

Strednedobé výsledky dynamickej remodelácie koreňa aorty – štúdia jedného centra

(Mid-term results of dynamic aortic root remodeling – a single center study)

Adrián Kolesár, Tomáš Toporcer, Tomáš Molnár, Lukáš Vajda, Martina Polačková, Jana Jevčáková, Lucia Mistríková, Štefánia Mižáková, Štefan Lukačín

Klinika srdcovej chirurgie, Východoslovenský ústav srdcových a cievnych chorôb, a. s., a Lekárska fakulta Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Slovensko

INFORMACE O ČLÁNKU

Historie článku:

Vložen do systému: 26. 1. 2024

Přepřacován: 26. 2. 2024

Přiját: 7. 3. 2024

Dostupný online: 15. 5. 2024

Klíčové slova:

Aortálna regurgitácia

Remodelácia koreňa aorty

Strednedobé výsledky

SÚHRN

Remodelácia aortálneho koreňa bola po prvý krát publikovaná v 80. rokoch minulého storočia. Dnešná remodelácia koreňa aorty je geometricky presne definovaná a indikovaná u každého pacienta s regurgitáciou aortálnej chlopne pri aneuryzme koreňa aorty. Cieľom práce je zhodnotiť strednedobé výsledky remodelácie koreňa aorty v našich podmienkach a rizikové faktory, ktoré majú na túto stabilitu vplyv.

Do súboru bolo zaradených 103 pacientov podstupujúcich remodeláciu koreňa aorty od januára 2011 do decembra 2013. Sledovanie pacientov bolo uskutočnené echokardiografickou kontrolou v korelácii so odporúčaniami medzinárodného registra AVIATOR.

Analýza prežívania pacientov zameraná na prežívanie bez reoperácie a nálezu aortálnej regurgitácie tretieho a vyššieho stupňa zaznamenala hemodynamickú stabilitu remodelácie koreňa aorty v horizonte 4 rokov na úrovni 89 % a v horizonte 6 rokov na úrovni 86 %. Univariačná regresná analýza neidentifikovala žiaden z porovnávaných vstupných a peroperačných parametrov ako faktor ovplyvňujúci stabilitu remodelácie a prežívanie.

Remodelácia koreňa aorty a reimplantácia aortálnej chlopne dnes predstavujú pri vhodných anatomických pomeroch optimálnu terapeutickú stratégiu pre pacientov s aortálnou regurgitáciou a aneuryzmou koreňa aorty. Pri dodržaní požadovaných postupov prináša remodelácia koreňa aorty z hľadiska strednedobého, ale aj dlhodobého sledovania veľmi optimistické výsledky.

© 2024, ČKS.

ABSTRACT

Aortic root remodeling was first published in the 1980s. Today's aortic root remodeling is geometrically precisely defined and indicated in every patient with aortic valve regurgitation in aortic root aneurysm. The aim of the work is to evaluate the medium-term results of aortic root remodeling in our conditions and the risk factors that have an impact on this stability.

The work included 103 patients undergoing aortic root remodeling from January 2011 to December 2013. Patient follow-up was performed by echocardiographic control in correlation with the recommendations of the international AVIATOR registry.

The analysis of patient survival focused on survival without reoperation and without the finding of aortic regurgitation of the third and higher degree recorded the hemodynamic stability of aortic root remodeling 4 years after surgery at the level of 89% and 6 years after the surgery at the level of 86%. Univariate regression analysis did not identify any of the compared factors and intraoperative parameters as factors affecting remodeling stability and survival.

Remodeling of the aortic root and reimplantation of the aortic valve today represent an optimal therapeutic strategy for patients with aortic regurgitation and aortic root aneurysm in appropriate anatomical conditions. If the required procedures are followed, the remodeling of the aortic root brings very optimistic results from the point of view of medium-term as well as long-term follow-up.

