

*Artículos originales*

## Tratamiento quirúrgico de la raíz de la aorta

La aorta se considera patológicamente dilatada si los diámetros de la raíz de aorta y de la aorta ascendente exceden por encima de un 50% su diámetro normal para una determinada superficie corporal.

La dilatación de la raíz de aorta se asocia frecuentemente a enfermedad de la válvula. La ruptura y la disección son dos graves eventos que pueden ocurrir y conllevan alta mortalidad. Están relacionados estrechamente con el diámetro de la aorta y la enfermedad de la pared, y por ello la indicación de cirugía electiva es fundamental, dependiendo sobre todo de los dos factores señalados.

Existen distintas alternativas técnicas, anatómicas y funcionales de la raíz aórtica. La elección del procedimiento se basa muy especialmente en la edad del paciente, sustrato patológico, riesgo de anticoagulación, presencia de infección, etc.

La elección del procedimiento es una decisión multifactorial y es necesario tratar de ofrecer al paciente, según sus características, la solución más idónea.

Las distintas técnicas quirúrgicas (tubos valvulados, técnicas de remodelamiento, injertos biológicos, etc.) pueden ser realizadas con cifras de baja morbimortalidad y excelentes resultados a largo plazo.

**Palabras clave:** Aneurisma. Raíz aórtica. Cirugía.

**Manuel Concha Ruiz**

*Catedrático de Cirugía. Director del Instituto del Corazón Hospital Internacional Xanit. Benalmádena. Málaga*

### *Surgical treatment of the aortic root*

The aorta is considered pathologically dilated if the diameters of the aortic root and the ascending aorta exceed more than 50% of the normal diameter for a given body surface.

Dilatation of the aortic root is frequently associated with valvular pathology. Rupture and dissection are two serious events that can occur and they imply high mortality. They are closely related with the diameter of the aorta and wall pathology, and thus the indication for elective surgery is critical, depending above all on the two mentioned factors.

There are different anatomical and functional techniques to treat the aortic root. The choice of the procedure is specially based on the age of the patient, the pathological substrate, risk of anticoagulation, presence of infection, etc.

The choice of the procedure is a multifactorial decision and it is necessary to try to offer the patient the best solution according to its characteristics.

The different surgical techniques (valved conduits, remodelling procedures, biological grafts, etc.) can be performed with low figures of morbidity and mortality and excellent long term outcomes.

**Key words:** Aneurysm. Aortic root. Surgery.

Correspondencia:  
Manuel Concha Ruiz  
Catedrático de Cirugía  
Director del Instituto del Corazón  
Cirugía Cardiovascular  
Hospital Internacional Xanit  
P.º Gilabert, s/n  
29630 Benalmádena (Málaga)  
E-mail: mconcha@xanit.net

## INTRODUCCIÓN

La sustitución de la raíz de la aorta es el procedimiento más frecuente de la enfermedad de la aorta torácica. Antes de 1970, los procedimientos quirúrgicos para sustituirla conllevaban una alta mortalidad. Posteriormente, con el empleo de la técnica de Bentall-De Bono<sup>1</sup>, esos resultados mejoraron espectacularmente, en gran parte debido a la mayor experiencia quirúrgica, refinamiento de las técnicas, avances en las técnicas de anestesia, protección miocárdica y circulación extracorpórea<sup>2</sup>.

Dentro de las indicaciones quirúrgicas de la aorta ascendente debemos distinguir dos amplias categorías: indicaciones urgentes e indicaciones electivas. La disección aguda de la aorta ascendente y sus complicaciones, insuficiencia aórtica aguda y ruptura, así como el hematoma intramural o la endocarditis aguda, como indicaciones de urgencia están bien acordadas y definidas (*clase I, nivel de evidencia B*)<sup>11</sup>.

Por otra parte, las indicaciones electivas, en el caso de la dilatación degenerativa, anuloectasia en el síndrome de Marfan, disección crónica, valvulopatía aórtica y afectación de raíz, etc., pueden estar sometidas a controversia en algunos aspectos y ser modificadas en función de la introducción de nuevas técnicas, nuevos conceptos, etc<sup>3</sup>.

