動脈管開存に対するカテーテル治療におけるコイル閉鎖術の役割： Amplatzer® Duct Occluder 導入前後で比較

西岡 貴弘¹⁾, 富田 英²⁾, 曾我 恭司³⁾, 藤井 隆成²⁾
藤本 一途²⁾, 喜瀬 広亮²⁾, 大山 伸雄³⁾, 上村 茂^{2,4)}

Keywords :

patent ductus arteriosus, coil
occlusion, Amplatzer® duct occluder

昭和大学藤が丘病院小児科¹⁾, 昭和大学横浜市北部病院循環器センター²⁾,
昭和大学横浜市北部病院こどもセンター³⁾, 湘南東部総合病院循環器科⁴⁾

Role of Coil Occlusion for Patent Ductus Arteriosus : Before and After Introduction of Amplatzer® Duct Occluder

Takahiro Nishioka¹⁾, Hideshi Tomita²⁾, Takashi Soga³⁾, Takanari Fujii²⁾,
Kazuto Fujimoto²⁾, Hiroaki Kise²⁾, Nobuo Oyama³⁾, Shigeru Uemura^{2,4)}

¹⁾Department of Pediatrics Showa University Fujigaoka Hospital, Kanagawa, Japan

²⁾Cardiovascular Center Showa University Northern Yokohama Hospital, Kanagawa, Japan

³⁾Children's medical Center Showa University Northern Yokohama Hospital, Kanagawa, Japan

⁴⁾Department of Cardiology Shonan Tobu General Hospital, Kanagawa, Japan

Background: Amplatzer® Duct Occluder (ADO) was introduced in our hospital in 2010. This study aimed to analyze role of transcatheter coil occlusion for patent ductus arteriosus (PDA) before and after introduction of the ADO.

Subjective and Methods: Group A (14 patients) who received coil occlusion in the era before introduction of ADO (2007-2009), group B (12 patients) and group C (13 patients) underwent transcatheter occlusion of the PDA in the era after introduction of ADO (2010-2012) using coil for group B and ADO for group C, respectively. Age, body weight, and narrowest PDA diameter were analyzed. PDA morphology was determined using the Krichenko classification.

Results: Age and body weight were comparable among groups A (7 ± 16 years, 18.3 ± 17.9 kg), B (8 ± 15 years, 18.4 ± 12.4 kg), and C (23 ± 33 years, 22.4 ± 21.3 kg), while the narrowest PDA diameter was significantly different between groups B (1.4 ± 0.7 mm) and C (2.8 ± 2.0 mm). The narrowest PDA diameter in group B tended to be small and could be corrected using a single coil in most patients. In one group B patient whose PDA was typed with the diameter >2 mm, ADO was not used as the length of the PDA was too long.

Conclusion: Following the introduction of ADO, transcatheter coil occlusion was utilized only to correct the PDA with a diameter of ≤ 2 mm, and most cases required only a single coil. However, we suggest that coil occlusion should be utilized to treat long such as type D even if whose diameter is >2 mm.

要 旨

背景：Amplatzer® Duct Occluder (ADO)導入以降、動脈管開存症(PDA)に対する治療戦略は大きく変わり、当院でも2010年以降2mm以上の動脈管に関してはADOを導入した。本研究ではADO導入前後におけるPDAに対するコイル閉鎖術の役割を検討した。

対象と方法：期間は2007年4月～2012年6月。ADO導入前(2007～2009年)にコイル閉鎖術を施行した14例(A群)、およびADO導入後にコイル閉鎖術を施行した12例(B群)、ADO使用群13例(C群)の年齢、体重、PDAのKrichenko分類および最小径、コイル使用数について解析した。

結果：年齢、体重、動脈管最小径の順にA群で 7 ± 16 歳、 18.3 ± 17.9 kg、 2.1 ± 1.5 mm、B群で 8 ± 15 歳、 18.4 ± 12.4 kg、 1.4 ± 0.7 mm、C群で 23 ± 33 歳、 22.4 ± 21.3 kg、 2.8 ± 2.0 mmであった。年齢、体重には3群間に有意差はなかつ

