

# Evolución a medio plazo del cierre percutáneo del ductus arterioso mediante la prótesis de Rashkind

J.I. Zabala Argüelles, J. García Fernández\*, J.L. Zunzunegui Martínez, M. Camino López, E. Maroto Alvaro, C. Maroto Monedero

**Resumen.** El cierre percutáneo mediante prótesis de Rashkind (Rashkind PDA Occluder System, USCI) es una alternativa al cierre quirúrgico. *Material y métodos.* Entre abril de 1990 y julio de 1994, 44 pacientes fueron sometidos a cierre percutáneo. Trece pacientes eran menores de 18 meses (grupo I) con un peso de  $8,7 \pm 3,2$  kg (rango: 3,6-13,5), y 31 eran mayores de 18 meses (grupo II) con un peso de  $36,8 \pm 20,6$  kg (rango: 9-71). Cuatro pacientes del grupo I y dos del grupo II tenían otras cardiopatías asociadas. La presencia de cortocircuito residual se estableció mediante doppler color. *Resultados.* Se utilizaron 51 dispositivos implantándose 49 y ocurriendo dos embolizaciones. En el grupo I se implantaron correctamente 12 dispositivos. Un dispositivo embolizó y requirió cirugía para retirarlo del ventrículo derecho. En el grupo II se implantaron correctamente 31 dispositivos. Un dispositivo embolizó en la aorta descendente y se retiró por vía percutánea. En dos pacientes del grupo I y en cuatro del grupo II se implantó un segundo dispositivo. La tasa de cierre sin cortocircuito residual tras la implantación, a las 24 horas y a los seis meses fue del 75%, 83% y 83% en el grupo I y del 64,5%, 77% y 84% en el grupo II. Tras la implantación de un segundo dispositivo la tasa de cierre sin cortocircuito aumentó al 100% en el grupo I (seguimiento:  $16,1 \pm 11,8$  meses) y al 97% en el grupo II (seguimiento:  $23 \pm 16,5$  meses), respectivamente. *Conclusiones.* El cierre percutáneo mediante dispositivo de Rashkind en menores de 18 meses tiene una tasa de cierre sin cortocircuito residual similar a los otros grupos de edad y es una alternativa eficaz frente al cierre quirúrgico.

*An Esp Pediatr 1996;44:332-336.*

**Palabras clave:** Ductus arteriosus; Cierre percutáneo; Doppler.

## MID-TERM FOLLOW UP OF PERCUTANEOUS CLOSURE OF THE PATENT DUCTUS ARTERIOSUS WITH THE RASHKIND DEVICE

**Abstract.** Background percutaneous PDA occlusion has been proposed as a valid therapeutic alternative to surgical closure. Between April 1990 and July 1994, 44 patients underwent percutaneous PDA occlusion. Thirteen patients were less than 18 months old and weighed  $8.7 \pm 3.2$  Kg (Group I). Thirty-one patients, older than 18 months of age, had a mean weight of  $36.8 \pm 20.6$  Kg (Group II). Four patients in group I and two in group II had associated cardiac anomalies Residual shunt after percutaneous occlusion was studied by color Doppler. Fifty-one occluding devices were used. Forty-nine were implanted and there were two device embolizations. Twelve devices were implanted in

group I. One device needed surgical removal from the right ventricle where it had embolized. In group II, 31 devices were implanted and one embolized to the descending aorta and was percutaneously removed through the femoral artery sheath. In two patients of group I and four of group II, a second device was implanted. The total occlusion rate immediately after implantation at 24 hours and at 6 months was 75%, 83% and 83% in group I and 64.5%, 77% and 84% in group II. After implantation of a second device the total occlusion rate without residual shunt reached 100% in group I (after  $16 \pm 12$  months follow-up) and 97% in group II (after  $23 \pm 16$  months of follow-up). We conclude that percutaneous ductal occlusion with a Rashkind device is a valid therapeutic alternative to surgical closure in all age groups.

