

Structural valve deterioration

Štrukturálne poškodenie bioprotézy

Vranka I^{1,2}, Fridrich V², Gonçalvesová E¹

¹Kardiologická klinika Lekárskej fakulty UK a Národného ústavu srdcových a cievnych chorôb, a. s., Bratislava, Slovenská republika

Vranka I, Fridrich V, Gonçalvesová E. **Structural valve deterioration.** Cardiology Lett. 2020;29(1):44–49

Abstract. Transcatheter aortic valve implantation (TAVI) has initiated interest about the degenerative process of bioprostheses. Bioprostheses are used in preference over mechanical valves in cardiosurgery and are exclusively used in TAVI procedure. Extending the use of TAVI in low risk group patients (more than 80% of all severe aortic stenosis) and TAVI as a treatment option in younger patients with longer life expectancy increases the importance of longterm durability and reliable function of bioprostheses. Although follow-up data are only medium term, transcatheter bioprostheses does not look worse than surgically implanted. Bioprostheses valve degeneration will become a major cause of cardiovascular morbidity and health care burden over the coming decades. Structural bioprostheses damage is a natural process and is due to the interaction between the patient and the new valve. Until the bioprosthesis fails, degeneration is mostly clinically silent. With the shift of TAVI indication to low-risk and therefore to younger patients, it is important to monitor patients carefully after the implantation of the bioprosthesis using appropriate imaging methods. The principle is a standardised post-implantation reference echocardiographic examination and subsequent regular echocardiographic follow-up with quantification of the set comparable parameters (mean gradient on bioprosthesis, effective orifice area, vena contracta width, regurgitation volume). Detection of patients with signs of early prosthesis degeneration is important for their further safe and effective management, with early prediction of failure of the prosthesis. Reintervention is indicated in the stage of severe structural damage in symptomatic patients, or in asymptomatic patients at low operational risk respectively. Cardiac surgery is considered conventional, but catheter reintervention, valve-to-valve, may be considered in patients at risk. Fig. 5, Tab. 1, Ref. 14, on-line full text (Free, PDF) www.cardiologyletters.sk

Key words: aortic stenosis – bioprosthesis – structural valve deterioration – bioprosthesis failure – TAVI

Vranka I, Fridrich V, Gonçalvesová E. **Štrukturálne poškodenie bioprotézy.** Cardiology Lett. 2020;29(1):44–49

Abstrakt. Transkatérová implantácia aortálnej chlopne (TAVI) spustila intenzívny záujem o problematiku degenerácie a dysfunkcie implantovaných bioprotéz. Kým pri chirurgickej náhrade aortálnej chlopne v súčasnosti dominujú bioprotézy nad mechanickými protézami, tak pri TAVI sa implantujú výhradne bioprotézy. Rozšírenie indikácie TAVI do skupiny pacientov s nízkym operačným rizikom (ide až o 80 % všetkých závažných aortálnych stenóz) a súčasne do skupiny mladších pacientov (s dlhším prežívaním s implantovanou bioprotézou) zvyrazňuje potrebu dlhodobej a spoľahlivej funkcie bioprotéz implantovaných katetrizačne. Doterajšie strednodobé výsledky sledovania ukazujú, že katérové aortálne bioprotézy nezaostávajú za chirurgicky implantovanými bioprotézami. Napriek tomu možno očakávať, že v nasledujúcich dekádach bude štrukturálna degenerácia bioprotéz hlavnou príčinou kardiovaskulárnej morbidity a podstatnou záťažou zdravotníckych systémov. Štrukturálne poškodenie bioprotézy je prirodzený proces a je dôsledkom interakcie medzi telom pacienta a novou chlopňou. Kým bioprotéza nezlyhá, je degenerácia zväčša klinicky nemá. S posunom indikácie TAVI do nízkorizikových a tým aj mladších pacientov je pri aktuálnych poznatkoch a aktuálnej do-

Z ¹Kardiologickej kliniky Lekárskej fakulty Univerzity Komenského a Národného ústavu srdcových a cievnych chorôb, a. s., Bratislava a ²Oddelenia intervenčnej kardiológie, Národný ústav srdcových a cievnych chorôb, a. s., Bratislava, Slovenská republika

