

Österreichische Gesellschaft für Anästhesiologie, Reanimation und
Intensivmedizin

Österreichische Kardiologische Gesellschaft

Österreichische Gesellschaft für Chirurgie

Empfehlungen für das perioperative Management von PatientInnen mit implantiertem Schrittmacher oder Kardioverter Defibrillator

H. Gombotz, M. Anelli Monti¹, N. Leitgeb², M. Nürnberg³, B. Strohmayer⁴

Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Allgemeines Krankenhaus der
Stadt Linz

¹ Klinische Abteilung für Herzchirurgie, Medizinische Universität Graz

² Institut für Health Care Engineering mit Europaprüfstelle für Medizinprodukte,
Technische Universität Graz

³ 3. Medizinische Abteilung mit Kardiologie und Internistischer Notaufnahme,
Wihelminenspital der Stadt Wien

⁴ Univ. Klinik für Innere Medizin II, Kardiologie und Internistische Intensivmedizin,
Salzburger Landeskliniken, Paracelsus Medizinische Privatuniversität Salzburg



Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. H. Gombotz
Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin, AKH Linz
Krankenhausstraße 9
A-4020 Linz, Austria
Tel.: +43 732 7806 2157
Fax: +43 732 7806 2154
E-mail: hans.gombotz@akh.linz.at

Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Das perioperative Risiko von PatientInnen mit implantierten Schrittmachern oder Defibrillatoren hängt in erster Linie von der jeweiligen Grunderkrankung ab. Allerdings können durch elektromagnetische Interferenzen im Umfeld der Operation schwere bis lebensbedrohliche Störungen der implantierten Systeme auftreten. Diese Komplikationen können durch entsprechende Maßnahmen verhindert bzw. behandelt werden. Trotz unzureichender Datenlage wurden in Kooperation von drei wissenschaftlichen Fachgesellschaften für dieses spezielle Patientenkollektiv Empfehlungen für die Praxis erarbeitet.

The perioperative risk of pacemaker patients and patients with implanted cardioverter/defibrillator is mainly dependent on the underlying disease. However, due to electromagnetic interferences severe to life-threatening complications caused by the implanted system may occur. These complications can be prevented or adequately treated by using special precautions and measures. Although there is insufficient evidence in the literature, recommendations for this special group of patients are made in cooperation of 3 Austrian Societies.

Einleitung

PatientInnen mit implantiertem Herzschrittmacher (SM) und/oder implantiertem Kardioverter Defibrillator (ICD) stellen für AnästhesistInnen wegen ihrer Grund- und Begleiterkrankungen sowie der zunehmenden Komplexität der implantierten Systeme eine besondere Herausforderung dar. Wie auch in anderen medizinischen Bereichen hat die demographische Entwicklung zum Anstieg des Alters der PatientInnen und somit zu einer Verschärfung dieses Problems geführt. Lag im Jahr 1982 das mittlere Alter aller SM/ICD PatientInnen bei 70 Jahren, so sind heute die PatientInnen mit Erstimplantationen von SM/ICD Systemen im Schnitt 77 Jahre alt [29]. Weltweit gibt es mehr als 3 Millionen SchrittmacherpatientInnen und ca. eine Million PatientInnen mit implantiertem Defibrillator. Es wird geschätzt, dass im Jahr 2006 in Nordamerika ungefähr 280000 SM Systeme und 160000 ICDs implantiert wurden, wohingegen die Implantationszahlen für West und Zentral Europa bei 250000 SM und 50000 ICDs liegen[105]. Vergleichbar zu anderen Ländern der westlichen Hemisphäre stieg z.B. in Deutschland laut deutschem Zentralregister für Herzschrittmacher die Zahl der Erstimplantationen von SM/ICD Systemen von 28000 im Jahr 2002 auf 65447 im Jahr 2005 bzw. 65038 im Jahr 2006. In Österreich wurden im Jahr 2007 laut EUCOMED mehr als 6000 SM Systeme, 700 Systeme zur kardialen Resynchronisationstherapie (CRT) und 1600 ICD Systeme implantiert [2].

Insgesamt hat die SM und ICD Therapie eine verbesserte Lebensqualität sowie eine deutliche Reduktion der Morbidität und Mortalität insbesondere bei HochrisikopatientInnen bewirkt. Neben den konventionellen Indikationen zur Implantation eines Schrittmachers wird die ICD Therapie bei malignen Arrhythmien vor allem bei PatientInnen mit höhergradig eingeschränkter Linksventrikelfunktion einer pharmakologischen Therapie vorgezogen [28]. Zunehmend werden auch zur Therapie einer schweren Linksherzinsuffizienz sogenannte biventrikuläre Herzschrittmacher oder ICDs zur kardialen Resynchronisation implantiert. In den Richtlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie wird die CRT bei PatientInnen mit schwerer Herzinsuffizienz und interventrikulären Reizleitungsstörungen bereits als Klasse I Indikation aufgeführt [24]. Aufgrund der hohen Prävalenz dieses Krankheitsbilds (ca. 6 Millionen Erkrankte in Europa) wird es dadurch zu einem weiteren deutlichen Ansteigen von SM/ICD PatientInnen mit schwerer Herzinsuffizienz als Grunderkrankung kommen. Weiters werden batriale

Schrittmacher in der Prävention des Vorhofflimmerns erforscht [75]. In Anbetracht dieser Entwicklung ist es tägliche Routine, dass PatientInnen mit implantiertem SM/ICD Systemen unterschiedlichsten operativen Eingriffen unterzogen werden müssen. Bis heute wurden von 26 Firmen etwa 2000 verschiedene SM oder ICD Modelle auf den Markt gebracht. Im europäischen Raum werden derzeit SM/ICD Systeme von zumindest 6 Erzeugerfirmen verwendet. Jede Firma bietet eine Vielzahl unterschiedlicher Modelle mit unterschiedlichen Funktionen, Programmiergeräten und Programmiermöglichkeiten an. Es wäre aus klinischer Sicht wünschenswert, dass ein standardisiertes herstellerübergreifendes Programmiergerät, welches zumindest die wichtigsten SM/ICD Funktionen aller am Markt befindlichen Geräte beherrscht, angeboten wird. Grundsätzlich ist es den Krankenhäusern nicht zuzumuten, Programmiergeräte aller Hersteller verfügbar zu halten.

In den letzten Jahren waren etliche Herstellerfirmen mit einer Reihe von Fehlfunktionen v. a. ihrer ICD Systeme konfrontiert [59]. Dies hat die European Cardiac Arrhythmia Society (ECAS) bewogen, ein eigenes "Committee for Device Failures and Complications" zu gründen, welches behandelnden Ärzten beratend zur Seite stehen soll [86]. Die steigende Anzahl multimorbider SM/ICD PatientInnen, die Vielfalt und Zunahme der Komplexität der einzelnen Systeme, verschärft durch die zunehmende Zahl von operativen Eingriffen in Einrichtungen, welche nicht mit ausreichendem kardiologischen Support versehen sind, macht die Erstellung von Richtlinien und die entsprechende Betreuung dieser PatientInnen dringend erforderlich [36,74,93].

Perioperatives Risiko von SM/ICD PatientInnen

Das perioperative Risiko von SM/ICD PatientInnen setzt sich zusammen aus dem Risiko der zugrundeliegenden und/oder zusätzlichen Erkrankungen sowie einer möglichen Fehlfunktion des implantierten SM/ICD Systems durch perioperative Beeinflussungen. Störungen der SM/ICD Systeme können durch perioperativ auftretende pathophysiologische Veränderungen und v.a. direkt oder indirekt durch den Einsatz elektromedizinischer Geräte verursacht werden. PatientInnen mit implantierten SM/ICD-Systemen sind häufig alt, haben meist schwere Begleiterkrankungen und müssen sich nicht selten operativen und diagnostischen Prozeduren unterziehen. Dabei soll hervorgehoben werden, dass bei entsprechender

Planung und entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen die meisten Operationen und diagnostischen Prozeduren komplikationslos durchgeführt werden können. Bei Einhaltung der vorgeschriebenen regelmäßigen Kontrollen des SM/ICD Systems ist ein perioperativer Generatorausfall sehr unwahrscheinlich. Aufgrund fehlender Studien fehlen Daten über ein erhöhtes Morbiditäts- bzw. Mortalitätsrisiko von SM/ICD PatientInnen und ein konkreter Nachweis über deren Zusammenhang mit implantierten Systemen. Es gibt jedoch Hinweise auf ein postoperatives Ansteigen der myokardialen Reizschwelle und auf eine erhöhte postoperative Mortalität von PatientInnen mit implantierten SM Systemen [8,52,80,85]. Dies lässt erheblichen Spielraum für Spekulationen, ob neben der häufig begleitenden kardiovaskulären Komorbidität ev. auch eine Gerätefehlfunktion hierfür ursächlich in Frage kommt.

Perioperative SM/ICD Fehlfunktionen können durch Störungen der Schrittmacherfunktion bzw. durch Beschädigung der Elektroden und der Elektronik des SM/ICD Systems entstehen. Funktionstörungen im Sinne eines Stimulationsausfalls können z. B. durch Oversensing oder durch einen Exitblock mit Anstieg der Stimulationsreizschwelle zustande kommen. Bei starken Störeinflüssen ist auch ein Umschalten in einen Backup Modus möglich. SM/ICD Fehlfunktionen führen nicht nur zu Rhythmusstörungen – von einer Asystolie bis zum Kammerflimmern, sondern können auch eine vorbehandelte Herzinsuffizienz wieder manifest werden lassen. Biventrikuläre Stimulation kann selten das QT-Intervall verlängern und so zu Torsade-de-Pointes Arrhythmien führen [61]. Besonderes Augenmerk verdienen auch Schrittmacher mit Atemminutensensoren. Unter mechanischer Beatmung und bei Verwendung von EKG Monitoren mit Atemfrequenzüberwachung konnten Tachykardien beobachtet werden [41,50,91]. Neben direkten Störungen des SM/ICD Systems erhöhen elektromagnetische Interferenzen (EMI) durch in der perioperativen Phase eingesetzte medizinische Geräte das Risiko der meist alten und häufig schwer erkrankten PatientInnen [3,22,53,56,57,79]. Auch (ineffektive) externe Stimulation kann zu einer Inhibition des implantierten Schrittmachers führen [64,65]. ICDs unterscheiden sich in ihrem Verhalten gegenüber EMI grundlegend von konventionellen SM Systemen. Auf Grund der hohen Empfindlichkeit können EMI als ventrikuläre Tachykardien fehlinterpretiert werden und inadäquate Schockabgaben auslösen. Diese können meist durch einen aufgelegten Magneten unterbrochen werden. Da ICDs auch die

Fähigkeit besitzen, Schrittmacherimpulse abzugeben, können diese im Routine EKG leicht mit konventionellen SM Systemen verwechselt werden.

