

# Nygammal metod minskar neurologisk risk vid arcus aortae-kirurgi

Selektiv antegrad hjärnperfusion ger bra skydd, visar retrospektiv studie



MAYA LANDENHED, ST-läkare, doktorand

RICHARD INGEMANSSON, docent, överläkare

BANSI LAL KOUL, docent, överläkare [bansi.koul@skane.se](mailto:bansi.koul@skane.se)

samtliga avdelningen för thoraxkirurgi, anestesi och intensivvård, hjärt- och lungdivisionen, Skånes universitetssjukhus i Lund, Lunds universitet

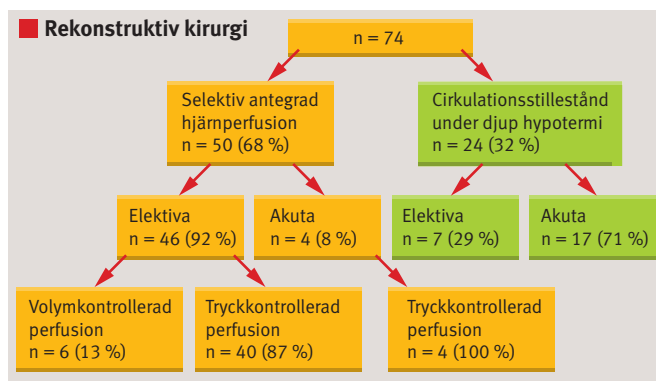
Torakala aortaaneurysm och akuta aortadissektioner hos den svenska befolkningen har stadigt ökat under de två senaste decennierna. Incidensen uppgick år 2002 till 16,3 per 100 000 män och 9,1 per 100 000 kvinnor, vilket motsvarar en ökning jämfört med år 1987 på 52 procent respektive 28 procent [1]. Incidensökningen reflekterar större tillgång till ekokardiografi och datortomografi runt om i landet. Samtidigt har antalet kirurgiska ingrepp på torakala aorta under tidsperioden 1987–2002 ökat 7-faldigt hos män (från 0,8 till 5,6 per 100 000/år) och 15-faldigt hos kvinnor (0,2 till 3,0 per 100 000/år) [1].

Det växande patientunderlaget har lett till en kontinuerlig utveckling av kirurgisk teknik, anestesi och intensivvård, vilket medfört färre komplikationer vid elektiv aortakirurgi.

Aneurysm i aorta ascendens engagerande arcus aortae åtgärdas vanligtvis kirurgiskt, medan aneurysm i aorta descendens allt oftare behandlas med endovaskulära metoder. Dilatation av arcus aortae är näst intill alltid associerad med aneurysm i aorta ascendens eller i aorta descendens.

Således bedöms indikationen för operation av arcus alltid i kombination med behovet av en samtidig åtgärd av aorta ascendens, där risken för ruptur alternativt dissektion är större (Tabell I).

Någon övre åldergräns för kirurgisk åtgärd av aortaaneurysm finns inte. En individuell riskbedömning görs för varje inremitterad patient, där vinst av kirurgi vägs mot risk. I framtiden kommer sannolikt kartläggning av genetiska förhållanden att vägleda bedömningen av vilka individer som löper större risk för ruptur eller dissektion och som därför bör opereras redan vid måttlig grad av dilatation, innan de uppnår gängse kriterier för operation. Omvänt kommer man att kunna expektera kirurgisk åtgärd hos en del patienter som redan



Figur 1. Rekonstruktiv kirurgi innefattande arcus aortae vid Universitetssjukhuset i Lund, 2005–2009.

uppnår operationsindikation, men där genmaterialet inte talar för ruptur eller dissektion [2].

## Cirkulationsstillestånd under djup hypotermi har dominerat

Särskiljande för kirurgi av aortabågen är att hanteringen av halskärlen kräver en strategi för cerebral protektion under operationen. Tidigare har cirkulationsstillestånd under djup hypotermi (DHCA) varit den dominerande metoden för cerebral protektion vid den här typen av aortakirurgi. DHCA innebär att patienten kyls ned till ca 16–18 °C med hjälp av hjärt-lungmaskin [3]. Ismossa används för lokal nedkylning av hjärnan.

