

B. Nowak
B. Schulte
W.A. Fach
T. Voigtländer
J. Kreuzer

Störbeeinflussung von Schrittmachern und ICDs durch Mobiltelefone

Eingegangen: 1. Oktober 2003
Akzeptiert: 5. Januar 2004

Interference of pacemakers and ICDs by mobile phones

■ **Summary** Mobile phones represent the most frequent source for potential interference with pacemakers or ICDs. Numerous in vitro and in vivo studies have demonstrated that mobile phones may interfere with pacemakers, and to a lesser extent with ICDs as well. The type and extent of interference depends on a variety of device variables, patient variables, mobile phone variables and situational variables during the interaction. No case of severe interference or damage of devices has been reported.

Mobile phones using the E-net with a higher transmission frequency showed no interferences.

Patients with pacemakers or ICDs may use mobile phones without problems if some simple precautions are followed.

■ **Key words** Mobile phone – interference – pacemaker – ICD

■ **Zusammenfassung** Mobiltelefone sind die häufigste potentielle Störquelle mit Schrittmachern oder ICDs im öffentlichen Leben. In zahlreichen In-vitro- und In-vivo-Untersuchungen wurde gezeigt, dass Mobiltelefone sowohl Schrittmacher, als auch in geringerem Ausmaß ICDs, vorübergehend in ihrer Funktion stören können. Art und Ausmaß einer Störung sind von einer Vielzahl von Variablen abhängig die durch Aggregatparameter, Patientencharakteristika, Telefoncharakteristika und Interaktionsvariablen beeinflusst werden. In keinem Fall wurden gravierende Störungen oder bleibende Beschädigungen der Aggregate nachgewiesen.

Durch das E-Netz, das mit einer höheren Übertragungsfrequenz arbeitet, wurden bisher keine Störungen nachgewiesen.

Mit der Beachtung einiger Vorsichtsregeln können auch Patienten mit Schrittmachern und ICDs problemlos Mobiltelefone benutzen.

■ **Schlüsselwörter** Mobiltelefon – Störbeeinflussung – Schrittmacher – ICD

Priv.-Doz. Dr. B. Nowak (✉) · B. Schulte
W.A. Fach · T. Voigtländer · J. Kreuzer
CCB, Cardioangiologisches Centrum
Bethanien
Im Prüfling 23
60389 Frankfurt a.M.
Tel.: 069/9450280
Fax: 069/461613
E-Mail: nowak@ccb.de

Einleitung

Unter einer elektromagnetischen Störbeeinflussung versteht man die Interaktion zwischen zwei

elektrischen Geräten mit und ohne direkten Kontakt der beiden. Hierbei ist ein Gerät die elektromagnetische Quelle der Störung. Ein zweites Gerät fungiert als

Empfänger oder „Opfer“ und wird durch die Beeinflussung in seiner Funktion gestört [26].

In dieser Arbeit soll der aktuelle Stand von Störbeeinflussun-

gen von Herzschrittmachern und implantierbaren Cardiovertern Defibrillatoren (ICDs) durch Mobiltelefone diskutiert werden.

Die Wahrscheinlichkeit eines Kontaktes zwischen implantiertem Aggregat und Mobiltelefon ist durch die rapide Verbreitung von Mobiltelefonen steil angestiegen. In Deutschland wird die Anzahl der Benutzer von Mobiltelefonen im Jahr 2002 auf etwa 50–60 Millionen geschätzt. Weltweit werden im Jahr 2003 etwa eine Milliarde Nutzer für drahtlose Kommunikationsmedien erwartet. Mobiltelefone sind die mobilsten aller elektromagnetischen Störquellen für Schrittmacher und ICDs, so dass die Patienten im öffentlichen Leben ständig mit entsprechenden Kontakten rechnen müssen, sofern sie nicht selbst ein Mobiltelefon nutzen.

Seit Anfang der 90er Jahre sind mögliche Störbeeinflussung zwischen Herzschrittmachern und Mobiltelefonen zunehmend in den Blickpunkt des Interesses gerückt [8, 10, 16, 21]. Mittlerweile liegen eine Vielzahl von Publikationen zu diesem Thema vor, die sowohl In-vitro, als auch In-vivo-Testungen beinhalten.

Mobiltelefone

Die ersten Mobiltelefone in den 80er Jahren nutzten eine analoge Übertragung der Funksignale. Das analoge C-Netz wurde in Deutschland seit 1986 betrieben. Sein Betrieb wurde am 1. 1. 2001 eingestellt, wobei seine maximale Teilnehmerzahl etwa 850 000 betragen hatte. In den USA werden noch überwiegend analoge Mobiltelefone genutzt, während in Europa mittlerweile über 90% der Mobiltelefone die digitale Übertragungstechnik nutzen [26]. Daher werden und wurden in vielen Arbeiten auch analoge Mobiltelefone untersucht.

