

# Echokardiografické prediktory selhání záchovných operací a plastik aortální chlopně

**Martin Tuna, Pavel Žáček, Miroslav Brtko, Jan Vojáček**

Kardiochirurgická klinika, Fakultní nemocnice Hradec Králové, Univerzita Karlova v Praze, Lékařská fakulta v Hradci Králové

Záchovné operace aortální chlopně jsou chirurgické výkony korigující aortální regurgitaci bez použití chlopnenní náhrady. Zachování vlastní aortální chlopně umožňuje nemocnému vyhnout se rizikům spojeným s náhradou chlopně, je ale spojeno s nejistotou dlouhodobé trvanlivosti rekonstrukce. Úkolem předoperačního a zejména peroperačního echokardiografického vyšetření je odhalit prediktory rizika pozdního selhání rekonstrukce aortální chlopně.

**Klíčová slova:** záchovné operace aortální chlopně, transezofageální echokardiografie, aortální regurgitace, bikuspidální aortální chlopně.

## Echocardiographic predictors of aortic valve repair failure

Aortic valve repairs are interventions correcting aortic regurgitation without the use of artificial heart valves. Avoiding of aortic valve replacement eliminates valve related risks but is, however, associated with uncertain long-term durability of the repair. A task for preoperative and especially intraoperative echocardiography is to detect the predictors of late failure of aortic valve repair.

**Key words:** aortic valve repair, transesophageal echocardiography, aortic regurgitation, bicuspid aortic valve.

## Úvod

Náhrada aortální chlopně nebo současná náhrada aortální chlopně a aortálního kořene byla dosud standardním léčebným postupem u nemocných s aortální regurgitací nebo dilatací aortálního kořene. Přítomnost mechanické nebo biologické chlopnenní náhrady znamená pro nemocného řadu zdravotních rizik, možných komplikací a mnohá omezení v jeho dalším životě. K nejzávažnějším komplikacím patří trombóza umělé chlopně a tromboembolické komplikace, riziko krvácení při nezbytné doživotní antikoagulační léčbě, předčasná degenerace a dysfunkce bioprotéz a v neposlední řadě protetická infekční endokarditida u obou typů náhrad. Kumulativní riziko všech závažných komplikací způsobených přítomností chlopnenní náhrady je až 5 procent za rok (1).

V uplynulých dvou desetiletích sílila snaha o zachování a chirurgickou rekonstrukci nedomykavé aortální chlopně, a to buď izolovanou plastikou aortální chlopně, nebo pomocí komplexní rekonstrukce aortálního kořene (záchovné výkony na aortálním kořeni – operace podle Yacoubu nebo Davida). S postupnou standardizací chirurgických postupů se terminologické rozdíly mezi oběma pojmy stírají, protože i u izolovaných plastik aortální chlopně je nutno věnovat pozornost morfolologii aortálního kořene (anulus, sinotubulární junkce), a naopak záchovné výkony na aortálním kořeni jsou doplňovány o intervence na vlastních cípech aortální chlopně. U morfologicky vhodných nálezů nedomykavosti aortální chlopně lze v současnosti tyto operace považovat za metodu volby. Záchovné operace aortální chlopně jsou v současnosti

podporovány českými, evropskými a americkými doporučenými postupy a stejně jako u plastik mitrální chlopně je patrna tendence k časnější indikaci operace ve srovnání s klasickou náhradou chlopně (2–5).

Zlepšená předoperační a peroperační echokardiografická diagnostika přináší nový pohled na anatomii a funkci aortálního kořene a aortální chlopně. Echokardiografické vyšetření umožňuje poměrně přesně predikovat, je-li nález vhodný k plastice aortální chlopně či nikoli a určit rizikové faktory (prediktory) selhání plastiky během ultrazvukové kontroly na operačním sále.

## Funkční klasifikace aortální regurgitace

Funkční klasifikace aortální regurgitace je obdobně jako klasifikace mitrální nedomyka-

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA:

MUDr. Martin Tuna, martin.tuna@fnhk.cz







Kardiochirurgická klinika FN Hradec Králové, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové

Cit. zkr: Interv Akut Kardiolog 2016; 15(4): 166–171

Článek přijat redakcí: 20. 11. 2015

Článek přijat k publikaci: 27. 10. 2016

**Tab. 1.** Funkční klasifikace aortální regurgitace

Typ I normální pohyb cípů	IA: dilatace sinotubulární junkce	
	IB: dilatace Valsalvských sinů	
	IC: dilatace ventrikuloaortální junkce	
	ID: perforace cípu	
Typ II nadměrný pohyb cípů (prolaps)		
Typ III snížený pohyb cípů		

vosti založena na mobilitě cípů. Rozlišujeme 3 základní skupiny – s normálním, nadměrným nebo sníženým pohybem cípů. Toto rozdělení bylo v r. 1997 popsáno Haydarem (6) pro pediatrické pacienty a v roce 2005 upraveno pro dospělou populaci a publikováno El Khourym (7) (tabulka 1).

