

## Damus-Kaye-Stansel 吻合

藤井泰宏\*, 佐野俊二, 新井禎彦, 笠原真悟, 立石篤史, 高垣昌巳, 藤田康文, 大澤 晋

岡山大学病院 心臓血管外科

キーワード: Damus-Kaye-Stansel 吻合, 単心室症, 心室流出路狭窄, 肺動脈弁逆流

### Damus-Kaye-Stansel anastomosis

Yasuhiro Fujii\*, Shunji Sano, Sadahiko Arai, Shingo Kasahara, Atsushi Tateishi, Masami Takagaki, Yasufumi Fujita, Susumu Ozawa

Department of Cardiovascular Surgery, Okayama University Hospital

#### はじめに

Damus-Kaye-Stansel anastomosis (DKS) 吻合は1975年に Damus, Kaye, Stansel ら<sup>1-3)</sup>がそれぞれ報告した, 複雑心奇形患者の左室流出路狭窄の解除を目的とした手術手技である。肺動脈と上行大動脈を端側吻合 (end-to-side 吻合) し, 心室から肺動脈を介して上行大動脈へ血液が駆出される経路を追加することにより, 左室流出路の狭窄を予防する。1991年には Lamberti らが 大動脈基部と肺動脈基部を並列に繋げ, そこに上行大動脈遠位を被せるように吻合する double-barrel 吻合を報告し, 現在では共に用いられている (図1)。2心室型修復術を目指す場合は, 人工血管や homograft で右室 - 肺動脈バイパスを追加し, 2心室型修復術を完遂する (図2)。一方, 単心室症の

最終手術である Fontan 手術を目指す場合は, 上大静脈 - 肺動脈吻合と下大静脈 - 肺動脈バイパスを追加し Fontan 手術を完遂する (図3)。現在では DKS 吻合は主に単心室症患者の体循環流出路狭窄の解除目的に施行されることが多い。単心室症患者における DKS 吻合を用いた体循環流出路狭窄管理の現状について, 文献的考察と当院の経験を交えて述べる。

#### 単心室症患者における DKS 吻合の適応

機能的単心室症患者において, 体循環流出路狭窄は時に管理困難な心不全を引き起こす。単心室症患者において体循環流出路狭窄の出現は致命的となる可能性が高く, その発症様式は時に急速かつ重篤である。Fontan 手術の前段階の両方向性 Glenn (bidirectional Glenn: BDG) 手術 (図4) や Fontan 手術を施行した後には心室の容量負荷は大きく減少する<sup>4,5)</sup>。そのため体循環流出路狭窄がこれらの術後に顕在化し, 術後高度な心不全に陥ることがある<sup>6-9)</sup>。機能的単心室症患者では, 心不全が顕在化してから体循環流出路狭窄を手術で解除しても, 術後心機能がもどらない可能性が高

平成24年1月受理

\*〒700-8558 岡山市北区鹿田町2-5-1

電話: 086-235-7359 FAX: 086-235-7431

E-mail: yasuihiro-f@live.jp

プロフィール



昭和51年6月17日生

平成13年3月 岡山大学医学部卒業

平成21年3月 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科修了

平成13年5月 岡山大学医学部附属病院 医員 (研修医)