Das analoge C-Netz *arbeitete frequenzmoduliert* bei einer Frequenz von 450 MHz. Die Sendeleistung betrug *in der Regel 2 Watt*. Nur fest in Fahrzeugen eingebaute Geräte hatten eine Sendeleistung von bis zu 15 Watt.

Die digitalen Mobiltelefonnetze arbeiten im GSM-Standard (Global System for Mobile Communication). Das D-Netz benutzt eine Frequenz von 900 MHz und die Sendeleistung ist abhängig vom Abstand zur Basisstation, sie trägt *maximal 2 Watt*. Das E-Netz arbeitet in einem Frequenzbereich von 1800 MHz, die Sendeleistung ist wieder ortabhängig und *beiträgt maximal 1 Watt*.

Die Impulsfrequenz der Mobiltelefone wechselt in Abhängigkeit von dem jeweiligen Betriebsmodus wie Ein- und Ausbuchen, Wählen, Klingeln, Telefonieren und Sprechen.

Beim Telefonieren liegt sie bei 217 Hz. In der Betriebsart DTX (Discontinuous Transmission Mode) während des Gesprächsaufbaues, oder wenn der Telefonierende schweigend zuhört, wird die Impulsfrequenz von 217 Hz auf 2 Hz, überlagert von 8 Hz, zurückgefahren. Hierbei ist das Risiko einer Interaktion erhöht.

Die neuen Mobilfunktelefone der dritten Generation, welche die Technologien UMTS und TETRA nutzen, arbeiten im Frequenzbereich oberhalb von 1800 MHz, so dass dort eher weniger Störbeeinflussungen zu erwarten sind. Arbeiten liegen hierzu allerdings noch nicht vor.

Kabellose Telefone die nur innerhalb der Wohnung genutzt werden, verursachen keine Störungen der Schrittmacher- oder ICD-Systeme [13]. Sie arbeiten heutzutage überwiegend im DECT-Standard (Digital Enhanced Cordless Telecommunications). Diese Telefone arbeiten zwischen 1880 und 1900 MHz. Ihre Sendeleistung liegt bei 250 mW.

Mechanismen der Störbeeinflussung

■ Potentielle Störbeeinflussungen

Für die Störbeeinflussung von Herzschrittmachern durch Mobiltelefone sind eine Vielzahl von Mechanismen beschrieben worden. Diese beinhalten die Inhibierung von Schrittmacherimpulsen, die Triggerung einer schnellen Stimulation oder eine Umschaltung in den Störmodus. Daneben sind ein inadäquater Mode-Switch und Störungen der Telemetrie beschrieben worden [12, 13, 22].

Eine Änderung der programmierten Parameter oder eine Beschädigung der Aggregate wurden allerdings in keinem Fall nachgewiesen [13, 19].

Bei ICDs kann die antibradykarde Stimulation, analog zu den möglichen Störungen bei Schrittmachern, beeinträchtigt werden. Daneben ist eine Inhibierung der Tachykardiedetektion und damit der Therapieabgabe möglich. Ebenso wurden inadäquate Therapieabgaben sowohl als antitachykarde Stimulation, als auch als Schockabgaben, beschrieben [4]. Darüber hinaus kam es auch zu Störungen der Telemetrie zwischen ICD und Programmiergerät.

Mögliche Konsequenzen für schrittmacherabhängige Patienten sind eine Verlangsamung der Herzfrequenz bis hin zur Asystolie. Auch sind aggregatinduzierte Tachykardien sowie die Induktion von Arrhythmien bis hin zu ventrikulären Tachykardien und Kammerflimmern bei Stimulation in der vulnerablen Phase der T-Welle denkbar.

Mögliche Symptome der Patienten sind damit analog denen bei spontan auftretenden Arrhythmien und reichen von Beschwerdefreiheit über Palpitationen, Schwindel, Schmerzen, Angst, Dyspnoe bis hin zur Präsynkope und Synkope.

Bei ICDs kommen Schmerzen bei inadäquaten Schockabgaben hinzu. Sollte eine Störung der Tachykardiedetektion auftreten, könnten maligne ventrikuläre Arrhythmien nicht adäquat therapiert werden.

■ Variable Faktoren einer Störbeeinflussung

Ob es durch ein Mobiltelefon tatsächlich zu einer Störung eines Schrittmachers oder eines ICDs kommt, hängt von einer Vielzahl von Variablen ab. Diese umfassen sowohl den Patienten, als auch das implantierte Aggregat, das Mobiltelefon und die Position beider zueinander.

■ **Patientencharakteristika:** Hierbei wird die Möglichkeit und das Ausmaß einer Störung von der Implantationsseite und damit der möglichen Nähe zu einem Mobiltelefon, als auch von der Implantationstiefe und damit der Dicke der abschirmenden Gewebeschicht bestimmt. Ebenso spielt die Abschirmung der proximalen Elektrode/n durch eine Schleife hinter dem Aggregat eine wesentliche Rolle. Weitere wichtige Faktoren für die Folgen einer Störung sind das Ausmaß einer Schrittmacherabhängigkeit, bzw. eines Ersatzrhythmus, sowie der Grundrhythmus des Patienten zum Zeitpunkt der Störung.