Keywords:

Aortic regurgitation

Aortic root remodeling

Medium-term results

Adresa pre korešpondenciu: Doc. MUDr. Tomáš Toporcer, PhD., Klinika srdcovej chirurgie, Východoslovenský ústav srdcových a cievnych chorôb, a. s., Ondavská 8, 040 11 Košice, Slovensko, e-mail: topyto@gmail.com

DOI: 10.33678/cor.2024.021

Úvod

Voľba optimálnej terapie pacientov s aortálnou regurgitáciou a aneuryzmou ascendentnej aorty je stále témou odbornej verejnosti. Zatiaľ čo ešte začiatkom tohto storočia bola štandardnou terapiou operácia Bentall De Bono, dnes guidelines Európskej asociácie pre srdcovú a hrudnú chirurgiu odporúčajú pri vhodnej anatómii a dostatočných skúsenostiach pracoviska ako prvú voľbu záchovnú operáciu aortálnej chlopne.^{1,2} Remodelácia aortálneho koreňa bola po prvý krát využitá v 80. rokoch minulého storočia. V deväťdesiatych rokoch sa začala realizovať aj reimplantácia aortálnej chlopne a tieto dve metódy tvoria významnú časť záchovných operácií aortálnej chlopne dodnes (**obr. 1, obr. 2**).¹ Vedecké práce postupne odhaľovali slabé miesta jednotlivých postupov a chirurgické techniky prešli množstvom modifikácií. Časom bola štandardizovaná odporúčaná geometrická výška cípov, kedy je záchovná operácia možná. Rôzni autori štandardizovali optimálnu efektívnu výšku a koaptačnú výšku, kedy je dlhodobá trvácnosť záchovej operácie optimálna. Posledné práce štandardizujú aj veľkosti využívaných protéz a extraaortálnych stabilizačných prstencov.³ Remodelácia koreňa aorty sa tak pri dodržaní všetkých odporúčaných postupov stáva ľahšie, štandardne vykonateľnou a možno povedať, že „umenie je nahradzované matematikou“.

Dnešná remodelácia koreňa aorty je tak prísne geometricky definovaná, čo robí túto metódu uskutočniteľnou v maximálne štandardnom prevedení opakovane.

Materiál a metodika

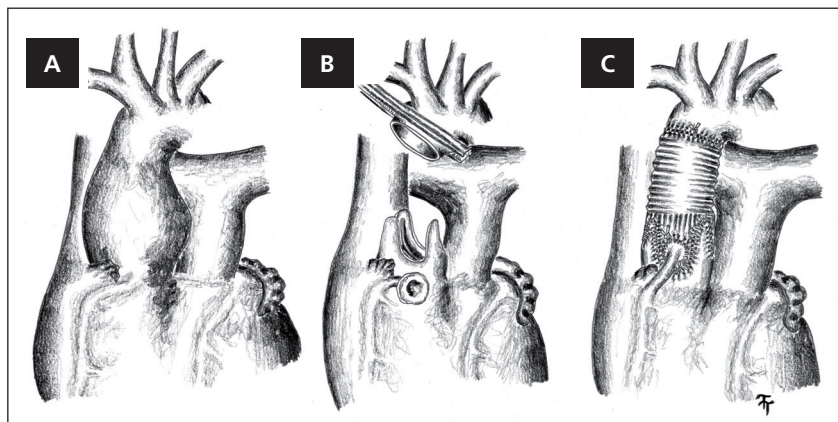
Do retrospektívnej analýzy bolo zaradených 103 pacientov, ktorí podstúpili od januára 2011 do decembra 2023 na Klinike srdcovej chirurgie Východoslovenského ústavu srdcových a cievnych chorôb, a. s., záchovnú operáciu aortálnej chlopne s remodeláciou koreňa aorty. Pacienti boli indikovaní k operácii z dôvodu dilatácie koreňa aorty a/alebo závažnej regurgitácie aortálnej chlopne v korelácii s platnými odporúčaniami Európskej asociácie pre srdcovú a hrudnú chirurgiu.²