Do redakcie došlo dňa 5. februára 2020; prijaté dňa 7. februára 2020

Adresa pre korešpondenciu: MUDr. Ivan Vranka, PhD., Oddelenie intervenčnej kardiológie, Národný ústav srdcových a cievnych chorôb, a. s., Pod Kráskou hôrkou 1, 833 48 Bratislava 37, Slovenská republika, e-mail: ivan.vranka@nusch.sk

stupnosti zobrazovacích metód dôležité správne sledovanie pacientov po implantácii bioprotézy. Zásadou je kvalitné postimplantačné referenčné echokardiografické vyšetrenie a následné pravidelné echokardiografické sledovanie s meraním správnych porovnateľných parametrov (stredný gradient na bioprotéze, plocha efektívneho ústia, šírka vény kontrakta, regurgitačný objem). Selektovanie pacientov so známami včasnej degenerácie bioprotézy je dôležité pre ich ďalší bezpečný a efektívny manažment, s včasnou predikciou zlyhania bioprotézy. Reintervencia je indikovaná v štádiu ťažkého štrukturálneho poškodenia u symptomatických pacientov, respektíve u asymptomatických pacientov s nízkym operačným rizikom. Za konvenčnú sa považuje kardiochirurgická reoperácia, ale u rizikových pacientov možno zvážiť katetrizačnú reintervenciu, chlopňa do chlopne. Obr. 5, Tab. 1, Lit. 14, on-line full text (Free, PDF) www.cardiologyletters.sk

Kľúčové slová: aortálna stenóza – bioprotéza – štrukturálne poškodenie bioprotézy – zlyhanie bioprotézy – TAVI

Dysfunkcia bioprotézy ako široký pojem

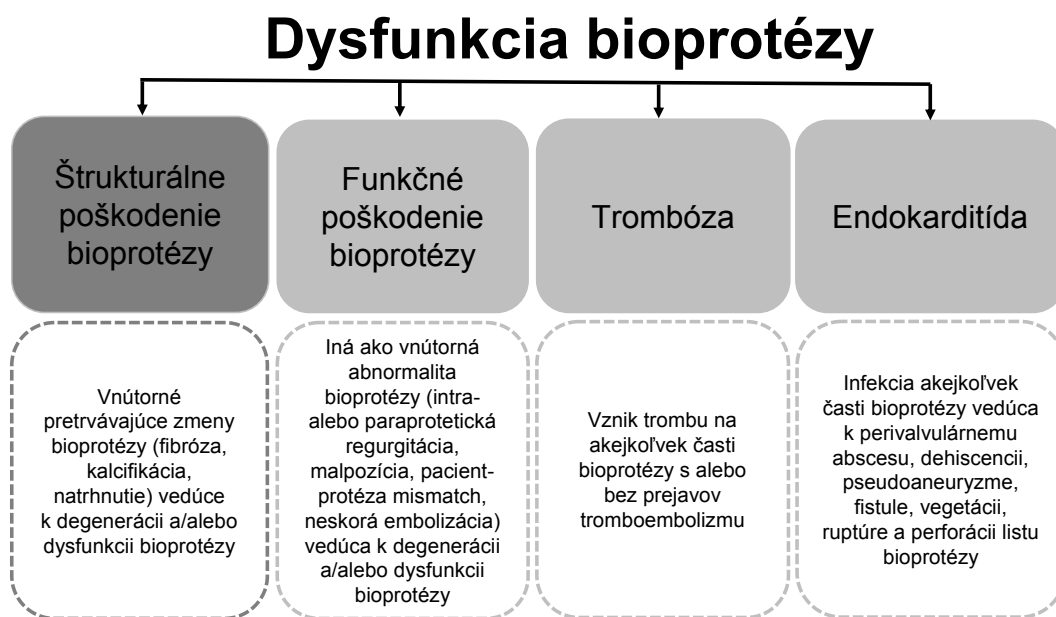
Za termínom „dysfunkcia bioprotézy“ sa skrýva široká škála porúch jej funkcie. Pre ďalšie pochopenie textu je potrebné definovať niektoré dôležité termíny. Rozpoznávame štyri hlavné typy dysfunkcie bioprotézy (**obrázok 1**). Najčastejšou formou dysfunkcie bioprotézy je štrukturálne poškodenie bioprotézy, ktoré súvisí s jej fibrózou a kalcifikovaním. Naopak neštrukturálne poškodenie bioprotézy sa týka technických problémov v súvislosti s jej implantáciou („mismatch“ bioprotézy, paraprotetický leak, malpozícia). Neštrukturálne poškodenie sa prejaví veľmi skoro po implantácii a je na rozdiel od štrukturálneho poškodenia potencionálne reverzibilné. Trombóza a endokarditída bioprotézy sú tiež potencionálne reverzibilné, sú pomerne dynamické a sú charakteristické osobitou etiopatogenezou vyžadujúcou špecifickú terapiu. Uvedené štyri formy dysfunkcie bioprotéz sú často

v reálnych klinických situáciách prepojené a často napokon vedú k štrukturálnemu poškodeniu bioprotézy (1).

