

心筋電極による小児期ペースメーカー治療の経験 心筋電極選択の妥当性についての検討

野間 美緒¹⁾, 平松 祐司¹⁾, 堀米 仁志²⁾, 高橋 実穂²⁾
榊原 謙¹⁾

筑波大学大学院人間総合科学研究科臨床医学系循環器外科¹⁾,
小児科²⁾

Key words :

小児期ペースメーカー治療, 心筋電極, 心内
膜電極, ステロイド溶出心外膜電極, 遺残
不用リード

Validity of Epicardial Pacing in Children

Mio Noma,¹⁾ Yuji Hiramatsu,¹⁾ Hitoshi Horigome,²⁾ Miho Takahashi,²⁾ and Yuzuru Sakakibara¹⁾

Departments of ¹⁾Cardiovascular Surgery and ²⁾Pediatrics, Institute of Clinical Medicine,
Graduate School of Comprehensive Human Sciences,
University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

Background: Rather than the epicardial approach, the transvenous approach is now being used for cardiac pacing in children, in order to benefit from the development of smaller leads and pulse generators.

Methods: We reviewed the findings obtained in our patients who underwent epicardial pacing during childhood.

Results: Epicardial pacing systems were implanted 17 times in 15 children from 1985 to 2005. Eleven patients had congenital complete atrioventricular block, one had sick sinus syndrome, and 2 had bradycardia after cardiac surgery for congenital heart disease. One patient had bradycardia due to long QT syndrome. Age at pacemaker implantation ranged from one day to 7 years 4 months, and body weight ranged from 1.9 kg to 24.5 kg. Pacing mode was VVI in 9 and dual chamber mode in 8 patients. No patients lost dual chamber function as a result of lead trouble. Follow-up duration was one month to 14 years, and 5 patients were observed for over 10 years. Lead fracture was suspected in two and infection in another two patients. Three patients were transferred to the transvenous pacing system after the growth period. There were no deaths related to the pacing system.

Conclusion: It is reasonable to perform epicardial pacing as long as possible in children in order to save their veins and endocardial space for use later in life.

要 旨

背 景：小児期に行われる恒久的ペースメーカー植込み術は心筋電極を用いるのが一般的であったが、近年機器の改良・縮小化が図られ、小児期においても、心筋電極よりもペースング条件の良い心内膜電極の使用が増えてきている。

目的・方法：今回われわれは、当科における心筋電極による小児期ペースメーカー治療の妥当性について検討した。

対象は1985～2005年に当科で小児期にペースメーカー植込み術を行った15例で、診断、植込み時年齢、体格、ペースングモード、植込み方法、心筋電極観察期間、観察期間中の経過、合併症の有無、電極条件などについて検討した。

結果・考察：成長期を過ぎて経静脈的ペースングへ移行した3例も含めて、追跡可能であった全例において、ペースメーカー治療としての機能が適切に維持されていた。合併症については、ドライポケット、断線疑い、感染が認められたが、ペースメーカーに起因する死亡例はなく、観察期間中リード条件の悪化によりdual chamber機能を失ったものもなかった。心内膜電極を小児に適用するにあたっては、心筋電極との年齢まで対応させた遠隔期の比較が行われ、また小児特有の遺在リードの問題が解決される必要があると考えられた。

