

## TCPC術後洞機能不全の検討 発生頻度と発生原因の考察

吉田 昌弘<sup>1)</sup>, 大嶋 義博<sup>1)</sup>, 島津 親志<sup>1)</sup>, 松久 弘典<sup>1)</sup>  
 日隈 智憲<sup>1)</sup>, 井上 武<sup>1)</sup>, 鄭 輝男<sup>2)</sup>, 城戸佐知子<sup>2)</sup>  
 田中 敏克<sup>2)</sup>, 藤田 秀樹<sup>2)</sup>, 齋木 宏文<sup>2)</sup>, 井手健太郎<sup>2)</sup>  
 山口 眞弘<sup>3)</sup>

## Key words :

Fontan operation, sinus node  
 dysfunction, extra-cardiac conduit  
 TCPC, intra-atrial conduit TCPC

兵庫県立こども病院心臓血管外科<sup>1)</sup>, 循環器科<sup>2)</sup>  
 明石医療センター心臓血管外科<sup>3)</sup>

### Sinus Node Dysfunction after Total Cavopulmonary Connection —Incident Rate and Cause of Arrhythmia—

Masahiro Yoshida,<sup>1)</sup> Yoshihiro Oshima,<sup>1)</sup> Chikashi Shimazu,<sup>1)</sup> Hironori Matsuhisa,<sup>1)</sup> Tomonori Higuma,<sup>1)</sup> Takeshi Inoue,<sup>1)</sup>  
 Teruo Tei,<sup>2)</sup> Sachiko Kido,<sup>2)</sup> Toshikatsu Tanaka,<sup>2)</sup> Hideki Fujita,<sup>2)</sup> Hirofumi Saiki,<sup>2)</sup> Kentarou Ide<sup>2)</sup> and Masahiro Yamaguchi<sup>3)</sup>

Departments of <sup>1)</sup>Cardiovascular Surgery, <sup>2)</sup>Pediatric Cardiology, Hyogo Prefectural Kobe Children's Hospital,

<sup>3)</sup>Department of Cardiovascular Surgery, Akashi Medical Center, Hyogo, Japan

**Background:** The purpose of this study was to evaluate sinus node dysfunction (SND) after total cavopulmonary connection (TCPC).

**Subjects and Methods:** One-hundred six patients who underwent TCPC from 1988 to 2005 were enrolled in this study; however, patients with isomerism of the heart were excluded. Intra-atrial conduit TCPC was performed in 31 patients (group IA), and extra-cardiac conduit TCPC was performed in 75 patients (group EC).

**Results:** There was one late death in each group. Two patients of group IA (7%) and 11 patients of group EC (15%) had new-onset SND. None of the factors associated with SND, including 1) ventricular morphology, 2) cardio-pulmonary bypass, 3) atriotomy, and 4) staged Fontan, had any influence. However, SND was not seen in cases whose sinus node was on the opposite side of the graft, indicating that a possible cause was compression from the graft on the sinus node.

**Conclusions:** The incidence of SND was 7% after intra-atrial conduit TCPC and 15% after extra-cardiac conduit TCPC. On the basis of this study we believe a possible cause of SND is compression from the graft on the sinus node, which could be prevented by designing the graft to avoid compression.

## 要 旨

背景：TCPCの術後遠隔期における洞機能不全につき検討した。

対象と方法：1988年から2005年12月までの期間に、TCPCを耐術した、isomerism heartを除いた106例(6.3 ± 4.7歳)を対象とした。人工血管を心房内に通したもの31例(IA群)、心外に通したもの75例(EC群)で、平均観察期間はIA群9.3 ± 3.4年(最長16年)、EC群4.1 ± 2.4年(最長8年)であった。

結果：両群に1例ずつ遠隔期死亡を認めた。IA群の2例(7%)とEC群の11例(15%)には術後新たな洞機能不全が発生し、不整脈の発生因子を検討したところ、心室形態、人工心肺使用の有無、心房切開の有無、段階的TCPCのいずれの因子においても統計的有意差はみられなかったが、不整脈はすべて洞結節と人工血管が同側の症例で発生していた。