První typ s normálním pohybem cípů zahrnuje rozšíření aortálního kořene a ascendentní aorty. Postižení může být lokalizováno na třech úrovních:

- aortální anulus (obr. 1),
- sinusy aortálního kořene (obr. 2),
- sinotubulární junkce a ascendentní aorta (obr. 3).

Dilatace může postihovat pouze jeden segment, častěji je ale postiženo více segmentů současně.

Obvyklým nálezem v této skupině s normálním pohybem cípů (typ I) je regurgitace na trojcípé aortální chlopni, kdy v důsledku dilatace vzestupné aorty dochází k oddálení komisur v oblasti sinotubulární junkce. Tah komisur znemožňuje plnou koaptaci chlopenních cípů a vzniká centrální trojúhelníkovitě regurgitační ústí. Regurgitační proud jde většinou středem výtokového traktu levé komory (obr. 4). Rozšíření vzestupné aorty se velmi často kombinuje s dalšími nálezy, např. s dvoucípou a jednocípou aortální chlopní. Volně se do této oblasti řadí také aortální regurgitace při perforaci cípu chlopně.

Druhý typ tvoří aortální regurgitace s nadměrným pohybem cípů – prolaps (obr. 5).

Tato příčina nedomykavosti je obvyklá pro vrozené vady – bikuspidální a unikuspidální chlopně. Regurgitační proud je u prolapsu cípu excentrický (obr. 6).

Třetím typem jsou aortální regurgitace na podkladě sníženého pohybu cípů. Příčinou jsou degenerativní změny se zhruběním a ztluštěním cípů při jejich fibróze a tvorba kalcifikátů. Výsledkem je restrikce (zkrácení) cípů, která z důvodu nedostatku kvalitní tkáně neumožňuje provedení záchovné operace.

Nejčastěji se jednotlivé typy postižení kombinují. Vrozenou srdeční vadu – bikuspidální nebo unikuspidální aortální chlopeň – velmi často doprovází dilatace vzestupné aorty. V porovnání s chlopni trikuspidální pozorujeme u dvoucípé chlopně výrazně dříve rozvoj degenerativních změn. Právě pokročilá degenerativní postižení cípů chlopně znemožňuje provedení záchovného výkonu s dlouhodobě správnou funkcí chlopně.

## Operační technika

Funkční klasifikace aortální regurgitace předurčuje způsob korekce vady. Záchovné operace aortální chlopně lze rozdělit na dvě základní skupiny:

- výkony na kořeni aorty a ascendentní aortě,
- výkony na cípech aortální chlopně.

První skupinu tvoří záchovné operace u pacientů s pokročilou dilatací aortálního kořene a ascendentní aorty. Významná dilatace představuje riziko ruptury nebo disekce aorty, proto

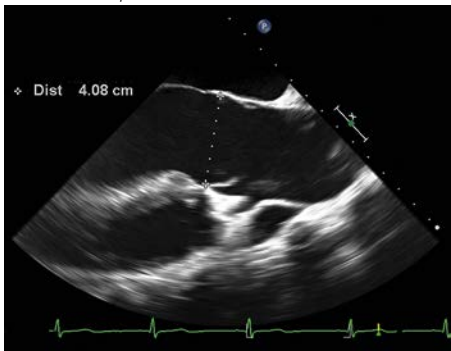
je aorta nahrazena cévní protézou, nativní aortální chlopeň ale zůstane zachována. Zároveň se touto operací vyřeší i funkční aortální regurgitace, která je způsobena změnou geometrie aortálního kořene. V současnosti jsou používány tři základní techniky záchovných operací při tomto typu postižení: remodelace aortálního kořene podle Yacoub nebo reimplantace aortální chlopně podle Davida u pacientů s výdutí aortálního kořene a suprakoronární náhrada vzestupné aorty v případě izolované dilatace ascendentní aorty bez postižení aortálního kořene (obrázky 7–9).

Druhou skupinu tvoří plastiky cípů aortální chlopně. Nedomykavost aortální chlopně je v tomto případě způsobena patologií vlastních cípů chlopně. Nejčastějším nálezem je prolaps cípu u bikuspidální aortální chlopně. Chirurgických technik ke korekci prolapsu je celá řada. Nejčastěji používanou je zkrácení volného okraje cípu centrální plikací (obr. 10).