Die Häufigkeit auftretender Fehlfunktionen von SM/ICD Systemen ist unzureichend dokumentiert, dürfte jedoch bei ICD PatientInnen höher sein und mit Ansteigen der Anzahl von SM/ICD PatientInnen zunehmen [57]. Immerhin ergab eine Untersuchung der Federal Drug Administration (FDA), dass wegen Fehlfunktion die jährliche Reimplantationsrate 1,4 bis 9 pro 1000 SM PatientInnen und von 7,9 bis 38,6 pro 1000 ICD PatientInnen betrug [56]. Die tatsächliche Zahl der SM/ICD Defekte wird aber auf das dreifache der Reimplantationsrate geschätzt, weil ein Großteil dieser Fehlfunktionen zu Lebenszeit der SM/ICD Träger unentdeckt bleibt [12,44]. Der überwiegende Teil der Fehlfunktionen ist dabei durch Hardwarefehler, insbesondere durch Elektrodenfehler bedingt [34]. Nach Angaben des deutschen Herzschrittmacherregisters wurden im Jahr 2006 von den 11176 Revisionseingriffen 65% durch Sondenprobleme und nur 23.7% durch Batterieerschöpfung verursacht, (www.pacemaker-register.de). Eine Analyse von fast 4000 implantierten bipolaren Elektroden über einen Zeitraum von 10 Jahren zeigte eine Komplikations- und Interventionsrate von immerhin 6,5% bei Kammerelektroden und 5,3% bei Vorhofelektroden [3]. Die Vermutung, dass es mehr unentdeckte Fehlfunktionen geben dürfte, als angenommen, wurde auch durch eine rezente Untersuchung von SM/ICD Systemen verstorbener PatientInnen bekräftigt. Dabei wurden bei 415 untersuchten SM Systemen Verstorbener, welche im Durchschnitt ihr System 4 Jahre implantiert hatten, in 3,8% der Fälle potentiell lebensbedrohliche Komplikationen entdeckt [12]. Inwieweit diese kausal mit dem Tod der PatientInnen in Zusammenhang gebracht werden können, wurde aufgrund fehlender klinischer Daten nicht untersucht. Auch existieren Berichte in Abstraktform über eine hohe Inzidenz von Schrittmacherproblemen bei routinemäßig prä- und postoperativ durchgeführten Kontrollen [80]. Insgesamt sind jedoch schwere Schrittmacher Dysfunktionen im Operationssaal eher selten. Es kann jedoch zu einer Vielzahl von kleineren Funktionsstörungen kommen.

Obwohl es zahlreiche Fallberichte über zum Teil lebensbedrohliche perioperative SM/ICD Fehlfunktionen gibt, können wegen Fehlens ausreichender kontrollierter Studien die Komplikationsrate und die damit verbundenen Konsequenzen nur vermutet werden [9,10,19,37,40,41,47-50,54,58,63,68,72,82,88,91,104,106,107].

Aus demselben Grund gibt es auch bis heute gibt keine evidenzbasierten und einheitlichen Richtlinien für das perioperative Management von PatientInnen mit implantierten SM/ICD Systemen [1,7,33,52,74,93]. Auch eine Befragung führender Erzeugerfirmen im Jahre 2001 ergab keine einheitlichen Empfehlungen hinsichtlich einer notwendigen Überprüfung bzw. Programmierung von SM/ICD Systemen vor und nach Operationen. Daher können praktische Empfehlungen nur basierend auf der vorliegenden Literatur und auf Expertenmeinungen abgegeben werden. Die Funktionsweise der einzelnen SM/ICD Systeme ist andernorts beschrieben [6,7]. Es soll hier nur auf einige neue Programmiermöglichkeiten, die in den letzten Jahren in Verwendung gekommen sind, kurz eingegangen werden. Zwei Produzenten bieten bei DDD Schrittmachern eine „quasi AAI Funktion“ an (AAI ↔ DDD, MVPTM; AAI SafeRTM), die intermittierend nicht übergeleitete P Wellen bzw. Stimulationspausen bis zu 3 Sekunden zulassen, um die eigene Überleitung zu unterstützen und eine unnötige, unphysiologische Ventrikelstimulation zu vermeiden. Im Ruhe-EKG, Langzeit EKG oder perioperativem Monitoring können solche fehlenden QRS Komplexe gesehen oder dokumentiert werden. Sie stellen jedoch ohne Kenntnis der SM Programmierung keinen Beweis für eine SM Dysfunktion dar (Abb. 1). Dies unterstreicht zusätzlich die Notwendigkeit der Kenntnis der aktuellen SM Programmierung.

Eine weitere bedeutsame Neuerung der aktuellen SM/ICD Therapie stellt das Telemonitoring dar. Dazu werden um SM/ICD Systeme verwendet, die mit einer Antenne versehen sind und über ein GSM Mobiltelefon z.B. einmal täglich (meistens in der Nacht) die aktuellen SM Daten übertragen. Diese Daten betreffen die aktuelle SM/ICD Funktion (Batteriespannung, Impedanz und Sensing der Elektroden), bei neueren Modellen auch den Output und somit Hinweise auf die Reizschwelle der ventrikulären Elektrode – sowie eventuell aufgetretene atriale und/oder ventrikuläre Tachyarrhythmien inklusive intrakardiales EKG. Diese telemetrisch an die betreuende Ambulanz übertragenen Daten ersparen somit zusätzliche technische Kontrollen und erleichtern die perioperative Überprüfung der SM/ICD Geräte. Im Folgenden soll auf mögliche perioperative SM/ICD Fehlfunktionen und deren Vermeidung bzw. Behebung eingegangen werden.

Direkte, mechanische Schädigung des SM/ICD Systems

Ein implantiertes SM/ICD System kann durch mechanische Irritation seitens der PatientInnen [5,13,14,26], durch Unfälle [17,62], durch die Einwirkung von elektromagnetischen Störfeldern, aber auch durch chirurgische Manipulationen im SM/ICD Bereich gestört werden. Elektrodendefekte wie Bruch oder Dislokation sind vorherrschend, es kann aber auch zu Störungen des Generators selbst kommen. Wird z.B. die Hochfrequenzchirurgie zu nahe (innerhalb eines Radius von weniger als 15 cm) zum SM System verwendet, kann es - insbesondere bei alten bzw. lang implantierten Systemen („End of Life“ Status) – sogar zu einem irreversiblen Generatorversagen kommen.

Elektromagnetische Interferenz (EMI)

Viele Formen elektromagnetischer Felder mit unterschiedlichen Frequenzen, von statischen Feldern bis zum Hochfrequenzbereich, können eine Beeinflussung der Schrittmacherfunktion nach sich ziehen (Tabelle 1; Abb. 2). Die im Handel befindlichen Geräte müssen eine Mindeststörfestigkeit gegenüber EMI aufweisen. Dazu dienen z. B. abschirmende Gehäuse und Frequenzfilterung der Eingangssignale. Ein vollständiger Schutz ist dadurch jedoch nicht gegeben. Besonders wirksam sind Störfrequenzen zwischen 5 und 100 Hz, weil sie sich im Frequenzbereich intrakardialer Signale befinden und daher (mit Ausnahme der Netzfrequenz 50 Hz) nicht gefiltert werden können [73,74]. Die Wahrscheinlichkeit einer EMI und damit verbundene klinischen Konsequenzen hängen von einer Reihe von Faktoren ab: Schrittmacherabhängigkeit der PatientInnen, Art der verwendeten Elektroden (unipolar oder bipolar), Art der verwendeten Elektroden für die Hochfrequenzchirurgie (unipolar oder bipolar) sowie der Abstand der aktiven Elektrode vom implantierten System (EMI sind bei Eingriffen am Thorax und Abdomen wesentlich wahrscheinlicher). Auch wenn seit einigen Jahren fast ausschließlich bipolare Elektroden implantiert werden, wird später oft eine Umprogrammierung in den unipolaren Stimulationsmodus vorgenommen. Die Dringlichkeit und Art des chirurgischen Eingriffs bestimmen zusammen mit der Expertise des verfügbaren Personals das perioperative Management für SM/ICD PatientInnen.

Quellen elektromagnetischer Interferenz

Hochfrequenzchirurgie (Elektrokauter)

Die Verwendung eines unipolaren Elektrokauters führt relativ häufig zu Beeinträchtigungen der Schrittmacherfunktion. Die Wahrscheinlichkeit einer Interferenz hängt einerseits von der Höhe der verwendeten Stromstärke ab, andererseits bestimmt die Art und Entfernung der aktiven Elektrode zum Schrittmachersystem die Intensität der Störung [19]. So wird beispielsweise zum Schneiden von Gewebe eine höhere Stromstärke benötigt als zur Blutstillung. Bei unmittelbarer Nähe zur aktiven Kauterelektrode (OP Gebiet) oder – in geringerem Maß – auch der Neutralelektrode (sog. Kauterplatte) sind neben den unten genannten SM Fehlfunktionen auch schwerwiegende technische Probleme wie Stimulationsversagen oder Gewebnekrosen an den Elektrodenspitzen möglich [63]. Die Neutralelektrode (Kauterplatte) sollte möglichst weit vom Schrittmachersystem platziert werden und eine Kauteranwendung im Umkreis von weniger als 15 cm vom SM Generator vermieden werden [73,74]. Prinzipiell kann es durch Hochfrequenzchirurgie zu Hemmung und/oder Triggerung des Schrittmachersystems, aber auch zu Änderungen des Stimulationsmodus kommen [9,10,19,23,25,48,54,58,63,68,72,82,88,98,101,103]. Eine kontinuierliche Anwendung verursacht normalerweise ein Umschalten des Schrittmachers in den asynchronen „Noise Interference Mode“, während intermittierendes Kautern zu jeweils vorübergehender Hemmung führen kann und ungünstigstenfalls längere Pausen bis hin zur Asystolie möglich sind [84].

In den aktuellen Empfehlungen der American Society of Anesthesiology (ASA) und in ACC/AHA 2007 Guidelines on Perioperative Cardiovascular Evaluation and Care for Noncardiac Surgery wird grundsätzlich der Einsatz eines bipolaren Kauters empfohlen [1,33]. Dabei fließt Strom primär im Gewebsbereich zwischen den Kauterpinzettenspitzen und nicht quer durch den Körper der PatientInnen. Allerdings kann der bipolare Kauter EMI nicht völlig verhindern und ist zum Schneiden nur eingeschränkt verwendbar. Obwohl es Berichte über eine sichere Anwendung von Hochfrequenzchirurgie bei ICD PatientInnen gibt [31,38], besteht dennoch das Risiko einer falschen Arrhythmiedetektion und damit für die Abgabe eines inadäquaten Schocks [7,33].

Radiofrequenz (RF) Ablation

Bei RF Ablation von Herzrhythmusstörungen (Vorhofflimmern, Kammertachykardien) sollte der Strompfad möglichst in einiger Entfernung vom implantierten SM/ICD Gerät liegen. Da die Ablationen mit einem steuerbaren Katheter in einer der vier Herzhöhlen durchgeführt werden, ist jedoch immer eine gewisse Nähe zu den SM/ICD Elektroden gegeben. Somit besteht bei jeder RF Applikation die potentielle Gefahr einer EMI an der SM/ICD Elektrodenspitze, sofern sich diese im Feld des unipolaren RF Stromflusses befindet. In einer Beobachtungsstudie wird über nichtvorhersagbare Reaktionen der SM auf RF Energie zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Anwendung berichtet [83]. Unerwartete SM Reaktionen wurden in 20 von 38 Fällen (51%) beobachtet, obwohl alle Geräte auf VVI im Backup Frequenzbereich programmiert wurden. In einem dieser Fälle ist es sogar zum Verlust von ventrikulärer Stimulationsantwort gekommen. Der Einsatz von RF Energie ist bei modernen Herzschrittmachern weniger bedenklich als bei ICD Geräten [15,77,89]. Am meisten gefürchtet ist wohl der progressive Anstieg der Reizschwellenwerte mit Gefahr des Exit Blocks, es können aber auch andere Alterationen in der Wahrnehmung bzw. Signalverarbeitung auftreten. Da diese Veränderungen oft erst in der Abheilungsphase nach RF Ablation auftreten können, kommt der postinterventionellen Nachkontrolle eine besondere Bedeutung zu [95].