U pacientov bola predoperačne, bezprostredne pooperačne, pri prepustení pacienta z nemocnice a následne v pravidelných intervaloch vykonávaná echokardiografická kontrola podľa protokolu medzinárodného registra AVIATOR.⁴ Do štúdie boli zaradené nasledujúce parametre hodnotené v čase operácie: vek pacienta, pohlavie pacienta, body mass index (BMI), NYHA, EuroSCORE, typ chlopne, ejekčná frakcia ľavej komory (LVEF), endsystolický a enddiastolický rozmer ľavej komory (LVESD, LVEDD), závažnosť regurgitácie aortálnej chlopne, diameter prstenca aortálnej chlopne a diameter koreňa aorty, sinotubulárnej junkcie a ascendentnej aorty. Z peroperačných parametrov bolo zaznamenané trvanie mimotelového obehu, trvanie kardioplegickej zástavy, vykonanie, alebo nevykonanie centrálnej plikácie na cípoch chlopne, veľkosť použitého graftu a extraaortálneho prstenca a vykonanie ďalšej konkomitantnej kardiochirurgickej intervencie. Pri poslednej echokardiografickej kontrole boli zaznamenané LVEF, LVESD, LVEDD, stupeň regurgitácie, koaptačná výška, efektívna výška, stredný tlakový gradient na aortálnej chlopni, plocha aortálnej chlopne (AVA), prítomnosť a stupeň mitrálnej regurgitácie a NYHA. Ako primárny cieľový ukazovateľ boli stanované prežívanie, trvanlivosť plastiky (nepodstúpenie reoperácie) a stupeň regurgitácie do 2 (menej ako 3). Prežívanie bolo vyhodnotené Kaplanovou–Meierovou analýzou a vplyv vybraných vstupných parametrov a peroperačných parametrov na prežívanie bol vyhodnotený univariálnou regresnou analýzou.

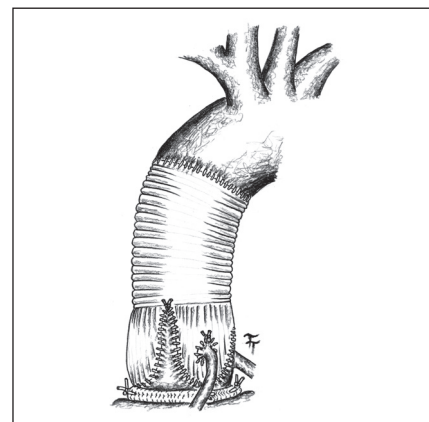
Získané údaje boli spracované programom Microsoft Excell a SPSS v. 20 na hladine štatistickej významnosti $p < 0,05$. Kvantitatívne údaje sú prezentované ako priemer $\pm$ štandardná odchýlka a kvalitatívne parametre sú prezentované v percentách výskytu v skupine.

Výsledky

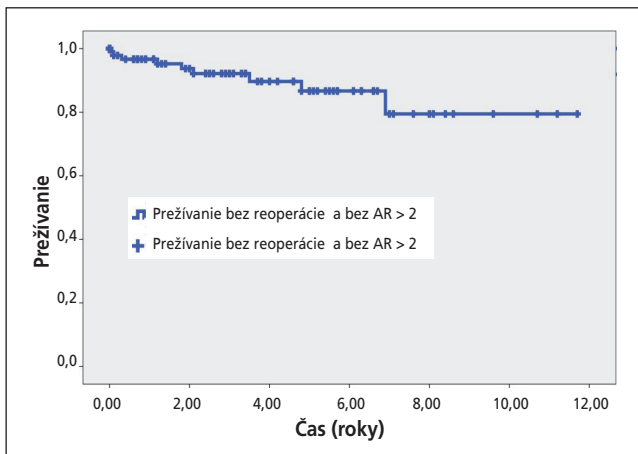
Súbor pacientov tvorilo 89 mužov a 14 žien vo veku $51,4 \pm 13,8$ roka. V čase operácie bolo BMI pacientov $28,6 \pm 4,9$ kg, NYHA $1,9 \pm 0,9$, EuroSCORE $2,3 \pm 2,3$, LVEF $54,6 \pm 6,8$ %, LVESD $46,3 \pm 6,5$ mm, LVEDD $60,2 \pm 7,7$ mm, diameter anulu aortálnej chlopne $28,8 \pm 4,1$ mm, diameter koreňa aorty $50,5 \pm$