結 論：体格的に成長が著しい小児期を可能な限り心筋電極で過ごし、その後ペースング条件の良い経静脈ペースングに移行する当科の方針は妥当であると考えられた。

はじめに

小児期に行われる恒久的ペースメーカー植込み術は、

リードの静脈径に対する相対的な太さや、児の成長に伴い発生するリードの長さの問題、体が小さいことによるペースメーカー本体の植込み部位の問題などから、

平成17年10月4日受付
平成18年6月28日受理

別刷請求先：〒305-8575 茨城県つくば市天王台 1-1-1

筑波大学大学院人間総合科学研究科臨床医学系循環器外科 野間 美緒

成人とは異なり心外膜側から心筋電極を取り付け、本体を腹部に植え込むという方法が主流であった。ところが近年直径の細いリードの開発や本体の縮小化、手術手技の工夫等により、小児期においても心筋電極よりもペースング条件の良い経静脈的アプローチによる心内膜電極の使用が増えてきている¹⁻³⁾。1980年に発足したThe Midwest Pediatric Pacemaker Registryでは900例を超える小児ペースメーカー症例の動向を報告しているが、これによると1995～1996年を境に心筋電極から心内膜電極へ、singleからdual chamberへと急速に移行している現況である⁴⁾。しかしながら当科では現在も心筋電極による小児期ペースメーカー治療を行っており、今回われわれはその妥当性について文献的考察を加えて検討した。

目 的

当科における心筋電極による小児期ペースメーカー治療の妥当性について検討する。

対象と方法

1985～2005年に当科では小児に対する心筋電極によるペースメーカー植込み術を15症例に対し17回(本体交換のみの手術は除く)行った。男児10例、女児5例であった。診断は構造的先天性心疾患を伴わない先天性完全房室ブロック8例、伴う先天性完全房室ブロック3例(動脈管開存症1例、心房中隔欠損症1例、修正大血管転位症1例)、洞機能不全症候群は1例であった。心内修復術後はファロー四徴症根治術後の完全房室ブロック1例、総肺静脈還流異常症術後の洞機能不全症候群が1例であった。QT延長症候群に伴う機能的房室ブロックが1例あった。これらの症例に対し以下の項目について検討した。植込み時の年齢・体格、ペースングモード、電極の植込み方法・部位、本体の植込み部位、心筋電極観察期間、植込み術後の経過、合併症の有無、電極条件。

結 果

初回植込み時年齢は生後1日～7歳4カ月で新生児・乳児期に行ったものが8例と半数以上であった(Table 1)。体重は1.9～24.5kg(中央値9.7kg)であった。植込み時のペースングモードはVVI9例、VDD2例であった。DDDは5例あり、このうち1例は修正大血管転位症に対する心内修復術と同時に両心室ペースングとした(症例13')。また拡張型心筋症を併発し重度の心不全に陥った1例に対し、DVIモードで両心室ペースングを行った(症例11')。

心室リードは全例心筋電極を用い、胸骨正中切開で右室心筋前面に固定したが、修正大血管転位症の1例では左室心筋となった(症例13)。動脈管開存症と同時手術の1例(症例8)と縦隔炎を併発したファロー四徴症術後の1例(症例10)は左開胸にて左室心筋に固定した。両心室ペースングの2例は胸骨正中切開で行った。ジェネレータ本体は全例腹部皮下にポケットを作成し収めた。

追跡可能であった13例の心筋電極観察期間は1カ月～14年0カ月で、10年を超えるものが5例あった。植込み術後の経過では、10年を超える5例(VVI1例、DDD2例、VDD2例)の交換手術回数は2～5回で、その間隔は平均4.2年であった。ペースメーカーとは無関係の心臓病死が5例あり(心筋症4例、肺高血圧症1例)、このうち4例が乳児期植込み症例であった。

成長期を過ぎて経静脈的ペースングへ移行したものが3例あり、1例は新生児期に植込まれた症例で、ペースング閾値が徐々に上昇してきたため5回の交換手術の後12歳11カ月時に経静脈へ移行した(症例3)。もう1例は7歳4カ月時に植込まれ、2回の交換手術の後19歳8カ月時に経静脈へ移行した(症例4)。3例めは閾値と電極抵抗値が変動することから断線が疑われ、総肺静脈還流異常症の根治手術などに関連して複数回の開胸手術の既往があったため、9歳11カ月時に経静脈的ペースングへ移行した(症例7)。この症例は経静脈移行7年後の交換手術の際にポケット内余剰リードの心内への送り込みを同時に行った。3例とも経過中ペースング治療に支障を来すことなく、また経静脈へ移行後も順調に経過している。