Transkutane Nervenstimulation

Transkutane Nervenstimulation (TENS) kann zu Interferenzen führen, sodass diese Therapie für Defibrillator Patienten nur in Ausnahmefällen und nach ausführlicher Testung angewendet werden sollte [21,78,89]. Perioperativer Einsatz eines Plexusnervenstimulators kann zur Inhibierung vor allem von unipolaren SM Systemen führen [27].

EMI durch Monitoring

Eine Form von Oversensing stellt auch die Reaktion des Atemminutenvolumen Sensors auf moderne Impedanzbasierte Monitore dar [40]. Der Schrittmacher und der Monitor verwenden beide niedrige Stromflüsse, um die intrathorakale Impedanz zu messen. Durch Interferenz zwischen diesen beiden Systemen wird eine Belastung

simuliert und so der Sensor aktiviert. Daraus resultiert eine Tachykardie bis zur oberen programmierten Stimulationsfrequenz [41,50,91]. Ein ähnliches Phänomen konnte auch bei echokardiographischer Untersuchung zumindest in einem Fallbericht gefunden werden [47]. Das Risiko einer Interferenz ist bei neuen Schrittmachern jedoch bereits deutlich geringer, da deren Sensoren praktisch immer in Kombination mit einem Accelerometer verwendet werden, wodurch der Atemminutenvolumen Sensor erst bei Erkennung einer Bewegung freigegeben wird.

Externe Kardioversion/Defibrillation

Bei einer externen Defibrillation über Paddles oder Klebeelektroden können implantierte SM/ICD sehr hohen Spannungen und Stromstärken ausgesetzt werden. Durch Überlastung der eingebauten Schutzmaßnahmen (Zener Dioden/Thyristoren) kann es zu irreversiblen Generatorschaden kommen. Weiters kann die Stromeinkopplung an den Elektrodenspitzen zu thermischen Myokardschäden und dadurch zu Reizschwellerhöhungen führen. In harmloseren Fällen ist lediglich die Aktivierung des Backup Modus zu erwarten [74]. Die auf den Generator einwirkende Energie kann minimiert werden, indem die Defibrillatorelektroden quer zur gedachten Verbindung zwischen Generator und SM Elektrodenspitze angeordnet und die Defibrillatorelektroden wenn möglich, in einem Mindestabstand von ca. 10 cm zum implantiertem System angelegt werden. Bei unipolaren Schrittmachersystemen ist die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung höher als bei bipolarer Konfiguration. Biphasische Schocks sind von Vorteil, da sie mit geringerer Energie abgegeben werden als monophasische Schockformen [60,87]. Jedenfalls ist eine genaue Überprüfung des SM/ICD Systems nach erfolgter Defibrillation unumgänglich [4].

Extrakorporale Stoßwellenlithotripsie (ESWL)

Es existieren Berichte über SM/ICD Funktionsstörungen bei ESWL [20,55,69]. Die Schockabgabe muss bei diesem Verfahren R Zacken getriggert erfolgen, weil ansonsten ventrikuläre Extrasystolen entstehen können. Eine irrtümliche Triggerung durch Vorhofstimuli könnte bei DDD SM zu einer Inhibition der ventrikulären Stimulation führen. Auf die Programmierung geeigneter Maßnahmen gegen Crosstalk (ventricular safety pacing, blanking period) muss unbedingt geachtet werden, ansonsten sollten DDD SM auf einen VVI Modus umprogrammiert werden. Weiters sollten sowohl die Frequenzanpassung als auch alle antitachykarden

Funktionen ausgeschaltet werden [18,20,30,102]. Die Schocks dürfen jedenfalls nicht direkt auf einen ev. abdominell implantierten Generator gerichtet sein.

Magnetresonanztomographie

Bei einer MRI Untersuchung kommen ein hohes statisches Magnetfeld, gepulste Hochfrequenzfelder und schnell geschaltete magnetische Gradientenfelder zur Anwendung. Bei implantiertem SM/ICD kann es dadurch zu Fehlfunktionen, Elektrodenüberhitzung mit Gewebeschäden und zu direkter Krafteinwirkung auf magnetisierbare metallische Teile kommen. Nicht zuletzt aufgrund mehrerer berichteter Todesfälle gelten MRI Untersuchungen derzeit bei SM/ICD PatientInnen als kontraindiziert [45,51]. Es kann durch Absorption zu einer Erwärmung der Elektroden Spitzen mit myokardialer Nekrose, Fibrose und Reizschwellenanstieg kommen. Für ICD Geräte sind jegliche Dysfunktionen nach akzidenteller MRI Untersuchung beschrieben. Neben temporären Ausfällen sind auch totale Defekte mit unmöglicher Reprogrammierbarkeit aufgetreten [32]. Inzwischen gibt es allerdings eine zunehmende Anzahl von Berichten über SM Modelle, die eine Anwendung der Magnetresonanztomographie bei SM PatientInnen möglich erscheinen lassen [1,67,74]. Auch bei schrittmacherabhängigen PatientInnen wurden nach Umprogrammierung auf VOO bzw. DOO MRI Untersuchungen von Kopf und Hals mit 1,5 Teslagerät bis zu einem SAR („specific absorption rate“) von 2 Watt/kg durchgeführt, ohne dass negative Effekte beobachtet wurden [35]. Ende 2008 ist ein speziell entwickeltes MRI taugliches SM System auf den europäischen Markt gekommen, welches bei Einhaltung bestimmter Bedingungen eine gefahrlose Durchführung von Magnetresonanztomographien erlaubt. In den USA wird dieses spezielle Herzschrittmachersystem – EnRhythm™ MRI SureScan® (Medtronic) – von den zuständigen Behörden als in Erforschung befindliches Produkt eingestuft und ist daher zum jetzigen Zeitpunkt bis zum Vorliegen entsprechender Studien dort noch nicht kommerziell verfügbar.

Überwiegt der medizinische Vorteil kann bei SM PatientInnen ein MRI-Untersuchung durchgeführt werden. Eine derartige Vorgehensweise erfordert aber neben einer entsprechenden Umprogrammierung und Überwachung (EKG, Pulsoximetrie) auch die Anwesenheit eines Kardiologen mit Telemetriegerät und sollte derzeit nicht im klinischen Routinebetrieb eingesetzt werden.

Radiotherapie

SM und ICD Geräte sind sehr sensibel auf ionisierende Strahlung [46,96]. Es gibt praktisch keinen sicheren Schwellenwert, unter dem ionisierende Strahlung als unbedenklich gilt. Direkte Bestrahlung von Geräten mit einer kumulativen Dosis von > 2 (bzw. 5) Gy kann zu schweren Schäden bzw. komplettem Funktionsausfall der Systeme führen (Schädigung der CMOS – complementary metal oxide semiconductors). Ein hohes Risiko besteht insbesondere für SM abhängige Patienten, wenn diese eine kumulative Dosis von mehr als 2 Gy erhalten. Die meisten SM Fehlfunktionen treten aber erst bei einer Dosis von 20 Gy auf [43]. ICD Dysfunktionen wurden bereits ab Dosen zwischen 0,5 – 1,5 Gy festgestellt, auch wenn die heutigen ICD Geräte weit höhere Gesamtdosen tolerieren [42]. Bei Einsatz ionisierender Strahlung sollte jedenfalls das betreuende SM/ICD Zentrum im Rahmen der Bestrahlungsplanung kontaktiert werden [90]. Bei medizinischer Indikation für eine Bestrahlung mit therapeutischen Dosen in unmittelbarer SM/ICD Nähe muss ev. eine Geräteverlagerung in Betracht gezogen werden. Auch bei subtherapeutischen Dosen sollten verkürzte Kontrollintervalle eingerichtet werden.

Mobilfunk

Mobilfunk wird derzeit in drei Frequenzbereichen betrieben: GSM bei 900 MHz und 1800 MHz sowie UMTS bei 1900 MHz. Störbeeinflussungen von SM durch Handys sind bei den höheren Mobilfunkfrequenzen unwahrscheinlich, jedoch bei 900 MHz nicht grundsätzlich auszuschließen, wenn die Handys mehr als ca. 30 cm an das SM Gehäuse angenähert werden [11,16,70,99,100]. Kritischere Störsender stellen Rettungsfunkgeräte dar, da sie wesentlich leistungsstärker sind. Ein Sicherheitsabstand von einigen Metern sollte möglichst eingehalten werden.

Schrittmacherfehlfunktionen durch EMI

Inhibition

EMI kann bewirken, dass der Schrittmacher die EMI Signale fälschlicherweise als kardiale Aktivität interpretiert, wenn sie nach Frequenz und Amplitude in den erwarteten Bereich des intrakardialen Signals fallen (Abb. 3). Bei einem Schrittmacher mit Sensingfunktion (Demandschrittmacher) führt dies zur Hemmung

der Impulsabgabe und bei fehlendem Eigenrhythmus zu längeren Pausen bis zur Asystolie. Normalerweise kommt es nach Beendigung der Interferenz wieder zu einer völlig normalen Schrittmacherfunktion. Bei starken Störsignalen treten auch andere Stimulationsformen wie asynchrone Stimulation („Noise Interference Mode“) oder dauerhaftes Umschalten in einen Reset Modus auf [7]. Die Wahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Verhalten hängt neben Intensität und Frequenz der Störstrahlung auch von der Dauer der Einwirkung ab [97,98,108]. Die Folgen einer durch EMI verursachten Schrittmacherfehlfunktion für PatientInnen sind davon abhängig, ob der Patient einen Eigenrhythmus besitzt oder nicht. Daher sollte eine Schrittmacherabhängigkeit von PatientInnen bereits präoperativ bekannt sein, um entsprechende Vorsichtsmaßnahmen zu setzen.

Asynchrone Stimulation

Ein kontinuierliches starkes Störsignal (z.B. ununterbrochenes Kautern) löst bei vielen Schrittmachern eine Umschaltung auf die störungsempfindliche asynchrone Stimulation („Noise Interference Mode“) mit der Gefahr, dass ein SM Spike mit hoch programmiertem Output in die vulnerable Phase der T Welle fällt („R auf T“ Phänomen).

