

タブレット端末により腹部植込みペースメーカーに発生したマグネットレスポンスに関する検討

往田有理¹ 山崎北斗¹ 小川禎治^{2*} 松岡道生²
青木一憲³

【背景・目的】腹部にペースメーカー(PM)を植込んだ小児患者において、電磁干渉(マグネットレスポンス)を認める症例を経験した。本研究では、電磁干渉の原因を検証し、安全予防策を検討した。【対象・方法】マグネットレスポンスエピソード件数がログに残る Abbott 社製 PM を対象とし、PM 本体が腹部に植込まれている患者 26 例で検討した。調査期間は 2022 年 1 月から 2023 年 2 月までに同エピソードが増加した 7 例の患者を対象に、電磁干渉の関連因子を検討した。【結果】患者は全員就学児童で、平均年齢は 8 ± 4 歳であった。1 カ月あたりのエピソード件数は平均 39 ± 91 件/月で、発生時間は就学時間帯に顕著に増加していた。学校内における電磁干渉対象物として、就学時間帯以外に自宅でも同エピソードを認めたため、学習用タブレットとの関連が疑われた。タブレットを調査した結果、内部に磁石が使用されていることが判明した。タブレット使用時は腹部から離すよう指導したところ、マグネットレスポンス作動は消失した。【結語】PM 本体が腹部に植込まれた児童が、タブレット端末を腹部に接触させた状態で使用する場合には PM に影響することが示唆され、注意が必要である。

(心電図, 2024 ; 44 : 180-188)

Keywords

- 小児
- 就学児
- ペースメーカー
- 腹部植込み
- 学習用タブレット
- 電磁干渉

1 兵庫県立こども病院診療部臨床工学室
(〒650-0047 兵庫県神戸市中央区港島南町1丁目6-7)
2 兵庫県立こども病院診療部循環器内科
3 兵庫県立こども病院診療部小児集中治療科
*は責任者を示す

I. はじめに

小児のペースメーカー(PM)管理における特徴として、心拍数が高いことによる不整脈と洞性頻脈との鑑別が困難である点や、心外膜リードのためペーシング・センシング後のファーフィールドセンシングが大きい点が挙げられ、生理学的、解剖学的にも成人と異なる問題点が存在する。また、成人の場合は鎖骨下前胸壁での PM 留置が多いが、小児は体格が小さくデバイス本体のサイズが非常に大きいこと、

Effect of Tablet Personal Computers on Electromagnet Interference in Pediatric Patients with Implanted Pacemakers in Abdomen
Ari Ota, Hokuto Yamasaki, Yoshiharu Ogawa, Michio Matsuoka, Kazunori Aoki

2024年5月7日 原稿受領 / 2024年6月26日 掲載承認

静脈径が細くリード挿入による血管損傷の可能性があることなどの理由から、経静脈リードではなく心外膜リードが第一選択であり、デバイス本体は腹筋直下(腹部)に留置されることが多い。マグネットレスポンス作動では、強い電磁場を受けるような環境においては、自己脈の有無に関わらず、センシングアンプ(自己脈)を無効とし、非同期モードでの強制ペーシングが入る。これはPMに備わっている一種の安全機構でもある。マグネットレスポンス作動時のPM動作は各メーカー機種により異なるが、非同期モードとなることで突然心拍数の変動が起こり、胸部不快感や立ち眩み等の症状を引き起こす危険性や、自己脈のある患者ではSpick-on-Tによる致死性不整脈が誘発される可能性も否定できない。

当院において、2022年1月から外来通院中のAbbott社製PM腹部植込み症例においてマグネットレスポンスエピソードが顕著に増加する事象が観察された。本研究では、腹部植込みと電磁干渉の要因について検討した。

II. 対象と方法

1. 対象

2022年1月から2023年2月まで(14ヵ月間)に外来通院中のAbbott社製PM(機種: Assurity MRI2272, Assurity 2240)を腹部に植込んでいる26症例を対象に検討した。マグネットレスポンス作動エピソードが表示されるのは、Abbott社とBoston社の2社のみである。Abbott社製PM植込み患者症例を検討対象とした理由は、当院ではAbbott社PMが使用されていたこともあり、事象発生件数の把握が可能となるためである。主要評価項目はマグネットレスポンスエピソードの発生件数とし、副次評価項目はエピソードが起きた時間とした。

