

## Cardiopatías congénitas en el adulto: hacia un intervencionismo no quirúrgico

Horacio J. Faella

Servicio de Hemodinamia. Hospital de Pediatría Prof. Dr. Juan P. Garrahan. Buenos Aires. Argentina.

El tratamiento de las cardiopatías congénitas en el paciente adulto ha sido tradicionalmente la cirugía. Desde los trabajos de Rashkind y Grüntzig se ha desarrollado la cardiología intervencionista como terapéutica en las cardiopatías congénitas y adquiridas.

Comentamos la aplicación actual de este tratamiento y comunicamos la experiencia de nuestro grupo en la terapéutica mediante cateterismo percutáneo de las cardiopatías congénitas del adulto, como la estenosis valvular pulmonar, la estenosis valvular aórtica, la coartación de aorta, la recoartación posquirúrgica, la estenosis de las ramas de la arteria pulmonar, la comunicación interauricular, la comunicación interventricular, el ductus arterioso persistente y las embolizaciones arteriales.

Concluimos que el tratamiento intervencionista en las cardiopatías congénitas del adulto es un procedimiento factible y de bajo riesgo; sus indicaciones son cada vez más frecuentes, algunas de primera elección, y es posible realizarlo a cualquier edad, incluso en pacientes de alto riesgo. Como en todo procedimiento intervencionista, la curva de aprendizaje es insoslayable.

**Palabras clave:** *Cardiopatías congénitas. Cateterismo. Valvuloplastia. Angioplastia. Comunicación interauricular. Comunicación interventricular.*

### **Congenital Heart Defects in the Adult: Towards Nonsurgical Interventionism**

The classical treatment for congenital heart defects in adult patients has been surgical correction. Since the publication of Rashkind and Grüntzig's studies, interventional cardiology approaches have been developed to treat congenital and acquired heart defects.

We discuss the current applications of this form of treatment and communicate our experience with percutaneous transcatheter procedures in adult patients for pulmonary valve stenosis, aortic valve stenosis, native coarctation, postsurgical coarctation, peripheral pulmonary artery stenosis, atrial septal defect, ventricular septal defect, ductus arteriosus and embolization therapy.

We conclude that interventional treatment in adults with congenital heart defects is safe and feasible, that the indications for this approach to treatment are increasing, that it can be undertaken in patients of any age including high-risk patients, and that as with all interventional procedures, the learning curve must be successfully surmounted.

**Key words:** *Congenital heart defects. Catheterization. Valvuloplasty. Angioplasty. Atrial septal defects. Ventricular septal defects.*

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento tradicional de las cardiopatías congénitas en el adulto ha sido la cirugía. Desde la septostomía interauricular descrita por Rashkind y Miller<sup>1</sup>, la angioplastia coronaria por Grüntzig<sup>2</sup> y las valvuloplastias, se desarrolló el intervencionismo no quirúrgico en las cardiopatías congénitas y adquiridas<sup>3</sup>.

Desde entonces, una gran cantidad de procedimientos por cateterismo forman parte del tratamiento de este grupo de enfermedades.

Los tratamientos pensados para efectuarlos en la edad pediátrica hoy son utilizados frecuentemente en las cardiopatías congénitas del adulto.

El objetivo de esta presentación es analizar las posibilidades terapéuticas de la cardiología intervencionista en las cardiopatías congénitas del adulto, tratadas anteriormente o no tratadas. Secundariamente, mostrar la experiencia de nuestro grupo en este tipo de intervenciones en el paciente adulto, mayor de 18 años.

Los diferentes procedimientos que efectuamos han sido: valvuloplastia pulmonar, valvuloplastia aórtica, angioplastia de la coartación de aorta nativa y de la recoartación posquirúrgica, angioplastia de ramas pul-

Correspondencia: Dr. H.J. Faella.  
Servicio de Hemodinamia.  
Hospital de Pediatría Prof. Dr. Juan P. Garrahan.  
Avelino Díaz 1925. 1406 Buenos Aires. Argentina.  
Correo electrónico: homefaella@sion.com

monares, cierre de la comunicación interauricular, cierre del ductus arterioso persistente, cierre de la comunicación interventricular y embolizaciones arteriales.

### Valvuloplastia pulmonar

La valvuloplastia con catéter-balón está considerada la terapéutica de elección para el tratamiento de la estenosis valvular pulmonar aislada de origen congénito<sup>3-5</sup>.

