—臨床医のために—

小児の心血管疾患に対するカテーテル治療

小川 俊一

日本医科大学小児科学教室

Cardiovascular catheter intervention in children

Shun-ichi Ogawa

Department of Pediatrics, Nippon Medical School

Key words: catheter intervention, cardiovascular disease, children

ヒトの心臓カテーテル法は1929年のForssmannが自分の左肘の静脈より右房まで尿管カテーテルを挿入したことに始まる。その後1950年代に人工心肺を用いた心臓手術が可能になるとともに術前診断の正確性を期すために心臓カテーテル法が臨床で盛んに用いられるようになった。さらに、1960年代にカテーテルを用いた末梢血管拡大術およびバルーンカテーテルによる心房中隔切開術が開始され、その後先天性および後天性心血管疾患に対してカテーテル治療が確立され今日の隆盛を見ている。今日では、カテーテルによる拡大術ばかりでなく、血管や心内欠損孔に対する閉鎖術、不整脈治療なども行われ、臨床上欠くことのできない治療法となってきた。

本稿では最近の小児の心血管疾患に対するカテーテル治療の現況を概説する。

1. 弁狭窄に対する弁形成術

1) 肺動脈弁狭窄

肺動脈弁狭窄症の治療は1982年にKan¹により経皮的バルーン形成術が施行され、その後臨床によく用いられるようになった。肺動脈弁狭窄はその形状よりドーム形成型弁狭窄、異形成弁、砂時計状狭窄などに分類されるが、ドーム形成型狭窄に対し弁形成術が施行されることがほとんどである。適応は右室・肺動脈圧較差が40 mmHg以上の狭窄であるが、最近では心エコー・ドップラーにより術前に非侵襲的に圧較差の推定が可能である。心カテーテルにて正確な圧較差を求め、右室造影を行い、弁狭窄の形態および弁輪径の計測を行う(図1)。バルーンサイズは弁輪径の150%を用いる(図2)。ただし、弁輪径の大きな症例では2本のカテーテルを用いるダブルバルーン法で行う。ダブル

図1 肺動脈弁形成術前の右室造影(5歳、男児)。左：右室造影側面像、右：右室造影正面像。3弁性の狭窄で、ドーム型の狭窄である。弁は肥厚し、著明に狭窄後拡張した肺動脈が認められる。

ルバルーン法のバルーン径の選択は2つのバルーンの半円周の和と接線を結ぶ直線の和に相当した円周をもつ1つのバルーンを想定し、弁輪径と比較し、バルーンを選択する(図3)。方法はバルーンカテーテルを肺動脈内に挿入し、弁狭窄部にバルーンを中心がくるように留置し、用手的にバルーンを拡張する。バルーンの中心部に waist (くびれ) が生じ消失するのを確認後終了する。その後再度カテーテルにより右室肺動脈圧較差を測定し、また右室造影により弁狭窄解除後の弁の形態などの確認を行う。もし、“くびれ”ができな

ければバルーンの位置を変え繰り返す。なお、新生児の重症肺動脈狭窄に対してはまず初めに2~3 mmのバルーンで2, 3 回行い、その後さらに4~8 mmのバルーンカテーテルを用いる段階的方法が行われている。バルーン弁形成術施行後の弁形態は Walls ら²により次の3つに分類されている。(1) commissural splitting, (2) cusp tearing, (3) cusp avulsionである。成績は良好であり、McCrindle³は353例を検討し、治療直後は89%, 遠隔期においても80%の有効率であったと報告している。当科においてもほぼ同様な成

図2 Single balloon catheter による肺動脈弁形成術(図1と同症例)。左：狭窄解除前、右：狭窄解除後。狭窄前後の圧較差は約60 mmHg, 狭窄部の弁輪径は16 mmであり、その150%大の24 mmのバルーンカテーテルを使用。バルーンの中央部を狭窄部に固定。waist が認められる。8気圧にて約15秒間 inflation した。狭窄解除後圧較差は10 mmHg にまで改善された。

図3 Double balloon catheter による弁形成術(2歳, 女児)。左：狭窄解除前、右：狭窄解除後。狭窄前後の圧較差は約80 mmHg, 狭窄部の弁輪径は10 mmであり、10 mmのバルーン2本(直径は約16 mmとなる)を用い、6気圧, 約15秒間 inflation した。狭窄解除後、圧較差は15 mmHg にまで改善された。

