

小児心臓手術後横隔神経麻痺における回復過程の検討

厚美 直孝, 山内 治雄

東京都立八王子小児病院心臓血管外科

Key words :

小児心臓手術, 横隔神経麻痺, 胸部透視
所見Recovery from Postoperative Diaphragmatic Paralysis in Infants
and Children Undergoing Cardiac Surgery

Naotaka Atsumi, and Haruo Yamauchi

Department of Cardiovascular Surgery, Tokyo Metropolitan Hachioji Children's Hospital, Tokyo, Japan

Background: Although diaphragmatic paralysis is a known complication of pediatric cardiac surgery, the true incidence and process of functional recovery from the injury is unclear because diagnosis by routine chest X-ray is neither sensitive nor specific.

Method: One hundred fifty patients who underwent operation at our hospital from April 2002 to March 2005 were examined by chest X-ray and fluoroscopy for diaphragmatic function.

Results: The incidence of diaphragmatic paralysis after cardiac surgery was 4.7% (7 of 150). As three other patients had diaphragmatic paralysis on admission, 10 patients (6.7%) were diagnosed as having diaphragmatic paralysis at the time of discharge. Fluoroscopy confirmed the diagnosis in 2 patients who seemed to be normal on chest X-ray. Although chest X-ray showed normal findings on recovery from diaphragmatic paralysis, fluoroscopy disclosed the paralytic movement of the affected diaphragm in all cases. This paralytic movement was prominent especially during rapid inspiration.

Conclusions: Fluoroscopy disclosed diaphragmatic paralysis that could not be detected by routine chest X-ray. On recovery from diaphragmatic paralysis, movement of the affected side seemed to be normal during slow inspiration but paralytic during rapid inspiration.

要 旨

背 景：小児心臓手術後の横隔神経麻痺の発生頻度と障害からの回復過程は正確に把握されていない。

方 法：2002年4月～2005年3月の心臓手術患者150例について胸部単純X線写真(XP)および胸部透視所見を検討した。

結 果：術後の発生例は7例(4.7%)であり, 術前からの麻痺症例を含めると10例(6.7%)であった。XPと透視所見を併用して麻痺を診断した症例は5例で, うち2例がXPでの見逃し例であった。麻痺例の横隔膜指数(DI)は, 術前に比べ術後有意に低下し, 6例(86%)で前値に戻った。回復過程でDIが戻っても透視で異常を示す時期が全例に認められ, この現象は吸気速度によることを数量的に示した。

結 論：XPでは麻痺を見逃すことがある。回復過程においては, 遅い吸気では左右差を認めないが, 速い吸気では患側が健側に追従できない現象がみられるため, 治癒の判定には動的な評価が必要である。

はじめに

横隔神経麻痺は心臓手術後の合併症としてよく知られているが¹⁻⁴⁾, 胸部単純X線写真(XP)での診断に限界があるため⁵⁾, 後方視的な研究では正確な発生頻度を把握することは困難である。また同様の理由で, 麻痺は

回復するのか, 回復するならどういう過程をたどるのかということについても明らかでない。近年, 横隔神経麻痺がFontan手術の危険因子であることが明らかになり^{6,7)}, 先行手術の合併症としての本症の正確な診断が重要視されるようになってきた。

本研究では, 当院における心臓手術後の横隔神経麻

平成17年10月18日受付

別刷請求先：〒193-0931 東京都八王子市台町 4-33-13

平成18年1月23日受理

東京都立八王子小児病院心臓血管外科 厚美 直孝

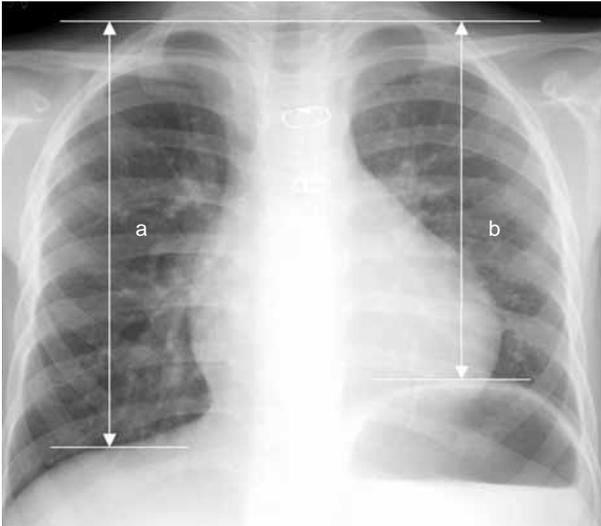


Fig. 1 Diaphragm index (DI).
a, b : Distance between the apex and diaphragmatic surface. The ratio of the affected side to the normal side (b/a) was defined as DI.