Se efectúa cuando el gradiente pico a pico entre la presión sistólica del ventrículo derecho y la de la arteria pulmonar es mayor de 40 mmHg<sup>6,7</sup>.

Tratamos con este método a 31 pacientes, 11 varones, con edades comprendidas entre los 18 y los 70 años (mediana, 30) y con un peso de entre 40 y 75 kg (mediana, 58).

En todos utilizamos el acceso percutáneo de una o las 2 venas femorales y dilatamos la estenosis pulmonar con un catéter-balón en 15 pacientes, con 2 balones en 15 y con 3 en 1. El balón utilizado excedió siempre el 20-30% el diámetro del anillo medido por ecocardiografía primero y por ventriculografía derecha en posición lateral después.

El gradiente medio previo fue de 99 mmHg y cayó a 38 mmHg inmediatamente tras la realización de la valvuloplastia y a 20 mmHg en el seguimiento tardío medido mediante ecocardiograma Doppler color, lo que demuestra una reacción infundibular que fue cediendo paulatinamente hasta desaparecer en 14 de nuestros pacientes.

La presión sistólica del ventrículo derecho cayó de una media de 119 a 60 mmHg.

Podemos concluir que:

- La valvuloplastia pulmonar con catéter-balón es el procedimiento de elección para el tratamiento de la estenosis valvular pulmonar congénita en el paciente adulto, independientemente de su edad<sup>3-12</sup>.

- Estos resultados son definitivos cuando se utiliza una relación balón:anillo<sup>8</sup> de entre 1,20 y 1,30.

- El índice de reestenosis es bajo.

- Existe una reacción infundibular en la mitad de los pacientes que tiende a disminuir espontáneamente<sup>13</sup>.

### Valvuloplastia aórtica

La valvuloplastia aórtica con catéter-balón tiene una indicación excepcional en el paciente adulto, ya que sus resultados no son siempre buenos y el índice de reestenosis es muy alto<sup>14-16</sup>.

Sólo está indicada en casos especiales como embarazo avanzado o disfunción del ventrículo izquierdo como puente para el reemplazo valvular.

Realizamos valvuloplastia aórtica en 6 pacientes con edades comprendidas entre los 17 y los 26 años

con diagnóstico de estenosis aórtica valvular congénita. Logramos una caída del gradiente sistólico entre el ventrículo izquierdo y la aorta de 67 a 23 mmHg y una disminución de la presión de ventrículo izquierdo de 163 a 117 mmHg. El diámetro del balón utilizado nunca sobrepasó el diámetro del anillo aórtico para no provocar una insuficiencia aórtica severa, que es, probablemente, la complicación más grave del procedimiento. A pesar de estas precauciones, la insuficiencia aórtica apareció o aumentó en 5 de los 6 pacientes, aunque nunca fue severa.

Sin embargo, la cirugía es el tratamiento de elección en esta patología, ya sea reemplazando la válvula o efectuando la operación de Ross<sup>17,18</sup>.

### Angioplastia de coartación de aorta

La coartación de aorta en el paciente adulto tiene un riesgo aumentado de disfunción del ventrículo izquierdo, hipertensión arterial persistente, aterosclerosis coronaria y cerebral prematura, posibilidades de rotura o disección de la aorta o los vasos cerebrales<sup>19</sup>.

La indicación de intervención es clara cuando el gradiente sistólico entre la aorta ascendente y descendente en reposo es mayor de 20 mmHg<sup>19-24</sup>.

Las posibilidades son la cirugía, que puede producir paraplejía y, en los adultos, un importante sangrado por la presencia de circulación colateral muy aumentada, y la angioplastia con catéter que tiene un índice respetable de reestenosis y aneurismas<sup>24</sup>. Sin embargo, con la colocación de *stents* estos riesgos se han minimizado y la angioplastia con implante de *stent* es hoy la indicación en el tratamiento de la coartación de aorta nativa o posquirúrgica del adulto<sup>25-27</sup>.

El *stent* recubierto ha permitido disminuir el riesgo cuando la coartación es muy severa o tratar 2 patologías cuando está asociada a ductus arterioso persistente o a aneurismas.

Hemos tratado a 10 pacientes de entre 18 y 37 años (mediana, 23) utilizando la angioplastia con colocación de *stent*. Obtuvimos una disminución del gradiente de 33 mmHg de media a 0 y un aumento del diámetro de la zona coartada de 6 a 18,6 mm.