績 (78 例施行, 有効率 90%) である。合併症はほとんど認められず有効で安全な治療法であると思われる。

2) 大動脈弁狭窄

大動脈狭窄は大きく弁性, 弁上部, 弁下部の 3 つに分類されるが, 弁性狭窄が最も多く 70% をしめる。また, 先天性の場合, 弁は 2 尖弁であることが多い。新生児・乳児期の弁性狭窄では弁尖の肥厚により可動性が低下し, 弁輪径が小さい症例が多い。弁上部および弁下部狭窄でバルーンによる形成術の適応となるのは膜様狭窄だけである。小児の大動脈弁狭窄症は血行動態より乳児重症型 (critical AS) と年長児型に分類される。critical AS は新生児乳児早期より心不全症状で発症し, 内科治療では救命できずバルーンカテーテルによる弁形成術を含め外科的治療が必要となる。ただし, 重篤な心不全を呈している症例では左室収縮・拡張能が極めて低下しており手術に耐えられないことが多く, 最近では緊急でバルーンによる弁形成術を施行するのが一般的である (図 4)。一方, 年長児型 AS に対する弁形成術の適応は左室一大動脈圧較差が 40 mmHg 以上でかつ, 大動脈弁閉鎖が Sellers 分類の I 度以下の症例である。バルーンのサイズは critical AS では大動脈弁輪径より 1 mm 小さいものを, また年長児型では弁輪径の 90% 径のものを一般的に用いる。年長児で弁輪径が大きい症例に対しては肺動脈弁狭窄症のバルーン拡大術と同じように single balloon ではなく double balloon で行うこともある。大動脈弁狭窄症

のバルーン拡大術に際しては十分な鎮静および催眠療法を行うのは当然であるが, それ以外にバルーン拡大時の徐脈, 低血圧を予防するために, 硫酸アトロピン 0.01 mg/kg の静注および塩酸ドーパミンないしは塩酸ドブタミン 5 μ g/kg/min 程度の強心剤の点滴静注が必要である。さらに右心室にペースメーカーカテーテルを挿入し, 安静時心拍数の 80% 程度の心拍数で back up pacing を行う。また, 出血を伴うことが予想されるので濃厚赤血球の準備も必要である。

バルーンカテーテルを大動脈弁に到達させる経路としては, 順行性の経路 (卵円孔より左房, 左室を介して大動脈に挿入させる) と逆行性の経路がある。新生児期に逆行性経路より行う場合には大腿動脈よりではなく, 右総頸動脈よりカテーテルを挿入する方法が良い。バルーンの inflation 時間は約 10 秒間程度で速やかに deflate することが大切である。また, なるべく 1 回の inflation にて狭窄の解除を行う。当科での年長児型 AS に対するバルーン拡大術の成績は術後の圧較差が 40 mmHg 以下になったものを効果ありとすれば, 約 40% であり, 諸家の成績とほぼ同じである⁴。一方, critical AS に対する成績は対象となる患者の状態により様々であるが一般に芳しくない。いずれにしても AS に対するバルーン拡大術は根治治療をもくろむのではなく, 弁置換術を含む外科治療施行までの期待的治療に過ぎない方法であることを考慮し, 極力閉鎖不全を起こさない, ないしは増悪させないように注意し

図 4 乳児重症型大動脈弁狭窄症 (生後 10 日, 男児)。左: 左室収縮末期像, 右: 左室拡張末期像。肥厚した大動脈弁が認められる。弁は 2 尖弁。カテーテルは右総頸動脈より挿入。左室の収縮能は低下 (駆出率 38%) および左室収縮末期圧も 80 mmHg と低下し, 左室一大動脈圧較差は 35 mmHg であった。弁輪径は 4 mm であり, 3 mm のバルーンカテーテルにて 4 気圧, 約 10 秒間 inflation した。術後圧較差は 25 mmHg と残存したが左室収縮能は徐々に改善。術後 7 日目の心エコー検査にては約 60% にまで改善した。

