

## 先天性心疾患術後の呼吸管理と循環

羽鳥文磨\*

## はじめに

集中治療管理を受ける小児患者の殆どは呼吸管理を主体とする治療が必要とされる。一般的に呼吸と循環とは密接な関係を持つが、先天性心疾患の小児、特に新生児と乳児早期例では成人と異なる特有の問題点も存在する。すなわち、生直後からの心血管系や呼吸器系の解剖学的生理的变化をはじめ、先天性心疾患における心内シャントや流出路狭窄、房室弁逆流、術後の遺残病変等によって循環動態は変化する。また、先天性心疾患では肺実質をはじめ気道系の異常も合併することも稀ではない。呼吸による胸腔内圧や腹腔内圧の変化が循環に与える影響は成人の場合と同様にあるが、それぞれに変化を与える条件や、その結果は必ずしも一様ではない。以下に症例を提示し、先天性心疾患術後の呼吸循環管理に関する特徴の一部を記す。

## 気管狭窄を伴った肺高血圧症

【症例1：F.Y.】日齢27日，女児，体重：3205 g，病名：大動脈離断症（B型），心室中隔欠損症，動脈管開存症。手術術式：Subclavian flap 及びパッチによる大動脈弓再建術，PDA 結紮，肺動脈絞扼術。手術時に主肺動脈が非常に太い（直径18 mm，周径57 mm）と指摘されていたが換気には問題なく，気管ファイバーの検索は行わなかった。術後管理はドパミン投与下に調節呼吸とした。FiO<sub>2</sub>は当初0.3であったが，速やかに0.21まで下げて維持し，PaO<sub>2</sub>は60 mmHg～70 mmHgの範囲であった。換気圧はPIP/PEEP=20/5 cmH<sub>2</sub>O，換気回数は25回から開始，PaO<sub>2</sub>が<sup>40</sup>mmHg台で調節した。CVP

は7～9 mmHgで末梢循環もよく，尿量も2ml/kg/hr前後で順調に経過してた。しかし，48時間後よりウイーニングしPEEPを5から3 cmH<sub>2</sub>Oに下げた後から陥没呼吸が著しく，呼気延長などの所見があった。気管狭窄を疑ってファイバーを施行したところ左右主気管支が前後に扁平に狭窄していた。そこでPEEPを7 cmH<sub>2</sub>Oに上げIMVを18回に戻した。この結果末梢循環は改善し，尿量も十分に得られた。このままではウイーニングは困難と判断し，第18病日にVSD閉鎖術と同時に肺動脈縫縮術を行った。その経過中にも気管狭窄症状は軽減しなかったため，バルーンによる気管支拡張術を2回行った。栄養管理も必要としたため，結果的に初回手術から45日目に気管内チューブを抜管できた。

## a) 術後呼吸管理の問題点

肺動脈絞扼術は肺高血圧・高血流を軽減するが，循環系の安定化は大動脈再建による左心後負荷の軽減の程度にも左右される。術後管理の要点としては肺のコンプライアンスや換気血流比異常の改善を期待しながら，呼吸循環管理を行う。ドライサイドにて管理し，鎮静により末梢血管収縮を防ぎ，カテコラミンで心拍出量を保つ。また，肺血流量増加を防ぐ目的で吸入酸素濃度は21%でSpO<sub>2</sub>は90%ぐらいとなるように管理する。至適PEEPは術前の肺の状態やバンディングの程度にもよるが通常は3～5 cmH<sub>2</sub>Oで問題ないが，この例のように気管気管支狭窄や軟化症がある例も少なく，この場合の至適圧設定は高めに設定する。一般的に，新生児・乳児では胸郭コンプライアンスが高く，静的な肺コンプライアンスも高いために容易に機能的残気量が低下しやすく，かつ末梢気道閉塞もおきやすい<sup>1)</sup>。また，図1の右Bに示すように高度の肺高血圧症では腫大した肺動脈は