Na rozdiel od dysfunkcie bioprotézy je termín zlyhanie bioprotézy zväčša spojený s klinickou symptomatológiou. K zlyhaniu bioprotézy môže viesť ťažký stupeň jej štrukturálnej degenerácie (**obrázok 2**). Za zlyhanie bioprotézy možno považovať aj smrť z kardiovaskulárnych príčin u pacienta s dysfunkciou bioprotézy a tiež potrebu reintervencie dysfunkčnej bioprotézy (1).

Definícia štrukturálneho poškodenia bioprotézy

V doterajších, prevažne kardiochirurgických klinických štúdiách bola hlavným problémom nejednotná a značne variabilná definícia štrukturálneho poškodenia bioprotézy. Za zlyhanie bioprotézy sa považovala zväčša iba potreba reintervencie (re-



Obrázok 1 Príčiny dysfunkcie bioprotézy (modifikované podľa 1)

Zlyhanie bioprotézy



Obrázok 2 Príčiny zlyhania bioprotézy (modifikované podľa 1)

operácie), často bez hodnotenia morfológických a funkčných parametrov postupne degenerujúcej bioprotézy. Reakciou na to bol spoločný konsenzus kardiológov (EAPCI, ESC) a kardiochirurgov (EACTS) z roku 2017, ktorý štandardizoval definíciu a kvantifikoval štrukturálne poškodenie bioprotézy (1). Štrukturálne poškodenie bioprotézy je získaná abnormalita bioprotézy, s poškodením jej cípov alebo podporných štruktúr, ktorá vedie k zhrubnutiu, kalcifikáciám, trhlinám, roztrhnutiu materiálu bioprotézy, s možnou hemodynamickou dysfunkciou prejavujúcou sa ako stenóza alebo regurgitácia. Ide o progresívny, stupňovitý a ireverzibilný proces. K štrukturálnemu poškodeniu bioprotézy nepatrí paraprotetická regurgitácia, pacient protéza mismatch, malpozícia, infekčná endokarditída a trombóza bioprotézy (**obrázok 1**). Morfológické zmeny bioprotézy sú nasledované hemodynamickými zmenami s následnými klinickými prejavmi. Pri definovaní štrukturálnej degenerácie bioprotézy je podstatný stav bioprotézy a nie klinický stav pacienta a už vôbec nie potreba reintervencie. Na **obrázku 3** sú jednotlivé stupne štrukturálneho poškodenia bioprotézy. Štádium 1 predstavuje morfológické štrukturálne poškodenie bioprotézy, bez hemodynamických prejavov. Patrí sem porucha integrity cípov (natrhnutie, „flail“), štrukturálne abnormality cípov (zhrubnutie, kalcifikáty), funkčné abnormality cípov (znížená mobilita) a abnormality kostry bioprotézy („frame“ fraktúra a zlyhanie). V štádiu 2 je prítomná porucha funkcie bioprotézy, teda ide o hemodynamické štrukturálne poškodenie bioprotézy v zmysle stenózy, regurgitácie alebo ich kombinácie. Štádium 3 môže znamenať už zlyhanie bioprotézy s klinickou symptomatológiou. Degenerovaná bioprotéza nemusí vždy vyústiť až do zlyhania bioprotézy. Proces degenerácie nemusí progredovať, môže sa zastaviť v ktoromkoľvek štádiu. Zachytenie štrukturálneho poškodenia v skorších štádiách však signalizuje potencionálny problém do budúcnosti.