Por ello, consideramos que es importante revisar las indicaciones electivas actuales: momento de la operación, elección de la técnica adecuada y resultados.

## BASES ANATÓMICAS Y PATOLÓGICAS

Puesto que las consecuencias fisiológicas y patológicas de la dilatación de la raíz de aorta pueden ser variadas, es necesario establecer claramente las bases anatómicas de la aorta ascendente y tracto de salida de ventrículo izquierdo. En este sentido, hay que definir los diámetros del anillo aórtico ( $13 \pm 1 \text{ mm/m}^2$ ), diámetro intersinusal ( $19 \pm 1 \text{ mm/m}^2$ ), unión sinotubular ( $15 \pm 1 \text{ mm/m}^2$ ) y de aorta ascendente ( $15 \pm 2 \text{ mm/m}^2$ ). Los dos últimos están más relacionados con la edad, y los primeros con la superficie corporal; existen fórmulas y normogramas para establecer los límites de la normalidad<sup>4,5</sup>.

Se define un aneurisma cuando el diámetro de un vaso sufre un aumento del 50% sobre su valor normal, lo cual es aplicable a la aorta ascendente, que para un adulto con una superficie corporal de  $2 \text{ m}^2$  aproximadamente puede suponer un diámetro de 5 cm. Asimismo, el diámetro máximo intersinusal se establece en  $2,1 \text{ cm/m}^2$ .

La dilatación de la aorta ascendente con frecuencia se acompaña de insuficiencia aórtica. La dilatación de la raíz puede deberse más específicamente al aumento del diámetro sinotubular, intersinusal o del propio anillo aórtico.

Existe una clara relación entre la dilatación de la raíz y la existencia de una válvula aórtica bicúspide, y se han sugerido posibles factores genéticos relacionados con anomalías estructurales de la pared aórtica y válvula bicúspide<sup>6</sup>.

Por otra parte, el síndrome de Marfan, factor patogénico bien demostrado, condiciona la dilatación de la raíz aórtica y su historia natural es bien conocida<sup>7</sup>.

El tamaño de la aorta ascendente permanece como el componente más importante de decisión de sustitución electiva, dada su relación con la posible ruptura y disección (un diámetro de 6 cm condiciona un 30% de ruptura/año).

Otros determinantes en la indicación o decisión quirúrgica son la enfermedad de la pared (síndrome de Marfan, válvula bicúspide, etc.), enfermedad valvular, así como edad del paciente, entre otros.

## INDICACIONES Y ELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

La indicación para una sustitución electiva de la raíz de la aorta se fundamenta en las bases anatómicas y patológicas anteriormente expuestas. Existe indicación de cirugía cuando el diámetro de la aorta entra dentro de la definición de aneurisma antes comentada. Esta relación de 1,5 se aplica en etiología degenerativa, siendo más exigentes cuando el sustrato patológico es un síndrome de Marfan, en el que la indicación quirúrgica vendría dada cuando esa razón es 1,3 ( $SC \sim 2 \text{ m}^2$  - diámetro  $> 4,2 \text{ cm}$ ) (*clase I, nivel C*). Para los aneurismas por disección crónica, aplicando una razón de 1,4, la normalidad en el caso de válvula aórtica bicúspide se establece en  $SC \sim 2 \text{ m}^2$  - diámetro  $> 4,6 \text{ cm}$  (*clase IIa, nivel C*).

## DILATACIÓN DE AORTA ASCENDENTE Y VÁLVULA AÓRTICA BICÚSPIDE

Existe evidencia acumulada de que una proporción elevada de pacientes con válvula aórtica bicúspide tienen alteraciones vasculares del tejido conectivo, de las cuales pueden resultar dilatación de la raíz de aorta y aorta ascendente, incluso en ausencia de estenosis aórtica y/o insuficiencia<sup>8,9</sup>. Está demostrado que dicha dila-

TABLA I. ELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

VÁLVULA	ANILLO	UST	PROCEDIMIENTO
Patológica (edad ↑)	Normal	Normal	Tubo supraaórtico (+prótesis) Homoinjerto
Patológica (edad ↓)	Normal	Patológica	Bentall-De Bono Ross
Normal	Normal	Patológica	Remodelamiento (Yacoub/David)
Normal	Patológico	Patológica	Bentall-De Bono Remodelamiento + plastia anillo
Endocarditis	Normal	Normal o patológica	Injerto biológico Bentall-De Bono

Edad ↑: edad avanzada; Edad ↓: edad joven < 50 años; UST: diámetro unión sinotubular.

tación puede progresar, y esos pacientes tienen riesgo elevado de disección en relación con el grado de dilatación<sup>10</sup>.

