

## 8.8 Durch Zusatzfunktionen vorgetäuschte Schrittmacher-Fehlfunktionen im EKG

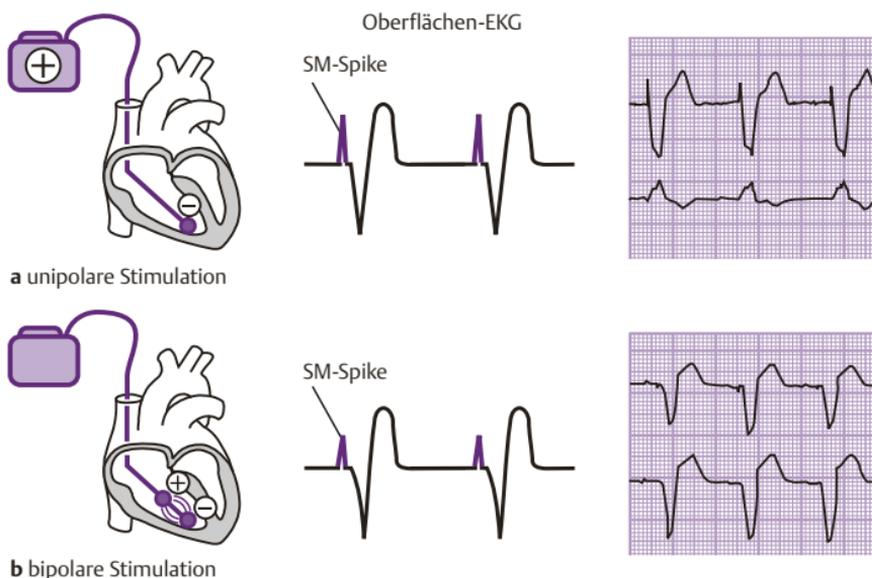
- **Konsequenz:** Die Stimulationsfrequenz ist nachts unterhalb der unteren Schrittmacherfrequenz.
- ▶ **Automatischer Moduswechsel** („Mode-Switch“):
  - **Ziel:** Vermeidung hochfrequenter Kammerstimulation bei atrialen Tachyarrhythmien (Vorhofflimmern, Vorhofflattern und atriale Tachykardien).
  - **Prinzip:**
    - DDD(R)-Schrittmacher detektieren im DDD-Modus über die Vorhofsonde atriale Tachyarrhythmien und müssten diese ohne „Mode-Switch“ bis zur programmierten oberen Grenzfrequenz und dem programmierten AV-Intervall auf die Kammer übertragen. (Die atriale Frequenz triggert die ventrikuläre Stimulation bis zum Erreichen der oberen Grenzfrequenz).
    - DDD(R)-Schrittmacher verfügen über verschiedene Optionen, um das Auftreten schneller Kammerstimulation zu vermeiden.
    - Beim sog. „Mode-Switch“ kommt es bei Detektion schneller atrialer Frequenzen (meist  $\geq 170/\text{min}$ ) zu einem Wechsel des Modus von DDD auf DDI(R) oder VVI(R). Dieser bleibt bis zum Ende der Episode aktiv.
- ▶ **Unipolare/bipolare Stimulation:**
  - **Prinzip:** Die Abgabe elektrischer Impulse erfolgt zwischen zwei Polen:
    - Ein Pol ist die Elektrodenspitze.
    - Der zweite Pol liegt bei bipolarer Konfiguration in der Elektrode, bei unipolarer Konfiguration im Schrittmachergehäuse.
    - Für die bipolare Konfiguration sind spezielle bipolare Elektroden erforderlich.
  - **Vorteil:** Bipolare Elektroden reagieren auf Störsignale weniger empfindlich.
  - **Charakteristika im EKG:** Die unipolare bzw. bipolare Stimulation führt zu unterschiedlichen Schrittmacher-Spikes im EKG (s. Abb. 8.7):
    - Bei unipolarer Konfiguration treten große Spikes auf, da zwischen Elektrodenspitze und Schrittmachergehäuse ein großer Abstand liegt.
    - Bei bipolarer Konfiguration erscheinen kleine Spikes, da ein kleiner Abstand zwischen Elektrodenspitze und zweitem Pol in der Elektrode liegt.
  - ▶ **Beachte:** Die Erkennung bipolarer Vorhofstimulation kann im EKG erschwert sein, evtl. muss der Filter herausgenommen werden.
  - ICD-Systeme stimulieren im Rahmen Ihrer Schrittmacherfunktion immer bipolar!

