

腋窩ポケット・経胸腔アプローチによる小児のペースメーカ治療： リード不全とポケット合併症を回避する工夫と中期遠隔成績

小坂 由道, 麻生 俊英, 武田 裕子, 小野 裕國

神奈川県立こども医療センター心臓血管外科

Key words:

pacemaker, thoracotomy, sick sinus syndrome, congenital heart block, polysplenia

Trans-thoracic Pacemaker Implantation Technique with Axillary Pocket Creation: Effective and Useful in Neonates, Infants and Younger Children

Yoshimichi Kosaka, Toshihide Asou, Yuko Takeda, Hirokuni Ono

Department of Cardiovascular Surgery, Kanagawa Children's Medical Center, Yokohama, Japan

Background: In order to avoid several problems associated with epicardial leads in neonates, infants and younger children, we applied the trans-thoracic approach with creation of a pacemaker pocket in the axillary region (axillary approach).

Purpose: The aim of this study was to evaluate the adequacy of the present approach based on midterm results.

Methods: Seventeen patients who underwent pacemaker implantation using the axillary approach at our institution were investigated. All patients were less than 6 years of age at the time of surgery. Post-operative complications, lead characteristics and freedom from lead failure were retrospectively investigated. The results were compared with those of 20 patients who previously underwent pacemaker implantation using the subxiphoid approach with the creation of a pacemaker pocket beneath the rectus muscle of the abdomen (subxiphoid approach) at our institution.

Results: The median age and body weight at the time of surgery were 9 months (4 days to 6 years) and 7.1 kg (2.6 to 17 kg), respectively. Eight patients had previously undergone sternotomy. In three patients, pacemaker systems were re-implanted using the present approach because of complications involving the epicardial leads previously implanted using other techniques. Twenty-four pacing leads (13 atrial, 11 ventricular) were implanted using the axillary approach. Mean follow-up duration was 35 ± 24 months (mean \pm SD, longest: 76 months). No post-operative complications were noted except bacterial infection of the generator pocket three months after implantation in one patient. Elevation of the pacing threshold occurred in only one case. The 5-year freedom from lead failure rate was 94% and was superior to that of the subxiphoid approach (72%).

Conclusion: Midterm results of the axillary approach are satisfactory. We conclude that the axillary approach is potentially useful for pacemaker implantation in neonates, infants and younger children.

要 旨

背景：腋窩ポケット・経胸腔アプローチ(腋窩アプローチ)によるペースメーカ移植術は、心外膜リードによるペースメーカ治療の問題点を解決できる可能性があると考え、2003年以降、経静脈リードの使用が困難な新生児、乳幼児に適用してきた。

目的：中期遠隔成績からみた腋窩アプローチの妥当性を検討すること。

方法：2003年9月～2009年12月までの6歳以下17症例を対象とし、術後合併症とリード特性、リード不全回避率を検討した。比較対象として2003年8月以前に当院で腹直筋下ポケット・剣状突起下アプローチ(剣状突起下アプローチ)を行った20症例を用いた。

結果：手術時年齢、体重は中央値で9カ月(日齢4～6歳)、7.1 kg (2.6～17 kg)。8例が胸骨正中切開の既往を有し、3例がペースメーカ再手術症例であった。移植されたリードは24本(心房：13本、心室：11本)。観察期

平成22年4月5日受付 別刷請求先：〒399-8288 長野県安曇野市豊科3100

平成22年12月21日受理 長野県立こども病院心臓血管外科 小坂 由道

間は平均 35 ± 24 カ月(最長 76 カ月)。術後早期の本体細菌感染 1 例以外に合併症は認められず、遠隔期のリード特性劣化は 1 例のみであった。術後 5 年でのリード不全回避率は 94%で、対象群(72%)と比較し良好であった。**結論**：中期遠隔成績から腋窩アプローチは新生児、乳幼児のペースメーカー移植術において有用な方法であると思われた。