\*千葉県こども病院麻酔科集中治療科

件を上げざるを得ない。

### 単心室型症例

【症例 2 : R.T.】日齢7, 男児, 体重 : 2,300 g.  
病名 : 左心低形成症候群 (HLHS: Hypoplastic Left Heart Syndrome). 手術術式 : Norwood 手術. 術前既に他医にて気管内挿管されていた. 上記診断後は lipo-PGE-1 及び dopamine 投与下に人工呼吸管理し,  $FiO_2=0.3$ , CMV (PIP/PEEP=17/4 cmH<sub>2</sub>O, 換気回数18回) にて  $PaO_2=25$  mmHg前後,  $PaCO_2=50$  mmHg台,  $Ph=7.35$ 前後,  $SpO_2$ は大体70%前半であった. 心エコー検査で上行大動脈は直径が2 mm, 僧帽弁閉鎖, 大動脈弁閉鎖を認めた. 全身状態安定後に Norwood 手術が行われ, 術後は開胸のまま帰室, 腹膜灌流を施行した. 第4病日には閉胸, 14病日には腹膜灌流から離脱, 21病日に人工呼吸器から離脱できた. 生後3ヶ月で Hemi-Fontan 手術を行い, 一旦退院. 1才11ヶ月には Fenestrated Fontan 手術が行われ, 約1ヶ月後に無事退院し, 2才4ヶ月の現在まで経過順調である.

#### a) 術前の問題点

本症例は, 図2のように右室のみが機能心室で体循環は肺動脈から動脈管を介して行われている. 動脈管の開存が生存には必要のために, PGE-1が重要な症例の一つである. 肺血流と体血流は直列でなく並列な関係である. 全てが術前から人工呼吸管理を要する例ではないが, 蘇生的に挿管されたり, PGE-1による無呼吸発作のために挿管される例もある. 術前状態安定化のためには, 肺血管抵抗を下げ過ぎないこと, 著しい低酸素状態を避けること, 酸素消費量を増加させないことなどが主な治療目標となる. 呼吸管理上では肺血管に対して拡張作用がわかっている高濃度酸素吸入や低炭酸ガス血症は避ける. 人工換気の設定は難しい. 気管内挿管時の胸腔内圧や腹腔内圧の変化, 血管抵抗の変化, あるいは心筋収縮力の変化, リズムの変化などわずかではあっても全身状態が悪化する可能性がある. この疾患が挿管となるときは殆どが高肺血流状態になっていることが多く, 陽圧呼吸は有利になると考えられる. 過度の換気による血液ガスの急激な変化は避けながら, 徐々に換気圧設定を調節することになっている. 自発呼吸を温存するか否かについては, 換気圧が循環に与える影響よりも, 呼吸運動による  $Q_p/Q_s$  の増

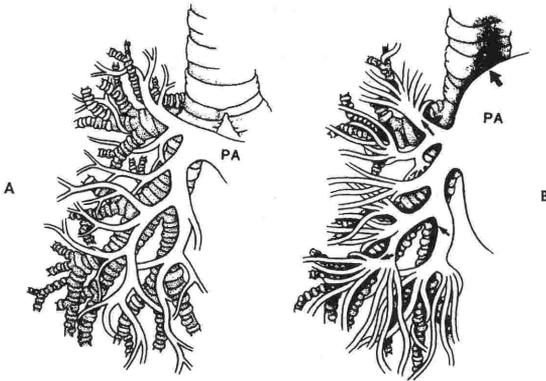


図1 肺高血圧症における気管・気管支と肺動脈の関係 (文献<sup>2)</sup>より引用)

A (左) 正常

B (右) 腫大した肺動脈が気管を圧迫し, かつ末梢の肺動脈も気管支を圧迫

かりでなく, 末梢気道の部分も圧迫気味となつてると考えられ<sup>2)</sup>, 更に, 左気管支背部には拡張した左房もあるので肺高血圧症には気管気管支の狭窄や軟化症を伴うことがある. このように, 肺のメカニクスや気道系に問題がある症例は, 新生児乳児期の肺高血圧症を伴う疾患には希ではない. 換気モードなどが不適切な場合, 努力呼吸が出現し, 酸素消費量の増加やアシドーシス, 内因性カテコラミンの増加などのために, 末梢循環までもが不良となり再び心不全となる. 心機能は改善するのが早い, 肺実質や気道系の異常が改善するには更に時間がかかる. 従って, 術前の呼吸器系の病変により術後呼吸管理期間は様々である. 特に気道系に問題がある場合, 至適な気道内圧の設定に際して呼吸機能検査 (flow-volume curve や auto-PEEP 等) の測定と循環系各種パラメーターの測定が望まれるところであるが, 年齢的な制限のために難しい. 一方, 新生児期は肺血管抵抗も急激に低下しつつある時期だが, 低酸素血症や, アシドーシスなどで再び肺高血圧症に戻りやすい (肺高血圧クリーゼ). また, 肺高血圧症では右室負荷のために, 中隔は左室側へ移動し, 壁も厚みを増しているが, このために左室流出路狭窄の状態になりうる. この変化は肺動脈絞扼術後にも残存している可能性があり, 肺高血圧クリーゼに伴い一気に両心不全となる. この様なことが想定される場合には循環系のサポートをしながら換気条