平成13年8月 国立岩国病院 外科研修医

平成15年8月 福山市民病院 心臓血管外科研修医

平成17年8月 岡山大学医学部・歯学部附属病院心臓血管外科 医員

平成23年7月 スタンフォード大学 心臓血管外科 リサーチフェロー

現在に至る

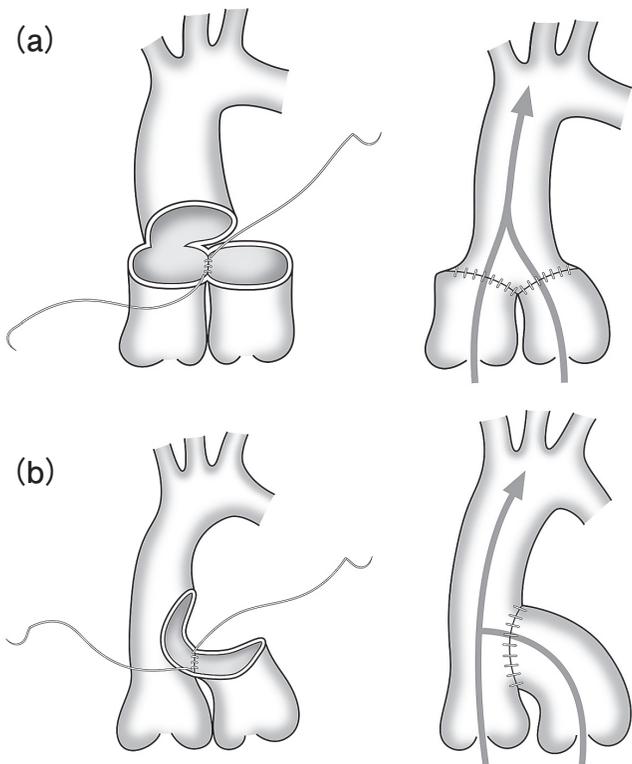


図1 Double barrel DKS 吻合と End-to-side DKS 吻合  
 (a) Double barrel 吻合では大動脈基部と肺動脈基部を並列に吻合し、double barrel とした後、上行大動脈遠位を吻合する。  
 (b) End-to-side 吻合では肺動脈と上行大動脈を端側吻合する。

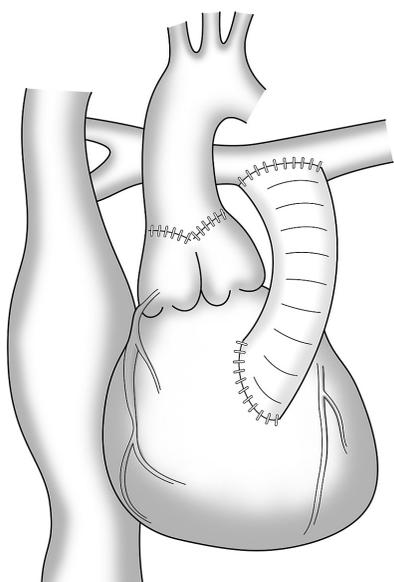


図2 DKS 吻合術後の2心室型修復術  
 右室—肺動脈間に弁付人工血管やhomograftを用いてバイパスを置き、2心室型修復術を完了する。

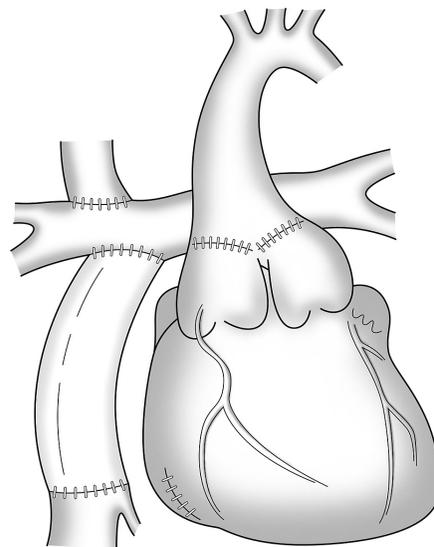


図3 DKS 吻合術後の Fontan 手術  
 通常通り、上大静脈—肺動脈バイパスと下大静脈—肺動脈バイパスを置くことで Fontan 手術を完遂可能である。

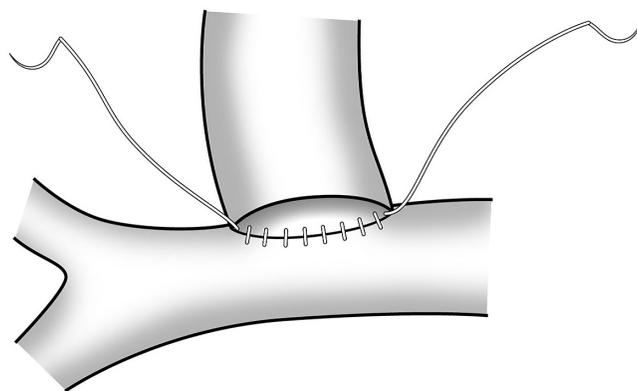


図4 Bidirectional Glenn (BDG) 手術  
 上大静脈と肺動脈を端側吻合する。

く、成人の大動脈狭窄症に準じて管理すると、手遅れとなる可能性が非常に高い。また、症状が出現した場合、高度な低心拍出量のため、エコーではあまり圧較差がでないこともあり、心不全の原因が体循環流出路狭窄であると判断しかねることもある。