El estudio ecocardiográfico transtorácico y/o transesofágico suministra información suficiente para realizar una toma de decisiones. Evidentemente, el estudio con TC o RM nos va a dar toda la información necesaria para la indicación a seguir.

En este apartado podríamos establecer ciertos acuerdos ampliamente consensuados<sup>11</sup>:

- Los pacientes con una aorta bicúspide deberían ser estudiados con ecocardiografía para valorar los diámetros de la aorta ascendente (*clase I, evidencia B*). En aquellos en que con la ecocardiografía no puede establecerse fielmente la morfología de la raíz de aorta estaría indicada una RM (*clase I, evidencia C*).
- Aquellos pacientes con dilatación de la raíz o aorta ascendente superior a 4 cm deberían seguir una evaluación seriada al menos anualmente.
- La sustitución quirúrgica de la raíz de aorta o aorta ascendente en pacientes con válvula bicúspide está indicada cuando el diámetro es mayor de 5 cm o si su incremento de diámetro ha sido 0,5 cm/año o más. Otros han recomendado cirugía cuando el diámetro es de 2,5 cm/m<sup>2</sup> o más (*clase I, evidencia C*).
- En aquellos pacientes portadores de una estenosis o insuficiencia aórtica avanzadas en presencia de válvula bicúspide en los que está indicado sustitución valvular aórtica, se aconseja la sustitución de la raíz o aorta ascendente si el diámetro de esas estructuras es superior a 4,5 cm (*clase I, nivel C*).

## ELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

La elección de la técnica quirúrgica o procedimiento estará en parte condicionado por: edad del paciente, enfermedad de la pared, condiciones anatómicas (válvu-

las, senos, etc.), riesgo de anticoagulación o presencia de infección activa, entre otras.

Entre los procedimientos quirúrgicos principales podemos establecer los siguientes: injerto supracoronario, injerto valvulado con prótesis metálica o biológica (técnica de Bentall-De Bono), técnica de remodelamiento o reimplantación de la raíz de aorta conservando la estructura valvular (operaciones de Yacoub o David en todas sus variantes) o procedimientos mediante la implantación de injertos biológicos valvulados (autoinjertos, homoinjertos o xenoinjertos).

En la elección del procedimiento y teniendo en consideración los factores arriba señalados, podríamos resumir cuáles son las técnicas que consideramos adecuadas (Tabla I).

Aquellos casos con dilatación de raíz de aorta, pero que mantienen una unión sinotubular y anillo normales, en los que existe además una válvula patológica que hay que sustituir, el procedimiento aconsejable viene muy condicionado por la edad del paciente. En pacientes de edad avanzada, se puede optar por la sustitución de la aorta mediante prótesis vascular de dacrón y sustitución valvular aislada (*clase IIa, nivel C*), aunque en estos casos nos inclinamos por la implantación de un homoinjerto criopreservado, que aunque requiere reimplantación de coronarias, al ser un tejido biológico, es más hemostático y fisiológico (*clase IIa, nivel B*).

Si el paciente no es de edad avanzada, nos inclinamos por la intervención de Bentall-De Bono (*clase I, nivel B*) o por la técnica de Ross si se trata de un paciente menor de 20-25 años, para evitar anticoagulación. En estos casos el autoinjerto pulmonar se asocia a sustitución de aorta ascendente por prótesis vascular de dacrón, o en casos moderados por una aortoplastia (*clase IIa, nivel B*).