**Key words:** Ductus arteriosus; Percutaneous occlusion; Doppler.

## Introducción

El cierre del ductus arterioso (DA) mediante cateterismo ofrece considerables ventajas sobre la ligadura quirúrgica. Se evita la toracotomía, no precisa de anestesia general y disminuye la estancia hospitalaria.

Porstmann describió por primera vez la técnica pero la complejidad del procedimiento, la utilización de la vía arterial y el gran tamaño del catéter transportador hicieron que su uso no se extendiera pese a conseguir el cierre en algunos pacientes<sup>(1)</sup>. En 1976 Rashkind<sup>(2)</sup> desarrolló un sistema de disco y cerró el DA de un paciente de 3,5 kg. Las modificaciones desarrolladas en el dispositivo y en el sistema transportador permitieron la comercialización del sistema. Posteriormente, Bash y Mullins<sup>(3)</sup> modificaron la técnica utilizando un introductor progresado desde el lado venoso a través del corazón derecho y del DA en la aorta descendente. Esta técnica ha demostrado su fiabilidad con una baja morbilidad y sin mortalidad<sup>(4)</sup>. Otros autores han utilizado con éxito dobles discos de poliuretano para el tratamiento de esta malformación<sup>(5)</sup> y más recientemente espirales (coils) en DA menores de 3 mm de diámetro<sup>(6)</sup>.

El propósito de este trabajo es mostrar la experiencia inicial de nuestra unidad en el cierre percutáneo de DA mediante prótesis de Rashkind y su evolución a medio plazo.

## Material y métodos

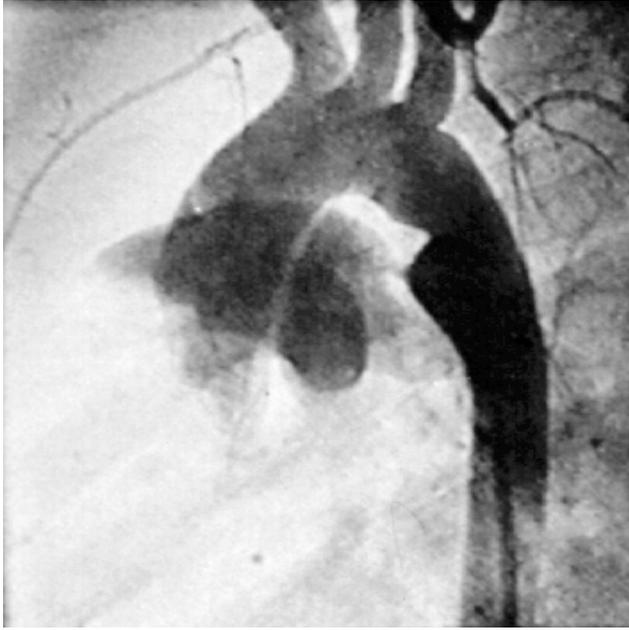
Entre abril de 1990 y julio de 1994, 44 pacientes (12 varones y 32 mujeres) fueron sometidos a cierre electivo de DA mediante la prótesis de Rashkind (Rashkind PDA Occluder System, USCI Angiographics, Tewksbury, Mass.). Trece pacientes (grupo I) eran menores de 18 meses con un peso de  $8,7 \pm 3,2$  kg (rango: 3,6-13,5) y una edad de  $10,9 \pm 5$  meses (rango: 1-17). El gru-

Sección de Cardiología Pediátrica, Departamento de Pediatría. \*Servicio de Hemodinámica, Departamento de Cardiología. Hospital General Universitario «Gregorio Marañón». Madrid.

*Correspondencia:* Dr. J.I. Zabala. Sección de Cardiología Pediátrica. Hospital Universitario «Gregorio Marañón». C/ Doctor Castelo, 49. 28009 Madrid.

