit atrioventrikulären/faszikulären Leitungsstörungen und paroxysmalen Vorhofftachyarrhythmien sollte bevorzugt ein DDD(R)-System implantiert werden. Dieses muss über Schutzmechanismen verfügen, die eine schnelle ventrikuläre Stimulation getriggert durch atriale Tachykardien verhindern (Mode-Switch, automatischer Moduswechsel von DDD in einen asynchronen DDI- oder VVI-Modus) [I-C]. Hierbei können Schrittmacher eingesetzt werden, die die Möglichkeit der präventiven Vorhofstimulation, z.B. durch spezielle Algorithmen, bieten. Die binodale Erkrankung sollte bevorzugt mit einem DDDR-System versorgt werden [I-C].

Liegt eine intermittierende Eigenüberleitung vor, sollte diese möglichst erhalten werden, da die rechtsventrikuläre Stimulation über eine Desynchronisation der Ventrikel zu einer hämodynamischen Verschlechterung führen kann [I-C]. Hierzu kann z.B. eine AV-Hysterese programmiert werden. Bei seltenen AV-Überleitungsstörungen (<5%) kann auch eine VVI-Stimulation mit niedriger Interventionsfrequenz (z.B. <45 min<sup>-1</sup>) erfolgen [I-B] [32, 34].

Bei herzinsuffizienten Patienten im NYHA-Stadium III/IV mit atrioventrikulärer Leitungsstörung, die – außer dem Linksschenkelblock – alle Kriterien für eine Resynchronisationstherapie erfüllen (Ejektionsfraktion ≤35%, linksventrikuläre Dilatation ≥55 mm enddiastolisch), kann die Implantation eines biventrikulären Systems erwogen werden, um mögliche negative, hämodynamische Auswirkungen der erforderlichen rechtsventrikulären Stimulation zu vermeiden [IIb-C].

### 3.2.2 Bradyarrhythmie bei permanentem Vorhofflimmern

Bei schrittmacherbedürftigem permanenten Vorhofflimmern ist ein VVI-Schrittmacher indiziert. Patienten mit einem unzureichenden Frequenzanstieg unter Belastung, sollten ein frequenzadaptives System (VVIR) erhalten [I-C].

### 3.2.3 Sinusknoten-Syndrom

Eine hämodynamische Verbesserung kann bei dem Sinusknoten-Syndrom nur durch eine Vorhofstimulation erreicht werden [B] [1]. Bei erhaltener AV-Überleitung ist die AAI-/AAIR-Stimulation die optimale Stimulationsform [I-B] [31]. Die jährliche Inzidenz therapiebedürftiger AV-Blockierungen ist bei sorgfältiger

Patientenselektion gering [B] [39, 41]. Hierbei müssen die folgenden Voraussetzungen beachtet werden:

- kein AV-Block I°,
- schmaler QRS-Komplex,
- Wenckebach-Punkt > 120/min,
- keine Medikamente mit leitungsverzögernder Wirkung,
- kein Karotissinus-Syndrom,
- keine Synkope als primäre Schrittmacherindikation.

Ist die AV-Überleitung gestört, sollte ein Zweikammerschrittmacher implantiert werden. Dies gilt auch für Patienten mit fortgeschrittener kardialer Grunderkrankung. Bei intermittierenden AV-Überleitungsstörungen sind Systeme optimal, die eine überwiegende Ventrikelstimulation vermeiden (AV-Hysterese, automatischer Moduswechsel). Bei seltenen paroxysmalen Pausen (<5%) kann eine VVI-Stimulation mit niedriger Interventionsfrequenz (<45 min<sup>-1</sup>) akzeptabel sein [I-B] [32, 34]. Bei chronotroper Inkompetenz ist ein frequenzadaptives System erforderlich.

Patienten mit Sinusknoten-Syndrom und paroxysmalen Vorhoftachyarrhythmien sollten wegen der Gefahr einer gestörten AV-Überleitung unter antiar-

rhythmischer Therapie bevorzugt einen Zweikammerschrittmacher erhalten. Diese muss über Schutzmechanismen verfügen, die eine ventrikuläre Triggerrung atrialer Tachykardien verhindern (DDI-Modus, DDD mit niedriger Trackingfrequenz, Mode-Switch) [I-C]. Im Einzelfall kann die Programmierung spezieller Algorithmen zur präventiven Vorhofstimulation hilfreich sein.

### 3.2.4 Karotissinus-Syndrom und vasovagale Synkope

Sofern eine Schrittmacherimplantation notwendig wird, sollte ein Zweikammerschrittmacher eingesetzt werden, da für die Aufrechterhaltung der Hämodynamik die AV-sequenzielle Stimulation mit Verhinderung einer retrograden Leitung erforderlich ist [I-B] [16].

Ein AAI-System ist ungeeignet, da neben der Inhibition des Sinusknotens auch ein intermittierender AV-Block auftreten kann.

