

Statusartikel

Kirurgisk behandling af aneurismatisk aortarod med klapbevarende aortarodsresektion

Emil Johannes Ravn^{1, 2}, Lytfl Krasniqi^{1, 3}, Viktor Poulsen^{1, 2}, Kristian Øvrehus², Jordi Sanchez Dahl^{2, 3} & Lars Peter Riber^{1, 3}

1) Hjerter-, Lunge- og Karkirurgisk Afdeling, Odense Universitetshospital, 2) Hjertemedicinsk Afdeling, Odense Universitetshospital, 3) Klinisk Institut, Syddansk Universitet

Ugeskr Læger 2024;186:V04240278. doi: 10.61409/V04240278

HOVEDBUDSKABER

- Aortaklapbevarende aortarodsresektion (AVSRR) er en højt specialiseret behandling af aneurismatisk aortarod.
- AVSRR er forbundet med nedsat dødelighed og klaprelaterede komplikationer.
- AVSRR tilbydes i hele Danmark, hvilket fordrer øget opmærksomheden på detektion og selektion af patienter til behandlingen.

Aneurismatisk aortarod (AAR) udgør en undergruppe af aneurismer i den torakale aorta (TAA). Aneurismatisk aorta ascendens med eller uden aneurismatisk aortarod udgør ca. 60% af TAA [1, 2]. Incidensen for TAA har generelt været stigende de seneste 20-30 år [3, 4] med en nutidig incidens på omkring 10,4 pr. 100.000 personår i USA og Sverige [5].

Ætiologien bag AAR er multifaktoriel, hvor risikofaktorer omfatter degenerative komorbiditeter som hypertension, rygning og hyperkolesterolemie samt medfødt bikuspid aortaklap (BAV) og familiære torakale aortasygdomme [1, 6]. AAR kan også skyldes genetiske og kromosomale sygdomme som Marfans syndrom, Loeys-Dietz' syndrom og Turners syndrom eller vaskulitisassocierede sygdomme, som alle prædisponerer til udvikling af aneurismer [1, 6]. AAR kan give kompressionssymptomer fra omkringliggende organer eller strukturer [3]. Derudover kan AAR medføre aortainsufficiens (AI) grundet dilatation af aortaklappens anulus og træk på aortaklappen, hvilket kan manifestere sig klinisk med synkope, åndenød, palpitationer, angina og hjertesvigt. Tidlige stadier af AAR er ofte asymptomatiske, hvorfor tilstanden tit opdages ved et tilfælde under udredning af andre sygdomme [1]. Subklinisk AAR udgør en betydelig risiko, idet tilstanden er forbundet med højere forekomst af aortadissektion og pludselig hjertedød end aneurismer i aorta ascendens [7]. Detektionen af AAR og timing af den kirurgiske behandling er således vanskelig. Patienter med AAR anbefales derfor at blive fulgt regelmæssigt, indtil sygdomsprogressionen tilsiger kirurgisk intervention [1, 8].

Formålet med denne artikel er at belyse aspekterne inden for diagnostikken og kirurgisk behandling af AAR samt informere om de nyeste internationale erfaringer inden for området med særligt fokus på aortaklapbevarende aortarodsresektion (AVSRR).

Diagnostik og behandlingsindikationer

Aortaroden (AR) strækker sig fra anulus til sinotubulære junction (STJ). Aortarodsdiameteren (ARD) ligger normalt på 30-38 mm blandt voksne, men afhænger bl.a. af alder og køn, hvortil BMI indgår i vurderingen af ARD ift. kropsstørrelse [3]. Diagnostisk skelner man mellem, om AR er dilateret (> 40 mm) eller aneurismatisk (> 55 mm) [1]. AAR kan diagnosticeres ved CT eller MR-skanning samt ved ekkokardiografi, hvor modaliteterne ofte kombineres for at skabe et overblik over aneurismets dimensioner og aortaklappens hæmodynamik [1, 9].