Obr. 1 – Nákres remodelácie koreňa aorty. (A) Stav pred operáciou, dilatácia koreňa aorty a ascendentnej aorty. (B) Stav po excízii postihnutej časti aorty s ponechaním aortálnej chlopne a oblúka aorty, s viditeľným vypreparovaným odstupom pravej koronárnej artérie. (C) Stav po remodelácii koreňa aorty, excidovaná časť je nahradená protézou.



Obr. 2 – Nákres remodelácie koreňa aorty s implantovaným extraaortálnym stabilizačným prstencom



Obr. 3 – Kaplanova–Meierova analýza prežívania pacientov bez potreby reoperácie a bez prítomnosti aortálnej regurgitácie stupňa 3 alebo viac

8,4 mm, diameter sinotubulárnej junkcie (STJ) $43,5 \pm 9,7$ mm, diameter ascendentej aorty $48,8 \pm 11,8$ mm. U 40 pacientov bola peroperačne identifikovaná bikuspidálna chlopňa, u všetkých ostatných pacientov bola chlopňa trikuspidálna. U troch pacientov nebola predoperačne zaznamenaná žiadna regurgitácia na aortálnej chlopni, u 4 pacientov bol stupeň regurgitácie 1, u 27 pacientov bola regurgitácia 2, u 63 pacientov bola regurgitácia 3. stupňa a u 3 pacientov 4. stupňa. Dĺžka kardiopulmonálneho bypasu bola 185 ± 46 minút a dĺžka kardioplegickej zástavy 168 ± 50 minút. Zárok na cípoch bol vykonaný u 84 % pacientov a extraaortálna stabilizácia bola vykonaná u 94 % pacientov. Priemerná veľkosť implantovanej valsalvovskej protézy bola $27,4 \pm 1,1$ mm a priemerná veľkosť prstenca $26,4 \pm 1,1$ mm. Konkomitantný výkon bol vykonaný u 37 % pacientov. Konkomitantný koronárny by-pass bol vykonaný u 6 pacientov, hemiarch u 2 pacientov, zárok na trikuspidálnej chlopni u 10 pacientov, zárok na mitrálnej chlopni u 12 pacientov, Cox-MAZE procedúra u jedného pacienta, frozen elephant trunk (FET) u 2 pacientov, oklúzia úška ľavej predsene bola vykonaná u 7 pacientov a oklúzia defektu predsieňového septa u jedného pacienta. Taktiež u jedného pacienta bola vykonaná extra-

anatomická spojka medzi ascendentnou a descendentnou aortou z dôvodu koarktácie aorty.

Priemerné sledovanie pacientov bolo $3,1 \pm 2,9$ roka. Pri poslednej kontrole bola zaznamenaná LVEF $54,5 \pm 6,2$ %, LVESD $42,3 \pm 7,2$ mm, LVEDD $53 \pm 5,5$ mm, regurgitácia na aortálnej chlopni stupňa $0,6 \pm 0,8$, koaptačná výška $8,3 \pm 1,6$ mm, efektívna výška $11,9 \pm 1,6$ mm, stredný gradient na aortálnej chlopni $6,3 \pm 4,8$ mm Hg, AVA $3 \pm 0,6$ cm², mitrálnej regurgitácia stupňa $0,8 \pm 0,6$ a NYHA $1,4 \pm 0,8$.

