

Herzschrittmacher (PM), Implantierbarer Ereignisrekorder (ILR), Implantierbare Defibrillatoren (ICD) und “Plötzlicher Tod”

©2000/01 Mirko Junge*
<http://www.DrJunge.de>
<mailto:mj@DrJunge.de>

Jörn Weckmüller†
<mailto:weckmuel@web.de>

Inhaltsverzeichnis

1 Glossar	
1.1 Schrittmacher (PM)	1
1.2 Implantierbarer Ereignisrekorder (ILR)	1
1.3 Implantierbare Kardioverter-Defibrillatoren (ICD)	1
2 Herzschrittmacher (PM), Implantierbarer Ereignisrekorder (ILR), Implantierbare Defibrillatoren (ICD) und ‘Plötzlicher Tod’	2
2.1 Elektrische Beeinflussung	2
2.2 Elektrische Sicherheit	2
2.3 Kontrolle der Funktion	3
2.4 Klinische Diagnose der Implantation	3
2.5 Elektrische Diagnose der Funktion	3

Schlüsselwörter

Herzschrittmacher, Implantierbarer Kardioverter-Defibrillator (ICD), Plötzlicher Tod, Todesursache, Explantation, Obduktion

Keywords

Pace maker, Implantable Cardioverter Defibrillator (ICD), Sudden Death, Cause of death, Explantation, Post mortem examination

*Institut für Rechtsmedizin, University of Hamburg, Butenfeld 34, 22529 Hamburg, Germany

†Zentrum für Biomedizinische Methoden, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr., 44780 Bochum, Germany

1 Glossar

1.1 Schrittmacher (PM¹)

Mit Hilfe eines Herzschrittmachers wird versucht, die nicht adäquate körpereigene Erregungsbildung und -leitung durch elektrische Stimulation zu korrigieren. Indikationen für die Implantation eines Herzschrittmachers sind: erworbener AV-Block, LV-Dysfunktion, bifasziculärer oder trifasziculärer Block, Sinusknotendysfunktion, Hypersensibler Carotissinusknotten und neurovasculäre Syndrome. [2]

1.2 Implantierbarer Ereignisrekorder (ILR²)

Ein Implantierbarer Ereignisrekorder (ILR) ist ein implantierbares Überwachungssystem das automatisch oder patientenaktiviert ein subcutanes EKG ableitet und aufzeichnet.

Indikationen für einen ILR sind temporär auftretende Symptome mit dem Verdacht einer cardialen Genese (z.B. transiente Arrhythmien).

1.3 Implantierbare Kardioverter-Defibrillatoren (ICD³)

Implantierbare Cardioverter-Defibrillatoren (ICD) leiten mittels ihrer Elektrode bzw. Elektroden kontinuierlich ein intracardiales EKG ab und werten dieses aus. Bei Detektion einer ventrikulären Arrhythmie findet ohne äußeren Einfluß der Versuch einer Überstimulation bzw. eine elektrische Cardioversion statt.

Alle modernen ICD sind eine Kombination von Schrittmacher (PM) und Defibrillator.

Indikationen für die Implantation eines ICD sind lebensbedrohliche, ventrikuläre Tachykardien. [2, 10]

¹engl. Pace Maker

²engl. Implantable Loop Recorder

³engl. Implantable Cardioverter Defibrillator

2 Herzschrittmacher (PM), Implantierbarer Ereignisrekorder (ILR), Implantierbare Defibrillatoren (ICD) und ‘Plötzlicher Tod’

Bei jedem implantiertem Fremdkörper muß die Frage einer möglichen Kausalität mit dem Tod eines Patienten gestellt werden. Dies gilt insbesondere für Geräte wie Herzschrittmacher (PM) und implantierbare Defibrillatoren (ICD), die auch bei normaler Funktion direkt auf die Funktion des Herzens wirken und in natürliche, wenn auch krankhafte Prozesse eingreifen [5].