■ **Telefoncharakteristika:** Hierbei ist vor allem der aktuelle Übertragungsmodus in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Phasen eines Telefongesprächs bedeutsam (s. o.). Insbesondere in der Betriebsart DTX (Discontinuous Transmission Mode) während des Gesprächsaufbaues, oder wenn der Telefonierende schweigend zuhört ist das Risiko einer Interaktion erhöht.

Daneben spielt die Übertragungsfrequenz und damit die

Eindringtiefe bzw. Dämpfung der elektromagnetischen Wellen eine wesentliche Rolle. Der Sendeleistung des Telefons kommt ebenfalls eine entscheidende Bedeutung zu. Sie wird in Abhängigkeit von den Übertragungsbedingungen automatisch angepasst und hängt, wie gesagt, vom Abstand zur nächsten Basisstation ab. Somit besteht bei großem Abstand und hoher Sendeleistung ein höheres Risiko einer Störbeeinflussung. Daneben haben die Antennencharakteristika der einzelnen Mobiltelefone einen weiteren Einfluss auf die lokal am Mobiltelefon auftretenden elektromagnetischen Felder.

■ **Aggregatvariablen:** Ein- und Zweikammersysteme können hier unterschiedlich empfindlich gegenüber Störungen sein. Dabei spielen sowohl Designunterschiede des gleichen Herstellers, als auch unterschiedliches Design verschiedener Hersteller eine Rolle.

In einer In-vitro-Untersuchung von Irnich und Mitarbeiter konnte gezeigt werden, dass von 6 Herstellern alle Schrittmacher resistent gegenüber einer Störbeeinflussung durch Mobiltelefone waren. 11 Hersteller hatten sowohl empfindliche als auch unempfindliche Schrittmachermodelle, und bei 3 Herstellern waren alle Modelle durch Mobiltelefone zu stören [16].

Weitere Aggregatvariablen, die das Auftreten und das Ausmaß einer Störung beeinflussen, sind die programmierte Empfindlichkeit, die programmierte Frequenz und der Stimulationsmodus zum Zeitpunkt der Störung.

Die Dämpfung einer Elektrode hängt von Dicke und Material der Isolation ab. Silikon weist hier gegenüber Polyurethan eine höhere Dämpfung auf [16].

Die Aufnahme eines Störsignals erfolgt insbesondere über den Konnektor und über die pro-

ximalen 5–10 cm der Elektroden [18]. Die Schlaufenbildung der Elektroden hinter dem Aggregat trägt dabei bereits erheblich zur Abschirmung bei [18].

■ **Interaktionsvariablen:** Zusätzliche Faktoren, die das Auftreten einer Störung beeinflussen, sind die Position von Mobiltelefon und Schrittmacher/ICD zueinander. Dabei sind auch ungewöhnliche Konstellationen möglich. Es wurde darüber berichtet, das Mobiltelefonbenutzer auf der Antenne gekaut haben, oder das die Antenne ins Ohr gesteckt wurde [22]. Die größte Beeinflussung tritt auf, wenn die Antenne des Mobiltelefons parallel zur proximalen Elektrode ausgerichtet ist [2, 17].

Daneben sind, wie oben ausgeführt, der Operationsmodus des Telefons und die Dauer der Interaktion von Bedeutung.

Aus diesen Aufzählungen geht hervor, dass multiple Variablen in das Szenario einer Störbeeinflussung zwischen Mobiltelefon und Schrittmacher bzw. ICD eingehen. Es ist daher praktisch unmöglich, alle diese Variablen bei entsprechenden Testungen zu berücksichtigen. Auch in den nachfolgend aufgeführten Untersuchungen konnte dementsprechend immer nur ein Teil der Szenarien berücksichtigt werden. Hayes hat zu diesem Thema sehr treffend bemerkt: „The patient could grow old completing the testing of all possibilities, not to mention the investigator“ [12].

Schrittmacher

■ In-vitro-Studien-Schrittmacher

Mitte der 90er Jahre wurden mehrere In-vitro-Studien zur Störbeeinflussung von Schrittmachern durch Mobiltelefone publiziert. Die größte Untersuchung hierzu stammt von Irnich und Mitarbei-

ter [16, 19]. Darin wurden 231 Schrittmachermodelle von 20 verschiedenen Herstellern untersucht. Hierbei wurden die Schrittmacher mit angeschlossener Elektrode in Kochsalzlösung in einer Flüssigkeitstiefe von 20 mm platziert. Die Antennen der Mobiltelefone wurden 10 mm oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche positioniert. Die Schrittmacheraggregate wurden auf eine Störbeeinflussung sowohl durch das C-Netz, als auch durch das D- und E-Netz untersucht.