2. 方法

すべての患者は、当院の3~6ヵ月毎のペースメーカー外来または毎月定期送信の遠隔モニタリングにより、定期的に経過観察された。自覚症状の確認や電磁干渉の原因精査のため、マグネットレスポンスエ

ピソード件数が多い症例に対しては、3ヵ月毎の外来受診時に患児から直接聞き取り調査を行った。

III. 結果

腹部に恒久的PMを植込んでいる外来通院症例26例(N=26)中、マグネットレスポンスエピソード件数が2022年1月以降に増加している7症例(n=7)を精査した(表1)。平均年齢 8 ± 4 歳(5~12歳、男児6人、女児1人)、平均身長 132 ± 13.8 cm(110~140.2 cm)、平均体重 29.3 ± 1 kg(19.6~38 kg)。いずれの患児も心機能に問題はなく、また行動制限などもなく、活動的に過ごしていた。1ヵ月あたりのマグネットレスポンスエピソード件数は平均 39 ± 91 件/月(最大167件/月)であった。7症例の患児は全員就学し、エピソードはいずれも就学時間帯に多く起きていた。2022年1月から2023年2月までのマグネットレスポンスエピソード件数を患児別に示す(表2)。マグネットレスポンスエピソード波形より持続時間は短く、すべて一時的な電磁干渉であった(図1)。結果の1症例として、1ヵ月あたり167件エピソードが起きていた患児に関しては、非同期モード(マグネットモード)による身体的症状が起きている可能性があったため、外来調整を行った。患児および家族に聞き取り確認を行うも、磁石を使っている物は周りにはなく原因不明であった。患児は原疾患が完全房室ブロックであり、心室はほぼペーシングに依存しているためか、マグネットモードに切り替わることでの違和感・不快感等の自覚症状はなかった。マグネットレスポンスエピソード一覧より時系列で確認すると、就学時間帯に多数起きていた(図2)。結果の1例として、表1の患児Cにおいて、2022年4月1日~2022年4月30日の1ヵ月間で、46件マグネットレスポンスが起きた事例をグラフ化すると、就学時間帯に発生していることが示されていた(図3)。ほかの患児に対しても症状の有無を確認したところ、一時的なマグネットモードのため違和感を訴えることはなかった。エピソードは持続時間が数秒程度であるため、学校内で

表 1 患者背景

| 氏名 | 年齢 (歳) | 性別 | PM植込み 基礎原疾患 | PM植込み時 年齢 | 自己脈 | | リード | | 設定 モード | 設定レート 上限/下限 (ppm) |
|----|-----------|----|-------------------------|--------------|-----|----|-----------|----|-----------|-------------------------|
| | | | | | 心房 | 心室 | 心房 | 心室 | | |
| A | 7 | 男児 | SSS (SCA5A遺伝子異常) | 4歳 | 無 | 有 | | | DDD | 50/150 |
| B | 7 | 男児 | CAVB (両大血管右室起始症修復後) | 3ヵ月 | 有 | 無 | | | DDD | 50/180 |
| C | 9 | 女児 | CAVB | 7ヵ月 | 有 | 無 | | | DDD | 70/180 |
| D | 9 | 男児 | CAVB | 生後10日 | 有 | 無 | スーチャーリード | | DDD | 60/180 |
| E | 11 | 男児 | CAVB [シェーグレン症候群(母体)] | 生後10日 | 有 | 無 | (バイポーラ極性) | | DDD | 60/180 |
| F | 12 | 男児 | CAVB (SCA5A遺伝子異常) | 9歳 | 有 | 無 | | | DDD | 50/180 |
| G | 14 | 男児 | CAVB (ノーウッド手術後) | 2ヵ月 | 無 | 無 | | | DDDR | 75/150 |

年齢は2024年7月時。SSS：洞不全症候群，CAVB：完全房室ブロック，スーチャーリード：Medtronic社製品番4968(リード長35cm)

表 2 マグネットレスポンスエピソード件数(2022年1月～2023年2月)

| 年齢(歳) | 性別 | エピソード件数(件/月)：(最小～最大，中央値) |
|---------|----|--------------------------|
| 5 | 男児 | 1～2(2) |
| 7(小学生) | 女児 | 13～47(23) |
| 8(小学生) | 男児 | 1～9(5) |
| 9(小学生) | 男児 | 1～2(2) |
| 10(小学生) | 男児 | 3～36(11) |
| 10(小学生) | 男児 | 1～167(17) |
| 12(小学生) | 男児 | 1～14(6) |