て施行する必要がある。

3) 僧帽弁狭窄

先天性僧帽弁狭窄症は稀な疾患である。一般に僧帽弁狭窄症は交連部癒合型、パラシュート状弁、弁下狭窄などに分類される。この中でパラシュート状弁はバルーンカテーテルによる弁形成術により弁葉の亀裂が発生する危険性があるので、適応から除外するのが普通である。また、後天性としてはリウマチ性の僧帽弁狭窄があるが、先進国では最近ほとんど見かけない。カテーテルの左心房への留置経路としては、新生児・乳児期であれば卵円孔開存の可能性があるものでそれを利用する。また、心房中隔に交通路が無ければ心房中隔穿刺法ないしは左室よりバルーンカテーテルを利用して左房にカテーテルを留置する方法などがある。僧帽弁狭窄症では年齢に比し左房が拡大しているので、心房中隔穿刺もそれほど難しくない。バルーンカテーテルのサイズは小児では体重に基づいたバルーン径の基準がありそれを用いる。小児における成績は交連部癒合型以外は悪く、最近では緊急処置の以外にはあまり施行されない。合併症としては弁葉に亀裂が生じることによる僧帽弁逆流、また心房中隔穿刺術に伴い、カテーテルの先端が心外に穿孔することによる心タンポナーデなどがある。

2. 末梢血管狭窄に対する拡大術

1) 大動脈縮窄

大動脈縮窄症に対するバルーンカテーテルによる縮窄拡大術は肺動脈弁狭窄や大動脈弁狭窄などの弁形成術に比べ、その有効性や安全性は確立されていないのが現状である。大動脈縮窄は管前型（乳児型）と管後型（成人型）に大別されるが、管前型は心室中隔欠損（VSD）や心房中隔欠損を合併することが多く、肺動脈高血圧を伴う。両者とも大動脈弁狭窄を20～30%程度合併する。本症に対するバルーン拡大術の適応は今の所一致した見解はない。一応当科では大動脈縮窄術後の再狭窄例、手術未施行で孤立性かつ限局性のものなどを適応としている。反対に適応外のものとしては新生児の大動脈縮窄複合、太い動脈管開存を合併する症例、縮窄部が限局性ではないものなどである。また、適応となる圧較差は一応25 mmHg以上とすることが多いが、新生児期の縮窄や、大きなVSD合併例などでは圧較差が少ないこともあるので造影による縮窄部の形態なども考慮に入れて適応を決める必要がある。用いるバルーンサイズは横隔膜部あるいは鎖骨下動脈分枝直後の大動脈径と同径を用いるのが良いとの報告が多く⁵、当科にては横隔膜部の大動脈径と同径のバルー

ンカテーテルを用いている。手術後の再狭窄例および未手術例に対するバルーンカテーテルによる縮窄拡大術の成績はいずれも再狭窄が約10数%、動脈瘤などの合併症も10%前後認められたとの報告が多い^{5,6}。

2) 末梢肺動脈狭窄

肺動脈弁上部より末梢肺動脈にいたる部分に存在する狭窄性病変に対しても、最近積極的にバルーンカテーテルによる拡大術が施行されている。特に大血管転換症に対するJatene手術後の末梢肺動脈狭窄に対し施行されることが多い。バルーンサイズは狭窄部径の300～500%を用い、10気圧以上の高圧にて行う。成功率は40～58%と高くはない^{7,8}。術後狭窄ではバルーン拡大術施行時の年齢および手術からの経過年数が少ない症例ほど成績は良いとの報告がある⁹。また、先天狭窄に対するバルーン拡大術の成績は低い。最近、バルーン拡大術後の再狭窄例にPalmazタイプのステントを用いている施設もある。

3) 冠動脈狭窄

川崎病の合併症・後遺症として問題になるのが冠動脈瘤および狭窄である。特に狭窄性病変の存在は心筋虚血・梗塞を引き起こす原因となる。小児に対し経皮的冠動脈拡張術（PTCA）はほとんど施行されていないのが現状だが、当科では急性心筋梗塞を起こした症例はもちろん、無症候性であっても将来のQOLを考えると心筋虚血に対しPTCAを施行すべきと考え、乳幼児の症例も含め積極的に行っている。無症候性心筋虚血の診断は薬物負荷（塩酸ドブタミン）による心筋シンチ、体表面加算平均心電図、体表面マッピングを用いて行い、心筋虚血が推定された症例にPTCAを施行し、好成績を得ている¹⁰⁻¹²。PTCAの方法は成人に対する方法に準じて施行する。バルーンサイズは近傍の健常冠動脈血管径と同じサイズを用い、inflation時間は約60秒間施行する（図5）。可能であればPTCA施行前後で冠動脈内エコーを行い、狭窄度、血管内腔および石灰化の有無やその程度のチェックを行うと良い。極度に内膜が肥厚していたり、全周性に石灰化が認められるような症例は適応より除外した方が良いと思われる（図6）。

