Niedrige Stimulationsimpedanz bei Herzschrittmacher-Patienten mit kardialen Erkrankungen

A. Schuchert, H. van Langen, K. Michels und T. Meinertz für die Thera-Schrittmacher-Studiengruppe*

Medizinische Klinik, Abteilung für Kardiologie (Direktor: Prof. Dr. T. Meinertz), Universitäts-Krankenhaus Eppendorf Hamburg, und Bakken Research Center, Maastricht, Niederlande

Grundproblematik und Fragestellung: Da mit ansteigender Impedanz des Stimulationsimpulses der Stimulationsstrom abnimmt, reduzieren hohe Impedanzwerte den Stimulationsstrom und verlängern dadurch die Laufzeit eines Herzschrittmachers. Bisher werden meist 500 Ohm als Standardwert der Impedanz angesehen, wobei jedoch interindividuelle Unterschiede unberücksichtigt bleiben. In der vorliegenden Arbeit wurde intraoperativ die interindividuelle Spannweite der Stimulationsimpedanz bestimmt. Es wurde zusätzlich untersucht, ob sich Patienten mit niedrigen Impedanzwerten von denjenigen mit hohen Werten im Hinblick auf verschiedene klinische Parameter unterscheiden.

Patienten und Methodik: 126 Patienten (79 Männer, 47 Frauen, mittleres Alter 65 ± 16 Jahre) erhielten das gleiche Elektrodenmodell und den gleichen Schrittmachertyp (CapSure VDD; Thera VDD; Medtronic). Patienten mit Impedanzwerten kleiner oder gleich dem Median wurden mit Patienten mit Impedanzwerten über dem Median bezüglich ihrer klinischen Parameter (Alter, Geschlecht, arterieller Hypertonus, manifeste kardiale Erkrankungen wie koronare Herzerkrankung, Herzinsuffizienz, Herzklappenfehler und Kardiomyopathie) sowie ihrer elektrischen Meßwerte (Reizschwelle bei 0,5 ms Impulsdauer, R-Wellenamplitude) verglichen.

Ergebnisse: Die mittlere Impedanz betrug 687 ± 121 Ohm mit einer Spannweite von 333 bis 1040 Ohm und einem Median von 670 Ohm. Bei 64 Patienten fanden sich Impedanzwerte ≤ 670 Ohm, bei 62 Patienten darüber. Mittleres Alter, Geschlechtsverteilung sowie die Häufigkeit eines arteriellen Hypertonus waren in beiden Gruppen gleich. Ein signifikanter Unterschied ergab sich jedoch für das Vorliegen manifester kardialer Erkrankungen: Sie waren bei Patienten mit Impedanzwerten ≤ 670 Ohm ($n = 23$) signifikant häufiger ($P < 0,01$) als bei Patienten mit Werten > 670 Ohm ($n = 9$). Die intraoperativen Reizschwellen und R-Wellenamplituden beider Gruppen waren nicht verschieden.

Folgerungen: Die Spannweite der Stimulationsimpedanz betrug für die untersuchte Sonde 707 Ohm. Bei permanenter Stimulation mit 2,5 V Impulsamplitude und 0,5 msec Impulsdauer würde allein dadurch die zu erwartende Laufzeit des implantierten Schrittmachers zwischen 7,8 und 9,3 Jahren variieren. Patienten mit niedrigen Impedanzwerten wiesen häufiger manifeste kardiale Erkrankungen auf als Patienten mit hohen Impedanzwerten.

Low pacing impedance in pacemaker patients with cardiac diseases

Background and aim of the study: As increasing impedance of the pacing impulse decreases pacing current, high pacing impedance lowers pacing current and subsequently prolongs pacemaker longevity. The present assumption of a standard 500 ohms impedance disregards interindividual differences. In the present study, the interindividual range of pacing impedance was assessed at implantation. Additionally clinical parameters of patients with low pacing impedance were compared to those of patients with high values.

