

■ 総 説 ■

大動脈弁狭窄症、大動脈縮窄に対するカテーテル治療の実際

石井 徹子

Catheter Intervention for Valvular Aortic Stenosis and Aortic Coarctation

Tetsuko Ishii

doi: 10.20599/jpic.2.7

■ 要 約 ■ カテーテル治療による弁形成は先天性大動脈弁狭窄症の標準的な治療となってきた。逆流が軽度以下で、左室収縮不全に陥った重症狭窄あるいはカテーテル検査で圧較差 >50 mmHgの大動脈弁狭窄が適応である。バルーンサイズは弁輪径の0.9–1.0倍のバルーンを選択する。短期の治療成績は良好と言われている。しかし中長期の経過では逆流や再狭窄で約半数に手術介入が必要となると報告されている。大動脈縮窄に対する治療介入は、上下肢の圧較差 >20 mmHgが適応である。ステントが安全で効果的な治療とされているが、小児や形態的にステント留置困難な場合にバルーン拡大術が行われる。瘤形成や大動脈解離の合併症を回避するため、参照血管径以内のサイズでバルーンを選択する。

■ Abstract ■ Transcatheter balloon aortic valvuloplasty (BAV) has become the standard treatment for congenital aortic stenosis. Indications for BAV is aortic valve pressure gradient 50 mmHg, or severe aortic stenosis with reduced ventricular contraction without significant aortic regurgitation. Valvuloplasty balloon is its diameter 0.9–1.0 times the annulus size. Short-term safety and efficacy of BAV have been reported. However, in about a half the patients, aortic valve regurgitation and re-stenosis developed, and eventually requiring surgical intervention over the long-term.

For aortic coarctation, catheter intervention is indicated, when pressure gradient between the upper and lower limb >20 mmHg. Although stent is considered superior to balloon angioplasty (BA), small children or patients with tortuous aorta, BA is chosen. To avoid complication such as aortic aneurysm or dissection, angioplasty balloon is its diameter $<$ reference vessel.

■ Key words ■ congenital aortic stenosis, bicuspid aortic valve, balloon aortic valvuloplasty, aortic coarctation

大動脈弁狭窄症のカテーテル治療

はじめに

本治療は1983年のLababidiらの報告にはじまり、1986年には新生児に対し行われている。カテーテル治療による弁形成は、手術の治療成績や合併症頻度はほぼ差がないとされ、またその侵襲性は手術に比較して低いことから、手術に変わり先天性大動脈弁狭窄症の第一選択治療となってきた。今回はその治療の詳細について説明する。

1. 治療前評価

適応の評価

本疾患の自然暦を調べた研究から¹⁾、治療適応は大動脈弁閉鎖不全があっても軽度で、かつ超音波検査で推

定圧較差 >70 mmHg、あるいはカテーテル検査の圧較差 >50 mmHgとされている。エコーによる圧較差の推定は、カテーテルによる圧較差と一致しない。これは主にふたつの理由がある。一つはカテーテルの圧較差は引き抜き圧較差のため大動脈—左心室の最大圧較差であるのに対し、エコーでの評価は同時圧の差の最大値を計測しているためである。もうひとつはpressure recoveryによるもので、最狭窄部を通過するときに血流は最も早く加速され、圧エネルギーが動的エネルギーに転換される。しかし狭窄部を通過した血流は速度が低下し、その動的エネルギーが圧エネルギーに転換される。これをpressure recoveryと呼び、カテーテルの圧力はその回復した圧を測定しているのに対し、エコーは最狭窄部の最大流速を測定しているため、過大評価する。また低心拍出の場合、圧較差は重症度を反映

東京女子医大病院循環器小児科

Tokyo Women's Medical University Hospital, Pediatric Cardiology

Received May 22, 2017; Accepted June 12, 2017

しない。つまりフォンタン循環などでは、この適応基準では判断できないということになり、運動負荷テストによる心電図変化や運動耐応能、カテーテル検査により算出される弁口面積などを元に判断する必要がある。

