T波オーバーセンシングを回避することで不適切作動によるショック通電の消失および両室ペーシング率の改善を認めた1例

佐々木健吾¹ 森 俊平^{2*} 菅野博章¹ 鈴木智博¹
千葉 健¹ 門馬竜一郎¹ 尾越 登¹ 箴井宣任²
金子海彦² 滝澤 要² 井上直人² 目黒泰一郎²

植込み型除細動器留置症例において、T波オーバーセンシングはR波とのダブルカウントの原因となる。この事象は、ときに不適切作動によるショック通電の誘因となることが報告されている。また、心室再同期療法施行症例において、同じくT波オーバーセンシングが原因で両室ペーシング率が低下した症例も報告されている。症例は70歳、男性。拡張型心筋症に伴う慢性心不全に対し、両室ペーシング機能付き植込み型除細動器が留置された。留置3ヵ月後のデバイスチェックで不適切作動によるショック通電および両室ペーシング率の低下が認められた。心内心電図記録、ペーシングサマリーの解析により、T波オーバーセンシングが双方の原因であることが判明した。右室感度の調整では回避できず、周波数フィルターの調整により、T波オーバーセンシングは消失した。以後22ヵ月間、不適切作動によるショック通電、両室ペーシング率の低下および心不全入院なく経過している。

(心電図, 2011; 31: 467~475)

Keywords ●両室ペーシング機能付き植込み型除細動器(CRT-D)
●T波オーバーセンシング
●不適切作動
●両室ペーシング率
●周波数フィルター

1 仙台厚生病院臨床工学室
(〒980-0873 宮城県仙台市青葉区広瀬町4-15)
2 仙台厚生病院心臓血管センター循環器内科
*は責任著者を示す

I. はじめに

植込み型除細動器(ICD)留置症例において、T波オーバーセンシングは、R波とのダブルカウントの原因となる。この事象は、ときに不適切作動によるショック通電の誘因となることが報告されている^{1),2)}。また、心室再同期療法(CRT)施行症例において、同じくT波オーバーセンシングが原因で両室ペーシング率が低下した症例も報告されている。

A Case of an Inappropriate Implantable Cardioverter Defibrillator Shock Delivery Coincident with a Decline in the Biventricular Pacing Rate due to Twave Oversensing

Kengo Sasaki, Shumpei Mori, Hakudou Kanno, Tomohiro Suzuki, Takeshi Chiba, Ryuichiro Monma, Noboru Ogoshi, Norichika Osai, Umihiko Kaneko, Kaname Takizawa, Naoto Inoue, Taiichiro Meguro

2011年1月20日 原稿受領/2011年8月11日 掲載承認

図 1

植込み 3ヵ月後のペーシングサマリー

右室期外収縮(RVES)を 13% (白矢印), 心室後心房不応期内心房センス(PVARP As)を 12%に認めた(黒矢印). 右室と左室の総心拍数に 12%の差を認めた(下線).

As: 心房センス, Ars: 心房不応期内センス, Ap: 心房ペース, RVs: 右室センス, RVrs: 右室不応期内センス, RVp: 右室ペース, LVs: 左室センス, LVp: 左室ペース.

われわれは, 両室ペーシング機能付き植込み型除細動器(CRT-D)留置後に, T波オーバーセンシングを原因とする不適切作動および両室ペーシング率の低下を合併した症例を経験した.

II. 症 例

70歳, 男性. 2001年2月, 心不全で入院し, 精査にて拡張型心筋症と診断された. 至適薬物療法継続下に, その後も心不全での入退院を繰り返した. 心筋血流シンチ上, 左室駆出率は23%であった. 2009年3月, CRT-D (Lumax 340 HF-T, BIOTRONIK社製)留置術が施行された. 右房リード(Fraste JT 53-BP, BIOTRONIK社製), 右室リード(Linox TD 65/18, BIOTRONIK社製), 冠静脈洞リード(Corox OTW-S 85-BP, BIOTRONIK社製)はいずれもタインドリードを使用し, 鎖骨下静脈胸郭外穿刺法で, それぞれ右心耳, 右室心尖部, 冠静脈洞後側壁枝に留置した. CRT-D初期設定値は, モード: DDD, 基本レート: 60回/分, 上限レート: 130回/分, AV間隔: 120 msec, VV間隔: 左室先行 20 msec, 心室後心房不応期(PVARP): 250 msec, 心室期外収縮後心房不応期(PVARP after PVC): PVARP+ 225 msec, 心室細動(VF)ゾーン: 200回/分(検出カウンター 8/12拍)であっ