Eine weitere Ursache für asynchrone Stimulation ergibt sich, wenn in der zweiten Hälfte der ventrikulären Refraktärzeit ein Signal wahrgenommen wird. Dieses wird als Störung interpretiert und eine neue ventrikuläre Refraktärzeit gestartet. Eventuell vorhandene QRS Komplexe werden dabei nicht berücksichtigt, da der Schrittmacher permanent refraktär ist. Jeder Schrittmacher ist nach einem wahrgenommenen oder stimulierten QRS Komplex für kurze Zeit refraktär (ventrikuläre Refraktärzeit, VRP). Damit soll ein Sensing von Nachpotentialen oder T Wellen, welches zu einer Inhibition oder Frequenzreduktion führen würde, verhindert werden. Ein kontinuierliches Störsignal verursacht daher so lange eine Kette ventrikulärer Refraktärzeiten („retriggerable refractory periods“), bis das eingestellte Basisintervall ausläuft und der Schrittmacher wieder einen Impuls abgibt [73,74]. Eine derartige Störung verursacht daher ebenfalls eine asynchrone Stimulation. Ist das Störsignal intermittierend und wird es außerhalb der ventrikulären Refraktärzeit wahrgenommen, führt es bei inhibierenden SM zu einer Zurücksetzung des eingestellten Basisintervalls und somit zu längeren Pausen bis hin zu einer Asystolie. [84].

Backup Modus

Ein längeres Einwirken von intensiver EMI kann nicht nur zum Umschalten in den asynchronen „Noise Interference Mode“, sondern auch zu einem Umschalten des Schrittmachers in einen Reset- oder Backup Modus führen. Dieser bleibt jedoch auch nach Beendigung der EMI Exposition bestehen und muss dann z.B. mittels Telemetrie wieder in den ursprünglichen Modus programmiert werden. Dieser Backup Modus ist sowohl bei Einkammer- als auch bei Zweikammersystemen typischerweise ein VVI Modus mit einer niedrigen Basisfrequenz (z.B. 60/min) [74]. Bei PatientInnen mit DDD Schrittmachern kann ein derartiger Verlust der Vorhofstimulation und AV Synchronizität zu hämodynamischer Beeinträchtigung führen [39].

Triggerung der Schockabgabe

Grundsätzlich besteht bei ICD PatientInnen die Gefahr, dass durch Fehlinterpretation der EMI als Flimmerereignis ein nicht notwendiger Schock abgegeben wird (Abb. 4). Durch Einführung zusätzlicher Parameter zur Tachyarrhythmie Erkennung und durch die Notwendigkeit der Bestätigung der Tachykardie nach dem Aufladen wird in modernen Geräten die Wahrscheinlichkeit der Abgabe unerwünschter Schocks reduziert. In allen aktuellen Empfehlungen wird jedoch die Notwendigkeit des präoperativen Ausschaltens aller antitachykarder Funktionen betont [1,7,33].

Verhalten bei Magnetauflage

Die Magnetauflage wurde nicht zur Prävention von EMI, sondern zur Aktivierung der SM Impulsabgabe eingeführt, um die Funktion des SM Systems auch in Inhibitionsphasen überprüfbar zu machen. In Abhängigkeit des Schrittmachermodells führt eine Magnetauflage meist nur zu einer meist zeitlich limitierten Folge von asynchronen Schlägen mit einer bestimmten (herstellereigenen) Magnetfrequenz. Nach Magnetabnahme tritt dann wieder normale synchrone Stimulation ein. Unter EKG Kontrolle kann damit die Impulsübertragung auf das Myokard bestätigt werden. Eine routinemäßige Anwendung eines Magneten kann nicht empfohlen werden, da durch Magnetauflage im SM ein Reed Relais aktiviert und der Schrittmacher für Programmierimpulse empfänglich wird. Die während der Auflage des Magneten

auftretende Stimulationsfrequenz ist aber ein Indikator für den Ladezustand der Batterie. Durch Magnetauflage kann auch eine SM Inhibition durch Oversensing (z.B. durch EMI) beseitigt sowie eine schrittmacherinduzierte Tachykardie beendet werden. Allerdings kann bei einigen SM Modellen der Magnetmodus durch Programmierung ausgeschaltet werden oder ist gerätebedingt inaktiv, sodass die Magnetreaktion nicht immer vorhersehbar ist. Dieser Fall kann durch Rücksprache mit dem betreuenden SM/ICD- Zentrum geklärt werden.

Bei ICDs kann durch Magnetauflage die Arrhythmieerkennung und somit die Schockabgabe verhindert werden. Allerdings bestehen auch hier herstellerspezifische Besonderheiten. So bleiben die ICD Geräte einiger Hersteller (Medtronic, Biotronik und Sorin-ELA Medical) während der Magnetauflage deaktiviert. Andere Hersteller (St. Jude Medical, Boston Scientific) wiederum reagieren in der Weise auf Magnetauflage, wie diese Geräte intern programmiert wurden. Die nominale Programmierung beinhaltet zwar eine Inhibition des ICDs bei Magnetauflage, doch kann diese durch den Arzt auch ausgeschaltet werden, sodass eine Magnetauflage vollkommen ignoriert wird. Dazu kommt, dass zumindest bei einem Hersteller von ICDs im Jahre 2005 Defekte am Magnetschalter auftraten, die eine Schockabgabe permanent verhinderten. Die Firma empfahl daraufhin in einem Schreiben an die behandelten Ärzte, den Magnetmodus dauerhaft auszuschalten [59,66,92]. Für den Anästhesisten ist es aufgrund der Gerätevielfalt derzeit unmöglich, für einzelne Systeme die Magnetreaktion vorherzusehen.

Perioperatives Management von PatientInnen mit SM/ICD

Präoperative Abklärung und Vorbereitung

Im Rahmen einer gründlichen präoperativen Anamnese muss die Frage nach einem implantierten elektrischen Gerät (SM oder ICD) gestellt werden. Bei positiver Beantwortung sollte der SM/ICD Ausweis verlangt werden. Dadurch hat man die Information, warum das Gerät implantiert wurde, welches Gerät welcher Firma implantiert wurde, wann die Erstimplantation und ggf. die Implantation des aktuellen Gerätes erfolgten. Zumeist sind auch das Datum der letzten Kontrolle sowie der nächsten Kontrolle und die aktuelle Programmierung vermerkt. Der Schrittmacherausweis sollte während des gesamten perioperativen Verlaufs greifbar sein. Sehr wichtig ist die Frage nach der Schrittmacherabhängigkeit, da bei schrittmacherabhängigen PatientInnen intraoperative Störungen natürlich schwerwiegendere Auswirkungen haben. Hinweise darauf finden sich möglicherweise in der Anamnese (z.B. Synkopen, AV Knotenablation etc.), oder im EKG (nur SM Schläge, keine Eigenaktivität). Bei nicht schrittmacherabhängigen PatientInnen ist umgekehrt die Frage nach der SM Funktion notwendig. Sollte im EKG Eigenrhythmus bestehen und sind keine SM Schläge erkennbar, ist das Funktionieren des SM Systems nicht direkt erkennbar. Mit Hilfe eines Magnetttests kann dann zumindest die Stimulation und Myokarddepolarisation bestätigt sowie der Batteriezustand abgeschätzt werden. Eine telemetrische Sensor Deaktivierung sollte vor allem bei Vorliegen eines Atemminutenvolumen Sensors präoperativ in Betracht gezogen werden. Ein Ausschalten der sensorinduzierten Frequenzanpassung verhindert eine Stimulation im oberen Frequenzniveau, die durch verschiedene intraoperative Einflüsse, wie Muskelzittern, elektromedizinische Geräte etc. ausgelöst werden kann [1,81]. Weiters müssen bei allen ICDs die Möglichkeiten zur Tachykardieerkennung und Schockabgabe ausgeschaltet werden [1,74,84,94].

Eine Umprogrammierung in einen dauerhaften asynchronen Modus macht – wenn überhaupt – nur bei SM abhängigen PatientInnen Sinn [1]. Es wird damit eine potentielle Inhibition des SM durch EMI verhindert, die zu längeren Pausen bzw. zur Asystolie führen kann. Umgekehrt kann es dadurch insbesondere bei PatientInnen mit vorgeschädigtem Myokard und bei hohem Stimulationsoutput zu malignen Arrhythmien kommen [76]. Bei vielen SM Modellen wird allerdings durch kontinuierliches EMI ein sogenannter „Noise Interference Mode“ ausgelöst, der

automatisch eine asynchrone Stimulation bewirkt. Eine präoperative Umprogrammierung erübrigt sich daher bei neueren Modellen. Wichtig ist nochmals an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass eine Umprogrammierung jedenfalls nicht vor schweren Geräteschäden oder Ansteigen der Stimulationsschwelle durch EMI infolge von Hochfrequenzchirurgie oder externer Defibrillation schützt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei präoperativen Hinweisen auf eine SM Dysfunktion sowie bei Nichteinhalten der jährlichen Routinekontrollen eine präoperative telemetrische Untersuchung des SM/ICD durch die zuständige SM/ICD Ambulanz zu fordern ist. Neben der Evaluation der SM Abhängigkeit und der SM Funktion können entsprechende Programmierungen (z.B. Sensordeaktivierung) vorgenommen werden. Die antitachykarde Funktion eines ICDs muss jedenfalls unmittelbar präoperativ ausgeschaltet werden und ein externes Monitoring bezüglich Auftreten von malignen ventrikulären Arrhythmien sowie eine externe Defibrillationsmöglichkeit gewährleistet sein.

Intraoperatives Management

Die Art der Narkose und Auswahl der verwendeten Narkosemittel wird ausschließlich durch die Grund- und Begleiterkrankung der jeweiligen PatientInnen und der durchzuführenden Operation bestimmt. Allerdings können z.B. Opiate auf den Sinus- und AV Knoten wirken und eine Bradykardie hervorrufen, wodurch der zugrundeliegende Rhythmus zutage treten kann. Hinzuweisen ist dabei, dass ICD Geräte ohne Bradykardie Indikation häufig auf eine untere Grenzfrequenz von 40/min programmiert sind. Eventuell können auch Inhalationsanästhetika wie Iso-, Sevo- oder Desfluran ein Long QT Syndrom verstärken [109].

Das intraoperative Management von SM/ICD PatientInnen umfasst neben entsprechendem Monitoring der mechanischen Herzaktivität gezielte Maßnahmen zur Reduktion von EMI und Vorbereitungen für eventuelle Notfälle. Neben dem Standard EKG, welches zum Erkennen der SM Spikes umgestellt werden sollte, muss ein Monitoring der mechanischen Aktivität des Herzens bei jedem der SM/ICD PatientInnen durchgeführt werden. Bei guter Abnahmequalität ist die Pulsoximetrie dafür durchaus ausreichend. Allerdings kann das Signal der Pulsoximetrie durch EMI

ebenfalls gestört werden. Bei PatientInnen mit schlechterem Allgemeinzustand ist der invasiven arteriellen Druckmessung der Vorzug zu geben.

