

BIDIREKSIYONEL SUPERIOR KAVAPULMONER ŞANT PROSEDÜRLERİNDEN SONRA PULMONER ARTER GELİŞİMİ

PULMONARY ARTERY GROWTH AFTER BIDIRECTIONAL SUPERIOR CAVAPULMONARY SHUNT PROCEDURES

Dr. Feza NURÖZLER MD; Scott M. Bradley MD

Medical University of South Carolina, Charleston, South Carolina, ABD

Adres : Dr. Feza NURÖZLER, Koşuyolu Kalp ve Araştırma Hastanesi, Koşuyolu / İSTANBUL

Özet

Giriş ve Amaç:

Bidireksiyonel superior kavapulmonary shunt (BSKPS) prosedürleri; bidireksiyonel Glenn şantı (BDG) ve Hemi-Fontan operasyonları, fonksiyonel tek ventriküllü hastalarda Fontan operasyonunu öncesi yapılan ara dönem palyatif prosedürlerdir. Pulmoner arter (PA) gelişiminin BSKPS prosedürlerinden sonra duraksadığını bildiren çalışmalar vardır. Bidireksiyonel superior kavapulmonary shunt (BSKPS) prosedürlerinin pulmoner arterlerin gelişimi üzerindeki etkilerini ve gelişimin duraksamasına neden olabilecek faktörleri belirlemek için bu çalışma planlandı.

Materyal ve Metod:

Ağustos 1989 ile Mayıs 1997 arasında toplam 80 hastada; 22 BDG şant, 58 Hemi-Fontan operasyonu uygulandı. Bunlardan pre- BSKPS ve post- BSKPS anjiyogramları mevcut olan 43 hasta çalışmaya alındı. Pre- BSKPS ve Post- BSKPS anjiyogramları retrospektif olarak incelendi. Sağ ve sol PA ler ile alt lob dallarının çapları ölçüldü. PA kesit alanları (mm²) ve indeksler Nakata metodu kullanılarak hesaplandı. Ayrıca Pre- BSKPS ve Post- BSKPS kateter çalışmaları kaydedilen hemodinamik veriler de karşılaştırıldı.

Bulgular:

Çalışmaya alınan 43 hastanın 16'sına BDG 27'sine hemi-fontan operasyonu uygulandı. Pre- BSKPS ve post- BSKPS anjiyogramları arasındaki ortalama süre 13 aydı (5-54 ay). PA'in çapları ve indeksleri karşılaştırıldığında, sol PA (p=0.01), sağ alt lob dalı (p=0.0007), sol alt lob (p=0.02) dalı ve toplam alt lob dalları (p=0.001) indekslerinde önemli azalma bulundu. BDG ve hemi-Fontan grupları arasında, BSKPS öncesi ve sonrası PA çap ve indekslerindeki değişim karşılaştırıldığında önemli bir fark bulunamadı.

Sonuç:

Bulgular BSKPS operasyonlarının pulmoner arterlerin gelişiminde bir duraksamaya yol açtığını desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: Kavapulmoner shunt, pulmoner arter

Summary

Background:

The bidirectional superior cavopulmonary shunt (BSCPS) procedures, bidirectional Glenn shunt (BDG) and hemi-fontan operation, have become a well-established intermediate-stage palliative procedures on the pathway to Fontan operation in patients with a functional single ventricle[1-3]. Several recent reports investigating pulmonary artery growth after BSCPS procedures have emphasized the reduction in Nakata indices or Z scores [7-10]. We undertook this study to determine the effect of bidirectional superior cavopulmonary shunt (BSCPS) procedures on the pulmonary artery growth and the factors may be associated with decreased growth of pulmonary artery.

Patients and methods:

Between August 1989 and May 1997, of total 80 patients; 22 underwent BDG shunt, 58 underwent hemi-fontan operation at our institution. The 43 patients were eligible for inclusion into this study. Pre-BSCPS and post-BSCPS angiograms were reviewed retrospectively. Pulmonary artery indices were calculated by the method of Nakata and associates [11]. Hemodynamic data obtained at pre-BSCPS and post-BSCPS cardiac catheterization were also compared.