## 8.8 Durch Zusatzfunktionen vorgetäuschte Schrittmacher-Fehlfunktionen im EKG

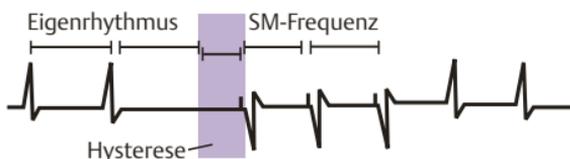
- ▶ **AV-Suchalgorithmen:** Diese sollen auf verschiedene Arten eine unnötige ventrikuläre Stimulation vermeiden. Es kann zu Verlängerungen der AV-Zeit bis 450 ms sowie zum Auftreten einzelner, nicht übergeleiteter P-Wellen kommen.
- ▶ **Automatische Reizschwellenmessungen:** Hierbei kann es zu einem Modus-Wechsel mit teils sehr kurzer AV-Zeit kommen. Es können durch Back-up-Stimuli ausgelöste „Doppel-Spikes“ aufgezeichnet werden (Kontroll-EKG nach kurzer Zeit – z. B. 3 Minuten – muss wieder eine normale Funktion zeigen).
- ▶ **Hysterese:** Verzögertes Einsetzen der Stimulation beim Wechsel vom Eigenrhythmus zum Schrittmacherrhythmus (Toleranz eines langsameren Eigenrhythmus bis zur programmierten Hysteresefrequenz. Eine einsetzende Stimulation erfolgt mit der programmierten Grundfrequenz).
  - **Prinzip:** Nach Detektion intrinsischer Signale wartet der Schrittmacher das folgende Zeitintervall ab und verlängert es bis zur programmierten Hysteresefrequenz, bevor er einen Stimulationsimpuls abgibt.
  - **Ziel:** Die intrinsische Erregung bleibt so lange wie möglich erhalten, kritische Bradykardien werden vermieden.

## 8.8 Durch Zusatzfunktionen vorgetäuschte Schrittmacher-Fehlfunktionen im EKG

- **Konsequenz:** Der Schrittmacher unterschreitet passager die programmierte Schrittmacherfrequenz, im EKG können Herzfrequenzen bis zur Hysteresefrequenz dokumentiert werden, s. Abb. 8.8.



**Abb. 8.7 • Unipolare und bipolare Stimulation.** Die unterschiedliche Größe des elektrischen Feldes ist für die Größe der Spikes im Oberflächen-EKG verantwortlich.



**Abb. 8.8 • Hysterese:** Verzögertes Einsetzen der Stimulation beim Wechsel vom Eigenrhythmus zum Schrittmacherrhythmus.

## 9 Elektrophysiologische Untersuchung

### 9.1 Grundlagen

#### ► Prinzip:

- Die elektrophysiologische Untersuchung ist eine invasive Methode.
- Intrakardiale Elektrogramme werden während des Sinusrhythmus bzw. des vorliegenden Grundrhythmus und bei intrakardialer Stimulation aufgezeichnet und Leitungszeiten bestimmt.
- Ziel ist die Untersuchung der intrakardialen Leitungsverhältnisse und die Provokation von supraventrikulären oder ventrikulären Arrhythmien.

### 9.2 Indikationen

- Abklärung von subjektiv wahrgenommenen oder dokumentierten Tachykardien mit schmalem oder breitem QRS-Komplex.
- Zustand nach Herzstillstand bzw. Reanimation bei Kammerflimmern (bei nicht gesicherter Ursache).
- Ischämische Kardiomyopathie/Z. n. Myokardinfarkt und nicht hochgradig eingeschränkter LVEF ( $\geq 35\%$ ) mit unklaren Synkopen.
- Rezidivierende Synkopen/Synkope mit Verletzung nach Abschluss der nichtinvasiven Diagnostik inkl. der neurologischen Abklärung.
- **Beachte:** Die elektrophysiologische Untersuchung ist prinzipiell wenig hilfreich zur weiteren Diagnostik von bradykarden Rhythmusstörungen. Z.B. kann eine Sinusknoten-Funktionsstörung auch bei normaler Sinusknoten-Erholungszeit nicht ausgeschlossen werden.