年齢は2022年1月時。いずれも小学生の患児で顕著に増加していた。

電磁干渉となりうる対象物があるかを確認した。対象患児および家族にマグネットレスポンスが捉えた時間帯(平日の朝：8時台や昼間：14時～15時台に多く見られた)を伝え、自宅や就学時の周辺環境への注意喚起を行った。学校には患児家族を通して、担任の先生へ配慮してもらおうようお願いした。エピソードサマリーより、自宅においても(土曜日・日曜日：時間帯はさまざま)同エピソードを認める患児がおり、持ち運び可能なポータブル電子機器である学習用タブレットを疑った。メーカーに学習用タブレットと電磁干渉の関係性を問い合わせるが、ポータブル電子機器を利用する際の無線LANやWi-Fi等の電波がPMに影響を与えるとは考えにくく¹⁾、外来時に学習用タブレットを使用する際の体

勢を再現してもらったところ、該当患児全員が腹部に学習用タブレットを接触させた状態で閲覧していることがわかった(図4)。電子機器から発生する磁気が影響している可能性を考え、植込み型除細動器(ICD)と電子機器との間に相互作用を生じうるとの海外文献報告²⁾を基に、学習用タブレット使用時は腹部に接触させず3cm(拳1つ分)距離を離すよう指導したところ、マグネットレスポンスエピソードは該当患児全員で消失した。

