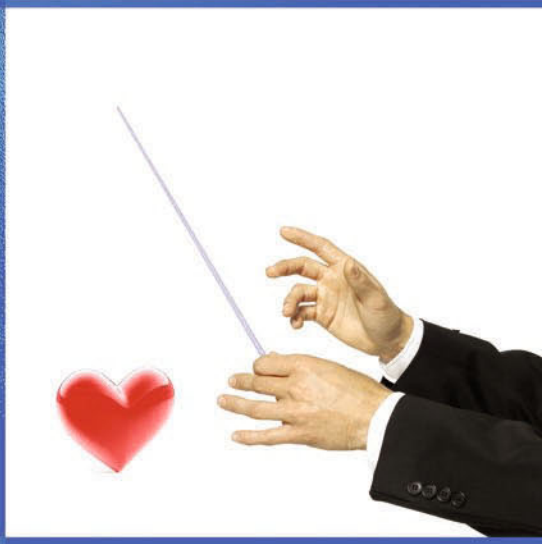
Morschhäuser
Fischer



Praxis der Herzschrittmacher-Nachsorge

2. Auflage

- Funktionen
- Optimierung
- Kontrolle
- Troubleshooting

unter Mitarbeit von
M. Jakob

Mit 250 Abbildungen

Springer

Praxis der Herzschrittmacher-Nachsorge

Diana Morschhäuser
Wilhelm Fischer

Praxis der Herzschrittmacher-Nachsorge

Grundlagen, Funktionen, Kontrolle, Optimierung, Troubleshooting

2., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage

Mit 246 Abbildungen

Unter Mitarbeit
von M. Jakob

Springer

Diana Morschhäuser
Dipl.-Ing. Biomedizintechnik
Libauerstr. 4
81927 München

Dr. med. Wilhelm Fischer
Ärztlicher Direktor, Chefarzt der Klinik für Innere Medizin
Krankenhaus Peißenberg, Krankenhaus GmbH
Ldkrs. Weilheim-Schongau
Hauptstr. 55-57
82380 Peißenberg

ISBN 978-3-642-35272-0 ISBN 978-3-642-35273-7 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-35273-7

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

SpringerMedizin
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013
Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Planung: Hinrich Küster, Heidelberg
Projektmanagement: Kerstin Barton, Heidelberg
Lektorat: Bettina Arndt, Gorxheimertal
Projektkoordination: Eva Schoeler, Heidelberg
Umschlaggestaltung: deblik Berlin
Fotonachweis Umschlag: © photos.com
Herstellung: Crest Premedia Solutions (P) Ltd., Pune, India

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Medizin ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer.com

Geleitwort

Wer ein Sachbuch schreibt, formuliert einen Anspruch: Handbücher brauchen oft viele Autoren, um das Objekt der Betrachtung in allen Facetten zu beleuchten, im Detail zu ergründen und mit eingehender Literaturrecherche selbst zur Referenz zu werden. Medizinische Lehrbücher wollen dem Leser einen fundierten Überblick über ein Sachgebiet verschaffen, damit er das neue Wissen in ärztliches Tun umsetzen kann. Praxisleitfäden betonen den operativen Aspekt und bieten hoffentlich genügend Handlungsanleitung, um die tägliche Patientenversorgung fehlerfrei bewältigen zu können. Und dann schreibt einer gelegentlich auch ein Buch, um selbst sein Fachgebiet erst richtig zu verstehen.

Nicht so das vorliegende Kompendium zur »Praxis der Schrittmacher-Nachsorge«. Jede Zeile verrät den Erfahrungsschatz aus Jahrzehnten ärztlicher Fortbildung und persönlicher Problemlösung vor Ort. Didaktische Schulung aus Sachkundekurs und Schrittmacher-Gespräch prägt die klare Struktur der einzelnen Kapitel. Der persönliche Einsatz in Praxis und Krankenhaus und das Wissen um die alltägliche Kapitulation vor EKG-Diagnostik und Programmierung erklärt, warum auf die Erörterung von Pathophysiologie und Studienergebnissen verzichtet wird und stattdessen wichtige Tipps und Hinweise zu finden sind. Dies ist ein Leitfaden vom Praktiker für den Praktiker.

Das Buch fokussiert bewusst auf die »klassische« Schrittmachertherapie und lässt die kardiale Resynchronisation und die Behandlung mit implantierbaren Defibrillatoren außen vor. Die kluge Selbstbeschränkung ist Voraussetzung dafür, dass Hardwarekomponenten, technische Begriffe, die von vielen ungeliebte, doch unverzichtbare Systematik der Zeitgebung und die Vielfalt der Stimulationsmodi Schritt für Schritt erklärt werden können. Mit diesem Rüstzeug fällt es leichter, die Kapitel zur Arbeitsweise automatischer Schrittmacherfunktionen, von Spezialalgorithmen und diagnostischen Speichern zu verstehen. Die Abschnitte zur Basis- und erweiterten Nachsorge nutzen das Erlernte, um die Abfolge klinischer und technischer Tests zu beschreiben, aus denen eine Schrittmacherkontrolle sich zusammensetzt. Und die Tabellen zu Programmierempfehlungen und möglichen Störeinflüssen auf die Schrittmacherfunktion sind einfach nur nützlich.

Das große Kapital dieses Buchs sind seine Abbildungen. Dies gilt für die Schema-Zeichnungen und EKGs, die jeden Grundbegriff und Algorithmus illustrieren und die Basis legen für eine systematische Funktionsbeschreibung und -analyse. Dies gilt für den Fundus an EKG-Beispielen, Röntgenbildern und Patientenfotos, welche klinische Szenarien und Problemlösungen beim »Troubleshooting« nachvollziehbar machen. Man freut sich, Bilder aus gemeinsamen Kursen wiederzusehen, und wünscht sich, dass der Leser genau so viel daraus lernt wie man selbst. Und man hofft, dass unsere Kollegen die Scheu vor der Schrittmacher-Nachsorge verlieren, einfach weil das Buch alles so gut erklärt.

Gerd Fröhlig
im Frühjahr 2013

Vorwort zur 2. Auflage

Zwei Jahre sind vergangen, seitdem die 1. Auflage »Praxis der Herzschrittmacher- Nachsorge« erschienen und zwischenzeitlich auch bereits vollständig vergriffen ist. Das rege Interesse freut uns sehr und wir möchten uns an dieser Stelle herzlich für die große Nachfrage bedanken!