Patients and methods: The same lead and the same pacemaker (CapSure VDD; Thera VDD; Medtronic) were implanted in 126 patients (79 men, 47 women, mean age 65 ± 16 years). Patients with an impedance below or similar to the median were compared to patients with an impedance above the median in respect to clinical (age, gender, arterial hypertension, cardiac diseases such as coronary heart disease, valvular heart disease, cardiomyopathy) and electrical parameters (pacing threshold at 0.5 ms pulse duration, R-wave amplitude).

Results: Mean impedance was 687 ± 121 ohms with a range from 333 to 1040 ohms and a median of 670 ohms. 64 patients had an impedance ≤ 670 ohms and 62 patients > 670 ohms. Mean age, gender and the occurrence of arterial hypertension were similar in the two groups. Cardiac diseases occurred significantly ($P < 0,01$) more often in patients with lower ($n = 23$) than with higher impedance ($n = 9$). Intraoperative pacing thresholds and R-wave amplitudes were not different between the two groups.

Conclusions: The range of pacing impedance was 707 ohms for the studied lead. Under consideration of permanent pacing with 2.5 V pulse amplitude and 0.5 ms pulse duration this would vary expected longevity of the implanted pacemaker from 7.8 to 9.3 years. Patients with lower impedance more often had cardiac diseases than patients with higher impedance.

Wünschenswert sind Schrittmacherelektroden, die mit minimalem Stimulationsstrom das Myokard depolarisieren (9, 14). Der Stimulationsstrom wird zum einen durch den Stimulationsimpuls und zum anderen durch die Stimulationsimpedanz beeinflusst (14), die bei heutigen Elektroden hauptsächlich vom Widerstand am Elektroden-Myokard-Übergang bestimmt wird (11). Der Stimulationsimpuls kann nach Implantation moderner, insbesondere Steroid-freisetzender Elektroden bei fast allen Patienten auf 2,5 V Impulsamplitude und 0,3–0,5 ms Impulsdauer reduziert werden (10, 12). Bei gleichen Stimulationsimpulsen läßt sich durch eine höhere Impedanz zusätzlich Stimulationsstrom einsparen, weil sich Impedanz und Stimulationsstrom invers verhalten (9). Da außerdem Impedanz und Reizschwelle nicht miteinander korrelieren (13), ist eine effiziente Stimulation mit hohen Impedanzen bei gleichzeitig niedrigen Stimulationsimpulsen möglich.

Derzeit sind 500 Ohm der Standardwert der Impedanz, wie er zum Beispiel für Berechnungen von Schrittmacherlaufzeiten verwendet wird. Bei Festlegen dieses Wertes sind weder die Impedanzunterschiede verschiedener Elektrodenmodelle (4, 8, 17) noch die interindividuellen Impedanzunterschiede bei Implantation des gleichen Elektrodentyps berücksichtigt worden.

Aufgrund des inversen Zusammenhangs von Impedanz und Stimulationsstrom sind Schrittmacherelektroden mit hohen Impedanzen entwickelt worden (3, 5, 15). Dagegen fand der Einfluß interindividueller Unterschiede auf die Stimulationsimpedanz wenig Beachtung. Insbesondere sind die interindividuelle Variation der Impedanz und deren Ursachen weitgehend unbekannt.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, am Beispiel einer VDD-Schrittmacherelektrode die interindividuelle Variation der Impedanz zu erfassen und zu prüfen, ob sich Patienten mit niedrigen Impedanzwerten von denjenigen mit hohen Werten bezüglich verschiedener klinischer Parameter unterscheiden.