2013年11月1日受付 別刷請求先：〒227-8501 神奈川県横浜市青葉区藤が丘1-30

2014年3月6日受理 昭和大学藤が丘病院小児科 西岡 貴弘

たが、最小径はB群とC群の間に有意差を認め、B群の最小径はより小さく、コイル1個での閉鎖が多い傾向にあった。B群でコイルを複数用いた2mm以上の1例はtype DでPDA長が長い例であった。

結語：ADO導入後、コイル閉鎖術の対象となるPDAは最小径2mm未満で、コイル1個での閉鎖が主体であったが、長いPDAでは2mm以上でもコイル閉鎖術が望ましい場合があると考えられた。

はじめに

カテーテル治療の進歩により動脈管開存症(PDA)に対する経皮的閉鎖術が広く行われるようになった。1967年にSchröderら¹⁾がIvalon栓による経カテーテル的動脈管閉鎖術を初めて報告して以後、さまざまな閉鎖システムが開発されてきた。Cambier²⁾は1992年、コイルによるPDA閉鎖を初めて報告した。Amplatzer® Duct Occluder(ADO)による動脈管閉鎖術は、1998年にMasuraらが最初に報告し³⁾、2003年には米国FDAで認可された。わが国では、2008年12月に保険収載され、2009年6月から日本Pediatric Interventional Cardiology学会(JPIC)が認定する施設で使用可能となった。PDAに対する治療方針はADOの出現で大きく変化し、最小径2mm以上のPDAに対するカテーテル治療ではADOの有用性が報告されている⁴⁻⁶⁾。わが国で用いることができるPDA閉鎖用のAmplatzerはADOのみであるが、海外では第二世代のADO II、それを改良したADO II Additional Sizes(ADO II AS)なども報告されている⁷⁻⁹⁾。

1990年代後半以後ADO導入まで、コイル閉鎖術はわが国におけるPDAに対する第一選択の経カテーテル的閉鎖術であった。当院でも2010年以降2mm以上のPDAを対象としてADOが導入されたが、本研究ではADO導入前後におけるPDAに対するコイル閉鎖術の当院における役割を検討した。

対象と方法

対象は2007年4月～2012年6月に、昭和大学横浜市北部病院にて経カテーテル的動脈管閉鎖術を施行した39名。対象をA群；ADO導入前(2007～2009年)にコイル閉鎖術を施行した14例、B群；ADO導入後にコイル閉鎖術を施行した12例、C群；ADOによる閉鎖術13例に分け、年齢、体重、PDAのKrichenko分類¹⁰⁾および最小径、肺体血流量比、平均肺動脈圧、A、B群におけるコイル使用数について解析した(Table 1)。

動脈管閉鎖術手技

本人または親権者にインフォームドコンセントを行い、経カテーテル的動脈管閉鎖術についての同意を

得た。

麻酔科医による全身麻酔、人工呼吸器管理下に、両心カテーテルを行った後、Pigtailカテーテルを用いて右前斜位25～30度および側面像による下行大動脈造影を行い、動脈管の形態、最小径を評価した。動脈管の最小径は下行大動脈造影の側面像で動脈管の最狭窄部が最も大きくみえる心時相で計測した。2方向の造影で、最狭窄部が接線方向に造影されず評価困難の場合には、左後斜位10～20度の下行大動脈造影を適宜追加した。

コイル留置のアプローチ方法は肺動脈からの順行性アプローチを原則としたが、動脈管の最小径から順行性アプローチが困難と考えられる例では、大動脈からの逆行性アプローチとした。その結果、A群では順行性、逆行性が各7例、B群では逆行性アプローチ10例、順行性および順行性と逆行性の併用が各1例であった。C群では成書^{3,4,6,11,12)}に記載されているとおり、順行性にADOを留置した。