はじめに

新生児、乳幼児に対するペースメーカー手術では、細い血管へのリード挿入と留置に伴う合併症のリスク、合併する心奇形による解剖学的要因、さらに成長に伴うリードの伸展など経静脈リードの使用には多くの問題があり、心外膜リードを使用する機会が多い。当院では 2003 年 9 月以降、経静脈リードの使用が困難な新生児、乳幼児に対して腋窩ポケット・経胸腔アプローチ(以下、腋窩アプローチ)で移植術を行ってきた。腋窩アプローチでは側開胸で心外膜リードを装着し、リードは胸腔内経由で肋間を貫いて胸腔外に誘導し、腋窩で本体と接続する。本アプローチでペースメーカー移植術を行った新生児、乳幼児の中期遠隔成績を検討した。

対 象

2003 年 9 月～2009 年 12 月の間にペースメーカー移植術を行った 6 歳以下の 17 症例を対象とした(Table 1)。手術時年齢、体重はそれぞれ中央値で 9 カ月(日齢 4～6 歳)、7.1 kg(2.6～17 kg)。体重 3 kg 未満の症例が 4 例あった。多脾症候群 6 例を含む 11 例に心内病変の合併を認めた。9 例は胸骨正中切開による根治術後の症例であったが、術後の房室ブロックは 1 例のみであった。心内病変の合併がない 6 例はすべて先天性完全房室ブロックであった。3 症例はペースメーカー治療中の再手術で、先行手術は剣状突起下アプローチで施行され、上腹部に本体が移植されていた。それぞれ急激な閾値上昇、ペースメーカー本体の腹腔内陥入、断線のために再手術を腋窩アプローチで行った。

方 法

手術成績、術後合併症、リード特性の変化とリード不全回避率について検討した。リード特性である刺激閾値は最小エネルギー閾値(ET)として以下の式から求めた。

$$ET (\mu J) = [\text{voltage (V)}^2 \times \text{pulse duration (ms)} \times 10^6] / [\text{resistance (ohms)} \times 1000 \text{ ms/s}]$$

リード不全回避率は以前(1990 年 1 月～2003 年 8

月)、当院で剣状突起下アプローチによる移植を行った 6 歳以下の 20 症例を対象として比較検討した。結果は中央値または平均値±標準偏差で示し、リード不全回避率には Kaplan-Meier 法を、検定には Log-rank test を用いた。非心臓死亡は打ち切り例とした。

手 術

心房ペーシングのみを行う症例では利き腕と反対側の腋窩からのアプローチを基本とした。開胸手術の既往がある場合には反対側を、また、同時施行手術がある場合にはそのアプローチ側を優先させた。心室ペーシングを必要とする症例では心尖部のある側からのアプローチを基本とした。全身麻酔下に側臥位で側胸部皮膚割線に沿って斜切開をおき、第 4 肋間からアプローチした。全例ステロイド溶出リード(Medtronic model 4965, 4968, 4092, Medtronic Inc, USA)を使用した。縫着直後にリードテストを行った。ペーシングは心房、心室とも 1.5 V / 0.5 msec 以下の出力での捕捉と、500 ohms 以上の電気抵抗が得られる場所を適正とした。センシングは心房で 1.5 mV、心室で 4.0 mV 以上の電位を感知できる場所を適正とした。手術終了時には全例で 1.0 V / 0.5 msec 未満の刺激閾値を得ることができた。心房リードの移植場所は心耳を避け、心室から離れた壁運動が少ない場所に移植した。リードは胸腔内で大きなループを作りながら第 3 肋間を貫いて胸腔外へ誘導し、本体と接続した。本体は側胸部前鋸筋下に作成した腋窩ポケットに収納した(Fig. 1)。