Podemos concluir que la angioplastia con colocación de *stent* es hoy una alternativa terapéutica de bajo riesgo en el tratamiento de la coartación de la aorta, ya sea nativa o posquirúrgica<sup>19-27</sup>.

### Angioplastia de estenosis de ramas pulmonares

Las estenosis de ramas pulmonares están frecuentemente asociadas a atresia pulmonar con comunicación interventricular, tetralogía de Fallot, síndrome rubeólico y síndrome de Williams, aunque en ocasiones pueden presentarse de forma aislada<sup>28-31</sup>. La frecuencia ha sido estimada en el 2-3% de todas las cardiopatías

congénitas. Otras veces pueden ser secundarias a intervenciones quirúrgicas como anastomosis sistemicopulmonares u operación de Glenn (anastomosis cavopulmonar)<sup>32</sup>. Cuando son proximales, se puede acceder a ellas mediante cirugía, pero si son distales se debe realizar un cateterismo cardíaco.

La angioplastia de las ramas pulmonares puede efectuarse en lesiones estenóticas proximales o distales, aunque su éxito es del 50%, aproximadamente<sup>33-36</sup>. Estos resultados han mejorado sustancialmente con la colocación de *stents*, y el índice de éxito aumentó al 90%<sup>37-39</sup>.

El objetivo fundamental en el tratamiento de estas lesiones es disminuir la elevada presión del ventrículo derecho y mejorar la perfusión pulmonar distal.

Nuestra experiencia en adultos incluye a 5 pacientes con edades comprendidas entre los 18 y los 26 años (mediana, 20). Todos ellos habían sido operados antes: 4 por tetralogía de Fallot y 1 por atresia pulmonar con comunicación interventricular. Posteriormente a la angioplastia con colocación de *stent*, el gradiente de presiones previo bajó de 40 a 19 mmHg, mientras que el diámetro de la estenosis aumentó de 5,6 a 13,2 mm de mediana.

Creemos que éste es el tratamiento de elección de las estenosis de las ramas de la arteria pulmonar cuando la presión del ventrículo derecho es mayor que la mitad de la presión sistémica<sup>33-39</sup>.

### Cierre de la comunicación interauricular

La historia natural de la comunicación interauricular no asociada a otras cardiopatías congénitas es relativamente benigna; sin embargo, la presencia y la severidad de las limitaciones funcionales aumentan con la edad. La insuficiencia cardíaca congestiva es rara en las primeras décadas de la vida, pero aparece por encima de los 40 años.

La aparición de arritmias auriculares también es un fenómeno que se relaciona con la edad. La fibrilación auricular, y menos frecuentemente el aleteo, aparece en el 13% de los pacientes con comunicación interauricular por encima de los 40 años y en el 52% de los mayores de 60 años. Estas arritmias suceden con más frecuencia cuando el cortocircuito es mayor de 3:1 y el paciente tiene cardiomegalia.

Por otra parte, la enfermedad vascular pulmonar hipertensiva ocurre en el 5-10% de las comunicaciones no tratadas, fundamentalmente en mujeres y raramente en niños. Se continúa debatiendo cuáles son las causas, qué pacientes tienen riesgo de desarrollarla y a qué edad.

La comunicación interauricular debe ser cerrada siempre que el paciente presente una sobrecarga volumétrica de las cavidades derechas, tenga un cortocircuito importante (mayor de 1,5:1) y presente cardiomegalia e hipertensión pulmonar de leve a

moderada<sup>40</sup>.

La cirugía ha sido el tratamiento tradicional de la comunicación interauricular; sin embargo, a pesar de presentar una mortalidad casi nula, presenta un 70% de complicaciones leves, un 5-10% de complicaciones graves y un 8-17% de arritmias tardías<sup>40-42</sup>.

Por estas razones se ha desarrollado el cierre percutáneo del defecto con distintos tipos de ocluidores y con diferente tasa de éxito<sup>43-51</sup>. No obstante, la aparición del ocluidor de Amplatzer ha revolucionado el tratamiento ya que permite el cierre de comunicaciones de hasta 40 mm de diámetro con complicaciones mínimas<sup>52-56</sup>.