統計学的解析はDr. SPSS II for Windowsを使用し、Kruskal-Wallis法を用いて多重比較検定を行い、危険率<0.05を有意とした。

結 果

39例全例で初回のコイルまたはADOの留置に成功し、38例で完全閉鎖した。

A群の症例7は0052コイルを3個留置したが、短絡が残存し、1年2ヵ月後にFlipperコイル1個を追加留置し完全閉鎖した(Table 2：Case7)。

C群の症例11では遺残短絡(2mm)を認め3ヵ月後にコイルの追加留置を試みたが、カテーテルが通過せずに断念し、経過観察したところ1年1ヵ月で完全閉鎖した。

Table 1に結果を示し、各群の詳細をTable 2～4に示す。年齢、体重、動脈管最小径、肺体血流量比(Qp/Qs)、長径、平均肺動脈圧、肺血管抵抗値の順にA群で7.9 ± 16.8歳、18.3 ± 17.9kg、2.1 ± 1.5mm、1.5 ± 0.7、15.4 ± 5.1mmHg、1.7 ± 0.7mmHg/L/min/m²。B群で8.7 ± 15.5歳、18.4 ± 12.4kg、1.4 ± 0.7mm、1.2 ± 0.2、17.3 ± 4.5mmHg、1.9 ± 0.7mmHg/L/min/m²。C群で23.8 ± 33.8歳、22.4 ± 21.3kg、3.8 ± 2.0mm、1.8 ± 1.0、20.2 ± 4.8mmHg、2.8 ± 2.1mmHg/L/

Table 1 Demographic, hemodynamic, and angiographic characteristics of patients.

	Group-A	Group-B	Group-C	P-value
N	14	12	13	N.S
Age (year)	7.9 ± 16.8	8.7 ± 15.5	23.8 ± 33.8	N.S
Weight (kg)	18.3 ± 17.9	18.4 ± 12.4	22.4 ± 21.3	N.S
PDA Type (number)				
A	8	3	12	
B	0	0	0	
C	1	5	0	
D	0	3	0	
E	5	1	1	
Qp/Qs	1.5 ± 0.7	1.2 ± 0.2	1.8 ± 1.0	<0.05
Minimum Diameter (mm)	2.1 ± 1.5	1.4 ± 0.7	3.8 ± 2.0	<0.05
Length (mm)	7.1 ± 3.5	8.0 ± 4.1	7.7 ± 3.7	N.S
PA mean (mmHg)	15.4 ± 5.1	17.3 ± 4.5	20.2 ± 4.8	<0.05
Rp (mmHg/L/min/m ²)	1.7 ± 0.7	1.9 ± 0.7	2.8 ± 2.1	N.S

Group A: Percutaneous closure of PDA using coil from 2007 to 2009,

Group B: Percutaneous closure of PDA using coil from 2007 to 2009,

Group C: Percutaneous closure of PDA using Amplatzer Duct Occluder (ADO) from 2010 to 2012

PDA: patent ductus arteriosus, Qp/Qs: pulmonary to systemic flow ratio, mPAP: mean pulmonary artery pressure, Rp: Pulmonary Vascular Resistance

Table 2 Patient's data for group A.