Under cirkulationsstilleståndet upphör cirkulationen i hela kroppen. Eftersom hypotermi nedsätter vävnadernas metabolism och därmed syrgasbehov krävs ingen perfusion av blod till hjärnan om tiden för cirkulationsstilleståndet kan hållas under 25 minuter. Om durationen överskrider 25 minuter, ökar risken för centrala neurologiska skador exponentiellt. Ibland används retrograd perfusion av kallt blod till hjärnan via vena cava superior under cirkulationsstilleståndet. Dock har ingen klar fördel avseende hjärnprotektion kunnat påvisas för denna metod [4]. För att öka säkerhetsmarginaler under arcus aortae-kirurgi har man under senare år övergått till

## SAMMANFATTAT

**Incidensen** av patienter med behandlingskrävande aortaaneurysm som åtgärdas med öppen rekonstruktion av arcus aortae i Sverige uppskattas till 127 fall årligen.

**Vid operation** av arcus aortae krävs cirkulationsstillestånd i hela kroppen under djup hypotermi (16–18 °C). Ingreppet är behäftat med risk för allvarliga neurologiska komplikationer: rapporterad incidens av stroke är 7,4 procent, övergående neurologisk påverkan 14 procent. Efter 25 minuter ökar risken exponentiellt med durationen av cirkulationsstilleståndet.

**Modern operationsteknik** innebär att hjärnan försörjs

med blod via selektiv kanyletering av halskärlen med cirkulationsstillestånd endast i nedre delen av kroppen. Risken för stroke och övergående neurologisk påverkan kan då reduceras till 3,8 respektive 5,6 procent.

**Selektiv antegrad** hjärnperfusion med arteriell kanyletering av truncus brachiocephalicus och arteria carotis communis sinistra tillåter tryckkontrollerad perfusion av hjärnan. Denna strategi för cerebral protektion har enligt vår tidiga erfarenhet reducerat risken för stroke till 2,5 procent och för övergående neurologisk påverkan till 2,5 procent.

att använda selektiv antegrad hjärnperfusion under moderat hypotermi.

## 40-årig metod har fått renässans

Selektiv antegrad hjärnperfusion under moderat hypotermi introducerades av DeBakey [5] redan 1967 men övergavs till förmån för DHCA på grund av att metoden ansågs tidskrävande och att det var tekniskt besvärligt med extra kanyler i operationsområdet.

Under de senaste decennierna har metoden dock utvecklats och återkommit i olika varianter [6-10] och har därför i större utsträckning blivit rutin vid elektiva operationer på de flesta större centra runt om i världen. Dissektion av halskärl kan utgöra en kontraindikation, dock kan metoden användas hos selekterade patienter beroende på dissektionens utbredning. Kontraindikation är signifikant stenosering av halskärl, där manipulation av halskärlen kan innebära risk för dels embolisk stroke, dels malperfusion som kan leda till ischemisk hjärnskada.

## Används främst vid elektiv aortakirurgi

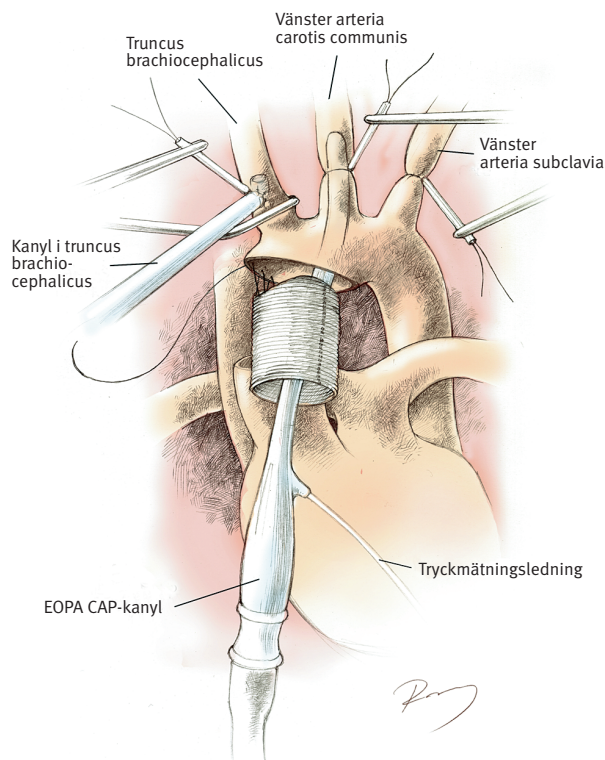
Det har visat sig att risken för stroke kan reduceras med användning av selektiv antegrad hjärnperfusion i stället för DHCA [11]. Vid Universitetssjukhuset, numera Skånes universitetssjukhus, i Lund har metoden använts sedan 2005, och 50 av 74 rekonstruktioner av arcus aortae är utförda med denna teknik (Figur 1). Metoden används främst under elektiva ingrepp, men den har också i ökande utsträckning börjat användas vid akuta aortadissektioner. Akut kirurgi skiljer sig något från elektiv, varför vi i denna studie valt att fokusera på elektiva fall.