Udredning bygger på billeddiagnostik, familiehistorik og evt. gentestning [1, 3]. Grundlæggende bør familieanamnesen kortlægges for tilfælde med TAA, pludselig og uventet hjertedød samt intrakraniel og perifer karsygd. Genetisk udredning anbefales til patienter med familiær torakal aortasygdom, TAA før 60-årsalderen, syndromsuspekteret træk eller ved sporadisk torakal aortasygdom før 60-årsalderen, hvor der er påvist aortasygdom blandt førstegradsslægtninge [1]. Den kirurgiske behandling tilrettelægges efter aneurismets størrelse ved billeddiagnostik, hvortil genetik og tilstedeværelsen af risikofaktorer er bestemmende for behandlingsindikationen ud fra ARD (Tabel 1) [1, 3]. På nuværende tidspunkt er der begrænset evidens for behandlingskriterierne, men løbende er interventionskriterierne blevet nedsat. Dette skyldes både forbedringer af risici forbundet med hjertekirurgi og nyere forskning, som har vist, at en ARD på 40-45 mm er associeret med øget risiko for aortadissektion blandt patienter med Marfans syndrom [10], mens grænseværdien dog fortsat ligger på 55 mm for nonsyndromatiske patienter [8].

TABEL 1 De danske behandlingskriterier for aneurismatisk aortarod.

Ætiologi	Risikofaktorer	Behandlingskriterier for ARD	
		uden risikofaktorer	med risikofaktorer
Trikuspid aortaklap og hypertensionsbettinget AAR	-	ARD ≥ 55 mm	
HTAD	Familiehistorik med AoD	ARD > 55 mm	ARD > 50 mm
Syndromatisk familiær TAS ^a	Familiehistorik med AoD Vækstrate ≥ 3 mm pr. år Graviditetsønske	ARD > 50 mm Vækstrate ≥ 3 mm pr. år ^c og ARD > 40 mm Indekseret aortastørrelse ≥ 2,5 cm/m ^{2d}	ARD > 45 mm
BAV-associeret TAS	Familiehistorik med AoD Vækstrate ≥ 3 mm pr. år Coarctatio aortae Svær hypertension	ARD > 55 mm	ARD > 50 mm ARD ≥ 45 mm ^b

AAR = aneurismatisk aortarod; AoD = aortadissektion; AR = aortarod; ARD = aortarodsdiameter; BAV = bikuspid aortaklap; HTAD = hereditær torakalt aortaaneurisme; TAS = torakal aortasygdom.

a) Behandling og opfølgning bør foretages af erfarne kirurger i et højt specialiseret multidisciplinært aortateam.

b) Ved øvrig planlagt hjertekirurgi.

c) Patienter med Marfans syndrom.

d) Kvinder med Turners syndrom.

Klassifikation af aneurismatisk aortarod med aortainsufficiens

Udviklingen af AAR medfører i varierende grad ændring i AR's anatomi med indflydelse på valget af den kirurgiske behandling. AAR medinddrager ofte aortaklappen pga. dens geometriske relationer til AR, der

fungerer som et understøttende anatomisk skelet og er defineret ved den funktionelle aortaanulus (**Figur 1**). Aortaklappen er ophængt i aortaroden med sine tre flige ved anulus fibrosus, som strækker sig semilunært fra STJ og ned til aortaklapfligenes nadir. Udviklingen af AAR resulterer derfor ofte i dysfunktion af aortaklappen pga. dilatationer i den funktionelle aortaanulus, hvorfor klapfligene strækkes, hvilket medfører reduktion i aortaklappens koaptation. Koaptationen angiver den afstand, hvormed fligene mødes under lukning af klapapparatet, som normalt er på 3-5 mm. Samtidig kan den ændrede geometri medføre prolaps af en eller flere af fligene, hvilket medfører, at patienten ofte udvikler tiltagende AI.

FIGUR 1 Aortaklapbevarende aortarodsresektion (David- og Yacoubprocedurerne) og Bentallproceduren. **A.** Davidprocedellen (reimplantation). **B.** Yacoubproceduren (remodelling). **C.** Bentallproceduren.