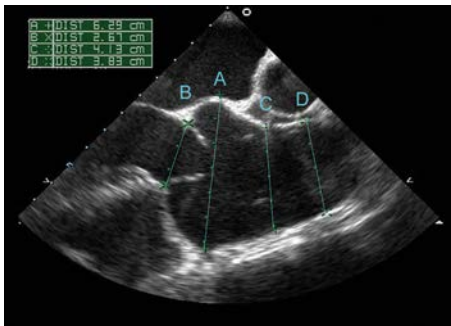
U komplexních nálezů (aneuryzma aortálního kořene a/nebo ascendentní aorty a současně postižení vlastních cípů chlopně) se obě skupiny chirurgických technik kombinují.

Předpokladem dlouhodobě správné funkce chlopně je normalizace rozměrů aortálního kořene a ascendentní aorty. Důležitým aspektem je odstranění nepoměru mezi diametrem aortálního anulu a sinotubulární junkce a velikostí (výškou) aortálních cípů. Dilatace aortálního kořene a ascendentní aorty může mít progresivní charakter i při odstranění chlopenní vady (8). Z těchto důvodů je při indikaci výkonu na aortální chlopni pro její regurgitaci indikována současně i intervence na dilatovaném aortálním bulbu a/nebo vzestupné aortě. Nezbytnou součástí záchovných operací aortální chlopně je normalizace a stabilizace aortálního anulu. Ponechaná dilatace aortálního anulu je významným rizikovým faktorem selhání plastiky (9). V minulosti používané subkomisurální plikace byly nahrazeny intraanulárními a extraaortálními anuloplastikami. Cirkulární techniky prokazují lepší dlouhodobé výsledky (10–12). U komplexních nálezů s výdutí aortálního kořene je používána reimplantace aortální chlopně podle Davida, kdy je požadovaného rozměru a stability aortálního anulu dosaženo všítm aortální chlopně do cévní protězy. Metodou volby našeho pracoviště je remodelace aortálního kořene podle Yacoub doplněná implan-

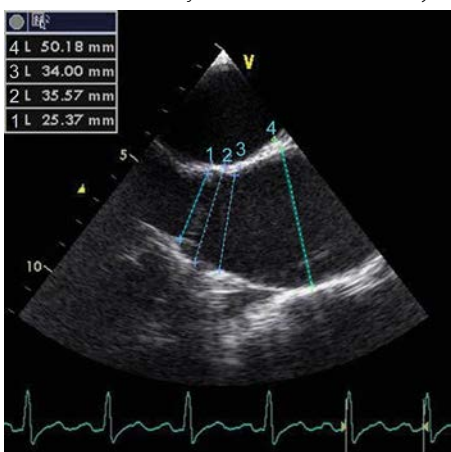
**Obr. 1.** Transezofageální echokardiografie, dilatace aortálního anulu u pacienta s bikuspidální aortální chlopní



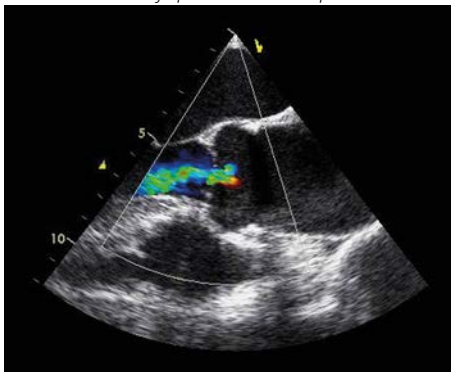
**Obr. 2.** Transezofageální echokardiografie, dilatace aortálního kořene na úrovni aortálního anulu, Valsalvových sinusů a sinotubulární junkce. Nález postižení typický pro pacienty s Marfanovým syndromem



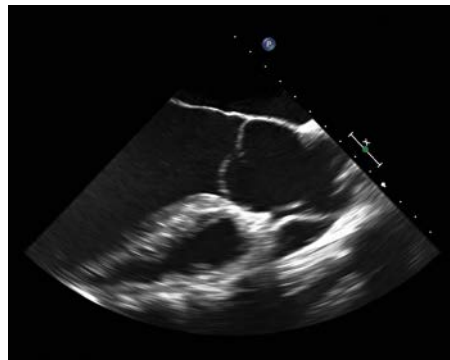
**Obr. 3.** Transezofageální echokardiografie, dilatace sinotubulární junkce a ascendentní aorty