Na základe Kaplanovej–Meierovej analýzy prežívania pacientov, bez reoperácie a bez zaznamenania regurgitácie na aortálnej chlopni tretieho a vyššieho stupňa bola zistená hemodynamická stabilita remodelácie koreňa aorty v horizonte 4 rokov na úrovni 89 %, v horizonte 6 rokov na úrovni 86 % (obr. 3).

Univariačná regresná analýza neidentifikovala žiaden z porovnávaných vstupných a peroperačných parametrov ako faktor ovplyvňujúci prežitie pacientov bez potreby reoperácie a bez nálezu aortálnej regurgitácie 3. alebo viac (tabuľka 1).

Diskusia

Záchovné operácie aortálnej chlopne s remodeláciou koreňa aorty zaznamenávajú aj v súčasnosti isté metodické posuny. Väčšina autorov sa dnes už prikláňa k stabilizácii aortálneho prstenca implantáciou extraaortálneho prstenca alebo stehu u všetkých pacientov s dilatovaným anulom aortálnej chlopne a veľká časť autorov prezentuje lepšie výsledky pri stabilizácii prstenca u každého pacienta.⁵ Napriek priblíženiu náročnosti so zahrnutím týchto modifikácií k operačného výkonu reimplantácie aortálnej chlopne sú dlhodobé výsledky dostatočné na obhájenie tejto modifikácie. Pri desaťročnom sledovaní je prezentované riziko reintervencie po reimplantácii na úrovni $16,2 \pm 6,1$ % a po remodelácii so stabilizáciou aortálneho prstenca na úrovni $6,6 \pm 3,3$ %.^{6,7} Ďalšou možnosťou modifikácie samotnej plastiky aortálnej chlopne je úprava cípov. Od rozsiahlejšej náhrady poškodených častí cípov perikardom sa dnes už ustupuje. To najmä z dôvodu horších dlhodobých výsledkov a rizika stenotizácie cípov v mieste jeho náhrady či už autológym, alebo heterológ-

Tabuľka 1 – Univariačná regresná analýza faktorov ovplyvňujúcich prežitie pacientov bez potreby reoperácie a bez nálezu aortálnej regurgitácie 3 alebo viac

Parameter	p	Exp(B)	95% CI	
			Dolný	Horný
Vek	0,52	1,02	0,97	1,07
LVEF	0,15	0,98	0,94	1,01
LVESD	0,191	1,024	0,988	1,061
LVEDD	0,262	1,051	0,958	1,154
Typ chlopne (BAV vz. TAV)	0,827	1,16	0,307	4,374
Zásah na cípoch	0,452	25,292	0,005	119925
Anuloplastika	0,582	0,558	0,07	4,467
Iná konkomitantná operácia	0,362	0,481	0,1	2,318

BAV – bikuspidálna aortálna chlopňa; LVEDD – enddiastolický rozmer ľavej komory; LVEF – ejekčná frakcia ľavej komory; LVESD – endsystolický rozmer ľavej komory; TAV – trikuspidálna aortálna chlopňa.