Las técnicas de remodelamiento o reimplantación (Yacoub y David) han recibido en los últimos años un gran impulso, debido a los buenos resultados obtenidos, a la baja morbimortalidad y a la ventaja de preservar la propia válvula (*clase IIa, nivel C*). Incluso en pacientes con

síndrome de Marfan, en los que para algunos autores su empleo puede ser controvertido, se han aportado muy buenos resultados en algunas series (*clase IIa, nivel C*).

Aunque los resultados a largo plazo son mejores cuando el diámetro del anillo aórtico no es patológico, también pueden estar indicadas dichas técnicas preservando la válvula aórtica y asociando una plastia del anillo (*clase IIa, evidencia C*).

Dentro de estas técnicas hay dos variantes principales, la técnica de Yacoub o remodelamiento y la técnica de David o reimplantación. Tienen sus ventajas e inconvenientes, y depende mucho su empleo de la experiencia del cirujano. Asimismo, dentro de la reimplantación se han realizado modificaciones a la misma (David II, David III, etc.).

De entre los injertos biológicos, habría que considerar también la cirugía de la raíz de aorta con xenoinjertos (*clase IIb, nivel C*).

## COMENTARIOS

Existen pocas dudas de que la ruptura o disección en la historia natural de una raíz aórtica dilatada son eventos frecuente y clínicamente catastróficos, exigiendo en los casos en que es posible una intervención muy urgente y que conlleva una morbimortalidad mucho más alta que en la cirugía electiva (*clase I, nivel B*).

Inicialmente, se recomendaba intervención electiva con diámetros próximos a 6 cm, pero hay que pensar que un tanto por ciento elevado de esos pacientes habrán sufrido disección o ruptura antes de alcanzar ese diámetro. Los resultados actuales con intervención electiva aconsejan la indicación de intervención antes de alcanzar esos diámetros y, como hemos señalado, atendiendo a la base patológica de la pared de la aorta.

Por otra parte, la afectación de la válvula aórtica, secundaria a la dilatación, emerge como otro criterio de favorecer una indicación más temprana. Muchos pacientes pueden beneficiarse de los procedimientos de remodelación aórtica con mantenimiento de su propia válvula. La probabilidad de una reparación satisfactoria de la válvula decrece progresivamente con el aumento de la raíz de aorta<sup>12</sup>.

En el caso particular de los pacientes con síndrome de Marfan, parece mucho más lógico regirse por criterios de tamaños relativos de la aorta que por los absolutos, dado que en estos pacientes el riesgo de ruptura y disección es más elevado.

Por ello, podríamos considerar un espectro de condiciones para sentar la indicación quirúrgica basado en diámetros relativos a la raíz de aorta; en un extremo estaría el síndrome de Marfan, con historia familiar

de ruptura y disección (razón 1,3 o un diámetro de 4,3- 4,5 para un adulto de 2 m<sup>2</sup> de SC), y en el otro extremo la dilatación degenerativa crónica como hallazgo casual antes o durante la cirugía valvular aórtica (razón 1,5 o un diámetro estimado de 4,8-5 cm). Entre ambos estarían los casos con válvula aórtica bicúspide o disección crónica, donde ese tamaño relativo para indicar cirugía habría que disminuirlo.

Como hemos comentado, disponemos de diversos procedimientos y técnicas quirúrgicas para la corrección de la raíz de la aorta, que van desde la simple sustitución de la misma sin afectar a la válvula (tubo supra-coronario), el tubo valvulado descrito originalmente por Bentall y De Bono, las técnicas de remodelamiento, autotrasplante de válvula pulmonar (operación de Ross), al empleo de injertos biológicos, fundamentalmente, homoinjertos criopreservados.

En un análisis retrospectivo de 348 pacientes operados por Svensson, et al., entre 1979-1991<sup>13</sup>, con reconstrucción de la aorta con tubo valvulado, la mortalidad hospitalaria fue del 9%. Cuando se comparaban las variantes técnicas de reimplantación de coronaria (técnica de Bentall-De Bono, Cabrol o botones aórticos), no hubo diferencias en la mortalidad, las curvas libres de reoperación a los 3 años fueron similares (91, 97, 100%, respectivamente). También concluyeron que en caso de reoperación o reparación complicadas se prefiere la técnica de Cabrol para evitar tensión en las anastomosis. Los resultados de esta serie son excelentes, ya que en ella se contempla a pacientes con reparación del arco aórtico, de la aorta ascendente y de la raíz, en un solo tiempo, y muchos de ellos en la fase aguda de la disección.