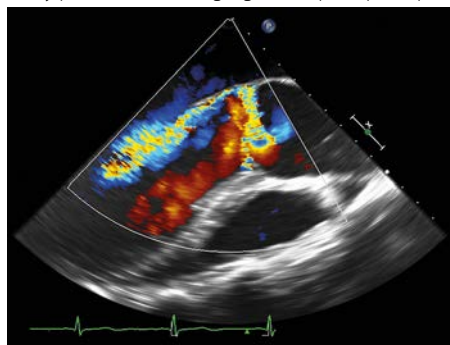
**Obr. 4.** Transezofageální echokardiografie, centrální regurgitační proud typický pro dilataci aortálního kořene u trojčepé aortální chlopně



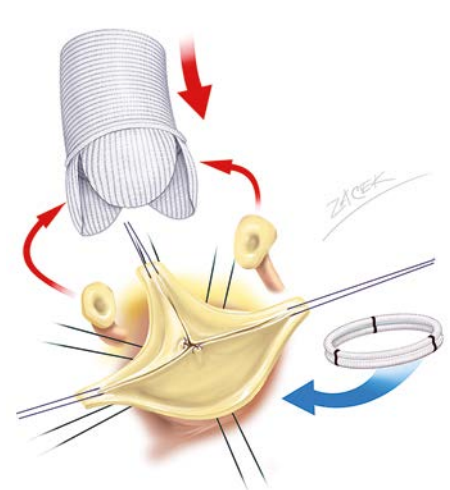
**Obr. 5.** Transezofageální echokardiografie, prolaps fúzovaného cípu bikuspidální chlopně



**Obr. 6.** Transezofageální echokardiografie, excentrický proud aortální regurgitace u prolapsu cípu



**Obr. 7.** Schéma remodelace aortálního kořene podle Yacoubu doplněné implantací expandibilního extraaortálního prstence ke stabilizaci aortálního anulu

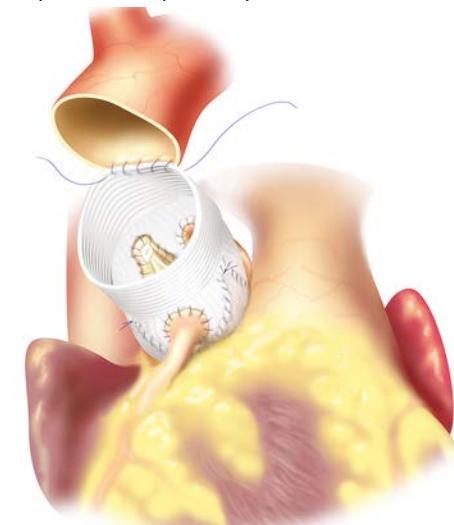


tačí expandibilního extraaortálního prstence, který normalizuje a dlouhodobě stabilizuje aortální anulus (obr. 7).

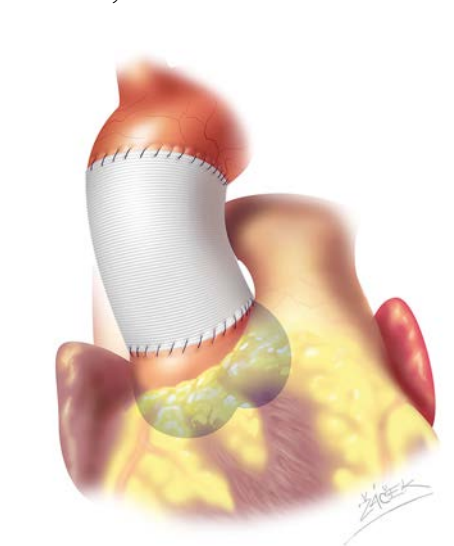
### Prediktory selhání záchovných operací a plastik aortální chlopně

Záchovné výkony na chlopních jsou prováděny s cílem vyhnout se implantaci mechanické protězy, zejména u mladších pacientů. Závažné komplikace spojené s přítomností chlopní náhrady (trombóza protězy a systémová tromboembolie, protězová infekční endokarditida, krvácení při antikoagulační léč-

**Obr. 8.** Schéma reimplantace aortální chlopně podle Davida do Valsalvovské protězy s předvytvorěnými Valsalvovými sinusy