Intraoperative EMI Quellen sollten bereits vor der Operation erkannt und nach Möglichkeit vermieden werden. So soll nach Absprache mit dem Chirurgen anstatt des unipolaren Kauters nach Möglichkeit ein bipolarer Kauter verwendet werden. Ein Ultraschall Skalpell wäre eine andere Alternative. Lässt sich ein unipolarer Kauter nicht vermeiden, sollte die Kauterplatte nicht zu nahe am SM System (Generator und Elektrodenspitze) angelegt werden. Die aktive Elektrode selbst sollte möglichst in einem Mindestabstand von 15 cm zum SM Gehäuse und Elektrodenspitze verwendet werden. Allgemein verhindern kurze Bursts vom Kauter mit möglichst geringer Energie gefolgt von längeren Pausen am ehesten eine SM Inhibition und/oder asynchrone Stimulation (z.B. 1-2 Sekunden Kauter, einige Sekunden Pause). Mit diesen Maßnahmen und wegen der geringeren Energieabgabe ist Koagulieren mit dem Kauter weniger gefährlich als Schneiden. Neben der Bereitstellung herzfrequenzsteigernder Medikamente ist das Bereithalten alternativer Stimulationsmöglichkeiten eine wichtige Maßnahme für eventuell auftretende Notfälle. In Frage kommen diesbezüglich neben dem spezifischen Programmiergerät (meist nicht vorhanden) eine transkutane oder transösophageale Stimulation sowie für kritische Situationen eine transvenöse Stimulation.

Sollte die antitachykarde Funktion des ICD Systems präoperativ nicht ausgeschaltet worden sein (z.B. bei Notfalleingriffen), muss dies vor Anwendung eines Kauters erfolgen oder gegebenenfalls der ICD durch einen Magneten in seiner antitachykarden Funktion inaktiviert werden, um eine unnötige Schockabgabe zu vermeiden. Die Verwendung des Magneten birgt einige Unwägbarkeiten mit sich und sollte – außer in Notfällen – nur nach Rücksprache mit der jeweiligen Schrittmacherfirma und dem behandelnden Kardiologen in Betracht gezogen werden. Muss ein zentraler Zugang (z.B. Cava Katheter) gelegt werden, sollte ein vorhandener ICD ebenfalls abgeschaltet werden, um eine inadäquate Schockauslösung zu vermeiden. Die Deaktivierung der antitachykarden ICD Funktionen lässt die antibradykarde SM Funktion des ICDs unberührt. Bei ICD PatientInnen muss auch jederzeit die Möglichkeit zur externen Defibrillation bestehen. Biphasische Geräte mit Schockabgabe über Klebeelektroden in links

anterior - posteriorer Position sind hier zu bevorzugen, insbesondere sollte die Defibrillationselektrode nicht über den ICD Generator geklebt werden.

Notfalldefibrillation und Kardioversion

Wird eine Defibrillation oder Kardioversion notwendig, sollten alle EMI Quellen sofort abgestellt werden und entsprechend den „Advanced Cardiac Life Support Guidelines“ vorgegangen werden. Es empfiehlt sich, mit möglichst geringen Energieeinstellungen zu defibrillieren, wobei die Defibrillatorelektroden möglichst weit vom Generator und in senkrechter Achse zum implantierten System und am besten in anterior - posteriorer Position angelegt werden sollen. Bei einem Patienten mit ICD kann, wenn die antitachykarde Funktion mit einem Magnet abgeschaltet wurde, der Magnet abgenommen und ein Schock abgewartet werden.

Postoperatives Management

Es besteht Einigkeit unter allen Geräteherstellern in Europa, dass ICDs postoperativ nach Elektrochirurgie und nach erfolgter Anwendung eines externen Defibrillators (z.B. telemetrisch) überprüft werden müssen [93]. Einerseits dient diese Überprüfung der sicheren Wiederherstellung der präoperativen Originaleinstellung, andererseits kann dadurch eine eventuelle Veränderung der Funktionsparameter rasch erkannt werden.

Eine routinemäßige SM Kontrolle nach intraoperativer EMI ist vor allem dann indiziert, wenn es zu perioperativen Rhythmusproblemen gekommen ist oder eine SM Gerätedysfunktion vermutet wird. In den 2005 erschienen Empfehlungen der ASA wird darüber hinaus betont, dass die Überprüfung bei ICD Systemen möglichst bald nach der Operation, d.h. bereits im Aufwachraum oder auf der Intensivstation stattfinden sollte [1]. Eine möglichst rasche postoperative Aktivierung der antitachykarden ICD Funktion ist bei implantierten Patienten mit hohem Risiko für maligne ventrikuläre Arrhythmien vorrangig.

Fazit für die Praxis

Praktische Empfehlungen zum perioperativen Management von Herzschrittmacher PatientInnen

I. Präoperative Maßnahmen:

1. Feststellung von Hersteller und Typ des implantierten SM Systems und Art des Stimulationsmodus sowie Implantationszeitpunkt, Implantationsindikation und Zeitpunkt der letzten SM Kontrolle (Schrittmacherausweis mit aktueller Programmierung).
2. Feststellen einer SM Abhängigkeit: z.B. Anamnese (Synkopen, AV Knotenablation, fehlende Eigenaktivität im EKG, etc)
3. Wenn die letzte SM Kontrolle länger als 12 Monate zurückliegt, präoperative SM Kontrolle im Rahmen einer internen Kontrolluntersuchung. Sollte der SM länger als 5 Jahre implantiert sein und die letzte Kontrolle länger als 6 Monate zurückliegen, ist auch die Abfrage der Batteriespannung indiziert.
4. Bei beginnender Batterieschwäche und lang zurückliegender Implantationszeit des SM Generators (Restlaufzeit <12 Monate) sollte vor der Operation bei schrittmacherabhängigen PatientInnen ein Generatortausch erwogen werden. Ist der Austauschindikator (ERI) aktiviert, sollte vor einer geplanten Operation ein Generatortausch auf alle Fälle durchgeführt werden.
5. Eine generelle präoperative Umprogrammierung des Schrittmachers ist in der Regel nicht notwendig, es sei denn es ist mit relevanten Störbeeinflussungen mit großer Wahrscheinlichkeit zu rechnen (z.B. bei Eingriffen in SM Systemnähe).
6. Mittel zum Management von Störsituationen sollten bereitgestellt werden: Auflagemagnet, nach Möglichkeit geeignetes Programmiergerät, Kontaktnummer des zuständigen Kardiologen.
7. Bei absolut SM abhängigen PatientInnen müssen alternative Stimulationsmöglichkeiten im Operationssaal verfügbar sein (z.B. transkutane, transvenöse, transöophageale Stimulation).
8. Medikamentöse Therapie von brady- oder tachykarden perioperativen Herzrhythmusstörungen sollten vorbereitet werden.

II. Intraoperatives Management:

1. Verwendung bipolarer Hochfrequenzchirurgie oder eines Ultraschall Skalpells – sofern von chirurgischer Seite her möglich.
2. Ist unipolare Hochfrequenzchirurgie unumgänglich, sollte die indifferente Kauterplatte nicht zu nahe am SM System (Generator und Elektroden spitze) angelegt werden.
3. Die aktive unipolare Kauterelektrode sollte möglichst nicht näher als 15 cm zum SM System angewendet werden.
4. Die unipolare Hochfrequenzchirurgie sollte mit möglichst geringer Energie und kurzen Bursts mit nachfolgenden Pausen (z.B. 1-2 Sekunden Kauter, dann einige Sekunden Unterbrechung) verwendet werden.
5. Bei temporären Störungen der SM Funktion kann in bedrohlichen Situationen als Akutmaßnahme ein Magnet aufgelegt werden.
6. Pulsmonitoring zur Überwachung der mechanischen Aktivität des Herzens – Finger am Puls, Pulsoxymetrie¹ oder invasive Druckmessung (da EKG während EMI nicht aussagekräftig ist)

III. Postoperatives Management:

1. Fortgesetzte Überwachung der mechanischen Aktivität des Herzens.
2. Eine SM Kontrolle ist empfehlenswert nach thorakalem Kautereinsatz in SM Nähe, unbedingt erforderlich nach perioperativer Defibrillation.
3. Eine SM Kontrolle ist indiziert, wenn präoperativ eine Umprogrammierung durchgeführt wurde, oder Hinweise auf eine SM Fehlfunktion vorliegen.
4. Postoperative SM Kontrollen sind so früh wie möglich, möglichst noch im Aufwachraum oder auf der Intensivstation vorzunehmen.
5. In anderen Fällen genügt eine Kontrolle zum nächsten geplanten Termin, bei länger als 5 Jahren implantierten Geräten innerhalb der nächsten 3 Monate.

¹ Das Pulsoxymetriesignal kann ebenfalls durch EMI gestört werden.

Praktische Empfehlungen zum perioperativen Management von PatientInnen mit implantiertem Kardioverter Defibrillator (ICD)

Zusätzlich zu den Empfehlungen für SM PatientInnen sind folgende Punkte zu beachten:

1. Die antitachykarde Funktion des ICDs muss präoperativ ausgeschaltet werden (externe Defibrillationsmöglichkeit), da es sonst zu inadäquater Schockabgabe kommen kann.
2. Bei absolut SM abhängigen ICD Patienten sollte das Gerät für die Dauer der OP in den asynchronen Modus programmiert werden. Falls dies gerätetechnisch nicht möglich ist, ev. bereits präoperativ eine temporäre transvenöse Stimulationselektrode anlegen. (Kontaktaufnahme mit dem zuständigen Kardiologen).
3. In Notfällen Schockfunktion durch Magnetauflage ausschalten. Die Auflage eines Ringmagneten unmittelbar über den ICD Generator aktiviert innerhalb weniger Sekunden den geräteinternen Reed-Switch und schaltet die Arrhythmie Erkennung/Therapie des Defibrillators für die Dauer der Magnetauflage aus. Bei einigen ICD Herstellern kann allerdings diese Reaktion auf die Magnetauflage auch ausgeschaltet werden.
4. Postoperativ möglichst rasche Aktivierung der antitachykarden Funktion und Wiederherstellung der präoperativen Geräteparameter.

Die Autoren bedanken sich bei den Präsidenten der Gesellschaften für ihre Unterstützung und Kooperation:

Prof. H. Metzler, Österreichische Gesellschaft für Anästhesiologie, Reanimation und Intensivmedizin

Prof. K. Huber, Österreichische Kardiologische Gesellschaft

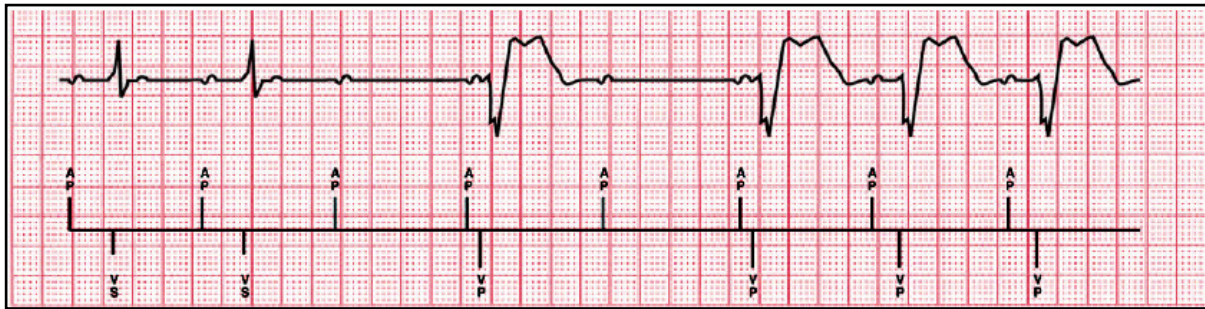
Prof. A. Tuchmann, Österreichische Gesellschaft für Chirurgie

Tabelle 1. Mögliche Ursachen einer EMI durch medizinische Geräte und ihre Auswirkungen auf ein Herzschrittmachersystem [7,71].