Durch das analoge C-Netz kam es bei 31% der Schrittmacher zu einer Störbeeinflussung. Hier war eine Störung der Schrittmacher nur während des Wählvorganges gegeben [16, 19].

Durch D-Netz-Telefone kam es in 34% der Schrittmacher zu einer Störbeeinflussung. Gegenüber dem D-Netz waren die Schrittmacher von 6 Firmen immun. 11 Hersteller besaßen sowohl störempfindliche als auch störunempfindliche Aggregate. Die Beeinflussungsmöglichkeit hört in vitro bei maximal 25 cm Abstand auf.

Alle Schrittmachermodelle waren gegenüber dem E-Netz resistent! Dies erklärt sich sowohl durch die geringere Sendeleistung, als auch die doppelt so hohe Frequenz von 1,8 GHz. Diese hat eine geringere Eindringtiefe und höhere Reflexionen an der Oberfläche, sowie eine größere Dämpfung zur Folge.

Daher kann Patienten die sich ein Mobiltelefon anschaffen wollen zur bevorzugten Nutzung des E-Netzes geraten werden.

Irnich und Mitarbeiter hat auf der Basis seiner in-vitro Untersuchung in einer Risikoanalyse abgeschätzt, dass bei einer Entfernung zwischen Schrittmacher und Mobiltelefon von 10–20 cm das Risiko einer bedeutsamen Störbeeinflussung nur 1:100 000 beträgt [19]. In diese Berechnung gingen die folgenden Faktoren ein: 1) Mobiltelefon genau über

dem Schrittmacher platziert, 2) Abstand zwischen Mobiltelefon und Schrittmacher zwischen 10 und 20 cm, 3) Patient ist schrittmacherabhängig, 4) Wahrscheinlichkeit ein Mobiltelefon zu benutzen, 5) Wahrscheinlichkeit, dass der Schrittmacher mehr als 3 Sekunden inhibiert wird, 6) Wahrscheinlichkeit, dass die Einkopplung maximal ist, 7) Wahrscheinlichkeit, dass die Sendeleistung ≤ 1 Watt ist. Würden keinerlei Warnungen oder Instruktionen der Patienten vorliegen, würde dieses Risiko auf 1:3300 ansteigen.

Barbaro und Mitarbeiter untersuchte 25 verschiedene Schrittmachermodelle auf Störungen durch analoge Telefone [3]. Bei diesen In-vitro-Testungen wurden Inhibierungen des Stimulationsimpulses bis zu maximal drei Aktionen bei 40% der untersuchten Aggregate gefunden. Am häufigsten kam es im Rahmen der Klingelphase zu Störungen. Diese traten bereits während der Kontaktaufnahme zwischen Basisstation und Mobiltelefon auf. Damit war das Risiko einer Störbeeinflussung 3–6 Sekunden vor dem Beginn des Klingelns am größten. Umprogrammierungen oder Aggregatbeschädigungen waren nicht nachweisbar.

Moberg und Strandberg untersuchte lediglich drei Herzschritt-

macher eines Herstellers in vitro und konnte keine Störungen nachweisen [22]. Hieraus wurde der offensichtlich gewagte Schluss gezogen, dass implantierte Schrittmacher nicht von Mobiltelefonen beeinflusst werden.

■ In-vivo-Studien-Schrittmacher

Zur Testung möglicher Störbeeinflussung zwischen Herzschrittmachern und Mobiltelefonen wurde eine Vielzahl von In-vivo-Testungen durchgeführt. Viele dieser Untersuchungen wurden lediglich in Abstractform publiziert und sind hier nicht aufgeführt. Eine Übersicht über die Originalarbeiten zu diesem Thema gibt die Tabelle 1. In diesen Studien wurden zwischen 16 und 980 Schrittmacherpatienten mit Mobiltelefonen der verschiedenen Mobilfunknetze getestet. Störungen traten zwischen 0% und 39% der untersuchten Patienten auf.

Hayes und Mitarbeiter publizierte 1997 die größte klinische Untersuchung zum Thema Störbeeinflussung von Schrittmachern durch Mobiltelefone [14]. Es wurden 980 Patienten untersucht. Getestet wurden ein analoges und 4 digitale Telefone unter „worst case“ Bedingungen. Insgesamt wurden 5533 Tests durchgeführt. Da-

Tab. 1 In-vivo-Studien zur Störbeeinflussung von Schrittmachern durch Mobiltelefone