た. 植込み時の心房リード, 右室リード, 左室リードの心内波高はそれぞれ 1.6 mV, 9.9 mV, 9.8 mV, ペーシング閾値はそれぞれ 0.4 V/0.4 msec, 0.3 V/0.4 msec, 1.0 V/0.4 msec, リード抵抗はそれぞれ 821 Ω , 766 Ω , 875 Ω であった. 留置3ヵ月後の定期デバイスチェックにて, 受診2週間前にVFゾーンでのショック通電の記録が確認された. 患者本人にショック通電の自覚はあったが, 受診はしていなかった. 各リードの心内波高, ペーシング閾値, リード抵抗に変化を認めなかった. イベント発生時の内心心電図記録を解析した結果, 当該ショック通電は, T波オーバーセンシングとR波のダブルカウントを原因とする不適切作動であったことが確認された. また, 留置直後には99%であった両室ペーシング率が, このとき75%に低下していた.

1. 両室ペーシング率低下時の内心心電図の解析

T波オーバーセンシングは右室リードでのみ生じており, 右室総心拍数と左室総心拍数の間に12%の差を認めた(図1). この右室ペーシング後のT波はVFゾーン内で誤認識され, ペーシングサマリー上は右室期外収縮(RVES: 連結期 351 ~ 461 msec)と記録されていた. 先行するR波から461 msec以内で認識されたRVESに対しては, 受攻期における左室刺激防止機能であるLV T-wave protection

図2 T波オーバーセンシング時の心内心電図所見

オーバーセンシングしたT波は心室細動(VF)ゾーン内でRVESと誤認識されていた。そのRVESを始点とする心室期外収縮後心房不応期(PVARP after PVC)内で自己洞調律P波はPVARP Asと認識、記載されていた。PVARP As直後の自己R波はRVsと記録され、それに同期してLVpが適用されていた。RVs後のT波はオーバーセンシングされていなかった(*)。

ECG:心電図, RA:右心房, RV:右心室, LV:左心室。その他略語は図1参照。

が適用され、左室ペース(LVp)は作動していなかった。RVES直後の洞調律P波はPVARP after PVC内に入るため、ペースングサマリー上、PVARP内心房センス(PVARP As)と認識されていた。PVARP Asと認識された洞調律P波に対しては設定AV間隔後の右室ペースングが適用されないため、固有の房室伝導を介した自己R波が出現していた。このR波はペースングサマリー上、右室センス(RVs:連結期462 msec以上)と記録され、それに同期してLVpが適用されていた。RVs/LVp後のT波はオーバーセンシングされていなかった(図2)。

2. 不適切作動によるショック治療の解析

洞性頻脈下にT波オーバーセンシングが生じた場合、PVARP As後の自己R波はRVsよりもタイミングが早期であり、RVES同様VFゾーン内で認

識されていた。ペースングサマリー上は、右室不応期内センス(RVrs:連結期350 msec以下)と記録されていた。このRVrsに対してもLV T-wave protection同様の早期心室刺激防止機能が適用されるため、LVpは作動していなかった。これらRVESとRVrsが繰り返されることで、洞性頻脈がVFの検出カウンター条件を満たし(図3)、コンデンサ充電が開始されていた。この初回充電は、充電中に連続した2心拍でVF認識が認められなかったために、中止されていた。しかしその直後、再度同様の機序で洞性頻脈がVFと誤認識され、充電が再開された。再充電は中止されないため、不適切作動によるショック通電が誘発されていた(図4)。

対策としてT波オーバーセンシングに対し、まず右室感度の調整を行った。T波マスキング感度の上限閾値を、先行するR波の電位の50%から75%

図3 不適切作動によるショック治療時の心内心電図①

洞性頻脈下(120 bpm)に、心室細動(VF)ゾーン内でT波がRVESと誤認識された。直後のPVARP Asに続く自己R波が、RVESを始点とするVFゾーン内でRVrsとして認識された。その結果、右室イベントの6拍中4拍がVFゾーン内で認識されることになった(●)。この繰り返しにより、洞性頻脈がVFの検出カウンタ条件(12拍中8拍)を満たした。RVs/LVp後のT波はオーバーセンシングされていなかった(*)。略語は図1, 2参照。

に上げる機能である Enhanced T-wave suppression を有効にした。しかし、T波オーバーセンシングは回避されなかった。次に、ハイパスフィルターの周波数閾値を10 Hzから20 Hzに変更した。20 Hz以下の低周波成分を特異的に除去する機能により、T波オーバーセンシングは消失した。そのため、設定されたAV間隔で、自己P波に対する心房センシング両室ペースングが可能となった(図5)。