Nuestro grupo ha cerrado la comunicación interauricular a 32 pacientes de entre 18 y 70 años (mediana, 42). El diámetro promedio fue de 20 mm y el dispositivo usado fue de 22 mm.

Todos los pacientes presentaban cierre completo a las 24 h en el ecocardiograma Doppler color; no hubo embolizaciones del ocluidor y las únicas complicaciones fueron arritmias auriculares en 3 pacientes que fueron controladas con medicación.

Concluimos que el cierre percutáneo de la comunicación interauricular es el tratamiento de elección en estos momentos cuando las características del defecto lo permiten: tipo *ostium secundum*, diámetro menor de 40 mm, bordes de 5 mm alrededor del orificio con excepción del borde aórtico que puede ser menor o no existir<sup>52-56</sup>.

### Cierre del ductus arterioso persistente

El ductus arterioso persistente es una de las cardiopatías congénitas más frecuentes en el adulto.

Su cierre está indicado siempre por la posibilidad del desarrollo de hipertensión pulmonar, sobrecarga volumétrica biventricular y endocarditis infecciosa<sup>57</sup>.

En el adulto, el ductus se calcifica frecuentemente, es friable y puede tener dilatación aneurismática. Por todas estas razones, la ligadura quirúrgica es un procedimiento de riesgo. El cierre percutáneo del ductus es un método rápido, sencillo, que conlleva menos de 24 h de hospitalización y que no deja cicatriz. No tiene mortalidad y su morbilidad es escasa<sup>57-63</sup>. La complicación más frecuente es la embolización del ocluidor que, generalmente, se resuelve en el mismo procedimiento extrayéndolo<sup>57</sup>.

Los ductus persistentes menores de 2,5 mm de diámetro son ocluidos con *coils* de Gianturco, y cuando el diámetro es mayor, utilizamos los dispositivos de Amplatzer<sup>61-63</sup>.

Cerramos el ductus en 39 pacientes de entre 17 y 73 años (mediana, 33), 31 de los cuales eran mujeres; el diámetro osciló entre 1 y 7 mm (mediana, 3,6) y se usaron para su cierre 12 ocluidores de Rashkind, 16 *coils* de Gianturco y 11 PDA Amplatzer. El procedimiento fue exitoso en todos, aunque 7 pacientes queda-

ron con cortocircuito residual y necesitaron un segundo ocluser, todos ellos con ocluser de Rashkind que ya no se usa por la alta incidencia de *shunt* residual.

Consideramos que el cierre percutáneo del ductus en el adulto es el procedimiento de elección por sus ventajas comparativas respecto de la cirugía<sup>57-63</sup>.

### Cierre de la comunicación interventricular

La comunicación interventricular debe cerrarse siempre que el cortocircuito sea mayor de 1,5:1, provoque cardiomegalia e hipertensión pulmonar con resistencias pulmonares significativamente menores a las sistémicas o que el paciente haya sufrido una endocarditis infecciosa.

La cirugía es el tratamiento de elección; sin embargo, las comunicaciones musculares han sido objeto de cierre por cateterismo con buenos resultados<sup>64-68</sup>. Actualmente está en desarrollo el cierre de las comunicaciones interventriculares subtricuspidéas y los estudios preliminares son alentadores<sup>69</sup>.

Todavía el número de pacientes es pequeño, y el seguimiento, corto, por lo que el cierre percutáneo no es rutinario en estos pacientes.

### Embolizaciones arteriales

La embolización arterial es un método que reemplaza a la ligadura quirúrgica; posibilita la solución definitiva en determinadas patologías o colabora, en otros casos, a reducir el tiempo operatorio y brindar un campo quirúrgico exangüe<sup>70</sup>. Está indicado en:

- Secuestro de pulmón.
- Colaterales aortopulmonares.
- Tumores.
- Oclusión de anastomosis quirúrgicas sistémico-pulmonares.
- Quiste óseo aneurismático.
- Angiomas.
- Vasos sangrantes.
- Fístulas arteriovenosas: pulmonares, coronarias, hepáticas, cerebrales, etc.
- Aneurismas o pseudoaneurismas.

Se utilizan diversos materiales como *coils*, PDA Amplatzer, ocluser de Rashkind y *stent* recubiertos, entre otros<sup>71-74</sup>.

Siempre que sea posible, las embolizaciones son un método menos cruento que la ligadura quirúrgica y con menor morbimortalidad.