case		age	Weight	MD	Type	Qp/Qs	mPAP	Rp	coils
1	F	0.6	6.1	2.8	A	1.5	17	1.3	Flipper 5mm/3loop 3mm/3loop
2	M	6.0	18.9	1.1	A	1.2	19	2.7	Flipper 5mm/3loop
3	F	2.8	11.7	2.0	A	1.3	14	1.1	Flipper 5mm/3loop
4	F	1.1	8.1	2.0	A	1.4	15	1.1	Flipper 5mm/3loop × 2
5	F	0.6	7.2	2.0	A	1.5	20	2.7	Flipper 5mm/3loop MWCE-52-8-8
6	F	64.4	58.3	6.3	A	3.6	19	0.9	MWCE-52-8-8 × 2 MWCE-52-10-10 × 2
7	M	0.8	8.2	3.8	A	2.3	26	2.4	MWCE-52-8-8 MWCE-52-8-6 × 2 * Flipper 5mm/5loop
8	F	0.6	7.1	0.7	A	1.0	8	2.5	Flipper 5mm/3loop
9	M	10.7	28.4	0.8	C	1.0	8	2.3	Flipper 3mm/5loop
10	M	13.5	57.9	1.5	E	1.3	10	1.0	Flipper 5mm/5loop × 2
11	F	2.7	12.2	1.1	E	1.2	18	1.7	Flipper 5mm/3loop
12	F	2.3	9.2	1.8	E	1.2	16	1.5	Flipper 3mm/5loop
13	F	0.6	6.3	2.0	E	1.1	16	1.2	Flipper 5mm/5loop
14	F	3.4	16.0	1.3	E	1.1	10	2.3	Flipper 5mm/5loop

F: female, M: male, MD: Minimum Diameter of persistent ductus arteriosus (PDA), Type: type is Krichenco classification of PDA morphology,

Qp/Qs, mPAP, abbreviations are as shown in the Table 1

* Flipper 5mm/5loop was added detain for complete closure after two months a year

min/m²であった。また A 群で複数個のコイルを留置した例は 14 例中 6 例, B 群では 12 例中 1 例。動脈管最小径で A 群と C 群の間 ($p < 0.05$), B 群と C 群に ($p < 0.01$) 有意差を認めた。また A 群と C 群の間において平均肺動脈圧で有意差を認めた ($p < 0.05$)。他の項目にて有意差は認めなかったが, B 群の最小径はより小さく, コイル 1 個での閉鎖が A 群と比較して有意に多い傾向に

あった (χ^2 検定: $p < 0.05$)。B 群でコイルを複数用いた症例 11 は肺動脈端 3.5mm, 大動脈端 5.1mm, 中央部 7.1mm, 長径 17mm で, 最狭窄部径からは ADO で閉鎖が望ましいと考えられたが, ADO を肺動脈端の狭窄部に留置しても, 大動脈端の狭窄部に留置しても安定して留置することが困難と予測され, 何らかの形で中央膨大部内に閉鎖栓を留置することが望ましいが, ADO

Table 3 Patient's data for group B.

case		age	Weight	MD	Type	Qp/Qs	mPAP	Rp	coils
1	F	1.0	7.1	1.4	A	1.2	16	1.2	Flipper 5mm/3loop
2	M	3.0	13.7	0.8	A	1.3	23	2.4	Flipper 5mm/3loop
3	F	6.8	19.5	1.5	A	1.0	18	2.5	Flipper 5mm/3loop
4	F	0.6	6.8	0.9	C	1.5	24	2.9	Flipper 3mm/3loop
5	F	6.1	18.5	1	C	1.1	13	0.8	Flipper 3mm/3loop
6	M	6.5	22.5	0.8	C	1.3	16	1.3	Flipper 3mm/3loop
7	F	2.0	12.3	1.2	C	1.6	18	2	Flipper 3mm/3loop
8	M	5.5	16.1	0.7	C	1.2	22	2.7	Flipper 3mm/3loop
9	F	2.4	9.7	1.1	D	1.0	19	2.4	Flipper 3mm/3loop
10	F	4.5	16.3	1.8	D	1.3	14	1.5	Flipper 5mm/5loop
11	F	57.3	53.5	3.1	D	1.5	9	1.7	MWCE-52-8-8, 52-8-6
12	F	8.3	24.4	1.9	E	1.0	14	1.5	Flipper 5mm/5loop

Abbreviations are as shown in Table 2

Table 4 Patient's data for group C.