変更3ヵ月後のデバイスチェックでは、T波オーバーセンシングを示していたRVESは13%から1%に減少した。T波オーバーセンシング後にPVARP after PVCが設定されなくなったため、PVARP Asも消失した。両室間の総心拍室数の差も0.04%まで減少し(図1, 6)、両室ペースング率は98%に回復した。その後、22ヵ月間の経過観察中、不適切作動によるショック通電、両室ペースング率の低下お

よび心不全入院なく経過している。

Ⅲ. 考 察

T波オーバーセンシングという単一の原因から、ICDの不適切作動によるショック通電およびCRTの両室ペースング率低下を併発した症例を経験した。両者の併発は、両室ペースング率低下に伴う心不全増悪に、複数回の不適切作動を合併する可能性のある潜在的に危険な事態と考えられた。周波数フィルターの閾値変更によりT波オーバーセンシングを回避することで、双方の事態を解決できた。

ICDの不適切作動は、T波オーバーセンシングのみならず、上室頻脈などが原因で留置後年率2.4%から3.6%に生じることが報告されている^{1), 3), 4)}。適切作動であれ不適切作動であれ、ショック通電は精神状態に悪影響を及ぼす^{5)~7)}。そればかりでは

図 4
不適切作動によるショック治療時の心
内心電図②
T波オーバーセンシング(実線矢印)が原
因で、洞性頻脈が心室細動(VF)の検出
カウンター条件(12拍中8拍：囲い数字)
を満たしたために、コンデンサ充電が
開始されていた。これは再充電であつた
ため、充電中のVF検出カウンタ数によ
らず、不適切作動によるショック通電が
誘発されていた。略語は図2参照。

なく、不適切作動によるショック通電そのものが生命予後を悪化させることも報告されている^{2), 8)}。

CRTは低左心機能と左室非同期を原因とする心不全患者の、生命予後および生活の質を改善させることが報告されている⁹⁾。CRT-Dにはさらなる生命予後改善効果が期待される¹⁰⁾。それらの適応は、より軽症症例へと拡大されつつある¹¹⁾。

しかしながらCRT施行後は、約30%のノンレスポonderが存在する。その理由のひとつとして両室ペーシング率の低下が指摘されている¹²⁾。

本症例では、不適切作動によるショック通電および両室ペーシング率の低下の原因はT波オーバーセンシングであった。心室間の総心拍数の差に着目することで、T波オーバーセンシングの存在および頻度の推定が可能であった。CRT施行後に片方の

心室リードでのみT波オーバーセンシングが生じた場合、この所見は有用であると考えられた。

T波オーバーセンシングが回避困難な場合は、デバイス本体の交換など、侵襲的な手技を余議なくされることもあった¹³⁾。本症例では、デバイスに内蔵された複数の回避プログラムを用いて、非侵襲的に問題を解決することが可能であった。本症例のT波オーバーセンシングは、右室ペース後にのみ認められ、心内心電図上、右室センス時と比較して相対的に大きなT波が確認された。これは右室感度の調整では回避できず、周波数帯の違いに着目した回避プログラムを使用することで回避できた。ICDと異なり、CRT-Dではペーシング率を100%に近づけることが基本とされている。したがって、CRT-Dに伴うT波オーバーセンシングに対しては、ペー

図5 周波数フィルター変更後の心内心電図

T波オーバーセンシングが消失し、設定AV間隔で両室ペーシングされている。右室心内電位の拡大図では、R波とT波の周波数帯の違いが明らかである(*)。略語は図2参照。

シングによって形成されるQRS波およびT波を前提にして回避プログラムを工夫する必要があると考えられた。

CRT-D留置後の退院時チェックでは、T波オーバーセンシングを認めていなかった。留置約3ヵ月後にT波オーバーセンシングを認めた原因として、心不全の改善に伴う心臓の形態的变化、右室リードの移動などの解剖学的要因が考えられた。しかし本症例では、経過中の画像検査でそれらを示唆する所見は確認できなかった。また、T波の形態に影響を与えられられる電解質異常や、内服薬の変更なども認めなかった。

T波オーバーセンシング回避前は右室総心拍数は左室総心拍数より12%多く、回避後その差が著明に減少したこと、T波オーバーセンシング回避後、RVESおよびPVARP Asが12%減少したこと(図1, 6)からT波オーバーセンシングは12%の頻度で生じていたと推定された。したがって、実際の