Results:

Of the total 43 patients, 27 underwent hemi-fontan, 16 underwent BDG operation. The median duration from BSCPS to post-BSCPS angiography and catheterization was 13 months (range 5 to 54 months). The comparison of the pulmonary artery diameters and indices before and after BSCPS procedure revealed decrease in the indices of the left pulmonary artery (p=0.01), left lower lobe branch (p=0.0007), right lower lobe branch (p=0.02) and total lower lobe branches (p=0.001) significantly. Between BDG and hemi-fontan groups, there were no differences in the pulmonary artery diameters and indices before and after BSCPS procedure.

Conclusion:

The potential reduction in pulmonary blood flow after BSCPS may inhibit the PA growth and influence the success of subsequent Fontan completion.

Keywords: Cavapulmonary shunt, pulmonary artery

Giriş

Bidireksiyonel superior kavapulmonary shunt (BSKPS) prosedürleri; bidireksiyonel Gleen şantı (BDG) ve Hemi-Fontan operasyonları, fonksiyonel tek ventriküllü hastalarda Fontan operasyonunu öncesi yapılan ara dönem palyatif prosedürlerdir [1-3]. Genellikle yeni doğan döneminde yapılan sistemik-pulmoner şant operasyonu ya da Norwood operasyonunu takiben ikinci basamak olarak kullanılırlarsa da, nadiren dengelenmiş pulmoner kanlanması olan fonksiyonel tek ventriküllü infantlarda ilk palyasyon olarak da uygulanabilirler. Bu operasyonlar sistemik ventrikülün volüm yüklenmesini erken dönemde azaltır. Bu durum ventrikül geometrisinde ve kompliyansında değişikliklere neden olmakla beraber yeterli kardiyak outputu korur ve arteriyel oksijen saturasyonu açısından tolere edilebilen bir dolaşım fizyolojisi sağlar [3,4]. Bununla birlikte pulmoner kan akımında azalma ve buna bağlı olarak pulmoner arter gelişimindeki olası duraksama da bu ameliyatların sonuçlarındandır. Pulmoner arter çapının Fontan operasyonunun sonuçları üzerine etkisini araştıran çalışmalar hemfikir olmamakla birlikte küçük pulmoner arterler Fontan operasyonunu için risk faktörü olarak kabul edilir [5,6]. BSKPS prosedürlerinden sonra pulmoner arter gelişimini araştıran birkaç çalışmada gelişimin duraksadığı bildirilmiştir [7-10].

Bidireksiyonel superior kavapulmonary shunt (BSKPS) prosedürlerinin pulmoner arterlerin gelişimi üzerindeki etkilerini ve gelişimin duraksamasına neden olabilecek faktörleri belirlemek için bu çalışma planlandı. Norwood operasyonu sonrasında sol pulmoner arterin yeniden yapılanan geniş aortanın altında baskıya uğraması ve sağ taraftaki sistemik-pulmoner şanttan dolayı kan akımının sağ pulmoner artere yönelme olasılığı sol pulmoner arterin gelişimini etkileyebileceği düşüncesiyle, Norwood operasyonu geçiren hastalarda sol pulmoner arterin gelişiminde bir fark oluşup oluşmadığı, ayrıca, BDG ve Hemi-Fontan operasyonu uygulanan hastalarda, pulmoner arterlerin gelişiminde bir fark oluşup oluşmadığı araştırıldı.

Materyal ve Metod

Ağustos 1989 ile Mayıs 1997 arasında toplam 80 hastada; 22 BDG şant, 58 Hemi-Fontan operasyonu uygulandı. Bunlardan Pre- BSKPS ve Post- BSKPS anjiyogramları mevcut olan 43 hasta çalışmaya alındı. Hastardan 30'u erkek, 13'ü kız idi. Hastaların tanıları (Tablo 1)'de sunulmuştur.

