

Cirugía híbrida de la enfermedad del cayado aórtico: un abordaje sistemático

Pedro J. Aranda¹, José Joaquín Muñoz², Ricardo Vivancos³, Mayte González¹, Julio Gutiérrez de Loma¹

Servicio de Cirugía Cardiovascular¹, Servicio de Radiología Vascul ar e Intervencionista², Servicio de Cardiología³, Hospital Regional Universitario Carlos Haya. Málaga

La cirugía endovascular se impone en el tratamiento de un número sustancial de casos de enfermedad de aorta descendente. No obstante, la afectación del arco aórtico ha supuesto una frontera natural de este tratamiento hasta el reciente desarrollo de la llamada «cirugía híbrida», en la que, además de tratar el cayado con endoprótesis, se asocian derivaciones quirúrgicas de troncos supraaórticos. Potencialmente, este tipo de abordajes evitaría intervenciones más agresivas en una población cada vez más añosa, ofreciendo una alternativa a la circulación extracorpórea y la parada circulatoria.

La presente revisión propone un abordaje sistemático de la enfermedad del cayado aórtico, dividiendo éste en «zonas de anclaje proximal». Se describen las distintas estrategias y los resultados iniciales de esta aún joven modalidad terapéutica.

Palabras clave: Endoprótesis. Procedimiento híbrido. Arco aórtico. TEVAR. Aneurisma.

INTRODUCCIÓN

Entendemos por enfermedad del cayado aórtico las alteraciones de la aorta que afectan de forma total o parcial a la salida de los troncos supraaórticos. Dentro de las posibles etiologías, discutiremos las referentes a la tabla I. El tratamiento quirúrgico de estas enfermedades ha supuesto históricamente un verdadero reto, siendo las primeras intervenciones, descritas hacia 1955 por DeBakey, de connotaciones ciertamente épicas¹.

Hybrid surgery of the aortic arch: a systematic approach

Thoracic endovascular aneurysm repair (TEVAR) has evolved in the past years to be considered the first line treatment for most diseases of the descending thoracic aorta. When the aortic arch is involved, open surgery with circulatory arrest and antegrade cerebral perfusion is still considered the “gold standard”. However alternative approaches to the treatment of the aortic arch have been developed in recent years, aiming at offering a relatively less aggressive option to an ever ageing patient population.

In this review, a systematic approach to the so-called “hybrid” treatment of the aortic arch, dividing it according to “proximal landing zones” is presented. The different strategies and initial results are described for this still young treatment option.

Key words: Stent-graft. Hybrid procedure. Aortic arch. TEVAR. Aneurysm.

El desarrollo de la circulación extracorpórea (CEC), la hipotermia profunda y la parada circulatoria (HPPC) hizo posible el abordaje de dichas enfermedades, alcanzándose niveles de mortalidad aceptables en grupos mundiales más modestos². Sin embargo, las secuelas neurológicas en forma de disfunción transitoria o accidente cerebrovascular siguen siendo relativamente frecuentes, con incidencias que rondan hasta el 30%, incluso en centros de alto volumen. Las alteraciones neurológicas se correlacionan de forma directa con la duración de la parada y la edad de los pacientes³.

Correspondencia:
Pedro J. Arandas
Cirugía Cardiovascular
Hospital Regional Universitario Carlos Haya
29010 Málaga
E-mail: drpedroaranda@gmail.com

Recibido: 30 de septiembre de 2009
Aceptado: 6 de noviembre de 2009

TABLA I. SITUACIONES FRECUENTES CON AFECTACIÓN DEL ARCO AÓRTICO

- Disección tipo B
- Disección tipo A con B residual
- Transección traumática del istmo aórtico (aguda o crónica)
- Seudoaneurismas tras reparación de aorta ascendente o descendente
- Aneurismas arterioscleróticos
- Úlcera penetrante del cayado aórtico
- Hematoma intramural con afectación del cayado
- Seudoaneurismas tras correcciones previas de coartación de aorta

De esta forma, se han desarrollado métodos de protección cerebral, imponiéndose últimamente la perfusión cerebral anterógrada durante el tiempo de parada como método más seguro para llevar a cabo estas intervenciones⁴. Pese a que estas y otras medidas han reducido significativamente la morbimortalidad, existen todavía tasas de accidente cerebrovascular, insuficiencia renal, paraplejía y muerte prohibitivas en centros de bajo volumen, especialmente en pacientes ancianos.