Hos sex patienter användes volymkontrollerad selektiv antegrad hjärnperfusion med kanylering av arteria subclavia dextra i majoriteten av fallen. Denna unilaterala metod ger inte samma tillförlitliga tryckmätning som kanylering av truncus brachiocephalicus. Metoden benämns volymkontrollerad, eftersom ett på förhand bestämt perfusionsflöde ges via högersidiga halskärl. Dessa fall exkluderades för att renodla fallen med precis tryckkontrollerad bilateral selektiv antegrad hjärnperfusion som studerats i denna sammanställning. I inget av fallen förekom konvertering från en metod till en annan intraoperativt.

Vi vill här ge en översikt över hur tryckkontrollerad bilateral selektiv antegrad hjärnperfusion används för cerebral protektion under elektiv aortakirurgi vid vårt center i dag samt redovisa våra resultat från en retrospektiv genomgång med tonvikt på neurologiska utfall.

## MATERIAL OCH METOD

Samtliga patienter som mellan september 2005 och april 2009 opererades i Lund med rekonstruktion av proximala eller totala arcus aortae under tryckkontrollerad bilateral selektiv antegrad hjärnperfusion inkluderades i en retrospektiv studie. Datortomografi med kontrast av aorta och halskärl utfördes preoperativt på samtliga patienter för att säkerställa diagnos och för kartläggning av anatomin. Patienterna un-



**Figur 2.** Schematisk framställning av kanylering av halskärl under tryckkontrollerad bilateral selektiv antegrad hjärnperfusion.

Illustration: Ronny Lingstam

dersöktes för karotisstenos med karotisduplex, och vid stenograd överstigande 50 procent exkluderades patienten från operation med selektiv antegrad hjärnperfusion. Preoperativ koronarangiografi utfördes hos alla patienter äldre än 40 år för samtidig koronar bypass-kirurgi vid förekomst av koronarkärlsjukdom. Vänsterkammarsfunktion och klafffunktion undersöktes pre- och intraoperativt med transesofageal ekokardiografi. Patienterna genomgick även spirometri som led i den rutinemässiga preoperativa utredningen.

## Intraoperativ monitorering och kirurgisk teknik

Samtliga patienter monitoreras intraoperativt med EKG, digital oxymetri, central venkateter, intermittenta artärgasanalyser och analys av blandvenös syrgasmättnad. Vidare används transesofageal ekokardiografi genomgående under operationen samt temperaturmätning i urinblåsa och trumhinna. Bilaterala artärnålar för kontinuerlig blodtrycksregistrering i höger och vänster arteria radialis används i kombination med tryckmätning i arteria carotis communis sinistra. För monitorering av regional frontal cerebral syremättnad används nära-infrarödspektroskopi (INVOS 4100; Somanetics, Troy, Michigan).

Efter standardiserad anestesi utförs kirurgin via en median sternotomi. Blod dräneras till hjärt-lungmaskinen genom kanylering av vena cava superior och vena cava inferior. För arteriellt återflöde från hjärt-lungmaskinen kanyleras truncus

**TABELL 1.** Operationsindikationer för aneurysmatisk dilatation av aorta ascendens respektive arcus aortae.

	Med Marfans syndrom <sup>1</sup>	Med bikuspid aortaklaff <sup>2</sup>	Övriga <sup>3</sup>
Största diameter av aorta ascendens	≥45 mm	≥50 mm eller progress ≥5 mm/år	≥55 mm eller progress ≥5 mm/år
Största diameter av arcus aortae	≥40 mm	≥45 mm	≥50 mm

<sup>1</sup>Gäller även andra bindvävssjukdomar.