İki hastada BSKPS ilk operasyon iken geriye kalan 41 hastaya TANI HASTA SAYISI

TANI	HASTA SAYISI
Hypoplastic left heart syndrome	10
Tricuspid atresia	5
DILV with TGA-PS	3
DILV with TGA-SAS or CoAo	3
Pulmonary atresia with IVS	3
Aortic atresia with VSD	3
Mitral atresia with CoAo	1
Critical AS with VSD	1
Ebstein's anomaly	1
TPAVR with TGA-PS	1
Other complex single ventricle	12
Toplam	43

Tablo 1: Tanılar

daha önce birkez (34 hasta) veya birden fazla (7 hasta) palyatif operasyonlar yapılmıştı (Tablo 2). Operasyon sırasındaki ortalama yaş 8 aydı (5 ay-6yıl). Bilateral vena kava süperiyora sahip 5 hastada bilateral BSKPS uygulandı. Pulmoner arter dallarında önemli darlıkları olan hastalarda pulmoner arter genişletilmesi yapıldı. Tüm hastalarda, pulmoner kanlanmayı sağlayan daha önceki şantlar ve pulmoner arter sağ ventrikül bağlantısı sonlandırıldı. İlave prosedürler (Tablo 3)'te verilmiştir.

Pre- BSKPS ve Post- BSKPS anjiyogramları retrospektif olarak incelendi. Sağ ve sol PA çapları üst lob dalını vermeden hemen PROSEDÜR SAYI

PROSEDÜR	SAYI
Norwood operasyonu	14
Modified Norwood operasyonu	3
Systemic-pulmonary şantlar	20
Right Blalock-Tausig	10
Left Blalock-Tausig	3
Bilateral Blalock-Tausig	1
Waterston	4
Central	2
Atrial septectomy	4
Pulmoner arter band	2
Pulmoner arter band ile CoAo tamiri	3
Damus-Kay-Stansel	2
TPAVR tamiri	1
Univentricular tamir (Ebstein's anomalisi)	1
Permanent pace-maker implantasyonu	1
Toplam	51

Tablo 2: Daha önce uygulanan palyatif prosedürler

PROSEDÜRLER	SAYI
LVCS anastomozu	5
ASD genişletilmesi	5
Pulmoner arter rekonstriksiyonu *	4
Damus-Kay-Stansel	1
Tricuspid valvuloplasti	1
Intraoperative balloon anjiyoplasti (Residüyel koarktasyon)	1
Pektus eksavatum tamiri	1
Toplam	16

Tablo 3: Birlikte uygulanan prosedürler

* Pulmoner arter rekonstriksiyonu; SadeceBDG prosedürü sırasında

önce ölçüldü. Özellikle Hemi-Fontan operasyonu sırasında olmak üzere, birçok hastaya BSKPS sırasında PA genişletilmesi uygulandığı için alt lob dallarının çapları da orjinlerinin hemen sonrasında ölçüldü. PA kesit alanları (mm²) ve indeksler Nakata metodu kullanılarak hesaplandı. İndeksler, hesaplanan kesit alanının vücut yüzey alanına bölünmesiyle bulundu. Toplam PA ve toplam alt lob dalı indexleri, hesaplanan bilateral eşdeğerlerinin toplamıyla bulundu.

Ayrıca Pre- BSKPS ve Post- BSKPS kateter çalışmalarında kaydedilen hemodinamik veriler de karşılaştırıldı. Bu verilerin kapsamına; sistemik arteriyel oksijen saturasyonu, pulmoner kan akımının sistemik kan akımına oranı, pulmoner arter basıncı, pulmoner wedge basıncı, ve pulmoner vasküler resistansı alındı.

İstatistik :

Pre- BSKPŞ ve Post- BSKPŞ kataterizasyonlar arasında verilerdeki hasta-içi değişikliklerin önemi student's t-test veya parametrik olmayan eşdeğeri Wilconson rank sum testi kullanılarak test edildi. İstatistiksel önem p değeri 0.05'e eşit veya daha küçük değerler için belirlendi. Tüm veriler SES sistem software (SAS InstituteInc, Cary, NC) kullanımıyla analiz edildi.