### CONCLUSIONES

Los métodos intervencionistas por cateterismo en las cardiopatías congénitas del adulto son procedimientos factibles y de bajo riesgo.

Son de primera elección en el tratamiento de la este-

nosis valvular pulmonar congénita, la estenosis de ramas de la arteria pulmonar, el cierre del ductus, el cierre de la comunicación interauricular tipo *ostium secundum*, la coartación y recoartación posquirúrgica con *stent* y las embolizaciones arteriales.

Son métodos alternativos el cierre de la comunicación interventricular muscular o subtricuspidéa y el tratamiento de coartación de aorta nativa sin *stent*. Son de aplicación excepcional en la estenosis aórtica valvular. Sus indicaciones son cada vez más frecuentes y se realizan a cualquier edad, incluso en embarazadas de alto riesgo. Sin embargo, como en todo procedimiento intervencionista, existe una curva de aprendizaje insoslayable.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Rashkind WJ, Miller WW. Creation of an atrial septal defect without thoracotomy. JAMA 1966;196:991-2.
2. Grüntzig A. Die perkutane Rekanalisation chronischer arterieller Verschlüsse (Dotter-Prinzip) mit einem doppellumigen Dilatations-Katheter. Forstchr Röntgenstr 1976;124:80-6.
3. Kan JS, White RI Jr, Mitchell SE, Gardner TJ. Percutaneous balloon valvuloplasty: A new method for treating congenital pulmonary valve stenosis. N Engl J Med 1982;307:540-2.
4. Lababidi ZA, Wu J, Walls J. Percutaneous balloon pulmonary valvuloplasty. Am J Cardiol 1983;52:560-2.
5. Pepine CJ, Gessner IH, Feldman RL. Percutaneous balloon valvuloplasty for pulmonic valve stenosis in the adult. Am J Cardiol 1982;50:1442-5.
6. Rocchini AP, Kveselis DA, Crowley D, Dick M, Rosenthal A. Balloon valvuloplasty for the treatment of congenital pulmonary valvular stenosis in children. J Am Coll Cardiol 1984;3:1005-12.
7. Al Kasab S, Ribeiro PA, Al Zaibag M, Halim M, Habbab MA, Shahid M. Percutaneous double balloon pulmonary valvotomy in adults: one to two years follow-up. Am J Cardiol 1988;62:822-4.
8. Radtke W, Keane JF, Fellows KE, Lang P, Lock JE. Percutaneous balloon valvotomy of congenital pulmonary stenosis using oversized balloons. J Am Coll Cardiol 1986;8:909-15.
9. Hayes CJ, Gersony WM, Driscoll DJ, Keane JF, Kidd L, O'Fallon WM, et al. Second natural history study of congenital heart defects: results of treatment of patients with pulmonary valve stenosis. Circulation 1993;87(Suppl I):28-37.
10. Stanger P, Cassidy SC, Girod DA, Kan JS, Lababidi Z, Shapiro SR. Balloon pulmonary valvuloplasty: results of the valvuloplasty and angioplasty of congenital anomalies registry. Am J Cardiol 1990;65:775-83.
11. Faella HJ, Perriello M, Miglietta E, Capelli H, Marantz P, Anania R, et al. Valvuloplastia por balón en estenosis pulmonar valvular. Rev Arg Cardiol 1987;55:90-5.
12. Cazzaniga M, Vagnola O, Alday L, Spillman A, Sciegata A, Faella H, et al. Balloon pulmonary valvuloplasty in infants: a quantitative analysis of pulmonary valve-annulus-trunk structure. J Am Coll Cardiol 1992;20:345-9.
13. Fontes VF, Esteves CA, Sousa JEMR, Silva MVD, Bembom MCB. Regression of infundibular hypertrophy after pulmonary valvuloplasty for pulmonic stenosis. Am J Cardiol 1988;62:977-8.
14. Lababidi Z, Wu JR, Walls JT. Percutaneous balloon aortic valvuloplasty: results in 23 patients. Am J Cardiol 1984;53:194-7.
15. 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;65:784-9.
16. Keane JR, Perry SB, Lock JE. Balloon dilatation of congenital valvular aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol* 1990;16:457-8.
  17. Gerosa G, McKay R, Davies J, Ross ON. Comparison of the aortic homograft and the pulmonary autograft for aortic valve or root replacement in children. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1991;102:51-61.