新生児の重症大動脈弁狭窄症の場合も圧較差は重症度を反映しない。動脈管依存性の場合や、左室収縮能が低下している症例は速やかな狭窄の解除が必要である。この場合問題となるのは、左心低形成症候群とのボーダーラインの左心室を有する場合である。左室の大きさ、僧帽弁の形態など、二心室修復が可能かどうかを検討する必要がある。いくつかの予測因子などが報告されているが²⁾、正確な判断は未だ困難である。

弁の構造の評価

先天性大動脈弁狭窄症では大動脈二尖弁の頻度が最も高く、二尖弁の中には形態的に二尖であるもの、形態的には三尖であるが一つの交連が癒合し false commissure (raphe) を形成し機能的二尖弁のものがある。稀ではあるが一尖弁のこともあり、新生児重症大動脈弁狭窄症に多い。狭小弁輪、ゼラチン様の肥厚など観察する。機能的二尖弁では癒合した交連が裂けることにより治療効果が期待できるのであるが、弁腹が避けてしまうこともあり false commissure の癒合肥厚の程度や、二尖弁のバランスなどが関連すると考えられている^{3,4)}。年長者(30-40歳以上)では、レントゲンによる弁の石灰化の有無などを確認する。

2. 治療計画

アクセスライン

通常は大腿動脈より逆行性に行う。多くの術者にとっては最も操作に慣れている部位であり乳児以降であればほぼ大腿動脈からのアプローチで対応できる。そのほか右総頸動脈や、大腿静脈から心房間を経由して順行性のアプローチもある。右総頸動脈アプローチではカテーテルが直線的になるため、ガイドワイヤーが大動脈弁を通過することが容易になる (Fig. 1)。これらのアプローチは重症大動脈弁狭窄症で、なかなか左室へのカテーテル挿入が困難な際や、大腿動脈へ太いシース挿入を避けたい場合などに用いられる。出生前診断のもと治療計画を立てるのであれば臍帯静脈からもアプローチ可能である (Table 1)。

シースサイズ

シースサイズの選択は、当然の事ながら使用予定のバルーンを選択し、それに適合するシースサイズを選択す

る。成人例では弁輪径が大きいので、ダブルバルーン法(後述)で行うことでシースを細くできる。また使用するバルーンよりワンサイズ大きめのシースを使用することで、シースと左心室の同時圧が測定できる。このため引き抜きや、体血圧用のカテーテル挿入のための追加の穿刺が不要となる。ただしシース圧は抹消での圧になり通常大動脈圧より高値となるため圧較差は過小評価される。

バルーンを選択

バルーンサイズは弁輪径の0.9-1.0倍⁴⁾とされている。バルーンには通常耐圧のものと高耐圧バルーンがある。弁形成では高耐圧の必要性はなくどちらのバルーンも選択される。バルーンは通常 nominal pressure で記載の直径に拡大され、burst pressure で記載値よりやや大きい径まで拡大される。拡大の差のほとんどないものがノンコンプライアントバルーン、差の大きいものがセミコンプライアントバルーンである。一般的ノンコンプライアントバルーンは硬く、追従性も劣るが硬い病変を拡大する効果は高い。反対にセミコンプライアントバルーンは柔軟性があり追従性も



Fig. 1 Catheter inserted from right carotid artery
The catheter inserted from right carotid artery (arrow) can direct guide wire straight to the aortic valve.

Table 1 Comparison among Three Approach Sites.

Approach Site	Merit	Demerit
Femoral Artery	Familiar Manipulation	Femoral Artery Injury
Carotid Artery	Easy to cross aortic valve	Necessity of Cut-Down, Cerebrovascular Event
Femoral Vein (Umbilical Vein)	Easy to cross aortic valve	Patent Foramen Ovale or Brockenbrough, Mitral Valve Injury

勝る。また拡大圧を選択することで、弁輪径に合わせてバルーン径の微調整ができるなどのメリットがある。以上のようなバルーンの特長、適合シース、適合ガイドワイヤー、患者の体格や年齢などからバルーンを選択する。乳児にはシャフトの細いものが好ましい。学童以降とくに成人ではシャフトは太くなるが0.035インチガイドワイヤー適合のバルーンを選択することが多い。これにより、より硬いstiff wireを使用することが可能となり、左室の収縮により不安定なバルーンを安定させることができる。