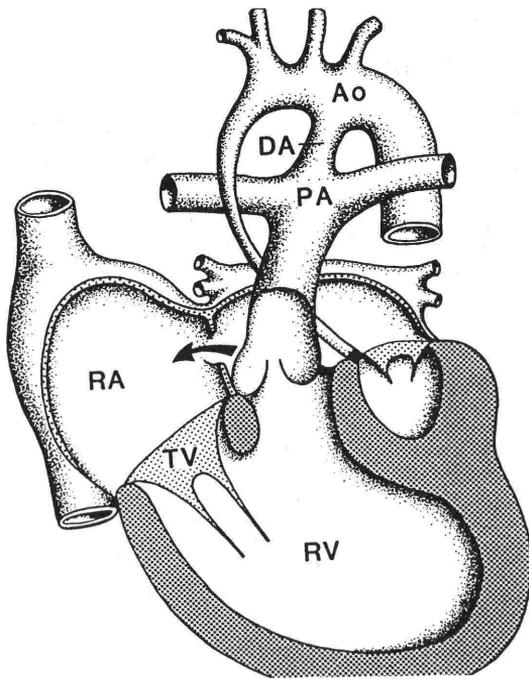


図2 左心低形成症候群

RA (右房) RV (右室) PA (肺動脈) DA (動脈管)  
 Ao (大動脈) TV (三尖弁)  
 心房内では左-右シャントになっている (Jordan SC, Scott O: Heart disease in Paediatrics(3rd ed.)1989 ; Butterworths London より)

加や酸素消費量の増加を防ぐという意味で、調節呼吸にすることが好ましいと考えている。換気圧設定によって肺血流量を調節する試みは、各種モニターが使用できない新生児では困難である。従って、通常 PEEP 初期設定値は生理的な値の 3 cmH<sub>2</sub>O 前後にし、吸気圧は胸郭の動きがわずかにある程度としている。

b) Norwood 手術術後 (図3)

血行動態は基本的には術前と変わらない。機能心室は相変わらず右室のみで、体循環は右室からの主肺動脈中枢部が上行大動脈と側々吻合され (neoaorta) 体血流を供給する。主肺動脈遠位側は離断閉鎖されている。肺血流は動脈管ではなく、鎖骨下動脈と片側の肺動脈との BT シャントから供給され、術前と同様に右室拍出量と肺体血管抵抗比 (Rp/Rs) できる。人工心肺直後は良く肺を膨らませておく必要がある。新生児期には肺高血圧気味であり、シャント血流が十分流れる程度の

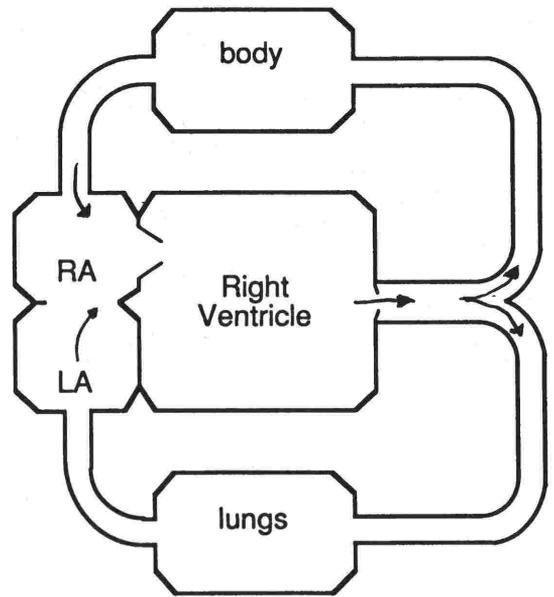


図3 Norwood 手術後の血行動態

(Nicolson SC, Steven JM, Jobes DR ; Univentricular heart: Staging through the Fontan operation. in "Greeley WJ (ed.) Perioperative management of the patient with congenital heart disease": Baltimore Williams & Wilkins 1996より)  
 右室から全身へは大動脈-肺動脈シャントを介して、

