CT スキャン中に恒久型ペースメーカーの誤作動が生じた2症例

山路聡志* 今井 忍* 八木 洋* 久代登志男*

【症例】症例1：65歳男性，洞不全症候群の診断でDDD型ペースメーカー(PM)が植込まれた。CTスキャン前，全拍心房ペースングー心室センシングパターンであったが，スキャン中，心房または心室のオーバーセンシングによりペースング間隔が設定レート以上に延長した。症例2：87歳男性，完全房室ブロックの診断でVDD型PMが植込まれた。CTスキャン前，全拍心房センシングー心室ペースングパターンであったが，スキャンにより心房のオーバーセンシングを起こし，それに追従して心室ペースングが出現した。いずれの症例もPMジェネレータ上のCTスキャン中に規格外動作が出現した。CT室内，CT走査線上にPMに影響を与えうる電磁界は存在しなかった。【結論】CTスキャン中の規格外動作の原因は，電磁界測定値，影響出現部位の結果から，従来影響がないと考えられていたCTスキャン中の放射線によりPMがオーバーセンシングを引き起こしたためと考えられた。

(心電図, 2005 ; 25 : 283 ~ 288)

I. はじめに

近年，社会の情報工学化に伴いさまざまな電子機

Keywords

- ペースメーカー
- 電磁干渉
- コンピュータ断層撮影
- 放射線
- オーバーセンシング

* 日本大学医学部内科学講座循環器内科部門
(〒101-8309 東京都千代田区神田駿河台1-8-13)

器や無線機器が出現し，これらの機器によるペースメーカーや植込み型除細動器への電磁干渉が大きな社会問題となっている^{1)~3)}。医療の現場においても，電磁波や高周波を発生する様々な診断機器，治療機器が存在し，ペースメーカー植込み患者に対する注意や規制がなされてきた^{4)~6)}。

今回我々は，ペースメーカークリニックにおいて従来安全とされてきたコンピュータ断層撮影(computed tomography : CT)検査を受けたペースメーカー植込み患者で，恒久型ペースメーカー

The malfunction of permanent pacemaker induced during CT scanning
Satoshi Yamaji, Shinobu Imai, Hiroshi Yagi, Toshio Kushiro

2005年5月13日 原稿受領 / 2005年6月7日 掲載承認

(Thera SR8960i, Medtronic社製)のリセットを認め、非同期ペーシングに移行していた症例を経験した。同現象はCTスキャン中のなんらかの要因がペースメーカーに対して影響を及ぼしたことにより生じたと考えられた。このため、当院におけるペースメーカー患者で胸部異常陰影の精査のためCT検査が必要であった症例に対して、心電図モニター下で胸部CTを施行した。今回、CTスキャン中にペースメーカーに規格外の動作を認めた2症例について若干の考察を加えて報告する。

II. 症 例

表1に2症例のペースメーカーの設定状態およびCT施行前のパラメータを示す。なお、患者には胸部CT施行前にペースメーカーの作動状況を確認するために体表面心電図下でCTスキャンを施行する旨の説明を行い、文書で同意を得た。

CTスキャン中は体表面心電図の肢誘導を紙送りスピード25 mm/秒で記録した。

さらに、CT室内にペースメーカーに影響を与え

うる電磁波が存在するか否かを検討する目的でCombinova社製電界計測器FD 1とF. W. BELL社製磁界計測器5080型を用い、CT走査線上および走査線より1 m離れた部位の変動電磁界を測定した。なお電磁場の計測は3回施行し、その最大値を求めた。

1. 症例1

65歳男性。洞不全症候群の診断で63歳時に、DDD型ペースメーカー(Kappa KDR701, Medtronic社製)の植込み術が施行された。左上肺野の異常陰影に対し肺尖部から横隔膜にかけて胸部CTを施行した。撮影条件は150 kV, 150 mAsとした。CTスキャン前には設定レートに規定された857 msecのペーシング間隔で全拍心房ペーシング-心室センシングパターンであった。しかし、ペースメーカージェネレータ上をCTスキャン中に心房のペーシング間隔が1200 msecに延長した。走査線がジェネレータ上を通過した後は、857 msecのペーシング間隔の心房ペーシングが再開した(図1)。なお、ジェネレータ上部のCTスキャン中にこの規格外動作が認められたが、リードのスキャン中には確認されな