IV. 考 察

本研究では、腹部植込みPM症例を対象に電磁干渉原因としてタブレット端末による影響を調査した。腹部にタブレット端末を置いて閲覧をしていた

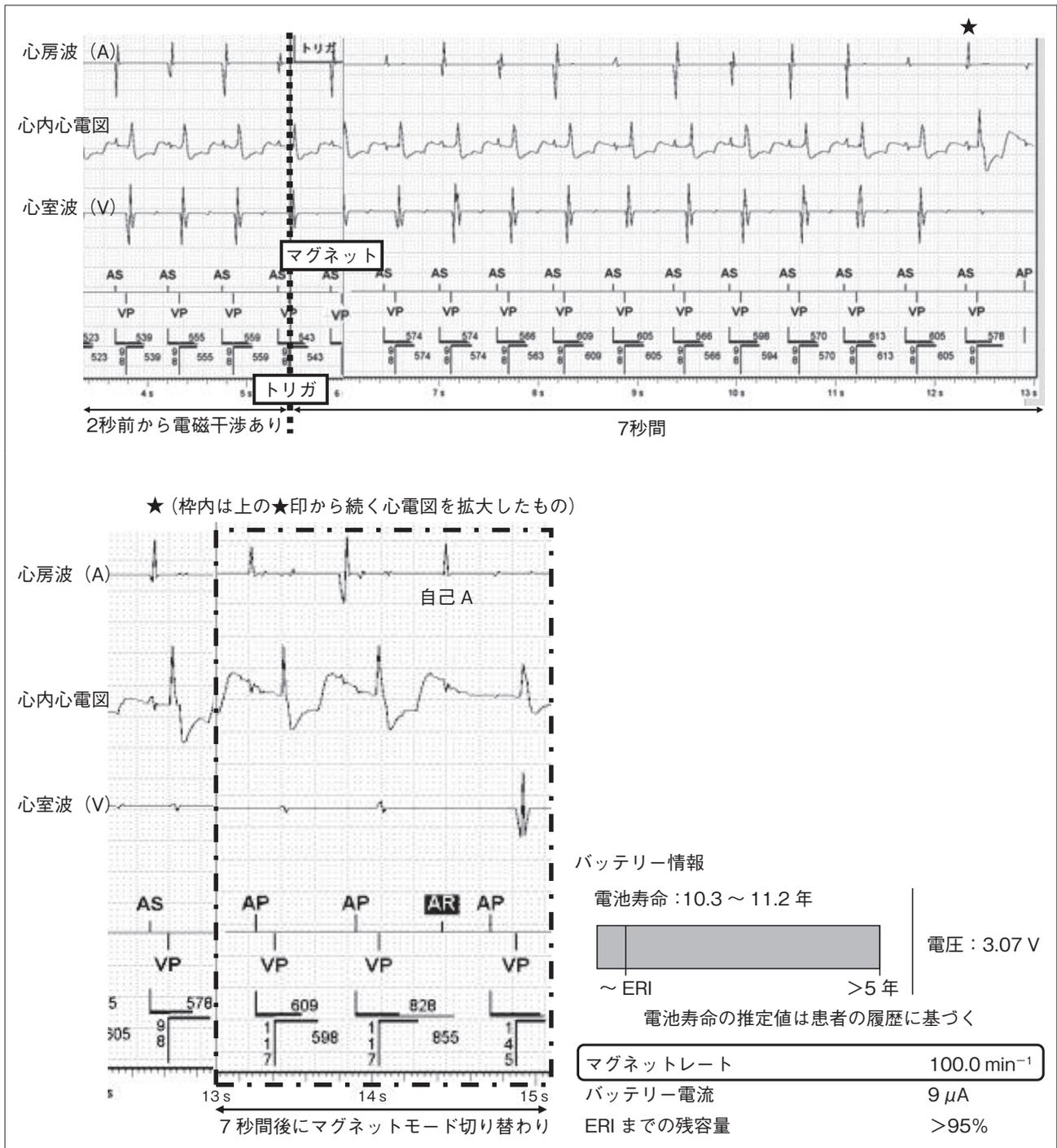


図1 マグネットレスポンス時の心内波形

波形は、表1の患児Cのエピソード波形である。マグネット作動時は非同期モード、マグネットレート、設定出力+1.0V、固定 AVdelay : 120 msで作動する。Abbott社のマグネットモード切替機序は、マグネットレスポンスエピソードがONの場合は電磁干渉を感知して2秒後にEGM(心内心電図読み込み)トリガし、その7秒後に非同期のマグネットモード(マグネットレート)に切り替わる。その7秒間で電磁干渉影響が解除された場合は、元の設定作動に復帰する。

| 日付/時刻 | ▼ゾーン/タイプ | CL(ms) | 治療 |
|------------------|---------------|--------|-------------------|
| 05-01-2022 19:30 | リアルタイムEGMフリーズ | N/A | |
| 04-27-2022 08:21 | マグネットレスポンス | N/A | |
| 04-27-2022 08:21 | マグネットレスポンス | N/A | 就学時間帯にエピソードが起きていた |
| 04-24-2022 18:08 | マグネットレスポンス | N/A | |
| 04-22-2022 09:21 | マグネットレスポンス | N/A | |
| 04-22-2022 09:20 | マグネットレスポンス | N/A | |
| 04-22-2022 09:19 | マグネットレスポンス | N/A | |
| 04-22-2022 09:18 | マグネットレスポンス | N/A | |