ným perikardom.⁸ Menšie zákroky s ohľadom na pohyblivosť cípu sú však v menšej, alebo väčšej miere realizované aj dnes. Tieto metódy zahŕňujú plastiku komisúr, centrálnu plikáciu cípu, alebo sutúru malých fenestrácií.⁹ Včasné výsledky týchto techník sú optimálne, na dlhodobú stabilitu môže vplývať fibróza okolia šijacieho materiálu alebo samotný mechanický efekt cudzorodého materiálu v cípe chlopne.⁹ Hodges a spol. však napriek predĺženiu trvania kardiopulmonálneho bypassu pri konkomitantnom zásahu na cípoch chlopne prezentujú lepšie dlhodobé prežívanie týchto pacientov (98 % vz. 93 % pri 10-ročnom sledovaní), ako aj nižšie riziko vzniku aortálnej regurgitácie v horizonte 1, 5 a 10 rokov (6,4 %, 10 %, 12 % – bez zásahu na cípoch; 3,5 %, 7,5 %, 7 % – so zásahom na cípoch chlopne).⁹ Ideálne dodržanie požadovanej geometrie cípov, ako aj optimálne echokardiografické parametre bezprostredne po intervencii, sa tak javia byť kritické v dosiahnutí dlhodobej stability chlopne, ktorá by mohla konkurovať v tomto parametri operácii Bentall De Bono. Na druhej strane, autori prezentujú vyššie riziko reziduálnej pooperačnej aortálnej regurgitácie pri zásahu na cípoch chlopne a pri reimplantácii aortálnej chlopne. Zároveň totožná práca identifikuje reziduálnu pooperačnú aortálnu regurgitáciu ako rizikový faktor neskoršej stredne závažnej alebo závažnej aortálnej regurgitácie.¹⁰

Viacere práce porovnávajú zachovnú operáciu aortálnej chlopne s operáciou Bentall De Bono. Niektoré práce dokumentujú podobné dlhodobé výsledky stability aortálneho koreňa. Zachovné operácie sa však vyznačujú významne nižším rizikom tromboembolických a krvácajúcich komplikácií.⁵ Aj práce zamerané na pacientov s poruchou spojivového tkaniva a prolapsom cípov aortálnej chlopne vedúcej k jej regurgitácii prezentujú optimistické pooperačné výsledky po remodelácii koreňa v horizonte sledovania 5 rokov.⁵ Aj strednedobé sledovanie pacientov po remodelácii koreňa aorty s Marfanovým syndrómom vykazujú stabilitu aortálnej chlopne 7,5 roka po operácii na úrovni 90 %.⁶ Totožní autori pri voľbe remodelácie u pacientov s Marfanovým syndrómom popisujú menšie riziko reintervencie v porovnaní s reimplantáciou. Napriek tomu operácia Bentall De Bono podľa autorov znamená stále najnižšie riziko nutnosti reintervencie. Osem rokov po operácii u pacientov s Marfanovým syndrómom autori popisujú rekurenciu regurgitácie závažnejšej ako dva u 25 % pacientov.⁶

Viacere práce dnes porovnávajú výsledky dvoch najčastejšie používaných zachovných operácií aortálnej chlopne: remodeláciu koreňa aorty a reimplantáciu aortálnej chlopne. Napriek tomu, že implantácia extra-aortálneho prstenca pri remodelácii koreňa vyžaduje podobne komplikovanú preparáciu ako reimplantácia aortálnej chlopne, publikované práce prezentujú kratší čas kardiopulmonálneho bypassu ($p = 0,0003$) aj kratší kľem aorty ($p < 0,0001$) pri remodelácii koreňa aorty.¹ Zatiaľ čo meta-analýzy nenachádzajú rozdiel v peroperačnej mortalite pri voľbe jednotlivých operačných stratégií, reimplantácia aortálnej chlopne je zatiaľ menšou neskorou mortalitou ($p = 0,004$). Remodelácia koreňa aorty predstavuje pre pacientov aj vyššie riziko reoperácie ($p = 0,01$), zatiaľ čo pri hodnotení incidencie stredne závažnej alebo závažnej aortálnej regurgitácie nebol medzi technikami nájdený rozdiel. Podľa meta-analýzy predstavujú obe metódy aj podobné riziko náhlej cievnej mozgovej príhody.¹