まとめ：TCPC術後の洞機能不全は、心房内導管型TCPCで7%、心外導管型TCPCで15%に認められた。不整脈の発生原因として洞結節への人工血管の圧迫が示唆され、圧迫しないような人工血管のデザインが不整脈発生の回避につながると考えられた。

## はじめに

Fontan型手術はFontanら<sup>1)</sup>が1971年に発表して以来、さ

まざまな術式が開発されてきた。当院ではFontan型手術術式としてtotal cavopulmonary connection(TCPC)を基本術式とし、1988年より心房内導管型TCPCを1997年より

平成19年1月5日受付

別刷請求先：〒654-0081 神戸市須磨区高倉台 1-1-1

平成19年9月12日受理

兵庫県立こども病院心臓血管外科 吉田 昌弘

Table 1 Patient profiles: comparison of two groups

	group IA	group EC
Number of patients	31	75
Age (years)	7.9 ± 4.1	5.6 ± 4.8
Body weight (kg)	23 ± 15	17 ± 12
Cardiopulmonary bypass (number)	31/31	50/75
Staged TCPC	5/31	40/75
Follow-up period (years)	9.3 ± 3.4 (0.9–16)	4.1 ± 2.4 (0.2–8)

Table 2 Definition of sinus node dysfunction from ECG and Master's ECG

Sinus node dysfunction
1: Junctional rhythm
2: Bradycardia: less than -2 SD of age-adjusted normal heart rate
3: Sinus pause: more than 3 seconds

心外導管型TCPCを行ってきた。心房性不整脈の発生に関しては、心房壁が肺動脈圧にさらされるlateral tunnelに比べて心外導管型TCPCが有利と考えられていたが<sup>3,4)</sup>、近年心外導管型TCPCでも心房性不整脈、特に洞機能不全の発生頻度が高いとの報告が散見される<sup>5,6)</sup>。当院でも同様に洞機能不全の発生が少なからず認められていたため、今回遠隔期での洞機能不全の発生頻度と発生原因を検討した。

#### 対象と方法

当院にて1988年1月から2005年12月までの期間に、TCPCを耐術した131例のうち、isomerism heart 25例(right isomerism 19例, left isomerism 6例)を除いた106例(手術時平均年齢6.3 ± 4.7歳)を対象とした。人工血管を心房内に通したものをIA群とし、心外に通したものを75例をEC群として、2群で比較した(Table 1)。手術方法では、使用した人工血管はIA群で、径18mmが13例、径20mmが16例、径22mmが2例で、EC群は径18mmが15例、20mmが45例、22mmが15例であった。人工血管の縫着法は、IA群では全例、人工心肺装着、大動脈遮断下に行った。下大静脈側はその開口部に心房内側から5-0ポリプロピレン糸で縫合し、肺動脈側はSVC離断部を5-0もしくは6-0ポリプロピレン糸の連続縫合にて閉鎖した後、もしくは二期的の場合は、その縫合部を確認した後、洞結節の損傷を避けるためSVCの接続部より正中寄り心房頭側に切開を加え、人工血管を導き出し、心房壁と人工血管および肺動脈壁を可及的に3層で吻合した。心房壁が届かず3層で吻合できなかった部分

は心房壁のみを人工血管側壁に縫着した。EC群では25例で人工心肺を使用せず、一時バイパスにて人工血管を吻合した<sup>7)</sup>。50例は人工心肺下にて行い、うち21例は房室弁形成などの心内操作のために大動脈遮断を行った。ただし2005年4月以降は心内操作を必要としない症例においても、全例人工心肺装着下にて行っている。段階的Fontan手術症例はIA群5例(16%)、EC群40例(53%)であった。同時手術は房室弁形成22例、肺動脈形成24例、Damus-Kaye-Stansel吻合4例で、術前より完全房室ブロックであったIA群の2例にペースメーカー植込み術を行った。洞機能不全の診断は術後1年ごとの安静時心電図およびMaster負荷心電図から、接合部調律、年齢別平均脈拍数の-2SD以下の徐脈または3秒以上のsinus pause<sup>6,8)</sup>とした(Table 2)。なお長時間心電図は施行症例に限られており、今回の検討項目から除外した。平均観察期間はIA群9.3 ± 3.4年(最長16年)、EC群4.1 ± 2.4年(最長8年)であった。