痺の発生頻度を正確に把握し発生予防に役立てること、加えて麻痺発生患者の障害からの回復過程を明らかにすることの2点を目的とした。

対象と方法

2002年4月～2005年3月の心臓手術症例150例を対象とした。手術時年齢は生後0日～15歳、体重は931g～40.9kg、人工心肺使用例は115例、非使用例は35例であった。

2002, 2003年度の症例については、XPを用いて後方視的に、2004年度についてはXPに加えて透視所見を用いて前方視的に検討を行った。XPではX線室で撮影した通常の立位、正面、吸気時の写真を使用し、肺尖から横隔膜中央までの距離の比(患側/健側)を横隔膜指数(DI)として求めた(Fig. 1)。透視所見の検討ではビデオ撮影した胸部正面の画像をデジタル表示とし、パーソナルコンピュータ上でコマ0.1秒のスピードでコマ送りを行って解析した。連続した10回の吸気における横隔膜の最大振幅の尾側を正の値、頭側を負の値として計測し、健側の振幅をx、患側の振幅をyとした(単位: cm)。また、最大振幅に至るまでに要した時間(t)を計測した(単位: 秒)。麻痺発生例のうち、局所心筋冷却を用いた症例をA群、用いなかった症例をB群とした。

結 果

対象症例のうち術後に横隔神経麻痺の発生が確認された症例は7例(4.7%)で、内訳はA群4例(VSD〔ventricular septal defect〕パッチ閉鎖術後3例, Jatene術後1例)、B



Fig. 2 Chest X-ray of the patient with right diaphragmatic paralysis diagnosed with fluoroscopy.

群3例(両方向性Glenn術後2例, 肺動脈形成術後1例)であった。対象症例のうち入院時の術前検査ですでに麻痺が確認された症例はこの7例のほかに3例あり、したがって退院時に麻痺が存在した症例は計10例(6.7%)であった。

この10例のうちで、診断のためにXPおよび透視を併用した症例は5例であり、うち2例(40%)がXP単独では診断できなかったため、XP診断のfalse negative例とした。Fig. 2にそのうち1例のXPを示した。症例は4歳の単心室症で生後1カ月に右BTシャント変法、10カ月で左BTシャント変法、3歳で両方向性Glenn手術、4歳で心臓カテーテル検査を受け、この時の透視所見で初めて右横隔神経麻痺が診断された。以前のカテーテル検査時の透視所見を見直すとすでに麻痺があったことから、初回手術時に麻痺が発生したと考えられる。この症例の下大静脈造影では、吸気に伴い下大静脈の狭窄が認められた(Fig. 3)。

術後に麻痺が発生した7例のXPによる検討では、DIは術前 1.01 ± 0.01 に対し、術後 0.76 ± 0.05 まで低下し($p < 0.01$)、6例が術後20～293日で術前値まで回復した(Fig. 4)。Jatene術後症例のみ回復がみられず横隔膜縫縮術を施行した。

これらの7例のうち透視を施行した4例について、退院時および外来で透視を繰り返して行うことにより麻痺からの回復過程を検討した。回復過程において、DIが術前値に戻っていながら透視所見で麻痺の残存が確認された時期が全例に認められた。A群のうちVSD術後に麻痺が発生した1例でのx値, y値の推移をFig. 5に