*Recibido:* Diciembre 1994

*Aceptado:* Marzo 1995



**Figura 1.** Aortografía en proyección lateral. La arteria pulmonar se opacifica a través del ductus.

po II lo formaban 31 pacientes mayores de 18 meses, el peso era de  $36,8 \pm 20,6$  kg (rango: 9-71) y la edad de  $14,8 \pm 14,9$  años (rango: 1,7-60). Cuatro pacientes del grupo I presentaban cardiopatía asociada: un canal auriculoventricular completo, un canal auriculoventricular parcial, una comunicación interventricular perimembranosa y una comunicación interauricular tipo ostium primum. En el grupo II un paciente presentaba una prótesis valvular aórtica y otro una comunicación interauricular tipo ostium secundum.

#### Técnica de cierre

Tras la administración de ketamina (7 mg/kg i.m.) y anestesia local se canalizaron por técnica de Seldinger las dos venas femorales y una arteria femoral. En los pacientes adultos no se administró ketamina, utilizándose una dosis de 5 mg de diazepam v.o. media hora antes del procedimiento y se canalizó una sola vena femoral utilizándose una vía periférica de buen calibre para la administración de drogas o fluidos. En los pacientes pediátricos se administraron dosis adicionales de ketamina y/o diazepam previamente a la implantación del dispositivo para evitar movimientos bruscos o inesperados. No se empleó heparina sistémica de forma rutinaria, todos los catéteres empleados fueron lavados con suero heparinizado.

Mediante un catéter Berman de presión se realizó cateterismo derecho con toma de presiones y serie oximétrica. Se utilizó un catéter High-Flow 5F percutáneo para realizar una aortografía en proyección lateral y analizar la anatomía, tamaño y relaciones del DA con las estructuras adyacentes (Fig. 1). Se avanzó el catéter Berman hasta la aorta descendente y a su través se progresó una guía de 0,032 pulgadas. Sobre la guía se in-



**Figura 2.** Aortografía en proyección lateral con dos dispositivos de 17 mm implantados. No existe paso de contraste a la arteria pulmonar.

sertó percutáneamente una vaina de Mullins (USCI o Cook) previamente preformada según la anatomía del DA. Las vainas empleadas fueron del 8F para los dispositivos de 12 mm y del 11F para los de 17 mm. Se utilizaron dispositivos de 12 mm para los DA menores o iguales de 3 mm de diámetro y de 17 mm para los restantes. Una vez posicionado el extremo de la vaina en la aorta se retiró la guía y a su través se avanzó el dispositivo liberador con el sistema ocluser montado. Con el dispositivo situado en la extremidad aórtica del DA se retiró la vaina ligeramente para abrir las patillas distales hasta su acoplamiento en la pared aórtica. Una vez bien aseguradas se retiró totalmente la vaina desplegándose las patillas proximales en la extremidad pulmonar y se realizó una comprobación mediante el catéter arterial antes de liberar el dispositivo. A los 15 minutos de la liberación se repitió una aortografía lateral para comprobar la posición y permeabilidad del DA (Fig. 2).

En cuatro ocasiones fue necesario dilatar el DA por vía anterógrada mediante un catéter de angioplastia coronaria ante la imposibilidad de progresar la vaina a través del DA. En otro paciente se realizó un asa arteria femoral izquierda vena femoral derecha. La técnica de implantación de un segundo dispositivo fue similar. Antes de implantar el dispositivo se administró una dosis de 12,5 mg/kg de cefazolina i.v. que se repitió a las 8 y a las 16 horas. Todos los pacientes recibieron profilaxis antibiótica en los siguientes seis meses a la implantación.

#### Seguimiento

El día siguiente al cateterismo todos los pacientes fueron sometidos a exploración física, radiografía de tórax (Fig. 3) y ecografía bidimensional doppler color. Los pacientes fueron revi-



**Figura 3.** Radiografía postero-anterior de tórax. Dos dispositivos de 17 mm implantados en el ductus.

sados a los 6 meses de la implantación de igual forma. El ecógrafo utilizado fue un Sonos 500 Hewlett Packard con doppler codificado a color y equipado con transductores de 3,5 y 5 MHz. Se realizaron múltiples cortes en los planos axial y sagital para localizar los cortocircuitos residuales, visualizar el dispositivo y registrar la onda de flujo mediante Doppler en las arterias pulmonares y en el istmo aórtico.