数値データは平均 ± 標準偏差で表し、2群の不整脈発生頻度の比較にはt検定を、不整脈発生因子の検討には $\chi^2$ 検定を行った。p-valueは0.05以下を統計的有意と定義した。

#### 結 果

遠隔期死亡はIA群の1例、EC群の1例に認め、IA群の1例はWolff-Parkinson-White(WPW)症候群合併例で、術後発作性上室頻拍(paroxysmal supraventricular tachycardia: PSVT)を頻発していたため2カ月後に副伝導路の焼灼手術およびペースメーカー植込み術を受けた

Table 3 Factors associated with sinus node dysfunction

	SND (+)	SND (-)	odds ratio	p-value
Right ventricle (yes/no)	5/8	30/61	1.3	0.76
Cardiopulmonary bypass (on/off)	11/2	69/22	1.7	0.73
Atriotomy (yes/no)	7/6	49/42	1.0	0.99
Staged Fontan (yes/no)	3/10	40/51	0.38	0.15

SND: sinus node dysfunction

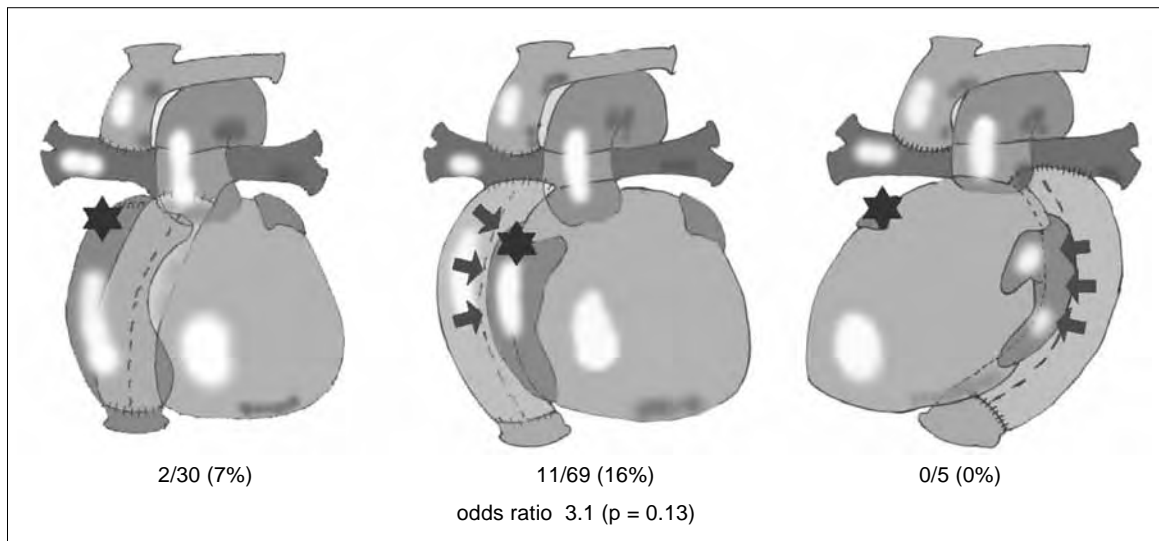


Fig. 1 Schema of procedure and graft compression on the sinus node. Star shows the location of the sinus node. Number shows the rate of sinus node dysfunction and odds ratio with p-value.

が、3カ月後に自宅で突然死した。EC群の1例は自宅で転倒し硬膜下出血にて失った。

遠隔期死亡した2例を除いた104例のうち、IA群の2例(7%)とEC群の11例(15%)に、術後急性期から遠隔期にわたり洞機能不全が認められた。2群間で洞機能不全の発生頻度に統計学的有意差は認められなかった。

洞機能不全が発生した13例において、術後不整脈の発生因子を1)心室形態(主心室が右室)、2)人工心肺使用の有無、3)心房切開の有無、4)段階的TCPCの4項目で検討したところ、いずれも統計学的に有意な因子は認められなかった(Table 3)。ただし、EC群の症例では洞結節と人工血管の通路が対側であった5例では洞機能不全を全く認めず、洞結節と人工血管の通路が同側であった症例で発生していた。統計的有意差は認めないものの、心外導管が洞結節と同側にある群と心房内導管および心外導管が洞結節と対側にある群で比較すると、オッズ比は3.1( $p = 0.13$ )と高い傾向にあった(Fig.