図2
マグネットレスポンスエピソード一覧
就学時間帯に多数起きていた。

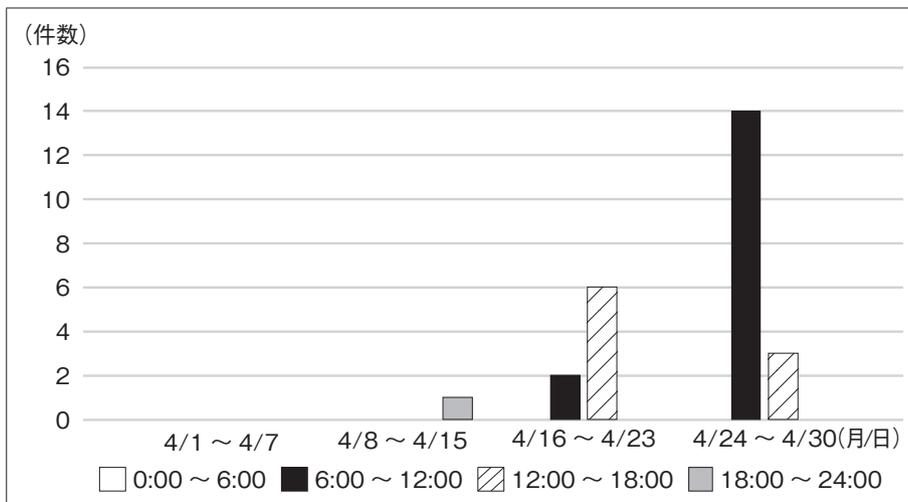


図3
患児Cにおけるマグネットレスポンスエピソードサマリー
(2022年4月1日～4月30日)
就学時間帯に多発していた。

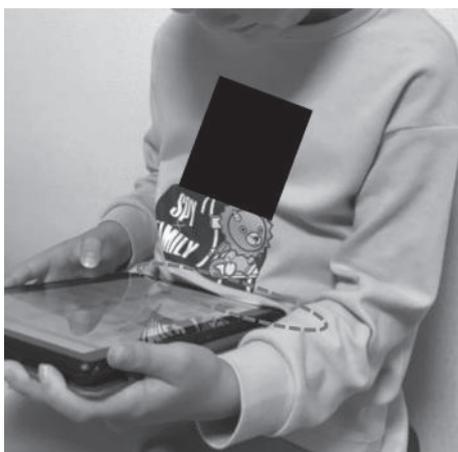


図4 タブレットを使用する際の体勢

ペースメーカー外来時にタブレットを使用する際の体勢を再現してもらったところ、該当患児全員が腹部に固定した状態で閲覧していた。



図5 ダイナミックスピーカー

ほとんどのタブレット端末は下部のUSB端子付近に1基もしくは2基、磁石の入った内蔵型ダイナミックスピーカーが装備されている。

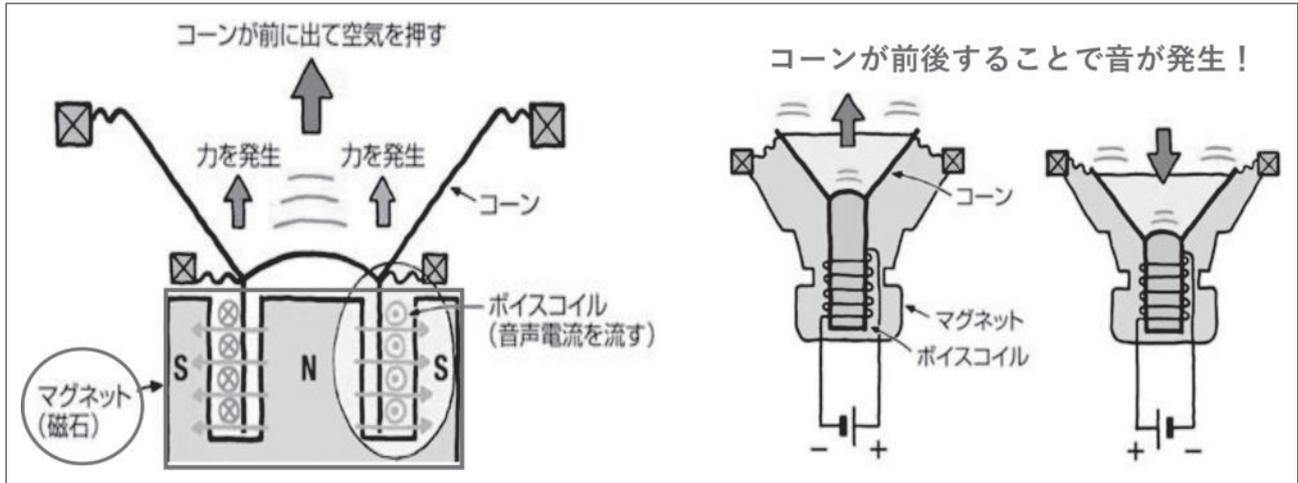


図6 ダイナミックスピーカーの仕組み

音声電流が流れると、ボイスコイル(永久磁石)が動き、振動板(コーン)を通じて音波を放射し、音声として再生される。



カラー図閲覧

患児全員に電磁干渉によるマグネットレスポンスエピソードが認められ、その主要因は学習用タブレット内部に設置しているボイスコイル(永久磁石)と関連していると考えられた。タブレットにはUSB端子付近に1基もしくは2基、磁石の入った内蔵型ダイナミックスピーカーが装備され、音源発生として永久磁石が使用されている機種がある(図5)。音声電流が流れるとボイスコイル(永久磁石)が上下に動き、振動板(コーン)を通じて音波を放射し、音声として再生される(図6)。高性能なモデル(ハイエンドタブレット：大画面で高性能)ほど、音量や音質に優れた機能を有しており、より強力なボイスコイルが内蔵されている。