Se realizó comparación de medias para variables independientes y una  $p < 0,05$  para las distintas frecuencias de cierre en ambos grupos.

## Resultados

Se utilizaron 51 dispositivos implantándose correctamente 49 en 43 pacientes, produciéndose dos embolizaciones. Los dispositivos empleados en cada grupo se muestran en la **tabla I**. La presión pulmonar media y la relación gasto cardíaco pulmonar/gasto cardíaco sistémico ( $Q_p/Q_s$ ) fueron:  $18 \pm 10$  mmHg (rango: 12-50) y  $1,5 \pm 0,4$  (rango: 1,2-2,5) en el grupo I; y  $17 \pm 10$  mmHg (rango: 12-53) y  $1,47 \pm 0,2$  (rango: 1,2-2,2) en el grupo II.

En el grupo I se produjo una embolización en la arteria pulmonar izquierda de una prótesis de 12 mm en un paciente con canal auriculoventricular parcial. El dispositivo pudo ser retirado hasta el ventrículo derecho donde quedó implantado. El paciente fue remitido a cirugía donde se extrajo el dispositivo, se realizó cierre del defecto auricular y ligadura del DA. En un paciente del grupo II un dispositivo de 17 mm embolizó en la aorta descendente. Fue retirado a través de la arteria femoral izquierda mediante un catéter cesta y se implantó un nuevo dispositivo correctamente.

La aortografía demostró la oclusión completa sin cortocircuito residual en el 75% de los pacientes del grupo I y en el 64,5% de los del grupo II (**Tabla II**). En el doppler codificado a color realizado al día siguiente a la intervención el 83% de los pacientes del grupo I y el 77% de los del grupo II no presentaban

**Tabla I** Dispositivos utilizados

	< 18 meses		> 18 meses		Total
	12 mm	17 mm	12 mm	17 mm	
1 <sup>er</sup> . Dispositivo	5	7	8	23	43
2 <sup>o</sup> Dispositivo	0	2	0	4	6
Embolizaciones	1	0	0	1	2
Total	6	9	8	28	51

**Tabla II** Porcentaje de cierre completo sin cortocircuito residual tras la implantación de uno o dos dispositivos

	< 18 meses n = 12**	> 18 meses n = 31	Total N = 43
Angiografía	75% (9/12)	64,5% (20/31) (NS)	67%
Doppler color 24 horas	83% (10/12)	77% (24/31) (NS)	79%
Doppler color 6 meses	83% (10/12)	84% (26/31) (NS)	84%
2 <sup>o</sup> Dispositivo*	100% (12/12)	97% (30/31) (NS)	98%

\*\* No se incluye el paciente que presentó embolización del dispositivo y precisó cirugía. \*Resultado obtenido tras la implantación de un segundo dispositivo. NS: no significativo.

cortocircuito. Ningún paciente desarrolló hemólisis, estenosis de la arteria pulmonar izquierda, endarteritis ni se observaron complicaciones relacionadas con el acceso vascular. Todos los pacientes, excepto el que precisó cirugía, fueron dados de alta al día siguiente del cateterismo. A los seis meses de la intervención el 83% del grupo I y el 84% presentaban una oclusión total. En dos pacientes del grupo I y en cuatro del grupo II se indicó un segundo dispositivo a los  $11 \pm 4,9$  meses de la implantación del primero. En los seis pacientes se confirmó el cierre total por angiografía y Doppler color.

El seguimiento medio ha sido de  $16,1 \pm 11,8$  meses en los menores de 18 meses, con un cierre completo en el 100% de los casos; y de  $23 \pm 16,5$  meses en el grupo II, con un 97%. No hubo diferencias significativas entre ambos grupos en ningún momento de la evolución. Sólo en un paciente del grupo II persiste un mínimo cortocircuito residual.