また、どの患者がBDG手術後、もしくはFontan手術後に体循環流出路狭窄が問題となるのか正確に指摘することは困難である。そこで、当院では術前のエコーやカテーテル検査で心室—大動脈間の体循環流出路狭窄を認める単心室患者だけでなく、解剖学的にBDG手術やFontan手術後に心室流出路狭窄を来す可能性がある患者すべてに、遅くともBDG手術の段

階で DKS 吻合を施行することをルーチンとしている。

解剖学的に心室流出路狭窄を来しやすい代表的な例は両房室弁左室流入症に大血管転位を合併する症例や三尖弁閉鎖に大血管転位を合併する症例である<sup>9-13</sup>。これらの疾患では、単心室からの血流が痕跡的に残ったもう1つの心室 (rudimentary chamber) を介して体循環に出て行くが (図5)、このような心内形態をもつ患者は、大動脈弁下や心室間交通孔 (bulvoventricular foramen) が狭窄しやすく、術前に体循環流出路狭窄が無くても、BDG 手術や Fontan 型手術後に心室の前負荷が取れると、大動脈弁下や bulvoventricular foramen の径が減少し、体循環流出路狭窄が顕在化する可能性が高い。当院では心室流出路狭窄が明らかで無くても、上記の様な血行動態を持ち、肺動脈狭窄や高度な肺動脈弁逆流の無い症例は全例 BDG 手術時に DKS 吻合を同時施行している。また上記のような心内の解剖学的特徴を持たなくても、エコーやカテーテル検査で形態的に BDG 手術後もしくは Fontan 手術後、心室前負荷がとれた時に体循環流出路狭窄が顕在化する可能性がある判断した場合は積極的に DKS 吻合を追加している。特に両大血管右室起始や大血管転位を有する患者では注意を要する。

肺動脈狭窄で有効な DKS 吻合が出来ない場合は大動脈弁下の筋切除や心室間交通の拡大が必要であるが、肺動脈狭窄の少ない、肺動脈絞扼術を要する症例で心室流出路狭窄の発生率は高く<sup>13,14</sup>、DKS 吻合に適さない高度な肺動脈狭窄を有する症例は一般に大動脈弁下が広く、bulvoventricular foramen も十分大きいことが多く、DKS 吻合を必要とすることは非常に稀である。実際、当院では図5の様な体循環流出路を有し、かつ高度な肺動脈狭窄もしくは閉鎖も有す患者を16例経験しているが、すべての症例で心室間交通と大動脈

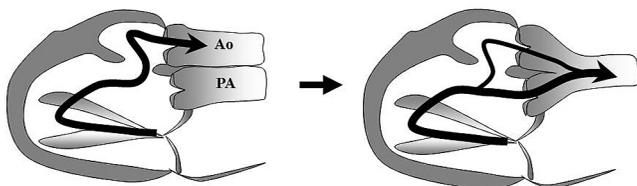


図5 Rudimentary chamber より大動脈が起始する場合の血行動態

Glenn 手術後や Fontan 手術後に心室の前負荷がとれることにより、bulvoventricular foramen や大動脈弁下の有効径が減少し、狭窄が出現しやすい。

弁下は非常に広く、現在までに大動脈弁下の筋切除や心室間交通の拡大を要した症例は経験していない。

### 単心室症における体循環流出路狭窄の治療戦略と手術手技

当院における DKS 吻合を施行するタイミングについて述べる。生後初回手術時に既に体循環流出路狭窄を認める場合は、初回手術と同時に DKS 吻合を施行している。体循環流出路狭窄が無い場合は、肺動脈絞扼術を施行し、BDG 手術時に DKS 手術を同時施行している。他院ですでに BDG 手術を施行されている場合は、Fontan 手術時に同時施行している。

前述のような、体循環流出路狭窄を高率に起こす心内解剖を持つ患者の場合、肺動脈絞扼術の段階から、DKS 吻合を想定した手術が必要である。主肺動脈は出来る限り長く残した方が DKS 吻合をする際には有利であり、DKS 吻合後に自然な体循環流出路血流が保てる (図6)。そのため、正確に肺動脈分岐直下で肺動脈絞扼術を施行し、可能な限り主肺動脈の長さを保つ必要がある。また、肺動脈絞扼術が肺動脈弁に近すぎると肺動脈洞および肺動脈弁の変形を来す可能性もある (図7)。肺動脈絞扼術は側開胸でも施行可能だが、側開胸だと胸骨正中切開に比べて正確な位置への肺動脈絞扼が困難な場合が多いため、我々は DKS 吻合の適応がある可能性のある患者はすべて胸骨正中切開にて肺動脈絞扼術を施行している。