肺血管抵抗の減少が必要である。また手術の結果としてシャント流量が多すぎることがあるが、この時には過度の肺血管抵抗の減少がかえって状態を悪化させる。実際には、十分な換気量で肺を膨らませ、酸素化が良好ならば、すみやかに吸入酸素濃度を下げる。FiO<sub>2</sub>が0.21で SpO<sub>2</sub>が85%以上、あるいは PaO<sub>2</sub>が45 mmHg以上であれば、換気条件を下げ Paco<sub>2</sub>が50 mmHg前後になるように調節する<sup>3,4)</sup>。著者らの施設では術後腹膜灌流が行われることが多い。灌流液の間欠的な注入排液は腹腔内圧が変動する結果、血行動態不安定になるので持続的な灌流を行う。しかし、腹圧は常に高くなっており、横隔膜は上昇することから、PEEPは5 cmH<sub>2</sub>O程度にあげておく必要がある。一方で、開胸になっていることも多く、この場合には胸腔内圧は大気に開放状態で心膜も閉鎖されていないので陽圧呼吸による静脈還流への影響や、右心後負荷 (この場合は胸腔内大動脈圧と肺動脈圧) への影響は通常の場合よりも軽減していると考えられる。フィラデルフィア小児病院では、HLHSの

6～7割が翌日にはウィーニングされていると聞くが人工心肺時間や術前管理や肺の状態などに差があるのであろうか。

#### c) Fontan 型手術後 (図4)

症例2は後日 Hemi-Fontan 手術さらに Fenestrated Fontan 手術が行われたが、これらの手術は基本的には、肺循環を体循環と分け直列型の循環にするものである。Hemi-Fontan 手術 (両方向性 Glenn 手術と血行動態的には同一と考えて良い) は Fontan 手術の前段階手術として上大静脈血流のみを肺動脈へ流すもので、どの手術も肺循環へは右室を介さないで血流を送る点で特徴的である。この場合、機能的右室は存在せず機能的左室は解剖学的右室である。従って、この手術成績を左右する因子としては①肺血管抵抗 (肺動脈や肺静脈の解剖学的な異常と、細肺動脈の生理的な変化) ②拡張期終末圧に示される心室のコンプライアンス③房室弁の逆流、などが大きい。呼吸管理上ではまず、肺血管抵抗の上昇は好ましくなく Norwood の術後とは異なり、高濃度酸素投与下にやや過換気にする方法がとられる。この時期は肺血管抵抗は生理的には正常であるが、原疾患の経過により発育形態は正常とは言えず、出来るだ

け肺を良く膨らませ胸腔内圧は低く保つことが好ましい。呼吸筋が十分回復し、かつ肺コンプライアンスが良く、胸腔内に胸水などが無く、術後の鎮痛も十分ならば、血行動態さえよければ速やかに自発呼吸下に管理することが望ましい。自発呼吸では肺血流量は最大64%の上昇を認めたという報告もある<sup>5)</sup>。しかし実際には体外循環や輸液負荷の影響による肺コンプライアンスの低下や、呼吸中枢や呼吸筋の回復の問題、鎮痛法、循環動態の変化などを考慮に入れ、一晚程度の人工呼吸がされることが多い。Fontan 術後に自発呼吸になると状態が悪化する原因としては、①肺胞レベルにおける軽度の高炭酸ガスが PVR を上昇させること。②自発呼吸による酸素消費量の増加が心機能を悪化させること。③心室機能の悪化と、PVR 上昇によって内因性的のカテコールアミンが増加すること、などが考えられる。また、腹水が多く胸腔内圧が上昇している時には、自発呼吸では胸腔内へ流入する血流は減少するため<sup>6)</sup>、完全な自発呼吸が良いとは言えない。更に、小児では成人よりも胸腔内圧上昇に伴う心拍出量の影響は少ないという結果もあるうえに<sup>7)</sup>不全心では胸腔内陽圧は心拍出量を増すとされており<sup>8)</sup>、Fontan 術後