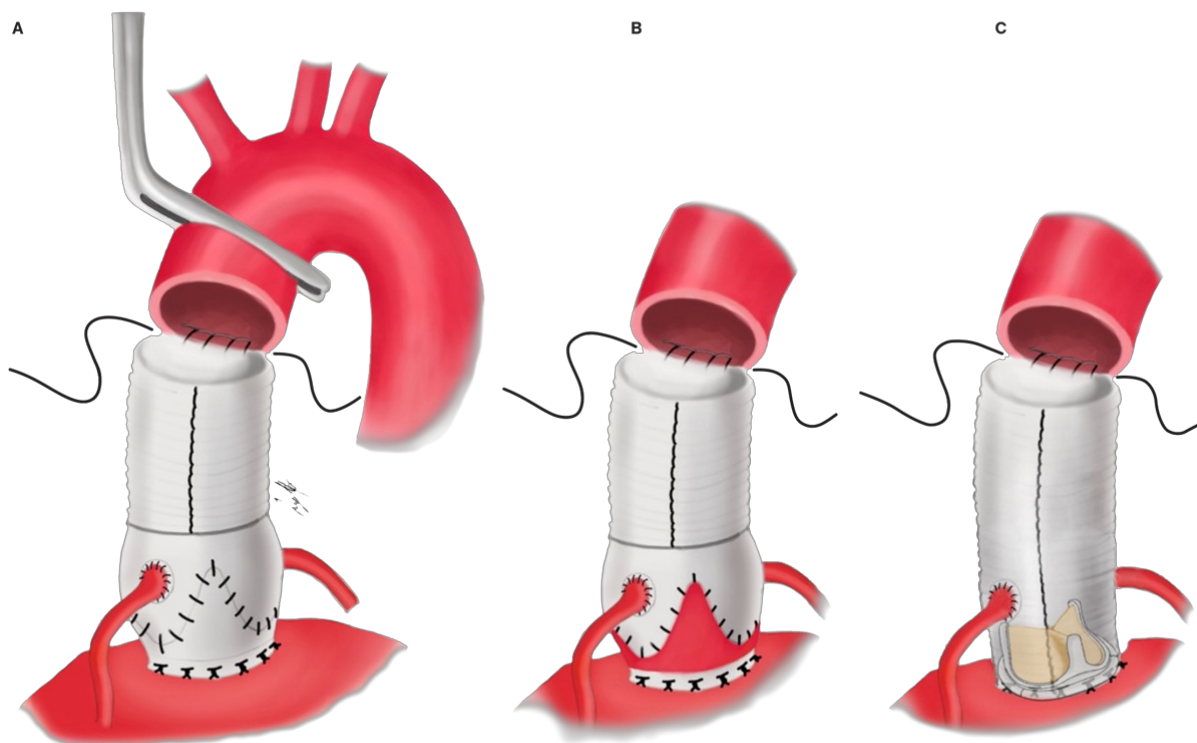


Illustration: Lytfti Krasniqi

AAR klassificeres i tre hovedtyper (**Figur 2**). Type 1 karakteriseres ved dilatation af den funktionelle aortaanulus med underkategorier, der angiver aneurismets udbredelse og involverede områder med tilstedeværelse af central AI. Type 2 karakteriseres ved prolaps af aortaklapflige, resulterende i excentrisk AI, mens type 3 involverer fibrose, sklerosering eller forkalkning af aortaklapflige med excentrisk AI. De tre typer er alle udtryk for sygdommens udvikling, da reduceret koaptation øger den mekaniske stress på klapapparatet og dermed risikoen for prolaps, sklerosering og forkalkning af fligene samt den medfølgende AI [11]. Tilstedeværelsen og sværhedsgraden af disse skader er afgørende for, hvorvidt klappen kan bevares ved kirurgi, hvor AVSRR især kan overvejes ved type 1 og type 2.

FIGUR 2 Aortarodens anatomi. Aortarodens anatomi med markering af anatomiske områder og strukturer med relation til aortaklappen, som påvirkes ved udvikling af aneurismatisk aortarod med betydning for klappens funktion.