合併症としては、ドライポケットのためポケット内再固定術を要したものが1例(症例7)、変動する閾値と電極抵抗値から断線が疑われたものが前述の経静脈移行例のほかにもう1例あった(症例10)、双極から単極に変更することでリードの継続使用が可能であった。新生児期・乳児期早期に植込み術を行った2例にポケット部からの感染があり、いずれも本体だけでなくリードの摘出も行い完治した(症例13, 15)。このうちQT延長症候群の1例で経右心房心内膜電極によるペースングへ移行した(症例15)。

心室リードはおもにscrew型の心外膜用リードを10例(症例1～10)に用い、植込み時の平均ペースング閾値は1.02v/0.47msで、8年間の観察期間の後は2.33v/0.48msであった(Table 2)。2001年以降の7例(症例11～15)ではステロイド溶出心外膜電極を用い、植込み時の平均ペースング閾値は1.72v/0.50msで、11カ月の観察期間後は1.41v/0.46msであった。心房リードは心外膜用リード

Table 1 Individual patient data with epicardial pacing

Case	Sex	Diagnosis	Age at initial implantation	Weight	Pacing mode Initial/Recent	Follow-up Year Month	Postoperative course
1	F	Congenital AVB	1M	3.5 kg	VVI/VVI	2Y2M	Lost to follow-up
2	M	SSS · HOCM	5Y4M	15.4 kg	DDD/DDR	10Y11M	Died of HOCM at 16Y after 4 times generator exchange
3	M	Congenital AVB	10D	2.7 kg	VVI/VVI	12Y11M	Intravenous implantation at 12Y11M after 5 times generator exchange Alive and well
4	M	Congenital AVB	7Y4M	24.5 kg	DDD/DDDR	12Y4M	Intravenous implantation at 19Y8M after 2 times generator exchange Alive and well
5	F	Congenital AVB	1Y11M	9.7 kg	DDD/DDD	1Y2M	Lost to follow-up
6	M	Congenital AVB	6Y5M	20.5 kg	VDD/VDD	14Y0M	Two times generator exchange Alive and well
7	F	SSS · AVB s/p TAPVC repair	5Y3M	16.5 kg	VVI/VVI	4Y8M	Reoperation for dry pocket at 6Y11M Intravenous implantation at 9Y11M for suspected lead fracture Alive and well
8	M	Congenital AVB PDA 21trisomy	29D	2.5 kg	VVI/VVI	1Y8M	Died of HCM at 1Y9M Generator exchange at 1Y4M
9	M	Congenital AVB	1Y8M	10.4 kg	DDD/VDD	12Y10M	Two times generator exchange Alive and well
10	F	AVB s/p TOF repair	4Y0M	13 kg	VVI/VVI	7Y3M	Changed to unipolar from bipolar pacing at 8Y7M Generator exchange at 9Y6M Alive and well
11	M	Congenital AVB	1M	2.7 kg	VVI/VVI	2Y11M	Changed to cardiac resynchronization therapy (CRT) at 3Y0M for DCM
11'	M	Same as above s/p pacemaker implantation DCM	3Y0M	10 kg	DVI/DVI (biventricular pacing)	6M	Died of DCM at 3Y6M
12	F	Congenital AVB ASD, PDA, s/p PDA ligation	5M	2.7 kg	VVI/VVI	1Y4M	Died of pulmonary hypertension at 1Y9M
13	M	Congenital AVB corrected TGA, PA, VSD s/p B-T shunt	1M	3.4 kg	VVI/VVI	2M	Removal of generator at 4M, and electrode at 8M for infection
13'	M	Same as above s/p pacemaker infection	2Y0M	9.9kg	DDD / DDD (biventricular pacing)	1Y2M	Alive and well
14	M	Congenital AVB DCM	8M	6 kg	VDD/VVI	1Y4M	Died of DCM at 2Y4M
15	M	Long QT syndrome VT, AVB	1D	1.9 kg	VVI/VVI	1M	Removal of generator and electrode at 1M for infection Transatrial endocardial pacing at 2M Alive and well