結 果

23 本の心外膜リード(心房：12 本、心室：11 本)と 1 本の経静脈リード(心房)、合計 24 本を移植した。刺激閾値上昇のために再手術を行ったフォロー四徴症根治術後症例(patient 1)は右房への心外膜リード移植を予定していたが、良好な閾値を得ることができなかったため、経静脈用の tined tip 型リードを右房壁から穿通させ、先端を心内膜に固定した。設定モードは AAI が 6 例、VVI が 4 例、DDD が 7 例だった。出血、気胸など開胸手術に伴う合併症は認めなかった。早期産児の 1 例(patient 5)を除いた 16 例の術後平均入院期

Table 1 Patient characteristics

Patient No.	Age	Weight (kg)	Arrhythmia diagnosis	Intra-cardiac lesions	Prior approach	Approach side	Pacing mode	Atrial pacing site	Ventricular pacing site	Follow-up duration (months)	Result
1	3 years	10.1	Advanced SSS, s/p PMI, Lead failure	TOF, s/p ICR	Midline	right	AAI	RA		76	Alive
2	5 years	14.0	Congenital AVB			left	VVI		LV	66	Alive
3	21 days	2.6	Congenital AVB			left	VVI		LV	65	Alive
4	3 years	12.8	Congenital AVB, s/p PMI, Generator migration			left	DDD	LA	LV	63	Alive
5	4 days	2.6	Congenital AVB			left	VVI		LV	56	Alive
6	6 years	17.9	Polysplenia, CAVB, s/p PMI, Lead failure	pAVSD, s/p ICR	Midline	left	DDD	Left side atrium	LV	53	Alive
7	8 months	7.0	Congenital AVB			left	DDD	LA	LV	44	Alive
8	9 months	7.1	Polysplenia, SSS	pAVSD with IVC interruption, s/p ICR	Midline	right	AAI	Right side atrium		13	Late death
9	7 months	3.9	Congenital SSS	ASD, s/p ICR	Midline	right	AAI	RA		30	Alive
10	2 months	3.2	Postoperative AVB	CoAVSD, s/p ICR	Midline	left	VVI		LV	27	Alive
11	2 years	9.6	Advanced SSS	pAVSD, s/p ICR followed by MVR	Midline	left	DDD	LA	LV	18	Alive, Lead failure
12	4 months	5.5	Polysplenia, SSS	Unbalanced cAVSD, s/p BCPS	Right lateral, Midline	right	AAI	Right side atrium		17	Alive
13	5 years	17.6	Congenital AVB			left	DDD	LA	LV	17	Alive
14	1 year	7.7	Polysplenia, SSS	cAVSD, s/p ICR, Redo, SAS repair	Left lateral, Midline	right	AAI	Right side atrium		16	Alive
15	11 days	2.7	Congenital SSS	pAVSD, Before ICR		left	AAI	LA		15	Alive
16	1 year	7.8	Polysplenia, SSS, AVB	pAVSD, Before ICR		left	DDD	Left side atrium	LV	12	Alive
17	1 month	2.9	Polysplenia, CAVB	Dextrocardia, Unbalanced cAVSD, s/p PAB	Midline	right	DDD	Right side atrium	LV	2	Alive

SSS: sick sinus syndrome, PMI: pacemaker implantation, AVB: atrioventricular block, CAVB: congenital atrioventricular block, TOF: tetralogy of Fallot, ICR: intracardiac repair, pAVSD: partial atrioventricular septal defect, IVC: inferior vena cava, ASD: atrial septal defect, CoA: coarctation of aorta, VSD: ventricular septal defect, MVR: mitral valve replacement, cAVSD: complete atrioventricular septal defect, BCPS: bidirectional cavopulmonary shunt, SAS: subaortic stenosis, PAB: pulmonary artery banding, RA: right atrium, LA: left atrium