Bulgular

Pre- BSKPŞ kataterizasyonlar operasyondan ortalama 2 ay (1 gün-16 ay) önce yapıldı.

Operasyonla Post - BSKPŞ kataterizasyonlar arasında ortalama süre 13 aydı (5-54 ay).

Anjiyografik veriler :

Pre- BSKPŞ ve Post- BSKPŞ kataterizasyonlar sırasında kaydedilen hemodinamik veriler, PA çapları ve indexler (Tablo 4)'de sunulmuştur.

BSKPŞ operasyonlarından önce ve sonra PA çaplarının karşılaştırılmasında; sol PA (p=0.10), sağ PA (p=0.11), sol alt lob dalı (p=0.14) ve sağ alt lob dalı (p=0.34) çaplarında önem-

	BSCPS Öncesi	BSCPS Sonrası	p Değeri
Vücut Yüzey Alanı (mm ²)	0,36±0,11	0,55±0,15	0,0001
SaO ₂ (%)	75,08±6,0	83,7±5,5	0,001
Ortalama PAB (mmHg)	12,7±3,5	9,8±3,1	0,033
PVR (Wood units)	1,9±0,9	1,7±1,0	0,264
Qp / Qs	0,99±0,45	0,60±0,1	0,004
LPA Çapı	6,42±2,32	7,36±1,86	0,013
LLB Çapı	6,18±2,11	6,56±1,80	0,146
RPA Çapı	6,91±2,11	8,75±2,85	0,113
RLB Çapı	6,38±2,43	7,54±1,50	0,342
LPA İndeksi	105,2±66,4	81,0±32,4	0,013
LLB İndeksi	88,2±49,0	64,7±28,1	0,0007
RPA İndeksi	114,9±69,6	112,2±47,8	0,174
RLB İndeksi	109,1±55,9	88,8±34,0	0,021
Toplam PA İndeksi	220,9±125,2	193,2±66,2	0,162
Toplam LLB İndeksi	187,6±92,5	152,2±52,1	0,001

Tablo 4: BSCPS öncesi ve sonrasında pulmoner arteri çapları, indeksleri ve hemodinamik veriler

Qp / Qs: Pulmoner / Sistemik Kan Anarım
SaO₂: Arteriyel Oksijen Saturasyonu
PAB: Pulmoner Arter Basıncı
PVR: Pulmoner Vasküler Resistans

li bir değişme saptanmadı. İndexler karşılaştırıldığında ise sağ PA (p=0.11) ve toplam PA (p=0.16) indexlerinde önemli bir değişim bulunmazken, sol PA (p=0.01), sol alt lob dalı (p=0.0007), sağ alt lob dalı (p=0.02) ve toplam alt lob dalları (p=0.001) indexlerinde önemli azalmalar saptandı.

Hastalar, BDG yapılan ve hemi-Fontan yapılanlar olarak iki gruba ayrıldığında, her iki grup arasında pre - BSKPŞ kataterizasyonda kaydedilen hemodinamik veriler, PA çapları ve indexlerde önemli farklılıklar bulunmadı. BDG ve hemi-Fontan grupları arasında, BSKPŞ öncesi ve sonrası PA çap ve indexlerindeki değişim karşılaştırıldığında önemli bir fark bulunamadı (Tablo 5).