case		age	Weight	MD	Type	Qp/Qs	mPAP	Rp	ADO device
1	F	0.7	6.3	2	A	1.5	17	3	5/4
2	F	0.8	6.0	2	A	1.2	20	1.5	6/4
3	M	0.9	7.8	4.1	A	2.0	24	1.2	10/8
4	M	1.3	8.3	2	A	1.2	15	1.6	6/4
5	F	1.5	9.0	3.3	A	1.3	25	1.6	8/6
6	F	3.1	12	2.1	A	2.3	20	1.0	8/6
7	M	4.2	14.3	2.1	A	1.0	15	2.1	8/6
8	F	9.3	23.8	1.8	A	1.3	14	2.4	6/4
9	F	60.4	60	4.8	A	1.3	25	5.2	10/8
10	M	61.2	62	7.5	A	4.8	22	2.1	16/14
11	F	76.4	52.2	5	A	1.5	28	7.8	12/10
12	F	87.6	33.6	7.2	A	1.9	17	2.0	12/8
13	F	1.8	10.1	5	E	1.6	18	6.0	10/8

Abbreviations are as shown in Table 2

を用いた場合 retention disc を完全に開いた形でこの部分に留置することは困難と考えられたため、0.052 インチ Gianturco コイル 2 個での閉鎖を選択した (Fig. 1)。

1. 透視時間

1 名を除き 38 名で両心カテーテルの時間も含まれるため、平均±標準偏差に有意差は認められなかった。A 群では 28 ± 26 (2~95) 分, B 群では 32 ± 21 (15~93) 分, C 群では 30 ± 11 (14~44) 分。

2. 合併症

コイルおよび ADO 留置後の合併症に関して、手技中においては A 群のうち 3 例でコイルが離脱困難となったが、回収しコイルを交換して閉鎖術を完了した。C 群の症例 10 は、ADO 留置自体には問題なく完全閉鎖したが、閉鎖 24 時間後に心室頻拍を合併した¹³⁾。

C 群の症例 11 では留置前から左心不全を認め、ADO 施行後から非持続性心室頻拍術後を認めたため、アミ

オダロンの内服を導入した。また術後よりヘモグロビン値低下 (最低数値 10.2g/dL), 血小板数低下 (最低 8.8 万 / μ L), LDH 軽度上昇 (最高値 600 IU/L) となる軽度の溶血所見を認めた。肉眼的な血尿は認めなかった。3 ヶ月間検査値の異常は続いたものの経過観察にて改善した。

考 察

経カテーテル的動脈管閉鎖術に対して ADO が主流になってきているなかで、本研究では ADO 導入後における動脈管に対するコイル閉鎖術の役割を検討した。2009 年まではわが国における経カテーテル的動脈管閉鎖術に対する治療の主役はコイル閉鎖術であったが、3~4mm 以上の太い動脈管に関しては、合併症のリスクが大きくなり、外科的治療を考慮せざるを得なかった¹⁴⁻¹⁶⁾。しかし ADO の導入に伴い明らかに動脈管閉鎖に対する経カテーテル的治療方法も大きく変わってき

Fig. 1 Case 11 for group B.

We did not choose ADO but multiple 0.052 inch Gianturco coils for this type D PDA, whose diameter at the pulmonic and the aortic end was 3.5 mm and 5.1 mm, respectively.

ている^{11, 14, 17)}。

1. 最小径から見たコイルと ADO の選択

全例の PDA に ADO を適応できるわけではなく、現状では 2mm 以上の動脈管が ADO の適応とされている。欧州の多施設間研究での評価として Magee らは 2mm 以下であればコイルは安全に使用できると評価しているが、それ以上は脱落などのリスクもあると報告している¹⁶⁾。Gudausky らは動脈管最小径が 1mm 以下ならばコイルを、それ以上、特に 1.5mm 以上であれば ADO が安全に使用できると報告している¹⁸⁾。また Marissa らは 3mm 以下であればコイル、3mm 以上は ADO を推奨している¹⁹⁾。動脈管が太くなればなるほど脱落のリスクは大きくなる、特に 3mm 以上の動脈管の場合、脱落のリスクは小さな動脈管よりも多く、16～20%とも報告されている^{11, 20, 21)}。つまりこれらの合併症回避の点からは最小径 3mm 以上の PDA では ADO に優位性がある。