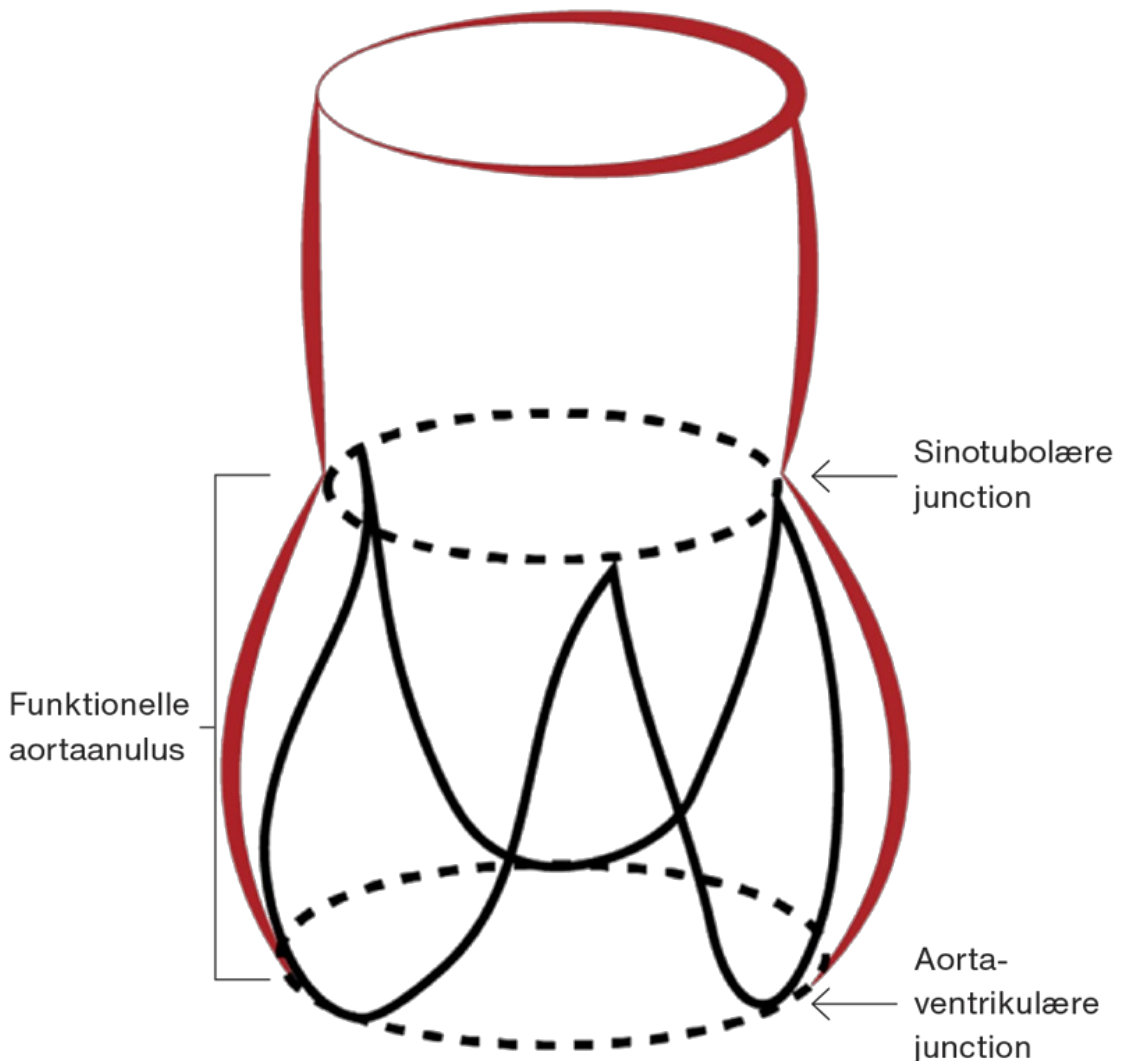

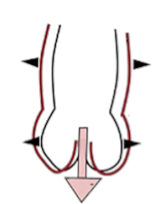
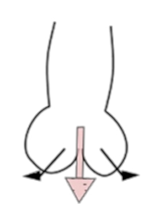

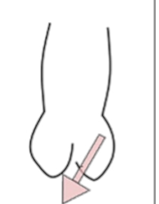



Illustration: Lytfi Krasniqi

Hjertekirurgisk behandling

Behandlingen af AAR foregår med åben hjertekirurgi. De hyppigst anvendte procedurer omfatter udskiftning af AR med aortaklappen, dvs. Bentallproceduren, eller fjernelse af AR med klapbevarende metode ad modum David eller Yacoub (Figur 3). Valget mellem disse afhænger af ætiologien, aneurismets størrelse, aortaklappens morfologi, kirurgens erfaring og præferencer, samt hvor højt patientvolumenet er essentielt, for at kunne udføre succesfuld klapbevarende kirurgi ifølge retningslinjerne [1, 9].