Quelle	Beschädigung des Generators	Komplette Inhibierung	Inhibierung eines Schlages	Asynchrone Stimulation	Herzfrequenzsteigerung
Hochfrequenzchirurgie	+	+	+	+	+*
Defibrillation	+	-	-	+	+
MRI	Möglich	-	+	+	+
Lithotrypsie	+	+	+	+	+
Ablation	(+)	+	-	-	+
Elektroschocktherapie	-	+	+	+	+
Transkutane Nervenstimulation	-	+	-	+	+
Diagnostische Röntgen Strahlung	-	-	-	-	+

* Frequenzadaptierte SM Systeme

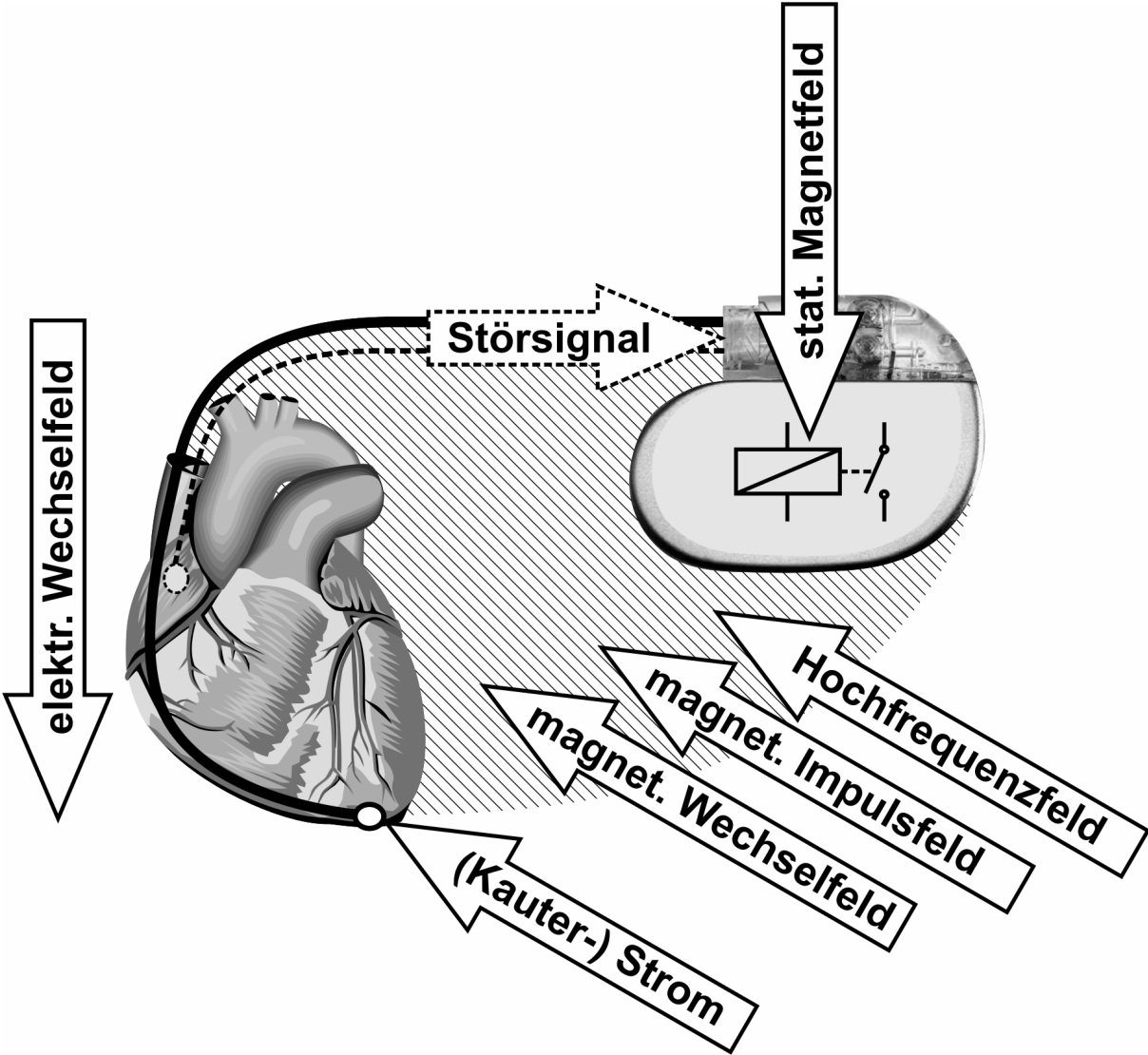
Abbildung 1



Legende Abb. 1

Der abgebildete EKG Streifen mit Schrittmacher Markerkanal zeigt die Funktionsweise eines speziellen Algorithmus (MVPTM = Managed Ventricular Pacing; Medtronic), der die intrinsische Überleitung optimiert. Bei Auftreten eines intermittierenden AV Blocks erfolgt rasch ein Wechsel von der AAI(R) zur DDD(R)-Betriebsart, wenn bei zwei der letzten vier AA-Intervalle ein Verlust der ventrikulären Überleitung auftrat. Es liegt somit keine Schrittmacher Dysfunktion vor.

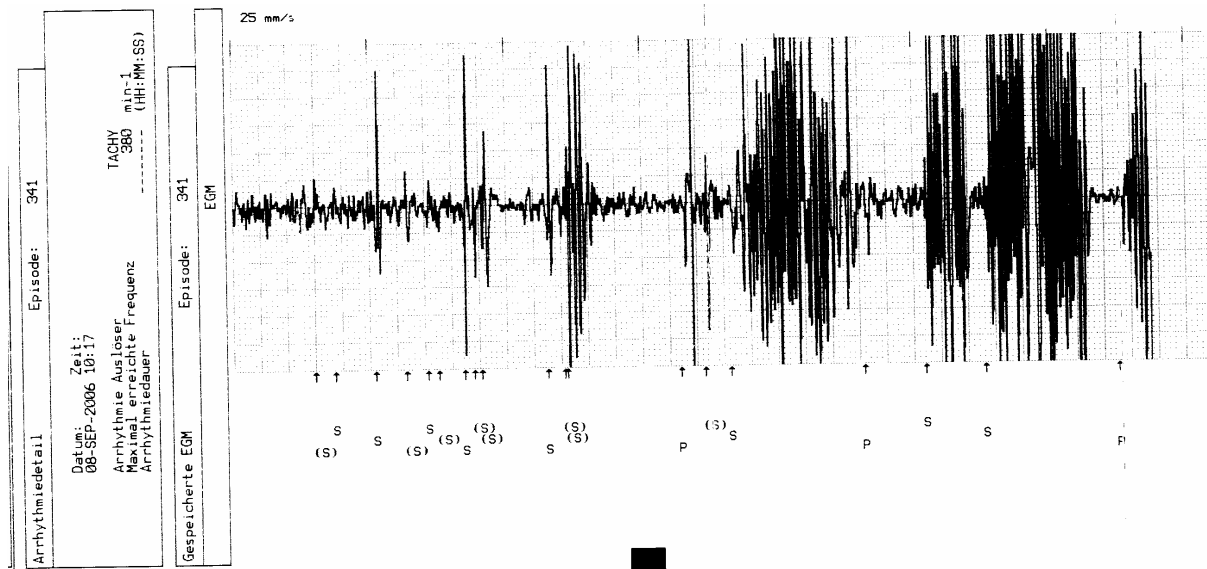
Abbildung 2



Legende Abb. 2

Möglichkeiten elektromagnetischer Interferenzen (EMI) mit einem SM/ICD System

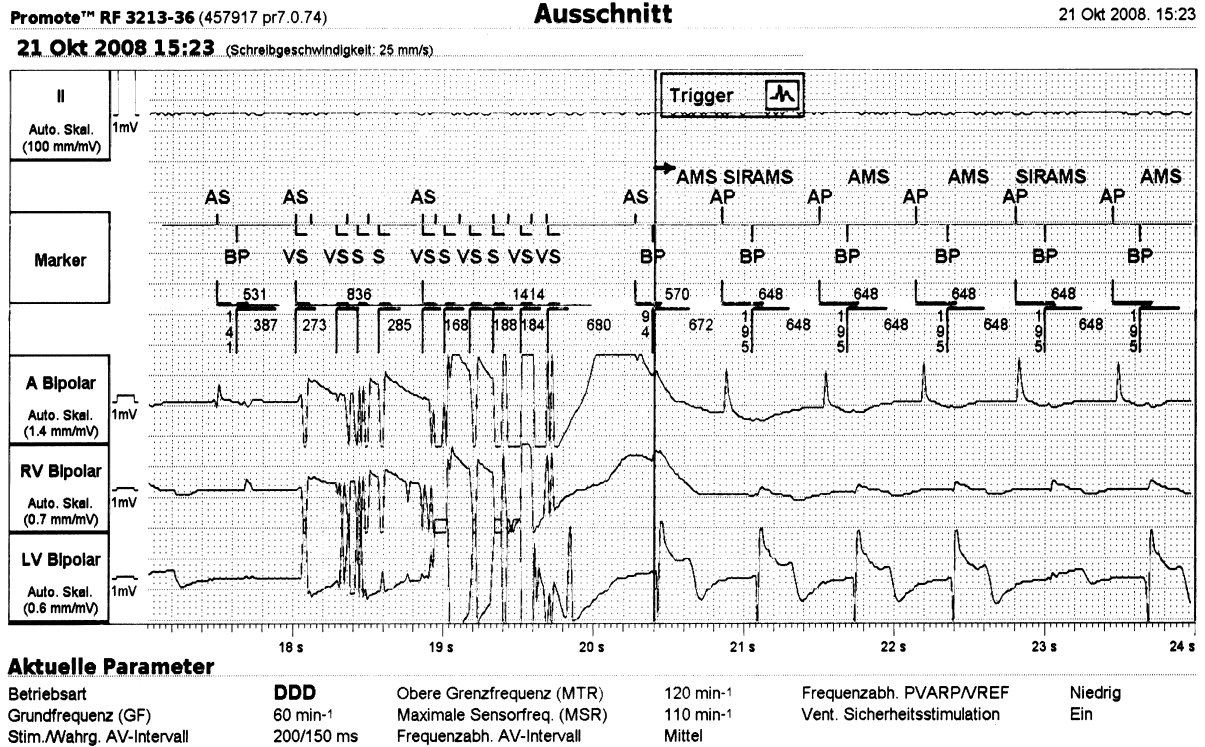
Abbildung 3



Legende Abb. 3

Intrakardialer (atrialer) EKG Speicher eines AAI Schrittmachers, der eine intraoperative "Tachyarrhythmie" während einer Schulteroperation bei Verwendung von Hochfrequenzchirurgie aufzeichnete. Der Streifen zeigt intermittierendes Oversensing mit teilweise inhibierter Stimulation (S = Sensing, P = Pacing).