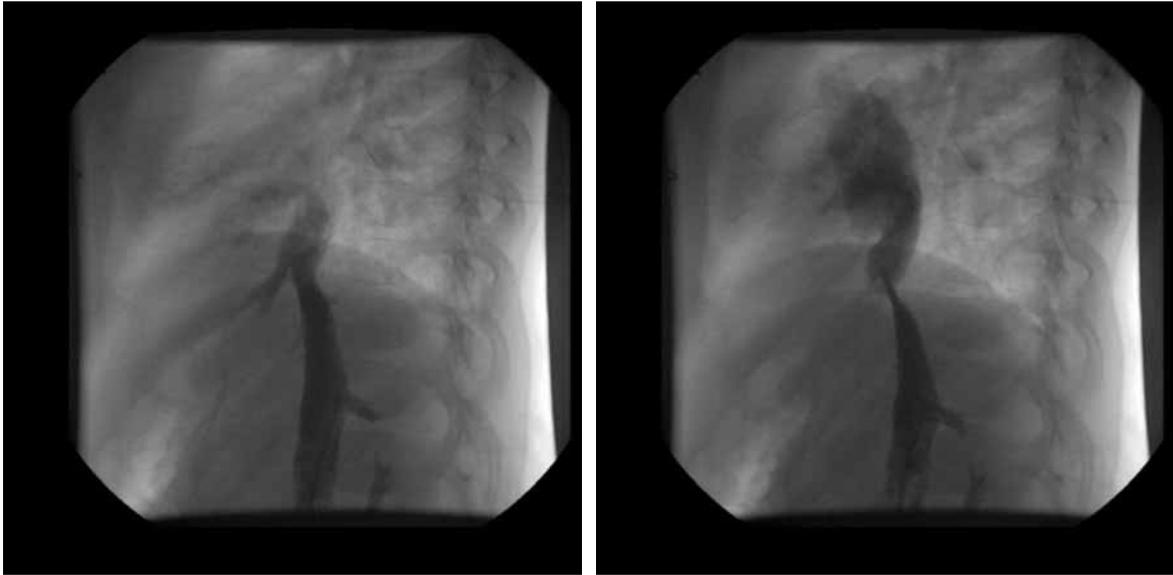


Fig. 3 Inferior vena cava angiography in a patient with right diaphragmatic paralysis.

A During expiration.
B During inspiration.

A | B

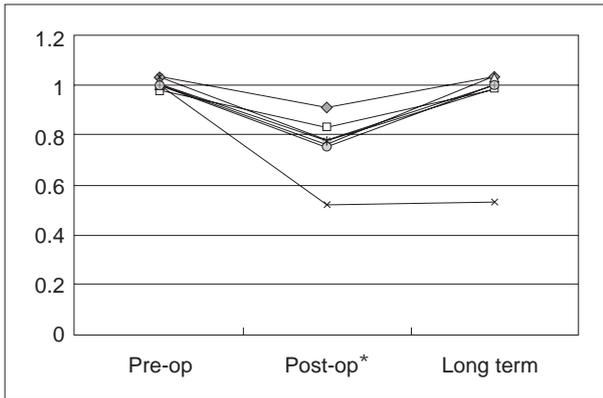


Fig. 4 Changes in DI in 6 patients with postoperative diaphragmatic paralysis.

* $p < 0.01$: significantly different from preoperative value.

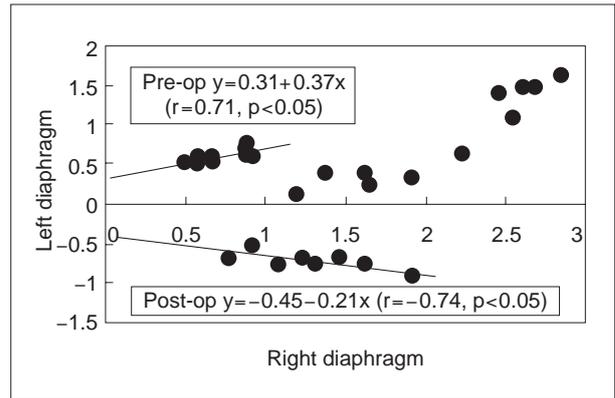


Fig. 5 Amplitude of diaphragm during inspiration.