麻酔、全身管理

新生児の重症大動脈弁狭窄症では呼吸管理を必要としている状態のことが多い。またプロスタグランジンを使用していることも多く、無呼吸などの副作用に対応できるようにする。また総頸動脈穿刺の場合には動脈cut-downが必要であり、呼吸管理のうえ全身麻酔が必要である。聞き分けのある年齢で心機能が保たれている場合には全身麻酔は必須ではない。しかしながら、rapid pacing（後述）などで循環動態を不安定にすること、大動脈を瞬間的に閉塞させる治療であり軽度の鎮静は勧められる。気管内挿管下の全身麻酔に移行できる準備は必要である。

3. 治療の実際

左室にカテーテルを挿入するのが困難なことが多い。このため大動脈の造影や圧測定をあらかじめ行い、大動脈造影にて弁輪径を計測。バルーンサイズを決定する。次に左室にカテーテルを進めるのであるが、左室のカテーテル挿入は右Judkinsを用いることが多い。大動脈造影を確認し大動脈弁の解放の方向に合わせてカテーテルとガイドワイヤーで探るようにする。通常は先端がJ型のガイドワイヤーを多く用いるが、入りにくい場合には先端が曲がりのないストレートタイプのものを選択すると入りやすい。カテーテルが左室に挿入されたら圧測定を行う。シース圧が取れる場合や、動脈を2箇所穿刺している場合は大動脈との同時圧測定で治療の適応を判断する。同時圧が取れない場合は各々測った圧から判断する。引き抜きは、左室への挿入が困難なため行わないことが多い。心機能が保たれており余裕がある場合には、右Judkinsカテーテルから造影用のカテーテルに入れ替え、左室造影を行うが、新生児など循環が不安定な場合にはそのまま治療に進んでいく。

バルーン適合のstiff wireを選択し、左室の損傷を防ぐように先端に用手的にカーブをつける（Fig. 2）。右Judkinsカテーテルからバルーンカテーテル適合ガイドワイヤーに入れ替える。乳児に使用するバルーンはしばしば適合ワイヤーが0.021インチ以下のものが多い。右Judkinsカテーテルは0.035インチが適合ワイヤーであるためバルーン適合のガイドワイヤーはそれよりも細くなる。入れ替えの際に手早く行うか、止血弁を用いると入れ替えの際の出血を少なくすることができる。

次にガイドワイヤーに沿って治療用のバルーンカテーテルを先進していく。始めに行った大動脈造影を参考に、大動脈弁の位置を想定し、バルーンの真ん中に来るところまでバルーンを進めていく。バルーン拡大の際には、waistの消失を注意する。Waistができない場合はバルーン位置が悪い、バルーンサイズが十分でない可能性がある。弁輪に比較的小さいバルーンなのでごくわずかなwaistを見落とさないように注意する（Fig. 3）。

拡大時に弁位で固定されず抜けてしまう場合、右室のRapid pacingやアデノシン三リン酸の急速静注が用いられることがある。Rapid pacingは右室にペースングカテーテルを挿入し（Fig. 4）、体血圧が半分程度になるようなペースングレートを確認しておき、バルーン拡張の前にRapid pacingで血圧を落としてから拡大する⁵⁾。心機能の低下している症例では不要なことが多い。念のため除細動をスタンバイする。

成人では弁輪形が20mm近くあり、使用できるバルーンはZ-MEDIIあるいはTyshakに限られることになり、シースサイズも8F以上が必要となる。このような場合には、ダブルバルーンにすることでシースサイズを小さくすることが可能である（Fig. 5）。ダブルバルーンの際のバルーンサイズの換算は二つのバルーンサイズが同等に近い径である場合はそれぞれの径をD1, D2とした時に $(D1+D2) \times 0.82$ で近似される⁶⁾。バルーンサイズの差が大きくなるとこの近似式では過小に計算されるため注意が必要である。またダブルバルーンはバルーン拡張中に大動脈弁を完全閉塞しないというメリットもある。拡大後は速やかにバルー