Hastalar, daha önceden Norwood operasyonu geçiren hastalarla geçirmeyen hastalar olarak iki gruba ayrıldığında; her iki grup arasında pre- BSKPŞ kataterizasyonda kaydedilen hemodinamik veriler, PA çapları ve indexlerin karşılaştırıl-

	Hemi-Fontan	BDG	p Değeri
Pre-Op Vücut Yüzey Alanı (mm ²)	0,35±0,10	0,31±0,08	0,64
Pre-Op Ağırlık (kg)	7,16±2,44	7,26±3,12	0,91
Pre-Op SaO ₂ (%)	75,0±6,1	77,5±5,6	0,21
Pre-Op Qp / Qs	1,00±0,3	0,99±0,5	0,97
Pre-Op Ortalama PAB (mmHg)	13,2±3,6	12,1±3,6	0,56
Pre-Op PVR (Wood Ünitleri)	2,20±0,88	2,25±0,58	0,86
DSaO ₂	8,34±7,71	6,69±6,41	0,5
DQp / Qs	0,36±0,31	0,37±0,28	0,96
DLPA Çapı	0,68±1,66	0,73±1,80	0,93
DLPA İndeksi	27,9±66,2	13,3±36,2	0,36
DRPA Çapı	1,86±2,44	0,94±1,97	0,36
DRPA İndeksi	2,22±7,74	7,54±17,9	0,71
DLLL Çapı	0,33±1,57	0,46±1,92	0,81
DLLL İndeksi	16,2±34,3	27,0±45,9	0,43
DRLC Çapı	2,36±2,87	1,02±1,92	0,31
DRLC İndeksi	19,2±52,5	25,6±57,6	0,37
DTPA İndeksi	34,5±43,4	16,7±23,6	0,6
DTLL İndeksi	54,2±91,7	25,4±76,2	0,31

Tablo 5: BDG ve Hemi-Fontan Gruplarının Karşılaştırılması

Qp / Qs: Pulmoner / Sistemik Kan Akımı Oranı
SaO₂: Arteriyel Oksijen Saturasyonu
PVR: Pulmoner Vasküler Resistans
PAB: Pulmoner Arter Basıncı
D: Değişim

ması, Norwood operasyonu geçiren hastalarda sol PA (p=0.0001), sol alt lob dalı (p=0.0001) çaplarının ve sol PA(p=0.0001), sol alt lob dalı (p=0.001), toplam PA(p=0.01) ve toplam alt lob dalları (p=0.03) indexlerinin diğer gruba göre küçük olduğunu ortaya çıkardı. Daha önceden Norwood operasyonu geçiren hastalarla geçirmeyen hastalar arasında, BSKPŞ öncesi ve sonrası PA çap ve indexlerindeki değişim karşılaştırıldığında, Norwood operasyonu geçiren hastalarda sol PA (p=0.02) indexinde önemli azalma saptandı.

Tartışma

1971 yılında ilk tanımlanmasından bu yana, Fontan operasyonu [12] ve topluca univentriküler onarım olarak adlandırılan birçok modifikasyonu biventriküler onarıma uygun olmayan kompleks kardiyak malformasyonlu hastaların cerrahi tedavisinde temel yaklaşım olmuştur. Fontan prensiplerinin uygulanmasındaki eski deneyimler, Fontan operasyonu için ideal adaylarda bile postoperatif dönemde düşük kalp debisi gelişimi ve buna bağlı ölümler olduğunu göstermiştir [3,4]. Yüksek pulmoner vasküler resistans ve sistolik ventriküler disfonksiyon ile bu durum açıklanmaya çalışıldıysa da [13], diyastolik ventriküler disfonksiyonun bu duruma yol açtığı ispatlanmıştır [4,14]. Fontan operasyonu sonrasında tek ventriküle artık hem sistemik hem de pulmoner venöz dönüşü olmayacağından, ventriküler diyastol sonu volümündeki ani azalma ve relatif olarak ventrikül duvar kalınlığındaki artma ve ventrikül geometrisinde oluşan değişiklikler diyastolik ventriküler disfonksiyonun nedeni olarak tanımlanmıştır [4,14,15]. Ventrikül geometrisinde oluşan ani değişiklikleri ve diyastolik ventriküler disfonksiyonu azaltmak amacıyla kademeli yaklaşım 1990'lerden beri cerrahlar tarafından benimsenmiştir ve bu yaklaşımın kullanımıyla morbidite ve

mortalite de önemli azalmalar bildirilmiştir [1-4]. Bununla birlikte, BSKPŞ sonrasında pulmoner kanlanma önemli ölçüde azaldığı için, pulmoner arterlerin gelişiminde duraklama ve bunun daha sonraki Fontan operasyonu üzerindeki ters etkileri ile ilgili düşünceler ortaya atılmıştır.