  18. Gerosa G, McKay R, Ross DN. Replacement of the aortic valve or root with a pulmonary autograft in children. *Ann Thorac Surg* 1991;51:424-9.
  19. Zabal Cerdeira C. El cateterismo terapéutico. En: Fausé Attie, editor. *Cardiopatías congénitas en el adulto*. Madrid: Elsevier Science, 2003; p. 281-3.
  20. Lababidi Z. Percutaneous balloon coarctation angioplasty: long-term results. *J Interven Cardiol* 1992;5:57-62.
  21. Tynan M, Finley JP, Fontes V, Hess J, Kan J. Balloon angioplasty for the treatment of native coarctation: results of valvuloplasty and angioplasty of congenital anomalies registry. *Am J Cardiol* 1990;65:790-2.
  22. Beekman RH, Rocchini AP, Dick M 2nd, Snider AR, Crowley DC, Serwer GA, et al. Percutaneous balloon angioplasty for native coarctation of the aorta. *J Am Coll Cardiol* 1987;10:1078-84.
  23. Morrow WR, Vick GW 3rd, Nihill MR, Rokey R, Johnston DL, Hedrick TD, et al. Balloon dilatation of unoperated coarctation of the aorta: short and intermediate term results. *J Am Coll Cardiol* 1988;11:133-8.
  24. Tyagui S, Arora R, Kane UA, Sethi KK, Gambhir DS, Khalilullah M. Balloon angioplasty of native coarctation of the aorta in adolescents and young adults. *Am Heart J* 1992;123:674-80.
  25. Bulbul ZR, Bruckheimer E, Love JC, Fahey JT, Hellenbrand WE. Implantation of balloon-expandable stents for coarctation of the aorta: implantation data and short term results. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1996;39:36-42.
  26. Rosenthal E, Qureshi SA, Tynan M. Stent implantation for aortic recoarctation. *Am Heart J* 1995;129:1220-1.
  27. Harrison DA, McLaughlin PR, Lazzam C, Connelly M, Benson LN. Endovascular stents in the management of coarctation of the aorta in the adolescent and adult: one year follow-up. *Heart* 2001;85:561-6.
  28. Orell SR, Kaineil J, Wahlgren F. Malformation and multiple stenosis of the pulmonary arteries with pulmonary hypertension. *Acta Radiol* 1960;54:449-520.
  29. Blackstone EH, Kirklin JW, Bertranou EG, Labrosse CJ, Soto B, Bargeron LM. Preoperative prediction from cineangiograms of post repair right ventricular pressure in tetralogy of Fallot. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1979;73:542-53.
  30. Hastreiter AR, Joorabchi B, Pujatti G, Van der Horst RL, Patersil G, Sever JL. Cardiovascular lesions associated with congenital rubella. *J Pediatr* 1967;71:59-60.
  31. Beuren AJ, Schulze C, Eberle P, Harmjanz D, Apitz J. The syndrome of supra-aortic stenosis, peripheral pulmonary stenosis, mental retardation and similar facial appearance. *Am J Cardiol* 1964;13:471-3.
  32. Haworth SG, Rees PG, Taylor JRN, MacCartney FJ, DeLeval M, Stark J. Pulmonary atresia with ventricular septal defect and major aortopulmonary collateral arteries: Effect of systemic pulmonary anastomosis. *Br Heart J* 1981;45:133-42.
  33. Edwards BS, Lucas RV Jr, Lock JE, Edwards JE. Morphologic changes in the pulmonary arteries following percutaneous balloon angioplasty for pulmonary arterial stenosis. *Circulation* 1986;74:135-43.
  34. Lock JE, Castaneda-Zuniga WR, Fuhrman BP, Bass JL. Balloon dilatation angioplasty of hypoplastic and stenotic pulmonary arteries. *Circulation* 1983;67:962-7.
  35. Rocchini AP, Kveselis D, Dick M, Crowley D, Snider AR, Rosenthal A. Use of balloon angioplasty to treat peripheral pulmonary stenosis. *Am J Cardiol* 1984;54:1069-73.
  36. Kan JS, Marvin WJ, Bass JL, Muster AJ, Murphy J. Balloon angioplasty-branch pulmonary artery stenosis: results from the valvuloplasty and angioplasty of congenital anomalies registry. *Am J Cardiol* 1990;65:798-801.