Autor	Jahr	Mobiltelefon	n =	Störungen
Barbaro et al. [2]	1995	GSM, 2 W	101	26%
Hofgärtner et al. [15]	1996	C + D-Netz, 0,5–8 W	104	C-Netz 15,4% D-Netz 2 W 20,2% D-Netz 8 W 39,4%
Naegeli et al. [23]	1996	GSM, 2 + 8 W	39	18%
Nowak et al. [24]	1996	D-Netz, 2 W	31	0%
Sparks et al. [28]	1996	GSM, 2 W	16	31%
Wilke et al. [31]	1996	D-Netz, 2 W	50	4%
Altamura et al. [1]	1997	GSM, 2 W Analog, 0,6 W	200	21,5% 17,5%
Hayes et al. [14]	1997	Analog und Digital	980	20%
Elsershari et al. [9]	2002	GSM, 2 W	95	1%

bei wurden in insgesamt 20% der Tests Störungen zwischen Schrittmachern und Mobiltelefonen nachgewiesen. Eindeutig klinisch signifikante Störbeeinflussungen traten nur in 1,7% der Tests auf. Dies war auch nur dann der Fall, wenn das Mobiltelefon direkt über dem Schrittmacher platziert wurde. Bei normaler Telefonbenutzung am Ohr traten keine klinisch signifikanten Störungen auf.

Die Störbeeinflussung waren bei Zweikammerschrittmachern (25,3%) häufiger als bei Einkammerschrittmachern (6,8%; $p < 0,001$). Bei dem analogen Telefon traten Störungen in 2,5% auf, während dies bei den digitalen Telefonen in 23,7% der Fall war ($p = 0,01$).

Bei Schrittmachern ohne Durchführungsfilter traten Störungen in 28,9–55,8% auf, während dies bei Aggregaten mit derartigen Filtern nur in 0,4–0,8% der Fall war ($p = 0,01$).

Die Störungen manifestierten sich am häufigsten als atriales Tracking, asynchrone Stimulation und als ventrikuläre Inhibierung.

Im Rahmen dieser Störungen waren die Patienten in 64% asymptomatisch. In 36% der Fälle traten Symptome auf. Dies waren am häufigsten Palpitationen, gefolgt von Schwindel, Dyspnoe und Präsynkopen [14].

Bezüglich einer frequenzadaptativen Stimulation kam es in einer anderen Untersuchung bei einem temperaturgesteuerten frequenzvariablen Schrittmacher bei Testungen mit C- und D-Netz-Mobiltelefonen in wenigen Sekunden zu einer Steigerung der Stimulationsfrequenz auf die programmierte Maximalfrequenz [15]. Dagegen wurde in einer weiteren Studie keine Beeinträchtigung der Thoraximpedanzmessung zur Bestimmung des Atemminutenvolumens gefunden [28].

Die Ergebnisse der aufgeführten Studien (Tab. 1) zur Störbeeinflussung von Schrittmachern

durch Mobiltelefone zeigen erhebliche Unterschiede in der Häufigkeit derartiger Störungen. Dies erklärt sich durch die multiplen Variablen die solche Störungen beeinflussen, wie Patientencharakteristika, Telefoncharakteristika, Schrittmachervariablen und Interaktionsvariablen, wie bereits oben ausgeführt.

In mehreren Punkten liefern jedoch alle Untersuchungen einheitliche Ergebnisse: 1) Bei einer maximalen Sendeleistung der Mobiltelefone von 2 Watt traten Störungen nur bei großer Nähe von weniger als 10–15 cm zwischen Telefon und Schrittmacher auf. 2) Die Störungen waren immer nur von kurzer Dauer und resultierten nur sehr selten in bedeutsamen Symptomen der Patienten. 3) Eine Änderung der Schrittmacherprogrammierung oder eine Aggregatbeschädigung trat in keinem Fall auf [12, 18].

ICDs

■ In-vitro-Studien-ICDs

Zur Störbeeinflussung von ICDs durch Mobiltelefone liegen nur zwei In-vitro-Untersuchungen vor. Bei der nicht ganz sinnvollen Testung in Luft wurde dabei bei 4 von 6 getesteten ICDs eine Störung durch Mobiltelefone nachgewiesen [4]. Hierbei kam es zu Impulsinhibierungen, zu Umpro-

grammierungen und zur fälschlichen Detektion von ventrikulären Tachykardien und Kammerflimmern. Diese waren jeweils in geringer Entfernung zum Konnektor induzierbar. Bei konsekutiver Testung in Kochsalzlösung ließen sich dagegen keinerlei Störungen mehr nachweisen!

In einer zweiten In-vitro-Studie kam es bei analogen und bei digitalen Telefonen mit einer maximalen Leistung von 1,3 W, sowohl zu einer Inhibierung der antibradykarden Stimulation, als auch zur Auslösung von Schockabgaben. Allerdings traten diese nur bei einem sehr geringen Abstand von 2,3–5,8 cm zwischen ICD und Mobiltelefon auf, wenn die Antenne direkt über dem Konnektor positioniert wurde [5]. Die ICDs befanden sich bei dieser Untersuchung in Kochsalzlösung.