Choussat tarafından Fontan operasyonu için orjinal hasta seleksiyon kriterlerinden birisi olarak tanımlanan yeterli pulmoner arter çapı [16], araştırmalara ve anlaşmazlıklara konu olmuştur [17,18]. Nakata pulmoner arter indexi (PAI) olarak bilinen, pulmoner arter büyüklüğünü sayısal olarak standardize eden metod, Nakata tarafından tanımlanmış ve Fontan operasyonunun sadece PAI'ı $250\text{mm}^2/\text{m}^2$ 'den daha fazla olan hastalarda yapılabileceğini öne sürülmüştür [11].

Pulmoner kan akımının pulmoner arter gelişimi üzerindeki etkisi uzun zamandan beri incelenmektedir. Pulmoner kan akımı ve basınç gibi mekanik uyarıların pulmoner arter gelişiminin düzenlenmesindeki önemini destekleyen yayınlar vardır [19]. Yakın zamanda yapılan bir in vitro çalışmada, pulmoner arter duvarının gerilmesinin düz kas hücrelerinde hipertrofi ve hiperplaziye yol açtığını ayrıca matriks protein sentezinin uyarıldığını ortaya çıkartmıştır [20]. Yaygın olarak pulmoner arter gelişimini uyardığı düşünülen pulmoner kan akımında BSKPŞ operasyonları sonrasındaki azalmanın, daha sonraki basamak olan Fontan operasyonunun sonuçlarını olumsuz yönde etkileyebileceği üzerinde endişeler bulunmaktadır. Bu konu üzerinde daha önce yapılan klinik çalışmalarda, BSKPŞ operasyonları sonrasında pulmoner arter indexlerinde önemli azalmalar saptanmıştır [7-9]. Ana pulmoner arter dallarında genellikle daha önceki sistemik-pulmoner arter şantına bağlı olarak daralmalar bulunması ve bu darlıkların BSKPŞ operasyonları sırasında genişletilmesi nedeniyle, sadece ana pulmoner arter dallarının ölçülmesinin BSKPŞ operasyonları sonrasında pulmoner arter gelişimini doğru olarak yansıtmayacağı bildirilmiştir [7]. Bu nedenle çalışmamızda sağ ve sol ana pulmoner arterlerle birlikte sağ ve sol alt lob dallarının gelişimini inceledik. Bu çalışmada, BSKPŞ operasyonları sonrasında sol pulmoner arter ile sağ ve sol alt lob dalları indexlerinde istatistiksel olarak önemli azalmalar bulundu. Sağ pulmoner arter indexinde k s i n d e istatistiksel olarak önemli bir azalma bulunmamasının nedeni, özellikle Hemi-Fontan operasyonları sırasında sağ pulmoner arterin genişletilmesi olabilir. Sol pulmoner arter indexinde, daha önce Norwood operasyonu geçiren hastalarda, Norwood operasyonu geçirmeyen hastalara göre daha fazla bir azalma saptandı. Bu durumun, Norwood operasyonu sırasında yeniden yapılandırılan geniş aortanın sol pulmoner arter üzerine uyguladığı baskıdan kaynaklandığını sanıyoruz. Ayrıca bu çalışmada BDG ve Hemi-Fontan operasyonlarının pulmoner arter gelişimi üzerinde bir farklılık yaratmadığı saptanmıştır. Sonuç olarak, bulgularımız kompleks konjenital kalp hastalığı bulunan hastalara uygulanan BSKPŞ operasyonlarının pulmoner arterlerin gelişiminde bir duraksamaya yol açtığını desteklemektedir. Bu duraksamanın azalan pulmoner kan akımı nedeniyle, pulmoner arter duvar gerilimindeki azalmaya bağlı olacağı düşünülebilir.