Mit dem vorliegenden Buch stellen wir Ihnen eine aktualisierte Neuauflage zur Verfügung, die alle wichtigen Fortschritte in der Herzschrittmacher-Nachsorge umfasst.

Die 2. Auflage wurde um die neu- und weiterentwickelten Algorithmen und Diagnosefunktionen ergänzt. Außerdem wird die Problematik von Magnetresonanztomografie (MR)-Untersuchungen ausführlich dargestellt. Das Kapitel Neue Trends informiert über kommende Innovationen und laufende Forschungsvorhaben der Schrittmachertherapie.

Wir freuen uns Ihnen mit dieser 2. Auflage ein Buch an die Hand zu geben, welches einen umfassenden Überblick über die aktuelle Praxis der Herzschrittmachertherapie ermöglicht.

Wir danken den Herstellerfirmen Biotronik, Boston, Sorin, St. Jude und Medtronic für die zur Verfügung gestellten Informationen und Abbildungen, sowie allen Personen, die uns schon bei der 1. Auflage kompetent unterstützt haben.

Ein Dank gilt auch dem Team im Springer-Verlag, Herrn Küster, Frau Barton und Frau Arndt, für die hervorragende Zusammenarbeit.

D. Morschhäuser, W. Fischer, M. Jakob
München, Peißenberg und Sulzbach, im Januar 2013

Vorwort

Die Herzschrittmachertherapie hat in den letzten 20 Jahren eine rasante Entwicklung genommen. Mode-Switch-Algorithmen begrenzen die hochfrequente Ventrikelstimulation bei Zweikammersystemen. Telemetrische Überwachung erlaubt eine rasche Intervention und Fehleranalyse bei Problemen. Die Funktionsdauer moderner Herzschrittmacher ist durch die automatische Anpassung der Energieabgabe bei zuverlässiger Sicherheit erheblich verlängert. Fast perfekte Algorithmen steuern weitgehend eigenständig alle erforderlichen Umprogrammierungen und Anpassungen an aktuelle Situationen.

Die Kontrolle solch komplexer Systeme erfordert ein enormes Wissen über Funktionsweise und Schwachpunkte der implementierten Algorithmen. Die Nachsorge dieser multifunktionalen, modernen Herzschrittmachersysteme, die individuelle bedarfsgerechte Programmierung und die richtige Interpretation des EKGs dieser Systeme sind ohne Kenntnis der komplexen Algorithmen nicht möglich.

Das Buch stellt die Abläufe der Herzschrittmacher-Nachsorge für den Anfänger systematisch und verständlich dar und kann dem erfahrenen Anwender als Nachschlagewerk dienen. Die ersten Kapitel beschäftigen sich mit den Grundlagen und den Basisfunktionen der Systeme, sowie mit sämtlichen, zurzeit in Anwendung befindlichen Algorithmen. Basisnachsorge und erweiterte Nachsorge werden separat vorgestellt und ausführlich besprochen. In einem weiteren Kapitel werden die Diagnosefunktionen vorgestellt mit systematischer Analyse der gespeicherten Daten, die dem Anwender Informationen zum Rhythmus und Hinweise zur Funktionalität des Herzschrittmachers geben.

Die Programmierempfehlungen schließen das Thema Nachsorge ab. Komplikationen und Störbeeinflussungen im täglichen Leben werden praxisnah dargestellt. Das Kapitel Troubleshooting beschäftigt sich mit der systematischen Analyse von exemplarischen Schrittmacher-EKGs und zeigt viele Beispiele für Fehlprogrammierung, Schrittmacherfehlfunktionen und Fallstricke spezieller Algorithmen.

Da dieses Buch für Fragen und Probleme im Rahmen der Nachsorge konzipiert ist, werden abschließend auch die Themen »Häufige Fragen des Patienten an den Arzt« und »Notfälle bei Schrittmacherpatienten« erörtert. Ein kleines Schrittmacherlexikon erläutert schließlich kurz und prägnant die wichtigsten Fachbegriffe der Herzschrittmachertherapie.

Ein solches Buch gelingt mit Unterstützung vieler kompetenter Helfer. Wir können hier nicht alle namentlich erwähnen, die uns unterstützt haben. Folgenden Personen gilt aber unser besonderer Dank: Herrn Prof. Dr. Gerd Fröhlig (Homburg) für sein Geleitwort, seine kritischen Kommentare und wertvollen Korrekturhinweise. Wichtige Anregungen verdanken wir Herrn Dr. Lars-Immo Krämer (Köln), Mitinitiator des Curriculum »Sachkunde der Herzschrittmachertherapie« der DGK. Dr. Philippe Ritter (Bordeaux) stellte uns freundlicherweise Teile seiner wissenschaftlichen Arbeiten zur Verfügung.

Wir danken den Herstellerfirmen Biotronik, Boston, Sorin und St. Jude für die zur Verfügung gestellten Informationen und Abbildungen. Besonderer Dank gilt der Firma Medtronic für die zusätzliche Überlassung des Simulationsprogramms InterSim, mit dem

viele systematische EKG-Streifen für verschiedene Programmierungen exemplarisch dargestellt werden konnten.

Ein Dank gilt Herrn Küster vom Springer-Verlag, der das Buchprojekt von Anfang an kreativ begleitet hat. Schließlich danken wir herzlich unserer Lektorin Frau Arndt und unserer Projektmanagerin Frau Barton für ihre Geduld und Ausdauer bis zur gelungenen Fertigstellung dieses Buches.

D. Morschhäuser, W. Fischer, M. Jakob
München, Peißenberg und Sulzbach, im Dezember 2010

Über die Autoren

Diana Morschhäuser
Dipl.-Ing. für Biomedizintechnik

Diana Morschhäuser ist im Bereich Cardiac Rhythm Management und Vascular Intervention eines großen Medizintechnikunternehmens tätig. Sie arbeitet seit 1991 im Fachbereich Herzschrittmachertherapie und ist seit 2001 zusätzlich in den Fachgebieten Defibrillator- und Resynchronisationstherapie tätig. Ihre Erfahrung sammelte sie in den Bereichen Produktmanagement, Marketing, Training und Education, sowie in der klinischen Praxis durch die Betreuung von zahlreichen Implantationen, Studien sowie Troubleshooting Cases. Im Rahmen ihrer langjährigen Arbeit hat sie eine umfassende theoretische und praktische Expertise in der Herzschrittmachertherapie erlangt.