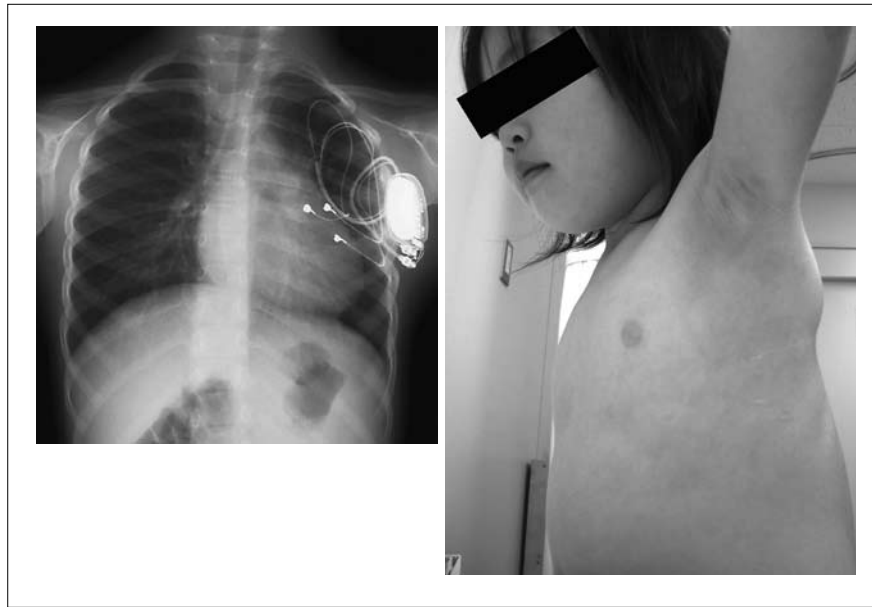


Fig. 1 Chest X-ray and a picture of an axillary region of 4-year-old girl who underwent an axillary approach pacemaker implantation at 8 months old.

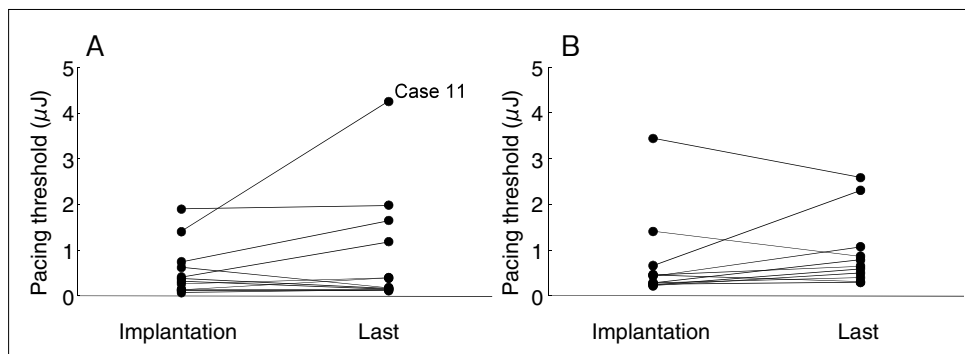


Fig. 2 Atrial (A) and ventricular (B) lead characteristics at the implantation and at the last follow-up

間は 4 ± 1 日であった。

術後合併症はペースメーカポケットの細菌感染を1例に認めた(patient 5)。外来で術後3カ月時に皮膚切開創から排膿し、メチシリン耐性ブドウ球菌が検出された。保存的治療の後、反対側で腋窩アプローチによる移植術を行うとともに、旧ペースメーカシステムを除去し治癒を得た。そのほかに合併症を認めなかった。外来観察中に1例を肺炎で失った(patient 8, 術後13カ月)。

植え込み直後および最終外来でのリード特性を Fig. 2 に示した。刺激閾値の上昇 ($> 3 \mu\text{J}$) を心房リード1本に認めた(patient 11)。リード不全を刺激閾値の上昇、リード使用の断念とそれに伴うモード変更、再手術と定義した。リード不全回避率は3年94% ($n=6$)、