### 3.2.5 HOCM

Die Schrittmachertherapie der HOCM erfordert einen DDD-/VDD-Schrittmacher. Damit ist durch eine

Tab. 2 Indikationsbezogene Schrittmachertherapie

Indikation	Klasse I	EG	Klasse II	a/b	Literatur
<b>Atrioventrikuläre/faszikuläre Leitungsstörung</b>					
■ Häufige Schrittmacherbedürftigkeit					
– normale Sinusknotenfunktion	DDD, VDD	B	VVIR	b	32, 34, 37
– binodale Erkrankung	DDDR	C	DDD	b	
■ Seltene AV-Überleitungsstörungen (<5%)	VVI < 45 min <sup>-1</sup>	B			32, 34, 37
	DDD-AV, VDD-AV	B			
■ Resynchronisationstherapie					
– Sinusrhythmus	DDD(R)V	A			18, 20, 21, 22
– Vorhofflimmern	VVI(R)V	C	DDD(R)V*		
<b>Sinusknoten-Syndrom</b>					
■ Häufige Schrittmacherbedürftigkeit					
– ohne AV- und intraventrikulärer Leitungsstörung	AAI(R)	B	DDD(R)-AV	a	31, 33, 36, 39
– mit AV- und intraventrikulärer Leitungsstörung	DDD(R)-AV	B			
■ Seltene paroxysmale Pausen (<5%)	DDD-AV	B	AAI	b	32, 34
	VVI < 45 min <sup>-1</sup>	B			
<b>Bradyarrhythmie bei permanentem Vorhofflimmern</b>					
	VVI(R)	C			
<b>Karotissinus-Syndrom, vasovagale Synkope</b>					
	DDD (+Spezialalgorithmen)	B			16

EG=Evidenzgrad, AV=AV-überleitungserhaltende Programmierung oder Algorithmen (AV-Hysterese, DDD-AAI-Moduswechsel u. a.), \*=sofern ein Erhalt des Sinusrhythmus möglich erscheint, (R)=optional programmierbar bei chronotroper Inkompetenz.

Bei Patienten mit paroxysmalen Vorhoftachyarrhythmien muss ein Zweikammersystem über Schutzmechanismen verfügen, die eine schnelle ventrikuläre Stimulation, getriggert durch atriale Tachykardien, verhindern.

Bei der Implantation eines AAI-Systems müssen die folgende Voraussetzungen beachtet werden: kein AV-Block I. Grader, schmaler QRS-Komplex, Wenckebach-Punkt >120 min<sup>-1</sup>, keine Medikamente mit leitungsverzögernder Wirkung, kein Karotissinus-Syndrom, keine Synkope als primäre Schrittmacherindikation.

kurze AV-Zeit eine vollständige AV-synchrone ventrikuläre Präexzitation möglich.

#### 4 Elektroden

Im Vorhof sollten bipolare Elektroden implantiert werden [I-B] [42, 43]. Hierdurch können ausreichend empfindliche Wahrnehmungseinstellungen wie zur Erkennung von atrialen Arrhythmien erforderlich programmiert werden. Gleichzeitig wird ein besserer Schutz vor Störsignalen erzielt.

Im Ventrikel können sowohl unipolare als auch bipolare Elektroden implantiert werden [I-B] [44, 45]. Beim Einsatz unipolarer Ventrikelektroden muss bei der Implantation auf hohe Signalamplituden (möglichst  $>10$  mV) geachtet werden. Damit kann die ventrikuläre Wahrnehmungsschwelle ausreichend hoch programmiert werden ( $\geq 5$  mV).

Als Argumente für unipolare Ventrikelektroden werden angeführt: weniger Elektrodendefekte, die Möglichkeit der Elektrodenreparatur bei Beschädigungen im Konnektorbereich und die etwas geringeren Kosten. Bipolare Elektroden bieten auch im Ventrikel einen wirkungsvollen Schutz vor Störsignalen, zudem setzen manche Schrittmacherfunktionen bipolare Elektroden voraus. Fortgeschrittenes Patientenalter und kardiale Grunderkrankung können niedrigere intrinsische Signalamplituden zur Folge haben. Hier kann der Einsatz bipolarer Elektroden von Vorteil sein.

Bei der Fixation der Elektroden stehen aktiv und passiv fixierende Elektroden zur Verfügung. Vorteil der aktiven Fixierung ist die freie Wahl der Implantationsposition, nicht nur im Vorhof, sondern auch in der Kammer. Nach Implantation von Schraubelektroden, insbesondere im lateralen Vorhof und unter weiter bestehender effektiver Antikoagulation sind verzögert auftretende Perikardtamponaden beschrieben.

#### 5 Nachsorge

Schrittmachersysteme sind durch die Einführung und ständige Weiterentwicklung von Diagnostik- und Therapieoptionen in den letzten Jahren zunehmend komplexer geworden. Die Schrittmacherkontrolle und die optimale Führung von Patienten mit Herzschrittmachersystemen stellen daher an den nachbetreuenden Arzt zunehmende Anforderungen.

#### ■ 5.1 Aufgaben der Schrittmacherkontrolle

- Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Systems
- Erkennen und Beheben von Komplikationen bzw. Fehlfunktionen
- Verlängerung der Laufzeit des Schrittmachers
- Festlegung des optimalen Austauschzeitpunktes eines Systems
- Individuelle Optimierung der programmierbaren Parameter
- Anpassung der zur Verfügung stehenden Diagnostik- und Therapieoptionen
- Entscheidung über erforderliche Aufrüstung eines Schrittmachersystems (Zweikammer-, CRT-System, Defibrillator).