### 9.3 Kontraindikationen

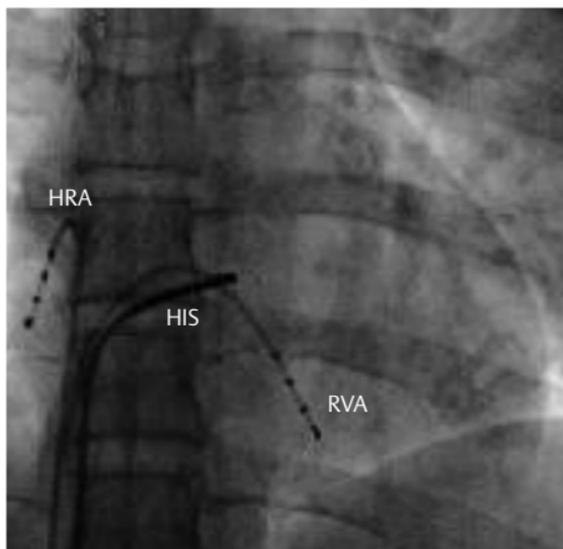
- Instabile Angina pectoris.
- Akuter Myokardinfarkt.
- Koronare Hauptstammstenose.
- Schwere Herzinsuffizienz.
- Hochgradige Aortenklappenstenose.
- Akute Peri-/Myokarditis.
- Endokarditis.

### 9.4 Untersuchungsablauf

- Intrakardiale Platzierung von Elektrodenkathetern über die Femoralvenen unter Röntgenkontrolle. Lokalisationen (s. Abb. 9.1):
  - Im hohen rechten Vorhof.
  - Am His-Bündel.
  - In der rechtsventrikulären Spitze.
- Zusätzlich Platzierung eines Elektrodenkatheters im Koronarsinus bei spezieller Fragestellung über die V. femoralis, die linke V. subclavia oder die rechte V. jugularis interna, z. B. bei:
  - Paroxysmaler supraventrikulärer Tachykardie bei akzessorischer Leitungsbahn.
  - AV-Knoten-Reentry-Tachykardie.
  - V. a. links-atriale Tachykardie.

## 9.5 Intrakardiales EKG

- ▶ Die intrakardialen Elektrogramme werden bei Sinusrhythmus bzw. dem vorliegenden Grundrhythmus registriert.
- ▶ Es folgt die Bestimmung der Zeitintervalle im Oberflächen- und intrakardialen Elektrogramm. Vgl. Abb. 9.2 und Tab. 9.1.



**Abb. 9.1 • Elektrophysiologische Untersuchung: Katheterposition.** Die Elektrokatheter sind im hohen rechten Vorhof (HRA), am His-Bündel (HIS) und in der rechtsventrikulären Spitze (RVA) platziert.

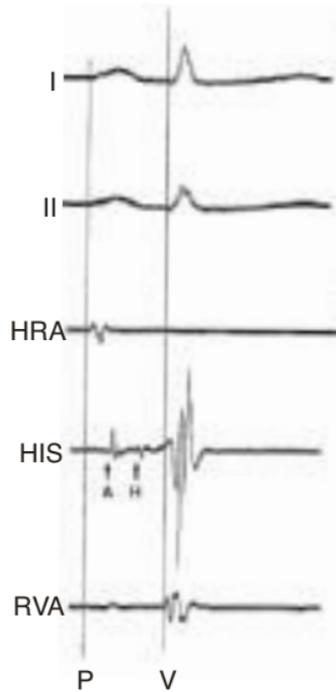
- ▶ **Verwendete Abkürzungen zur Beschreibung des intrakardialen EKGs:**
  - P: P-Welle.
  - A: Vorhof.
  - H: His-Bündel auch HBE (His-Bündel-Elektrogramm).
  - V: Ventrikel.
- ▶ **Bedeutung der Intervalle:**
  - P-A: Indirekter Parameter der intraatrialen Aktivierungszeit.
  - A-H: Beginn der Vorhoferregung bis Beginn der His-Bündel-Erregung.
  - H-V: Beginn der His-Bündel-Erregung bis zum Beginn des QRS-Komplexes bzw. des ventrikulären Signals.
- ▶ **Normalwerte** der intrakardialen Zeitintervalle bei Sinusrhythmus s. Tab. 9.1

**Tab. 9.1 • Normalwerte der intrakardialen Zeitintervalle bei Sinusrhythmus**

Intervall	Dauer
P-A	20–50 ms
A-H	55–135 ms
H-V	30–55 ms

## 9.6 Intrakardiale Stimulation

- ▶ Die intrakardiale Stimulation in Vorhof und Ventrikel mit **steigenden Frequenzen** erfolgt zur Bestimmung von:
  - Antegrader und retrograder Leitungskapazität des AV-Knotens (Wenckebach-Punkt).
  - Sinusknoten-Erholungszeit.