表1 患者背景

		症例1	症例2
植込みペースメーカー			
ジェネレータ		Kappa KDR701 (Medtronic)	Kappa KVDD701 (Medtronic)
リード	心房	5554-45 (Medtronic)	
	心室	5054-52 (Medtronic)	5032 S-58 (Medtronic)
mode		DDD	VDD
lower/upper rate (ppm)		70/120	50/120
感度 (mV)	心房	0.5	0.18
	心室	2.8	2.8
センシング極性	心房	bipolar	bipolar
	心室	bipolar	bipolar
pace AV interval (msec)		150	
sensed AV interval (msec)		120	130
PVARP (msec)		auto	310
CT前 ペースメーカー測定値			
threshold (V/msec)	心房	0.75/0.4	
	心室	0.75/0.4	1.25/0.4
波高値 (mV)	P-wave	5.6-8.0	4.0-5.6
	R-wave	11.2-15.68	(-)
lead impedance (Ω)	心房	1050	
	心室	1074	542

図1 症例1：CTスキャン中の心電図所見と解析図

CTスキャン前は857 msecのペースング間隔で全拍心房ペースング-心室センシングパターンであるが、ペースメーカージェネレータ上をCTスキャン中に心房のペースング間隔が1200 msecに延長した。走査線がジェネレータ上を通過した後、857 msecのペースング間隔の心房ペースングが再開している。

AP：心房ペースング，VS：心室センシング

かった。またCTスキャン後のテレメトリーデータでは、再プログラミングを要するプログラム内容の書き換えやリセットは認めなかった。

2. 症例2

87歳男性。完全房室ブロックの診断で86歳時に、VDD型ペースメーカー(Kappa KVDD701, Medtronic社製)の植込み術が施行された。右肺門部異常陰影に対して、症例1と同様の条件で胸部CTを施行した。CTスキャン前には自己のPP間隔1200 msecに規定された心房センシング-心室ペースングパターンであったが、ペースメーカージェネレータ上をCTスキャン中に、前の心房センシング-心室ペースングに比べ約40 msec早いタイミングで心室ペースングが出現した。さらにその500 msec後に心室ペースングが認められた(図2)。同現象はジェネレータ上部のCTスキャン中に出現し、症例1同様リードのスキャン中には確認されなかった。またCTスキャン後のテレメトリーデータでは、再プログラミ

ングを要するプログラム内容の書き換えやリセットは認めなかった。

3. CT室内の電磁場の測定

CT稼動中の変動電界はCT走査線上では150 V/m, 1 m離れた部位では80 V/mであった。交流磁界の強度はCT走査線上では0.15 G(gauss: ガウス), 1 m離れた部位では0.003 Gであった。

Ⅲ. 考 察

近年携帯電話、電磁調理器、および盗難防止ゲートなどの機器により、ペースメーカーや植込み型除細動器が規格外の動作を生じた事例が報告され^{1)~3)}、注意喚起がなされている。医療機器によるペースメーカーへの影響も例外ではなく、体外式除細動器、MRI、被曝線量の多い放射線治療器などにより、再プログラミングを要する障害や、恒久的な破壊が引き起こされた事例が報告された^{7)~11)}。これに対して、現在日本国内に1万台以上稼働しているCTをはじ

図2 症例2：CTスキャン中の心電図所見と解析図

CTスキャン前には自己のPP間隔1200 msecに規定された心房センシング-心室ペースングパターンであるが、ペースメーカージェネレータ上をCTスキャン中に、前の心房センシング-心室ペースングに比べ約40 msec早いタイミングで心室ペースングが出現している。その後500 msecのタイミングで心室ペースングが出現した。

AS：心房センシング，VP：心室ペースング

めとする放射線診断装置による影響はないと考えられてきた。しかし今回の検討で、CTスキャンによっても一過性ではあるが、ペースメーカーに対し干渉を与えうることが明らかとなった。

ペースメーカーに対する電磁干渉の報告は、デマンド機能の進化により生じるようになったといわれており¹²⁾、携帯電話や無線機器などにおいては詳細に検討されている。携帯電話などによる電磁干渉の結果生じる現象は、ペースングパルスの抑制やオーバーセンシング、EMI防御機構の作動による非同期モードによるペースングなどがあげられる³⁾。

今回規格外の動作を呈した2症例はペースメーカーのリセット、非同期ペースングへの移行は確認されなかった。しかし症例1で認められた所見は、CTスキャン中に入力されたノイズを心房または心室側あるいはその両方でオーバーセンシングすることで、一過性にペースングが抑制されたと考えられた。症