  37. Mullins CE, O'Laughlin MP, Vick GW 3rd, Mayer DC, Myers TJ, Kearney DL, et al. Implantation of balloon expandable intravascular grafts by catheterization in pulmonary arteries and systemic veins. *Circulation* 1988;77:188-91.
  38. Benson LN, Hamilton F, Dasmahapatra HK, Coles JG. Implantable stent dilatation of the pulmonary artery: early experience. *Circulation* 1988;78(Suppl II):100-3.
  39. O'Laughlin MP, Perry SB, Lock JE, Mullins CE. Use of endovascular stents in congenital heart disease. *Circulation* 1991;83:1923-5.
  40. Murphy JG, Gersh BJ, McGoon MD, Mair DD, Porter CJ, Ilstrup DM, et al. Long term outcome after surgical repair of isolated atrial septal defect: follow-up at 27 to 32 years. *N Engl J Med* 1990;323:1645-50.
  41. Attie F, Rosas M, Granados N, Zabal C, Buendia A, Calderon J. Surgical treatment for secundum atrial septal defect in patients > 40 years old. A randomized clinical trial. *J Am Coll Cardiol* 2001;38:2035-42.
  42. Pastorek JS, Allen HD, Davis JT. Current outcomes of surgical closure of secundum atrial septal defect. *Am J Cardiol* 1994;74:75-7.
  43. Rao PS, Sideris EB, Hausdorf G, Rey C, Lloyd TR, Beekman RH, et al. International experience with secundum atrial septal defect occlusion by the buttoned device. *Am Heart J* 1994;128:1022-35.
  44. Hausdorf G, Schneider M, Franzbach B, Kampmann C, Kargus K, Goeldner B. Transcatheter closure of secundum atrial septal defects with the atrial septal defect occlusion system (ASDOS): initial experience in children. *Heart* 1996;75:83-8.
  45. Kaulitz R, Paul T, Hausdorf G. Extending the limits of transcatheter closure of atrial septal defects with the double umbrella device (CardioSEAL). *Heart* 1998;80:54-9.
  46. Justo RN, Nykanen DG, McCrindle BW, Boutin C, Benson LN. The clinical impact of catheter closure of secundum atrial septal defects with the double umbrella device: up to 56 months follow-up. *Circulation* 1995;92(Suppl):308.
  47. Zahn EM, Benson LN, Hellenbrand WE, Latson LA, Lock JE, Moore P, et al. Transcatheter closure of secundum ASD's with the CardioSEAL septal occlusion system: early results of the North American trial [abstract]. *Circulation* 1997;96(Suppl):1-568.
  48. Das GS, Shrivastava S, O'Laughlin MP, Salmon AP, Mendelsohn AM, Hijazi ZM, et al. for the investigators. Intermediate term follow-up of patients after percutaneous closure of atrial septal defects with the DAS Angel Wings device [abstract]. *Circulation* 1996;95:1-56.
  49. Latson LA, Benson LN, Hellenbrand WF, Mullins CE, Lock JF. Transcatheter closure of ASD – early results of multicenter trial of the Bard Clamshell septal occluder [abstract]. *Circulation* 1991;84(Suppl 11):544.
  50. Babic UU, Grujicic S, Popovic Z. Double umbrella device for transvenous closure of patient ductus arteriosus and atrial septal defect. First experience. *J Interven Cardiol* 1991;4:283-94.
  51. Rickers C, Hamm C, Stern H, Hofmann T, Franzen O, Schrader R, et al. Percutaneous closure of secundum atrial septal defect with a new self-centering device («angel wings»). *Heart* 1998;80:517-21.
  52. Masura J, Gavora P, Formanek A, Hijazi ZM. Transcatheter closure of secundum atrial septal defects using the new self-centering Amplatzer septal occluder: initial human experience. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1997;42:388-93.
  53. Thanopoulos BD, Laskari CV, Tsaousis GS, Zarayelyan A, Vekiou A, Papadopoulos GS. Closure of atrial septal defects with the Amplatzer occlusion device: preliminary results. *J Am Coll Cardiol* 1998;31:1110-6.
  54. Chan KC, Godman MJ, Walsh K, Wilson N, Redington A, Gibbs JL. Transcatheter closure of atrial septal defect and interatrial