## Discusión

Porstmann y cols. fueron los primeros en cerrar un DA por vía percutánea. La técnica se realizaba por vía arterial y precisaba catéteres de gran calibre, 13F y 28F. Pese a los buenos resultados obtenidos, la posibilidad de lesión arterial y la edad de los pacientes fueron factores que impidieron la extensión de esta técnica. Rashkind y Mullins desarrollaron el cierre percutáneo por vía venosa femoral mediante un dispositivo de doble disco (Rashkind PDA Occluder System). Existen disponibles dos tamaños diferentes, 12 mm y 17 mm, que precisan para su implantación introductores del 8F y del 11F, respectivamente.

Exceptuando los neonatos y lactantes con insuficiencia cardíaca, la oclusión del DA es un procedimiento electivo que se realiza para eliminar el riesgo de endarteritis y para evitar el desarrollo de hipertensión pulmonar a largo plazo. No obstante, en algunos pacientes existen cortocircuitos residuales tras la implantación de un dispositivo detectados mediante ecografía codificada a color con una frecuencia que oscila entre el 5% y el 15% según el tiempo de seguimiento<sup>(7-9)</sup>. La mayor parte de los autores consideran que esta técnica es segura por encima de los 6 kg de peso, pero también se ha utilizado en neonatos seleccionados. En nuestra serie el paciente de más bajo peso fue un neonato de 3,6 kg y un mes de vida portador de un canal auriculoventricular completo en el que se realizó el cierre del DA mediante un dispositivo de 12 mm para disminuir el cortocircuito y postergar la cirugía hasta la corrección completa. El cierre fue completo no observándose cortocircuito residual a nivel ductal y no ocurrieron complicaciones relacionadas con el acceso vascular. Ocho pacientes del grupo I eran menores de un año, en siete los dispositivos fueron implantados sin complicaciones y en uno se produjo una embolización. Cinco presentaron cierre angiográfico, uno cierre a las 24 horas y en el restante se implantó un segundo dispositivo seis meses después. La tasa de cierre sin cortocircuito residual cuando se incluyen los segundos dispositivos implantados fue del 100% en el grupo I y 97% en el grupo II. Los pacientes menores de 10 kg y con DA mayores de 3 mm no son candidatos ideales para el cierre percutáneo ya que precisan dispositivos de 17 mm y se ha comprobado que pueden producir un compromiso al flujo de la arteria pulmonar izquierda<sup>(10)</sup>.

La complicación más frecuente del cierre percutáneo es la embolización del dispositivo, con una frecuencia que oscila entre el 1 y el 5%. Se produjeron dos embolizaciones, ambas ocurrieron en los primeros 20 pacientes tratados, y se relacionan con la experiencia del equipo. Otras complicaciones como la hemólisis a nivel del dispositivo y la endarteritis son excepcionales y no ocurrieron en nuestra serie. El mayor problema en la actualidad es determinar el momento más adecuado para implantar un segundo dispositivo. Una indicación clara son los pocos pacientes que desarrollan hemólisis tras la implantación del dispositivo. En éstos se debe implantar un nuevo dispositivo, ya que se ha demostrado su eficacia en conseguir la desaparición de la hemólisis<sup>(11)</sup>. También los pacientes con cortocircuitos intracardíacos productores de hipertensión pulmonar pueden ser candidatos a un segundo dispositivo para evitar la progresión de la enfermedad vascular pulmonar.

En los pacientes sin hemólisis y sin defectos cardíacos asociados la presencia de cortocircuito residual no elimina el riesgo de endarteritis. Trabajos realizados en la década de los sesenta demostraron que el riesgo de endarteritis en pacientes con DA oscilaba entre el 0,45 y el 1% por cada año de vida<sup>(12)</sup>. Sin embargo, en estos trabajos la detección del DA se basó en los hallazgos clínicos y hemodinámicos. Actualmente el Doppler codificado a color permite la detección de DA asintomáticos sin ninguna repercusión clínica, desconociéndose el riesgo real de

endarteritis de este grupo de pacientes. Por otra parte, dada la profilaxis antibiótica y la mejor higiene dental hoy empleada, la posibilidad de desarrollar una endarteritis en un DA clínicamente silente parece remota<sup>(13,14)</sup>. Uno de nuestros pacientes tiene un mínimo cortocircuito residual y no tiene auscultación sugerente de DA, por lo que se ha decidido seguir su evolución por si se produjera el cierre espontáneo.