例2では図2の4拍目の心室ペースングが、他の心房センシング-心室ペースングに比べ約40 msec早いタイミングで出現しており、P波ではなくなんらかのノイズを心房側でオーバーセンシングし、心室ペースングがこのセンシングしたノイズに追従したと考えられる。さらに続く心室ペースングは心房に連続的にノイズが入力されたため、upper rateで心室ペースングが追従したと考えられた。

いずれの症例もペースメーカーの動作変化は一時的で、CTスキャン後に速やかに正常作動に復した。

一般的にペースメーカーに対する電磁干渉の代表的混入経路は変動電界、変動磁界、伝導電流などが知られている^{12), 13)}。今回の2症例のCT検査後、CTの稼動中にペースメーカーに影響を与えうる変動電磁界が発生しうるか検討した。CTスキャン中に測定した変動電界はCT走査線上で最大150 V/mであった。Butrousら¹⁴⁾は50 Hzで1 kV/mの電界当たり約

10 μ A の電流が誘導され、5 kV/m 以上の変動電界は患者に植込まれたペースメーカーに影響を与えたと報告した。今回測定された変動電界値は、Butrous らの報告したペースメーカーが影響を受ける変動電界値の約30分の1と比べて低く、変動電界による影響ではないものと考えられた。

また変動磁界はCT走査線上で最大0.15 Gと測定された。Irnich ら^{13), 15)}はペースメーカーとリードがつくる半円形の最大面積570 cm²に対して均一に周波数50 Hzの平等磁界が加えられた場合、0.2 Gで1 mVのノイズが誘起されると報告している。しかし、これは単極電極のペースメーカーでの検討であり、今回の2症例のような双極電極のペースメーカーの場合は一般的に約6～10倍の強度の変動磁界まで影響を受けないとされている¹²⁾。さらに双極電極のペースメーカーの場合は、ノイズの影響を最も受けやすい部位はリードのRingとTipの間とされているが、今回の検討で影響を受けたと確認された部位はいずれもリードではなくジェネレータ上部であった。したがって今回検討した測定値、影響出現部位の結果からは変動磁界による影響の可能性はきわめて低いと考えられた。

以上の結果から、今回の規格外動作の原因はCT稼働中に発生する電磁波ではなく、従来影響がないと考えられていたCTスキャン中の放射線がペースメーカーに対して影響を与えたと考えられた。

放射線によるペースメーカーの作動異常は、以前にも放射線治療を受けたペースメーカー植込み患者例において報告されている^{7)～10)}。しかしこれらの作動異常は、放射線治療に用いる非常に高い線量の放射線により、現在のペースメーカーに用いられているC-MOS型半導体素子の回路内に不要な電流を生じ、絶縁体内に電子が封入されることで発生すると考えられている。Adamec ら¹⁰⁾の報告では放射線照射により刺激パルス幅や設定レートに変化が生じた場合、回復するまで1～24時間を要することが確認されている。さらにC-MOS型半導体素子は、10～100 Gy(gray: グレイ)の高い線量で作動異常を起こ

すとされ、松本ら¹⁶⁾は6 Gy以上の放射線量でペースメーカーの永続的な障害や破壊が起こる可能性があるとして報告している。ペースメーカーに対する干渉の程度には、①影響が恒久的に残存する、②影響がしばらく残るが、時間とともに軽快する、③干渉の原因が取り除かれれば直ちに元の機能に復旧するの3とおりが考えられており、それらの影響の度合いはペースメーカーに与えられたエネルギー量に依存する。今回の事象は一過性でスキャン後に速やかに正常の動作に復した。これは、CT 1スライス当たりの放射線量が従来報告された放射線による影響が生じた線量に比べ非常に低値であったこと、およびCT走査線がジェネレータを速やかに通過したことによると考えられた。

現在放射線治療対象患者に対しては、American Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ASTRO)の指針^{17), 18)}によりペースメーカーにかかる総放射線量は2.0 Gy以下として、ペースメーカーへの直接照射を避けることが定められている。しかしながらCTなどの放射線診断機器の使用時の電磁干渉に関するガイドラインはない。