Inadäquate Therapien durch PM und ICD können durch Fehldetektionen hervorgerufen werden. Hierbei sind sowohl die Nicht-Detektion als auch die Falsch-Detektion—Signalisierung eines vermeintlich cardiovertierungsbedürftigen Zustandes bei dessen Nichtvorliegen z.B. bei supraventrikulären Tachycardien—in Betracht zu ziehen. Ursächlich hierfür können die altersbedingten Ausfälle (“late failures”), Elektrodendislokationen [6], Elektrodenbrüche [15], Überleitungsprobleme der Verbindung von Elektrode und Generator sowie Fehlerhaftigkeit des Generators sein. Eine Totalentladung der Batterie sollte durch die regelmäßigen Kontrolluntersuchungen niemals auftreten können, muß aufgrund der mangelnden Compliance von ICD-Patienten (2-3 von 400) besonders nach Jahren der Therapie jedoch in Betracht gezogen werden. Die Inzidenz von inadäquaten Entladungen eines implantierten ICD liegt zwischen 10 und 40% [4, 9, 16]. Hierbei handelt es sich in den meisten Fällen um Vorhofflimmern. Besondere Schwierigkeiten bestehen bei der Begutachtung der Fehlerhaftigkeit des eigentlichen ICD. Hierbei handelt es sich vereinfacht gesprochen um einen “Spezialcomputer”, der die durch die Elektroden aufgenommenen Signale unter Anwendung eines Algorithmus auswertet und entsprechend die Cardioversion initiiert. Genaue Angaben über den Algorithmus und seine Implementation geben die Hersteller unter Berufung auf Betriebsgeheimnisse nicht.

2.1 Elektrische Beeinflussung

Wie alle elektrischen Geräte strahlen PM, ILR und ICD elektromagnetische Wellen aus und werden von elektromagnetischen Feldern beeinflusst. So haben nicht nur Metalldetektor-Schleusen wie sie in Flughäfen als Bombendetektoren eingesetzt werden, sondern auch fast alle Kaufhaus-Türen als integralen Bestandteil des Diebstahlsicherungssystems Detektoren, die einen Einfluß auf PM, ILR und ICD ausüben können. Sehr gut dokumentierte Veränderungen von Schrittmachern beim Betreten von solchen Schleusen finden sich bei McIvor et. al. [12]. Es sind jedoch nicht nur solche ‘offensichtlichen’ Quellen von elektromagnetischen Feldern eine Gefahr für Schrittmachertäger. In der Literatur finden sich Beispiele für Fehlfunktionen von PM und ICD durch Kernspintomographie [1], Radiowellentherapie [1], Schockwellenlithotripsie [1], Mobiltelefone [8], Epiliergeräte [7], Überbrückungskabel beim Geben von Starthilfe [7], Münzspielgeräte, besonders “Ein-

armige Banditen” [11], elektronische Selbstverteidigungswaffen (Elektroschocker) [13], ferngesteuerte Spielzeuge [14].

Der einzige, wenn auch völlig unzureichende Rat für Träger implantierbarer Geräte ist die Empfehlung der Food and Drug Administration der USA (FDA): “Don’t linger, don’t lean” (“Nicht aufhalten und nicht gegenlehnen”), also nicht im Bereich starker elektromagnetischer Felder aufhalten [3].

Aufgrund der Vielzahl an Generatoren elektromagnetischer Felder, die einen Einfluß auf implantierte PM, ILR und ICD in Leichen haben, sollten die eingebauten Schrittmacher in Fällen, wo die Funktion bzw. die Fehlfunktion einen Einfluß auf das Ableben gehabt haben könnte, vor Ort ausgelesen werden. Nur so kann verhindert werden, daß wichtige gespeicherte Informationen überschieben werden, da die Empfindlichkeit der Elektroden nach dem Tod hochgeregelt wird, um so vielleicht doch noch eine auswertbare Herzaktion zu detektieren. Ein Transport in einem Metallsarg reduziert die elektromagnetische Strahlung, die an den ICD gelangt, entsprechend eines Faradayschen Käfigs, jedoch kann der Anteil der Strahlung der senkrecht zur Metalloberfläche steht, ungehindert durch diese hindurchtreten, so daß ein sicherer Schutz nicht gegeben ist.