5年94% ($n=4$)であった。

腋窩アプローチのリード不全回避率を剣状突起下アプローチの回避率と比較した。両群の患者背景に差異を認めなかった(Table 2)。剣状突起下アプローチ群では刺激閾値の上昇を6例に、リード断線を4例に認めた。リード不全回避率は3年84% ($n=15$)、5年72% ($n=11$)であった。症例が少なく統計学的な有意差は認められなかったが、腋窩アプローチのほうがリード不全の発生が少ない傾向にあった(Fig. 3, Log-rank test, $p = 0.67$)。

ペースメーカ本体に関連する合併症について検討した。腋窩アプローチでは細菌感染を1例(術後3カ月、メチシリン耐性ブドウ球菌)に認めたが、ポケット部皮膚潰瘍や本体の他臓器への迷入を認めなかった。剣

Table 2 Patients' characteristics of the axillary approach and the subxiphoid approach

Variables	Axillary	Subxiphoid	p Values
Number	17	20	
Mean age \pm SD (year)	2.0 \pm 2.2	2.3 \pm 2.2	ns
Mean weight \pm SD (kg)	7.9 \pm 5.1	8.2 \pm 5.1	ns
Heterotaxy	6	4	ns
Surgical AVB	1	4	ns
Congenital AVB	7	9	ns
SSS	8	7	ns
Intracardiac lesion	11	15	ns

SD: standard deviation, AVB: atrioventricular block, SSS: sick sinus syndrome, ns: not significant

状突起下アプローチではポケット部皮膚潰瘍を1例(術後23日)に、腹腔内への本体陥入を1例(術後3.9年)に認めた。

考 察

経静脈リードは、移植直後から遠隔期にわたり安定した刺激閾値と感度を得ることができ、また、断線や被覆材の磨耗といった合併症が少ないことから、近年では小児においても積極的に使用されるようになった。しかし、若年小児では、併存する心奇形、成長といった成人にない問題があり、心外膜リードを使用する機会が多い。

体格に関する心外膜リードの適応として、Reesは体重8 kg以下¹⁾、Silvettiらは10～15 kg以下を心外膜リードの適応としている²⁾。Reesは心機能の観点からデュアルチャンバー・ペーシングを勧めているが、8 kg以上の体重があっても8歳までは柔軟な単極リードを使用したシングルチャンバー・ペーシングを選択するとし、8歳未満でデュアルチャンバー・ペーシングが必要な症例は、やはり心外膜リードの適応としている。細い静脈内へのリード留置には血栓形成と内腔閉塞の懸念があるためである。さらに一旦留置されたリードは抜去が困難で、劣化による交換や追加が必要になった時に障害になる。また、ペースメーカー治療を必要とする小児では心内奇形の合併が稀ではなく、さまざまな解剖学的障害がある。体静脈の走行異常は心房へのアクセスを困難にするし、両方向性グレン手術や心外導管を用いたFontan手術後では心房、心室にアクセスできない。また、心房へのアクセスが可能なタイプの右心バイパス手術後であっても、鬱滞した静脈血流にリードを留置することには、血栓形成と肺塞栓症の懸念がある。右左シャントがある心内奇

形では奇異性塞栓の危険がある。肺高血圧合併例では心室リードによる三尖弁構造の変形と逆流が血行動態に重大な影響を及ぼす可能性がある。成長に伴いリードが伸展され、先端が離脱するリスクもある。このように若年小児での経静脈リードの使用にはさまざまな問題と制約がある。

心外膜リードはステロイド溶出チップが導入された後、電極接触部の心筋線維化が軽減され、移植直後から遠隔期にわたって安定した刺激閾値と良好な感度が得られるようになった。その中期遠隔成績は経静脈リードと遜色がないことが明らかになってきた³⁾。遠隔期のリード特性が改善された今日、心外膜リードの成績をさらに改善するには、手術で良好な電極位置を確保すること、運動や成長に伴うストレスに配慮したリード経路の選択、合併症を起こさない本体収納ポケットのデザインが大切である。