Vrodené vývojové chyby aortálnej chlopne sú veľmi častým podkladom pre manifestáciu funkčnej chlopňovej chyby v mladom veku.¹¹ Aj štúdie zamerané na zachovné operácie aortálnej chlopne pri jej bikuspidálnej konformácii prezentujú pozitívne výsledky týchto techník. Práce opakovane demonštrujú veľmi dobré dlhodobé prežívanie, minimálnu incidenciu reziduálnej aortálnej regurgitácie a minimálnu incidenciu reoperácií.¹² Dáta sú často podmienené skúsenosťou chirurga s pacientmi s bikuspidálnou aortálnou chlopňou (BAV). Anatómia BAV je mierne odlišná od fyziologickej anatomie a fúzované cípy zaberajú menšiu časť cirkumferencie aortálnej chlopne. Fúzovaný cíp odstupuje v priemere z 55 % cirkumferencie aortálnej chlopne v porovnaní so 67 % pri dvoch cípoch fyziologickej trojcípej chlopne. Navyše fúzovaný cíp odstupuje často vyššie od ventrikuloaortálneho prechodu, čo modifikuje koncovú geometriu chlopne.¹² Výber zachovných operácií aortálnej chlopne pri dilatácii aortálneho koreňa a BAV sa v 85 % prikláňa k reimplantácii aortálnej chlopne a len 15 % pacientov podstupuje remodeláciu koreňa aorty.¹² Reimplantácia ďalej úplne vylučuje biologické tkanivo, ktoré by mohlo na podklade svojich vlastností v spojitosti s prítomnosťou BAV v budúcnosti znamenať riziko dilatácie.

Jednou z posledných metód terapie aneurizmu vzostupnej aorty pri jej včasnejších štádiách je implantácia personalizovaného externého aortálneho stentu. Metóda bola zavedená do praxe v roku 2004 na stabilizáciu ascendentnej aorty u pacientov s Marfanovým syndrómom. Neskôr si našla svoje uplatnenie aj u pacientov s inými ochoreniami tkanív s predispozíciou ku vzniku aneurizmu aorty a s poruchou aortálnej chlopne, predovšetkým u pacientov s bikuspidálnou aortálnou chlopňou. Implantácia na mieru vyrobená vonkajšia podpora ascendentnej aorty tak zastaví, alebo výrazne spomalí progresiu dilatácie aorty a zamedzí, alebo výrazne oddiali vznik poruchy aortálnej chlopne.¹³ Podmienkou pre indikáciu je však zachytenie pacienta v štádiu bez prítomnosti aortálnej regurgitácie, alebo stenózy.

Mitrálna regurgitácia je konkomitantnou diagnózou aortálnej regurgitácie či už z dôvodu spoločnej etiológie u pacientov s genetickou chorobou spojivových tkanív, alebo ako patofyziologický dôsledok zmien ľavej komory pri prítomnosti aortálnej regurgitácie. Pri vhodnej anatomii je tak konkomitantná zachovná operácia oboch chlopní logickým vyústením snahy chirurga o poskytnutie čo najlepšej pooperačnej kvality života pacientovi. Pri vhodnej anatomii aortálnej chlopne dovoľujúcej podstupenie reimplantácie alebo remodelácie sú potom výsledky takejto konkomitantnej operácie optimálne aj z dlhodobého hľadiska stability.¹⁴ Literatúra uvádza pri reimplantácii aortálnej chlopne a zachovnej operácii mitrálnej chlopne peroperačnú mortalitu 6,5 %, 10-ročné prežívanie 79,3 % a stabilitu reimplantácie bez nutnosti reintervencie na úrovni 85,7 %.¹⁴

Záver

Remodelácia koreňa aorty a reimplantácia aortálnej chlopne dnes predstavujú pri vhodných anatomických pomeroch optimálnu terapeutickú stratégiu pre pacientov

s aortálnou regurgitáciou a aneuryzmou koreňa aorty. Napriek celkovému ústupu od veľkých náhrad časti postihnutých cípov sú malé zákroky na cípoch za účelom optimalizácie geometrie aortálnej chlopne indikované a vyžadované. Aj naša predkladaná práca v korelácii s publikovanými prácami zaznamenáva vysokú incidenciu nutnosti tejto intervencie. Ďalšou neoddeliteľnou zložkou stabilizácie aortálneho koreňa je pri jeho remodelácii implantácia extraaortálneho prstenca, ktorá v predkladanom súbore tvorí taktiež väčšinové zastúpenie. Pri dodržaní požadovaných postupov prináša remodelácia koreňa aorty z hľadiska strednedobého, ale aj dlhodobého sledovania optimálne výsledky.