Dr. med. Wilhelm Fischer
Seit 1984 Chefarzt der Inneren Abteilung und Ärztlicher Direktor des Krankenhauses Peißenberg. Autor mehrerer Fachbücher – u. a. »Praxis der Herzschrittmachertherapie« (in Zusammenarbeit mit internationalen Experten, in mehreren Sprachen veröffentlicht: Französisch, Deutsch, Englisch, Italienisch, Japanisch). Mitherausgeber der ersten Leitlinien der DGK (»Richtlinien zur Herzschrittmachertherapie«). Mitinitiator und Mitautor des Curriculums »Praxis der Herzschrittmachertherapie« (2001, Update 2007). Mitherausgeber des Bandes 2004/1 Herzschrittmacher & Elektrophysiologie: »Störbeeinflussung von implantierbaren Herzschrittmachern und Defibrillatoren«. 1994 bis 2000 Mitglied des Nucleus der Arbeitsgruppe Herzschrittmacher. Seit Jahrzehnten aktives Mitglied im VDE/DIN der Deutschen Kommission für Elektrotechnik, Mitautor u. a. am Positionspapier »Kernspintomografie bei Patienten mit implantiertem Herzschrittmacher, Defibrillator oder CRT-Gerät« (2012). Er hält internationale und nationale Vorträge und Seminare über »Herzschrittmachertherapie in Theorie und Praxis« (u. a. zusammen mit dem Coautor Dr. Michael Jakob).

Dr. med. Michael Jakob
Leitender Oberarzt der Medizinischen Klinik im Knappschaftsklinikum Saar GmbH, Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität des Saarlands, seit 1981 schwerpunktmäßig auf dem Gebiet der Elektrophysiologie und Schrittmachertherapie klinisch tätig. Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Herz-Kreislauf-Forschung. Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Herzschrittmacher und Elektrophysiologie. Elected Member der European Working Group on Cardiac Pacing. Mehr als 50 Publikationen und Vorträge auf nationalen und internationalen Kongressen.

Initiator und wissenschaftlicher Leiter des 1. interaktiven Internetforums für SM-EKGs, Kasuistiken und Problemlösungen. Im Rahmen der Verpflichtungen der studentischen Ausbildung des Akademisches Lehrkrankenhaus Tutor mit Vorlesungen über Rhythmologie und Echokardiographie. Seit Jahren als Ausbilder und Referent für alle Teilaspekte der SM-Therapie national wie international tätig. Kursleiter und in Zusammenarbeit mit Dr. Wilhelm Fischer verantwortlich für die Durchführung eines Curriculums der Schrittmachertherapie nach den Vorgaben der DGK.

Dr. Michael Jakob
Klinik für Innere Medizin
Knappschaftskrankenhaus Sulzbach
An der Klinik 10
66280 Sulzbach

Abkürzungsverzeichnis

Ω	Ohm
µA	Microampere
µJ	Microjoule
µT	Microtesla
A	Atrialer Stimulus im Herzschrittmacher-EKG
A00	Vorhofschrittmacher mit asynchroner Stimulation (▶ Abschn. 1.8)
AAI	P-Wellen-inhibierbarer Vorhofschrittmacher (▶ Abschn. 1.8)
AAI Safe R	Algorithmus zur Vermeidung ventrikulärer Stimulation
AAT	P-Wellen-getriggerter Vorhofschrittmacher (▶ Abschn. 1.8)
ACap Confirm	Automatische atriale Impulsamplitudenanpassung
ACC	Active capture control (▶ Abschn. 2.6.2)
ACM	Atrial capture management (▶ Abschn. 2.7.2)
ACR	Atrial chamber reset (▶ Abschn. 2.7.2)
AED	Automatischer externer Defibrillator
AF	Vorhofflimmern (»atrial fibrillation«)
AFib/AFlatt	Vorhofflimmern und/oder Vorhofflattern
AGC	Automatic Gain Control, Automatische Empfindlichkeitsanpassung
Ah	Amperestunden (»ampere-hour«)
AI	Auslöseintervall
AMC	Automatic mode conversion
AMV	Atemminutenvolumen
APP	Atriale Stimulationspräferenz (»dynamic atrial overdrive«)
ARP	Atriale Refraktärperiode
ARS	Atriale Frequenzstabilisierung (»atrial rate stabilization«)
AT	Atriale Tachykardie
ATC	Automatic threshold monitoring
ATDR	Atriale Tachykardie Erkennungsfrequenz (»atrial tachycardia detection rate«)
ATR	Atriale Tachyreaktion
ATM	Atriale Amplitudensteuerung (▶ Abschn. 2.6.2) und Automatic Threshold Monitoring (▶ Abschn. 2.7.2)
ATP	Antitachykarde Stimulation (»antitachycardia pacing«)
AV	Atrioventrikulär
AVB	AV-Block
AVC	AV-Conduction mode
AVD	AV-Delay
AVI	AV-Intervall nach Vorhofstimulation
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BOL	Beginn der Laufzeit (»begin of life«)
BOS	Beginn der Laufzeit (»begin of service«)
BPEG	British Pacing and Electrophysiology Group
BTS	Bradykardie-Tachykardie-Syndrom
CSS	Karotissinussyndrom (»carotid sinus syndrome«)
CLS	Closed Loop Stimulation (▶ Abschn. 3.1.3)