PM本体が鎖骨皮下留置となる成人に比べ、小児の場合はPM本体が腹部に留置されることが多いため、電磁環境の影響を受けやすい。タブレット端末を腹部に接触させて使用する行為は電磁干渉を引き起こす可能性があることに留意し、家族や本人への注意喚起が重要であると考えられる。2022年1月よりマグネットレスポンス作動が顕著に増加した原因としては、新型コロナウイルスの感染拡大影響にて対面

学習が不可能となり、救済措置にて遠隔でのオンライン学習へと切り替えるため、文部科学省よりICT (Information and Communication Technology) を活用した学習指導支援が全国的に普及され始めたことも背景にあると考える。現在、ICT学習がさらに強化され、小中高を通じて授業内容でのタブレット学習やプログラミング授業が追加されており、体育授業内でも対面指導ではなくタブレットを活用した学生同士の技術指導が行われている。

教育のICT化環境整備が進む中、今後電磁干渉による健康被害が増加する可能性が危惧される。腹部植込み症例に対しマグネットレスポンス作動が起きないように対処するためには、電子機器が日常生活内に取り込まれることを理解した上で、リスクと安全に使用するための注意喚起、適切な指導[タブレット使用時は腹部から3cm離して(拳1つ分)使用する]が重要と考える。メーカーや機種によりマグネットモード時の設定レートおよび出力値が異なること、メーカーによってはマグネットレスポンスが起きているか把握できない(ログの記録が残らない)機種も存在する(表3)。今回は、ほかのメー

表3 マグネットレスポンス作動時の各社ペースメーカーの特徴

| メーカー | マグネットモード | マグネットレート (ppm) | 出力 (V/ms) | AVdelay (ms) | エピソード表示 | その他 |
|-----------|--|----------------|--------------|--------------|---------------------|--|
| Abbott | 非同期 | マグネットレート | 設定出力 + 1.0 V | 120 | あり (EGM記録あり) | <p>マグネットレートは電池残量によりペーシングレートが異なる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 電池残存期間 1 年以上：100 ppm 電池残存期間 1 年未満：97～98 ppm 電池交換指標 (EOL)：85 ppm <p>マグネットレスポンス EGM トリガ ON, バッテリーテスト ON の場合は、電磁干渉を感知して 2 秒後に EGM をトリガし、その 5 秒後にマグネットレート (バッテリーテスト) の非同期ペーシングを開始する。</p> <p>マグネットレスポンス EGM トリガ OFF, バッテリーテスト ON の場合は、電磁干渉を感知した直後からマグネットレート (バッテリーテスト) の非同期ペーシングを開始する。</p> <p>マグネットレート (バッテリーテスト) の非同期ペーシングは電磁干渉の影響がなくなった時点で、現パラメータへと復帰する。</p> |
| BIOTRONIK | 選択制 Auto：10 拍のみ ASYN：マグネット中 SYNC：作動変更なし | 90 | 設定出力 | 100 | なし (EGM記録なし) | <p>マグネットモード設定は、Auto, ASYN, SYNC の 3 種類で、ノミナルは Auto になっている。</p> <ul style="list-style-type: none"> Auto：10 拍 DOO/VOO/AOO 90 bpm (AVdelay 100 ms) で作動したのち元の設定に戻る。 ASYN：マグネット中は常に DOO/VOO/AOO 90 bpm (AVdelay 100 ms) で作動する。 SYNC：マグネットを当てても作動は変わらない。患児の場合は SYNC を推奨している。 |
| Boston | 選択制 BatteryTest：非同期 off：作動変更なし | 100 | 設定出力 | 100 | あり (条件付きで EGM 保存あり) | <p>マグネットモード設定は、BatteryTest (on), off の 2 種類で、ノミナルは on になっている。</p> <ul style="list-style-type: none"> BatteryTest：電池残量によりペーシングレートが異なる。 電池残存期間 1 年以上：100 ppm 電池残存期間 1 年未満：90 ppm 電池交換指標 (EOL)：85 ppm off：マグネットを当てても作動は変わらない。 <p>EGM 保存を ON にすると、マグネットレスポンスエピソードが記録される。</p> <p>EGM 保存 ON の場合は電磁干渉を感知して 2 秒後にデータ保存が開始となり、電磁干渉前の 2 分間および、電磁干渉を感知した後の最長 1 分間のデータが保存される。EGM 記録は 1 件保存した後に EGM 保存は off となる。再度 EGM 保存を ON にするには、プログラマーで読み込みを行い、パラメータより EGM 保存を ON にする必要がある。マグネットレスポンスエピソード件数がログでは残らない。</p> |
| Medtronic | 非同期 | 85 | 設定出力 | 100 | なし (EGM記録なし) | |
| MicroPort | 非同期 | 96 | 5.0 V/0.5 ms | 設定値 | なし (EGM記録なし) | |