Prehlásenie autorov o možnom stretnutí záujmov

Autori deklarujú, že nemajú potencionálny konflikt záujmov.

Financovanie

Vypracovanie rukopisu nebolo podporené žiadnym grantom, ani externým financovaním.

Prehlásenie autorov o etických aspektoch publikácie a informovaný súhlas

Pacienti zahrnutí do práce podpísali informovaný súhlas s použitím klinických údajov, fotodokumentácie a videodokumentácie za účelom pedagogickej a vedeckej aktivity. Štúdia je v súlade s princípmi Helsinskej deklarácie a usmernení pre správnu klinickú prax.

Literatúra

1. Zhou Z, Liang M, Huang S, et al. Reimplantation versus remodeling in valve-sparing surgery for aortic root aneurysms: a meta-analysis. *J Thorac Dis* 2020;12:4742–4753.
2. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 2022;43:561–632.
3. Giebels C, Ehrlich T, Schafers HJ. Aortic root remodeling. *Ann Cardiothorac Surg* 2023;12:369–376.
4. de Heer F, Kluin J, Elkhoury G, et al. AVIATOR: An open international registry to evaluate medical and surgical outcomes of aortic valve insufficiency and ascending aorta aneurysm. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2019;157:2202.e7–2211.e7.
5. Danial P, Demondion P, Debauchez M, et al. Outcomes of aortic valve-sparing root replacement with cusp repair in connective tissue disease. *Arch Cardiovasc Dis* 2023;116:453–459.
6. Accord RE, Mecozzi G, Aalberts JJJ, et al. Multicentre experience with valve-sparing aortic root replacement by means of combined remodelling and external aortic ring annuloplasty in patients with Marfan syndrome. *Interdiscip Cardiovasc Thorac Surg* 2023;37:ivad200.
7. Chauvette V, Kluin J, de Kerchove L, et al. Outcomes of valve-sparing surgery in heritable aortic disorders: results from the AVIATOR registry. *Eur J Cardiothorac Surg* 2022;62:ezac366.
8. Schneider U, Feldner SK, Hofmann C, et al. Two decades of experience with root remodeling and valve repair for bicuspid aortic valves. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2017;153:S65–S71.
9. Hodges K, Rosinski BF, Roselli EE, et al. Aortic valve cusp repair does not affect durability of modified aortic valve reimplantation for tricuspid aortic valves. *JTCVS Open* 2023;16:105–122.
10. Rosinski BF, Hodges K, Vargo PR, et al. Outcomes of aortic root replacement with tricuspid aortic valve reimplantation in patients with residual aortic regurgitation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2024;167:101.e4–111.e4.
11. Gofus J, Fila P, Vobornik M, et al. Unicuspid Aortic Valve in Patients Undergoing the Ross Procedure. *Ann Thorac Surg* 2023;115:626–631.
12. Wilson-Smith AR, Wilson-Smith CJ, Strobe Smith J, et al. The outcomes of three decades of the David and Yacoub procedures in bicuspid aortic valve patients – a systematic review and meta-analysis. *Ann Cardiothorac Surg* 2023;12:286–294.
13. Du T, Wang W, Wang Y, et al. Research Progress on Aortic Root Aneurysms. *Med Sci Monit* 2024;30:e943216.
14. Burns DJP, Rajeswaran J, Desai MY, et al. Survival and repair durability in patients undergoing concomitant aortic valve reimplantation and mitral valve repair. *JTCVS Tech* 2023;22:159–168.