Patienten und Methodik

Patienten

In die Untersuchung wurden 126 Patienten (79 Männer, 47 Frauen, 25–94 Jahre, durchschnittliches Alter 65 ± 16 Jahre) aufgenommen, die wegen AV Block zweiten oder dritten Grades ($n=122$) sowie wegen Rechts- bzw. Linksschenkelblock ($n=4$) bei intakter Sinusknotenfunktion erstmals einen VDD-Schrittmacher erhielten. Die Implantationen erfolgten zwischen November 1993 und Dezember 1994 in verschiedenen kardiologischen Zentren im Rahmen der klinischen Erprobung der Thera Schrittmacher. Alle Patienten erhielten das gleiche Elektrodenmodell und den gleichen Schrittmachertyp (Thera VDD, Medtronic Inc., Minneapolis MN, USA).

Methodik

Bei Implantation wurden Ventrikelreizschwelle, Stimulationsimpedanz und R-Wellenamplitude bestimmt. Die Reizschwelle wurde bei 0,5 ms Impulsdauer in 0,1-V-Schritten ermittelt. Impedanz- und R-Wellenamplitudenmessung erfolgten mit dem Meßanalysegerät PSA 5311-B (Medtronic Inc.). Zusätzlich zu diesen elektrischen Daten wurde für jeden Patienten dokumentiert, ob bei ihm ein Hypertonus vorlag und ob er manifest

an einer der folgenden kardialen Erkrankungen litt: koronare Herzerkrankung mit bzw. ohne Zustand nach Myokardinfarkt, Herzinsuffizienz, Herzklappenfehler, sowie Kardiomyopathie. Ferner wurde erfaßt, wie viele Patienten bei Implantation keinen Eigenrhythmus hatten.

Elektrode

Der Elektrodenkopf der VDD-Elektrode (CapSure VDD 5032; Medtronic Inc.) ist hemisphärisch mit einer porös gestalteten, $5,8 \text{ mm}^2$ großen Oberfläche gebaut. Das Material des Elektrodenkopfes besteht aus Schwarzplatin-beschichtetem Platin. Der Elektrodenkopf selbst enthält ein Reservoir mit $\sim 1 \text{ mg}$ Dexamethason, welches nach Implantation in das umliegende Gewebe diffundiert. Zur passiven Fixation befinden sich am Elektrodenkopf vier seitlich angebrachte Silikonankerfortsätze. Um die atrialen Signale zu detektieren, sind zwei weitere Elektroden mit einer Distanz von 28 mm zueinander angebracht. Sie haben zur Elektroden spitze einen Abstand von 13,5 cm. Der Widerstand des Elektrodenkabels beträgt etwa 35 Ohm.

Statistik

Es wurden Mittelwert mit Standardabweichung sowie Spannweite und Median der Stimulationsimpedanz berechnet. Patienten mit Impedanzwerten unter dem Median wurden mit Patienten verglichen, deren Impedanzwerte über dem Median lagen. Für diese Vergleiche wurden der Student-t-Test für ungepaarte Stichproben sowie der exakte Test nach Fisher angewandt. *P*-Werte kleiner als 0,05 galten als statistisch signifikant. Zeigte sich bezüglich eines bestimmten Parameters ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen, wurde der Parameter aufgeschlüsselt nach den einzelnen Impedanz-Quartilen dargestellt.

Ergebnisse

Die Impedanz betrug im Mittel 687 ± 121 Ohm mit einer Spannweite von 333 bis 1040 Ohm und einem Median von 670 Ohm. Patienten mit Impedanzwerten < 670 Ohm wurden mit Patienten mit Werten ≥ 670 Ohm verglichen.

Die klinischen und elektrischen Daten beider Patientengruppen sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen fand sich für das Vorliegen kardialer Erkrankungen: Patienten mit niedrigen Impedanzwerten hatten gegenüber Patienten mit höheren Werten häufiger manifeste kardiale Erkrankungen (23 versus 9 Patienten). Dieser Befund bestätigte sich auch nach Aufschlüsselung in Quartile, die einen Anstieg kardialer Erkrankungen mit Abnahme der Impedanz zeigten (Abb. 1). Wegen teilweise zu kleiner Fallzahlen wurde dies statistisch nicht ausgewertet. Die Häufigkeit der kardialen Erkrankungen, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Impedanz-Quartilen, ist in Tab. 2 zusammengestellt. Die anderen klinischen und elektrischen Parameter waren in beiden Gruppen gleich verteilt.