FIGUR 3 Funktionel klassifikation af læsioner ved AAR og den resulterende type af aortainsufficiens. Type 1: Dilatation af FAA og normal morfologi af aortaklappen. A) Dilatation af STJ – central AI. B) Dilatation af sinus Valsalva og STJ – central AI. C) FAA-dilatation (STJ og AVJ) – central AI. D) Perforation af én eller flere aortaklapflige og FAA-dilatation – excentrisk AI. Type 2: Prolaps af en eller flere aortaklapflige – excentrisk AI. Type 3: Fibrose, sklerosering eller forkalkning på en eller flere aortaklapflige – excentrisk AI.

AR-klassifikation	Type 1 Normale flige med dilatation af FAA eller perforation af flige				Type 2 Prolaps af flige	Type 3 Restriktion af flige
	A	B	C	D		
Mekanisme						

AA = aneurismatisk aortarod; AR = aortarod; AI = aortainsufficiens; AVJ = aortoventrikulære junction; FAA = funktionelle aortaanulus; STJ = sinotubulære junction.

Illustration: Lytvi Krasniqi

Bentallproceduren indebærer komplet fjernelse af AR inkl. aortaklappen, som erstattes med en mekanisk eller biologisk klapprotese indsyet i en AR-protese, hvor koronararterierne også reimplanteres [12]. Alternativt kan homo- og xenografter også anvendes, hvoraf homografter skal rekvireres fra Odense Universitetshospital, som har Danmarks eneste homograftbank.

AVSRR bevarer den native aortaklap enten via reimplantation eller remodellering. Davidproceduren karakteriseres ved reimplantation af den native aortaklap. Her fjernes hele AR fraset 5-7 mm kant, hvorefter en AR-protese med eller uden sinus trækkes ned over aortaklappen og fæstnes i anulus. Efterfølgende sutureres aortaklappen fast i protesen, og koronararterierne reimplanteres. Yacoubproceduren karakteriseres derimod ved remodellering af aortaklappen. Yacoubproceduren adskiller sig ved, at AR bevares i kommissurerne. AR-protesen tildannes, så protesen kan syes på kanten af kommissurerne hele vejen rundt. Oftest udføres en udvidet Yacoubprocedure, hvor anulus stabiliseres eksternt med en ring eller bælte. Dette er ikke nødvendigt ved Davidproceduren, idet AR-protesen er cirkumferentiell og således fungerer stabiliserende i anulus. Ved Davidproceduren kan kommissurerne placeres mere optimalt, mens man ved Yacoubproceduren må acceptere kommissurerne placering uden mulighed for justering. Efter udfærdigelse af AR-plastikken udføres ofte plastik på klapfligene for at optimere koaptationen og dermed sikre sufficient aortaklapfunktion [13, 14].

Internationale erfaringer med klapbevarende aortarodsresektion

Metaanalyser har sammenlignet metoderne inden for AVSRR [15, 16]. David- og Yacoubprocedurerne har vist sig at være ligeværdige med sammenlignelige rater for overlevelse, reoperation og klaprelaterede komplikationer på hhv. 92%, 5% og 2% [16]. I valget mellem de kirurgiske modaliteter har risikoen for reoperation grundet klapdysfunktion længe været en bekymring ved AVSRR. Dette skyldes, at reoperationer er forbundet med øget risiko for komplikationer og død, samtidig med at patienten ofte ender med den klapprotese, som man initialt forsøgte at undgå. Et tidligere propensity score-matched studie fandt netop en signifikant højere reoperationsrate grundet klapdysfunktion efter klapbevarende kirurgi end efter Bentallproceduren [17]. Omfattende metaanalyser har dog sidenhen ikke kunnet genfinde denne forskel, hvilket gælder for patienter både med og uden genetiske syndromer [18, 19]. Til gengæld rapporterede metaanalyserne en signifikant nedsat forekomst af stroke og blødning ved klapbevarende kirurgi med incidence rate ratio (IRR) på hhv. 0,36 (95% konfidensinterval (KI): 0,22-0,66) og 0,21 (95% KI: 0,11-0,42) [19] samt signifikant nedsat risiko for endokarditis