AVB: atrioventricular block, SSS: sick sinus syndrome, H (O) CM: hypertrophic (obstructive) cardiomyopathy, s/p: status post, TAPVC: total anomalous pulmonary venous connection, PDA: persistent ductus arteriosus, TOF: tetralogy of Fallot, DCM: dilated cardiomyopathy, ASD: atrial septal defect, TGA: transposition of the great arteries, PA: pulmonary atresia, VSD: ventricular septal defect, B-T: Blalock-Taussig, VT: ventricular tachycardia

Table 2 Epicardial pacing at implantation and follow-up

Ventricular pacing						
Type of electrode	n	Pacing threshold (mean)		Sensing (mean)		Follow-up Year Month (mean)
		Initial	Recent	Initial	Recent	
Standard	10	1.02 v/0.47 ms	2.33 v/0.48 ms	12.46 mv	9.45 mv	8Y 0M
Steroid eluting	7	1.72 v/0.50 ms	1.41 v/0.46 ms	11.27 mv	10.58 mv	11M

Atrial pacing						
Type of electrode	n	Pacing threshold (mean)		Sensing (mean)		Follow-up Year Month (mean)
		Initial	Recent	Initial	Recent	
Standard	5	1.90 v/0.43 ms	2.00 v/0.44 ms	2.32 mv	3.27 mv	10Y 3M
Steroid eluting	3	0.70 v/0.50 ms	1.42 v/0.40 ms	4.2 mv	1.95 mv	1Y

が1例, 1990年からは心内膜用双極リードを心房外膜側からscrew inし心房壁でくるんで固定したものを4例で使用し, これらの植込み時の平均心内電位は2.32mvで10年3カ月の観察期間の後は3.27mvであった。2001年以降の3例では心室電極と同じステロイド溶出心外膜電極を用いた。観察期間中リード条件の悪化によりdual chamber機能を失ったものはなかった。

考 察

成人におけるペースメーカ治療では, 低侵襲でリード条件が良くリードトラブルも少ないことから, 経静脈的に植え込む心内膜電極が第一選択として広く用いられているが, 近年機器の改良・開発, 手術技術の向上により小児期においても心内膜電極の使用が急速に増加している⁴⁾。

鎖骨下静脈が細くリード挿入が困難であることや, 静脈の閉塞の問題に対しては径の細いリードが開発され, またMolinaらは内頸静脈を選択することにより乳児期にも心内膜電極の挿入が可能であると報告している⁵⁾。成長に伴う牽引によるリードの離脱, 断線, 条件の悪化に対しては, screw in型固定のリードの使用, 心臓内や下大静脈内に成長分のリードをたるませておく, 手術のたびにリードを送り込む, リード刺入部の固定に吸収糸を用いて受動的にslidingさせるなどの手技上の工夫が報告されている⁵⁻⁹⁾。

一方で, 小児期の心筋電極によるペーシングの使用を支持する報告もある^{10, 11)}。最大の欠点ともいえるリード条件の悪さに対しては近年ステロイド溶出心外膜電極が開発され, これはペーシング・センシングとも従来の心内膜電極に匹敵する良好で安定した条件を長く維持することが可能である¹²⁻¹⁴⁾。また, この電極は小型であるため体格の小さい乳幼児のdual chamber pacing

にも支障を来さず, 固定は縫着によるため小児の薄い心筋を貫通する危険がなく安全である¹⁵⁾。ステロイド溶出心外膜電極に, 閾値の自動計測と出力調整を行うautocapture機能を併用することで, 電池寿命の延長を期待できるとの報告もある¹⁶⁻¹⁸⁾。当科でも2001年からこのステロイド溶出心外膜電極を用い始めたが, 初期のリード条件としては問題ないようであり, 今後の中期・遠隔期の経過を観察していきたい。また当科で用いた心内膜用双極screw inリードを心外膜側から心房壁に固定したものが良好なセンシングを長期間にわたり維持しており, 選択肢の一つになると考えられた。