近年CTは高出力化、高解像度の傾向にあり、CT検査によりさらに高い線量の放射線を被曝する可能性があり、恒久的にペースメーカーに影響が残存する場合があると考えられる。また、非同期ペーシングが患者の自己脈と競合した場合には、spike on T waveから心室頻拍、心室細動などの重篤な不整脈が誘発される可能性もある。このような事故防止のために、ペースメーカー植込み患者のCTスキャン中に規格外動作が起こりうることを認識することが重要である。

今回は臨床例であるため、影響出現条件、再現性について詳細に検討することはできなかった。今後CTスキャン中の放射線による植込み型ペースメーカーへの影響およびその再現性を検討する必要があると考えられた。

〔文 献〕

- 1) Santucci PA, Haw J, Trohman RG, Pinski SL : Interference with an implantable defibrillator by an electronic antitheft-surveillance device. *N Engl J Med*, 1988 ; 339 : 1371 ~ 1374
- 2) Irnich W : Electronic security systems and active implantable medical devices. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2002 ; 25 : 1235 ~ 1258
- 3) Hekmat K, Salemink B, Lauterbach G, Schwinger RH, Südkamp M, Weber HJ, Mehlhorn U : Interference by cellular phones with permanent implanted pacemakers : an update. *Europace*, 2004 ; 6 : 363 ~ 369
- 4) Kishi R, Matsumoto N, Nakazawa K, Takagi A, Sakurai T, Nanke T, Watanabe Y, Miyazu O, Harada T, Kobayashi S, Miyake F : Influence of mobile magnetic resonance imaging on implanted pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2003 ; 26 (1 Pt 2) : 527 ~ 529
- 5) Erlebacher JA, Cahill PT, Pannizzo F, Knowles RJ : Effect of magnetic resonance imaging on DDD pacemakers. *Am J Cardiol*, 1986 ; 57 : 437 ~ 440
- 6) Fetter J, Aram G, Holmes DR Jr, Gray JE, Hayes DL : The effects of nuclear magnetic resonance imagers on external and implantable pulse generators. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1984 ; 7 : 720 ~ 727
- 7) Katzenberg CA, Marcus FI, Heusinkveld RS, Mammana RB : Pacemaker failure due to radiation therapy. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1982 ; 5 : 156 ~ 159
- 8) Marbach JR, Meoz-Mendez RT, Huffman JK, Hudgins PT, Almond PR : The effects of cardiac pacemakers of ionizing radiation and electromagnetic interference from radiotherapy machines. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1978 ; 4 : 1055 ~ 1058
- 9) Venselaar JL, Van Kerkoerle HL, Vet AJ : Radiation damage to pacemakers from radiotherapy. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1987 ; 10 (3 Pt 1) : 538 ~ 542
- 10) Adamec R, Haefliger JM, Killisch JP, Niederer J, Jaquet P : Damaging effect of therapeutic radiation on programmable pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1982 ; 5 : 146 ~ 150
- 11) 水谷 登, 早稲田勝久, 加藤 勲, 水谷浩也, 小林 正 : 医療環境下におけるペースメーカーと電磁干渉. 不整脈, 2000 ; 16 : 541 ~ 546
- 12) 豊島健 : 心臓ペースメーカーの電磁障害. 心臓ペーシング, 1988 ; 4 : 276 ~ 287
- 13) Irnich W : Interference in pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1984 ; 7 (6 Pt 1) : 1021 ~ 1048
- 14) Butrous GS, Meldrum SJ, Barton DG, Male JC, Bonnell JA, Camm AJ : Effects of high-intensity power-frequency electric fields on implanted modern multiprogrammable cardiac pacemakers. *J R Soc Med*, 1982 ; 75 : 327 ~ 331
- 15) Irnich W, de Bakker JM, Bisping HJ : Electromagnetic interference in implantable pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol*, 1978 ; 1 : 52 ~ 61
- 16) 松本秀一, 木島幹博, 池田精宏, 藤田俊一, 添田信之, 佐藤政春 : 放射線療法のペースメーカーに与える影響について. 心臓ペーシング, 1988 ; 4 : 378 ~ 384
- 17) Mellenberg DE Jr : A policy for radiotherapy in patients with implanted pacemakers. *Med Dosim*, 1991 ; 16 : 221 ~ 223
- 18) Mabach JR, Sontag MR, Van Dyk J, Wolbarst AB : Management of radiation oncology patients with implanted cardiac pacemakers : report of AAPM Task Group No. 34. American Association of Physicists in Medicine. *Med Phys*, 1994 ; 21 : 85 ~ 90