Kaynaklar

1. 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;71:959-62.
2. Douville EC, Sade RM, Fyfe DE: Hemi-fontan operation in surgery for single ventricle: A preliminary report. *Ann Thorac Surg* 1991;51:893-900.
3. Norwood WI, Jacobs ML: Fontan procedure in two stages. *Am J Surg* 1993;166:548-51.
4. Jacobs ML, Norwood WI: Fontan operation: Influence of modifications on morbidity and mortality. *Ann Thorac Surg* 1994;58:945-52.
5. Fontan F, Fernandez G, Costa F, et al: The size of the pulmonary arteries and the results of the Fontan operation. *J.Thorac. Cardiovasc Surg* 1989;98:711-24.
6. Knott-Craig CJ, Julsrud PR, Schaff HV, et al: Pulmonary artery size and clinical outcome after modified Fontan operation. *Ann Thorac Surg* 1993;55:646-51.
7. Reddy VM, McElhinney DB, Moore P, et al: Pulmonary artery growth after bidirectional cavapulmonary shunt: Is there a cause for concern? *J.Thorac. Cardiovasc Surg* 1996;112:1180-92.
8. Slavik Z, Webber SA, Lamb RK, et al: Influence of bidirectional superior cavapulmonary anastomosis on pulmonary artery growth. *Am J. Cardiol* 1995;76:1085-7.
9. Penny DJ, Pawada A, Wilkinson JL, et al: Pulmonary artery size after bidirectional cavapulmonary connection. *J. Card Surg* 1995;10:21-6.
10. Mendelsohn AM, Bove EL, Lupinetti FM, et al: Central pulmonary artery growth patterns after bidirectional Glenn procedure. *J.Thorac. Cardiovasc Surg* 1994;107:1284-90.
11. Nakata S, Imai Y, Takanashi Y, et al: A new method for the quantitative standardization of cross-sectional areas of the pulmonary arteries in congenital heart diseases with decreased pulmonary blood flow. *J.Thorac. Cardiovasc Surg* 1984;88:610-9.
12. Fontan F, Baudet E: Surgical repair of tricuspid atresia. *Thorax* 1971;26:240-8.
13. Kirklin JK, Blackstone EH, Kirklin JW, et al: The Fontan operation. Ventricular hypertrophy, age and date of operation as risk factors. *J.Thorac. Cardiovasc Surg* 1986;92:1049-64.
14. Seliem MA, Baffa JM, Vetter J, et al: Changes in right ventricular geometry and heart rate early after bidirectional cavapulmonary anastomosis in hypoplastic left heart syndrome. *Ann Thorac Surg* 1993;55:1508-12.
15. Gewiling M, Daenen W, Aubert A, et al: Abolishment of chronic volume over-load: implication for diastolic function of the systemic ventricle immediately after Fontan repair. *Circulation* 1992;86:93-6.
16. Choussat A, Fontan F, Cesse P, et al: Selection criteria for Fontan's procedure, in Anderson RH, Shinebourne EA (eds) *Paediatric Cardiology* 1977. Edinburgh, Churchill Livingstone, Inc, 1978; 559-66.
17. Bridges ND, Farrell PE, Pigott JD, et al: Pulmonary artery index: A nonpredictor of operative survival in patients undergoing modified Fontan repair. *Circulation* 1989;80:216-21.
18. Senzaki H, Isoda T, Ishizawa A, et al: Reconsideration of criteria for the Fontan operation : Influence of pulmonary artery size on postoperative hemodynamics of the Fontan

operation. *Circulation* 1994;89:266-71.

19. Kulik TJ: Pulmonary hypertension. In: Fyler DC, ed. *Nadas' Pediatric Cardiology*. Philadelphia, Pa: Hanley&Belfus Inc; 1992; 87-8.
20. Kolpakov V, Rekher MD, Gordon D, et al: Effect of mechanical forces on growth and matrix protein synthesis in the in vitro pulmonary artery. *Circ Res* 1995;77:823-31.