示した．術前は $y = 0.31 + 0.37x$ ($r = 0.71, p < 0.05$)の正の相関が、術直後は $y = -0.45 - 0.21x$ ($r = -0.74, p < 0.05$)の負の相関が認められた．その他の点は回復期における吸気を示すが、患側の値 y 値)が健側の値 x 値)に比べて小さい傾向が認められた．しかし、速い吸気と遅い吸気で x 値と y 値の差を比較すると、速い吸気では両者の差が大きいが、遅い吸気では小さい傾向にあることが認められた．吸気速度による違いを数量的に表すために、両側の振幅の比 (y/x) と t との関係を見ると、 $y/x = 0.02 + 0.79t$ ($r = 0.78, p < 0.01$) の正の相関が認められた (Fig. 6)．これらの4例については、遠隔期には速い吸気でも横隔膜の動きに左右差がみられなくなったことを確認した．

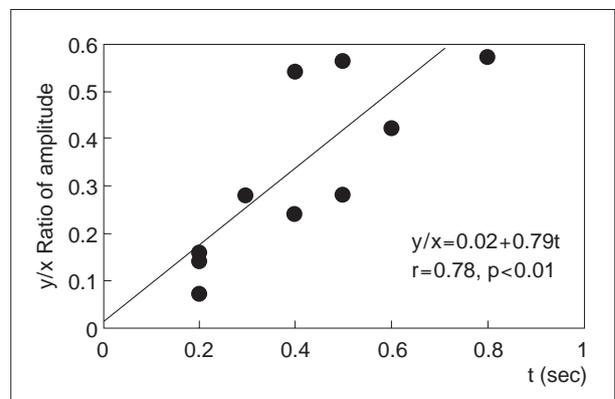


Fig. 6 Relation between inspiratory speed and ratio of amplitude.

考 察

横隔神経麻痺は心臓手術後の合併症としてよく知られている¹⁻⁴⁾。臨床的には、乳幼児で人工呼吸器から離脱できない場合や、離脱後に呼吸障害が残存する場合に問題となり、そのような症例に対して保存的または手術的な治療が行われてきた。それ以外の場合にはXPでの診断に限界があるため⁵⁾、見逃される場合も少なくない。近年、横隔神経麻痺がFontan手術の危険因子であることが明らかになり^{6,7)}、先行手術の合併症としての本症の正確な診断が重要視されるようになってきた。

本研究では横隔膜の透視所見を詳細に分析することにより、当院における心臓手術後の横隔神経麻痺の診断をできるだけ正確にすることを第一の目的とした。本研究における当院の術後横隔神経麻痺の発生率は4.7%であったが、過去の後方視的研究による報告の0.3~2.1%に比べて高いといえる¹⁾。しかし、横隔膜刺激を用いた前方視的研究では麻痺の発生率は10%であったとする報告もある⁴⁾。年長児では、横隔神経麻痺があっても症状が軽微であるために見逃されることが多いことが両者の数字の差の原因と考えられている¹⁾。

横隔神経麻痺の発生原因として、A群での発生はすべて左側であることから、局所心筋冷却に用いたice slushによるcold injuryである可能性が高い。またB群の3例はすべて再手術例であることから、麻痺は剥離操作に関係する可能性が高い。当院ではice slushを多用するため、軽症疾患ではその使用法を再検討することによりA群での発生予防につながると考えられる。B群においては術中のより慎重な剥離操作が求められるが、注意して手術を行っても発生する場合が少なくないため、再手術症例の増加に伴う重要な問題である。手術手技の改善に反映させるためにも、麻痺が存在したかどうかを正確に診断することは意義があると考えられる。

XPのfalse negative例がみられたことについて、この方法単独では診断に限界があることは過去に指摘された通りである⁵⁾。麻痺の原因となった手術の術後4年間に5回の入院があったにもかかわらず、DIが正常であるため一度も麻痺が指摘されなかった症例があったことを示した。この症例では吸気に伴い下大静脈が狭窄していることも示した。DIが改善していれば麻痺の影響は少ないと考えるが、新生児とFontan適応例については軽度の麻痺の影響を考える必要がある。速い吸気で十分に横隔膜が下がっていないことが新生児では患側肺の発育に影響を及ぼさないかどうか、Fontan適応例については血流分布への影響や下大静脈狭窄が起こるかどうかについて、今後の検討が必要と考える。当院では心