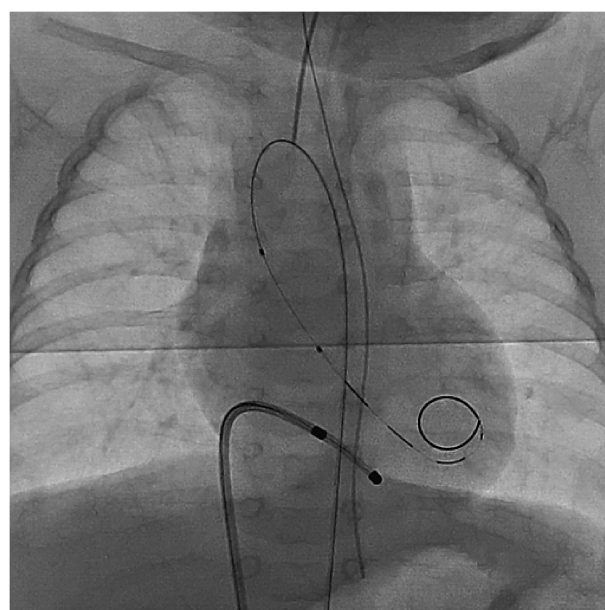


Fig. 2 Shaped guide wire
To avoid ventricular wall injury, guide wires were manually shaped round.

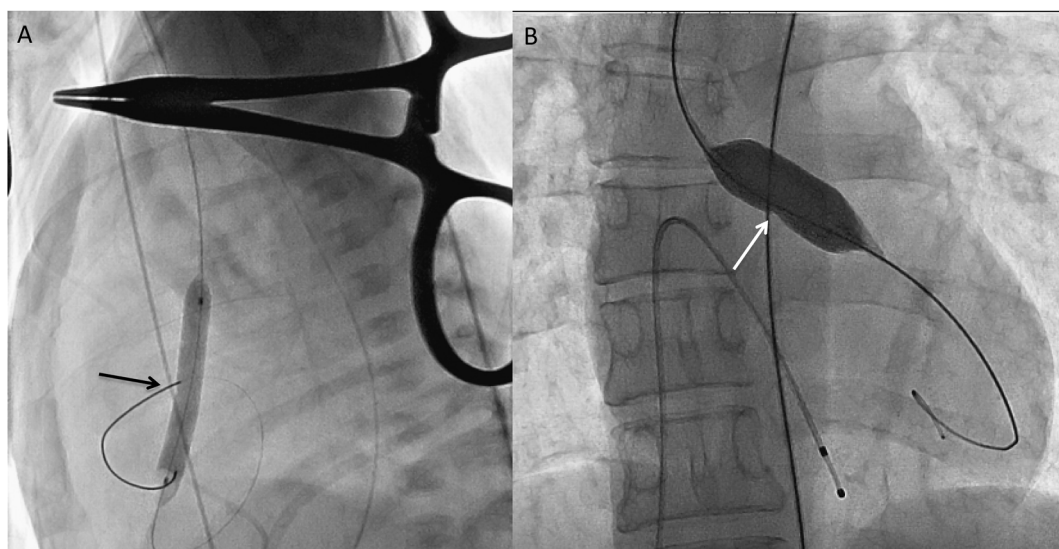


Fig. 3 Waist of the balloon

A. Lateral projection of balloon aortic valvuloplasty for infant. Sometimes the waist (black arrow) of the balloon is not easy to recognize, especially in the neonate or infant case. B. In the adult cases, the waist (white arrow) of the balloon is often recognizable.