Patogenéza štrukturálnej degenerácie bioprotézy a úloha trombózy

Napriek polstoročiu používania bioprotéz v kardiochirurgii vieme málo o patogenéze ich degenerácie. Najnovšie poznatky potvrdzujú predpoklad, že kalcifikácia má domi-

nantnú úlohu pri degenerácii bioprotéz. Nedávna štúdia s využitím pozitronovej emisnej tomografie (PET) poukázala na vychytávanie značeného fluóru (^{18}F -fluoride) mikrokalcifikátmi v tých miestach bioprotézy, kde sú prítomné včasné známky degenerácie jej tkaniva. Tieto včasné poškodenia boli takto dokázateľné už v období, kedy neboli zjavné echokardiografické abnormality funkcie bioprotézy. Uvedené miesta korelujú s následným vznikom makrokalcifikátov (viditeľné na CT), panusu, trombu alebo trhlín tkaniva. Značený fluór sa totiž viaže na metaloproteinázy, ktoré sú prítomné vo zvýšenom množstve v degenerujúcom tkanive bioprotézy. Metaloproteinázy narušujú integritu tkaniva a sú podstatou degenerácie (2).

Nález častých subklinických trombóz bioprotéz implantovaných pri TAVI (7 % – 15 %) rozprúdil v ostatných rokoch diskusiu týkajúcu sa ich významu (3). Ukazuje sa, že aj asymptomatická malá trombóza bioprotézy nemusí byť benígna situácia bez dlhodobých konzekvencií. Trombóza listov bioprotézy môže spúšťať kalcifikačný proces a degeneráciu bioprotézy. To podporuje aj skutočnosť, že absencia perorálnej antikoagulácie vedie k rýchlejšej štrukturálnej degenerácii bioprotézy (4). Naopak, antikoagulačná liečba znižuje riziko zlyhania bioprotézy (5). Aktuálne sa zistilo,

Štádia štrukturálneho poškodenia bioprotézy

Štádium 0	Bez signifikantných zmien od implantácie
Štádium 1	Morfológické abnormality cípov bez hemodynamických zmien
Štádium 2S	Stredne závažná stenóza
Štádium 2R	Stredne závažná regurgitácia
Štádium 2SR	Stredne závažná stenóza a stredne závažná regurgitácia
Štádium 3	Závažná stenóza a/alebo regurgitácia

Obrázok 3 Štádia štrukturálneho poškodenia bioprotézy (modifikované podľa 1)

že na chirurgických bioprotézach sa subklinické trombózy vyskytujú rovnako často ako na transkatérových (6).

Degenerácia bioprotézy je multifaktoriálny proces. Okrem pasívnych zmien spôsobených hemodynamickou záťažou sa na nej zúčastňujú aj aktívne procesy, ako je zápal a tiež imunologické mechanizmy (7). Napriek ošetrovaniu použitého prasačieho alebo hovädzieho biomateriálu glutaraldehydom sa ukazuje, že tento materiál sa správa ako antigén a spúšťa imunitné procesy smerujúce k odhojeniu xenogénneho tkaniva.

Technické odlišnosti aortálnych bioprotéz pri TAVI

V súvislosti s TAVI sa uvádzajú niektoré špecifické skutočnosti, ktoré môžu urýchliť degeneráciu transkatérovu implantovaných bioprotéz. Ide o zvýšený mechanický stres cípov bioprotézy, poškodenie cípov pri „balení“ do katétra, poškodenie chlopne nafúknutím balóna, perzistovanie pôvodnej kalcifikovanej chlopne in situ, malá hrúbka cípov bioprotézy. Vo všeobecnosti tenšie cipy bioprotézy degenerujú skôr. Bioprotézy z hovädzieho perikardu majú väčšiu tendenciu k stenózam a prasačie bioprotézy k regurgitáciám. Stenózy sú častejšie pri stentových bioprotézach a regurgitácie pri bezstentových bioprotézach (8).

Prediktory štrukturálnej degenerácie bioprotézy

Prediktormi štrukturálnej degenerácie bioprotéz sú faktory spojené s pacientom (nižší vek, vyšší BMI), komorbidity (fajčenie, diabetes, metabolický syndróm, dyslipidémia, obličková nedostatočnosť, hyperkalcémia, hyperfosfatémia) a faktory spojené s chlopňou (hypertrofia ľavej komory, menšia bioprotéza, pacient protéza mismatch) (8). V multicentrickom registri s analýzou viac ako 1 500 pacientov sa zistilo, že nezávislými prediktormi degenerácie bioprotézy sú absencia antikogulácie, procedúra chlopňa do chlopne,