<sup>2</sup>Gäller Marfan-liknande sjukdomar och familjärt aortaaneurysm.

<sup>3</sup>Aterosklerotiska aneurysm, ofta hos äldre patienter, och kroniskt dissekerande aortaaneurysm.

**TABELL II. Primära och övriga diagnoser.**

Diagnos	Antal (procent)
Aneurysm i aorta ascendens och arcus aortae	40 (100)
Patienter med aortainsufficiens	30 (75)
Uppdelning av patienter med aortainsufficiens, n = 30, i grader I–IV:	
Lindrig (grad I)	15 (50)
Moderat (grad II)	9 (30)
Uttalad (grad III–IV)	6 (20)
Aortastenos	2 (5)
<b>Övriga diagnoser:</b>	
Torakalt aorta descendens-aneurysm	8 (20)
Stabil angina pectoris	8 (20)
Instabil angina pectoris	2 (5)
Kronisk dissektion i aorta descendens	2 (5)
Mitralinsufficiens	2 (5)

brachiocephalicus direkt med en 18F eller 20F DLP-artärkanyl (Medtronic Inc, Minneapolis, Minnesota), vilken därmed kan användas både för helkroppspfusion och för selektiv antegrad hjärnperfusion (Figur 2). Vena brachiocephalica delades i dessa fall inte, eftersom åtkomsten av halskärnen var acceptabel. Kall blodkardioplegi ges för att skydda hjärtat, och patienten kyls till en central temperatur på 25 °C uppmätt i trumhinnan. Alfa-stat-strategi används vad gäller monitorering av blodgaser.

Under nedkyllningen utförs reparation eller byte av aortaklaffen om nödvändigt och den som regel associerade rekonstruktionen av aorta ascendens. När patienten uppnått en central kroppstemperatur av 25 °C stängs blodflödet från truncus brachiocephalicus till aorta med tång, och blodflödet från hjärt-lungmaskinen minskar till 500 ml/min. Vänster arteria subclavia stängs av. Vänster arteria carotis communis perfunderas direkt med en 18F EOPA CAP-kanyl (Medtronic Inc, Minneapolis, Minnesota), som har en inbyggd ledning för blodtrycksmätning.

Selektiv antegrad hjärnperfusion påbörjas nu med ett perfusionsflöde som regleras för att upprätthålla ett medelartärtryck mellan 50 och 70 mm Hg samtidigt uppmätt i höger arteria radialis och vänster arteria carotis communis. Trycken som uppmäts i dessa kärl motsvarar nu perfusionstrycket i respektive hjärnhalva. Detta innebär att endast övre kroppshalvan perfunderas med blod, medan cirkulationsstillstånd råder i övriga delen av kroppen. Cerebral saturation övervakas kontinuerligt under operationen, och man eftersträvar en saturationsnivå motsvarande utgångsvärdet före start av selektiv antegrad hjärnperfusion. Saturationen kan regleras genom justering av perfusionstrycket i hjärnan och  $pCO_2$  i arteriellt blod. Under hjärnperfusionen ersätts arcus aortae med en kärlprotes, och halskärnen anastomoseras till arcus-protesen.

### Postoperativ utvärdering och definition av utfallsvariabler

Patienterna extuberas när gängse kriterier för blödning, kroppstemperatur och hemodynamisk stabilitet uppfyllts. Neurologiskt status registreras löpande av vårdteamet på intensivvårdsavdelningen och senare på vårdavdelningen. Perioperativ neurologisk komplikation klassificeras som stroke eller övergående neurologisk påverkan (transient neurological dysfunction). Stroke definieras som fokalt eller globalt neurologiskt bortfall; övergående neurologisk påverkan definieras som ett tillstånd av övergående postoperativ konfusion, hallucinationer eller agitation med regress vid utskriv-

ning från sjukhus och utan påvisbara nya lesioner vid datortomografiundersökning av hjärnan. Övergående neurologisk påverkan är ett samlingsbegrepp innefattande mer sublima neurologiska bortfall som anses vara en effekt av diffus ischemi till hjärnan under operationen.