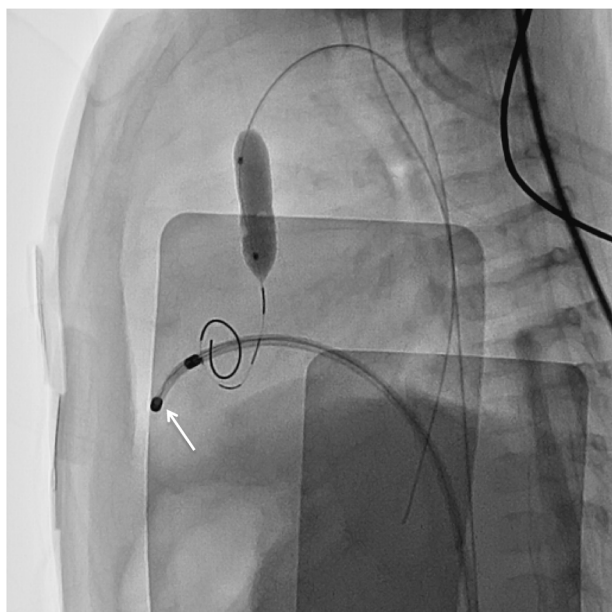


Fig. 4 Rapid pacing

Pacing lead located at right ventricle (arrow). See the defibrillation pad that was prepared for serious arrhythmia.

ンを deflate し、ガイドワイヤーをのこして弁位からバルーンを抜く。なおダブルバルーンを用いると deflate も速やかに行うことが可能である。圧較差と大動脈弁逆流を、超音波を併用しながら評価し効果が不十分な場合は弁輪径を超えない範囲以内でバルーンをサイズアップする。

治療成績

成人領域に置いては第一選択が手術による大動脈弁置換であり、カテーテル治療は抗凝固などに問題のある妊娠希望の女性や、手術にはハイリスクの高齢者など一時的に圧

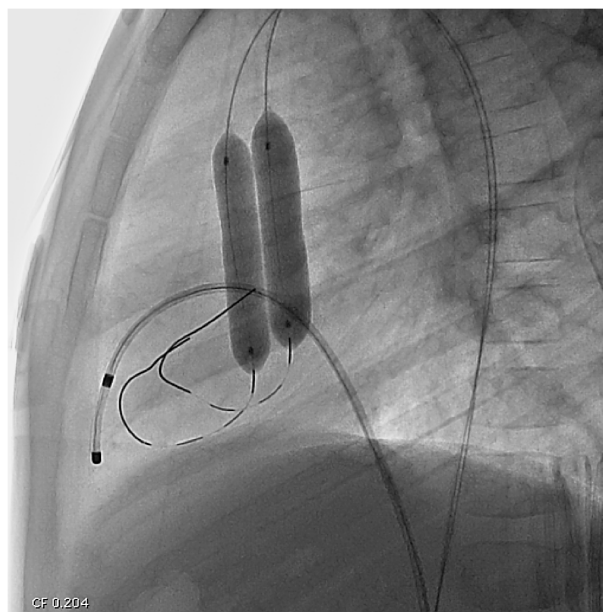


Fig. 5 Double balloon procedure for aortic valvuloplasty

負荷を軽減することが目的で行われることが多い。小児領域での治療は、中長期的な報告では、約10–15年で約半数で手術治療介入がされているとする報告が多い⁷⁾。しかしながら新生児や乳幼児での短期的な治療成績は良好で90%以上で圧較差が半分以下になるとされ、弁形成術と同等の効果が認められると考えられている。乳幼児期の手術を回避できるとこの意義は大きく、第一選択の治療となっていくつある。

大動脈縮窄症のバルーンカテーテル治療 はじめに

未手術大動脈縮窄に関しては、カテーテルでの治療報告が散見されるが未だ外科的治療が標準である。術後の再狭窄に関しては、形態、年齢などにより治療法を選択する。本疾患の予後は脳血管障害や、心筋梗塞など高血圧に起因する合併症によるとされ、高血圧のコントロールが治療の目標となる。