En 1994, Dake, et al. publicaron la primera serie de tratamiento endovascular de disecciones tipo B⁵. Los resultados iniciales fueron el detonante de un extraordinario interés por el desarrollo de la cirugía endovascular de la enfermedad de la aorta torácica. La afectación del cayado aórtico supuso la frontera anatómica para la incursión de las endoprótesis en aorta ascendente y transversa. La progresiva utilización de estos dispositivos en enfermedades cada vez más complejas ha llevado en los últimos años al empleo de endoprótesis fuera de límites.

Entendemos por cirugía híbrida cualquier tipo de intervención que requiera una cirugía abierta con la realización de derivaciones de troncos supraaórticos o bien intervenciones «clásicas» de cayado aórtico que asocian además la utilización de endoprótesis montadas en nitinol o acero inoxidable. Existen procedimientos híbridos «menores» (v. g. derivación carotidosubclavia) y otros «mayores» (transposición completa de troncos supraaórticos)⁶, así como otros que podrían llamarse intermedios. No discutiremos en esta revisión la llamada *frozen elephant trunk*⁷, ni los procedimientos híbridos a nivel toracoabdominal⁸.

Para desarrollar los distintos escenarios ante los cuales podemos encontrarnos seguiremos una clasificación anatómica introducida por Zipfel, donde se identifican las zonas de anclaje proximal de la endoprótesis⁹ (Fig. 1).

Zona 4

Los procesos que afectan a la aorta descendente de forma aislada y a distancia del origen de la arteria subclavia izquierda (ASI) rara vez requieren la oclusión de ésta a la hora de su reparación endovascular. Sin embargo, sí es posible que la tortuosidad de la lesión aconseje

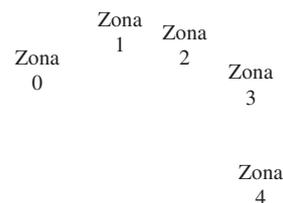


Figura 1. Zonas de anclaje proximal para endoprótesis de aorta torácica.

emplear al menos un *free-flow* que permita una mayor fijación incluso a través del *ostium* de la ASI.

Zona 3

Al igual que en la zona 4, normalmente no se plantea ocluir la ASI. Sin embargo, hoy sabemos que la causa más frecuente de endofuga proximal y de colapso protésico^{10,11} son la mala aposición de la endoprótesis en el cayado aórtico, siendo frecuentes los llamados «picos de flauta» (Fig. 2). Para evitar esta situación recomendamos desplegar al máximo el cayado aórtico, realizando proyecciones en oblicua anteroizquierda de 30-60° (Fig. 3), así como acudir a las reconstrucciones tridimensionales de *volume rendering* de la angiografía - tomografía computarizada (angio-TC) para planificar el caso adecuadamente. En caso de que se sospeche dicha eventualidad, debe considerarse ocluir la ASI con o sin revascularización.

Zona 2

Cuando nuestra zona de anclaje proximal se sitúa entre carótida izquierda y ASI, se plantea la disyuntiva de revascularizar o no. La ASI es el origen de la arteria vertebral izquierda, emergiendo de ésta la rama izquierda de la arteria espinal anterior. Por este motivo, la oclusión de la ASI se ha asociado a accidentes cerebrovasculares en territorio posterior así como a paraplejía.

Endofuga
tipo 1

Angiografía
postarco A 20°

Angiografía
postarco A 45°

Figura 2. Mala aposición en cayado con «pico de flauta».

La experiencia de la mayoría de los implantadores hace pensar que es relativamente seguro ocluir con impunidad este *ostium* en la mayoría de los casos¹². Sin embargo, el análisis de grandes series¹³ refiere una incidencia de isquemia cerebral izquierda del 11 frente al 5% en pacientes previamente revascularizados, y una incidencia de isquemia del brazo (si bien ésta es relativamente benigna) del 25% en los no revascularizados. Aunque la isquemia franca del miembro superior izquierdo es relativamente rara, la claudicación no lo es tanto, siendo frecuente especialmente en personas jóvenes con actividad física más o menos intensa. Esta situación es frecuente en la eventualidad de transección traumática de la aorta, con frecuencia tratada de forma endovascular de urgencia sin revascularizar y en personas jóvenes¹⁴. Dicha claudicación puede mejorar, pero a veces lo hace a costa de convertir en sintomático el robo vertebrobasilar (que, de todas formas, ocurre hemodinámicamente en todos los casos). La tabla II recuerda las indicaciones más frecuentes de revascularización preoperatoria de la ASI.