**Obr. 9.** Schéma suprakoronární náhrady ascendentní aorty

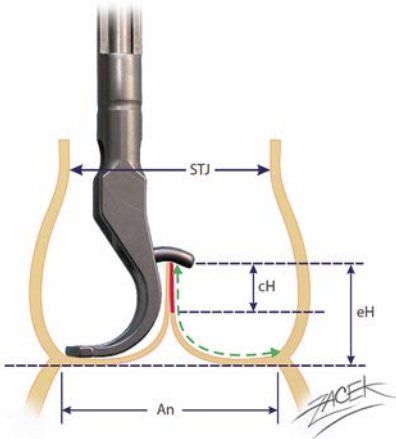


**Obr. 10.** Schéma centrální plikace ke zkrácení volného okraje prolabujícího cípu u bikuspidální aortální chlopně

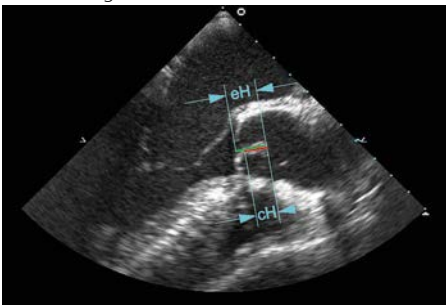


bě) dosahují během 10 let četnosti okolo 50 procent (13). Záchovné operace riziko těchto komplikací minimalizují (14). Jejich nevýhodou je riziko selhání plastiky.

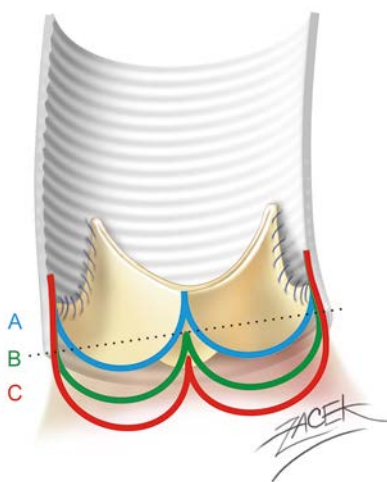
**Obr. 11.** Schéma zóny koaptace a efektivní výšky cípu se zobrazeným kaliperem. An – anulus, cH – coaptation height, eH – efektivní výška cípu, STJ – sinotubulární junkce



**Obr. 12.** Měření zóny neboli výšky koaptace (červená linie, označeno cH – coaptation height) a efektivní výšky cípu (zelená linie, označeno eH – effective height) při peroperační transezofageální echokardiografii

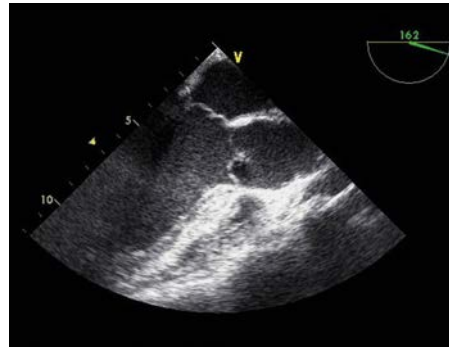


**Obr. 13.** Schéma vztahu bodu koaptace k úrovni dolního okraje implantované cévní protězy. Typ A (modrá linie), bod koaptace je nad úrovní anulu, typ B (zelená linie), bod koaptace je v úrovni anulu a typ C (červená linie) s bodem koaptace pod úrovní anulu

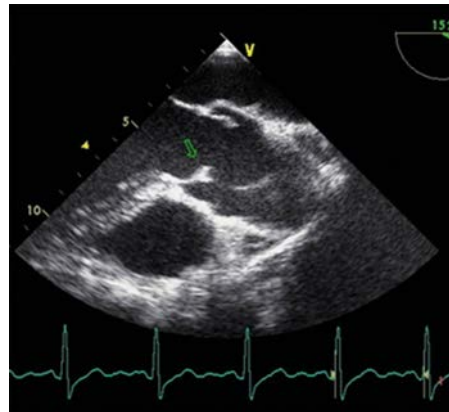


Rozhodující roli v předoperační a peroperační diagnostice zaujímá transezofageální echokardiografie. Při předoperačním vyšetření jícnový ultrazvuk s jistotou rozliší příčinu nedomykavosti aortální chlopně dle funkční

**Obr. 14.** Transezofageální echokardiografie, billowing cípu aortální chlopně; pod rovinu anulu se vydouvá pouze bříško cípu, volný okraj cípu je ve správné výšce nad rovinou anulu a správně koaptuje s druhým cípem



**Obr. 15.** Transezofageální echokardiografie, přirozeně omezené otevírání fúzovaného cípu bikuspidální aortální chlopně



klasifikace a s vysokou spolehlivostí predikuje možnost provedení zachovné operace a jejího typu (15, 16). Peroperační jícnová echokardiografie je zásadním vyšetřením ke kontrole provedeného výkonu. Nález je možno orientačně hodnotit již před odpojením mimotělního oběhu, přesné zhodnocení chlopní plastiky je nutné provést po odpojení mimotělního oběhu a optimalizaci oběhových parametrů (dostatečná náplň srdečních oddílů, dosažení normálních hodnot krevního tlaku a srdečního výdeje). Nejdůležitějším úkolem peroperačního hodnocení je rozlišit nálezy s rizikem časného nebo pozdního selhání rekonstruované chlopně.