Postoperativt följdes patienterna avseende komplikationer och mortalitet under en 90-dagarsperiod. Om inte annat anges presenteras data som median (25:e–75:e percentilen).

### RESULTAT

Totalt 40 patienter opererades med rekonstruktion av arcus aortae med användning av tryckkontrollerad bilateral selektiv antegrad hjärnperfusion under moderat hypotermi. Medianåldern var 68 år (61–75 år); 19 patienter (48 procent) var män, och 6 patienter (15 procent) hade tidigare genomgått öppen hjärtkirurgi. Primära och övriga diagnoser framgår av Tabell II. Proximala arcus rekonstruerades hos 24 patienter (60 procent) och totala arcus hos 16 (40 procent). Aortaklaffbesparande kirurgi och rekonstruktion av aorta ascendens utfördes samtidigt hos majoriteten av patienterna (Tabell III). Kanylering av truncus brachiocephalicus påverkade inte blodtrycket uppmätt i höger och vänster arteria radialis före och efter start av hjärt-lungmaskinen.

Total operationstid från hudincision till hudsuturering var 375 min (309–471 min). Duration av selektiv antegrad hjärnperfusion var 22 min (17–37 min). Perfusionsflödet var 9,6 ml/kg/min (variationsvidd: 4,6–15,9 ml), vilket var tillräckligt för att upprätthålla ett medelartärtryck i höger arteria radialis på 55 mm Hg samt i vänster arteria carotis communis på 58 mm Hg (n = 22).

### Utfall

En patient (2,5 procent) utvecklade terapiresistent, svår hypertoni efter ingreppet och avled fyra dagar efter operationen på grund av massiv intracerebral blödning. Obduktionen visa-

**TABELL III. Typ av kirurgiskt ingrepp.**

	Antal (procent)
Rekonstruktion av aorta ascendens och arcus aortae:	
Proximala arcus	24 (60)
Totala arcus	16 (40)
Klaffbesparande aortarotsrekonstruktion:	28 (70)
Rekonstruktion av sinotubulära förbindelsen	15 (54)
Aortarotsremodellering (Yacoub-teknik <sup>1</sup> )	7 (25)
Aortarotsreimplantation (David-teknik <sup>2</sup> )	6 (21)
Bentall-operation	11 (28)
Rakt graft i aorta ascendens	1 (2,5)
Annan samtidig kirurgi:	
Koronar bypass-kirurgi	10 (25)
»Elephant trunk« <sup>3</sup> i aorta descendens	10 (25)
Bandning av aorta descendens	2 (5)
Mitralklaffplastik	1 (2,5)

<sup>1</sup>Yacoub-teknik: Aortarotsbesparande teknik som används hos patienter med aortarotsaneurysm utan signifikant dilatation av aortaanulus. All aortavägg i aortaroten byts mot en konstgjord kärlprotes med upphängning av aortaklaffkuspar i kärlprotesen. Aortaanulus lämnas därmed orörd och hindras således inte från framtida dilatation.

<sup>2</sup>David-teknik: Aortarotsbesparande teknik som används hos patienter med aortarotsaneurysm och dilatation av aortaanulus. All aortavägg i aortaroten tas bort och aortaklaffkuspar inklusive aortaanulus sys in i en kärlprotes. Således minskar både diameter och risk för ytterligare dilatation av aortaanulus.

<sup>3</sup>»Elephant trunk«: Kärlprotes (med eller utan metallstentar) som lämnas hängande fritt från arcus-protesen i proximala delen av en aneurysmatisk aorta descendens vid totalt arcus-byte. Vid ett senare endovaskulärt eller öppet kirurgiskt ingrepp kan protesens förlängas för att åtgärda aneurysmet i aorta descendens.