**Abb. 9.2 • Intrakardiale Elektrogramme bei Sinusrhythmus.** Das His-Bündel-Elektrogramm besteht aus den drei Komponenten Vorhof (A), His-Potenzial (H) und ventrikulärem Signal (V). Gemessen werden die Intervalle P-A, A-H und H-V (P = P-Welle); weitere Erläuterungen (S. 58).

- ▶ **Programmierte Vorhofstimulation:** Bei Vorhofstimulation bei festgesetzter Frequenz mit Ankoppelung von Extrastimuli werden folgende Parameter überprüf:
  - Die Refraktärperiode von:
    - AV-Knoten.
    - Vorhof.
  - Die Induzierbarkeit von supraventrikulären Tachykardien.

**Tab. 9.2 • Normalwerte bei Vorhofstimulation**

Lokalisation	Zeitintervall
AV-Knoten (Wenckebach-Punkt)	350–550 ms
Sinusknoten-Erholungszeit (SNRT oder SKEZ)	< 1 500 ms
korrigierte Sinusknoten-Erholungszeit (= SNRT minus RR-Intervall bei Sinusrhythmus)	< 550 ms

- ▶ **Programmierte Kammerstimulation:** Die programmierte Kammerstimulation wird mit ein bis maximal drei Extrastimuli durchgeführt.
  - **Stimulationsorte:**
    - In der rechtsventrikulären Spitze.
    - Ggf. im rechtsventrikulären Ausflusstrakt (RVOT).
  - **Ziel der programmierten Kammerstimulation:**
    - Abschätzung der retrograden AV-Leitungskapazität.
    - Prüfung der Induzierbarkeit von ventrikulären Arrhythmien.
    - Bei Nichtauslösbarkeit dokumentierter oder klinisch vermuteter Arrhythmien erfolgt evtl. noch eine medikamentöse Provokation mit Atropin oder Orciprenalin.

## 10 Vom EKG-Befund zur Diagnose

### 10.1 EKG-Komponenten: Normalbefund und DD

#### Komponenten des EKGs

► Eine Übersicht zu den verschiedenen Abschnitten des EKGs zeigt Abb. 10.1.