小児期における心内膜電極使用の障壁に対し, 機器の改良・縮小化をはじめとしたさまざまな解決策が講じられるようになり, 小児期においても今後ますます心内膜電極を用いた, より高い治療効果を期待したペースメーカ植込みが増えていくと考えられる。しかし低年齢・低体重児に心内膜電極使用が可能との報告が相次ぐ一方で^{19, 20)}対象疾患や年齢まで対応させた, 遠隔期における心内膜電極と心筋電極の治療成績や合併症についての比較を行った報告はまだみられない^{13, 21)}。当科で乳児期早期にやむを得ず経右心房心内膜電極による植込みを行った1例(症例15)では, 心室穿孔の合併を経験しており, 改めて小児期における心内膜電極使用の難しさを認識させられた。

小児期に経静脈的に心内膜電極を用いた場合には, 多数の不用リードが血管や心臓内に遺残する状態が起こると予想されるが, このことが将来的に心機能へ及ぼす悪影響の可能性やペースメーカ治療そのものの障害となる可能性などについてはまだ十分な検討がなされていない。遺残不用リードは, ペースメーカ使用年月が長期にわたる小児特有の, 全例に共通する問題であるため, 今後十分な検討が必要である。また, 現在

本邦では有効なリード抜去・回収システムがなく，好成績が報告されているレーザーによるリード癒着剥離装置^{22, 23)}の認可に向けた早急な対応が待たれる．

今回の検討では症例数も少なく観察期間も短い，追跡可能であった全例において徐脈性不整脈に対するペースメーカ治療としての機能が維持されており，交換手術の間隔やリードの耐久性，合併症の頻度，いずれも小児期の成長発達に大きく支障を来さない適正な結果であった．経静脈的ペースメーカへ移行した症例のその後も順調な経過であり，体格的に成長が著しい小児期を心筋電極で過ごし，可能な限り継続使用した後にペースメーカ条件の良い経静脈ペースメーカへ移行する当科の方針も選択肢の一つと考えられた．乳児期にペースメーカ治療を要する児の生命予後は良くないため遠隔期まで経過観察可能な症例は多くないが⁴⁾，引き続き症例を重ねて経過を観察し，心内膜電極の小児への導入については，年齢まで対応させた遠隔期の比較や遺残リードの問題に関する報告を待ちつつ適応範囲を慎重に検討していきたい．

結 語

体格的に成長が著しい小児期を可能な限り心筋電極で過ごし，その後ペースメーカ条件の良い経静脈ペースメーカへ移行する当科の方針は，小児期のペースメーカ治療として妥当であると考えられた．