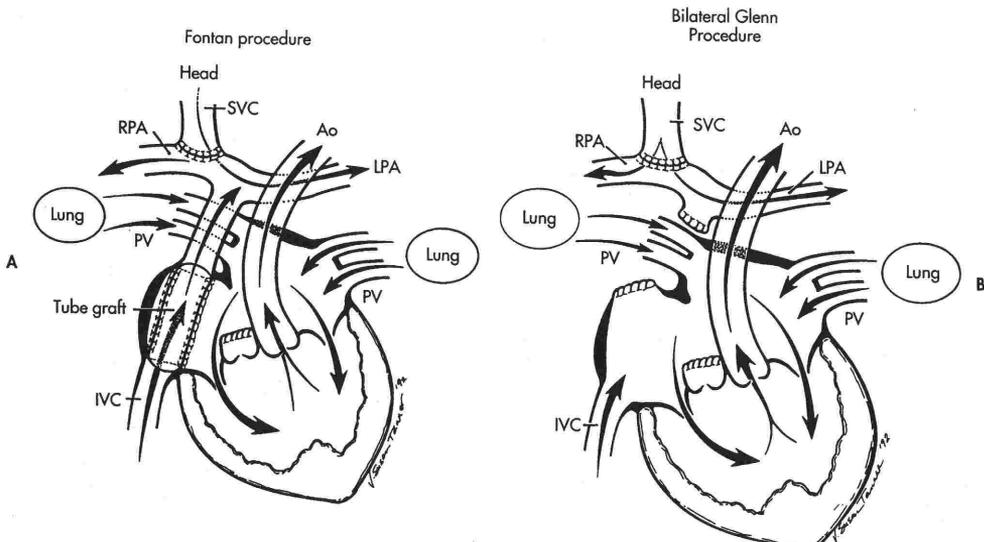


図4 Fontan 手術 (A) と両方向性 Glenn 手術 (B)

RPA (右肺動脈) LPA (左肺動脈) Ao (大動脈) PV (肺静脈) SVC (上大静脈) IVC (下大静脈),

(Greeley WJ, Kern FH. Anesthesia for cardiovascular surgery: ;Anesthesia for infants and children. St.Louis, Mosby-Year Book 1996より)

に自発呼吸下で管理することが絶対的ではない。陽圧呼吸を行うにあたっての設定は、陽圧呼吸を必要としている理由によって異なるが、PEEPは生理的な値の3 cmH<sub>2</sub>O程度からやや高めめの5 cmH<sub>2</sub>Oとする。IMV管理で行うことが殆どであるが、先に述べたように心不全が強い場合には調節呼吸とせざるを得ないこともある。

### ま と め

循環-呼吸相互作用に影響する多くの関与因子の中で、先天性心疾患の術後管理上、考慮に入れなければならない幾つかの特徴的なこととして：①胸郭・肺のメカニクス，②気道病変の存在，③肺血管抵抗の変化，④心内シャントの存在，⑤流出路狭窄，⑥機能的心室が単心室，等の問題があることを簡単に示した。小児，特に新生児・乳児早期例では各種のモニターや検査が，成人のように日常的に簡単に行える環境ではない為もあって，循環-呼吸相互作用についての小児における研究は少なく，今後の研究がまだまだ必要な分野である。

### 文 献

- 1) Motoyama EK : Respiratory physiology in infants and children; Anesthesia for infants and children. St. Louis, Mosby-Year Book 1996, pp.52
- 2) Rabinovitch M, Grady S, David I, et al : Compression of intrapulmonary bronchi by abnormally branching pulmonary arteries associated with absent pulmonary valves. *Am J Cardiol* 50 : 804-813, 1982
- 3) Jobs DR, Nicolson SC, Steven JM, et al : Carbon dioxide prevents pulmonary overcirculation in hypoplastic left heart syndrome. *Ann Thorac Surg* 54 : 150-151, 1992
- 4) Mora GA, Pizarro C, Jacobs ML, et al : Experimental model of single ventricle. Influence of carbon dioxide on pulmonary vascular dynamics. *Circulation* 90 : 1143-1146, 1994
- 5) Penny DJ, Redington AN : Doppler echocardiographic evaluation of pulmonary flow after the Fontan operation: The role of the lungs. *Br Heart J* 66 : 372-374, 1991
- 6) Lloid TC Jr : Effect of inspiration on inferior vena caval blood flow in dogs. *J Appl Physiol* 55 : 1701-1708, 1983
- 7) Clough JB, Duncan AW, Sly PD : The effect of sustained positive airway pressure on derived cardiac output in children. *Anaesth Intensive Care* 22 : 30-34, 1994
- 8) De Hoyos A, Liu PP, Benard DC, et al : Haemodynamic effects of continuous positive airway pressure in humans with normal and impaired left ventricular function. *Clin Sci (Colch)* 88 : 173-178, 1995