	Impedanz	
	≤ 670 Ohm (n = 64)	> 670 Ohm (n = 62)
Klinische Daten		
Alter (Jahre)	65 ± 17	69 ± 12
Geschlecht (Männer / Frauen)	45 / 19	34 / 28
arterieller Hypertonus (n)	14	11
kardiale Erkrankungen (n)	23	9*
Elektrische Daten		
Reizschwelle (V)	0,36 ± 0,14	0,40 ± 0,18
R-Wellenamplitude (mV)	13,7 ± 6,0	14,2 ± 5,6
kein Eigenrhythmus (n)	9	7

* $P < 0,01$ **Tab. 1** Klinische und elektrische Daten von Patienten mit Impedanzwerten kleiner und gleich bzw. größer als der Median (670 Ohm)

	Quartil			
	0–25%	26–50%	51–75%	76–100%
	Impedanz (Ohm)			
	333–619	620–670	671–770	771–1040
Koronare Herzerkrankung (n)	8	6	4	1
Zustand nach Myokardinfarkt (n)	6	4	1	1
Herzinsuffizienz (n)	3	3	2	1
Herzklappenfehler (n)	4	3	1	0
Kardiomyopathie (n)	1	0	2	2

Tab. 2 Verteilung der kardialen Erkrankungen in den einzelnen Impedanz-Quartilen. Mehrfachnennungen pro Patient möglich **Abb. 1** Prozentuale Häufigkeit kardialer Erkrankungen in Abhängigkeit von den Impedanz-Quartilen; oberhalb der Balken Angabe der Absolutwerte.

Diskussion

Höhere oder niedrigere Impedanzwerte im Vergleich zur »Standardimpedanz« von 500 Ohm waren bisher nur von klinischem Interesse, wenn sie Werte von 300 bzw. 2000 Ohm unter- bzw. überschritten; dies ist als Hinweis auf einen Isolationsschaden bzw. einen Kabelbruch zu werten (1,6). Die Bestimmung der Stimulationsimpedanz hat inzwischen eine weitere klinische Bedeutung erhalten: Wegen des inversen Zusammenhangs zwischen Stimulationsimpedanz und Stimulationsstrom reduziert bei gleichem Stimulationsimpuls eine höhere Impedanz zusätzlich den Stimulationsstrom. Da die Schrittmacherlaufzeit mit abnehmendem Stimulationsstrom zunimmt, lässt sich damit unabhängig von der Programmierung des Stimulationsimpulses zusätzlich die Laufzeit verlängern (14).

Die Annahme einer »500-Ohm-Standardimpedanz« ist vor allem aus zwei Gründen heute nicht mehr ausreichend: Erstens haben die meisten gegenwärtig verwendeten Elektroden – wie auch die von uns untersuchte – eine höhere mittlere Impedanz von etwa 600 bis 1000 Ohm (2–4, 7, 8, 16). Zweitens werden die interindividuellen Impedanzunterschiede und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Schrittmacherlaufzeit nicht berücksichtigt. Bei den untersuchten Patienten fanden sich für die gleiche Elektrode Werte von 333 bis 1040 Ohm. Bei permanenter Stimulation mit 2,5 V Impulsamplitude und 0,5 ms Impulsdauer würde allein dadurch die zu erwartende Laufzeit des implantierten VDD-Schrittmachers zwischen 7,8 und 9,3 Jahren variieren.