【参考文献】

- 1) Lau YR, Gillette PC, Buckles DS, et al: Actuarial survival of transvenous pacing leads in a pediatric population. *Pacing Clin Electrophysiol* 1993; 16: 1363-1367
- 2) Hayes DL, Holmes DR Jr, Maloney JD, et al: Permanent endocardial pacing in pediatric patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1983; 85:618-624
- 3) Gillette PC, Shannon C, Blair H, et al: Transvenous pacing in pediatric patients. *Am Heart J* 1983; 105: 843-847
- 4) Sewer GA, Dorostkar PC, Leroy SS: Pediatric pacing and defibrillator usage, in Ellenbogen KA, Kay GN, Wilkoff BL (eds): *Clinical Cardiac Pacing and Defibrillation* (2nd ed). Philadelphia, W.B. Saunders, 2000, p953
- 5) Molina JE, Dunnigan AC, Crosson JE: Implantation of transvenous pacemakers in infants and small children. *Ann Thorac Surg* 1995; 59: 689-694
- 6) Sullivan JJ, Jameson S, Gold RG, et al: Endocardial pacemakers in children: Lead length and allowance for growth. *Pacing Clin Electrophysiol* 1993; 16: 267-271
- 7) Gasparini M, Mantica M, Galimberti P, et al: Inferior vena cava loop of the implantable cardioverter defibrillator endocardial lead: A possible solution of the growth problem in pediatric implantation. *Pacing Clin Electrophysiol* 2000; 23: 2108-2112
- 8) 小林 順, 小池一行, 小林俊樹, ほか: 小児期恒久的経静脈ペースメーカの長期管理．*不整脈*1998; 14: 67-71
- 9) Stojanov P, Velimirovic D, Hrnjak V, et al: Absorbable suture technique: Solution to the growth problem in pediatric pacing with endocardial leads. *Pacing Clin Electrophysiol* 1998; 21: 65-68
- 10) Thomson JDR, Blackburn ME, Van Doorn C, et al: Pacing activity, patient and lead survival over 20 years of permanent epicardial pacing in children. *Ann Thorac Surg* 2004; 77: 1366-1370
- 11) Villain E, Martelli H, Bonnet D, et al: Characteristics and results of epicardial pacing in neonates and infants. *Pacing Clin Electrophysiol* 2000; 23: 2052-2056
- 12) Beaufort-Krol GCM, Mulder H, Nagelkerke D, et al: Comparison of longevity, pacing, and sensing characteristics of steroid-eluting epicardial versus conventional endocardial pacing leads in children. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 117: 523-528
- 13) Horenstein MS, Hakimi M, Walters H 3rd, et al: Chronic performance of steroid-eluting epicardial leads in a growing pediatric population: A 10-year comparison. *Pacing Clin Electrophysiol* 2003; 26: 1467-1471
- 14) Cohen MI, Bush DM, Vetter VL, et al: Permanent epicardial pacing in pediatric patients: Seventeen years of experience and 1200 outpatient visits. *Circulation* 2001; 103: 2585-2590
- 15) 橋本毅久, 菅原正明, 渡辺 弘, ほか: 新生児にステロイド心筋電極を用いたペースメーカ植込みの1例．*胸部外科* 1997; 50: 965-967
- 16) Cohen MI, Buck K, Tanel RE, et al: Capture management efficacy in children and young adults with endocardial and unipolar epicardial systems. *Europace* 2004; 6: 248-255
- 17) Schmid FX, Nowak B, Kampmann C, et al: Cardiac pacing in premature infants and neonates: Steroid eluting leads and automatic output adaptation. *Ann Thorac Surg* 1999; 67: 1400-1402
- 18) Bauersfeld U, Nowak B, Molinari L, et al: Low-energy epicardial pacing in children: The benefit of autocapture. *Ann Thorac Surg* 1999; 68: 1380-1383
- 19) Till JA, Jones S, Rowland E, et al: Endocardial pacing in infants and children 15 kg or less weight: Medium-term follow-up. *Pacing Clin Electrophysiol* 1990; 13: 1385-1392
- 20) Kammeraad JAE, Rosenthal E, Bostock J, et al: Endocardial pacemaker implantation in infants weighing 10 kilograms. *Pacing Clin Electrophysiol* 2004; 27: 1466-1474
- 21) Sachweh JS, Vazquez-Jimenez JF, Schondube FA, et al: Twenty years experience with pediatric pacing: Epicardial and transvenous stimulation. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000; 17: 455-461
- 22) Byrd CL, Wilkoff BL, Love CJ, et al: Clinical study of the laser sheath for lead extraction: The total experience in the United States. *Pacing Clin Electrophysiol* 2002; 25: 804-808
- 23) Moon MR, Camillo CJ, Gleva MJ: Laser-assist during extraction of chronically implanted pacemaker and defibrillator leads. *Ann Thorac Surg* 2002; 73: 1893-1896