非同期モード：非同期ペーシング(DOO/VOO/AOOに変更)。BIOTRONIK, Medtronic, MicroPortの機器はマグネットレスポンスエピソード件数は表示されない。

カーのデバイスでの本電磁干渉の発生についての検証は行っていないが、Abbott社製ペースメーカー以外のデバイスメーカーにおいても、同様の事象が発生している可能性は十分に考えられる。

今後、腹部にペースメーカー本体が植込まれている児童のタブレット端末の使用に関しては、注意が必要である。

V. 結 語

各デバイスメーカーから出されるペースメーカーの添付文書では、日常生活においてタブレット等の電子機器は影響がないとされているが、「腹部にPMを植込まれている症例のタブレット使用時は腹部から3cm離して(拳1つ分)使用する」と記載する必要があると考える。腹部植込み症例26例において、7例にマグネットレスポンス作動を認めた。理由として、腹部に電子機器を置いて閲覧する姿勢との関連性を認めた。電子機器による電磁干渉は健康被害のリスクがあるため、注意喚起が必要である。

付記

本論文は第23回日本心臓植え込みデバイスフォ

ローアップ研究会2023において発表した内容をまとめたものである。

利益相反・研究財源

本論文について、開示すべき利益相反事項はない。

編集注

本論文は『心電図』のチューター制度を利用している。チューターは安部治彦先生(地方独立行政法人くらて病院)にお務めいただいた。

[文 献]

- 1) 総務省：各種電波利用機器の電波が植込み型医療機器等へ及ぼす影響を防止するための指針。 <https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/ele/medical/guide.pdf> (2024年10月閲覧)
- 2) HealthDay：High-Tech Devices May Interfere With Your Implanted Defibrillator. <https://consumer.healthday.com/3-1-high-tech-devices-may-interfere-with-your-implanted-defibrillator-2656784193.html> (2024年10月閲覧)

Effect of Tablet Personal Computers on Electromagnet Interference in Pediatric Patients with Implanted Pacemakers in Abdomen

Ari Ota¹, Hokuto Yamasaki¹, Yoshiharu Ogawa², Michio Matsuoka², Kazunori Aoki³

¹Department of Clinical Engineering, Clinical Engineering Office, Hyogo Prefectural Children's Hospital

²Department of Cardiovascular Medicine, Hyogo Prefectural Children's Hospital

³Department of Pediatric Intensive Care, Hyogo Prefectural Children's Hospital

In pediatric patients with a pacemaker (PM) implanted in the abdomen, little is known about specific electromagnetic interference (EMI) from the use of tablet personal computer (PCs). We investigated the effects of tablet PCs on EMI in 26 pediatric patients who had implanted PM, in which a pulse generator is located in the abdominal wall. Abbott PMs with a residual number of magnet response episodes were investigated. The period investigated was between January 2022 and February 2023. Of the 26 patients, magnetic response was detected in 7, and factors for the cause of EMI were investigated. All of the 7 children, who had documented magnet response with interrogation, were school children with an average age of 8 years. The average number of episodes was 39 per month, with high incidence during school hours. Tablet PCs were determined to be the cause of EMI, because of the episode was allowed at home. It is well known that the inside structure of tablet PCs includes a magnet. After adequate instruction in the use of tablet PCs, the magnet response has disappeared completely. Careful attention should be paid in pediatric patients with pacemakers implanted in the abdomen, especially when using tablet PCs. Patients should be instructed to move the device away from the abdomen when using tablet PCs.

Keywords : Pacemaker, Electromagnetic interference, Tablet personal computer, Pediatric patient, Abdominal pulse generator