CRT	Kardiale Resynchronisationstherapie (»cardiac resynchronization therapy«)
CS	Koronarsinus (»coronary sinus«)
CSM	Karotissinusmassage (»carotid sinus massage«)
DAO	Dynamischer atrialer Overdrive (»dynamic atrial overdrive«)
DCM	Dilatative Kardiomyopathie (»dilative cardiomyopathy«)
DGK	Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Herz- und Kreislaufforschung
D00	Modus des Zweikammerschrittmachers (▶ Abschn. 1.8)
DDD	Modus des Zweikammerschrittmachers (▶ Abschn. 1.8)
DDD/AMC	AV-Such-Hysterese – Automatic Mode Commutation
DDI	Modus des Zweikammerschrittmachers (▶ Abschn. 1.8)
DPlus	AV-Such-Hysterese
EF	Auswurffraktion (»ejection fraction«)
EGM	Elektrogramm
EKG	Elektrokardiogramm
ELT	Schrittmacher-Reentry-Tachykardie (»endless loop tachycardia«)
EMI	Elektromagnetische Störbeeinflussung (»electromagnetic interference«)
EOL	Ende der Laufzeit (»end of Life«)
EOS	Ende der Laufzeit (»end of service«)
EP	Evoziertes Potential (»evoked potential«)
ER	Evozierte Antwort (»evoked response«)
ERI	Austauschindikator (»elective replacement indicator«)
ERT	Austauschindikator (»elective replacement time«)
ESC	European Society of Cardiology
F_{max}	Maximalfrequenz, upper rate limit, max. Synchronfrequenz
FFS	Far Field Sensing, R-Wellen Far-Field-Sensing, R-Wellen-Fernfeldwahrnehmung
FMS	Fallback Mode Switch
HCM	Hypertrophe Kardiomyopathie (»hypertrophic cardiomyopathy«)
HOCM	Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie (»hypertrophic obstructive cardiomyopathy«)
HRS	Heart Rhythm Society (vormals NASPE)
HSM	Herzschrittmacher
HV	Intervall zwischen His-Bündelsignal (His-Elektrogram) und ventrikulärem Signal
Hz	Hertz
Hy	Hysterese, Frequenzhysterese
IC	Integrated circuit
ICD	Implantierbarer Cardioverter Defibrillator
ICHD	Intersociety Commission for Heart Disease Resources
IEC	International Electricotechnical Commission
IEGM	Intrakardiales Elektrogramm
Interval F_{max}	Intervall der Maximalfrequenz
ipm	Impulse pro Minute, z. B. Stimulationsimpulse pro Minute
IRI	Nahe bevorstehender Austauschindikator (»imminent replacement indicator«)

IS 1	Internationaler Standard No. 1 (Steckernorm)
ISO	International Standard Organization
J	Joule
kΩ	Kiloohm
KHK	Koronare Herzerkrankung
kV	Kilovolt
LV	Linksventrikulär
LVEDD	Linksventrikulärer enddiastolischer Diameter
LVEF	Linksventrikuläre Auswurffraktion (»ejection fraction«)
mA	Milliampere
min^{-1}	Schläge pro Minute (intrinsische Frequenz)
ms	Millisekunden
MPV	Minimization of pacing in the ventricles
MVP	Managed ventricular pacing
MRI	Kernspintomograph (»nuclear magnetic resonance imager«)
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunden
mT	Millitesla
MTR	Maximum tracking rate
mV	Millivolt
NASPE	North American Society of Pacing and Electrophysiology (jetzt HRS)
NBG Code	NASPE/BPEG Generic Pacemaker Code
NCAP	Nicht-konkurrierende atriale Stimulation (»non competitive atrial pacing«)
NIPS	Nicht-invasive programmierbare Stimulation
NMR	Kernspintomograph (»nuclear magnetic resonance imager«)
NSP	Störfrequenzsammelperiode (»noise sampling period«)
NYHA	Herzinsuffizienzklasse (New York Heart Association)
O_2	Sauerstoff (Oxygen)
P	Spontane P-Welle
PAC	SVES, Atriale Extrasystole (»premature atrial contraction«)
PAV	Paced-AV-Intervall, AV-Intervall nach Vorhofstimulation
PAVB	Postatriales ventrikuläres Blanking
PEA	Peak endocardial acceleration (▶ Abschn. 3.1.4)
PEI	Preinjection interval
PEPS	Postextrasystolische Pausensuppression
PES	Programmierte Elektrische Stimulation
PMOP	Post Mode Switch Overdrive Pacing
PMT	Schrittmachervermittelte Tachykardie (»pacemaker mediated tachycardia«)
PP	P-P-Intervall; atriales Intervall von P-Welle zu P-Welle
PR	P-R-Intervall; Intervall zwischen P-Welle und der darauffolgenden R-Zacke
PSA	Pacing System Analyzer
PVAB	Postventrikuläres atriales Blanking
PVARP	Postventrikuläre atriale Refraktärperiode
PVC	VES, Ventrikuläre Extrasystole (»premature ventricular contraction«)
PVI	AV-Intervall nach atrialer Wahrnehmung

R	Spontane R-Welle
RAM	Random access memory
ROM	Read only memory
RR	R-R-Intervall; ein ventrikuläres Intervall
RRT	Austauschindikator (»recommended replacement time«)
RV	Rechtsventrikulär
RythmiQ	Algorithmus zur Vermeidung ventrikulärer Stimulation
Safe R	Algorithmus zur Vermeidung ventrikulärer Stimulation
SAV	Sensed AV-Intervall, AV-Intervall nach Vorhofwahrnehmung
SBR	Spontane Brady Reaktion (▶ Abschn. 3.2.2)
SCD	Plötzlicher Herztod (»sudden cardiac death«)
SI	Stimulationsintervall
SKS	Sinusknotensyndrom
SM	Schrittmacher
SR	Sinusrhythmus
SSS	Sinusknotensyndrom (»sick sinus syndrome«)
ST	Sinustachykardie
SVES	Supraventrikuläre Extrasystole
SVT	Supraventrikuläre Tachykardie
TARP	Totale atriale Refraktärperiode
TDR	Tachykardie Erkennungsfrequenz (»tachycardia detection rate«)
TENS	Transkutane elektrische Nervenstimulation
URI	Intervall der maximalen Grenzfrequenz (»upper rate interval«)
URL	Maximale Grenzfrequenz, F_{max} (»upper rate limit«)
V	Volt
V	Ventrikulärer Stimulus im Schrittmacher-EKG
V00	Modus des Kammerschrittmacher (▶ Abschn. 1.8)
VA	Ventrikuloatrial
VA-Intervall	Atriales Erwartungsintervall nach einem ventrikulären Ereignis
VDD	P-Wellen-getriggerter Ventrikelschrittmacher (▶ Abschn. 1.8)
VES	Ventrikuläre Extrasystole
VF	Kammerflimmern (»ventricular fibrillation«)
VRP	Ventrikuläre Refraktärperiode
VRS	Ventrikuläre Frequenzstabilisierung (»ventricular rate stabilization«)
VSF	Ventrikuläres Sicherheitsfenster
VSS	Ventrikulärer Sicherheitsstimulus
VT	Ventrikuläre Tachykardie
VVI	R-Wellen-inhibierbarer Kammerschrittmacher (▶ Abschn. 1.8)
VVS	Vasovagales Syndrom
VVT	R-Wellen-getriggerter Kammerschrittmacher (▶ Abschn. 1.8)
WARAD	Vorzeitigkeitsfenster (»window of atrial rate acceleration detection«)