Nejdůležitějším rizikovým faktorem selhání zachovného výkonu je ponechání významnější reziduální aortální regurgitace. Přítomnost zbytkové nedomykavosti stupně 2/4 a vyššího je významný prediktor selhání plastiky aortální chlopně s nutností následné reoperace (17, 18). Přijatelná k ponechání je pouze málo významná reziduální aortální regurgitace (1/4 stupně). Důležitá je nejen

přesná kvantifikace reziduální insuficience, ale zhodnocení směru regurgitačního proudu. Excentrický jet je prognosticky závažnější v porovnání s centrálním. Asymetrická regurgitace je často způsobena reziduálním prolapsem cípu, který je sám o sobě silným prediktorem rizika pozdního selhání rekonstruované chlopně, bez ohledu na aktuální významnost reziduální vady. Dalšími příčinami excentrické reziduální aortální regurgitace je retrakce (stažení) nebo restrikce (zkrácení) cípu. Při požadavku dlouhodobě správné funkce chlopně je vhodné tyto peroperační nálezy korigovat. Excentrická regurgitace navíc bývá ve své významnosti často podhodnocena.

Koncept efektivní výšky cípu aortální chlopně publikovaný Schäfersem v roce 2006 je založen na obnovení správných poměrů, jaké jsou přirozené pro zdravou aortální chlopně. Pro zónu koaptace (někdy nazývána také délkou, výškou nebo plochou koaptace) je uváděna hodnota více než 4 mm a pro efektivní výšku chlopně cípu více než 8 mm (obr. 11). Kardiochirurg měří efektivní výšku cípu v průběhu výkonu speciálním kaliperem, následně je po přechodu z mimotělního oběhu kontrolována echokardiograficky (obr. 12). Nedostatečná zóna koaptace a nízká efektivní výška cípu jsou prediktory pozdního selhání rekonstruované chlopně (19–21). Dalším hodnoceným parametrem je vztah roviny koaptace k rovině dolního okraje implantované cévní protězy v případě reimplantace aortální chlopně nebo obecně k úrovni aortálního anulu u všech typů zachovných operací. Rozlišujeme tři typy koaptace: typ A, kdy je rovina koaptace nad úrovní anulu, typ B – rovina koaptace v úrovni anulu, a typ C s rovinou koaptace pod úrovní anulu (obr. 13). Právě poslední uvedený typ (C) je nezávislým rizikovým faktorem pozdního selhání plastiky aortální chlopně (22). Jedná se de facto o jiné vyjádření prolapsu, v současnosti se častěji používá koncept efektivní výšky.

Nejčastějším důvodem peroperační reintervence na rekonstruované chlopně je reziduální prolaps cípu s excentrickou reziduální insuficíencí. Prolaps je nutno odlišit od billowing (vydouvání) cípu. Při billowingu se vydouvá bříško cípu pod rovinu anulu, ale volný okraj cípu je ve správné výšce nad rovinou anulu a dostatečně koaptuje s druhým cípem (cípy,

obr. 14). Vliv vydouvání cípu na dlouhodobou funkci chlopně je nejasný. Dle našich zkušeností mírný billowing cípu při jeho správné koaptaci na rozdíl od prolapsu není hodnocen jako významnější rizikový prediktor selhání plastiky a jeho nález na perioperačním jícnovém ultrazvuku obvykle neznámá indikaci k chirurgické reintervenci.

Dalším nezbytným sledovaným parametrem je průtokový gradient na operované aortální chlopni. Optimálním cílem je fyziologický nebo jen mírně zvýšený průtokový gradient (maximální gradient do 20 mmHg). Zvýšené gradienty mohou vzniknout zejména u bikuspidálních aortálních chlopní. Fúzaný cíp dvoucípé aortální chlopně má již předoperačně přirozeně omezené otevírání (obr. 15). V systole se při svém otevření vydouvá (doming), a to nejvíce v místě raphe. Situaci zhoršuje přítomnost degenerativních změn a kalcifikátů zejména v oblasti raphe. Při zkrácení volného okraje prolubujícího fúzaného cípu dochází současně také k dalšímu snížení jeho otevírání a nárůstu průtokového gradientu. Důležitým atributem je orientace komisur