臓カテーテル検査時には必ず横隔膜の動きを透視で確認することがルーチンとなったため、今後は見逃し例がなくなることが期待できる。

第二の目的である障害からの回復過程の検討については、DIを指標とした検討では7例中6例(86%)で回復することが示された。回復した6例のうち、後方視的研究期間の4例について透視を用いて横隔膜機能を詳細に検討した結果、術前は左右差を認めなかった吸気時の横隔膜の動きが、術直後には奇異性となり、回復過程では吸気速度によって異なる傾向があることが示された。すなわち回復過程においては、患側の横隔膜は速い吸気では健側に追従して下降できないが、遅い吸気では健側とほとんど同じ位置まで下降するという現象が起こることを指摘した。この指摘によって、著しい麻痺でない場合にはX線室で深吸気に撮影されたXP単独では麻痺が左右差として現れず見逃すことがありうるということが明らかになった。透視ではこれを見逃すことはないので、術後の麻痺発生率を正確に算定することができる。

横隔膜機能障害の発生と回復の機序は次のように推測される。手術手技の向上から、横隔神経自体を切断することはまれであり、傷害はcold injury、剥離に伴う伸展、電気メスの刺激等によって起こっていると考えられる。末梢神経は傷害が軽微な場合は経過観察により機能が回復することが知られている。傷害直後で情報の伝達が全く行われない時期には横隔膜は収縮しないため、患側はparadoxicalに動く。その後、神経伝達が回復するにつれて、患側の収縮が遅い吸気でみられるようになり、時間経過とともに速い吸気にも追従できるまでに回復するのであろう。傷害の程度により、最終的な回復の程度に差が生じると考えられる。

本稿では術後みられたさまざまな横隔膜運動について、吸気時の最大振幅とそれに要した時間を計測することにより数量的な記述ができることを示した。この方法により、動的な機能を数量的に表現できるため客観的な横隔膜機能の評価が可能となった。数量化を取り入れたことにより本研究の目的が達成できたとともに、術後の横隔神経麻痺についての理解を深める研究になったと考える。

結 論

2002年4月~2005年3月の心臓手術患者150例のうち、術後横隔神経麻痺発生例は7例(4.7%)であり、術前からの麻痺症例を含めると10例(6.7%)であった。

XPおよび透視所見の併用による麻痺の診断例は5例あり、このうち2例(40%)がXPでの見逃し例であっ

た。

麻痺例のDIは術前に比べ術後有意に低下し、6例(86%)で回復した。

回復過程でDIが正常化しても透視で異常を示す時期が全例に認められ、この現象を数量的に表現した。

回復過程においては遅い吸気では差を認めないが速い吸気では患側が健側に追従できないため、治癒の判定には動的な評価が必要である。

本研究は2004年度東京都立病院臨床研究の助成により行った。また、本論文の要旨は第41回日本小児循環器学会総会・学術集会(2005年7月、東京)において発表した。

【参考文献】

- 1) Tonz M, von Segesser LK, Mihaljevic T, et al: Clinical implications of phrenic nerve injury after pediatric cardiac surgery. *J Pediatr Surg* 1996; 31: 1265–1267
- 2) de Leeuw M, Williams JM, Freedom RM, et al: Impact of diaphragmatic paralysis after cardiothoracic surgery in children. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1999; 118: 510–517
- 3) Joho-Arreola AL, Bauersfeld U, Stauffer UG, et al: Incidence and treatment of diaphragmatic paralysis after cardiac surgery in children. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005; 27: 53–57
- 4) Mok Q, Ross-Russel R, Mulvey D, et al: Phrenic nerve injury in infants and children undergoing cardiac surgery. *Br Heart J* 1991; 65: 287–292
- 5) Russell RI, Helps BA, Dicks-Mireaux CM, et al: Early assessment of diaphragmatic dysfunction in children in the ITU: Chest radiology and phrenic nerve stimulation. *Eur Respir J* 1993; 6: 1336–1339
- 6) Amin Z, McElhinney DB, Strawn JK, et al: Hemidiaphragmatic paralysis increases postoperative morbidity after a modified Fontan operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; 122: 856–862
- 7) Ovroutski S, Alexi-Meskishvili V, Stiller B, et al: Paralysis of the phrenic nerve as a risk factor for suboptimal Fontan hemodynamics. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005; 27: 561–565