■ In-vivo-Studien-ICDs

Mögliche Störbeeinflussungen zwischen Mobiltelefonen und ICDs wurden in einigen kleineren Studien in-vivo untersucht. Hierbei wurden sowohl pectoral als auch abdominal implantierte Aggregate getestet. Eine Übersicht hierzu gibt die Tabelle 2.

Lediglich in einer Untersuchung kam es bei 3 Patienten zu einer unbedeutenden Triggerung der ventrikulären Stimulation. Diese war nur bei einem Abstand von weniger als 2 cm zwischen

Tab. 2 In-vivo-Studien zur Störbeeinflussung von ICDs durch Mobiltelefone

Autor	Jahr	Mobiltelefon	n =	Störungen
Schibgilla et al. [27]	1997	D-Netz, 2 W	15	0%
Fetter et al. [11]	1998	Digital, 0,6 W	41	0%
Barbaro et al. [4]	1999	GSM, 2 W	13	23%
		Analog, 0,6 W		0%
Occhetta et al. [25]	1999	GSM, 2 W	30	0%
		Analog, 2 W		0%
Chiladakis et al. [7]	2001	Digital, 2 W	39	0%
		GSM, 8 W		0%

Mobiltelefon und ICD nachweisbar [4].

Ansonsten konnten in den übrigen Studien keinerlei Störbeeinflussungen der ICDs durch die getesteten Mobiltelefone nachgewiesen werden.

Eine Störung der Telemetrie zwischen Programmiergerät und Aggregat wurde jedoch mehrfach beobachtet [7, 25]. Hierbei kam es zu Artefakten während der Telemetrie intrakardialer Ekg's und zu inadäquaten Marker Annotationen. Diese wurden allerdings auf eine Störung der Programmiergeräten durch Mobiltelefone, und nicht auf eine der ICDs selbst zurückgeführt [7].

Daneben kam es bei einem Abstand von unter 5 mm zwischen Mobiltelefon und ICD zu einer Aktivierung des Magnetschalters [11].

Hieraus leitet sich die Forderung ab, bei ICD-Kontrollen keine Mobiltelefone in der Nähe zu haben. Dies versteht sich eigentlich von selbst.

Warum sind ICDs gegenüber Störungen durch Mobiltelefonen offensichtlich weniger empfindlich als Schrittmacher? Es wird vermutet, dass zum einen durch das größere Volumen und eine dadurch bedingte tiefere Implantation eine größere Abschirmung durch das körpereigene Gewebe zustande kommt. Daneben besteht die Möglichkeit, dass in dem größeren Konnektor die Anschlüsse der Defibrillatorelektroden besser abgeschirmt werden [20]. Schließlich wird zur Aktivierung der Schockabgabe eine Folge schneller Zyklen benötigt, so dass nur eine länger anhaltende Störung fälschlich als Tachykardie interpretiert werden kann. Demgegenüber kann ein antibradykarder Schrittmacher in jedem Zyklus inhibiert, bzw. getriggert werden. Irnich schlägt daher vor, bei der Testung von ICDs auf Störbeeinflussung hin die Stimulationsfrequenz über die Ei-

genfrequenz der Patienten zu programmieren, so dass auch kurze Inhibierungen der antibradykarden Stimulation problemlos erkannt werden können [20].

Externe Schrittmacher

Externe temporäre Schrittmacher werden lediglich im stationären Bereich zur Notfalltherapie oder nach herzchirurgischer Operation eingesetzt. Auch sie können durch elektromagnetische Beeinflussungen gestört werden, wie eine kürzlich publizierte Untersuchung von Trigano und Mitarbeitern [31] zeigte. Dabei wurden externe temporäre Herzschrittmacher in einer experimentellen Studie auf mögliche Störungen durch Mobiltelefone und Funkgeräte untersucht. Bei ihnen zeigte sich, dass acht von neun externen Schrittmacher sowohl durch D-Netz, als auch durch E-Netz-Telefone zu stören waren. Es kam zur Inhibition der Impulsabgabe mit daraus resultierender Asystolie und zu asynchroner Stimulation. Das gleiche galt für Funkgeräte. Die Störungen waren teilweise noch in einer Entfernung von 2 Metern nachweisbar! Tobisch und Irnich fanden bei ihrer Untersuchung an insgesamt 9 externen und 7 transthorakalen Schrittmachern, dass das empfindlichste Gerät (Cordis, Chronocor III) in einem Abstand von 90 cm zu stören war. Die nächsten beiden Geräte wurden bei 40 cm beeinflusst. Alle anderen waren realistisch nicht durch ein D-Handy zu stören. E-Geräte und DECT-Telefone störten praktisch nicht. Diese Ergebnisse unterstreichen die Forderung, die Nutzung von Mobiltelefonen im Krankenhaus durch Personal und Patienten verantwortungsbewusst zu handhaben. Auch bei der Verlegung von Patienten mit externen Schrittmachern ist zu beachten, dass es

nicht durch Mobiltelefone oder Funkgeräte des Rettungsdienstpersonals zu Störungen der Aggregate kommt. Auch bei Beschaffung externer Schrittmacher sollte man auf Störfestigkeit gegenüber Mobiltelefonen bestehen.