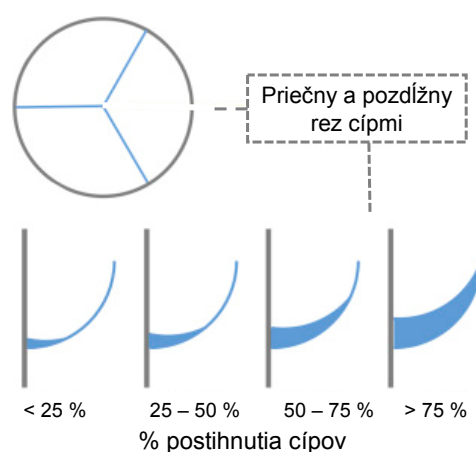
použitie menšej bioprotézy a väčší BMI (6). Veľmi silná sa zdá byť asociácia degradácie bioprotézy s chronickou obličkovou nedostatočnosťou.

Diagnostika štrukturálneho poškodenia bioprotézy

Pri stanovovaní morfológických a hemodynamických zmien degenerujúcej bioprotézy má hlavnú úlohu echokardiografia (transtorakálna, transezofageálna, 3D) a počítačová tomografia (4D CT). Diagnostika poruchy bioprotézy sa pri echokardiografii odvíja dominantne od posudzovania parametrov funkcie. Počítačová tomografia je dominantne morfológická metodika, zobrazujúca štruktúry chlopne a okolitého tkaniva.

Echokardiografia využíva kvantitatívne a semikvantitatívne parametre. Echokardiografické kritériá štrukturálne poškodennej bioprotézy sú v **tabuľke 1**. Transezofageálnu a 3D transezofageálnu echokardiografiu realizujeme najmä pri regurgitáciách na bioprotéze, za účelom odlišenia paraprotetickej a transprotetickej regurgitácie a spresnenia kvantifikácie (9). Percento výskytu stenózy, regurgitácie a kombinovanej chyby je pomerne vyrovnané: 40 %, 30 % a 30 % (10). Za štrukturálne poškodenú bioprotézu vo všeobecnosti považujeme minimálne stredne ťažký a prirodzene tiež ťažký stupeň jej funkčného poškodenia (**tabuľka 1**).

Počítačová tomografia po TAVI sa nemá realizovať rutinne. Podľa nedávnych odporúčaní (11) ju treba zvážiť pri podozrení na trombózu, endokarditídu a štrukturálne poškodenie bioprotézy. Moderné prístroje najnovších generácií (4D CT) dokážu identifikovať lokalizáciu a rozsah zhrubnutia cípov (**obrázok 4** a **obrázok 5**) alebo prípadnú reštrikciu pohybu cípov. Terminologicky sa používajú rádiologické parametre



Obrázok 4 Schéma rozsahu zhrubnutia cípov bioprotézy v % pri vyšetrení počítačovou tomografiou (rozsah HALT – hypo-attenuating leaflet thickening)

Tabuľka 1 Echokardiografické kritériá štrukturálne poškodennej bioprotézy

Štrukturálne poškodenie bioprotézy (respektíve stredne ťažké poškodenie)

Stredný transprotetický gradient ≥ 20 mmHg

Vzostup stredného transprotetického gradientu ≥ 10 mmHg v porovnaní s bazálnym

Transprotetická regurgitácia > ľahká

Zhoršenie alebo nová transprotetická regurgitácia > 1+/4+

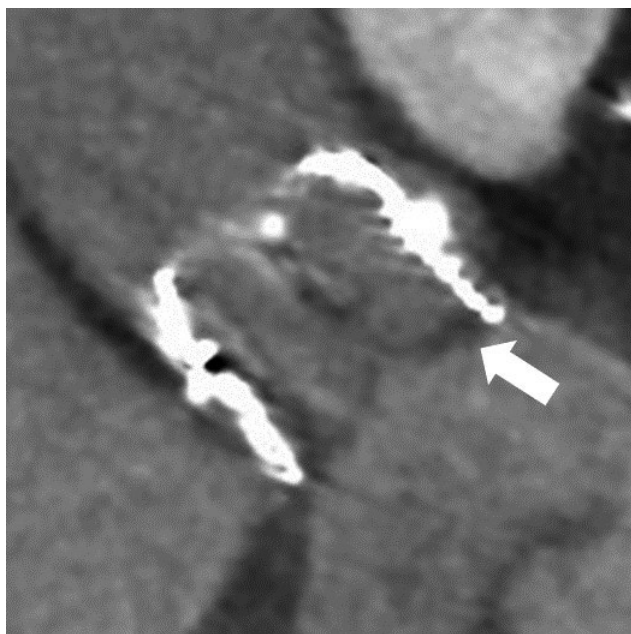
Štrukturálne poškodenie bioprotézy ťažkého stupňa