Inhaltsverzeichnis

1 **Grundlagen** ... 1
1.1 Schrittmacheraufbau ... 3
1.2 Schrittmachersonden ... 3
1.3 Konfiguration unipolar/bipolar ... 5
1.4 Parameter Stimulation/Wahrnehmung ... 7
1.5 Internationale Kodierung von Schrittmachern und Sonden ... 12
1.6 Schrittmacher-EKG ... 13
1.7 Zeitintervalle – Frequenzen – Refraktärzeiten ... 18
1.8 Stimulationsbetriebsarten ... 29
1.9 Limitierung der ventrikulären Maximalfrequenz bei totalem AV-Block ... 37

2 **Schutzfunktionen** ... 43
2.1 Ventrikuläre Sicherheitsstimulation – Vermeidung von AV-Crosstalk ... 44
2.2 Algorithmen zum Schutz vor schrittmacherbeteiligten Tachykardien ... 45
2.3 Algorithmen zur Vermeidung von Vorhoftachyarrhythmien/ Präventionsalgorithmen ... 55
2.4 Algorithmen zur Terminierung von Vorhofarrhythmien ... 56
2.5 Automatische Empfindlichkeitsanpassung ... 57
2.6 Automatische Anpassung der ventrikulären Impulsamplitude ... 58
2.7 Automatische Anpassung der atrialen Impulsamplitude ... 59
2.8 Automatische Sondenüberwachung ... 61
2.9 Störmodus ... 61
2.10 Bedingt MR-sichere Herzschrittmachersysteme ... 61

3 **Algorithmen zur Optimierung der Hämodynamik** ... 63
3.1 Frequenzadaptation ... 64
3.2 Weitere Algorithmen, die zu einer Frequenzanpassung führen ... 66
3.3 AV-Intervall ... 67
3.4 Algorithmen zur Vermeidung unnötiger rechtsventrikulärer Stimulation bei DDD-Systemen ... 71
3.5 Algorithmen zur Förderung der intrinsischen Frequenz ... 74

4 **Basisnachsorge** ... 77
4.1 Apparative Ausstattung ... 78
4.2 Anamnese ... 78
4.3 Klinische Untersuchung ... 78
4.4 Ruhe-EKG ... 78
4.5 Schrittmacherabfrage der programmierten Daten und Übersicht ... 78
4.6 Batteriestatus ... 80
4.7 Analyse der Diagnostik/Statistik/Holter ... 80
4.8 Sondenstatus ... 81
4.9 Sensingtest ... 83
4.10 Reizschwellentest ... 88
4.11 Nachsorgeabschluss ... 89

5 **Erweiterte Nachsorge** ... 93
5.1 Wenckebach-Punktbestimmung ... 94
5.2 Retrograder Leitungstest ... 94
5.3 Magnettest ... 94
5.4 Inhibitionstest ... 95
5.5 Provokationstest ... 95
5.6 Belastungstest ... 97
5.7 Simulation ... 97
5.8 Langzeit-EKG-Untersuchungen ... 97
5.9 Röntgendiagnostik ... 98
5.10 Echokardiografie ... 98
5.11 Telemonitoring ... 98

6 **Diagnosefunktionen** ... 101
6.1 Ereigniszähler/Statistiken ... 102
6.2 Herzfrequenzanalyse ... 102
6.3 Arrhythmiediagnostik ... 103
6.4 Überprüfung der Sensorfunktionen ... 104
6.5 Monitorfunktion Sensingwerte ... 104
6.6 Reizschwellentrend ... 104
6.7 Sondenimpedanztrend ... 104
6.8 AV-Überleitungsdiagnostik ... 105
6.9 Programmierempfehlungen auf Basis von Diagnosedaten ... 106
6.10 Herzinsuffizienzdiagnostik ... 106
6.11 Schlafapnoediagnostik ... 108
6.12 Limitationen von Diagnosefunktionen ... 108

7 **Programmierung** ... 111
7.1 Modus ... 113
7.2 Frequenzen ... 113
7.3 PV/AV-Intervalle/AV-Korrekturen ... 114
7.4 Blanking und Refraktärzeiten ... 115
7.5 Stimulations- und Wahrnehmungsparameter ... 117
7.6 Zusammenfassung der Programmmierempfehlungen ... 118

8 **Komplikationen** ... 123
8.1 Komplikationen postoperativ ... 124
8.2 Komplikationen postoperativ und im Langzeitverlauf ... 125

9 **Troubleshooting** ... 137
9.1 Schrittmacher-EKG-Analyse ... 138
9.2 Auffällige EKG-Befunde ... 140
9.3 Wahrnehmungsprobleme ... 141
9.4 Stimulationsprobleme ... 151
9.5 Tachykardien bei Schrittmacherpatienten ... 152
9.6 Frequenzabfallreaktion ... 156
9.7 Fallstricke ... 156
9.8 Zusammenfassung ... 163

10 **Antworten auf häufige Patientenfragen** 165
10.1 **Allgemeine Fragen** 166
10.2 **Störbeeinflussung/Patientensicherheit** 167

11 **Notfälle und Probleme bei Herzschrittmacherpatienten** 175
11.1 **Notfallsituationen während der Schrittmachernachsorge** 176
11.2 **Notfallsituationen unabhängig von der Schrittmachernachsorge** 176

12 **Schrittmacherindikationen und Systemauswahl** 179
12.1 **Indikationen** 180
12.2 **Systemwahl** 180