En situaciones de urgencia como disección tipo B aguda o transección de aorta, consideramos justificado ocluir sin más la ASI si es necesario para un correcto sellado. En estas situaciones podemos permitirnos «esperar y ver», realizando una derivación carotidosubclavia si es necesario en un segundo tiempo (claudicación del miembro, síndrome vertebrobasilar...).

Figura 3. Despliegue completo del arco aórtico al pasar de 20 a 45°.

En los casos electivos creemos necesaria al menos la realización de rutina de un estudio completo (angio-TC o angiorresonancia magnética [angio-RM]) de troncos supraaórticos y polígono de Willis. Con relativa frecuencia podemos encontrar una oclusión de la vertebral derecha o más a menudo un hipodesarrollo con respecto a la izquierda, lo que debe inclinar la balanza hacia la revascularización preendoprótesis (Fig. 4).

En estas situaciones recomendamos la realización de una transposición carotidosubclavia o derivación carotidosubclavia con prótesis anillada¹⁵ (Figs. 5 y 6). Como detalles técnicos recomendamos la monitorización encefalográfica o al menos con oximetría hemisférica durante la oclusión carotídea, empleando una derivación interna, si es necesario, para construir la anastomosis.

TABLA II. INDICACIONES ABSOLUTAS Y RELATIVAS DE REVASCULARIZACIÓN DE ARTERIA SUBCLAVIA IZQUIERDA

- Derivación coronaria con arteria mamaria interna izquierda previa o prevista
- Hipoplasia-estenosis de vertebral derecha con predominio de la izquierda
- Trabajadores con actividad manual importante
- Síndrome vertebrobasilar clínico en el postoperatorio
- Fístula arteriovenosa para diálisis funcionante en brazo izquierdo

Figura 4. Angio-RM de troncos supraaórticos. Estenosis-hipodesarrollo de la arteria vertebral derecha respecto a la izquierda.

La oclusión proximal de ASI para evitar una endofuga tipo 2 merece un comentario adicional. En casos en los que el sellado sea amplio, con un diámetro al nivel del *ostium* relativamente pequeño, consideramos que es seguro realizar la derivación y posteriormente implantar la endoprótesis (en nuestro medio, por motivos logísticos, en un segundo tiempo) sin más. En caso de encontrar una fuga en la TC de control se corregirá por vía endovascular, con la implantación de *coils* o dispositivos tipo Amplatz. La ligadura quirúrgica al tiempo de la realización de derivación carotidosubclavia puede en ocasiones ser técnicamente complicada, ante la necesidad de aproximarse a su mismo origen, evitando lógicamente la salida de la mamaria interna y la vertebral. Además, el origen es próximo a la desembocadura del conducto linfático torácico, por lo que debemos extremar la cautela en la disección de la zona. No obstante, si se considera necesario, puede realizarse con ligadura simple o bien realizando una transposición carotidosubclavia (intervención también más demandante que la derivación con prótesis).

Zona 1

Cuando el anclaje proximal se sitúa entre carótida izquierda y tronco braquiocefálico, es necesario revascularizar

Figura 5. Detalle quirúrgico de derivación carotidosubclavia con prótesis anillada.

la carótida izquierda. Para esto podemos realizar una derivación carotidocarotídea con prótesis anillada de 8-10 mm. La disposición óptima de la misma es también motivo de controversia, recomendando algunos autores la implantación retroesofágica. De esta manera, se evita la alteración estética y no se proscriben la posibilidad de realizar una traqueostomía, si fuera necesaria en el futuro, realizando además una derivación más corta.

Otra alternativa, algo más agresiva pero quizás más adecuada especialmente en pacientes jóvenes, es la recomendada por Czerny¹⁶. Tras la realización de una miniesternotomía superior en «T» o en «J», ampliando la incisión por el borde del esternocleidomastoideo izquierdo, puede disecarse adecuadamente la salida de los troncos supraaórticos. Hecho esto, se recomienda la anastomosis terminolateral de carótida izquierda a tronco braquiocefálico, y posteriormente de ASI a carótida izquierda (si se estima necesaria su preservación). Esta técnica permite evitar el empleo de material protésico, y permite flujo cerebral más directo.