3. 末梢血管閉鎖術

1) 動脈管開存

1966年にPorstmann¹³が大動脈よりカテーテル法を用いて閉塞栓による動脈管閉鎖術に成功した。これは大動脈および大動脈静脈のそれぞれよりカテーテルを挿入して行う方法でdouble catheter法と呼ばれている。また、変法として大動脈静脈よりカテーテルを

図5 川崎病罹患児（5歳，男児）．生後10カ月時に川崎病に罹患．急性期より右冠動脈 segment 1 に動脈瘤が認められた．今回の検査より3年前に施行した冠動脈造影（CAG）では瘤間に約25%の狭窄が認められた．ドプタミン（DOB）負荷心筋シンチ，体表面マッピング，体表面加算平均心電図を施行し，すべて陽性であり無症候性心筋虚血が示唆された．直ちにCAGを施行，瘤間の狭窄は99%に，また瘤後に50%の狭窄が認められた．2.5 mm の径のバルーンカテーテルを用いてPTCAを施行した．12気圧，約10秒間をinflationし，瘤間の狭窄は25%以下にまで改善した．なお，約2カ月後に施行したDOB負荷の諸検査にては全部陰性であり，心筋虚血の改善が示唆された．

図6 冠動脈内エコー図（図5と同症例）．PTCA前後に血管内エコー検査を施行した．狭窄部は内膜の肥厚が著明で，石灰化が認められた（左），バルーンによるintimal flapが認められ，また狭窄は解除された（右）．

進める single catheter 法があるが，いずれも動脈を損傷する可能性があり年長児や成人に行われている．一方，1979年に Rashkind ら¹⁴は折り畳んだ閉塞栓を大腿静脈から挿入して動脈管を閉鎖する方法を開発した．この方法は動脈を損傷することなく行えるので幼小児例に適している．これらの他に塞栓としてコイルを用いた方法^{15,16}も考案され臨床応用されている．

2) 末梢血管および異常血管に対する塞栓術

1975年に Gianturco ら¹⁷が stainless steel coil による異常血管の塞栓を報告して以来，様々な疾患に応用されてきている．小児科領域では，ファロー四徴症などに合併する主要大動脈肺動脈側副血管（MAPCA）や，心内修復術後の遺残体肺短絡血管，肺分画症，肺動静脈瘻，冠動脈瘻などがコイル塞栓の対象となって

いる。血管の屈曲が強く guiding catheter の挿入が不可能な場合や、血管の形態により塞栓子を血管に固定できない場合、さらに血管径が大きすぎたり (10 mm 以上)、小さすぎたり (2 mm 以下) する場合は適応にならない。しかし、MAPCA を含め手術後の遺残血管に対する手術は困難な場合が多く、また手術不能の場合もあり本法は有用である。

4. 心房中隔欠損閉鎖術

1976 年より様々な方法による心房中隔欠損の閉鎖術が試みられてきたが、Lock ら¹⁸により Rashkind 法による PDA 閉塞術の変法を用いた傘型の double disk の clamshell 型閉塞栓による治療が開発された。その後、改良が加えられ現在広く施行されるようになってきたが、未だ多くの問題を抱えており完全に確立された方法までには至っていない。

5. その他

小児のカテーテル治療は以上の他に、Rashkind ら¹⁹により先天性心疾患に施行された心房中隔切開術 (BAS) がある。現在はバルーンカテーテルによる BAS が主流であり、完全大血管転換症、三尖弁閉鎖症、肺動脈弁閉鎖症などの重篤なチアノーゼ性先天性心疾患児の症状改善に効果的である。また、不整脈の治療としてカテーテルアブレーション法を用いて、WPW 症候群の回帰性頻拍症や、上室性頻拍症、心室性頻拍症などの疾患に対し施行され臨床効果を上げている。

以上、最近の小児におけるカテーテル治療について概説した。外科的手術の適応であった症例もカテーテル治療が可能であれば、カテーテル治療を優先的に行う時代になってきている。一方、カテーテル治療はかなり危険性を有しており熟練した医師が施行すべきである。さらに、内科医だけでなく必ず外科医の協力のもと行うべきであり、カテーテル施行による緊急事態の発生に対しては的確にかつ迅速な処置が必要と考える。

最後に、本稿の御校閲を下さいました山本正生主任教授に深謝申しあげます。

文 献

1. Kan JS, White RI Jr, Mitchell SE, Gardner TJ: Percutaneous balloon valvuloplasty: A new method for testing congenital pulmonary valve stenosis. *N Engl J Med* 1982; 26: 540—542.
2. McCrindle BW, Kan JS: Long-term results after