- communications with a new self-expanding nitinol double disc device (Amplatzer septal occluder): multicenter UK experience. *Heart* 1999;82:300-6.
55. Fischer G, Kramer H, Stieh J, Harding P, Jung O. Transcatheter closure of secundum atrial septal defects with the new self-centering Amplatzer septal occluder. *Eur Heart J* 1999;20:541-9.
  56. Du ZD, Hijazi ZM, Kleinman CS, Silverman NH, Larntz K. Comparison between transcatheter and surgical closure of secundum atrial septal defect in children and adults. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:1836-44.
  57. 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;51:50-4.
  58. Chessa M, Mohamed B, Giusti S, Butera G, Bini RM, Carano M, et al. Transcatheter treatment of patent ductus arteriosus. *Ital Heart J* 2002;3(II Suppl):1092-7.
  59. Hong TE, Hellenbrand WE, Hijazi ZM, Amplatzer investigators. Transcatheter closure of patent ductus arteriosus in adults using the Amplatzer duct occluder: initial results and follow-up. *Indian Heart J* 2002;54:384-9.
  60. Thanopoulos BD, Hakim FA, Hiari A, Tsaouris GS, Paphitis C, Hijazi ZM. Patent ductus arteriosus equipment and technique. Amplatzer duct occluder: intermediate-term follow-up and technical considerations. *J Interv Cardiol* 2001;14:247-54.
  61. Wang JK, Lian CS, Huang JJ, Hsu KL, Lo PH, Hung JS, et al. Transcatheter closure of patent ductus arteriosus using Gianturco coils in adolescents and adults. *Catheter Cardiovasc Interv* 2002;55:513-8.
  62. Lee CH, Leung YL, Chow WH. Transcatheter closure of the patent ductus arteriosus using an Amplatzer duct occluder in adults. *Jpn Heart J* 2001;42:533-7.
  63. Bilkis AA, Alwi M, Hasri S, Haifa AL, Geetha K, Rehman MA, et al. The Amplatzer duct occluder experience in 209 patients. *J Am Coll Cardiol* 2001;37:258-61.
  64. Rigby ML, Redington AN. Primary transcatheter umbrella closure of perimembranous ventricular septal defect. *Br Heart J* 1994;72:368-71.
  65. Kalra GS, Verma PK, Dhall A, Singh Arora R. Transcatheter device closure of ventricular septal defects: immediate results and intermediate-term follow-up. *Am Heart J* 1999;138:339-44.
  66. Gu X, Han YM, Titus JL, Amin Z, Berry JM, Kong H, et al. Transcatheter closure of membranous ventricular septal defects with a new nitinol prosthesis in a natural swine model. *Catheter Cardiovasc Interv* 2000;50:502-9.
  67. Thanopoulos BD, Tsaouris GS, Konstadopoulou GN, Zarayelyan AG. Transcatheter closure of muscular septal defects with the Amplatzer ventricular septal occluder: initial clinical applications in children. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:1395-9.
  68. Hijazi ZM, Hakim F, Al-Fadley F, Abdelhamid J, Cao QL. Transcatheter closure of single muscular ventricular septal defects using the Amplatzer muscular VSD occluder: initial results and technical considerations. *Catheter Cardiovasc Interv* 2000;49:167-72.
  69. Hijazi ZM. Device closure of ventricular septal defects. *Catheter Cardiovasc Interv* 2003;60:107-14.
  70. Gianturco C, Anderson JH, Wallace S. Mechanical devices for arterial occlusion. *Am J Cardiol* 1975;124:428-35.
  71. Perry SB, Radtke W, Fellows KE, Keane JF, Lock JE. Coil embolization to occlude aortopulmonary collateral vessels and shunts in patients with congenital heart disease. *J Am Coll Cardiol* 1989;13:100-8.
  72. Kaufman SL, Kan JS, Mitchell SE, Flaherty JT, White RI Jr. Embolization of systemic to pulmonary artery collaterals in the management of hemoptysis in pulmonary atresia. *Am J Cardiol* 1986;58:1130-2.
  73. White RI, Lynch-Nyhan A, Terry P, Buescher PC, Farmlett EJ, Charnas L, et al. Pulmonary arteriovenous malformations: Techniques and long-term outcome of embolotherapy. *Radiology* 1988;169:663-9.
  74. Holzer R, Waller BR 3rd, Kahana M, Hijazi ZM. Percutaneous closure of a giant coronary arteriovenous fistula using multiple devices in a 12-day-old neonate. *Catheter Cardiovasc Interv* 2003;60:291-4.