13 **Neue Trends/Ausblick** 185

Anhang 189

Umrechnungstabelle Intervalle/Frequenzen 191

Fachgesellschaften, weiterführende Literatur, Internetadressen 195

Schrittmacherlexikon 197

Stichwortverzeichnis 217

Grundlagen

1.1 Schrittmacheraufbau – 3
1.1.1 Einkammerschrittmacher – 3
1.1.2 Zweikammerschrittmacher – 3
1.1.3 Biventrikulärer Schrittmacher – 3

1.2 Schrittmachersonden – 3

1.3 Konfiguration unipolar/bipolar – 5
1.3.1 Unipolare Konfiguration – 5
1.3.2 Bipolare Konfiguration – 6

1.4 Parameter Stimulation/Wahrnehmung – 7
1.4.1 Stimulation – 7
1.4.2 Wahrnehmung (Sensing/Detektion) – 10

1.5 Internationale Kodierung von Schrittmachern und Sonden – 12

1.6 Schrittmacher-EKG – 13
1.6.1 Schrittmacherstimulus – 13
1.6.2 Pseudofusionen – Fusionen – Pseudopseudofusionen – 15
1.6.3 Lagetyp – 17

1.7 Zeitintervalle – Frequenzen – Refraktärzeiten – 18
1.7.1 Stimulationsintervall – 18
1.7.2 Auslöseintervall – 18
1.7.3 Grundintervall/Grundfrequenz – 19
1.7.4 AV-Intervall – 19
1.7.5 Frequenzhysterese – 20
1.7.6 Maximale Sensorfrequenz – 21
1.7.7 Maximalfrequenz/Obere Grenzfrequenz – 22
1.7.8 Ausblendzeit (Blanking) – 22
1.7.9 Refraktärperioden – 25
1.7.10 Übersicht der Zeitintervalle und Refraktärzeiten in VVI-, AAI- und DDD-Herzschrittmachern – 27

1.8 Stimulationsbetriebsarten – 29
1.8.1 Ventrikuläre Schrittmachersysteme – 29
1.8.2 Atriale Schrittmachersysteme – 32

D. Morschhäuser, W. Fischer, *Praxis der Herzschrittmacher-Nachsorge*,
DOI 10.1007/978-3-642-35273-7_1, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

1.8.3 Zweikammersystem mit Single Lead – 35
1.8.4 Zweikammerschrittmacher – 35

1.9 Limitierung der ventrikulären Maximalfrequenz bei totalem AV-Block – 37

1.9.1 Limitierung durch Maximalfrequenz – Wenckebach-Verhalten – 37
1.9.2 Limitierung durch TARP – 2:1-(n:1)-Blockverhalten – 40

1.1 Schrittmacheraufbau

Der Schrittmacher ist ein elektronischer Impulsgeber, der den Herzmuskel bei zu langsamem Herzschlag stimuliert und depolarisiert. Herzschrittmacher beobachten die Herzfrequenz und geben bei Bedarf Stimulationsimpulse ab. Mittels Programmierung können die Schrittmacherfunktionen an die individuellen Bedürfnisse des Patienten angepasst werden.

Das Gehäuse des Schrittmachers besteht aus körperverträglichem Titan. Innerhalb des Schrittmachergehäuses befinden sich eine Batterie und ein Microcomputer. Der Microcomputer kontrolliert die gesamte Funktion des Herzschrittmachers. Er erzeugt elektrische Impulse und gibt diese zeitlich gesteuert an das Herz ab (◘ Abb. 1.1).

Für die Energieversorgung haben sich überwiegend die langlebigen Lithium-Jod-Batterien, wie auch in neuerer Zeit die Niedrigimpedanzbatterien (z. B. Hybrid-Carbonfluorid (CFx)-Lithium-Silber-Vanadiumoxid-Batterien oder Lithium-Mangandioxid-Batterien) durchgesetzt. Die Batterielaufzeit kann jedoch beträchtlich variieren. Je nach eingestellter Energieabgabe (Output), internem Stromverbrauch und Batteriekapazität beträgt sie zwischen 5 und 15 Jahre. Sonden stellen die Verbindung zwischen Herzschrittmacher und Herz dar und werden in der Regel bei der Implantation über die Venen zum Herzen vorgeschoben und dort positioniert. Das distale Ende der Sonde liegt je nach Schrittmachertyp im rechten Vorhof und/oder im Ventrikel. Für die kardiale Resynchronisationstherapie (CRT) ist zusätzlich noch eine Sonde für den linken Ventrikel erforderlich. Die proximalen Enden der Sonden, die Sondenstecker, werden mit dem Schrittmacherkonnektor des Herzschrittmachers verbunden. Um einen problemlosen Austausch der Herzschrittmacher bei Batterieerschöpfung zu ermöglichen, wurde der Schrittmacherkonnektor Anfang der 1990er genormt (IS-1-Anschluss – 3,2 mm Durchmesser). Allerdings gibt es immer noch vereinzelt langlebige alte Sonden und Schrittmachermodelle mit 5- oder 6-mm-Konnektoranschlüssen. Hier ist bei einem Schrittmacheraustausch die Adaptation der Sonde auf den IS-1-Anschluss erforderlich (◘ Abb. 1.2).

1.1.1 Einkammerschrittmacher

- **Vorhofschrittmacher** (◘ Abb. 1.3)
- **Ventrikelschrittmacher** (◘ Abb. 1.4)

1.1.2 Zweikammerschrittmacher

- **Zweikammerschrittmacher (DDD/DDI)** (◘ Abb. 1.5)
- **VDD-Single-Lead-Schrittmacher** (◘ Abb. 1.6)

Der VDD-Schrittmacher stellt eine Sonderform des Zweikammerschrittmachers dar. Ein spezielles Single-Lead-System, das im rechten Ventrikel befestigt wird, verfügt auf Höhe des rechten Vorhofes über zwei Elektrodenringe. Über diese (flottierenden) Elektrodenringe können atriale Ereignisse wahrgenommen werden. Im Ventrikel kann das System unipolar oder bipolar konfiguriert sein.