総心拍数はペーシングサマリー上記載された右室総心拍数の88%、すなわち左室総心拍数であると考えられた。T波オーバーセンシング回避前の両室ペーシング率は75%と記録されていたが、真の両室ペーシング率は75%を88%で除した値、すなわち85%であったと考えられた。

術後のホルター心電図上、PVCは1.7%の頻度で認められており、12誘導心電図上は左室起源であった。このPVCが、T波オーバーセンシング回避後も左室リードの2%で確認された左室センスに相当すると考えられた。右室リードにおいては、それぞれ1%ずつの頻度で残存したRVsおよびRVESに相当すると考えられた(図6)。この2%の左室起源PVCの存在のためT波オーバーセンシング消失後も、両室ペーシング率は98%に留まったと考えられた。

ペーシングサマリー上の両室ペーシング率の誤記載に加え、右室センスが連結期によってRVrs、

図 6
周波数フィルター変更後のペーシングサマリー
RVESが1%に減少(白矢印), PVARP Asも消失した(黒矢印). 右室と左室の総心拍数の差も0.04%に減少した(下線). 略語は図1参照.

RVES, RVsの3種類に分類されていることがイベント解析を複雑にした. 今後, 適応の拡大に伴いCRT-D留置症例は増加していくことが予想される. 各デバイスごとに統一されていない心内心電図, ペーシングサマリーの表記様式に精通し, 記載された所見の整合性を詳細に解析検討することがさらに必要になると考えられた.

IV. 結 語

T波オーバーセンシングが原因で, 不適切作動によるショック通電および両室ペーシング率の低下をきたしたCRT-D留置症例を経験した. 周波数フィルター変更機能により, T波オーバーセンシングを回避することで, 双方の事態の回避が可能であった.

謝 辞

日々のデバイス治療および本症例のデバイスデータ解析に対する安孫子徹氏(シーアイメディック社)の貢献に心から感謝の意を表する.

〔文 献〕

- 1) Connolly SJ, Dorian P, Roberts RS, Gent M, Bailin S, Fain ES, Thorpe K, Champagne J, Talajic M, Coutu B, Gronefeld GC, Hohnloser SH; Optimal Pharmacological Therapy in Cardioverter Defibrillator Patients (OPTIC) Investigators: Comparison of beta-blockers, amiodarone plus beta-blockers, or sotalol for prevention of shocks from implantable cardioverter defibrillators: the OPTIC Study: a randomized trial. JAMA, 2006; 295: 165~171
- 2) Daubert JP, Zareba W, Cannom DS, McNitt S, Rosero SZ, Wang P, Schuger C, Steinberg JS, Higgins SL, Wilber DJ, Klein H, Andrews ML, Hall WJ, Moss AJ; MADIT II Investigators: Inappropriate implantable cardioverter-defibrillator shocks in MADIT II: frequency, mechanisms, predictors, and survival impact. J Am Coll Cardiol, 2008; 51: 1357~1365
- 3) Wilkoff BL, Williamson BD, Stern RS, Moore SL, Lu F, Lee SW, Birgersdotter-Green UM, Wathen MS, Van Gelder IC, Heubner BM, Brown ML, Holloman KK; PREPARE Study Investigators: Strategic programming of detection and therapy parameters in implantable cardioverter-defibrillators reduces shocks in primary prevention patients: results from the PREPARE (Primary Prevention Parameters Evaluation) study. J Am Coll Cardiol, 2008; 52: 541~550
- 4) Bardy GH, Lee KL, Mark DB, Poole JE, Packer DL, Boineau R, Domanski M, Troutman C, Anderson J, Johnson G, McNulty SE, Clapp-Channing N, Davidson-Ray LD, Fraulo ES, Fishbein DP, Luceri RM, Ip JH; Sudden Cardiac Death in Heart Failure Trial (SCD-