当院で施行する DKS 吻合は2002年より double-barrel DKS 吻合を第一選択としている。これは、end-to-side DKS 吻合に比べてスムーズな流出路血流が得られる (図1)、手技的に簡単である、パッチによる補

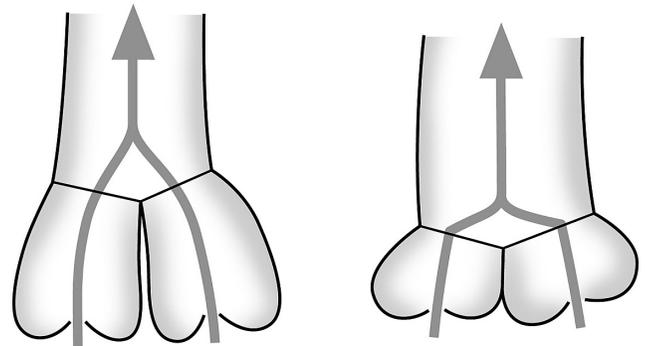


図6 DKS 吻合術後の大血管基部血流  
大血管基部が長く残っている方が、より直線に近い血流を得ることができると考えられる。

填を必要とする可能性が低く、かつ end-to-side DKS 吻合に比べて肺動脈洞の変形を来しにくく、肺動脈弁逆流を生じにくい（図8）といった利点があるためである。上行大動脈が細く、double-barrel DKS に適さない場合は大動脈弓部下面を大きく開けて吻合している（ノーウッド手術型の吻合）（図9）。あえて end-to-side DKS 吻合を施行する場合は肺動脈洞が引き攣れて肺動脈弁が変形しやすいため、無理な緊張がかかる場合はパッチ補填するべきであると考えているが（図10）、日本では homograft の入手が非常に困難であり、適当な材質のパッチが無いことが問題である。

### 岡山大学心臓血管外科教室の成績<sup>15)</sup>

当院にて1993年6月から2008年8月までの間に47例

の複雑先天性心疾患患者に DKS 吻合を施行した。内45例が機能的単心室を有し、Fontan 手術の適応であった。DKS 吻合施行時の中央値は19ヵ月（0ヵ月～276ヵ月）、体重は中央値8.5kg（2.6kg～45kg）。両房室弁左室流入＋大血管転位が15例、三尖弁閉鎖＋大血管転位が3例、その他大血管転位を有する症例が4例、両大血管右室起始を有する症例が19例、その他が6例であった。29例の患者で心エコーもしくはカテーテル検査上で有意な体循環流出路狭窄を有していた。DKS 吻合施行時期はBDG手術前が4例、BDG手術時が34例、Fontan手術時が6例、Fontan術後が1例、一期的2心室型修復術時が2例であった。13例に end-to-side DKS 吻合を施行し、34例で double barrel DKS 吻合を施行した。平均大動脈遮断時間は60±23分（23～