Distintos trabajos han estudiado la prevalencia de cortocircuito residual demostrando que el cierre completo puede ocurrir hasta 40 meses después de la implantación del dispositivo<sup>(15)</sup>. Sugieren esperar cuando el cortocircuito residual es pequeño, sólo detectable por Doppler color, ya que puede ocurrir el cierre espontáneo y el riesgo de endarteritis es remoto. Por el contrario, en los pacientes que tras un primer dispositivo persistan los típicos hallazgos de DA estaría indicada la implantación de un segundo dispositivo<sup>(16)</sup>. Aunque aún no existe consenso, parece razonable indicar un segundo dispositivo cuando persiste el soplo continuo más de un año y mantener una actitud expectante en los cortocircuitos residuales detectables sólo por Doppler color. Es deseable un seguimiento estricto cuando persiste un cortocircuito detectable sólo por Doppler color sin síntomas acompañantes, y que se realice la profilaxis habitual frente a endocarditis bacteriana, ya que se desconoce si existe un riesgo mayor de endarteritis en estos pacientes.

Un problema adicional que se debe tener en cuenta es el precio del cierre percutáneo; debido a esto, se mantiene como alternativa la cirugía por su efectividad y menor coste<sup>(17)</sup>. No obstante, en este trabajo la valoración del cierre se realizó por auscultación y sólo el 19% de los DA fueron seccionados. La cirugía elimina la posibilidad de cortocircuito sólo cuando el DA es seccionado, ya que cuando se emplea la ligadura o «clip» se han demostrado cortocircuitos residuales detectados con Doppler color con una frecuencia que oscila entre el 6 y el 23%<sup>(18,19)</sup>. Por otra parte, el cierre percutáneo ofrece importantes ventajas sobre el quirúrgico que son difíciles de cuantificar. Es una técnica menos invasiva, en muchos casos no precisa de anestesia general y disminuye la estancia hospitalaria minimizando la interrupción de la actividad habitual del paciente y sus familiares. Estas ventajas, y en especial la reducción de pérdidas de horas de trabajo, deben tenerse en cuenta a la hora de valorar el coste cuando se comparan ambas técnicas.

Recientemente se ha descrito el cierre del DA mediante toracoscopia asistida por vídeo<sup>(20)</sup>. La técnica se ha utilizado en unos pocos pacientes y ha demostrado unos buenos resultados iniciales sin complicaciones graves. Su principal inconveniente es el riesgo de lacerar el tejido ductal y provocar una hemorragia masiva con el tórax cerrado con consecuencias desastrosas para el paciente. Es de esperar que en los próximos años, cuando existan series más amplias, esta técnica se incorpore a las diferentes opciones de tratamiento del DA.

En conclusión, el cierre percutáneo del DA mediante la prótesis de Rashkind es una alternativa eficaz con una frecuencia de cierre a medio plazo similar a la ligadura quirúrgica. La técnica es segura incluso en menores de 18 meses con una tasa de

éxito similar a los otros grupos de edad, y en casos seleccionados permite diferir la cirugía en pacientes con cardiopatías congénitas asociadas. Determinar el momento más adecuado para implantar un segundo dispositivo es objeto de controversia, pero parece razonable que pacientes en los que persiste un soplo continuo más de un año sean candidatos a esta técnica.