## »Metoden kommer sannolikt att fortsätta utvecklas och användas i klinisk rutin...«

de ett odiagnostiserat feokromocytom. Tre patienter uppvisade någon form av postoperativ neurologisk komplikation. Den första patienten (2,5 procent) uppvisade postoperativt övergående förlängsammad verbal kontakt och kraftnedsättning i höger arm, vilket tolkades som en mindre stroke. Patient nummer två (2,5 procent) uppvisade den sjunde postoperativa dagen tecken till övergående neurologisk påverkan i form av hallucinationer och agitation, vilken helt gick i regress ett par dagar senare. En tredje patient utvecklade postoperativt försämring av en sedan tidigare känd kraftnedsättning i höger hand. Datortomografi av hjärnan bekräftade kända äldre lesioner men inget nyttillkommet som kunde sättas i relation till den nyligen genomförda kirurgin.

Två patienter reopererades akut på grund av misstänkt knickbildning på höger koronarartär respektive akut tamponad. Hos en patient gjordes utrymning för sen tamponad dag 17 postoperativt. Ingen patient utvecklade postoperativt tarmischemi, ryggmärgsskada, leversvikt eller dialyskrävande njursvikt. En patient utvecklade mediastinit med *Staphylococcus aureus* och behandlades framgångsrikt med vakuum-assisterad undertrycksbehandling.

### DISKUSSION

Vid elektiv arcus aortae-kirurgi förväntas ett lågt utfall av neurologiska komplikationer och död. I detta material var inciden- sen av stroke 2,5 procent (1 patient) och övergående neurologisk dysfunktion 2,5 procent (1 patient), vilket i jämförelse med större publicerade serier omfattande selektiv antegrad hjärn- perfusion kan betraktas som en låg komplikationsfrekvens [8, 9]. 90-dagarsmortaliteten var 2,5 procent (1 patient), och detta dödsfall kan inte relateras direkt till perfusionsmetoden.

Flera studier har visat att selektiv antegrad hjärnperfusion ger bättre cerebral protektion än DHCA, även vid duration mindre än 25 minuter [11, 12]. Bortsett från förbättrade neurologiska resultat är en av fördelarna med selektiv perfusion av hjärnan att djup hypotermi kan undvikas till fördel för mo-

derat hypotermi. Moderat hypotermi vid 25°C är gynnsam dels för bevarande av cerebral autoregulation, dels eftersom det ger en mindre påverkan på koagulationssystemet, vilket minskar risken för postoperativa blödningskomplikationer [13]. Ingen patient uppvisade tecken till ryggmärgsskada eller svikt av inre organ, vilket kan ses som ett uttryck för att moderat hypotermi ger ett tillräckligt skydd mot ischemi för icke-perfunderade organ under selektiv antegrad hjärnperfusion.

Tryckkontrollerad bilateral perfusion gavs med ett blodflöde till hjärnan på 9,6 ml/kg/min för materialet som helhet, men med en tydligt stor individuell skillnad. Upprätthållande av ett medelartärtryck mellan 50 och 70 mm Hg krävde som lägst ett perfusionsflöde på 4,6 ml/kg/min och som mest 15,9 ml/kg/min. Fördelningen av individer som krävde perfusionsflöden mindre än respektive större än det rekommenderade gängse schablonflödet på 10 ml/kg/min var jämn. Skillnaderna i perfusionsflöden mellan patienterna understryker betydelsen av en korrekt och tillförlitlig monitorering av blodtryck och cerebral saturation under operationen. Eftersom artärtrycken i armarna inte påverkades av kanylens fysiska utfyllning av kärllumen kunde tillförlitligheten av tryckmätningarna under den resterande delen av operationen konfirmeras. Den här beskrivna metoden för bilateral selektiv antegrad hjärnperfusion innebär att båda hjärnhemisfärerna tar emot blod, vilket bättre efterliknar den normala fysiologiska cirkulationen. Unilateral selektiv antegrad hjärnperfusion till endast höger arteria carotis communis är också en utbredd metod för selektiv antegrad hjärnperfusion, vilket dock sannolikt kräver en komplett circulus Willisii för perfusion av även vänster hjärnhalva. Flera studier har visat att bilateral hjärnperfusion ger en lägre incidens av stroke än unilateral hjärnperfusion [14, 15].