Aus diesem Grunde ist es wünschenswert, die patientenbezogenen Determinanten der Stimulationsimpedanz zu kennen. Die vorliegende Arbeit zeigt in diesem Zusammenhang erstmals auf, daß das Fehlen bzw. Vorliegen manifester kardialer Erkrankungen solche Determinanten darstellen: Bei »Herzgesunden« sind eher höhere und bei »herzkranken Patienten« eher niedrigere Impedanzwerte als im Vergleich zum Median beider Populationen zu erwarten. Die Ursachen für diese Beobachtung sind unbekannt, und experimentelle Untersuchungen zu dieser Fragestellung liegen nicht vor. Möglicherweise sind sie auf strukturelle Veränderungen des Myokards zum Beispiel durch Fibrosierungen bzw. Narben in der Spitze des rechten Ventrikels zurückzuführen. In diesem Zusammenhang fällt auf, daß Patienten mit niedrigen Impedanzwerten tendenziell häufiger eine koronare Herzkrankheit mit Zustand nach Myokardinfarkt als kardiale Erkrankung hatten. Die dadurch bedingten Unterschiede beschränken sich auf die Stimulationsimpedanz und haben keinen Einfluß auf die ventrikuläre Reizschwelle. In weiteren Untersuchungen ist zu prüfen, ob der hier beobachtete Zusammenhang auch bei anderen Elektroden, insbesondere bei sogenannten Hoch-Ohm-Elektroden (3, 5) zu finden ist.

Resümee

Die Spannweite der Stimulationsimpedanz betrug für die untersuchte Sonde 707 Ohm. Bei 100%iger Ventrikelstimulation mit 2,5 V und 0,5 ms würde dadurch die zu erwartende Laufzeit des implantierten Schrittmachers zwischen 7,8 und 9,3 Jahren variieren. Patienten mit niedrigen Impedanzwerten hatten häufiger manifeste kardiale Erkrankungen als Patienten mit hohen Impedanzwerten.

Anhang

Wir danken allen Mitgliedern der Thera-Studiengruppe für die Teilnahme an dieser Untersuchung. Zu den Mitglieder der Thera-Studiengruppe gehören:

- Belgien: V. Mahaux, A. R. J. M. van Wylick, T. Verbeet,
- Dänemark: A. Pietersen,
- Deutschland: L. Binner, M. Manz, E. Meisel, W. Reiser, A. Schuchert,
- England: R. G. Charles, M. D. Gammage, J. D. Skehan, R. Sutton,
- Frankreich: C. Daubert, Davy, R. Grolleau,
- Israel: E. Ovsyshcher
- Italien: G. Marioni, M. Santini,
- Niederlande: K. den Dulk, A. J. M. Timmermans, H. A. Bosker,
- Norwegen: J. Bathen, H. Grendahl,
- Schweden: H. Larsson,
- Schweiz: M. Friedemann, H. Vontobel,
- Spanien: J. Rodriguez,
- Südafrika: F. Dateling, P. Obel, R. Scott-Millar,
- Türkei: M. Guldal

Literatur

- ¹ Barold, S. S., L. S. Ong, R. A. Heinle: Stimulation and sensing thresholds for cardiac pacing: electrophysiologic and technical aspects. *Progr. cardiovasc. Dis.* 24 (1981), 1–24.
- ² Bonnekamp, G., G. V. Sabin: Geringerer Energieverbrauch eines Herzschrittmachers durch verbesserte Elektrodencharakteristik. *Herz Kreisl.* 22 (1990), 146–150.