## Bibliografía

- 1 Portsmann W, Wierny L, Warnke H, Gersnberger G, Romanik PA. Catheter closure of patent ductus arteriosus: 62 cases treated without thoracotomy. *Radiol Clin North Am* 1971;**9**:203-218.
- 2 Rashkind WJ, Cuasco CC. Transcatheter closure of patent ductus arteriosus: successful use in a 3,5 kg infant. *Pediatr Cardiol* 1979;**1**:3-7.
- 3 Bash SE, Mullins CE. Insertion of patent ductus arteriosus occluder by transvenous approach: a new technique (abstract). *Circulation* 1984;**79**(Suppl 2):285.
- 4 Rashkind WJ, Mullins CE, Hellenbrand WE, Tait MA. Nonsurgical closure of patent ductus arteriosus: clinical applications of the Rashkind PDA occluder System. *Circulation* 1987;**75**:583-592.
- 5 Rao PS, Sideris EB, Haddad J, Rey C, Hausdorf G, Wilson AD, Smith PA, Chopra PS. Transcatheter occlusion of patent ductus arteriosus with adjustable buttoned device. Initial clinical experience. *Circulation* 1993;**88**:1119-1126.
- 6 Lloyd TR, Fedderly R, Mendelshon AM, Sandhu SK, Beekman III RH. Transcatheter occlusion of patent ductus arteriosus with Gianturco coils. *Circulation* 1993;**88**:1412-1420.
- 7 Report of the European Registry. Transcatheter occlusion of persistent arterial duct. *Lancet* 1992;**340**:1062-1066.
- 8 Mullins CE. Transcatheter closure of patent ductus arteriosus. *Prog Pediatr Cardiol* 1992;**1**(2):55-62.
- 9 Aracete F, Bermúdez R, Herráiz JI. Cateterismo intervencionista. Cierre del ductus arteriosus patente por vía percutánea. *Rev Española de Cardiología* 1993;**46**(Supl 2):55-61.
- 10 Nykanen DG, Hayes AM, Benson LN, Freedom RM. Transcatheter patent ductus arteriosus occlusion: application in the small child. *J Am Coll Cardiol* 1994;**23**:1660-1670.
- 11 Hayes AM, Redington AN, Rigby ML. Severe haemolysis after transcatheter duct occlusion: a non-surgical remedy. *Br Heart J* 1992;**67**:321-322.
- 12 Campbell M. Natural history of persistent ductus arteriosus. *Br Heart J* 1968;**30**:4-13.
- 13 Houston AB, Ganapragasam JP, Lim MK, Doig WB, Colman EN. Doppler ultrasound and the silent ductus arteriosus. *Br Heart J* 1991;**65**:97-99.
- 14 Latson LA. Residual shunts after transcatheter closure of patent ductus arteriosus. A major concern or benign «techno-malady». *Circulation* 1991;**6**:2591-2593.
- 15 Hosking MCK, Benson LE, Musewe N, Dyck DJ, Freedom RM. Transcatheter occlusion of the persistently patent ductus arteriosus. Forty-month follow-up and prevalence of residual shunting. *Circulation* 1991;**84**:2313-2317.
- 16 Huggon IC, Tabatabaei AH, Qureshi SA, Baker EJ, Tynan M. Use of a second transcatheter Rashkind arterial duct occluder for persistent flow after implantation of the first device: indications and results. *Br Heart J* 1993;**69**:544-550.
- 17 Gray DT, Fyler DC, Walker AM, Weinstein MC, Chalmers TC. Clinical outcomes and costs of transcatheter as compared with surgical closure of patent ductus arteriosus. The Patent Ductus Arteriosus Closure Comparative Study Group. *N Engl J Med* 1993;**329**:1517-1523.
- 18 Musewe NN, Benson LN, Smallhorn JF, Freedom RM. Two-dimensional echocardiographic and color-flow doppler evaluation of ductal occlusion with the Rashkind prosthesis. *Circulation* 1989;**80**:1706-1710.
- 19 Sorensen KE, Krinstensen BO, Hanson OK. Frequency of occurrence of residual ductal flow after surgical ligation by color-flow mapping. *Am J Cardiol* 1991;**67**:653-654.
- 20 Laborde F, Noirhomme P, Karam J, Batisse A, Bourel P, Saint Maurice O, Fontan FM. A new video-assist thoracoscopic surgical technique for interruption of patent ductus arteriosus in infants and children. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1993;**105**:278-280.