(oddsratio = 0,27; 95% KI: 0,10-0,68) [18]. Endelig viste metaanalyser signifikant overlevelsesevinst for patienter opereret med klapbevarende kirurgi med IRR for dødelighed på 0,68 (95% KI: 0,54-0,87).

Diskussion

Bentallproceduren er det mest udbredte behandlingsalternativ grundet positive resultater med lav dødelighed og reoperationsrate [20, 21]. Udskiftning af aortaklappen udgør dog en væsentlig risikofaktor for klaprelaterede komplikationer, herunder endokarditis, AK-relateret blødning ved mekanisk aortaklapprotese og svær dysfunktion af aortaklappsprotesen [20, 21]. Klappbevarende kirurgi er derfor særligt attraktivt hos yngre patienter med en høj forventet restlevetid eller patienter, der ønsker at undgå eller ikke tåler livslang blodfortyndende warfarinbehandling. Omvendt indebærer klappbevarende kirurgi risiko for recidiverende klappedysfunktion, hvortil man i et studie med 20-års followup har fundet, at Yacoubproceduren er forbundet med tilbagevendende AAR blandt patienter, som behandles med warfarin [22].

Man skal være varsom med at sammenligne resultaterne efter klappbevarende kirurgi og Bentallproceduren pga. stor heterogenitet i populationerne pga. selektionsbias. Kandidater til klappbevarende kirurgi er nøje selekteret under udredningen og er et mere specialiseret behandlingsalternativ med stigende popularitet [11, 23, 24]. De postoperative resultater efter klappbevarende kirurgi bør derfor også vurderes og tolkes iht. studiernes tidsperiode og hjertecentres erfaring med procedurerne. Studierne har hidtil også været begrænset af korte opfølgingsperioder, hvilket skyldes, at udbredelsen af klappbevarende kirurgi først er taget til i det seneste årti.

Nyere forskningsinitiativer har forsøgt at komme disse uligheder til livs ved at oprette AVIATOR- og CAVIAAR-databaserne, som indeholder internationale prospektive multicenterdata på klappbevarende kirurgi og Bentallprocedure. De seneste propensity score-matchede analyser på disse data understøtter fundene fra førnævnte metaanalyser med en signifikant bedre overlevelse efter klappbevarende kirurgi efter fire år (95,4% vs. 84,4%) samt nedsat risiko for klaprelaterede komplikationer, hvis man sammenholder med Bentallproceduren [25, 26]. AVIATOR- og CAVIAAR-databaserne har dog sine begrænsninger, hvilket også fremgår i artiklerne. På trods af propensity score-matching indeholdt AVSRR-gruppen i CAVIAAR-studiet færre patienter med bikuspid aortaklapper og kompleks AI, ligesom data om skrøbelighed ikke indgår [26-28]. Derudover er majoriteten af de bidragende hjertecentre højt specialiserede med stort patientvolumen. Disse bias kan have påvirket de postoperative resultater til fordel for klappbevarende kirurgi, hvor sammenhængen mellem højt patientvolumen og nedsat dødelighed allerede er dokumenteret for AR-kirurgi [29]. Der eksisterer dog også få studier fra mindre hjertecentre, som understøtter fundene ligesom prospektive multicenterdata [27, 30].