Eine Schrittmacherkontrolle erfolgt mit dem für das jeweilige Aggregat bestimmten Programmiergerät des Herstellers. Eine Schrittmacherprüfung allein mittels Magnet-Auflage und Messung der Stimulationsfrequenz bzw. Impulsdauer ist nur im Notfall zur orientierenden Überprüfung von Batteriestatus und Effektivität der Stimulation angezeigt und ersetzt nicht die komplette Schrittmacherkontrolle.

#### ■ 5.2 Apparative Voraussetzungen

Schrittmacherkontrollierende Einrichtungen müssen neben der erforderlichen Sachkunde über folgende apparative Voraussetzungen verfügen:

- Programmiergerät für das zu kontrollierende Aggregat,
- ein zur Schrittmacherkontrolle geeignetes EKG-Gerät,
- Testmagnet,
- Notfallausrüstung zur kardiopulmonalen Reanimation, einschließlich Defibrillator.

Zur Kontrolle komplexer Schrittmachersysteme und zum Management von Problemfällen und Fehlfunktion sollten darüber hinaus verfügbar sein:

- Belastungs-EKG/Laufband,
- Langzeit-EKG mit Schrittmachererkennung,
- (Echokardiographiegerät),
- (Röntgenanlage).

#### ■ 5.3 Durchführung der Schrittmacherkontrollen

##### 5.3.1 Inhalt der Nachsorge

###### Anamnese

- Medikation
- Synkopen
- Dyspnoe

- Herzklopfen
- Angina pectoris
- Belastungsfähigkeit
- Zwerchfellzucken
- Muskelstimulation
- Anzeichen für Schrittmachersyndrom.

### Körperliche Untersuchung

Minimum:

- Inspektion der Schrittmachertasche
- Blutdruck
- Zeichen der Herzinsuffizienz.

EKG (mindestens 3-kanalig), ggf. Magnet-EKG

### Schrittmacherabfrage

- Batteriestatus
- Elektrodenimpedanz
- Programmierte Parameter
- Diagnostikdaten.

### Überprüfung des Eigenrhythmus

Insbesondere Überprüfung auf neu aufgetretene Rhythmusstörungen (z. B. AV-Blockierungen, Vorhofflimmern) sowie Überprüfung der Schrittmacherabhängigkeit (Ruhefrequenz  $< 40 \text{ min}^{-1}$ ).

#### 5.3.2 Bestimmung der Reizschwelle(n)

Die Verfahren der Reizschwellenprüfung sind modellgebunden vorgegeben. Aufgrund des natürlichen Reizschwellenverlaufs ist, abhängig vom verwendeten Sondentyp, mit einem passageren Anstieg der Reizschwelle innerhalb der ersten Wochen nach Implantation zu rechnen. In diesem Zeitraum ist insbesondere bei schrittmacherabhängigen Patienten ggf. ein größerer Sicherheitsabstand erforderlich. Die endgültige Einstellung mit dem Ziel der Energieeinsparung und konsekutiven Laufzeitverlängerung sollte dann nach 3, spätestens 6 Monaten erfolgen. Als ausreichender Sicherheitsabstand wird die Verdoppelung der gemessenen Reizschwellen-Amplitude angesehen. Auf die Sicherheitsprogrammierung ist bei permanent schrittmacherabhängigen Patienten besonders zu achten.

#### 5.3.3 Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle(n)

Erfahrungsgemäß ist eine falsche Programmierung der Wahrnehmungsempfindlichkeit eine der häufigsten Ursachen von Schrittmacherfehlfunktionen. Zur korrekten Einstellung ist eine Messung der Wahrnehmungsschwelle(n), bei unipolarer Wahrnehmungskonfiguration auch eine Messung der Muskelsignalschwelle erforderlich. Allgemein wird eine Empfindlichkeitseinstellung von 30–50% der gemessenen Wahrnehmungsschwelle empfohlen, solange

dieser Wert noch oberhalb der gemessenen Muskelsignalschwelle liegt.

■ **Atriale Wahrnehmung** Bei den heute meist verwendeten bipolaren Vorhofelektroden sollte die Wahrnehmungsprogrammierung das Erkennen von Vorhofflimmern berücksichtigen, um eine korrekte Mode-Switch-Funktion zu ermöglichen. Hierfür ist in der Regel eine Empfindlichkeit von kleiner als 1,0 mV erforderlich. Bei Werten unter 0,5 mV kann jedoch auch bei bipolaren Elektroden eine Muskelsignalwahrnehmung auftreten. Bei unipolaren Elektroden sind dagegen Werte unter 1,0 mV wegen einer hohen Wahrscheinlichkeit von Muskelsignalwahrnehmung nicht zu empfehlen. Bei VDD-Systemen mit einer Einzelelektrode wird die maximale Empfindlichkeit, bei der kein Oversensing nachweisbar ist, in der Regel 0,1 bis 0,3 mV als zu programmierende Empfindlichkeit empfohlen.