Asimismo, en otro estudio<sup>14</sup>, comparando la operación tipo Bentall-De Bono con sustitución de raíz separada de prótesis aórtica y prótesis de aorta ascendente, aunque no hubo diferencias en términos de mortalidad, los pacientes con operación de Bentall-De Bono estuvieron libres de complicaciones tardías de la aorta el 97,3 frente al 68% con las otras técnicas a los 10 años.

En un estudio de 158 intervenciones de remodelamiento aórtico, con preservación de la válvula, Yacoub, et al.<sup>12</sup> encontraron que la probabilidad de necesitar una reoperación fue de 3, 11 y 11% al año, 5 años y 10 años; no hubo eventos tromboembólicos o hemorrágicos ni endocarditis, y con un 3% de insuficiencia aórtica grave a los 10 años.

Por otra parte, David, et al., con una experiencia de 230 pacientes intervenidos entre 1988-2001, encontraron mejores resultados en cuanto al grado de insuficiencia tardía con la reimplantación que con las técnicas de remodelamiento<sup>15</sup>.

En un estudio reciente, Zehr, et al.<sup>16</sup>, con evaluación a largo plazo (30 años, 1971-2000), confirmaron que la

cirugía de la raíz de la aorta puede ser realizada con baja morbimortalidad (<4%), tanto en intervención con tubo valvulado como intervención reestructuradora, aunque la tasa de reoperación fue mayor en esta última. Consideran que el tamaño del anillo es muy importante, y que cuando este diámetro es superior a 25 mm antes de la reconstrucción, es un factor predictor de la necesidad de reoperación.

En un estudio de O'Brien<sup>17</sup> sobre 418 homoinjertos como sustituto de la raíz de aorta, seguido durante 15 años (1985-2000), se demostró una mortalidad muy baja (4%), pero también una tasa alta de reoperación en pacientes jóvenes, con una tasa baja en pacientes por encima de 61 años (7,2%). Sin duda, la indicación más claramente establecida es la endocarditis, en que los resultados son muy buenos y la incidencia de endocarditis postoperatoria muy baja (< 2,4%) en esta serie.

El empleo de xenoinjertos para la sustitución de la raíz de aorta es una opción válida para pacientes de edad avanzada o cuando existe contraindicación de terapéutica anticoagulante. Recientes publicaciones avalan estos resultados<sup>18,19</sup>.

El autoinjerto pulmonar (operación de Ross) en caso de pacientes jóvenes con dilatación de la raíz de aorta es otra alternativa con muy buenos resultados, asociando la sustitución de la aorta ascendente por un injerto de dacrón junto al autoinjerto pulmonar<sup>20,21</sup>.

La elección del procedimiento adecuado requiere consideración de varios factores, incluyendo, por supuesto, la experiencia del cirujano con ese procedimiento particular. Entre esos factores cabe destacar:

- La edad o esperanza de vida. En pacientes jóvenes (edad < 50 años) se indicaría tubo valvulado o autotrasplante de válvula pulmonar, así como técnicas de remodelamiento, cuando ello fuera posible, en ausencia de enfermedad valvular. Por el contrario, en pacientes de edad avanzada a considerar la indicación de injertos biológicos (homoinjertos o xenoinjertos).
- La enfermedad de la pared, en el síndrome de Marfan, requiere la escisión completa de la raíz, y por ello la mayoría de los cirujanos prefieren la utilización de tubo valvulado (*clase I, nivel B*). Aunque las técnicas de remodelamiento pueden ser controvertidas, son utilizadas por algunos autores (*clase IIa, nivel C*).
- El riesgo de anticoagulación favorecería el empleo de técnica de remodelamiento, autoinjerto pulmonar o injertos valvulados biológicos.
- En presencia de infección activa, aunque ello puede ser controvertido, muchos cirujanos prefieren el empleo de injertos biológicos cuando es obligada la sustitución valvular (*clase IIa, nivel C*).