Abbildung 4



Legende Abb. 4

Der Einsatz eines unipolaren Kauters während der Implantation eines biventrikulären Defibrillators führt für 2 Sekunden zum Sensing von hochfrequenten Störsignalen sowohl im atrialen als auch im ventrikulären Kanal (AS = atrial sense, VS = ventricular sense, AMS = automatic mode switch, BP = biventricular pacing, AP = atrial pacing). Bei länger dauerndem Einsatz des Kauters würden die Störsignale als Kammerflimmern fehldetektiert und bei fehlender Deaktivierung der antitachykarden Therapien zur Abgabe eines nicht-angebrachten Schocks führen.

Literatur

1. Anon. (2005) Practice advisory for the perioperative management of patients with cardiac rhythm management devices: pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators: a report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Perioperative Management of Patients with Cardiac Rhythm Management Devices. *Anesthesiology* 103:186-198
2. Anon. (2008) The Current Status of Cardiac Electrophysiology in ESC Member Countries
3. Anelli-Monti, M, Machler, H, Oberwalder, O et al. (2000) [Lead stability in long-term follow-up of bipolar leads]. *Wien Med Wochenschr* 150:414-418
4. Annamaria, M, Andrea, S, Michela, C et al. (2008) Cardiac Pacemaker Battery Discharge After External Electrical Cardioversion for Broad QRS Complex Tachycardia. *Indian Pacing Electrophysiol J* 8:222-226
5. Asbach, S, Brunner, M, Zehender, M et al. (2005) Multiple inappropriate defibrillator discharges due to Twiddler's syndrome. *Wien Klin Wochenschr* 117:801-
6. Atlee, JL, Bernstein, AD (2001) Cardiac rhythm management devices (part I): indications, device selection, and function. *Anesthesiology* 95:1265-1280
7. Atlee, JL, Bernstein, AD (2001) Cardiac rhythm management devices (part II): perioperative management. *Anesthesiology* 95:1492-1506
8. Badrinath, SS, Bhaskaran, S, Sundararaj, I et al. (1995) Mortality and morbidity associated with ophthalmic surgery. *Ophthalmic Surg Lasers* 26:535-541
9. Bailey, AG, Lacey, SR (1991) Intraoperative pacemaker failure in an infant. *Can J Anaesth* 38:912-913
10. Bales, JG, Colon, J, Ramadhyani, U et al. (2007) Electrocautery-induced asystole in a scoliosis patient with a pacemaker. *J Pediatr Orthop B* 16:19-22
11. Barbaro, V, Bartolini, P, Bellocchi, F et al. (1999) Electromagnetic interference of digital and analog cellular telephones with implantable cardioverter defibrillators: in vitro and in vivo studies. *Pacing Clin Electrophysiol* 22:626-634
12. Bartsch, C, Irnich, W, Junge, M et al. (2005) Post-mortem evaluation of 415 pacemakers: in situ measurements and bench tests. *Europace* 7:175-180
13. Benezet-Mazuecos, J, Benezet, J, Ortega-Carnicer, J (2007) Pacemaker Twiddler syndrome. *Eur Heart J* 28:2000-
14. Berul, CI, Hill, SL, Estes, NA, III (1997) A teenager with pacemaker twiddler syndrome. *J Pediatr* 131:496-497

15. Burke, MC, Kopp, DE, Alberts, M et al. (2001) Effect of radiofrequency current on previously implanted pacemaker and defibrillator ventricular lead systems. *J Electrocardiol* 34 Suppl:143-8.:143-148
16. Calcagnini, G, Censi, F, Floris, M et al. (2006) Evaluation of electromagnetic interference of GSM mobile phones with pacemakers featuring remote monitoring functions. *Pacing Clin Electrophysiol* 29:380-385
17. Catanzaro, JN, Makaryus, AN, Jadonath, S et al. (2007) Pacemaker ventricular lead microdislodgement following a motor vehicle accident. *Eur J Emerg Med* 14:224-227
18. Celentano, WJ, Jahr, JS, Nossaman, BD (1992) Extracorporeal shock wave lithotripsy in a patient with a pacemaker. *Anesth Analg* 74:770-772
19. Chauvin, M, Crenner, F, Brechenmacher, C (1992) Interaction between permanent cardiac pacing and electrocautery: the significance of electrode position. *Pacing Clin Electrophysiol* 15:2028-2033
20. Chung, MK, Stroom, SB, Ching, E et al. (1999) Effects of extracorporeal shock wave lithotripsy on tiered therapy implantable cardioverter defibrillators. *Pacing Clin Electrophysiol* 22:738-742
21. Crevenna, R, Stix, G, Pleiner, J et al. (2003) Electromagnetic interference by transcutaneous neuromuscular electrical stimulation in patients with bipolar sensing implantable cardioverter defibrillators: a pilot safety study. *Pacing Clin Electrophysiol* 26:626-629
22. Dawes, JC, Mahabir, RC, Hillier, K et al. (2006) Electrosurgery in patients with pacemakers/implanted cardioverter defibrillators. *Ann Plast Surg* 57:33-36
23. Delhumeau, A, Ronceray, S, Moreau, X et al. (1988) [Final arrest of a pacemaker after use of electrocautery]. *Ann Fr Anesth Reanim* 7:162-164
24. Dickstein, K, Cohen-Solal, A, Filippatos, G et al. (2008) ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008: the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association of the ESC (HFA) and endorsed by the European Society of Intensive Care Medicine (ESICM). *Eur J Heart Fail* 10:933-989
25. Domino, KB, Smith, TC (1983) Electrocautery-induced reprogramming of a pacemaker using a precordial magnet. *Anesth Analg* 62:609-612
26. Dursun, I, Yesildag, O, Soyulu, K et al. (2006) Late pacemaker twiddler syndrome. *Clin Res Cardiol* 95:547-549
27. Engelhardt, L, Grosse, J, Birnbaum, J et al. (2007) Inhibition of a pacemaker during nerve stimulation for regional anaesthesia. *Anaesthesia* 62:1071-1074
28. Epstein, AE, DiMarco, JP, Ellenbogen, KA et al. (2008) ACC/AHA/HRS 2008 Guidelines for Device-Based Therapy of Cardiac Rhythm Abnormalities: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association

Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the ACC/AHA/NASPE 2002 Guideline Update for Implantation of Cardiac Pacemakers and Antiarrhythmia Devices): Developed in Collaboration With the American Association for Thoracic Surgery and Society of Thoracic Surgeons. *Circulation* 117:e350-e408

29. Fellner, B, Nürnberg, M, Jarai, R et al. (2006) Schrittmachertherapie in Österreich: Werden Frauen benachteiligt? *J Kardiol* 14:199A-
30. Fetter, J, Patterson, D, Aram, G et al. (1989) Effects of extracorporeal shock wave lithotripsy on single chamber rate response and dual chamber pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol* 12:1494-1501
31. Fiek, M, Dorwarth, U, Durchlaub, I et al. (2004) Application of radiofrequency energy in surgical and interventional procedures: are there interactions with ICDs? *Pacing Clin Electrophysiol* 27:293-298
32. Fiek, M, Remp, T, Reithmann, C et al. (2004) Complete loss of ICD programmability after magnetic resonance imaging. *Pacing Clin Electrophysiol* 27:1002-1004
33. Fleisher, LA, Beckman, JA, Brown, KA et al. (2007) ACC/AHA 2007 Guidelines on Perioperative Cardiovascular Evaluation and Care for Noncardiac Surgery: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 2002 Guidelines on Perioperative Cardiovascular Evaluation for Noncardiac Surgery). *Circulation* 116:e418-e499
34. Geppert, A, Rauscha, F (2001) [Pacemaker dysfunction in the clinical practice]. *Wien Klin Wochenschr* 113:15-26
35. Gimbel, JR, Bailey, SM, Tchou, PJ et al. (2005) Strategies for the safe magnetic resonance imaging of pacemaker-dependent patients. *Pacing Clin Electrophysiol* 28:1041-1046
36. Goldschlager, N, Epstein, A, Friedman, P et al. (2001) Environmental and drug effects on patients with pacemakers and implantable cardioverter/defibrillators: a practical guide to patient treatment. *Arch Intern Med* 161:649-655
37. Guenoum, MAXI, HERO, MARC, ROUX, OLIV et al. (2005) Cross-Ventricular Pacemaker-Mediated Tachycardia by Myopotential Induction during Biventricular Pacing. *Pacing and Clinical Electrophysiology* 28:585-587
38. Guertin, D, Faheem, O, Ling, T et al. (2007) Electromagnetic Interference (EMI) and arrhythmic events in ICD patients undergoing gastrointestinal procedures. *Pacing Clin Electrophysiol* 30:734-739
39. Hamby, RI, Noble, WJ, Murphy, DH et al. (1983) Atrial transport function in coronary artery disease: relation to left ventricular function. *J Am Coll Cardiol* 1:1011-1017
40. Hodgson, B (2006) Another case of monitor-induced pacemaker-driven tachycardia: if in doubt, read the instructions. *Anaesth Intensive Care* 34:517-

41. Hu, R, Cowie, DA (2006) Pacemaker-driven tachycardia induced by electrocardiograph monitoring in the recovery room. *Anaesth Intensive Care* 34:266-268
42. Hurkmans, CW, Scheepers, E, Springorum, BG et al. (2005) Influence of radiotherapy on the latest generation of implantable cardioverter-defibrillators. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 63:282-289
43. Hurkmans, CW, Scheepers, E, Springorum, BG et al. (2005) Influence of radiotherapy on the latest generation of pacemakers. *Radiother Oncol* 76:93-98
44. Irrnich, W (1999) Pacemaker-related patient mortality. *Pacing Clin Electrophysiol* 22:1279-1283
45. Kanal, E, Barkovich, AJ, Bell, C et al. (2007) ACR guidance document for safe MR practices: 2007. *AJR Am J Roentgenol* 188:1447-1474
46. Kapa, S, Fong, L, Blackwell, CR et al. (2008) Effects of scatter radiation on ICD and CRT function. *Pacing Clin Electrophysiol* 31:727-732
47. Khunnawat, C, Mukerji, S, Sankaran, S et al. (2005) Echocardiography induced tachycardia in a patient with a minute ventilation rate responsive pacemaker. *J Interv Card Electrophysiol* 14:51-53
48. Lamas, GA, Antman, EM, Gold, JP et al. (1986) Pacemaker backup-mode reversion and injury during cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 41:155-157
49. Lapinsky, SE, Easty, AC (2006) Electromagnetic interference in critical care. *J Crit Care* 21:267-270
50. Lau, W, Corcoran, SJ, Mond, HG (2006) Pacemaker tachycardia in a minute ventilation rate-adaptive pacemaker induced by electrocardiographic monitoring. *Pacing Clin Electrophysiol* 29:438-440
51. Levine, GN, Gomes, AS, Arai, AE et al. (2007) Safety of magnetic resonance imaging in patients with cardiovascular devices: an American Heart Association scientific statement from the Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization, Council on Clinical Cardiology, and the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention: endorsed by the American College of Cardiology Foundation, the North American Society for Cardiac Imaging, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *Circulation* 116:2878-2891
52. Levine, PA, Balady, GJ, Lazar, HL et al. (1986) Electrocautery and pacemakers: management of the paced patient subject to electrocautery. *Ann Thorac Surg* 41:313-317
53. Madigan, JD, Choudhri, AF, Chen, J et al. (1999) Surgical management of the patient with an implanted cardiac device: implications of electromagnetic interference. *Ann Surg* 230:639-647