■ **Ventrikuläre Wahrnehmung** Bei unipolarer Wahrnehmungskonfiguration ist bei programmierten Empfindlichkeiten von weniger als 4 bis 5 mV grundsätzlich mit einer Störsignalbeeinflussung zu rechnen. Bei permanent schrittmacherabhängigen Patienten mit unipolarer Wahrnehmungskonfiguration ist deshalb eine Einstellung von möglichst nicht unter 5 mV zu empfehlen, wobei ein Undersensing von ventrikulären Extrasystolen z.B. mittels Langzeit-EKG ausgeschlossen werden sollte.

#### 5.3.4 Weitere Messungen

Abhängig von dem verwendeten Schrittmachersystem und der Rhythmussituation des Patienten sind weitere Messungen erforderlich:

- retrograde Leitungszeit,
- Fernfeldwahrnehmung der Vorhofsonde,
- Wenckebach-Punkt,
- T-Wellen-Amplitude,
- evoziertes Potenzial.

#### 5.3.5 Individuelle Programmierung

In Abhängigkeit von der klinischen und rhythmologischen Situation des Patienten und dem verwendeten Schrittmachersystem sind folgende Parameter anzupassen bzw. zu optimieren:

- Betriebsart
- Frequenzgrenzen
- AV-Intervall, LV/RV-Intervall
- Ausblendzeiten
- Refraktärzeiten
- Schutzoptionen vor schrittmacherbeteiligten Tachykardien.

Zur Optimierung des AV-Intervalles sowie des LV/RV-Intervalles müssen ggf. zusätzliche Untersuchungen, z. B. eine Echokardiographie, hinzugezogen werden. Für eine Optimierung der frequenzadaptiven Funktion können Belastungsuntersuchungen notwendig sein.

### 5.3.6 Aktivierung von Diagnostik- und Therapiefunktionen

■ **Diagnostikfunktionen** Schrittmacher-Diagnostikfunktionen sind ein wichtiger Bestandteil der Schrittmachernachsorge. Diese Funktionen sollten aktiviert und bei der Schrittmacherkontrolle sorgfältig analysiert werden. Insbesondere bei komplexen Arrhythmien sollten Aggregate mit umfangreichen Diagnostikfunktionen zum Einsatz kommen. Hierbei spielt die Ereignisspeicherung in Form von Elektrogrammen eine wesentliche Rolle. Daneben ist der Langzeitverlauf von Messwerten wie Elektrodenimpedanz, Wahrnehmungs- und Reizschwelle wichtig für die frühzeitige Erkennung von Elektrodenproblemen. Hier ist die Wiedergabe dieser Daten als sog. Trend-Histogramm hilfreich.

Symptome der Patienten, die mit der Kontrolle der Schrittmacherfunktion allein nicht zu klären sind, können im Rahmen einer intermittierenden Schrittmacher-Fehlfunktion oder im Rahmen von Herzrhythmusstörungen der Patienten auftreten. Über Schrittmacher-Diagnostikfunktionen kann ein Großteil dieser Symptome ursächlich geklärt oder ein Zusammenhang mit Arrhythmien/Schrittmacher-Fehlfunktionen nachgewiesen, bzw. ausgeschlossen werden. Dies kann wichtige Konsequenzen beinhalten, z. B. Antikoagulation bei anhaltenden Episoden von Vorhofflimmern, weitere Diagnostik bei nicht-anhaltenden ventrikulären Tachykardien.

■ **Therapieoptionen** Allgemeine, in den meisten Schrittmachermodellen verfügbare Funktionen wie Hystereseoptionen, Algorithmen zur Verhinderung schrittmacherbeteiligter Tachykardien, Mode-Switch-Algorithmen usw. sollten – wo sinnvoll – unter Beachtung ihrer Interaktion mit anderen Parametern wie Wahrnehmungsempfindlichkeit, Ausblend- und Refraktärzeiten aktiviert werden.

In Abhängigkeit vom Schrittmachermodell existieren darüber hinaus eine Reihe von Therapieoptionen für bestimmte patientenindividuelle Situationen. Eine Verwendung dieser Therapien setzt eine genaue Kenntnis der Funktionsweise inklusive der möglichen unerwünschten Wirkungen voraus, und sollte deshalb nur gezielt erfolgen. Spezielle Therapieoptionen existieren u. a. für:

■ Algorithmen zur Sicherstellung einer vollständigen ventrikulären Stimulation

- Algorithmen zur Vermeidung ventrikulärer Stimulation
- Reaktion auf plötzlichen Frequenzabfall
- Algorithmen zur präventiven Vorhoffstimulation
- Algorithmen zur Terminierung tachykarder Vorhoffrhythmen.

### 5.3.7 Zeitplan der Schrittmacherkontrollen

Die Schrittmachernachsorge beginnt mit der individuellen Programmierung nach der Implantation und vor Entlassung des Patienten. Spätestens zu diesem Zeitpunkt ist ein ausführliches Informationsgespräch mit dem Patienten zu führen. Darüber hinaus ist dem Patienten eine schriftliche Information mit notwendigen Verhaltensanweisungen sowie ein Schrittmacherausweis auszuhändigen. Hierbei sind die gesetzlichen Bestimmungen (§10 MPBetreibV) zu beachten. In dem Schrittmacherausweis sind jeweils die wesentlichen Ergebnisse der Kontrolluntersuchungen zu vermerken.