Stredný transprotetický gradient ≥ 40 mmHg

Vzostup stredného transprotetického gradientu ≥ 20 mmHg v porovnaní s bazálnym

Transprotetická regurgitácia ťažká

Zhoršenie alebo nová transprotetická regurgitácia > 2+/4+



Obrázok 5 Zhrubnutie cípu bioprotézy (HALT) pri vyšetrení počítačovou tomografiou (označené šípkou)

HALT (hypo-attenuating leaflet thickening) a HAM (hypo-attenuation affecting motion).

Sledovanie pacientov s aortálnou bioprotézou

Podľa najnovších odporúčaní pre chlopňové chyby sa má echokardiografia realizovať do 30 dní od chirurgickej alebo intervenčnej implantácie aortálnej bioprotézy a následne raz ročne alebo pri objavení sa nových kardiálnych príznakov (12). V implantačnom centre treba zrealizovať ešte pred prepustením štandardizované echokardiografické vyšetrenie so stanovením postimplantačného stredného gradientu a aj efektívnej plochy bioprotézy (EOA), či doplerovského rýchlostného indexu, respektíve zrealizovať transezofageálne echo pri väčšej ako ľahkej protetickej regurgitácii. Uvedené vyšetrenie bude slúžiť ako referenčné, a budú sa s ním porovnávať prípadné nové zmeny, ktoré vznikli počas sledovania. V prípade zistenia subklinického štrukturálneho poškodenia bioprotézy je potrebné zvýšiť frekvenciu sledovania, aj s využitím ďalších zobrazovacích metód, ako napríklad počítačová tomografia. Je to preto, lebo prechod subklinického štrukturálneho poškodenia do klinicky manifestného je nepredvídateľný. Včasná diagnostika štrukturálneho poškodenia bioprotézy je dôležitá, lebo emergentná reoperácia v štádiu zlyhania bioprotézy má vysokú mortalitu.

Stanovenie závažnosti štrukturálneho poškodenia bioprotézy nie je vždy jednoduché. Je potrebné si uvedomiť, že

vrcholová rýchlosť a stredný gradient sú parametre závislé od prietoku cez bioprotézu. Naopak, efektívna plocha (EOA) a doplerovský rýchlostný index (DVI) sú parametre nezávislé od prietoku. Ich správne a bezchybné stanovenie môže však byť tiež problematické. Pri hodnotení intraprotetickej regurgitácie je dôležitá predovšetkým šírka vény kontrakta a efektívny regurgitačný objem (ERO).

Trvácnosť bioprotéz po TAVI

Najnovšie údaje po šiestich rokoch v štúdiu NOTION ukazujú, že celková mortalita, zlyhanie bioprotézy a neštrukturálne poškodenie bioprotézy sú pri TAVI podobné ako pri chirurgickej náhrade aortálnej chlopne. Štrukturálne poškodenie bioprotézy bolo dokonca významne menej časté pri TAVI v porovnaní s kardiochirurgiou (4,8 % vs. 24 %; $P < 0,001$). Išlo o randomizovanú štúdiu, u nízkorizikových pacientov (STS < 4), s bioprotézami CoreValve (Medtronic) (13).

V britskom registri pacientov po TAVI (UK TAVI) sa zistil veľmi nízky výskyt štrukturálneho poškodenia bioprotézy. Z celkového počtu 241 sledovaných pacientov sa ťažké štrukturálne poškodenie bioprotézy vyskytlo len v jednom prípade a stredne ťažké len u 21 pacientov (8,7 %). Ide o výsledky po 5 – 10 rokoch od implantácie dvoch dominantne používaných chlopní, samoexpandovateľnej CoreValve (u 2/3 pacientov) a balónom expandovateľnej Sapien XT (1/3) u pacientov s rozličným operačným rizikom (14).

Uvedené výsledky sledovania sú len strednodobého charakteru. Dlhodobé údaje stále nemáme k dispozícii. Obdobie 5 – 6 rokov sa považuje za zlomové a v nasledujúcich rokoch sledovania môžeme očakávať rast degenerácie bioprotéz. Vo všeobecnosti majú bioprotézy po TAVI lepšie hemodynamické parametre v porovnaní s kardiochirurgiou. To môže vysvetľovať malé percento degenerácie bioprotéz implantovaných katetrizačne.