1. 治療前評価

適応の評価

日本循環器学会、日本小児カテーテルインターベンション学会、AHAいずれのガイドラインで治療適応は安静時の圧較差が20mmHg以上とされている。その根拠となるものを明確に記載しているものはない。筆者が調べた中では、安静時の圧較差が15mmHg以上、運動時の圧較差20mmHg以上の患者では、運動負荷により正常コントロールに比較して上肢の血圧上昇、および上肢下肢の血圧差拡大に差が認められたという報告がある⁸⁾。

先にも述べたように、治療の目標は高血圧のコントロールである。このため運動負荷や24時間血圧計による1日の血圧変動のモニターを行い上肢の高血圧が認められる場合には治療の適応である。またフォンタン術後の患者のように拍出量が低い場合や、短絡が残っている場合も、圧較差のみでの判断は困難であり狭窄部の形態と患者の血行動態をあわせて考える必要がある。

2. 治療計画

ステント留置とバルーン血管拡大の選択

カテーテル治療の方法はステント留置とバルーン血管拡大の二つの方法がある。

効果、合併症いずれの観点からもバルーン治療に比較しステントが優れていると考えられ、原則ステント留置が第一選択である⁹⁾。しかしながら蛇行が著しいなどステント留置が困難な場合や (Fig. 6)、成人の体格まで拡大可能なステントが留置困難な小児 (日本循環器学会のガイドラインでは25kgを目安にしている) には、バルーン拡大が選択される。

バルーン選択、シース選択

バルーンサイズは横隔膜レベルの下行大動脈径を参照血管として、または狭窄部の手前、あるいは狭窄遠位側の下行大動脈を参照血管径として、参照血管径を超えないものとされてきた¹⁰⁾。著者の施設では、横隔膜レベルの下行大動脈径を参照血管にして効果が不十分と考えられる場合は、参照血管径プラス1mm程度にとどめて拡大している。狭窄が高度の場合にはこの基準では過大となる (Fig. 7)。このような場合は狭窄部に対するバルーン径の比率で考える。300%を超えないものとされてきたが、著者の施設

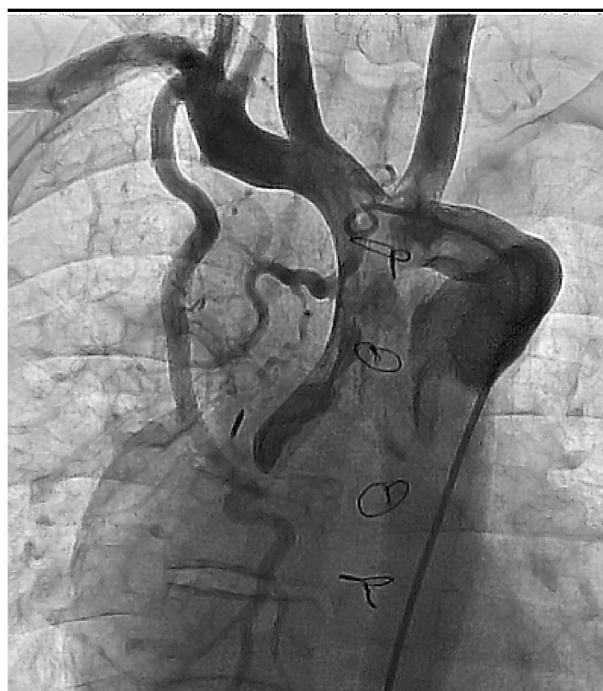


Fig. 6 A tortuous aortic arch
Balloon angioplasty was chosen, because of this tortured aortic arch.