1)。人工血管による圧迫の可能性が示唆されたため、人工血管を若干長く弯曲させるようにした2004年以降の17例においては、洞機能不全の発生は、純型肺動脈閉鎖の二心室修復後に心房拡大からTCPCにconversionを要した1例のみ(5%)であった。

また洞機能不全が認められていた13例のうち、最新の心電図検査において接合部調律から洞調律に復帰していた症例が2例認められた。いずれもEC群の症例で、術後5年および6年間は接合部調律であった。

#### 考 察

Fontanらにより三尖弁閉鎖症に対する手術法が発表されてから<sup>1)</sup>、その血行動態の理解、術式や術前評価法の改良<sup>2, 9-11)</sup>によりその手術成績は飛躍的に向上した。また遠隔期の問題点が明らかになるにしたがい、さらに術式が改良され、とりわけ心房性不整脈の回避にはlateral tunnel法によるTCPCよりも心外導管型TCPCが有効

であると考えられてきた<sup>3,4)</sup>。しかし近年、心外導管型TCPCにおいて洞機能不全の発生が散見されるようになった<sup>5,6)</sup>。当院でも同様な術後洞機能不全が認められていたため、本研究にてその発生頻度を明らかにし、発生原因を考察した。

Manningらは、段階的Fontan手術をした場合の洞結節付近を再び剥離することが洞機能不全の一つの原因であろうと報告した<sup>12)</sup>。しかしCohenらの論文<sup>6)</sup>では、段階的Fontan手術をした比較で、心外導管型TCPCがlateral tunnel型TCPCより洞機能不全の発生頻度が高く、段階的アプローチだけが原因とはいえないと述べている。またわれわれの検討では想定した発生因子に全く統計的傾向は認めなかった。もし剥離に際しての損傷が原因と考えられるなら、人工心肺装着拍動下で行った症例ではその時に洞機能不全を発生しているはずであるが、そのような症例は認められなかった。

TCPCの手術に限らず術中によく経験することだが、術操作にて洞結節付近を圧迫してしまうと簡単に徐脈に陥る。これはpacemaker細胞で発生した興奮はcrista terminalisの心外膜側を尾側に走行するため、心外からの圧迫は特に影響を受けやすいことによる<sup>8)</sup>。また通常の心外導管型TCPCでの人工血管の走行は肺静脈の圧迫を避けるため、洞結節の位置で通すことが多い。これらのことから人工血管の洞結節への直接の圧迫が関与しているのではと仮説した。

この仮説を裏付けるデータは十分ではないが、心尖下大静脈同側症例において、洞結節とは対側で人工血管を通した症例が5例あったが、それらの症例では全く洞機能不全を認めなかった。さらに2004年に人工血管による洞結節への圧迫の可能性を認めてから、人工血管を若干弯曲させることで洞結節への圧迫を回避するようにしたところ洞機能不全の発生は1例を除き認めなくなった。この1例は純型肺動脈閉鎖に対する二心室修復術後に心房拡大が進行したため、TCPCへのconversionを要した症例であり、術前より洞機能はある程度障害されていたと考えられる。2004年前後での発生頻度に統計的有意差は認めなかったが、改善傾向にあると考えている。また洞機能不全の発生の報告が散見されるものの、一方では心外導管型TCPCでの洞機能不全の発生が少ないという報告もある<sup>13)</sup>。洞機能不全の発生頻度が施設間で異なっているとすれば、もともと洞結節への圧迫を回避し得るよう弯曲させていた施設との差ではないかと推察した。

心房内導管型TCPCの2例にも洞機能不全が発生していた。当院での心房内導管の縫着は洞結節への損傷を避けるべく、上大静脈離断部より可及的に正中寄りに

心房頭側を切開し、肺動脈壁と人工血管および心房壁の3層を同時に縫合して行ってきた。洞結節への損傷を避ける工夫を行っているものの、縫合に際し洞結節に緊張がかかってしまった可能性がある。現在当院では心房内導管型TCPCは心房壁の縫合を要することから、特別な形態を有する症例以外では心外導管型TCPCを選択している。