1.1.3 Biventrikulärer Schrittmacher

Der biventrikuläre Schrittmacher verfügt neben einer rechtsventrikulären Sonde noch zusätzlich über eine linksventrikuläre Sonde (mit oder ohne Vorhofsonde). Diese Schrittmacher finden Anwendung in der kardialen Resynchronisationstherapie (CRT). Ziel hierbei ist es, die Kontraktion der rechten und linken Herzkammer zu synchronisieren und damit den kardialen Output zu optimieren (◘ Abb. 1.7). Auf die kardiale Resynchronisationstherapie wird in diesem Buch nicht näher eingegangen.

1.2 Schrittmachersonden

Um eine Verwechslung mit Elektroden aus der Elektrochemie zu vermeiden (positive Elektrode Anode, negative Elektrode Kathode) wird im weiteren Text statt von Schrittmacherelektroden nur von Schrittmachersonden bzw. Sonden gesprochen.

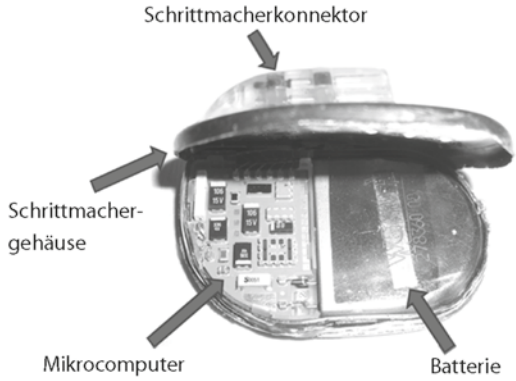


Abb. 1.1 Schrittmachergehäuse und Innenleben

Abb. 1.2 Entwicklung der Schrittmachergehäuse: von den Anfängen der Schrittmachertherapie bis 2010. Dieses Bild ist eine Fotomontage und zeigt nur ungefähre Größenverhältnisse. (Fotomontage wurde erstellt aus Schrittmachern der Firmen Biotronik, Boston, Intermedics, Medtronic, Sorin, St. Jude)

Die Anforderungen an heutige Schrittmachersonden/Schrittmacherelektroden sind hohe Langzeitstabilität, gutes Handling und gute elektrische Eigenschaften. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, unterscheiden sich die Sonden bzgl. Isolationsmaterial, Befestigungsmechanismus, Polarität und Steroidfreisetzung.

Beim Isolationsmaterial werden im Wesentlichen nur zwei Materialien verwendet – Silikon und Polyurethane. Silikonisolierungen zeigen eine hohe Langzeitstabilität und Flexibilität. Sonden mit Polyurethanisolierungen sind beliebt aufgrund ihrer besseren Gleitfähigkeit und des geringeren Sondendurchmessers im Vergleich zu Silikonsonden. Nachteilig gegenüber Silikon zeigte sich hingegen in der Vergangenheit die hohe Isolationsbruchgefahr von bipolaren Polyurethansonden zwischen Innen- und Außenleiter. Heute werden andere Polyurethane verwendet, die bessere Langzeitergebnisse erwarten lassen. Um die Vorteile beider Materialien zu vereinen, stehen mittlerweile Silikonsonden mit einem Polyurethancoating zur Verfügung oder es werden für die Isolation auch Materialkombinationen aus Silikon und Polyurethan verwendet.

Für die Befestigung der Sonde im Myokard kommt entweder die passive Methode mittels Anker oder die aktive Methode mittels feststehender oder herausdrehbarer Schraube zur Anwendung. Beide Verfahren bieten Vor- und Nachteile. Die passive Fixierung zeichnet sich durch ein geringeres Verletzungspotenzial gegenüber der aktiven Fixierung aus. Allerdings benötigt die Ankersonde myokardiale Trabekel und ist demzufolge bzgl. des Befestigungsortes limitiert. Mit Schraubsonden eröffnet sich die freie Auswahl des Stimulationsortes (Abb. 1.8 u. Abb. 1.9).

Bezüglich der Polarität werden uni- und bipolare Sonden unterschieden. Unipolare Sonden verfügen nur über einen Zuleitungsdraht in der Sonde, während bipolare Sonden über zwei Zuleitungsdrähte verfügen. Da die Vorteile der bipolaren Sonden überwiegen (▶ Abschn. 1.3; ▶ Kap. 9), werden bei Neuimplantationen in der Regel bipolare Sonden implantiert.

Um den postoperativen Reizschwellenanstieg und die chronische Reizschwelle zu verringern, gibt

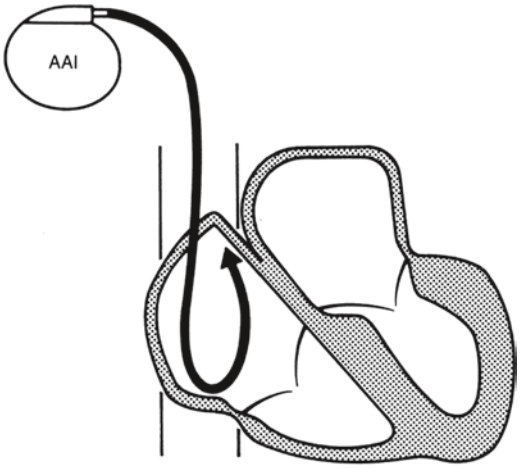


Abb. 1.3 Vorhofschrittmacher verfügt über eine Sonde im rechten Vorhof. Aus: Fischer u. Ritter (2002)

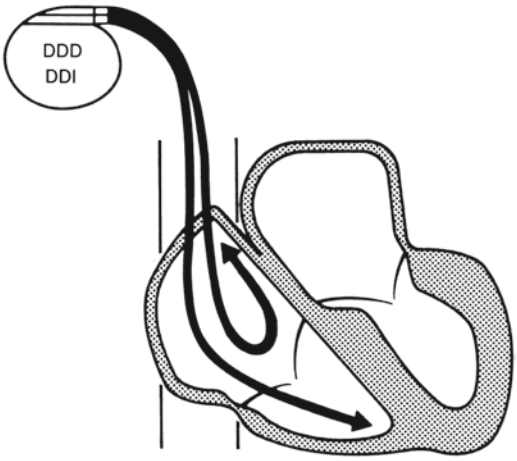


Abb. 1.5 DDD/DDI-Schrittmacher verfügt über jeweils eine Sonde im rechten Vorhof und rechten Ventrikel. Aus: Fischer u. Ritter (2002)