Zona 0

Existen casos en los cuales el cayado está afecto en toda su extensión, respetándose el diámetro de aorta

Figura 6. Resultado en angio-TC de derivación carotidosubclavia, ligadura proximal de subclavia y endoprótesis en zona 2, si bien el free-flow se apoya en zona 1. Obsérvese la permeabilidad de la arteria vertebral izquierda.

ascendente y descendente (Fig. 7). En estos casos proponemos la realización de una transposición completa de troncos supraaórticos, siempre y cuando las comorbilidades del paciente desaconsejen una sustitución del arco con HPPC.

Existen varias alternativas, como emplear una prótesis vascular bifurcada invertida de 14 × 7 mm, realizando anastomosis proximal en el origen de la aorta ascendente, y distal en terminoterminal al tronco braquiocefálico y a la carótida izquierda, interponiendo otra tercera rama a ASI si el acceso es adecuado. El empleo de este tipo de prótesis supone disponer de una gran longitud de aorta ascendente sana, ya que la anastomosis proximal puede alcanzar los 20 mm al biselar el injerto. Por otro lado, sería necesario construir otra rama lateral proximal de 10 mm si se plantea la liberación anterógrada de la endoprótesis. Otra alternativa es emplear una prótesis vascular de 10 mm para conectar aorta ascendente y tronco braquiocefálico en terminoterminal, realizando la anastomosis a ascendente en laterolateral, de manera que disponemos de una prolongación del injerto a través de la cual poder implantar la endoprótesis en sentido anterógrado. A su vez, de él pueden extraerse una o dos prótesis vasculares de 8-10 mm para revascularizar la carótida izquierda y la ASI (Fig. 8).

Para liberar la prótesis en sentido anterógrado o retrógrado (si el acceso femoral es bueno y no existe enfermedad aórtica abdominal) se recomienda marcar la anastomosis a aorta ascendente con algún tipo de material radiopaco,

Figura 7. Angio-TC de aneurisma «puro» de cayado aórtico de 7 cm de diámetro. Aorta ascendente y descendente con calibre conservado.

como un alambre de sutura esternal, un electrodo de marcapasos o, de forma «artesanal», el hilo plumado que incorporan las compresas quirúrgicas marcadas. Si la revascularización ASI se considera necesaria y no es posible técnicamente acceder a su origen (al encontrarse en la cara posterior del cayado), se puede realizar una tunelización extratorácica hasta la arteria en su posición infraclavicular.

DISCUSIÓN

Las primeras series de casos híbridos han sido publicadas en los últimos años¹⁷⁻¹⁹. Los resultados iniciales son, por lo general, superiores a los obtenidos en los procedimientos híbridos a nivel toracoabdominal²⁰, ofreciendo una alternativa válida a la sustitución de arco

Figura 8. Angio-TC multicorte con volume rendering. Transposición de troncos supraaórticos con implantación de endoprótesis Medtronic-Valliant® por vía anterógrada.

convencional. No obstante, los resultados publicados en centros de alto volumen en los que se realiza el tratamiento abierto del cayado, normalmente con perfusión cerebral anterógrada y empleando distintas estrategias²¹, demuestran que este tipo de intervenciones puede realizarse con una morbimortalidad asociada baja (mortalidad < 5%, accidente cerebrovascular < 5%), además de proporcionar una solución «definitiva», con bajas tasas de complicaciones a largo plazo.

El tratamiento híbrido se enfrenta a nuevas posibles complicaciones, además de tratarse de una cirugía mayor. Han sido descritas diversas complicaciones a medio plazo, como el colapso agudo de la endoprótesis con muerte súbita²², así como intervenciones de rescate realizadas en el mismo acto quirúrgico ante la imposibilidad de conseguir un correcto sellado a nivel del arco²³. En estos casos se ha descrito la conversión a HPPC, terminando el procedimiento como trompa de elefante modificada.

Además, hay que recordar que no se conoce la evolución a largo plazo de estas nuevas alternativas de tratamiento, pero es previsible que tengan mayor tasa de reintervenciones que los procedimientos «estándar». Por estos motivos, y especialmente en los casos de zona 0, se aconseja una cuidadosa selección de los pacientes, reservándola a aquellos de mayor edad o que presenten comorbilidades importantes.

Por otro lado, la dilatación de la raíz aórtica y aorta ascendente, así como la afectación de la aorta descendente son la regla, más que la excepción, en pacientes con enfermedad del arco aórtico. Ante estos casos se hacen necesarias intervenciones quirúrgicas con CEC abiertas con trompa de elefante que pueden terminarse o no con una endoprótesis a nivel de aorta descendente a la hora de realizar el segundo tiempo.