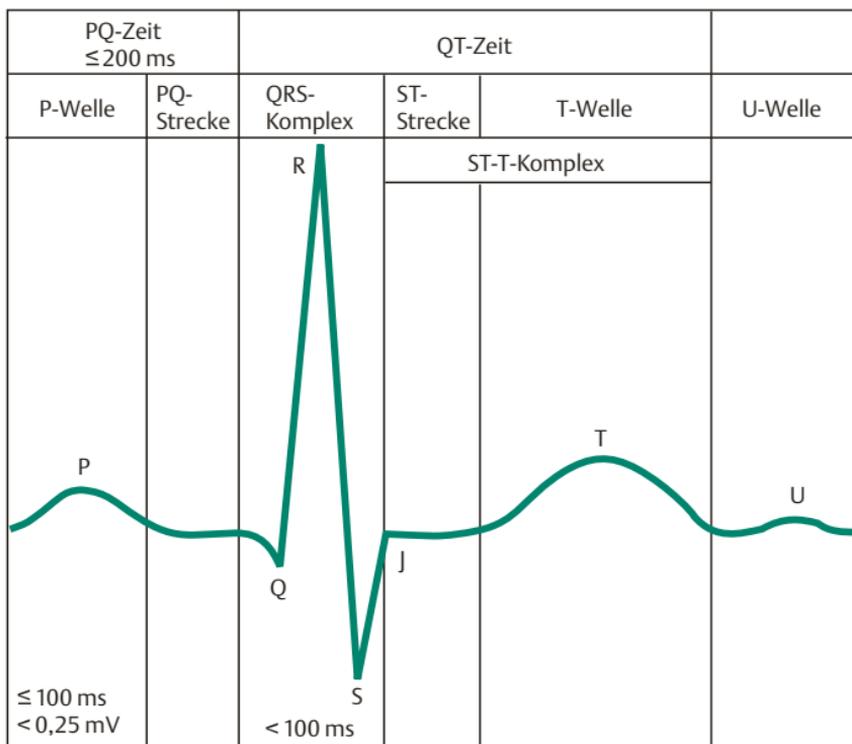


Abb. 10.1 • Definition der verschiedenen Abschnitte im EKG und Normwerte

#### Wichtigste Normwerte

- **P-Welle:**
  - Höhe: 0,25 mV.
  - Dauer (Breite): ≤ 100 ms.
- **PQ-Zeit:** 120–200 ms. PQ-Zeit bei verschiedenen Herzfrequenzen siehe Tab. 10.1.
- **QRS-Dauer:** < 100 ms.
- **QT-Zeit:** Frequenzabhängig, siehe Tab. 10.2.

### 10.2 P-Welle

#### Grundlagen

- **Physiologie:** Die P-Welle ist Ausdruck der elektrischen Erregungsausbreitung in beiden Vorhöfen, zunächst im rechten und dann im linken Vorhof. Das bedeutet, dass die P-Welle eine Summationskurve darstellt. Die Vektorrichtung entspricht normalerweise der des QRS-Komplexes.

► **Normwerte:**

- Höhe der P-Welle:  $< 0,25$  mV.
- Dauer (Breite) der P-Welle:  $\leq 100$  ms.

► **Beste Beurteilbarkeit** meist in Ableitung II und V2.► **Morphologie:** Den Normalbefund einer P-Welle und die Normwerte zeigt Abb. 10.1.**Bedeutung der P-Welle**► **Rhythmus:** Die Sinusknotendepolarisation führt zur Vorhofdepolarisation, welche im EKG als P-Welle sichtbar wird. Sinusrhythmus liegt vor, wenn:

1. P-Wellen vorhanden sind und jeder P-Welle in regelmäßigem Abstand ein QRS-Komplex folgt und
2. die P-Wellen in Ableitung I und II positiv sind (Ausnahme: Ektope Vorhoftachykardie und höhergradiger AV-Block).

► **Beachte:** Kein Sinusrhythmus liegt vor, wenn P-Wellen in Ableitung II negativ (S. 62) sind. In Ableitung III und V1 darf P negativ sein.

► **Vorhofgröße:**

► **Beachte:** Zur Beurteilung der Vorhofgröße wurde die Analyse der P-Welle im EKG heute weitgehend von der Echokardiografie abgelöst.

- Vergrößerung des rechten Vorhofes: Höhe der P-Welle  $\geq 0,25$  mV.
- Vergrößerung des linken Vorhofes: Dauer der P-Welle  $\geq 100$  ms.

**Morphologie veränderter P-Wellen**

## ► Die Abb. 10.2 zeigt die Morphologie der hohen und der breiten P-Welle.

► **Weitere Abbildungen:** Negative P-Welle in I siehe Abb. 10.3; negative P-Welle in II, III und aVF s. Abb. 10.4.

Abb. 10.2 • Schema:

- a Hohe P-Welle – P-dextroatriale;
- b breite P-Welle – P-sinistroatriale;
- c breite P-Welle – P-biatriale.

**Hohe P-Welle – P-dextroatriale**► **Definition:** Höhe  $\geq 0,25$  mV in den Ableitungen II, III, aVF und V1.► **Interpretation/Ursachen:**

- Die hohe P-Welle ist ein Zeichen der Überlastung des rechten Vorhofes.
- **Ursachen:** Chronisches Cor pulmonale, pulmonale Hypertonie, Lungenembolie, angeborenes Vitium, Pulmonalvitium, Trikuspidalvitium, Thoraxdeformitäten, ggf. vegetativ.