Die 2. Kontrolle erfolgt bei komplikationslosem Verlauf nach etwa 4 Wochen mit Messung aller Parameter und Überprüfung der Wundverhältnisse. Spätestens 3–6 Monate nach Implantation sollte die Endeinstellung mit Optimierung der Stimulationsparameter zur Reduktion der Stimulationsenergie vorgenommen werden, da nach diesem Zeitraum von einer Stabilisierung der Reizschwelle ausgegangen werden kann. Weitere planmäßige Kontrollen erfolgen in der Regel in Abständen von 6–12 Monaten unabhängig vom Aggregattyp. Kürzere Kontrollabstände (3 Monate und kürzer) sind bei baldigem Erwarten des Austauschzeitpunkts oder bei instabilen Messwerten, insbesondere bei schrittmacherabhängigen Patienten angezeigt. Außerplanmäßige Kontrollen sind nach chirurgischen Eingriffen mit Elektrokauter, nach Defibrillation, nach versehentlichen MRT-Untersuchungen, nach Bestrahlungstherapien, nach akuten kardialen Ereignissen, neu aufgetretenen Rhythmusstörungen oder Synkopen sowie bei jeglichem Verdacht auf Schrittmacherfehlfunktion erforderlich. Bei chronischen Infektionen/Sepsis ist die Möglichkeit einer Infektion des Schrittmachersystems zu bedenken.

Bei epimyokardialen Systemen empfiehlt sich generell ein 3-monatiges Kontrollintervall.

### 5.3.8 Empfehlung zur effektiven Zusammenarbeit zwischen implantierendem Zentrum und ambulanter Nachsorge

Für die Nachsorge von Schrittmacherpatienten ist eine gegenseitige Information über alle durchgeführten Maßnahmen zwischen implantierender Einrichtung und ambulanter Nachsorge unerlässlich und wird im

Schrittmacherausweis vermerkt. Die implantierende Einrichtung erstellt einen Krankheitsbericht mit detaillierter Beschreibung der Indikation zur Implantation und des Implantationsverlaufs sowie eine Aufstellung mit Bezeichnung des implantierten Schrittmachers und der Elektroden, deren Funktionsweise, der aktuell programmierten Parameter und der Austauschkriterien.

## 6 Aggregatwechsel

Vor einem Aggregatwechsel sind die folgenden Punkte zu beachten:

- Welche Schrittmacherindikation liegt zugrunde, liegen neue Arrhythmien vor?
- Sind die implantierten Elektroden mit dem neu zu implantierenden Aggregat kompatibel, falls nicht, welche Adapter sind erforderlich?
- Ist die Funktion der implantierten Elektroden normal?
- Falls neue Elektroden implantiert werden müssen, welcher Zugang?
- Ist eine Umrüstung auf einen anderen Aggregat-typ erforderlich?
- Liegt ein ausreichender Eigenrhythmus vor, ist ein passagerer Schrittmacher erforderlich?

## 7 Explantation

Eine Aggregatexplantation kann z.B. bei Tascheninfektion oder -perforation erforderlich werden. Daneben kann sich anlässlich eines Aggregatwechsels die Frage stellen, ob der Patient überhaupt noch einer weiteren Schrittmachertherapie bedarf, oder ob eine Explantation erfolgen sollte [46]. In der Regel ist die Indikation zur Explantation ohne Neuimplantation wegen Wegfalls der Schrittmacherindikation zurückhaltend zu stellen, da intermittierende symptomatische Bradykardien bei bestehender Schrittmacherstimulation nur schwierig auszuschließen sind. Einzelfallentscheidungen unter Hinzuziehung aller verfügbaren Vorinformationen, insbesondere der initialen Schrittmacherindikation sind jedoch möglich. Ein Belassen eines Schrittmachers mit erschöpfter Batterie ist auch bei Wegfall der Schrittmacherindikation nur bei einem Vorhofschrirtmacher möglich, bei einem Ventrikel- oder Zweikammerschrittmacher in der Regel jedoch nicht akzeptabel, da die technische Funktion eines Schrittmacheraggregats nach Überschreiten des Austauschzeitpunkts nicht mehr definiert ist.

Bezüglich der Explantation von Elektroden wird auf den Kommentar zu den NASPE-Empfehlungen

zur Entfernung von permanent implantierten, transvenösen Herzschrittmacher- und Defibrillatorsonden verwiesen [47].

## 8 Temporäre Elektrostimulation

Für eine temporäre Elektrostimulation des Herzens liegt eine therapeutische Indikation vor, wenn bei einer voraussichtlich reversiblen Bradykardie oder Asystolie eine zeitlich befristete Abhängigkeit von einem Herzschrittmacher aus hämodynamischen oder prognostischen Gründen besteht oder wenn eine Notfallsituation unklarer Ursache eine rasche Stabilisierung der Herzfrequenz erfordert.