2.2 Elektrische Sicherheit

Aufgrund der großen Energiemenge die ein aktivierter ICD abgeben kann, ist er für jeden der damit umgeht u.U. eine tödliche Gefahrenquelle. Aus diesem Grund muß bei jedem Todesfall, der in Zusammenhang mit einem toten ICD-Träger steht an einen Elektrounfall gedacht werden.

Die neueren ICD schreiben kontinuierliche Langzeit-EKG, die bei erfolgter Cardioversion gespeichert werden und so eine Post-Schock-Diagnostik ermöglichen. Dieses EKG wird unter Benutzung der im ICD eingebauten Uhr mit einem Zeitstempel versehen.⁴

Vor der Festlegung einer Todesursache eines PM, ILR oder ICD Trägers sollte also zuerst der Hersteller des Gerätes z.B. mittels des Schrittmacherpasses, Röntgenbild des Schrittmachers oder der Krankenakte bestimmt werden und dann nach Sicherung aller im Gerät befindlichen Daten mit dem entsprechenden Programmierer eine Deaktivierung durchgeführt werden [17].

2.3 Kontrolle der Funktion

Die Kontrolle der Funktion eines PM, IFR oder ICD zur Bestimmung der Todesursächlichkeit ist keine trivia-

⁴Vor einer Deaktivierung wird vom Programmiergerät diese im Defibrillator integrierte Uhr mit der des Programmiergerätes abgeglichen, d.h. die interne Uhr wird auf die Uhrzeit des Programmiergerätes gestellt—keine der Uhrzeiten muß der realen Uhrzeit entsprechen. Ein ähnlicher Angleich wird beim Auslesen des Langzeit-EKGs durchgeführt, wenn dies nicht explizit unterbunden wird. Nur zum Zeitpunkt des Abgleichs wird das korrigierte Zeitintervall angegeben, danach ist es verloren. Diese Zeitdifferenz ist z.B. für Unfallrekonstruktionen von größter Wichtigkeit, da sich nur mit ihrer Hilfe der genaue Zeitpunkt der Cardioversion bestimmen und somit die Kausalität im Geschehensablauf klären läßt: Löste der ICD den Unfall aus oder führte der Unfall zu einem cardioversionspflichtigen Zustand?

le Aufgabe und ohne genaue Kenntnis des internen Aufbaus nicht durchzuführen. Mit Hilfe der jeweiligen Programmiergeräte lassen sich zwar Langzeit-EKG und einige Funktionsparameter aus den Geräten laden, eine Funktionsdiagnostik läßt sich mit den Geräten jedoch nicht durchführen. Schrittmacher können mittels eines Oszilloskops getestet werden [10], für ICD ist dieses Vorgehen jedoch lebensgefährlich.

Die jeweiligen Hersteller bieten für die von ihnen hergestellten Geräte eine kostenlose Überprüfung von explantierten Geräten sowie eine fachgerechte Entsorgung an.

2.4 Klinische Diagnose der Implantation

In den letzten Jahren hat sich für die Erstimplantation der verschiedenen Geräte Standardpositionen durchgesetzt: Ein Schrittmacher (PM) wird rechts subclaviculär, ein ICD links subpectoral implantiert.