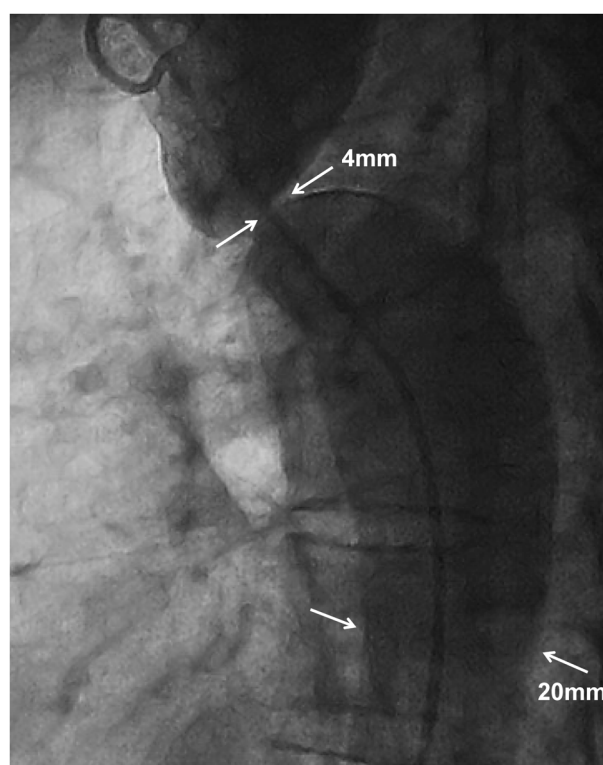


Fig. 7 Severe form of aortic coarctation
Diameter of descending aorta was 20mm. Stenosis was about 4mm in its diameter. Balloon with its diameter 20mm was too large, and 10mm angioplasty balloon that is 2.5 times of stenotic lesion was chosen.

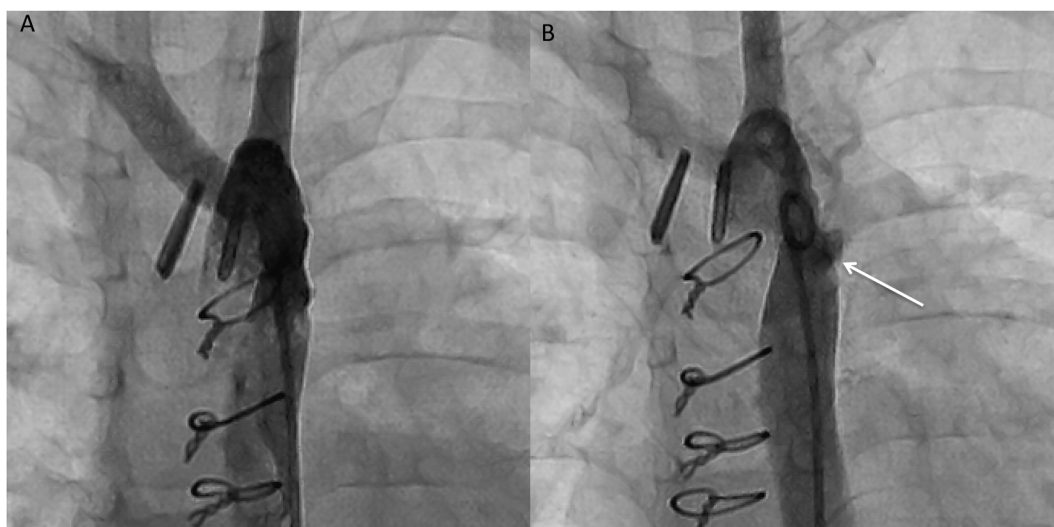


Fig. 8 Aortic arch aneurysm after balloon angioplasty

A. Before aortic angioplasty. B. After aortic balloon angioplasty. A small aneurysm (arrow) was recognized.

では250%程度にとどめることが多い。成人では造影で狭窄部位の正確な径の測定困難なことが多いため、CTが有用である。正確なバルーン選択、シース選択が予測可能となる。成人例ではダブルバルーン法（前述）で行うことでシースを細くできる。

ステント留置が考慮される成人場合にはCTの評価が必須である。ステントを留置した際の血管への接着面（landing zone）がどこになるのか、血管壁の圧迫、気管の圧迫、頸動脈への突出など治療戦略を練った上で、ステント留置の可否を総合的に判断し、困難な場合には外科的治療とバルーン血管拡大のリスクと効果のバランスで治療を選択する。