Konklusion

AVSRR er altovervejende associeret med øget langtidsoverlevelse og nedsat risiko for klaprelaterede komplikationer sammenlignet med Bentallprocedure [18, 19, 26-28, 30]. Dog er historisk sammenligning af klappbevarende kirurgi med Bentallprocedure vanskelig pga. forskelle i patientpopulationerne. I Danmark tilbydes alle kirurgiske behandlinger af AAR, hvorfor den nuværende evidens fordrer øget opmærksomhed på at detektere og udvælge kandidater til klappbevarende kirurgi, da denne behandling formentlig er det bedste alternativ inden for kirurgisk behandling af AAR.

Korrespondance *Emil Johannes Ravn*. E-mail: emil.johannes.ravn2@rsyd.dk

Antaget 13. august 2024

Publiceret på ugeskriftet.dk 23. september 2024

Interessekonflikter ingen. Forfatterens ICMJE-formularer er tilgængelige sammen med artiklen på ugeskriftet.dk

Referencer findes i artiklen publiceret på ugeskriftet.dk

Artikelreference Ugeskr Læger 2024;186:V04240278

doi [10.61409/V04240278](https://doi.org/10.61409/V04240278)

Open Access under Creative Commons License [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

SUMMARY

Surgical treatment of aneurysmal aortic root with valve-preserving aortic root resection

Aortic root aneurysm is a frequent condition, which is associated with increased mortality and morbidity compared to other aortic aneurysms. The treatment relies on surgery, most often with the Bentall procedure or aortic valve-sparing root replacement (AVSRR). AVSRR is a highly specialised treatment associated with increased survival and low incidences of valve-related complications compared to the Bentall procedure. The purpose of this review is to highlight the diagnosing and surgical treatments of AAR with a focus on the newest international experiences with AVSRR.

REFERENCER

1. Isselbacher EM, Preventza O, Black III JH et al. 2022 ACC/AHA guideline for the diagnosis and management of aortic disease: a report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on clinical practice guidelines. *Circulation*. 2022;146(24):e334-e482. <https://doi.org/10.1161/CIR.000000000000110>
2. Melo RGE, Duarte GS, Lopes A et al. Incidence and prevalence of thoracic aortic aneurysms: a systematic review and meta-analysis of population-based studies. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2022;34(1):1-16. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2021.02.029>
3. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA et al. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *Circulation*. 2010;121(13):e266-369. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d4739e>
4. Olsson C, Thelin S, Ståhle E et al. 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(24):2611-8. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA>
5. Clouse WD, Hallette Jr JW, Schaff HV et al. Improved prognosis of thoracic aortic aneurysms: a population-based study. *JAMA*. 1998;280(22):1926-9. <https://doi.org/10.1001/jama.280.22.1926>
6. Holmes KW, Markwardt S, Eagle KA et al. Cardiovascular outcomes in aortopathy: GenTAC registry of genetically triggered aortic aneurysms and related conditions. *J Am Coll Cardiol*. 2022;79(21):2069-2081. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.03.367>
7. Kalogerakos PD, Zafar MA, Li Y et al. Root dilatation is more malignant than ascending aortic dilation. *J Am Heart Assoc*. 2021;10(14):e020645. <https://doi.org/10.1161/JAHA.120.020645>
8. Solomon MD, Leong T, Sung SH et al. Association of thoracic aortic aneurysm size with long-term patient outcomes: the KP-TAA Study. *JAMA Cardiol*. 2022;7(11):1160-1169. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2022.3305>
9. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J*. 2022;43(7):561-632. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab395>
10. Weinsaft JW, Devereux RB, Preiss LR et al. Aortic dissection in patients with genetically mediated aneurysms: incidence and predictors in the GenTAC Registry. *J Am Coll Cardiol*. 2016;67(23):2744-2754. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.03.570>