u bikuspidální aortální chlopně. Chlopeň, která je založena jako trojcípá má orientaci komisur v rozmezí 120–160 stupňů. U této chlopně je otevírání fúzaného cípu přirozeně horší v porovnání s tzv. pravou bikuspidální chlopní, která má orientaci komisur 160–180 stupňů. Při současném výkonu na aortálním kořeni je pro snížení průtokového gradientu na chlopni vhodná změna orientace komisur směrem k hodnotám okolo 180 stupňů (23). Přijatelný je pouze málo významný gradient na rekonstruovaném aortálním ústí – maximální/střední gradient do 30/15 mmHg (24). Hodnoty těchto gradientů nad 40/20 mmHg dle peroperačního transezofageálního vyšetření jsou již indikací k replastice nebo náhradě chlopně. Hodnocení gradientu musí být provedeno současně s morfologickým nálezem na chlopni a otevíráním cípů. Po přechodu z mimotělního oběhu je často přítomna hyperkinetická cirkulace s navýšením gradientu vysokým průtokem přes aortální ústí. V těchto případech bývá gradient na chlopni měřený s časovým odstupem za bazálních podmínek vždy nižší v porovnání s peroperačním. Zvýšený gradient

na rekonstruované aortální chlopni (PGmax nad 20 mmHg) zvyšuje riziko selhání plastiky a nutnosti reoperace (25). Pozdní progresse do významné aortální stenózy je ale u chlopní s vyšším gradientem vzácná, a to i v případě bikuspidální aortální chlopně.

## Závěr

Cípy aortální chlopně a aortální kořen tvoří jednotný celek, přičemž funkce každé části je nezbytná ke správné funkci chlopně. Při zlepšené předoperační a perioperační ultrazvukové diagnostice a propracované chirurgické technice jsou záchovné operace aortální chlopně v současnosti standardní metodou s dobrými dlouhodobými výsledky. Transezofageální echokardiografie je metodou zobrazující komplexní morfologický a funkční nález na chlopni. Umožňuje určit optimální chirurgický přístup ke korekci aortální regurgitace a při perioperačním vyšetření identifikovat prediktory rizika pozdního selhání rekonstruované aortální chlopně.