## CONSIDERACIONES GENERALES

A modo de resumen, podríamos realizar algunas consideraciones en el tratamiento quirúrgico de la raíz aórtica.

El tratamiento quirúrgico de la dilatación de aorta ascendente asociado a enfermedad valvular aórtica ha experimentado un gran avance en los últimos años, pero persisten diversos aspectos sometidos a controversia. Las indicaciones para el tratamiento quirúrgico, tanto con carácter urgente como en casos electivos, parecen estar claramente establecidas.

Se recomienda cirugía urgente en el aneurisma de raíz aórtica en:

- Pacientes con síndrome aórtico agudo originado por cualquier enfermedad de la aorta ascendente (*clase I, nivel B*).
- En la raíz aórtica si existe endocarditis aguda, valvular o protésica (*clase I, nivel B*).
- En lesiones traumáticas de la raíz, con complicaciones graves como hemopericardias (*clase I, nivel B*).

Se recomienda cirugía electiva en el aneurisma de raíz aórtica:

- Insuficiencia aórtica grave sintomática, independientemente del tamaño del aneurisma (*clase I, nivel B*).
- Insuficiencia aórtica grave asintomática con fracción de eyección inferior al 50% e importante dilatación del VI (tamaño telediastólico > 75 mm o telesistólico > 55 mm) (*clase I, nivel B*).
- Diámetro de aorta superior a 55 mm o a 50 mm en el síndrome de Marfan (*clase I, nivel C*).
- Diámetro de aorta superior a 45 mm si crece más de 5 mm/año (*clase I, nivel C*).
- Diámetro superior a 40 mm si hay válvula bicúspide y/o coartación de aorta (*clase I, nivel C*).
- Insuficiencia aórtica crónica grave, asociada a otra cardiopatía que tenga criterio de intervención (*clase I, nivel C*).
- Si existe úlcera penetrante sintomática sin importar el diámetro (*clase I, nivel C*).
- Aneurisma aislado de los senos de Valsalva, de gran tamaño o perforados (*clase I, nivel C*).

La elección del procedimiento es una decisión multifactorial que viene, en gran parte, establecida por las condiciones anatómicas, enfermedad, riesgo de anticoagulación, edad, presencia de infección activa, etc. De momento, se recomiendan las siguientes técnicas:

- En insuficiencia valvular aórtica con sigmoideas lesionadas no reparables y anuloectasia superior a 32 mm, se recomienda sustitución valvular y de la aorta ascendente con tubo valvulado (Bentall-De Bono o variantes) (*clase I, nivel B*).

- En pacientes jóvenes o con infección de la prótesis aórtica o injerto previo, se recomienda homoinjerto criopreservado (*clase IIa, nivel C*), autoinjerto pulmonar (Ross) (*clase IIa, nivel C*), o incluso xenoinjerto (*clase IIa, nivel C*).
- En insuficiencia valvular aórtica con sigmoideas conservadas o con lesiones fácilmente reparables y anuloectasia inferior de 32 mm, se recomienda la sustitución de la aorta ascendente y preservación valvular mediante reimplantación (David I, IV, V) o remodelación (Yacoub, David II, III) (*clase IIa, nivel C*).

A medida que se adquiera experiencia con las técnicas conservadoras y el seguimiento demuestre buenos resultados a largo plazo, las indicaciones se ampliarán, sobre todo por lo que respecta a los diámetros del anillo valvular y a la corrección urgente como complicación del síndrome aórtico agudo<sup>22</sup>.