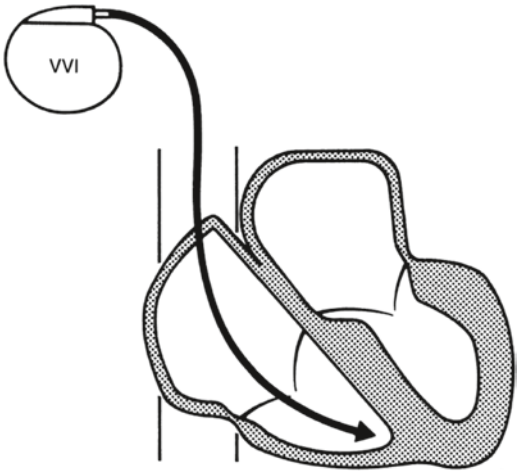


Abb. 1.4 Ventrikelschrittmacher verfügt über eine Sonde im rechten Ventrikel. Aus: Fischer u. Ritter (2002)

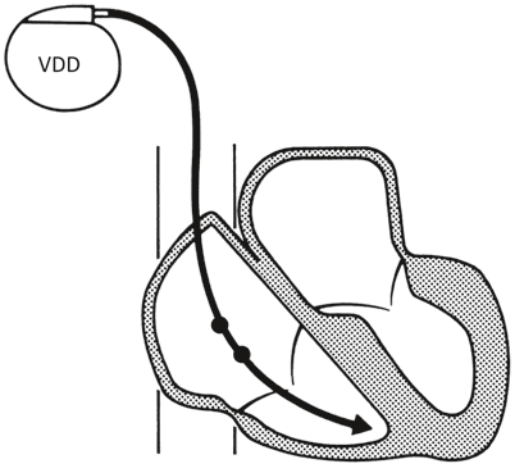


Abb. 1.6 Schematische Darstellung eines VDD-Schrittmachers

es steroidfreisetzende Sonden. Diese Sonden verfügen z. B. über ein Steroiddepot am distalen Ende der Sonde, das eine kontinuierliche Freisetzung von entzündungshemmendem Steroid ermöglicht.

Für die Konzeption bedingt MRI-fähiger Sonden haben die Hersteller unterschiedliche Ansätze verfolgt. Es wurden entweder die ferromagnetischen Anteile reduziert, ein spezieller Filter in die Sondenspitze eingebaut oder die Wickelung der Leiter geändert (▶ Abschn. 2.10).

1.3 Konfiguration unipolar/bipolar

1.3.1 Unipolare Konfiguration

Unipolare Stimulation

Bei der unipolaren Stimulation fließt der Strom durch den Zuleitungsdraht der Sonde zum Myokard und fließt über das Gewebe zurück zum Schrittmachergehäuse. Das elektrische Feld erstreckt sich sowohl intrakardial als auch extra-

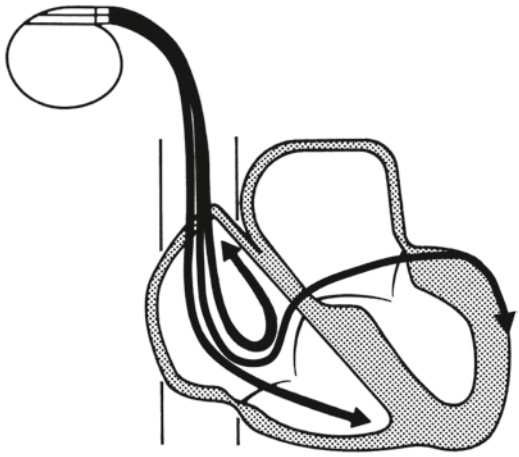


Abb. 1.7 Schematische Darstellung eines biventrikulären Schrittmachers

Abb. 1.9 Distales Ende einer Schraubsonde. Mit freundlicher Genehmigung der Biotronik SE & Co. KG

Abb. 1.8 Distales Ende einer Ankersonde. Mit freundlicher Genehmigung der Sorin Group Deutschland GmbH

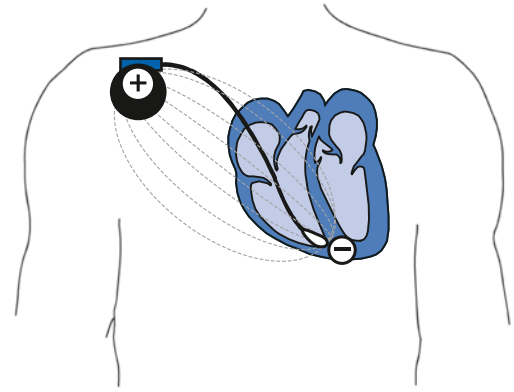


Abb. 1.10 Bei der unipolaren Konfiguration arbeitet die Sondenspitze als negative Elektrode (Kathode -) und das Schrittmachergehäuse als positive Elektrode (Anode ·). Aus: Fischer u. Ritter (2002)

kardial bis zum Schrittmachergehäuse, sodass die Gefahr der Pektoralisstimulation gegeben ist. Vorteilhaft ist die gute Erkennung des unipolaren Stimulus im EKG (Abb. 1.10).

Unipolare Wahrnehmung

Für die Wahrnehmung von Signalen wird die Potenzialdifferenz zwischen Kathode und Anode gemessen. Da die unipolare Wahrnehmung sich über eine große extrakardiale Fläche erstreckt, ist sie demzufolge störanfällig für Myosignale und externe Signale. So können z. B. die Myosignale der Pektoralismuskulatur fälschlicherweise als herzeigene Signale erkannt werden und eine Impulsabgabe inhibieren. Genau das Gleiche gilt für externe elektrische, elektromagnetische oder magnetische Störquellen. Die unipolare Wahrnehmung ist bzgl. Störanfälligkeit der bipolaren Wahrnehmung erheblich unterlegen.

1.3.2 Bipolare Konfiguration (Abb. 1.11)

Bipolare Stimulation

Der Strom fließt durch den Zuleitungsdraht der Sonde zum distalen Ende der Elektrode (Kathode). Beim Herzschrittmacher geht man üblicherweise von einer kathodalen Stimulation aus. Von dort