*Podpořeno programem PRVOUK P37/04.*

## LITERATURA

1. Hammermeister K, Sethi GK, Henderson WG, Grover FL, Oprian C, Rahimtoola SH. Outcomes 15 years after valve replacement with a mechanical versus a bioprosthetic valve: final report of the Veterans Affairs randomized trial. *J Am Coll Cardiol.* 2000 Oct; 36(4): 1152–1158. PubMed PMID: 11028464.
2. Popelova J, Brtko M, Nemeč P. Summary of the ESC guidelines on the management of the valvular heart disease (version 2012). *CorVasa.* 2013; 55: E41–E56.
3. Popelova J, Brtko M, Nemeč P. Comments on the Summary of the ESC guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012). *CorVasa.* 2013; 55: E57–E59.
4. Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, Antunes MJ, Baron-Esquivias G, Baumgartner H, et al. Guidelines on the management of valvular heart disease (version 2012): the Joint Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur J Cardiothorac Surg.* 2012 Oct; 42(4): S1–S44. PubMed PMID: 22922698.
5. Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP, 3rd, Guyton RA, et al. 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Valvular Heart Disease: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol.* 2014 Mar 3. PubMed PMID: 24603192.
6. Haydar HS, He GW, Hovaguimian H, McIrvine DM, King DH, Starr A. Valve repair for aortic insufficiency: surgical classification and techniques. *Eur J Cardiothorac Surg.* 1997 Feb; 11(2): 258–265. PubMed PMID: 9080152. Epub 1997/02/01. eng.
7. El Khoury G, Glineur D, Rubay J, Verhelst R, d'Acoz Y, Poncelet A, et al. Functional classification of aortic root/valve abnormalities and their correlation with etiologies and surgical procedures. *Curr Opin Cardiol.* 2005 Mar; 20(2): 115–121. PubMed PMID: 15711197.
8. Borger MA, Preston M, Ivanov J, Fedak PW, Davierwala P, Armstrong S, et al. Should the ascending aorta be replaced more frequently in patients with bicuspid aortic valve disease? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2004 Nov; 128(5): 677–683. PubMed PMID: 15514594.
9. Lansac E, Di Centa I, Raoux F, Al Attar N, Acar C, Joudinaud T, et al. A lesional classification to standardize surgical management of aortic insufficiency towards valve repair. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2008 May; 33(5): 872–878; discussion 8–80. PubMed PMID: 18258445. Epub 2008/02/09. eng.
10. de Kerchove L, Boodhwani M, Glineur D, Vanduyck M, Vanoverschelde JL, Noirhomme P, et al. Valve sparing-robot replacement with the reimplantation technique to increase the durability of bicuspid aortic valve repair. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2011 Dec; 142(6): 1430–1438. PubMed PMID: 21955470.
11. El Khoury G, Vanoverschelde JL, Glineur D, Poncelet A, Verhelst R, Astarci P, et al. Repair of aortic valve prolapse: experience with 44 patients. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2004 Sep; 26(3): 628–633. PubMed PMID: 15302061. Epub 2004/08/11. eng.
12. Schafers HJ. Aortic annuloplasty: a new aspect of aortic valve repair. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2012 May; 41(5): 1124–1125. PubMed PMID: 22290919.
13. Oxenham H, Bloomfield P, Wheatley DJ, Lee RJ, Cunningham J, Prescott RJ, et al. Twenty year comparison of a Björk-Shiley mechanical heart valve with porcine bioprostheses. *Heart.* 2003 Jul; 89(7): 715–721. PubMed PMID: 12807838. PubMed Central PMCID: 1767737.
14. Aicher D, Fries R, Rodionychewa S, Schmidt K, Langer F, Schafers HJ. Aortic valve repair leads to a low incidence of valve-related complications. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2010 Jan; 37(1): 127–132. PubMed PMID: 19643618.
15. Gallego Garcia de Vinuesa P, Castro A, Barquero JM, Araji O, Brunstein G, Mendez I, et al. Functional anatomy of aortic regurgitation. Role of transesophageal echocardiography in aortic valve-sparing surgery. *Rev Esp Cardiol.* 2010 May; 63(5): 536–543. PubMed PMID: 20450847.
16. le Polain de Waroux JB, Pouleur AC, Goffinet C, Vancaeynest D, Van Dyck M, Robert A, et al. Functional anatomy of aortic regurgitation: accuracy, prediction of surgical reparability, and outcome implications of transesophageal echocardiography. *Circulation.* 2007 Sep 11; 116(11 Suppl): I264–I269. PubMed PMID: 17846315. Epub 2007/09/14. eng.
17. le Polain de Waroux JB, Pouleur AC, Robert A, Pasquet A, Gerber BL, Noirhomme P, et al. Mechanisms of recurrent aortic regurgitation after aortic valve repair: predictive value of intraoperative transesophageal echocardiography. *JACC Cardiovascular imaging.* 2009 Aug; 2(8): 931–939. PubMed PMID: 19679280.
18. Casselman FP, Gillinov AM, Akhrass R, Kasirajan V, Blackstone EH, Cosgrove DM. Intermediate-term durability of bicuspid aortic valve repair for prolapsing leaflet. *Eur J Cardiothorac Surg.* 1999 Mar; 15(3): 302–308. PubMed PMID: 10333027.
19. Aicher D, Langer F, Lausberg H, Bierbach B, Schafers HJ. Aortic root remodeling: ten-year experience with 274 patients. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2007 Oct; 134(4): 909–915. PubMed PMID: 17903506.
20. Bierbach BO, Aicher D, Issa OA, Bomberg H, Graber S, Glombitza P, et al. Aortic root and cusp configuration determine aortic valve function. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2010 Oct; 38(4): 400–406. PubMed PMID: 20219388.
21. Schafers HJ, Aicher D, Langer F, Lausberg HF. Preservation of the bicuspid aortic valve. *Ann Thorac Surg.* 2007 Feb; 83(2): S740–S745; discussion S85–S90. PubMed PMID: 17257919.
22. Pethig K, Milz A, Hagl C, Harringer W, Haverich A. Aortic valve reimplantation in ascending aortic aneurysm: risk factors for early valve failure. *Ann Thorac Surg.* 2002 Jan;

73(1): 29–33. PubMed PMID: 11834030. Epub 2002/02/09. eng.

23. Aicher D, Kuniyama T, Abou Issa O, Brittner B, Graber S, Schafers HJ. Valve configuration determines long-term results after repair of the bicuspid aortic valve. *Circulation*. 2011 Jan 18; 123(2): 178–185. PubMed PMID: 21200006.

24. Pettersson GB, Crucean AC, Savage R, Halley CM, Grimm RA, Svensson LG, et al. Toward predictable repair of regurgitant aortic valves: a systematic morphology-directed approach to bicommissural repair. *J Am Coll Cardiol*. 2008 Jul 1; 52(1): 40–49. PubMed PMID: 18582633.

25. Vohra HA, Whistance RN, de Kerchove L, Glineur D, Noirhomme P, El Khoury G. Influence of higher valve gradient on long-term outcome after aortic valve repair. *Annals of cardiothoracic surgery*. 2013 Jan; 2(1): 30–39. PubMed PMID: 23977556. Pubmed Central PMCID: 3741824.