Technische Schutzmaßnahmen vor Störungen durch Mobiltelefone

Grundsätzlich ist es wünschenswert Schrittmacher und ICDs so zu konstruieren, dass Störmöglichkeiten von außen weitestgehend ausgeschlossen sind. Dies geschieht zum Teil durch die metallische Abschirmung des Schrittmachergehäuses. Daneben sind die üblichen Algorithmen aktiv, die bei Erkennung eines Störsignals in einen Störmodus umschalten. Hierbei findet meist eine unerwünschte asynchrone Stimulation statt.

In allen Herzschrittmachern werden interne Filter verwendet, die einen gewissen Schutz vor elektromagnetischen Störungen wie durch Mobiltelefone bieten. Bei ausreichend starken Signalen, wie die von Mobiltelefonen, die in das Gehäuse der Schrittmacher dringen, kann es zur Übersteuerung der Filter kommen, so dass diese dann nicht mehr wirksam sind. Die Signale können dann fälschlicherweise vom Schrittmacher wahrgenommen werden. Um dies zu verhindern, können die Leitungen, die die Verbindung zwischen den Elektrodensteckern im Schrittmacherkonnektor mit der Elektronik im Inneren der Aggregate herstellen, selbst geschützt werden. Dafür werden im Bereich der Durchführung durch das Schrittmachergehäuse keramische kapazitive Filter integriert. Dadurch kann ein durch die elektromagnetische Störung von Mobiltelefonen verursachtes Signal das internen Filter nicht

mehr erreichen und damit auch nicht überlasten [6, 29].

Der Wirksamkeit dieses Konzeptes konnte bereits durch die groß angelegte Studie von Hayes und Mitarbeitern mit 980 Schrittmacherpatienten belegt werden. Hier traten Störungen durch Mobiltelefone bei Schrittmachern ohne derartige Durchführungsfilter in 28,9% bis zu 55,8% auf. Demgegenüber waren Störungen bei Schrittmachern mit Durchführungsfiltern nur in 0,4% bis 0,8%, und damit signifikant seltener ($p=0,01$) nachweisbar [14].

Zusammenfassung und Empfehlungen

Mobiltelefone können durch Einkopplung elektromagnetischer Felder eine Störung von Schrittmachern und ICDs hervorrufen.

Dies ist durch zahlreichen In-vitro- und In-vivo-Untersuchungen belegt.

Die Art und das Ausmaß einer Störbeeinflussung sind von einer Vielzahl von Variablen abhängig, die durch Aggregatparameter, Patientencharakteristika, Telefoncharakteristika und Interaktionsvariablen beeinflusst werden. Störungen waren nur bei engem räumlichen Kontakt zwischen Mobiltelefon und Schrittmacher / ICD nachweisbar. In keinem Fall wurden gravierende Störungen oder bleibende Beschädigungen der Aggregate nachgewiesen. Das individuelle Risiko erscheint für die betroffenen Patienten daher sehr gering.

Hersteller sollten Implantateure und Patienten über die Störmöglichkeiten ihrer Implantate informieren. Zukünftige Aggregate sollten einen zuverlässigen Schutz gegenüber Störungen von Mobiltelefonen bieten.

Bei Einhaltung der folgenden einfachen Vorsichtsmaßnahmen kann eine Störung der Herzschrittmacher und ICDs praktisch nicht vorkommen:

- Ein enger Kontakt von weniger als 20 cm zwischen Mobiltelefon und Herzschrittmacher bzw. ICD muss vermieden werden.
- Das eingeschaltete Telefon sollte nicht in unmittelbarer Nähe zu dem Herzschrittmacher oder ICD, wie z. B. in einer Jacken- oder Hemdtasche, getragen werden.
- Es sollte möglichst mit dem Ohr telefoniert werden, dass dem pectoral implantierten Schrittmacher/ICD abgewandt ist.
- Patienten mit Schrittmacher/ICDs sollten Mobiltelefone mit höheren Übertragungsfrequenzen (E-Netz) benutzen, da hierfür keine Störungen nachgewiesen wurden.