Diese Indikation ist gegeben:

- beim akuten Myokardinfarkt mit AV-Block II. Grades Mobitz Typ II, 2:1 oder höhergradig oder AV-Block III. Grades, alternierendem Faszikelblock oder progredientem bifaszikulären Block,
- als Überbrückung bei symptomatischen bradykarden Rhythmusstörungen bis zur Implantation eines permanenten Schrittmachersystems,
- zur Terminierung von paroxysmalen Tachykardien,
- während der Behandlung einer Septikämie (z.B. bei Sepsis, nach Aggregat- und/oder Sondenexplantation bei Systeminfektionen eines stimulationsabhängigen Patienten),
- bei Endo- oder Myokarditis (z.B. Lyme-Borreliose),
- im Rahmen von Katheterablationen (z.B. bei Ablation von AV-Knotentachykardien, fokalen Tachykardien aus dem paranodalen oder parahisären Septum),
- bei akuten Intoxikationen mit konsekutiven Bradyarrhythmien,
- nach kardiochirurgischen Eingriffen (z.B. Aortenklappenersatz, Septum-primum-Defekte, Endokarditiden mit paravalvulären Abszessen, jedoch auch infolge temporärer traumatischer Schädigung der Sinusknotenfunktion infolge einer Kanülierung der oberen Hohlvene, in der Regel über epikardiale Herzdrähte,
- sowie bei akuten Notfällen unklarer Ursache mit Asystolie oder Atropin-refraktärer symptomatischer Bradykardie. Eine Katecholaminbehandlung mit dem ausschließlichen Ziel der Frequenzstabilisierung ist obsolet.

Eine prophylaktische Indikation ist nur in begründeten und seltenen Ausnahmen gegeben:

- zur Überbrückung zu erwartender präautomatischer Pausen, z.B. vor Elektrokardioversion bei unklarer Sinusknotenautomatiefunktion,

- während Behandlung mit bradykardisierenden Medikamenten bei vorbestehender kritischer Bradykardie,
- zur Suppression von Torsade-de-pointes-Tachykardien vor allem beim „Long-QT-Syndrom“,
- während Einschwemmkatheterismus bei vorbestehendem Linksschenkelblock,
- während des Aggregatwechsels bei schrittmacherabhängigen Patienten,
- während chirurgischer Eingriffe mit vagaler Reizung bei vorbekannten latenten Automatie- und Leitungsstörungen,
- zur Unterdrückung von idioventrikulären Rhythmen oder Reperusionsarrhythmien.

Die prophylaktische Indikation kann eng gestellt werden und ist in den Händen des Erfahrenen häufig verzichtbar. So stellt der bifaszikuläre Block bei asymptomatischen Patienten im Rahmen von Operationen in der Regel keine Indikation dar.

Eine diagnostische Indikation zur temporären Elektrostimulation liegt vor im Rahmen aller

- elektrophysiologischer Untersuchungen,
- zur hämodynamischen Untersuchung vor Implantation eines Herzschrittmachers mit hämodynamischer Indikation (z.B. hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie, biventrikuläre Stimulation).

Eine temporäre Elektrostimulation kann

- extern (epikutan, extrathorakal, nichtinvasiv),
- transösophageal (semiinvasiv),
- epikardial (intraoperativ am offenen Thorax, postoperativ über Herzdrähte) oder
- intrakardial (meist transvenös über einen Zugang in der V. cubitalis, V. subclavia, V. jugularis oder

V. femoralis, seltener transarteriell oder transseptal, ausschließlich im Rahmen von Katheterablationen) erfolgen.

Während beim akuten asystolischen Herzstillstand für eine rasche suffiziente Stimulation der externe Zugang (Zoll-Stimulation) zu bevorzugen ist, gelingt die stabilste und am wenigsten belastende therapeutische Stimulation durch die intrakardiale Elektrostimulation. Mit der transoesophagealen Elektrostimulation können supraventrikuläre Tachykardien einfach untersucht und oftmals leicht terminiert werden, während die epikardiale Stimulation nach Anlage von Herzdrähten bei einer Herzoperation sehr zuverlässige Ergebnisse auch über längere Zeit hat.

Auch bei der temporären Stimulation kommen verschiedene Stimulationsformen mit VVI oder AAI zur Aufrechterhaltung der Frequenz, DDD oder VDD mit dem Ziel einer Stabilisierung der Hämodynamik oder AOO oder VOO zur Tachykardeterminierung als „overdrive“, „tune-down“, „burst“ oder „ramp“ in Frage.

Die häufigsten Komplikationen können in Form von Infektionen der Elektroden oder Perforationen von Herzhöhlen bei invasiver Elektrostimulation auftreten. Alle Formen der temporären Stimulation können sowohl zu intermittierendem Exit-Block wie zur Induktion von Tachyarrhythmien führen. (Relative) Kontraindikationen gegen eine temporäre Stimulation werden bei Hypothermie und bei bestimmten Intoxikationen gesehen. Technische Probleme können bei Trikuspidalatresie oder -klappenersatz, Shuntvitien, bei Venenanomalien (z.B. linkspersistierende Hohlvene), im Kleinkindesalter oder anatomischen Anomalien (Skoliose) auftreten.