La mayoría de las endoprótesis disponibles tienen unos diámetros máximos de 45-46 mm. Este hecho limita también el tratamiento a aorta ascendente y descendente de no más de 44 mm de diámetro, siendo un ajuste insuficiente responsable de la mayoría de complicaciones descritas previamente. Las marcas comerciales disponibles en España (a excepción de E-vita Open Plus® [Jotec, Hechingen, Alemania] para la realización de «trompas de elefante congeladas») están diseñadas para su implantación retrógrada a través de vasos ilíacos o femorales. Por este motivo, por lo general, creemos conveniente la liberación estándar cuando el acceso o la enfermedad de aorta toracoabdominal concomitante lo permita.

Cuando la liberación se realiza de forma anterógrada, debemos recordar que ésta se realiza de diafragma a cayado, y no al revés, como estamos acostumbrados. Así, la segunda endoprótesis (raramente se consigue una exclusión completa del cayado con una sola) queda

telescopada dentro de la primera, que debe ser de menor tamaño para evitar fugas.

En casos de enfermedad toracoabdominal concomitante que requiera también un procedimiento híbrido a nivel visceral, se están desarrollando estrategias para conseguir flujo visceral anterógrado, directamente desde aorta ascendente a través del diafragma, a la vez que se realiza la transposición a nivel supraaórtico²⁴. También se está trabajando experimentalmente para implantar la endoprótesis en el arco y seguidamente fenestrarla, implantando *stents* recubiertos desde los troncos supraaórticos hacia la aorta²⁵.

Por último, la experiencia acumulada en la implantación de válvulas aórticas por vía transapical está abriendo camino a la posibilidad de tratar casos seleccionados de disección tipo A, a través del ápex del ventrículo izquierdo con corazón latiendo²⁶.

CONCLUSIONES

La cirugía endovascular de la aorta torácica descendente se ha impuesto como tratamiento de primera línea. La afectación del arco debe hacernos plantear la estrategia cuidadosamente, especialmente en los casos más frecuentes de oclusión de ASI. El tratamiento abierto con perfusión cerebral anterógrada y HPPC sigue siendo el patrón oro del tratamiento del cayado aórtico, si bien los tratamientos híbridos suponen una alternativa *a priori* con menos complicaciones perioperatorias en pacientes de alto riesgo, ya que evitamos la CEC. Creemos que la planificación preoperatoria es el punto clave para llevar con éxito la intervención, siendo la parte técnica relativamente accesible, incluso para centros de bajo volumen. El tratamiento «a medida» con endoprótesis fenestrada en el arco está en desarrollo, de forma que es posible que en el futuro veamos soluciones con abordajes completamente endovasculares.

Por otro lado, y tras la experiencia acumulada en implantación de prótesis valvulares aórticas por vía transapical, no es descabellado plantear un tratamiento endovascular transapical en casos seleccionados de disección aórtica tipo A.

En conclusión, presentamos nuevas alternativas a anti-gueros retos quirúrgicos, con resultados iniciales prometedores, pero con unos resultados a largo plazo aún por definir.

BIBLIOGRAFÍA

1. DeBakey ME, Crawford ES, Cooley DA, Morris GC Jr. Successful resection of fusiform aneurysm of aortic arch with replacement by homograft. *Surg Gynecol Obstet.* 1957;105:657-64.