► **Morphologie** s. Abb. 10.2a.**Breite P-Welle**► **P-sinistroatriale:**

- **Definition:** P-Dauer  $> 110$  ms in I und II, doppelgipfelig.
- **Interpretation/Ursachen:**
  - Das P-sinistroatriale ist ein Zeichen der Überlastung des linken Vorhofes.
  - **Ursachen:** Mitralklappenkrankheit, Kardiomyopathien, Aortenklappenkrankheit, deutlich eingeschränkte linksventrikuläre Funktion, akute atriale Druck- und Volumenbelastung.
- **Morphologie** siehe Abb. 10.2b.

	Situs inversus	Linker Vorhofrhythmus
Ableitung I		
Ableitung II		
Ableitung III		
Ableitung V <sub>1</sub>		
Dauer (ms)	normal	normal
Höhe (mV)	normal	normal
Vorkommen	DD: Verpolung der Armkabel	sehr selten

**Abb. 10.3** • Schema: Negative P-Welle in I: Linker Vorhofrhythmus und Situs inversus cordis (zusätzlich sind auch die Abl. II, III und V<sub>1</sub> dargestellt).

#### ► P-biatriale:

- *Synonym:* P-cardiale.
- *Definition:*
  - P-Dauer in I und II > 110 ms bzw. in III > 200 ms.
  - P-Höhe in V<sub>1</sub> > 0,15 mV bzw. Tiefe > 0,15 mV.
- *Interpretation/Ursachen:*
  - Das P-biatriale ist Ausdruck einer Überlastung beider Vorhöfe.
  - *Ursachen:* Mitralstenose mit pulmonaler Hypertonie, biventrikuläre Hypertrophie.
- *Morphologie* siehe Abb. 10.2c.

### Negative P-Welle in Ableitung I

► **Definition:** Negativer Ausschlag der P-Welle in der Extremitätenableitung I.

#### ► Ursachen – Charakteristika – Differenzialdiagnose:

- *Linker Vorhofrhythmus:* P in I und V<sub>6</sub> negativ, P in V<sub>1</sub> von flach-positiv nach steil-positiv ansteigend. Diese Charakteristika sind Ausdruck einer ektopen Reizbildung im linken Vorhof.
- *Falsche Polung:* P negativ in I, tiefes S in I und hohes R in III. Ursache ist das Vertauschen der Kabel an den Extremitäten (vgl. Tab. 3.1 Fehlerquellen bei Ableitung des EKGs).
- *Situs inversus cordis:* P negativ in I, tiefes S und negatives T in I. Hohes R in III, häufig auch in V<sub>1</sub> – in V<sub>5/6</sub> jedoch klein. Normale Zeitintervalle.

► **Morphologie** siehe Abb. 10.3.

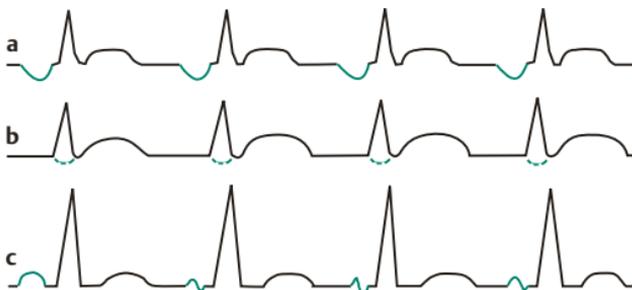
### Negative P-Welle in II, III und aVF

► **Definition:** Negativer Ausschlag der P-Welle in den Ableitungen II, III und aVF.

#### ► Ursachen – Charakteristika – Differenzialdiagnose:

- *Basaler Vorhofrhythmus* (früher: oberer AV-Knoten-Rhythmus).
  - Negative P-Welle in II, III und aVF; P in V<sub>1</sub> spitz-positiv. Kurze PQ-Zeit.
  - Diese Charakteristika entsprechen einer Reizbildung nahe dem AV-junktionalen Bereich.
  - Vorkommen: Vegetativ, Myokarditis, Mitralklappenprolapsyndrom, koronare Herzkrankheit.

- **AV-junktionaler Rhythmus** (S. 112).
    - P-Welle im QRS-Komplex verborgen oder negative P-Welle in II, III und aVF nach dem QRS-Komplex.
    - Die Reizbildung im AV-junktionalen Bereich ist die Ursache für die genannten EKG-Veränderungen.
  - **„Wandernder Schrittmacher“**:
    - P in II, III und aVF zunächst positiv, dann Negativierung und PQ-Verkürzung. Dieser Vorgang ist auch umgekehrt möglich.
    - Ursächlich ist der Vagusreiz bei Bradykardie.
- **Morphologie** s. Abb. 10.4.