Schrittmacher (PM) kann man durch die Haut tasten, bei älteren ICDs kann das ICD-Gehäuse unterhalb des M. pectoralis ertastet werden, die neueren Geräte sind derart miniaturisiert, daß der Laie sie nicht sicher detektieren kann. Aufgrund der inherenten Gefährdung des medizinischen Personals durch implantierte ICD bei einer notfallmäßigen oder postmortalen Versorgung muß jeder PM/ICD Patient stets einen Schrittmacherausweis mit entsprechenden Hinweisen auf die Gefahr bei sich tragen. Den hier eingetragenen Hinweisen auf die Gefährdung Dritter ist unbedingt Folge zu leisten.

2.5 Elektrische Diagnose der Funktion

Für die Programmierung und Kontrolle der Funktionen sind die PM, IFR und ICD mit einer Telemetrie ausgestattet. Über ein sich hochfrequent änderndes elektromagnetisches Feld können dem ICD von außen Befehle gesendet werden, dieser antwortet hierauf durch eine Modulation/Dämpfung des externen Feldes. Somit ist für eine Funktionsüberprüfung kein operativer Eingriff nötig.

Problematisch ist die Vielzahl der benötigten telemetrischen Abfragegeräte, da es derzeit noch kein universelles Abfragegerät im Handel gibt. Selbst innerhalb der Produktlinien einzelner Hersteller werden z.T. unterschiedliche Geräte benötigt. Aufgrund der internen Struktur aller PM und ICD ist es für die Geräte nicht möglich ein Ableben des Patienten sicher gegenüber einem Elektrodenbruch abzugrenzen, da beim Ausbleiben entsprechender Eingangssignale die Eingangsempfindlichkeit stark erhöht wird. Hierdurch erhöht sich die Störempfindlichkeit der Elektronik erheblich, jedoch werden so kurzstreckige Elektrodenbrüche nahezu kompensiert. Dieses Verhalten führt auch dazu, daß das ständig mitgeschriebene Langzeit-EKG auch nach dem Tode überschrieben wird. Deshalb sollte unverzüglich ein Auslesen des implantierten Gerätes und die Sicherung seiner Daten in einer cardiologischen Ambulanz erfolgen, denn auch postmortal besteht die Möglichkeit einer Abfrage.

Selbstverständlich werden im PM, ILR und ICD auch weitere Informationen bezüglich Funktion, Instandhaltung und Beanspruchung gespeichert, die in der Regel auch noch nach mehr als 24h relevante Einträge bereithalten.

Stored EGM Directory				Ventritex, Inc.			
Patient:		Model: V-190 HV3		Serial #:			
Print Report Date/Time: 21-Jan-2000 / 17:11							
EGM #	Date / Time	Reason for Storage	New	Episodic Diagnostic	Retrieved in Session	Selected for Printing	
1	16-Jan-2000 02:54 (F)	Magnet Reversion	No	No	Yes	Yes	
2	14-Jan-2000 06:45 (F)	Sinus after Tech (A) diagnosis	No	No	Yes	Yes	
3	14-Jan-2000 06:07 (F)	Sinus after Tech (A) diagnosis	No	No	Yes	Yes	
4	13-Jan-2000 16:28 (F)	Sinus after Fib diagnosis	No	No	Yes	Yes	
5	13-Jan-2000 09:19 (F)	Sinus after Fib diagnosis	No	No	Yes	Yes	
6	13-Jan-2000 06:10 (F)	Sinus after Tech (A) diagnosis	No	No	Yes	Yes	
7	03-Dec-1999 18:26 (F)	Sinus after Tech (A) diagnosis	No	No	Yes	No	
8	26-Nov-1999 15:19 (F)	Sinus after Tech (A) diagnosis	No	No	Yes	No	
9	04-Nov-1999 18:15 (F)	Sinus after Tech (A) diagnosis	No	No	Yes	No	
10	09-Jul-1999 18:13 (F)	Sinus after Tech (A) diagnosis	No	No	Yes	No	

Abbildung 1: Langzeit-EKG Ordner des explantierten ICD, der vor dem Tod des Patienten durch ein Magnetfeld deaktiviert wurde. Wie die zahlreichen Aktivitäten des ICD vor der Deaktivierung zeigen ist ein Tod durch Ventrikuläre Tachycardie 10 Stunden nach Magnetreversion die wahrscheinlichste Todesursache.