- balloon pulmonary valvuloplasty. *Circulation* 1991; 83: 1915—1922.
3. Walls JT, Lababidi Z, Curtis JJ, Silver D: Assessment of percutaneous balloon pulmonary and aortic valvuloplasty. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1984; 88: 352—356.
4. Rocchini AP, Beekman RH, Shachar GB, Benson L, Schwartz D, Kan JS: Balloon aortic valvuloplasty: Results of the valvuloplasty and angioplasty of congenital anomalies registry. *Am J Cardiol* 1990; 65: 784—789.
5. Hijaki ZM, Fahey JT, Kleinman CS, Hellenbrand WE: Balloon angioplasty for recurrent coarctation of aorta: Immediate and long-term results. *Circulation* 1991; 84: 1150—1156.
6. Rao PS, Chopra PS: Role of balloon angioplasty in the treatment of aortic coarctation. *Am Throac Surg* 1991; 52: 621—631.
7. Rothman AR, Perry SB, Keane JF, Lock JE: Early results and follow-up of balloon angioplasty for branch pulmonary artery stenosis. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15: 1109—1117.
8. Hosking MK, Thomaidis C, Hamilton R, Burrows PE, Freedom RM, Benson LN: Clinical impact of balloon angioplasty for branch pulmonary arterial stenosis. *Am J Cardiol* 1992; 69: 1467—1470.
9. 中西敏雄, 松本康俊, 富松宏文, 中澤 誠, 門間和夫: 肺動脈狭窄に対するバルーン拡大術の成績。1) 大血管転換症に対する Jatene 術後の症例。日小循環誌 1993; 8: 645—654.
10. Ogawa S, Nagai Y, Zhang J, Yuge K, Hino Y, Jimbo O, Fukazawa R, Hayashi R, Kamisago M, Seki T, Genma Y, Ohkubo T, Takechi N, Yamamoto M: Evaluation of myocardial ischemia and infarction by signal-averaged electrocardiographic late potentials in children with Kawasaki disease. *Am J Cardiol* 1996; 78: 175—181.
11. Genma Y, Ogawa S, Zhang J, Yamamoto M: Evaluation of myocardial ischemia in Kawasaki disease by dobutamine stress signal-averaged ventricular late potentials. *Cardiovasc Res* 1997; 35, in press.
12. Ogawa S, Fukazawa R, Ohkubo T, Zhang J, Takechi N, Kuramochi Y, Hino Y, Jimbo O, Katsube Y, Kamisago M, Seki T, Genma Y, Yamamoto M: Silent myocardial ischemia in Kawasaki disease: Evaluation of percutaneous transluminal coronary angioplasty by dobutamine stress test. *Circulation* 1997; 96: 3384—3389.
13. Porstmann W, Wierny L, Warnke H, Gerstberger G, Romanick PA: Catheter closure of patent ductus arteriosus: 62 cases treated without thoracotomy. *Radiol Clin North Am* 1971; 9: 203—218.
14. Rashkind WJ, Mullins CE, Hellenbrand WE, Tait

- MA : Nonsurgical closure of patent ductus arteriosus: Clinical application of the Rashkind PDA occluder system. *Circulation* 1987 ; 75 : 583—592.
15. Cambier PA, Kirby WC, Worthman DC, Moore JW : Percutaneous closure of small (<2.5mm) patent ductus arteriosus using coil embolization. *Am J Cardiol* 1992 ; 69 : 815—816.
16. Le TP, Neuss MB, Redel DA : A new transcatheter occlusion technique with retrievalbe, double-disk shaped coil : First clinical results in occlusion of patent ductus arteriosus. *Cardiology Young* 3 1993 ; 3(Suppl 1): 111.
17. Gianturco C, Anderson JH, Wallace S : Mechanical devices for arterial occlusion. *Am J Roentgenol* 1975 ; 124 : 428—435.
18. Lock JE, Rome JJ, Davis R, Van Praagh S, Perry SB, Van Praagh R, Keane J : Transcatheter closure of atrial septal defects: Experimental studies. *Circulation* 1989 ; 79 : 1091—1099.
19. Rashkind WJ, Miller WW : Creation of an atrial septal defect without thoracotomy: A palliative approach to complete transposition of the great arteries. *JAMA* 1966 ; 196 : 173—174.

(受付：1997年10月7日)

(受理：1997年11月7日)