Los distintos procedimientos quirúrgicos de que disponemos (tubos valvulados, homoinjertos, autoinjertos, remodelamiento de la raíz, etc.) ofrecen a estos pacientes, según su indicación, una solución y unos resultados óptimos. Por ello, consideramos fundamental que el conocimiento y manejo de las distintas técnicas o procedimientos es necesario para ofrecer a cada paciente, según sus características, la solución individualizada más idónea<sup>23</sup>.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bentall H, De Bono A. A technique for complete replacement of the ascending aorta. *Thorax*. 1965;23:338-9.
2. Ergin MA, Spielvogel D, Apaydin A, et al. Surgical treatment of the dilated aorta: when and how. *Ann Thorac Surg*. 1997;67:1834-9.
3. Kouchoukos NT, Wareing TH, Murphy SF, Perillo JB. Sixteen-year experience with aortic root replacement. *Ann Surg*. 1991;214:308-20.
4. Roman MJ, Devereux RB, Kramer-Fox R, O'Loughlin J. Two-dimensional echocardiographic aortic root dimensions in normal children and adults. *Am J Cardiol*. 1989;64:507-12.
5. Pearce WH, Slaughter MS, Le Maire S, et al. Aortic diameter as a function of age, gender. And nobody surface area. *Surgery*. 1993;114:691-7.
6. Huntington K, Hunter AG, Chan KL. A prospective study to assess the frequency of familial clustering of congenital bicuspid aortic valve. *J Am Coll Cardiol*. 1997;30:1809-12.
7. Juvonen T, Erguin MA, Galla JD, et al. Prospective study of the natural history of thoracic aortic aneurysms. *Ann Thorac Surg*. 1997;63:1533-45.
8. Keane MG, Wieggers SE, Plappert T, Pochettino A, Bavaria JE, Sutton MG. Bicuspid aortic valves are associated with aortic dilatation out of proportion to coexistent valvular lesions. *Circulation*. 2000;102:III35-9.
9. Fedak PW, Verma S, David TE, Leask RL, Weisel RD, Butany J. Clinical and pathophysiological implications of a bicuspid aortic valve. *Circulation*. 2002;106:900-4.
10. Svensson LG, Kim KH, Lytle BW, Cosgrove DM. Relationship of aortic cross-sectional area to height ratio and the risk of aortic dissection in patients with bicuspid aortic valves. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2003;126:892-3.
11. Bonow RO, et al. ACC/AHA 2006 Guidelines for the management of patients with valvular heart disease. *JACC*. 2006;48:1-148.
12. Yacoub MH, Gehle P, Chandrasekaran V, et al. Late results of a valve-preserving operation in patients with aneurysms of the ascending aorta and root. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1998;115:1080-8.
13. Gott VT, Greene PS, Alejo DE, et al. Replacement of the aortic root in patients with Marfan syndrome. *N Engl J Med*. 1999;340:1307-13.
14. Svensson LG, Crawford ES, Hess KR, et al. Composite valve graft replacement of the proximal aorta: comparison of techniques in 348 patients. *Ann Thorac Surg*. 1992;54:427-39.
15. David TE, Ivanov J, Armstrong S, et al. Aortic valve-sparing operations in patients with aneurysms of the aortic root or ascending aorta. *Ann Thorac Surg*. 2002;74:1758-61.
16. Zehr KJ, Orszulak TA, Mullany CHJ, et al. Surgery for aneurysms of the aortic root: a 30-year experience. *Circulation*. 2004;110:1364-71.
17. O'Brien MF, Harrocks S, Stafford G, et al. *Sem Thorac Cardiovasc Surg*. 2001;13 Suppl 1:180-5.
18. Kon ND, Riley RD, Adair SM, et al. Eight-year results of aortic root replacement with the freestyle stentless porcine aortic root bioprosthesis. *Ann Thorac Surg*. 2002;73:1817-21.
19. Westaby S, Horton M, Jin XY, et al. Survival advantage of stentless aortic bioprosthesis. *Ann Thorac Surg*. 2000;70:785-91.
20. Concha M, Aranda P, Casares J, et al. The Ross procedure. *J Cardiac Surg*. 2004;19:401-9.
21. Elkins RC. The Ross operation: a 12 years experience. *Ann Thorac Surg*. 1999;68:14-8.
22. Miller DC. Valve-sparing aortic root replacement: current state of the art and where are we headed? *Ann Thorac Surg*. 2007;83:736-9.
23. Westaby S, Bertoni GB. Fifty years of thoracic aortic surgery: lessons learned and future directions. *Ann Thorac Surg*. 2007;83:832-4.