54. Madsen, GM, Andersen, C (1989) Pacemaker-induced tachycardia during general anaesthesia: a case report. *Br J Anaesth* 63:360-361
55. Madsen, GM, Andersen, C (1993) Rate-responsive pacemakers and extracorporeal shock wave lithotripsy: a dangerous combination? *Anesth Analg* 76:917-
56. Maisel, WH, Moynahan, M, Zuckerman, BD et al. (2006) Pacemaker and ICD Generator Malfunctions: Analysis of Food and Drug Administration Annual Reports. *JAMA: The Journal of the American Medical Association* 295:1901-1906
57. Maisel, WH, Sweeney, MO, Stevenson, WG et al. (2001) Recalls and Safety Alerts Involving Pacemakers and Implantable Cardioverter-Defibrillator Generators. *JAMA: The Journal of the American Medical Association* 286:793-799
58. Mangar, D, Atlas, GM, Kane, PB (1991) Electrocautery-induced pacemaker malfunction during surgery. *Can J Anaesth* 38:616-618
59. Maron, BJ, Hauser, RG (2007) Perspectives on the failure of pharmaceutical and medical device industries to fully protect public health interests. *Am J Cardiol* 100:147-151
60. Martens, PR, Russell, JK, Wolcke, B et al. (2001) Optimal Response to Cardiac Arrest study: defibrillation waveform effects. *Resuscitation* 49:233-243
61. Medina-Ravell, VA, Lankipalli, RS, Yan, GX et al. (2003) Effect of epicardial or biventricular pacing to prolong QT interval and increase transmural dispersion of repolarization: does resynchronization therapy pose a risk for patients predisposed to long QT or torsade de pointes? *Circulation* 107:740-746
62. Mellert, F, Esmailzadeh, B, Schneider, C et al. (2002) An unusual case of pacemaker failure: complete disconnection of connector block and battery of a subpectorally implanted dual chamber pacemaker. *Pacing Clin Electrophysiol* 25:509-510
63. Moran, MD, Kirchhoffer, JB, Cassavar, DK et al. (1996) Electromagnetic interference (EMI) caused by electrocautery during surgical procedures. *Pacing Clin Electrophysiol* 19:1009-
64. Moskowitz, DM, Kahn, RA, Camunas, J et al. (1998) External chest wall stimulation to suppress a permanent transvenous pacemaker in a patient during endovascular stent graft placement. *Anesthesiology* 89:531-533
65. Mychaskiw, G, Eichhorn, JH (1999) Interaction of an implanted pacemaker with a transesophageal atrial pacemaker: report of a case. *J Clin Anesth* 11:669-671
66. Myerburg, RJ, Feigal, DW, Jr., Lindsay, BD (2006) Life-threatening malfunction of implantable cardiac devices. *N Engl J Med* 354:2309-2311

67. Nazarian, S, Roguin, A, Zviman, MM et al. (2006) Clinical utility and safety of a protocol for noncardiac and cardiac magnetic resonance imaging of patients with permanent pacemakers and implantable-cardioverter defibrillators at 1.5 tesla. *Circulation* 114:1277-1284
68. Nercessian, OA, Wu, H, Nazarian, D et al. (1998) Intraoperative pacemaker dysfunction caused by the use of electrocautery during a total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 13:599-602
69. O'Connor, CJ (1993) Pacemaker and ESWL. *Anesth Analg* 76:205-206
70. Occhetta, E, Plebani, L, Bortnik, M et al. (1999) Implantable cardioverter defibrillators and cellular telephones: is there any interference? *Pacing Clin Electrophysiol* 22:983-989
71. Oda, N, Nakajima, H, Abe, H et al. (2008) [Effect of diagnostic X-rays on implantable cardiac pacemakers and implantable cardioverter defibrillators, and its management]. *Nippon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi* 64:805-813
72. Peters, RW, Gold, MR (1998) Reversible prolonged pacemaker failure due to electrocautery. *J Interv Card Electrophysiol* 2:343-344
73. Pinski, SL, Trohman, RG (2000) Interference with cardiac pacing. *Cardiol Clin* 18:219-39, x
74. Pinski, SL, Trohman, RG (2002) Interference in implanted cardiac devices, part II. *Pacing Clin Electrophysiol* 25:1496-1509
75. Prakash, A, Saksena, S, Ziegler, PD et al. (2005) Dual site right atrial pacing can improve the impact of standard dual chamber pacing on atrial and ventricular mechanical function in patients with symptomatic atrial fibrillation: further observations from the dual site atrial pacing for prevention of atrial fibrillation trial. *J Interv Card Electrophysiol* 12:177-187
76. Preisman, S, Cheng, DC (1999) Life-threatening ventricular dysrhythmias with inadvertent asynchronous temporary pacing after cardiac surgery. *Anesthesiology* 91:880-883
77. Proclemer, A, Facchin, D, Pagnutti, C et al. (2000) Safety of pacemaker implantation prior to radiofrequency ablation of atrioventricular junction in a single session procedure. *Pacing Clin Electrophysiol* 23:998-1002
78. Pyatt, JR, Trenbath, D, Chester, M et al. (2003) The simultaneous use of a biventricular implantable cardioverter defibrillator (ICD) and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) unit: implications for device interaction. *Europace* 5:91-93
79. Rozner, MA (2003) Review of electrical interference in implanted cardiac devices. *Pacing Clin Electrophysiol* 26:923-925
80. Rozner, MA (2004) Unexpected high incidence of serious pacemaker problems detected by pre- and postoperative interrogations: a two year experience. *J Am Coll Cardiol* 43:113A-

81. Rozner, MA (2007) The patient with a cardiac pacemaker or implanted defibrillator and management during anaesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol* 20:261-268
82. Rozner, MA, Nishman, RJ (2002) Electrocautery-induced pacemaker tachycardia: why does this error continue? *Anesthesiology* 96:773-774
83. Sadoul, N, Blankoff, I, de Chillou C. et al. (1997) Effects of radiofrequency catheter ablation on patients with permanent pacemakers. *J Interv Card Electrophysiol* 1:227-233
84. Salukhe, TV, Dob, D, Sutton, R (2004) Pacemakers and defibrillators: anaesthetic implications. *Br J Anaesth* 93:95-104
85. Samain, E, Schauvliege, F, Henry, C (2001) Outcome in patients with a cardiac pacemaker undergoing surgery. *Anesthesiology* 95:A 142-
86. Santini, M, Brachmann, J, Cappato, R et al. (2006) Recommendations of the European Cardiac Arrhythmia Society Committee on Device Failures and Complications. *Pacing and Clinical Electrophysiology* 29:653-669
87. Schneider, T, Martens, PR, Paschen, H et al. (2000) Multicenter, randomized, controlled trial of 150-J biphasic shocks compared with 200- to 360-J monophasic shocks in the resuscitation of out-of-hospital cardiac arrest victims. *Optimized Response to Cardiac Arrest (ORCA) Investigators. Circulation* 102:1780-1787
88. Seo, K, Takayama, H, Araya, Y et al. (1996) Electromagnetic interference of an external temporary pacemaker during maxillofacial and neck surgery. *Anesth Prog* 43:64-66
89. Siu, CW, Tse, HF, Lau, CP (2005) Inappropriate implantable cardioverter defibrillator shock from a transcutaneous muscle stimulation device therapy. *J Interv Card Electrophysiol* 13:73-75
90. Solan, AN, Solan, MJ, Bednarz, G et al. (2004) Treatment of patients with cardiac pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators during radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 59:897-904
91. Southorn, PA, Kamath, GS, Vasdev, GM et al. (2000) Monitoring equipment induced tachycardia in patients with minute ventilation rate-responsive pacemakers. *Br J Anaesth* 84:508-509
92. Steinbrook, R (2005) The controversy over Guidant's implantable defibrillators. *N Engl J Med* 353:221-224
93. Stevenson, WG, Chaitman, BR, Ellenbogen, KA et al. (2004) Clinical Assessment and Management of Patients With Implanted Cardioverter-Defibrillators Presenting to Nonelectrophysiologists. *Circulation* 110:3866-3869

94. Stone, KR, McPherson, CA (2004) Assessment and management of patients with pacemakers and implantable cardioverter defibrillators. *Crit Care Med* 32:S155-S165
95. Strohmer, B, Scherthaner, C, Pichler, M (2006) T-wave oversensing by an implantable cardioverter defibrillator after successful ablation of idiopathic ventricular fibrillation. *Pacing Clin Electrophysiol* 29:431-435
96. Sundar, S, Symonds, RP, Deehan, C (2005) Radiotherapy to patients with artificial cardiac pacemakers. *Cancer Treat Rev* 31:474-486
97. Sweesy, MW (2004) Understanding electromagnetic interference. *Heart Rhythm* 1:523-524
98. Sweesy, MW, Holland, JL, Smith, KW (2004) Electromagnetic interference in cardiac rhythm management devices. *AACN Clin Issues* 15:391-403
99. Tandogan, I, Ozin, B, Bozbas, H et al. (2005) Effects of mobile telephones on the function of implantable cardioverter defibrillators. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 10:409-413
100. Tandogan, I, Temizhan, A, Yetkin, E et al. (2005) The effects of mobile phones on pacemaker function. *Int J Cardiol* 103:51-58
101. Van Hemel, NM, Hamerlijnck, RP, Pronk, KJ et al. (1989) Upper limit ventricular stimulation in respiratory rate responsive pacing due to electrocautery. *Pacing Clin Electrophysiol* 12:1720-1723
102. Vassolas, G, Roth, RA, Venditti, FJ, Jr. (1993) Effect of extracorporeal shock wave lithotripsy on implantable cardioverter defibrillator. *Pacing Clin Electrophysiol* 16:1245-1248
103. Wajszczuk, WJ, Mowry, FM, Dugan, NL (1969) Deactivation of a demand pacemaker by transurethral electrocautery. *N Engl J Med* 280:34-35
104. Wallden, J, Gupta, A, Carlsen, HO (1998) Supraventricular tachycardia induced by Datex patient monitoring system. *Anesthesia Analgesia* 86:1339-
105. Wilkoff, BL, Auricchio, A, Brugada, J et al. (2008) HRS/EHRA expert consensus on the monitoring of cardiovascular implantable electronic devices (CIEDs): description of techniques, indications, personnel, frequency and ethical considerations. *Heart Rhythm* 5:907-925
106. Wilson, S, Neustein, SN, Camunas, J (2006) Rapid ventricular pacing due to electrocautery: a case report and review. *Mt Sinai J Med* 73:880-883
107. Wong, DT, Middleton, W (2001) Electrocautery-induced tachycardia in a rate-responsive pacemaker. *Anesthesiology* 94:710-711
108. Yerra, L, Reddy, PC (2007) Effects of electromagnetic interference on implanted cardiac devices and their management. *Cardiol Rev* 15:304-309

109. Yildirim, H, Adanir, T, Atay, A et al. (2004) The effects of sevoflurane, isoflurane and desflurane on QT interval of the ECG. *Eur J Anaesthesiol* 21:566-570