また興味深いことに最新の心電図検査で、2例において洞機能不全が改善された可能性がある。1回の心電図検査のみでは回復したとは判断できないが、術後5年後および6年後の安静時およびマスター運動負荷心電図において接合部調律から洞調律に復帰していた。これらの2例では手術操作による洞結節または洞結節動脈への障害が回復したためなのかもしれないが、洞結節への圧迫が、下大静脈の成長に伴い軽減したためとは考えられないだろうか。

今回の検討では洞機能不全の原因が人工血管による圧迫であるという結論を裏付けるデータは不足しているが、2004年以降の洞結節への圧迫を避ける人工血管への配慮は有用であったと考えられる。今後も症例を重ね検討していきたい。

## 結 語

TCPC術後に洞機能不全を心房内導管型TCPCで7%、心外導管型TCPCで15%に認められた。これらの症例は、2例のみ洞調律に回復した可能性があるものの、術後から洞機能不全となり、遠隔期にも洞機能が回復していなかった。洞結節への人工血管の圧迫が原因として考えられ、圧迫しないような配慮が回避につながると考えられた。

本論文は2006年7月、第42回日本小児循環器学会総会にて発表した。

## 【参考文献】

- 1) Fontan F, Baudet E: Surgical repair of tricuspid atresia. *Thorax* 1971; 26: 240-248
- 2) de Leval MR, Kilner P, Gewilling M, et al: Total cavopulmonary connection: A logical alternative to atriopulmonary connection for complex Fontan operations. Experimental studies and early clinical experience. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1988; 96: 682-695
- 3) 八木原敏克: Fontan手術とその変法. 日本胸部外科学会関西地方会第24回学術セミナーテキスト1997, pp59-68
- 4) Marcellotti C, Corno A, Giannico S, et al: Inferior vena cavopulmonary artery extracardiac conduit. A new form of right

- heart bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1990; 100: 228–232
- 5 Kumar SP, Rubinstein CS, Simsic JM, et al: Lateral tunnel versus extracardiac conduit Fontan procedure: A concurrent comparison. *Ann Thorac Surg* 2003; 76: 1389–1397
- 6 Cohen MI, Bridges ND, Gaynor JW, et al: Modifications to the cavopulmonary anastomosis do not eliminate early sinus node dysfunction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; 120: 891–901
- 7 Uemura H, Yagihara T, Yamashita K, et al: Establishment of total cavopulmonary connection without use of cardiopulmonary bypass. *Eur J Cardiothorac Surg* 1998; 13: 504–507
- 8 Fishberger SB: Sinus node dysfunction, in Walsh EP, Saul JP(ed): *Cardiac arrhythmias in children and young adults with congenital heart disease*. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2001, pp271–283
- 9 Yoshimura N, Yamaguchi M, Oshima Y, et al: Risk factors influencing early and late mortality after total cavopulmonary connection. *Eur J Cardiothorac Surg* 2001; 20: 598–602
- 10 Pridjian AK, Mendelsohn AM, Lupinetti FM, et al: Usefulness of the bidirectional Glenn procedure as staged reconstruction for the functional single ventricle. *Am J Cardiol* 1993; 71: 959–962
- 11 Yoshida M, Yamaguchi M, Yoshimura N, et al: Appropriate additional pulmonary blood flow at the bidirectional Glenn procedure is useful for completion of total cavopulmonary connection. *Ann Thorac Surg* 2005; 80: 976–981
- 12 Manning PB, Mayer JE Jr, Fishberger SB, et al: Staged operation to Fontan increases the incidence of sinoatrial node dysfunction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; 111: 833–840
- 13 Nürnberg JH, Ovroutski S, Hetzer R, et al: New onset arrhythmias after the extracardiac conduit Fontan operation compared with the intraatrial lateral tunnel procedure: Early and midterm results. *Ann Thorac Surg* 2004; 78: 1979–1988