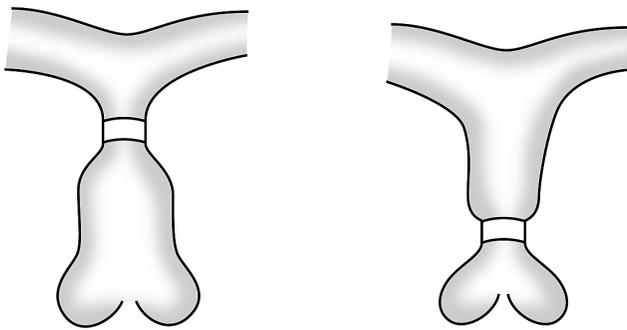


図7 肺動脈弁絞扼術の位置  
分岐部直下で適切に絞扼せず、肺動脈弁の近くで絞扼してしまうと、肺動脈洞や肺動脈弁の変形を来し、後の肺動脈弁逆流の原因となる。

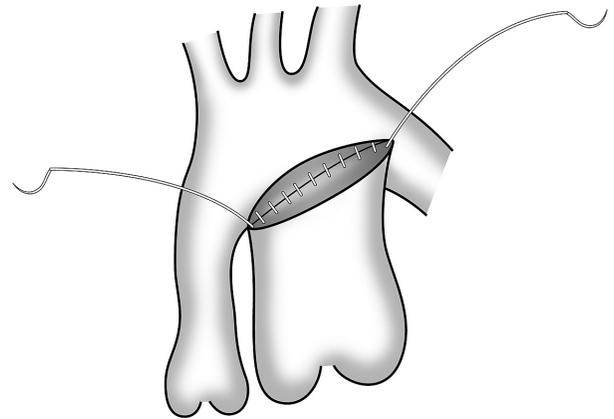


図9 ノーウッド手術型の大動脈—肺動脈吻合  
大動脈弓部下面を開け、主肺動脈を直接吻合する。

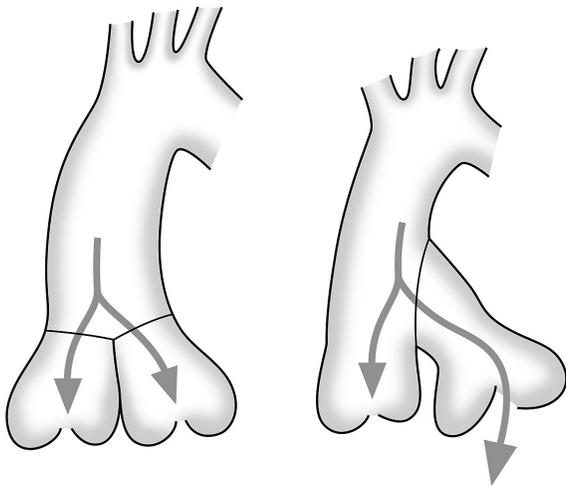


図8 End-to-side DKS 吻合術後の肺動脈弁逆流発生機序  
Double barrel DKS では、両大血管洞部の変形が来しにくい。End-to-side DKS を直接吻合で行うと、肺動脈洞部が変形し肺動脈弁逆流を来しやすと考えられる。

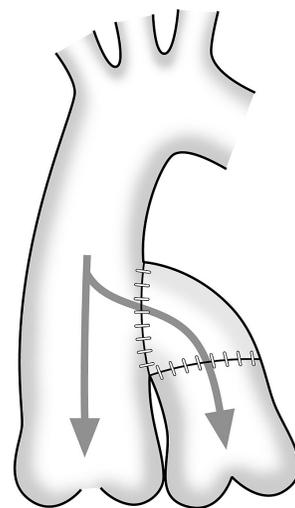


図10 パッチを用いた end-to-side DKS 吻合  
パッチを用いて、余計な tension をとると、肺動脈洞の変形を来しにくい。

122分)，平均体外循環時間は $126 \pm 60$ 分（67～419分）であった。End-to-side DKS を施行した患者の内 1 例でパッチを使用した。Double-barrel DKS を施行した患者でパッチを使用した患者はいなかった。

DKS 術後早期死亡を 2 例認めた。1 例は三尖弁閉鎖＋大血管転位を有する生後 5 ヶ月の女児で、BDG 手術を予定していたが、体循環流出路狭窄により心不全が急性増悪し、緊急手術を施行したが心機能は改善せず術後死亡した。もう 1 例は現在の治療戦略が確立する以前の症例で、両房室弁左室流入＋大血管転位を有する 4 歳の女児で、Fontan 手術後に体循環流出路狭窄が顕在化し重度の心不全となり、術後 1 日目に緊急で DKS 吻合と Fontan 循環から Glenn 循環に戻す手術を施行したが、心機能は改善せず敗血症と多臓器不全を合併し死亡した。2 例ともより早期の DKS 吻合を施行していれば救命できていた可能性が高いと考えられた。

平均 follow-up 期間は $75 \pm 49$ ヶ月（6～188ヶ月）、2 例の遠隔期死亡を認めた。いずれも BDG 手術時に DKS 吻合を施行し、Fontan 手術完遂後の静脈血栓塞栓症による Fontan 循環不全で、特に DKS 吻合を追加とは無関係の死亡であった。DKS 吻合部狭窄で再手術を施行した患者を認めなかった。Fontan 手術適応症例 45 例中 42 例で Fontan 手術を完遂可能であった。