11. El Khoury G, Glineur D, Rubay J et al. Functional classification of aortic root/valve abnormalities and their correlation with etiologies and surgical procedures. *Curr Opin Cardiol*. 2005;20(2):115-21.
<https://doi.org/10.1097/01.hco.0000153951.31887.a6>
12. Bentall H, De Bono A. A technique for complete replacement of the ascending aorta. *Thorax*. 1968;23(4):338-9.
<https://doi.org/10.1136/thx.23.4.338>
13. David TE, Feindel CM. An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1992;103(4):617-21; discussion 622.
14. Yacoub M, Fagan A, Stassano P. Results of valve conserving operations for aortic regurgitation. *Circulation*. 1983;68:311-321.
15. Arabkhani B, Mookhoek A, Di Centa I et al. Reported outcome after valve-sparing aortic root replacement for aortic root aneurysm: a systematic review and meta-analysis. *Ann Thorac Surg*. 2015;100(3):1126-31.
<https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.05.093>
16. Toh S, Ang J, George JJ et al. Outcomes in techniques of valve sparing aortic root replacement: a systematic review and meta-analysis. *J Card Surg*. 2021;36(1):178-187. <https://doi.org/10.1111/jocs.15132>
17. Gaudino M, Lau C, Munjal M et al. Contemporary outcomes of surgery for aortic root aneurysms: a propensity-matched comparison of valve-sparing and composite valve graft replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015;150(5):1120-9.e1.
<https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.07.015>
18. Flynn CD, Tian DH, Wilson-Smith A et al. Systematic review and meta-analysis of surgical outcomes in Marfan patients undergoing aortic root surgery by composite-valve graft or valve sparing root replacement. *Ann Cardiothorac Surg*. 2017;6(6):570-581. <https://doi.org/10.21037/acs.2017.11.06>
19. Elbatarny M, Tam DY, Edelman JJ et al. Valve-sparing root replacement versus composite valve grafting in aortic root dilation: a meta-analysis. *Ann Thorac Surg*. 2020;110(1):296-306. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2019.11.054>
20. De Paulis R, Scaffa R, Salica A et al. Biological solutions to aortic root replacement: valve-sparing versus bioprosthetic conduit. *J Vis Surg*. 2018;4:94. <https://doi.org/10.21037/jovs.2018.04.12>
21. Mookhoek A, Korteland NM, Arabkhani B et al. Bentall procedure: a systematic review and meta-analysis. *Ann Thorac Surg*. 2016;101(5):1684-9. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.10.090>
22. Jahanyar J, de Kerchove L, Munoz DE, El Khoury G. Twenty-year follow-up after valve-sparing aortic root replacement with the Yacoub or David procedure in Marfan patients. *JTCVS Open*. 2021;7:47-49. <https://doi.org/10.1016/j.xjon.2021.07.013>
23. Boodhwani M, de Kerchove L, Glineur D et al. Repair-oriented classification of aortic insufficiency: impact on surgical techniques and clinical outcomes. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2009;137(2):286-94.
<https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2008.08.054>
24. Lansac E, Di Centa I, Sleilaty G et al. An aortic ring: from physiologic reconstruction of the root to a standardized approach for aortic valve repair. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2010;140(6 Suppl):S28-35; discussion S45-51.
<https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2010.08.004>
25. Lansac E, Di Centa I, Danial P et al. Aortic valve repair versus mechanical valve replacement for root aneurysm: the CAVIAAR multicentric study. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2022;62(2):ezac283. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezac283>
26. Arabkhani B, Klautz RJM, de Heer F et al. A multicentre, propensity score matched analysis comparing a valve-sparing approach to valve replacement in aortic root aneurysm: insight from the AVIATOR database. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2023;63(2):ezac514. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezac514>
27. Ouzounian M, Rao V, Manlhiot C et al. Valve-sparing root replacement compared with composite valve graft procedures in patients with aortic root dilation. *J Am Coll Cardiol*. 2016;68(17):1838-1847. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.07.767>
28. Yamabe T, Zhao Y, Kurlansky PA et al. Assessment of long-term outcomes: aortic valve reimplantation versus aortic valve and root replacement with biological valved conduit in aortic root aneurysm with tricuspid valve. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2021;59(3):658-665. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezaa389>
29. Hughes GC, Zhao Y, Rankin JS et al. Effects of institutional volumes on operative outcomes for aortic root replacement in North America. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2013;145(1):166-70. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2011.10.094>
30. Karck M, Kallenbach K, Hagl C et al. Aortic root surgery in Marfan syndrome: comparison of aortic valve-sparing reimplantation versus composite grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2004;127(2):391-8.
<https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2003.07.049>