わが国では 2009 年に JPIC より「動脈管開存に対するコイル閉鎖術マニュアル」、2012 年に「先天性および小児期発症心疾患に対するカテーテル治療の適応ガイドライン」が作成されている、後者のなかで、「コイル

のよい適応は最小径 2～3mm 以下の動脈管」と記されている。これを基準として最終的にどちらを使用するかは施設、術者と対象患者の状態、動脈管の形態に応じたデバイスの選択をすることが、現時点での実情であると考えられる^{17, 22)}。

2. 自験例での検討

自験例において ADO が導入されるまでの A 群に関しては、最小径 2mm 以上の例も含まれ、複数個のコイルを留置した症例が多かったが、外科手術の適応になるような症例はなく全例コイル留置が可能であった。

ADO 導入後にコイルを用いて閉鎖した症例(B 群)の形態に着目してみると、症例 11 を除き最小径は 2mm 以下であり、加えて、症例 1～3 は type A でいずれも膨大部が浅いこと、また症例 4～10, 12 は type C, D または E で ADO を留置するには過長であることも加味してコイルを選択した。つまり①最小径 1mm 台の症例、②膨大部が浅く ADO が肺動脈または大動脈に過度に突出する懸念がある症例、③動脈管の長径に対して ADO の長径が短すぎる症例、④ type D など ADO の waist を最狭窄部に密着させることが困難などの例があげられる。①に関してわが国で使用可能な ADO デバイ

スの最小径は4mmであり、最小径1mm台ではADOを留置するロングシースが通過できない可能性が高いものがあると考えられ、適応は厳しいと考えられる。②においてもADOの長径での最短は5mmであることから、膨大部が浅いと大動脈側に過度に突出する危険がある^{12, 22)}。③については長いPDAでADOの肺動脈端を肺動脈側まで引き込めないような例では複数のコイル留置のほうが適することがある。④また、type Dのような膨大部の最狭窄部位とADOのwaistの密着が困難な症例においては、コイルのほうが適していることがある。

3. 乳幼児に対する戦略

年齢体重の面からみると乳児期早期、特に体重5kg以下の乳児の場合は、治療の報告例はあるものの^{19, 23)}、まだ一般的ではなく乳児期早期はコイルであれ、ADOであれ慎重な対応が必要になってくる。ADOを留置するためには、最小でも5Fのロングシースを順行性に動脈管に通過する必要があるが、右室流出路通過時の血行動態の悪化やシースの屈曲が問題となる。その点ではコイルの場合、デリバリーシステムのサイズは小さく対応が可能ながある。しかし乳児期早期で治療が必要となる動脈管は“基本的には太い動脈管で心不全を起こしている”ことが多く、コイルでの閉鎖はリスクが高い場合が多い。したがって、JPICのガイドラインに記載があるように成長を待てない緊急、準緊急で動脈管を閉鎖する必要がある症例では外科治療が第一選択となることが多くなると考えられる^{11, 22, 24-26)}。逆に、治療の必要性についての議論はあるものの、心雑音を認めない無症候性のPDAなどは形態的にはコイル閉鎖術のよい適応になるであろう¹⁴⁾。

4. 合併症に関して

検査時間を省いた純粋な手技時間は今回の検討ではデータを集めることはできなかった。

合併症の面からみると、経皮的動脈管開存閉鎖術で問題になるのは、主なものとして脱落、左肺動脈狭窄²⁷⁾、赤血球破碎症候群があげられる²⁸⁾。自験例では、2症例で術後不整脈を経験した。

C群症例10では61歳男性で、既往歴として8年前より右室流出路起源の心室頻拍があり、前医にてアブレーションを施行された。ADO施行9ヵ月前より、慢性心房細動を認めていた。術後1日目からwideQRS頻拍を認め、DCにて改善し、術後14日目に電気生理学的検査を行い、心室頻拍の起源は右室流出路起源と診断した。今回の手術手技などの影響よりも長期の心室