Záver

Štrukturálne poškodenie bioprotézy je prirodzený proces a je dôsledkom interakcie medzi telom pacienta a novou chlopňou. Kým bioprotéza nezlyhá, je degenerácia zväčša klinicky nemá. S posunom indikácie TAVI do nízkorizikových skupín a tým aj mladším pacientom je pri aktuálnych poznatkoch a aktuálnej dostupnosti zobrazovacích metód dôležitá správne sledovanie pacientov po implantácii bioprotézy. Zásadou je kvalitné postimplantačné referenčné echokardiografické vyšetrenie a následné pravidelné echokardiografické sledovanie s meraním správnych porovnateľných parametrov (stredný gradient na bioprotéze, plocha efektívneho ústia, šírka vény kontrakta, regurgitačný objem). Selektovanie pacientov s prejavmi včasnej degenerácie bioprotézy je dôležité pre ich ďalší

bezpečný a efektívny manažment, s včasnou predikciou zlyhania bioprotézy. Reintervencia je indikovaná v štádiu ťažkého štrukturálneho poškodenia u symptomatických pacientov, respektíve u asymptomatických pacientov s nízkym operačným rizikom. Za konvenčnú sa považuje kardiochirurgická reoperácia, ale u rizikových pacientov možno zvážiť katetrizačnú reintervenciu, umiestnením ďalšej chlopne do pôvodnej chlopne s ťažkým štrukturálnym poškodením.

Literatúra

1. Capodanno D, Petronio AS, Prendergast B, et al. Standardized definitions of structural deterioration and valve failure in assessing long-term durability of transcatheter and surgical aortic bioprosthetic valves: a consensus statement from the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) endorsed by the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur J Cardiothorac Surg* 2017;52:408-417.
2. Cartlidge TRG, Doris MK, Sellers SL, et al. Detection and prediction of bioprosthetic aortic valve degeneration. *J Am Coll Cardiol* 2019;73:1107-1119.
3. Pache GM, Schoechlin S, Blanke P, et al. Early hypoattenuated leaflet thickening in balloon-expandable transcatheter aortic heart valves. *Eur Heart J* 2016;37:2263-2271.
4. Del Trigo M, Munoz-Garcia AJ, Latib AJ, et al. Impact of anticoagulation therapy on valve hemodynamic deterioration following transcatheter aortic valve placement. *Heart* 2018;104:814-820.
5. Overtchouk P, Guedeney P, Rouanet S, et al. Long-term mortality and early valve dysfunction according to anticoagulation use: The FRANCE TAVI registry. *J Am Coll Cardiol* 2019;73:13-21.
6. Del Trigo M, Munoz-Garcia AJ, Wijeysondera HC, et al. Incidence, timing and predictors of valve hemodynamic degeneration after transcatheter aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol* 2016;67:644-655.
7. Li KYC. Bioprosthetic heart valves: upgrading a 50-year old technology. *Front Cardiovasc Med* 2019;6(47) doi:10.3389/fvc2019.00047.eCollection 2019
8. Bach DS, Rodriguez-Gabella T, Voisine P, et al. Bioprosthetic AVR structural valve degeneration. *Am Col Cardiol* 2017;70:1013-1028.
9. Lancellotti P, Pibarot P, Chambers J, et al. Recommendations for the imaging assessment of prosthetic heart valves: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging endorsed by the Chinese Society of Echocardiography, the Inter-American Society of Echocardiography, and the Brazilian Department of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2016;17:589-590.
10. Côté N, Pibarot P, Clavel MA, et al. Incidence, risk factors, clinical impact, and management of bioprosthesis structural valve degeneration. *Curr Opin Cardiol* 2017;32:123-129.
11. Blanke P, Weir-McCall JR, Achenbach S, et al. Computed tomography imaging in the context of transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR): An expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Am Coll Cardiol* 2019;12:1-24.
12. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. The Task Force for the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Europ Heart J* 2017;38:2739-2786.
13. Sondergaard L, Ihlemann N, Capodanno D, et al. Durability of transcatheter and surgical bioprosthetic aortic valves in patients at lower surgical risk. *J Am Coll Cardiol* 2019;73:546-553.
14. Blackman DJ, Saraf S, MacCarthy PA, et al. Long-term durability of transcatheter aortic valve prostheses. *J Am Coll Cardiol* 2019;73:546-563.