- ³ Breivik, K., D. Danilovic, O.-J. Ohm: One year follow-up of high-impedance low-threshold leads. *Pacing clin. Electrophysiol.* 18 (1995), 1823 (Abstract).
- ⁴ Del Bufalo, A., J. Schlaepfer, M. Fromer, L. Kappenberger: Acute and long-term ventricular stimulation thresholds with a new, iridium oxide-coated electrode. *Pacing clin. Electrophysiol.* 16 (1993), 1240–1244.
- ⁵ Fogol, R., F. Pirzada, D. Casavant, J. Boone, A. Bowman, D. Steinhilber, M. Gilbert, R. Vlietstra, P. Belott, V. Parsonnet, G. Tilton, M. White: Initial experience with 1.5 mm² high impedance, steroid-eluting pacing electrode. *Pacing clin. Electrophysiol.* 19 (1996), 188–196.
- ⁶ Levine, P. A.: Clinical manifestations of lead insulation defects. *J. Electrophysiol.* 1 (1987), 144–155.
- ⁷ Murray, A., S. Jameson, R. G. Gold: A randomized controlled clinical study to quantify the effect of small changes in the design of pacing electrodes on threshold voltages. *Pacing clin. Electrophysiol.* 18 (1995), 2150–2154.
- ⁸ Potratz, J., F. Lünninghake, A. Gebauer, G. Taubert, A. Brandes, U. Stierle, H. Djonlagic, K. W. Diederich: Vergleich der elektrischen Eigenschaften vier verschiedener Schrittmacherelektroden: S-424, 6957, 4003, PY61-C. *Herzschrittmacherelektrophys.* 4 (1993), 16–21.
- ⁹ Ripart, A., J. Muciga: Electrode-heart interface. Definition of the ideal electrode. *Pacing clin. Electrophysiol.* 6 (1983), 410–421.
- ¹⁰ Santini, M., F. de Seta: Do steroid-eluting electrodes really have better performance than other state-of-the-art designs? *Pacing clin. Electrophysiol.* 16 (1993), 722–728.
- ¹¹ Schuchert, A., K.-H. Kuck: Konstante Stimulationsimpedanz von Steroidelektroden bei verschiedenen Impulsamplituden: Hinweis für niedrige Polarisation am Elektroden-Myokard-Übergang. *Z. Kardiol.* 81 (1993), 41–45.
- ¹² Schuchert, A., K.-H. Kuck, T. Meinertz: Gestatten steroidfreisetzende Schrittmacherelektroden eine Programmierung auf niedrigere Schrittmacher-Impulsamplituden? *Dtsch. med. Wschr.* 120 (1995), 593–596.
- ¹³ Schuchert, A., S. Bornhoff, T. Meinertz: Niedrige Reizschwellen ventrikulärer Schrittmachersonden: Kein Marker für große R-Wellenamplituden und hohe Impedanzwerte. *Z. Kardiol.* 84 (1995), 971–976.
- ¹⁴ Stokes, K., G. Borzin: The electrode-biointerface. Stimulation. In: Barold, S. S. (Ed.): *Modern cardiac pacing* (Futura Publishing Company Mont Kisco: New York 1985), 33–77.
- ¹⁵ Stokes, K., T. Bird: A new efficient nanotip lead. *Pacing clin. Electrophysiol.* 13 (1990), 1901–1905.
- ¹⁶ Svensson, O., J. E. Karlsson, L. Binner, R. Brobe, H. Höhler, J. Kreuzer, D. Malm, G. Matheis, A. Pietersen, W. Schenkel, T. Vesterlund: Comparison of threshold values between steroid and nonsteroid unipolar membrane leads. *Pacing clin. Electrophysiol.* 17 (1994), 2008–2011.
- ¹⁷ Winter, U. J., J. Fritsch, J. Liebing, H.-W. Höpp, H. H. Hilger: Klinische Erfahrungen mit vier neuartigen, oberflächenbehandelten Stimulationselektroden. *Z. Kardiol.* 82 (1993), 309–316.

Dr. A. Schuchert, Prof. Dr. T. Meinertz
Abteilung für Kardiologie
Medizinische Universitäts- und Poliklinik
Universitätskrankenhaus Eppendorf
Martinistr. 52
20246 Hamburg

H. van Langen, PhD, K. Michels, MScBSc
Bakken Research Center
Endepolsdomein 5
NL-6229 GW Maastricht