腋窩アプローチではリードの移植を側開胸で行う。開胸は侵襲を伴うが、剣状突起下アプローチと比べ、心表面の広い範囲で電極の装着場所を探索できる利点がある。再手術症例においては心筋組織の線維化や瘢痕、癒着といった問題があり、良好な刺激閾値を得ることができる場所を見つけることは必ずしも容易ではない⁴⁾。良い移植場所を見つけるためには心表面の広範囲に到達できるアプローチが必要である。また、腋窩アプローチは剣状突起下からアプローチが困難な心房や左室へのリード装着も容易である^{5, 6)}。房室伝導が保たれている症例では心房ペーシングが生理的であるし、一部の心不全症例では右室ペーシングよりも左室ペーシングのほうが有利な場合もある⁷⁾。胸骨正中切開アプローチは最も広い範囲の心表面へアプローチできるが、開心術後の症例では再開胸に伴うリスクがある。また胸骨と癒着した右室前面、心膜と癒着した

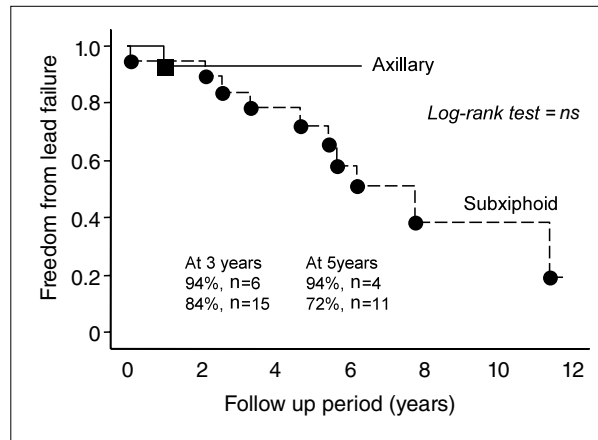


Fig. 3 Freedom from lead failure of the axillary approach and the subxiphoid approach

右房壁には線維化、癒痕を認め良好な刺激閾値が得られないこともある。側開胸でアプローチできる左室側壁、左房は正中切開後の症例でも癒着は軽微であることが多く、最小限の剝離で癒着の少ない左房、左室に到達できる^{4, 8)}。心房の癒着や線維化が強いために、どうしても心外膜側では低い刺激閾値が得られない場合には、心房壁を穿通させて経静脈リードを心内膜面に固定する方法も有用で⁹⁾、われわれも1例(patient 1)に施行し、遠隔期(76カ月)の刺激閾値は1.2 μ Jと良好に維持されていた。

断線、被覆材の磨耗を避けるために、リードの経路は重要で、運動や呼吸に伴う機械的ストレスを避け得る経路を選択したい。剣状突起下や肋骨弓下を横断する経路では、リードは屈曲運動や呼吸に伴う不断の機械的ストレスを受け損傷を起こしやすい。以前当院で行った剣状突起下アプローチ20症例でも同様の問題があり、術後5年までに断線を4例(20%)に認めた。Cohenらは開胸下で心外膜リードを移植し、本体を上腹部に移植した60症例において術後5年でのリード断線回避率は69%であったと報告している⁵⁾。一方、われわれが行った腋窩アプローチは、平均観察期間が約3年と短いですが、断線を認めなかった。これらの結果は胸腔内経路が剣状突起下や肋骨弓下経路よりもリード断線を回避するうえで有用であることを示している。もちろん、胸腔内経路も胸郭出口では肋間筋を通すためストレス・フリーとはいえ、さらに長期的な観察が必要である。成長に伴うリードの伸展に備えてリードにはたわみを持たせておくが、この場合も胸腔内は自由度が高いため、横隔膜から離れた位置で径の大きなストレスが少ないループを作ることができる。