Literatur

- [1] Barach P, Baum E (1999) Implantable Defibrillators, Pacemakers, and Electronic Antitheft Devices. *N Engl J Med* 340:1117–9
- [2] Braunwald E, Fauci A, Hauser S, Jameson J, Kasper D, Longo D (2001) *Harrison's Principles of Internal Medicine*. McGraw-Hill, New York 2001, 15th edition <http://www.harrisonsonline.com/>
- [3] Burlington DB (1998) Important Information on Anti-Theft and Metal Detector Systems and Pacemakers, ICDs, and Spinal Cord Stimulators. Food and Drug Administration, Rockville, Md.: Center for Devices and Radiological Health, Sept. 28, 1998 <http://www.fda.gov/cdrh/safety/easnote.html>
- [4] Fogoros RN, Elson JJ, Bonnet CA (1989) Actuarial incidence and pattern of occurrence of shock following implantation of the automatic implantable cardioverter defibrillator. *Pacing clinical Electrophysiology* 12:1465-73
- [5] Haga K, Terazawa K, Ishimori N, Inoue K (1995) An autopsy case of a pacemaker implanted patient. *Jpn J Legal Med*, 49:304-8
- [6] Haga K, Terazawa K (1996) The necessity of autopsy in the death case of pacemaker-implanted patients. *Jpn Med J*, No.3741, 131-3
- [7] Harthorne JW (1999) Implantable Defibrillators, Pacemakers, and Electronic Antitheft Devices. *N Engl J Med* 340:1117–9
- [8] Hayes DL, Wang PJ, Reynolds DW, Estes M, Griffith JL, Steffens RA, Carlo GL, Findlay GK, Johnson CM (1997) Interference with Cardiac Pacemakers by Cellular Telephones. *N Engl J Med* 336:1473–9
- [9] Hook, B.G.; Callans, D.J.; Kleiman, R.B.; Flores, B.T.; Marchlinski, F.E. (1993) Implantable cardioverter-defibrillator therapy in the absence of significant symptoms. *Circulation* 87:1897-906
- [10] Lampadius MS (1998) *Herzschrittmacher Typenkartei*. Herzschrittmacher-Institut, Kochel am See
- [11] Madrid A, Sanchez A, Bosch E, Fernandez E, Moro Serrano C (1991) Dysfunction of Implantable Defibrillators Caused by Slot Machines. *Pacing Clinical Electrophysiology* 14:982–4
- [12] McIvor ME, Sridhar S (1998) Interaction between Cardiac Pacemakers and Antishoplifting Security Systems. *N Engl J Med* 339:1394-5
- [13] Moraes JC (1995) Effects of Electronic Autodefense Devices on Cardiac Pacemakers. *Artificial Organs* 19:238–40
- [14] Santucci PA, Haw J, Trohman RG, Pinski SL (1999) Interference with an Implantable Defibrillator by an Electronic Anti-Theft-Surveillance Device. *N Engl J Med* 339:1371-4
- [15] Saternus KS (1992) Unerwarteter Tod aus endogener Ursache. In: Berg S. (Hrsg.) *Unerwartete Todesfälle in Klinik und Praxis*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. Seiten 11-23
- [16] Trappe HJ, Pfitzner P, Klein H, Wenzlaff P (1992) Complications associated with the automatic implantable cardioverter defibrillator. In: Alt E, Klein H, Griffin JC (Hrsg.) *The Implantable Cardioverter Defibrillator*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Seiten 253-71
- [17] Walley VM, Bourke ME, Green M, Stinson WA, Veinot JP (1998) Implantable Cardioverter-Defibrillators and the Pathologist: Comment and Cautionary Note. *J of Forensic Sciences* 5:969–73