**Abb. 10.4** • Schema: a) basaler Vorhofrhythmus; b) AV-junktionaler Rhythmus; c) wandernder Vorhofschrittmacher.

## P-Welle nicht erkennbar

### ► Ursachen – Charakteristika – Differenzialdiagnose:

- **Sinuatritaler Block** (S. 93).
- **Hochfrequentes („feines“) Vorhofflimmern** (S. 116). Hier sind differenzialdiagnostisch die unregelmäßigen RR-Abstände wegweisend.
- **AV-junktionaler Rhythmus** (S. 112).
- **AV-Knoten-Reentry-Tachykardie** (S. 132).
- **Fusion der P-Welle mit der T-Welle** bei Sinustachykardie (besonders bei AV-Block I°).

## 10.3 PQ-Zeit und PQ-Strecke

### Grundlagen

#### ► Definitionen:

- **PQ-Zeit**: Zeitintervall von Beginn der P-Welle bis zum Beginn des QRS-Komplexes.
- **PQ-Strecke**: Zeit vom Ende der P-Welle bis zum Beginn des QRS-Komplexes (selten gebraucht). In der Praxis wird überwiegend die PQ-Zeit bestimmt.

#### ► Physiologie:

- Intrakardiale Erregungsausbreitung und AV-nodale Leitungszeit.
- Die PQ-Zeit ist frequenzabhängig, d. h. je tachykarder die Herzaktion, desto kürzer ist die PQ-Zeit; je bradykarder die Herztätigkeit, desto länger die PQ-Zeit.
- Im Alter nimmt die PQ-Zeit physiologisch zu.

#### ► Normwerte:

- **PQ-Zeit**: 120–200 ms; bei verschiedenen Herzfrequenzen siehe Tab. 10.1.
- **PQ-Strecke**: 20–100 ms.

Tab. 10.1 • Normale PQ-Zeit bei verschiedenen Herzfrequenzen

Frequenz	PQ-Zeit [ms]
50	210
60	200
70	190
80	180
90	170
100	160
110	150
120	140
130	130

### PQ-Zeit-Verkürzung

- ▶ **Ursachen – Charakteristika – Differenzialdiagnose** bei normofrequentem Grundrhythmus:
  - Wolff-Parkinson-White-Syndrom (S. 135) (WPW-Syndrom).
  - Basaler Vorhofrhythmus (S. 62), s. a. Abb. 10.4.
- ▶ **Morphologie** s. jeweilige Ursache.

### PQ-Zeit-Verlängerung (AV-Block)

- ▶ **Normvariante** (selten) mit Normalisierung der PQ-Zeit bei leichter Belastung.
- ▶ **Pathologisch** siehe Kapitel Bradykardie (S. 88).

## 10.4 Q-Zacke, R-Zacke und S-Zacke

### Q-Zacke

- ▶ **Definition:** Erste negative Schwankung des Kammerkomplexes nach dem Ende der PQ-Strecke. Wenn die Kammerdepolarisation mit einem positiven Ausschlag beginnt, ist kein Q vorhanden.
- ▶ **Physiologie:** Die Depolarisation der Kammern beginnt im Erregungsleitungssystem im Septum interventrikuläre, verläuft von links- nach rechtsventrikulär und führt zu einer kurzfristigen Umkehr des Gesamtvektors in Richtung der Herzbasis → negativer Ausschlag.
- ▶ **Normwerte:**
  - Breite der Q-Zacke  $\leq 30$  ms.
  - Tiefe der Q-Zacke  $\leq 0,3$  mV bzw.  $\leq 1/4$  der maximalen R-Amplitude in den Extremitätenableitungen.
- ▶ **Lagetyt und normale (physiologische) Q-Zacken** (nicht obligat):
  - *Linkstyp:* Q-Zacke physiologisch in Ableitung I und aVL.
  - *Steiltyp:* Q-Zacke physiologisch in Ableitung II, III und aVF.
  - *Indifferenztyp:* Ggf. kleine Q-Zacke in allen Extremitätenableitungen.
- ▶ **Merke:** Q-Zacke normalerweise nie in den Ableitungen V1–V2.
- ▶ **Morphologie** s. Abb. 10.5.