## Literatur

1. Lemke B, Fischer W, Schulten HK (1996) Richtlinien zur Herzschrittmachertherapie. Indikationen, Systemwahl, Nachsorge. „Kommission für Klinische Kardiologie“ der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung, Arbeitsgruppen „Herzschrittmacher“ und „Arrhythmie“. Z Kardiol 85:611–627
2. Gregoratos G, Abrams J, Epstein AE et al ACC/AHA/NASPE 2002 guideline update for implantation of cardiac pacemakers and antiarrhythmia devices: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/NASPE Committee on Pacemaker Implantation) (2002). [www.acc.org/clinical/guidelines/pacemaker/pacemaker.pdf](http://www.acc.org/clinical/guidelines/pacemaker/pacemaker.pdf)
3. Strasberg B, Amat-Y-Leon F, Dhingra RC et al (1981) Natural history of chronic second-degree atrioventricular nodal block. Circulation 63:1043–1049
4. Dhingra RC, Denes P, Wu D, Chuquimia R, Rosen KM (1974) The significance of second degree atrioventricular block and bundle branch block: observations regarding site and type of block. Circulation 49:638–646
5. Dhingra RC, Wyndham C, Bauernfeind R et al (1979) Significance of block distal to the His bundle induced by atrial pacing in patients with chronic bifascicular block. Circulation 60:1455–1464
6. Scheinman MM, Peters RW, Sauvè MJ et al (1982) Value of the H-Q interval in patients with bundle branch block and the role of prophylactic permanent pacing. Am J Cardiol 50:1316–1322

7. Perloff JK, Stevenson WG, Roberts NK et al (1984) Cardiac involvement in myotonic muscular dystrophy (Steinert's disease): a prospective study of 25 patients. *Am J Cardiol* 54: 1074–1081
8. Charles R, Holt S, Kay JM, Epstein EJ, Rees JR (1981) Myocardial ultrastructure and the development of atrioventricular block in Kearns-Sayre syndrome. *Circulation* 63:214–219
9. Stevenson WG, Perloff JK, Weiss JN, Anderson TL (1990) Facioscapulo-humeral muscular dystrophy: evidence for selective, genetic electrophysiologic cardiac involvement. *J Am Coll Cardiol* 15:292–299
10. Shaw DB, Kerwick CA, Veale D, Gowers J, Whistance T (1985) Survival in second degree atrioventricular block. *Br Heart J* 53:587–593
11. Moak JP, Barron KS, Hougren TJ et al (2001) Congenital heart block: development of late-onset cardiomyopathy, a previously underappreciated sequelae. *J Am Coll Cardiol* 37:238–242
12. Pinsky WW, Gillette PC, Garson A Jr, McNamara DG (1982) Diagnosis, management, and long-term results of patients with congenital complete atrioventricular block. *Pediatrics* 69: 728–733
13. Michaëlsson M, Jonzon A, Riesenfeld T (1995) Isolated congenital complete atrioventricular block in adult life. A prospective study. *Circulation* 92:442–449
14. Brignole M, Menozzi C, Moya A et al (2001) Mechanism of syncope in patients with bundle branch block and negative electrophysiological test. *Circulation* 104:2045–2050
15. McAnulty JH, Rahimtoola SH, Murphy ES et al (1982) Natural history of „high risk“ bundle-branch block: Final report of a prospective study. *N Engl J Med* 307:137–143
16. Brignole M, Alboni P, Benditt D et al (2004) Guidelines on Management (Diagnosis and Treatment) of Syncope – Update 2004. *Europace* 6:467–537
17. Scheinman MM, Peters RW, Sauvè MJ et al (1982) Value of the H-Q interval in patients with bundle branch block and the role of prophylactic permanent pacing. *Am J Cardiol* 50:1316–1322
18. Cazeau S, Leclercq C, Lavergne T et al Multisite Stimulation in Cardiomyopathies (MUSTIC) Study Investigators (2001) Effects of multisite bi-ventricular pacing in patients with heart failure and intraventricular conduction delay. *N Engl J Med* 344: 873–880
19. Auricchio A, Stellbrink C, Block M et al for the PATH-CHF Study Group (1999) The effect of pacing chamber and atrioventricular delay on acute systolic function of paced patients with congestive heart failure. *Circulation* 99:2993–3001
20. Abraham WT, Fisher WG, Smith AL et al, for the MIRACLE Study Group (2002) Cardiac resynchronization in chronic heart failure. *N Engl J Med* 346:1845–1853
21. Cleland JGF, Daubert JC, Erdmann E et al (2005) The effect of cardiac resynchronization on morbidity and mortality in heart failure. *N Engl J Med* 352:1539–1549
22. Bristow MR, Saxon LA, Boehmer J et al (2004) Cardiac-Resynchronization Therapy with or without an Implantable Defibrillator in Advanced Chronic Heart Failure. *N Engl J Med* 350: 2140–2150
23. Auricchio A, Stellbrink C, Sack S et al for the Pacing Therapies in Congestive Heart Failure (PATH-CHF) Study Group (2002) Long-term clinical effect of hemodynamically optimized cardiac resynchronization therapy in patients with heart failure and ventricular conduction delay. *J Am Coll Cardiol* 39:2026–2033
24. Higgins SL, Hummel JD, Niazi IK et al (2003) Cardiac resynchronization therapy for the treatment of heart failure in patients with intraventricular conduction delay and malignant ventricular tachyarrhythmias. *J Am Coll Cardiol* 42:1454–1459
25. Auricchio A, Stellbrink C, Butter C et al (2003) Clinical efficacy of cardiac resynchronization therapy using left ventricular pacing in heart failure patients stratified by severity of ventricular conduction delay. *J Am Coll Cardiol* 42:2109–2116
26. Stellbrink C, Auricchio A, Lemke B, von Scheidt W, Vogt J (2003) Positionspapier zur kardialen Resynchronisationstherapie. *Z Kardiol* 92:96–103
27. Col JJ, Weinberg SL (1972) The incidence and mortality of intraventricular conduction defects in acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 29:344–350
28. Ritter WS, Atkins J, Blomqvist CG, Mullins CB (1976) Permanent pacing in patients with transient trifascicular block during acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 38:205–208
29. Seidl K, Schuchert A, Tebbenjohanns J et al (2005) Kommentar zu den Leitlinien zur Diagnostik und Therapie von Synkopen – der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie 2001. [www.dgk.org/leitlinien/LLSynkopen2005.pdf](http://www.dgk.org/leitlinien/LLSynkopen2005.pdf)
30. Bernstein AD, Daubert JC, Fletcher RD et al (2002) The Revised NASPE/BPEG Generic Code for Antibradycardia, Adaptive-Rate, and Multisite Pacing. *PACE* 25:260–264
31. Andersen HR, Nielsen JC, Thomsen PEB et al (1997) Long-term follow-up of patients from a randomised trial of atrial versus ventricular pacing for sick-sinus syndrome. *Lancet* 350: 1210–1216
32. Connolly SJ, Kerr CR, Gent M et al (2000) Effects of physiologic pacing versus ventricular pacing on the risk of stroke and death due to cardiovascular causes. *N Engl J Med* 342:1385–1391
33. Lamas GA, Kerry LL, Sweeney MO et al (2002) Ventricular pacing or dual-chamber pacing for sinus-node dysfunction. *N Engl J Med* 346:1854–1862
34. Tang ASL, Roberts RS, Kerr C et al (2001) Relationship between pacemaker dependency and the effect of pacing mode on cardiovascular outcomes. *Circulation* 103:3081–3085
35. Mattioli AV, Vivoli D, Mattioli G (1998) Influence of pacing modalities on the incidence of atrial fibrillation in patients without prior atrial fibrillation. A prospective study. *Eur Heart J* 19:282–286
36. Lamas GA, Orav EJ, Stambler BS et al, for the Pacemaker Selection in the Elderly Investigators (1998) Quality of life and clinical outcomes in elderly patients treated with ventricular pacing as compared with dual-chamber pacing. *N Engl J Med* 338:1097–1104
37. Kerr CL, Connolly SJ, Abdollah H et al (2004) Canadian trial of physiological pacing. Effects of physiological pacing during long-term follow-up. *Circulation* 109:357–362
38. Sweeney MO, Hellkamp AS, Ellenbogen KA et al (2003) Adverse effect of ventricular pacing on heart failure and atrial fibrillation among patients with normal baseline QRS duration in a clinical trial of pacemaker therapy for sinus node dysfunction. *Circulation* 107:2932–2937
39. Andersen HR, Thuesen L, Bagger JP, Vesterlund T, Thomsen PEB (1994) Prospective randomised trial of atrial versus ventricular pacing in sick-sinus syndrome. *Lancet* 344:1523–1528
40. Aggarwal RK, Connelly DT, Ray SG et al (1995) Early complications of permanent pacemaker implantation: No difference between dual and single chamber systems. *Br Heart J* 73:571–575