麻酔、全身管理

大動脈拡大は痛みを伴う処置のため全身麻酔が必須である。モルヒネなどの鎮痛薬の使用が勧められる。

3. 治療の実際

引き抜き圧較差を測定する。全身麻酔下では圧較差は過小評価されるため、適応判断は総合的に行う。大動脈造影にて最狭窄部径、参照血管径を計測。バルーンサイズを最終決定し、弁形成術とは異なり通常高耐圧バルーンを選択する。stiff wireの使用、止血弁の使用などは大動脈弁拡大と同様である。拡大後再度造影を行い瘤形成（Fig. 8）や大動脈壁の解離などを評価する。大動脈壁の解離が認められる場合には、カテーテルによる引き抜きは控える。安全にできると判断されれば、引き抜き圧較差を測定し治療効果を評価する。

治療成績、合併症

急性効果は約8割で認められるとの報告があり、手術と同等の効果が見込まれる¹¹⁾。長期成績ではまとまった報告はないが、約1/4で再狭窄に対し治療介入を必要とした

との報告がある¹²⁾。合併症は瘤形成や大動脈破裂であり、本来はcovered stentの準備をした上で行われる治療であるが、日本では外科的バックアップのもと行う治療である。

引用文献

- 1) Keane JF, Driscoll DJ, Gersony WM, et al: Second natural history study of congenital heart defects. Results of treatment of patients with aortic valvar stenosis. *Circulation* 1993; 87 Suppl: I16-I27
- 2) Mart CR, Eckhauser AW: Development of an echocardiographic scoring system to predict biventricular repair in neonatal hypoplastic left heart complex. *Pediatr Cardiol* 2014; 35: 1456-1466
- 3) Reich O, Tax P, Marek J, et al: Long term results of percutaneous balloon valvuloplasty of congenital aortic stenosis: independent predictors of outcome. *Heart* 2004; 90: 70-76
- 4) McCrindle BW; Valvuloplasty and Angioplasty of Congenital Anomalies (VACA) Registry Investigators: Independent predictors of immediate results of percutaneous balloon aortic valvotomy in children. Valvuloplasty and Angioplasty of Congenital Anomalies (VACA) Registry Investigators. *Am J Cardiol* 1976; 77: 286-293
- 5) Karagöz T, Aypar E, Erdogan I, et al: Congenital aortic stenosis: a novel technique for ventricular pacing during valvuloplasty. *Catheter Cardiovasc Interv* 2008; 72: 527-530
- 6) Rao PS: Influence of balloon size on short-term and long-term results of balloon pulmonary valvuloplasty. *Tex Heart Inst J* 1987; 14: 57-61
- 7) Sullivan PM, Rubio AE, Johnston TA, et al: Long-term outcomes and re-interventions following balloon aortic valvuloplasty in pediatric patients with congenital aortic stenosis: A single-center study. *Catheter Cardiovasc Interv* 2017; 89: 288-296
- 8) Markel H, Rocchini AP, Beekman RH, et al: Exercise-induced hypertension after repair of coarctation of the aorta: arm versus leg exercise. *J Am Coll Cardiol* 1986; 8: 165-171
- 9) Ringel RE, Gauvreau K, Moses H, et al: Coarctation of the Aorta Stent Trial (COAST): study design and rationale. *Am Heart J* 2012; 164: 7-13

- 10) Hijazi ZM, Fahey JT, Kleinman CS, et al: BalloonAngioplast for-Recurrent Coarctation of Aorta Immediate and Long-term Results. *Circulation* 1991; 84: 1150–1156
- 11) Hellenbrand WE, Allen HD, Golinko RJ, et al: Balloon angioplasty for aortic recoarctation: results of Valvuloplasty and Angioplasty of Congenital Anomalies Registry. *Am J Cardiol* 1990; 65: 793–797
- 12) Yetman AT, Nykanen D, McCrindle BW, et al: Balloon angioplasty of recurrent coarctation: a 12-year review. *J Am Coll Cardiol* 1997; 30: 811–816

INNOVATING WITH PATIENTS AND PROVIDERS IN MIND



より良い医療の実現を目指して

日本メドトロニック株式会社

〒108-0075 東京都港区港南1-2-70

medtronic.co.jp

©2016 Medtronic Japan Co., Ltd.

Medtronic
Further, Together