- HeFT) Investigators : Amiodarone or an implantable cardioverter-defibrillator for congestive heart failure. *N Engl J Med*, 2005 ; 352 : 225 ~ 237
- 5) Kamphuis HC, de Leeuw JR, Derksen R, Hauer RN, Winnubst JA : Implantable cardioverter defibrillator recipients : quality of life in recipients with and without ICD shock delivery : a prospective study. *Europace*, 2003 ; 5 : 381 ~ 389
 - 6) Sweeney MO, Wathen MS, Volosin K, Abdalla I, DeGroot PJ, Otterness MF, Stark AJ : Appropriate and inappropriate ventricular therapies, quality of life, and mortality among primary and secondary prevention implantable cardioverter defibrillator patients : results from the Pacing Fast VT REduces Shock ThErapiEs (PainFREE Rx II) trial. *Circulation*, 2005 ; 111 : 2898 ~ 2905
 - 7) Bourke JP, Turkington D, Thomas G, McComb JM, Tynan M : Florid psychopathology in patients receiving shocks from implanted cardioverter-defibrillators. *Heart*, 1997 ; 78 : 581 ~ 583
 - 8) Poole JE, Johnson GW, Hellkamp AS, Anderson J, Callans DJ, Raitt MH, Reddy RK, Marchlinski FE, Yee R, Guarnieri T, Talajic M, Wilber DJ, Fishbein DP, Packer DL, Mark DB, Lee KL, Bardy GH : Prognostic importance of defibrillator shocks in patients with heart failure. *N Engl J Med*, 2008 ; 359 : 1009 ~ 1017
 - 9) Cleland JG, Daubert JC, Erdmann E, Freemantle N, Gras D, Kappenberger L, Tavazzi L ; Cardiac Resynchronization-Heart Failure (CARE-HF) Study Investigators : The effect of cardiac resynchronization on morbidity and mortality in heart failure. *N Engl J Med*, 2005 ; 352 : 1539 ~ 1549
 - 10) Bristow MR, Saxon LA, Boehmer J, Krueger S, Kass DA, De Marco T, Carson P, DiCarlo L, DeMets D, White BG, DeVries DW, Feldman AM ; Comparison of Medical Therapy, Pacing, and Defibrillation in Heart Failure (COMPANION) Investigators : Cardiac-resynchronization therapy with or without an implantable defibrillator in advanced chronic heart failure. *N Engl J Med*, 2004 ; 350 : 2140 ~ 2150
 - 11) Moss AJ, Hall WJ, Cannom DS, Klein H, Brown MW, Daubert JP, Estes NA 3rd, Foster E, Greenberg H, Higgins SL, Pfeffer MA, Solomon SD, Wilber D, Zareba W ; MADIT-CRT Trial Investigators : Cardiac-resynchronization therapy for the prevention of heart-failure events. *N Engl J Med*, 2009 ; 361 : 1329 ~ 1338
 - 12) Mullens W, Grimm RA, Verga T, Dresing T, Starling RC, Wilkoff BL, Tang WH : Insights from a cardiac resynchronization optimization clinic as part of a heart failure disease management program. *J Am Coll Cardiol*, 2009 ; 53 : 765 ~ 773
 - 13) Tuzcu V : Resolution of T-wave oversensing with implantable cardioverter defibrillator generator replacement in an adolescent. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2007 ; 30 : 929 ~ 932

A Case of an Inappropriate Implantable Cardioverter Defibrillator Shock Delivery Coincident with a Decline in the Biventricular Pacing Rate due to T-wave Oversensing

Kengo Sasaki¹, Shumpei Mori², Hakudou Kanno¹, Tomohiro Suzuki¹, Takeshi Chiba¹, Ryuichiro Monma¹, Noboru Ogoshi¹, Norichika Osai², Umihiko Kaneko², Kaname Takizawa², Naoto Inoue², Taiichiro Meguro²

¹Division of Clinical Engineering, Sendai Kousei Hospital

²Division of Cardiology, Cardiovascular Center, Sendai Kousei Hospital

T-wave oversensing results in over-counting ventricular sensed events, thus satisfying the rate criterion and sometimes leading to inappropriate shocks in patients with implantable cardioverter defibrillator (ICD). ICD shocks are associated with worse mental health, impaired quality of life, and increased risk of mortality.

In patients with cardiac resynchronization therapy device with defibrillator (CRT-D), T-wave oversensing can also lead to a decline in the biventricular pacing rate.

Here, we present a case of a 70-year-old male who underwent CRT-D implantation and experienced an inappropriate shock three months after the operation. At this time, the biventricular pacing rate recorded in the pacing summary decreased from 99% to 75%. Intracardiac electrocardiogram revealed T-wave oversensing in the right ventricular lead as the cause of both unfavorable events. Although we could not avoid T-wave oversensing by adjusting the threshold of ventricular sensitivity, customizing frequency filter characteristics successfully resolved it. Inappropriate shock has never recurred and the biventricular pacing rate has been kept above 98% for the subsequent 22 months.

Keywords : Cardiac resynchronization therapy device with defibrillator (CRT-D), T-wave oversensing, Inappropriate shock, Biventricular pacing rate, Frequency filter