ペースメーカー本体は腋窩側胸部筋層下にポケットを作成し収納する。本体の移植場所の選択は、特に新生児においては重要な問題である。腹直筋周囲への本体移植は広く行われている方法だが、新生児では皮下組織、筋層が菲薄であり皮膚潰瘍、腹腔内への陥入が懸念される¹⁰⁾。一方、腋窩は皮下組織に余裕があり、体格に比して大きな本体を移植してもポケット周囲の皮膚にかかる張力を減弱でき、創部の離開や皮膚潰瘍の発生を回避できる可能性が高いと考えている。また、上腕に隠れるため、外的ストレスから保護される。Dodge-Khatamiらも側胸部への本体移植を行っているが、目的は美容であり、対象は体格が大きな児に限られ、新生児、乳幼児は側胸部筋層が菲薄なため腋窩移植は困難であるとしているが⁸⁾、われわれの観察とは異なっている。われわれは、新生児、乳幼児の腋窩の皮膚には余裕があり体格に比して大きなペースメーカー本体を挿入するうえで有用な部位だと考えている。局所合併症である感染、皮膚炎、皮膚潰瘍を避けるためには早期創傷治癒、ポケット上および周囲の組織血流維持が大切で、そのためには本体挿入後も皮膚に緊張がかからないことが望ましい。本研究は、腋窩アプローチではポケット合併症の発生頻度が低いことを示しており、腋窩は体格が小さな小児の本体挿入部として適切であることを証明していると考えている。

結 語

腋窩アプローチを用いることで再手術症例においても良好な電極位置を確保することができ、リード特性は中期遠隔期において良好に維持されていた。リード経路と本体ポケットを工夫することで若年小児にお

る心外膜リードの問題点である断線、被覆材磨耗といった機械的合併症を回避できる可能性が示唆された。本アプローチは新生児、乳幼児のペースメーカー治療において有用な方法の1つであると思われる。

本論文の要旨は、第45回日本小児循環器学会・学術集会(2009年7月、神戸市)において発表した。

【参考文献】

- 1) Rees PG: Use of Pacemakers and Defibrillators in Children, in Stark JF, de Leval MR, Tsang VT (eds.): *Surgery for Congenital Heart Defects*, 3rd ed. West Sussex, John Wiley & Sons, 2006
- 2) Silvetti MS, Drago F, Grutter G, et al: Twenty years of paediatric cardiac pacing: 515 pacemakers and 480 leads implanted in 292 patients. *Europace* 2006; **8**: 530-536
- 3) Cohen MI, Rhodes LA, Spray TL, et al: Efficacy of prophylactic epicardial pacing leads in children and young adults. *Ann Thorac Surg* 2004; **78**: 197-203
- 4) Kucharczuk JC, Cohen MI, Rhodes LA, et al: Epicardial atrial pacemaker lead placement after multiple operations. *Ann Thorac Surg* 2001; **71**: 2057-2058
- 5) Cohen MI, Bush DM, Vetter VL, et al: Permanent epicardial pacing in pediatric patients: seventeen years of experience and 1200 outpatient visits. *Circulation* 2001 29; **103**: 2585-2590
- 6) Roberts AD, Sett S, Leblanc J, et al: An alternate technique to pacing in complex congenital heart diseases: Assessment of the left thoracotomy approach. *Can J Cardiol* 2006; **22**: 481-484
- 7) Vanagt WY, Verbeek XA, Delhaas T, et al: The left ventricular apex is the optimal site for pediatric pacing: correlation with animal experience. *PACE* 2004; **27**: 837-843
- 8) Dodge-Khatami A, Kadner A, Dave H, et al: Left heart atrial and ventricular epicardial pacing through a left lateral thoracotomy in children: a safe approach with excellent functional and cosmetic results. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005; **28**: 541-545
- 9) Westerman GR, van Devanter SH: Transthoracic transatrial endocardial lead placement for permanent pacing. *Ann Thorac Surg* 1987; **43**: 445-446
- 10) Dodge-Khatami A, Backer CL, Meuli M, et al: Migration and colon perforation of intraperitoneal cardiac pacemaker systems. *Ann Thorac Surg* 2007; **83**: 2230-2232