5 例で肺動脈弁逆流悪化を DKS 術後早期から認めた。End-to-side DKS 症例が 4 例、double barrel DKS 症例が 1 例であった。多変量解析にて double barrel DKS 症例で有意に肺動脈弁逆流悪化の出現頻度が低かった（ $P=0.023$ ，OR 0.068，CI 0.007-0.688）。

## 結 論

単心室症患者の体循環流出路狭窄は時に致命的となるため、明らかな体循環流出路狭窄を認めない患者でも、BDG 手術後や Fontan 手術後に体循環流出路狭窄が顕在化する可能性がある解剖学的特性を有する場合は、積極的に DKS 吻合を行い、体循環流出路狭窄を予防するべきである。また、double barrel DKS 吻合は end-to-side DKS 吻合に比べて、術後の肺動脈弁逆流の悪化が低率で、かつ人工物や homograft によるパッチ補填を要さない優れた吻合方法である。

## 文 献

- 1) Damus PS : Correspondence. *Ann Thorac Surg* (1975) 20, 724-725.
- 2) Kaye MP : Anatomical correction of transposition of great arteries. *Mayo Clin Proc* (1975) 50, 638-640.
- 3) Stansel HC Jr : A new operation for d-loop transposition of great vessels. *Ann Thorac Surg* (1975) 19, 565-567.
- 4) Imai Y, Takashi Y, Hoshino S, Terada M, Aoki M, Ohta J : Modified Fontan procedure in ninety-nine cases of atrioventricular valve regurgitation. *J Thorac Cardiovasc Surg* (1997) 113, 262-268.
- 5) Chin AJ, Franklin WH, Andrews BAA, Norwood WI Jr : Changes in ventricular geometry early after Fontan operation. *Ann Thorac Surg* (1993) 56, 1359-1365.
- 6) Carter TL, Mainwaring RD, Lamberti JJ : Damus-Kaye-Stansel procedure : midterm follow-up and technical considerations. *Ann Thorac Surg* (1994) 58, 1603-1608.
- 7) Freedom RM : Subaortic obstruction and the Fontan operation. *Ann Thorac Surg* (1998) 66, 649-652.
- 8) Karl TR, Watterson KG, Sano S, Mee RBB : Operation for subaortic stenosis in univentricular hearts. *Ann Thorac Surg* (1991) 52, 420-428.
- 9) Finta KM, Beekman RH, Lupinetti FM, Bove E : Systemic ventricular outflow obstruction progresses after the Fontan operation. *Ann Thorac Surg* (1994) 58, 1108-1113.
- 10) Serraf A, Conte S, Lacour-Gayet F, Bruniaux J, Sousa-Uva M, Roussin R, Planché C : Systemic obstruction in univentricular hearts : surgical options for neonates. *Ann Thorac Surg* (1995) 60, 970-977.
- 11) Webber SA, Sett SS, LeBlanc JG : Univentricular atrioventricular connection with subaortic stenosis : a staged surgical approach. *Ann Thorac Surg* (1992) 54, 344-347.
- 12) Rothman A, Lang P, Lock JE, Jonas RA, Mayer JE, Castaneda AR : Surgical management of subaortic obstruction in single left ventricle and tricuspid atresia. *J Am Coll Cardiol* (1987) 10, 421-426.
- 13) Franklin RCG, Sullivan ID, Anderson RH, Shinebourne EA, Deanfield JE : Is banding of the pulmonary trunk obsolete for infants with tricuspid atresia and double inlet ventricle with a discordant ventriculoarterial connection? Role of aortic arch obstruction and subaortic stenosis. *J Am Coll Cardiol* (1990) 16, 1455-1464.
- 14) Freedom RM, Dische MR, Rowe RD : Development of "subaortic stenosis" after pulmonary arterial banding for common ventricle. *Am J Cardiol* (1977) 39, 78-83.
- 15) Fujii Y, Kasahara S, Kotani Y, Takagaki M, Arai S, Otsuki S, Sano S : Double-barrel Damus-Kaye-Stansel operation is better than end-to-side Damus-Kaye-Stansel operation for preserving the pulmonary valve function : the importance of preserving the shape of the pulmonary sinus. *J Thorac Cardiovasc Surg* (2011) 141, 193-199.