Metoden med tryckkontrollerad bilateral selektiv antegrad hjärnperfusion för cerebral protektion i kombination med moderat hypotermi för protektion av ryggmärg och visceral organ är gynnsam. Metoden kommer sannolikt att fortsätta utvecklas och användas i klinisk rutin för patienter som genomgår rekonstruktion av arcus aortae vid vårt center.

■ *Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna.*

### REFERENSER

- Olsson C, Thelin S, Stahle E, Ek-bom A, Granath F. Thoracic aortic aneurysm and dissection: increasing prevalence and improved outcomes reported in a nationwide population-based study of more than 14,000 cases from 1987 to 2002. *Circulation*. 2006;114:2611-8.
- Song HK, Bavaria JE, Kindem MW, Holmes KW, Milewicz DM, Maslen CL, et al. Surgical treatment of patients enrolled in the national registry of genetically triggered thoracic aortic conditions. *Ann Thorac Surg*. 2009;88:781-7; discussion 787-8.
- Griep RB, Stinson EB, Hollingsworth JF, Buehler D. Prosthetic replacement of the aortic arch. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1975;70:1051-63.
- Ueda Y, Miki S, Kusu-hara K, Okita Y, Tahata T, Yamanaka K. Surgical treatment of aneurysm or dissection involving the ascending aorta and aortic arch, utilizing circulatory arrest and retrograde cerebral perfusion. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 1990;31:553-8.
- De Bakey ME, Crawford ES, Cooley DA, Morris GC Jr. Successful resection of a fusiform aneurysm of aortic arch with replacement by homograft. *Surg Gynecol Obstet*. 1957;105(6):657-64.
- Bachet J, Guilmet D, Goudot B, Dreyfus GD, Delentdecker P, Brodaty D, et al. Antegrade cerebral perfusion with cold blood: a 13-year experience. *Ann Thorac Surg*. 1999;67(6):1874-8; discussion 1891-4.
- Di Eusanio M, Schepens MA, Morshuis WJ, Dossche KM, Di Bartolomeo R, Pacini D, et al. Brain protection using antegrade selective cerebral perfusion: a multicenter study. *Ann Thorac Surg*. 2003;76:1181-8; discussion 1188-9.
- Khaladj N, Shrestha M, Meck S, Peters S, Kamiya H, Kallenbach K, et al. Hypothermic circulatory arrest with selective antegrade cerebral perfusion in ascending aortic and aortic arch surgery: a risk factor analysis for adverse outcome in 501 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2008;135:908-14.
- Immer FF, Moser B, Krahenbuhl ES, Englberger L, Stalder M, Eckstein FS, et al. Arterial access through the right subclavian artery in surgery of the aortic arch improves neurologic outcome and mid-term quality of life. *Ann Thorac Surg*. 2008;85:1614-8; discussion 1618.
- Scorsin M, Menasche P, Nataf P, Lessana A. Pressure-adjusted antegrade brain perfusion for surgery of the aortic aneurysm. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2001;19:108-10.
- Hagl C, Ergin MA, Galla JD, Lansman SL, McCullough JN, Spielvogel D. Neurologic outcome after ascending aorta-aortic arch operations: effect of brain protection technique in high-risk patients. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2001;121:1107-21.
- Ehrlich MP, Ergin MA, McCullough JN, Lansman SL, Galla JD, Bodian CA, et al. Predictors of adverse outcome and transient neurological dysfunction after ascending aorta/hemiarch replacement. *Ann Thorac Surg*. 2000;69:1755-63.
- Neri E, Sassi C, Barabesi L, Massetti M, Pula G, Buklas D, et al. Cerebral autoregulation after hypothermic circulatory arrest in operations on the aortic arch. *Ann Thorac Surg*. 2004;77:72-79; discussion 79-80.
- Olsson C, Thelin S. Antegrade cerebral perfusion with a simplified technique: unilateral versus bilateral perfusion. *Ann Thorac Surg*. 2006;81:868-74.
- Olsson C, Thelin S. Regional cerebral saturation monitoring with near-infrared spectroscopy during selective antegrade cerebral perfusion: diagnostic performance and relationship to postoperative stroke. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2006;131:371-9.