容量負荷に起因すると考えられた。

またC群症例11では76歳女性で、既往歴として慢性心房細動を認めていた。術後に右脚ブロック型の非持続性の心室頻拍を認めた。電気生理学的検査は施行していない、アミオダロン内服にて改善を認めた。長期の心室容量負荷に起因すると考えられADO閉鎖術との直接関連はないと考えられる。

ほかにはごく軽度の溶血例を認めたものの、経皮的動脈管開存閉鎖術自体に起因する重篤な合併症は認めなかった。

経皮的動脈管開存閉鎖術では、PDAの最小径のみならず形態も加味してコイルかADOかを選択する必要がある。動脈管最小径が2mm以上の場合は手技時間、被曝時間、安全性の面からもADOが有利と考えられるが、2mm以上であっても、PDAの長径が長い場合はコイルのほうが有利な場合がある。また最小径が両者の適応のボーダーライン上にあり膨大部が浅い乳児期のPDAでは、コイルのほうが大動脈への突出を少なくできることがある。しかし0052インチコイルが入手不可能になったことから、最小径が比較的大きく、ADOに適さないPDAをどのように閉鎖するかについては今後の課題である。

結 語

ADO導入後、コイル閉鎖術の対象となるPDAは最小径 ≤ 2 mm未満で、コイル1個での閉鎖が主体であったが、長いPDAでは2mm以上でもコイル閉鎖術が望ましい場合があると考えられた。

日本小児循環器学会の定める利益相反に関する開示項目はありません。

【参考文献】

- 1) Schröder R, Hofstetter R, Fabbender D, et al: Transvenous closure of patent ductus arteriosus with Ivalon plugs. Multicenter experience with a new technique. Invest Radiol 1999; 34: 65-70
- 2) Cambier PA, Kirby WC, Wortham DC, et al: Percutaneous closure of the small (< 2.5 mm) patent ductus arteriosus using coil embolization. Am J Cardiol 1992; 69: 815-816
- 3) Masura J, Walsh KP, Thanopoulos B, et al: Catheter closure of moderate-to large-sized patent ductus arteriosus using the new Amplatzer duct occluder: immediate and short-term results. J Am Coll Cardiol 1998; 31: 878-882
- 4) Pass RH, Hijazi Z, Hsu DT, et al: Multicenter USA Amplatzer patent ductus arteriosus occlusion device trial:

- initial and one-year results. *J Am Coll Cardiol* 2004; **44**: 513-519
- 5) Bilkis AA, Alwi M, Hasri S, et al: The Amplatzer duct occluder: experience in 209 patients. *J Am Coll Cardiol* 2001; **37**: 258-261
 - 6) Faella HJ, Hijazi ZM: Closure of the patent ductus arteriosus with the amplatzer PDA device: immediate results of the international clinical trial. *Catheter Cardiovasc Interv* 2000; **51**: 50-54
 - 7) Liddy S, Oslizlok P, Walsh KP: Comparison of the results of transcatheter closure of patent ductus arteriosus with newer Amplatzer devices. *Catheter Cardiovasc Interv* 2013; **82**: 253-259
 - 8) Saliba Z, El-Rassi I, Abi-Warde MT, et al: The Amplatzer Duct Occluder II: a new device for percutaneous ductus arteriosus closure. *J Interv Cardiol* 2009; **22**: 496-502
 - 9) Morgan G, Tometzki AJ, Martin RP: Transcatheter closure of long tubular patent arterial ducts: The Amplatzer Duct Occluder II-A new and valuable tool. *Catheter Cardiovasc Interv* 2009; **73**: 576-580
 - 10) Krichenko A, Benson LN, Burrows P, et al: Angiographic classification of the isolated, persistently patent ductus arteriosus and implications for percutaneous catheter occlusion. *Am J Cardiol* 1989; **63**: 877-880
 - 11) Wang JK, Wu MH, Lin MT, et al: Transcatheter closure of moderate-to-large patent ductus arteriosus in infants using Amplatzer duct occluder. *Circ J* 2010; **74**: 361-364
 - 12) Bergersen L, Förster S, Marshall AC, et al: PDA Clousure, In: Bergersen L, et al (ed): *Congenital Heart Disease: The Cardiac Catheterization Manual*. Springer, 2009, PP123-126
 - 13) Fujii T, Tomita H, Iwasaki J, et al: Restored left ventricular function following transcatheter closure of a persistent ductus arteriosus in an adult. *J Cardiol Cases* 2012; **7**: e63-e67
 - 14) Giroud JM, Jacobs JP: Evolution of strategies for management of the patent arterial duct. *Cardiol Young* 2007; **17**: 68-74
 - 15) 富田 英, 上村 茂, 羽根田紀幸, ほか: 6 ヶ月以内の動脈管開存に対するコイル閉鎖術. *日小児循環器学会誌* 2010; **26**: 176-179
 - 16) Magee AG, Huggon IC, Seed PT, et al: Transcatheter coil occlusion of the arterial duct: results of the European Registry. *Eur Heart J* 2001; **22**: 1817-1821
 - 17) Ghasemi A, Pandya S, Reddy SV, et al: Trans - catheter closure of patent ductus arteriosus—What is the best device? *Catheter Cardiovasc Interv* 2010; **76**: 687-695
 - 18) Gudauskas TM, Hirsch R, Khoury PR, et al: Comparison of two transcatheter device strategies for occlusion of the patent ductus arteriosus. *Catheter Cardiovasc Interv* 2008; **72**: 675-680
 - 19) Brunetti MA, Ringel R, Owada C, et al: Percutaneous closure of patent ductus arteriosus: a multiinstitutional registry comparing multiple devices. *Catheter Cardiovasc Interv* 2010; **76**: 696-702
 - 20) Hijazi ZM, Geggel RL: Transcatheter closure of large patent ductus arteriosus (> or= 4 mm) with multiple Gianturco coils: immediate and mid-term results. *Heart* 1996; **76**: 536-540
 - 21) Galal O, de Moor M, Fadley F, et al: Problems encountered during introduction of Gianturco coils for transcatheter occlusion of the patent arterial duct. *Eur Heart J* 1997; **18**: 625-630
 - 22) 富田 英, 小林俊樹, 矢崎 諭, ほか: 先天性および小児期発症心疾患に対するカテーテル治療の適応ガイドライン. *日小児循環器学会誌* 2012; **28**: s1-s40
 - 23) Dimas VV, Takao C, Ing FF, et al: Outcomes of transcatheter occlusion of patent ductus arteriosus in infants weighing ≤ 6 kg. *JACC: Cardiovasc Interv* 2010; **3**: 1295-1299
 - 24) Parra-Bravo R, Cruz-Ramírez A, Rebolledo-Pineda V, et al: Transcatheter closure of patent ductus arteriosus using the amplatzer duct occluder in infants under 1 year of age. *Rev Esp Cardiol (English Edition)* 2009; **62**: 867-874
 - 25) Fischer G, Stieh J, Uebing A, et al: Transcatheter closure of persistent ductus arteriosus in infants using the Amplatzer duct occluder. *Heart* 2001; **86**: 444-447
 - 26) Drighil A, Al Jufan M, Al Omrane K, et al: Safety of transcatheter patent ductus arteriosus closure in small weight infants. *J Interv Cardiol* 2012; **25**: 391-394
 - 27) Owada CY, Teitel DF, Moore P: Evaluation of Gianturco Coils for Closure of Large (≥ 3.5 mm) Patent Ductus Arteriosus *J Am Coll Cardiol* 1997; **30**: 1856-1862
 - 28) Anil SR, Sivakumar K, Philip AK, et al: Clinical course and management strategies for hemolysis after transcatheter closure of patent arterial ducts. *Catheter Cardiovasc Interv* 2003; **59**: 538-543