2. Ott DA, Frazier OH, Cooley DA. Resection of the aortic arch using deep hypothermia and temporary circulatory arrest. *Circulation*. 1978;58:1227-31.
3. Ergin MA, Galla JD, Lansman L, Quintana C, Bodian C, Griep RB. Hypothermic circulatory arrest in operations on the thoracic aorta. Determinants of operative mortality and neurologic outcome. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1994;107:788-97.
4. Kazui T, Yamashita K, Washiyama N, et al. Usefulness of antegrade selective cerebral perfusion during aortic arch operations. *Ann Thorac Surg*. 2002;74(Suppl):1806-9.
5. Dake MD, Miller DC, Semba CP, Mitchell RS, Walker PJ, Liddell RP. Transluminal placement of endovascular stent-grafts for the treatment of descending thoracic aortic aneurysms. *N Engl J Med*. 1994;331:1729-34.
6. Da Rocha MF, Miranda S, Adriani D, Urgnani F, Rimbau VA, Mulet J. Hybrid procedures for complex aortic pathology: initial experience at a single center. *Rev Esp Cardiol*. 2009;62:896-902.
7. Mestres CA, Fernández C, Josa M, Mulet J. Hybrid antegrade repair of the arch and descending thoracic aorta with a new integrated stent-Dacron graft in acute type A aortic dissection: a look into the future with new devices. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2007;6:257-9. Epub 2007 Jan 5.
8. Quiñones-Baldrich W, Jiménez JC, DeRubertis B, Moore WS. Combined endovascular and surgical approach (CESA) to thoracoabdominal aortic pathology: a 10-year experience. *J Vasc Surg*. 2009;49:1125-34.
9. Zipfel B, Hammerschmidt R, Krabatsch T, Buz S, Weng Y, Hetzer R. Stent-grafting of the thoracic aorta by the cardiothoracic surgeon. *Ann Thorac Surg*. 2007;83:441-8.
10. Canaud L, Alric P, Desgranges P, Marzelle J, Marty-Ané C, Becquemin JP. Factors favoring stent-graft collapse after thoracic endovascular aortic repair. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2009. [Epub ahead of print]
11. Canaud L, Alric P, Laurent M, et al. Proximal fixation of thoracic stent-grafts as a function of oversizing and increasing aortic arch angulation in human cadaveric aortas. *J Endovasc Ther*. 2008;15:326-34.
12. Aranda P, Sarria E, Castillo R, et al. Complicaciones neurológicas tras la cirugía endovascular de la aorta torácica. *Cir Cardiovasc*. 2008;15 Suppl 1:35.
13. Zipfel B, Buz S, Hammerschmidt R, Hetzer R. Occlusion of the left subclavian artery with stent grafts is safer with protective reconstruction. *Ann Thorac Surg*. 2009;88:498-504.
14. Aranda P, Calleja F, Salas JM, et al. Cirugía endovascular de la patología traumática de aorta torácica. *Cir Cardiovasc*. 2006;2:100.
15. Ouriel K, Rutherford R. Atlas of vascular surgery: operative procedures. London: WB Saunders Company; 1998.
16. Czerny M, Grabenwoger M. Alternative approaches: endovascular stent grafts. In: Cosselli JS, LeMaire S. Aortic arch surgery. Principles and outcomes. Oxford, UK: Wiley-Blackwell; 2008.
17. Laganà D, Carrafiello G, Lumia D, et al. Hybrid treatment of isolated aortic arch aneurysms. *Radiol Med*. 2009. Epub ahead of print.
18. Schoder M, Lammer J, Czerny M. Endovascular aortic arch repair: hopes and certainties. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2009;38:255-61.
19. Byrne JG, Leacche M, Vaughan DE, Zhao DX. Hybrid cardiovascular procedures. *JACC Cardiovasc Interv*. 2008;1:459-68.
20. Murphy EH, Beck AW, Clagett GP, DiMaio JM, Jessen ME, Arko FR. Combined aortic debranching and thoracic endovascular aneurysm repair (TEVAR) effective but at a cost. *Arch Surg*. 2009;144:222-7.
21. Kazui T, Yamashita K, Washiyama N, et al. Aortic arch replacement using selective cerebral perfusion. *Ann Thorac Surg*. 2007;83(Suppl):796-8.
22. Palma JH, Guillen JS, Gaia DF, Buffolo E. Early complication after hybrid thoracic aortic aneurysm repair. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2008;7:441-3.
23. Dronavalli VB, Loubani M, Riley P, Bonser RS. Failure to exclude a saccular arch aneurysm during hybrid repair: arch replacement without cerebral circulatory arrest. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2009;9:677-9.
24. Murphy EH, Dimaiio JM, Dean W, Jessen ME, Arko FR. Endovascular repair of acute traumatic thoracic aortic transection with laser-assisted in-situ fenestration of a stent-graft covering the left subclavian artery. *J Endovasc Ther*. 2009;16:457-63.
25. Mussa FF, Walkes JC, Lumsden AB, Reardon MJ. Novel technique for arch and visceral artery debranching using ascending aortic inflow. *Vascular*. 2008;16:275-8.
26. MacDonald S, Cheung A, Sidhu R, Rheume P, Grenon SM, Clement J. Endovascular aortic aneurysm repair via the left ventricular apex of a beating heart. *J Vasc Surg*. 2009;49:759-62.