41. Rosenqvist M, Brandt J, Schüller H (1988) Long-term pacing in sinus node disease: effects of stimulation mode on cardiovascular morbidity and mortality. *Am Heart J* 116:16–22
42. Wiegand UKH, Schier H, Bode F et al (1998) Should unipolar leads be implanted in the atrium? A Holter electrocardiographic comparison of threshold adapted unipolar and high sensitive bipolar sensing. *PACE* 21: 1601–1608
43. Gross JN, Platt S, Ritacco R et al (1992) The clinical relevance of the elektromyopotential oversensing in current unipolar devices. *PACE* 15: 2023–2027
44. Moller M, Arnsbo P (1996) Appraisal of pacing lead performance from the Danish Pacemaker Register. *PACE* 19: 1327–1336
45. Wiegand UKH, Bode F, Bonnemeier H, Tölg R, Peters W, Katus HA (2001) Incidence and predictors of pacemaker dysfunction with unipolar ventricular lead configuration. Can we identify patients who benefit from bipolar electrodes? *PACE* 24:1383–1388
46. Martinelli M, Costa R, Nishioka S et al (2002) Criteria for pacemaker explant in patients without a precise indication for pacemaker implantation. *PACE* 25:272–277
47. Hemmer W, Fröhlig G, Markewitz A (2002) Kommentar zu den NASPE-Empfehlungen zur Entfernung von permanent implantierten, transvenösen Herzschrittmacher- und Defibrillatorsonden. *Z Kardiol* 91:956–968