Literatur

1. Altamura G, Toscano S, Gentilucci G et al (1997) Influence of digital and analogue telephones on implanted pacemakers. *Eur Heart J* 18:1632-1641
2. Barbaro V, Bartolini P, Donato A et al (1995) Do European GSM Mobile Cellular Phones Pose a Potential Risk to Pacemaker Patients? *PACE* 18:1218-1224
3. Barbaro V, Bartolini P, Donato A, Militello C (1996) Electromagnetic Interference of Analog Cellular Telephones with Pacemakers. *PACE* 19:1410-1418
4. 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. *PACE* 22 [Pt. I]:626-634
5. Bassen H, Moore HJ, Ruggera PS (1998) Cellular Phone Interference Testing of Implantable Cardiac Defibrillators In vitro. *PACE* 21:1709-1715
6. Carrillo RG, Schor JS, Lacayo G et al (1997) Simple Feed-Thru Filters Completely Protect Pacemakers from Cellular Phone Interference (Abstract). *PACE* 20:1064
7. Chiladakis JA, Davlouros P, Agelopoulos G, Manolis AS (2001) In-vivo testing of digital cellular phones with implantable cardioverter-defibrillators. *Eur Heart J* 22:1337-1342
8. Eicher B, Ryser H, Knafl K et al (1994) Effects of TDMA-modulated hand-held telephones on pacemakers. *Bioelectromagnetic Society, Sixteenth Annual Meeting, Copenhagen, Denmark, June 12-17, Abstract Book:I-1-10*
9. Elshershari H, Celiker A, Özer S, Özme S (2002) Influence of D-Net (European GSM-Standard) Cellular Telephones on Implanted Pacemakers in Children. *PACE* 25:1328-1330
10. European Telecommunications Standards Institute (1991) Potential GSM hazards on cardiac pacemakers. *ETSI Technical Report 61/91:1-6*
11. Fetter JG, Ivans V, Benditt DG, Collins J (1998) Digital Cellular Telephone Interaction With Implantable Cardioverter-Defibrillators. *J Am Coll Cardiol* 31:623-628
12. Hayes D (1996) Wireless Phones and Pacemaker Interaction. *PACE* 19:1405-1406
13. Hayes D, Carrillo RG, Findlay GK, Embrey M (1996) State of the Science: Pacemaker and Defibrillator Interference from Wireless Communication Devices. *PACE* 19:1419-1430
14. Hayes DL, Wang PJ, Reynolds DW (1997) Interference with cardiac pacemakers by cellular phones. *N Eng J Med* 336:1473-1479
15. Hofgärtner F, Müller Th, Sigel H (1996) Können Mobil-Telefone im C- und D-Netz Herzschrittmacher-Patienten gefährden? *Dtsch med Wschr* 121:646-652
16. Irnich W, Batz L, Müller R, Tobisch R (1995) Störbeeinflussung von Herzschrittmachern durch Mobilfunkgeräte. *Herzschrittmacher* 15:5-20/45-49
17. Irnich W (1995) Die empfindlichen Schrittmacher bei Mobilfunk. *Herzschrittmacher* 15:311
18. Irnich W (1996) Mobile Phones and Pacemakers. *PACE* 19:1407-1409
19. Irnich W, Batz L, Müller R, Tobisch R (1996) Electromagnetic Interference of Pacemakers by Mobile Phones. *PACE* 19:1431-1446
20. Irnich W (1999) Implantable Defibrillators and Electromagnetic Interference. *PACE* 22:981-982

21. Joyner KH, Anderson V, Wood MP (1994) Interference and energy deposition rates from digital mobile phones. Bioelectromagnetic Society, Sixteenth Annual Meeting, Copenhagen, Denmark, June 12-17, Abstract Book:I-1-11
22. Moberg BL, Strandberg HG (1995) Effects of interference on pacemakers. Eur JCPE 5:146-157
23. Naegeli B, Osswald S, Deola M, Burkart F (1996) Intermittent Pacemaker Dysfunction Caused by Digital Mobile Phones. J Am Coll Cardiol 27: 1471-1477
24. Nowak B, Rosocha S, Zellerhoff C et al (1996) Is there a risk for Interaction Between Mobile Phones and Single Lead VDD Pacemakers? PACE 19: 1447-1450
25. Occhetta E, Plebani L, Bortnik M et al (1999) Implantable Cardioverter Defibrillators and Cellular Phones: Is There Any Interference? PACE 22:983-989
26. Pinski SL, Trohman RG (2002) Interference in Implanted Cardiac Devices. PACE 25:1367-1381
27. Schibgilla V, Kuly S, Diem B et al (1997) Beeinflussen D-Netz Mobiltelefone pektoral implantierte Defibrillatoren? Herzschr Elektrophys 8:124-128
28. Sparks PB, Mond HG, Joyner KH, Wood MP (1996) The Safety of Digital Mobile Cellular Telephones with Minute Ventilation Rate Adaptive Pacemakers. PACE 19:1451-1455
29. Stevenson RA (1997) Design and application of broadband ceramic feed-through capacitor EMI filters to cardiac pacemakers and implantable defibrillators. 19th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Chicago, Illinois, USA. 30 Oct-2 Nov
30. Tobisch R, Irnich W (1999) Mobilfunk im Krankenhaus. Verlag Schiele & Schön, Berlin
31. Trigano AJ, Azoulay A, Rochdi M, Campillo A (1999) Electromagnetic Interference of External Pacemakers by Walkie-Talkies and Digital Cellular Phones: Experimental Study. PACE 22:[Pt.I]:588-593