

Miniinvazivní přístupy v chirurgii aortální chlopně

Ján Gofus, Martin Voborník, Marek Pojar

Kardiochirurgická klinika, Univerzita Karlova, Lékařská fakulta a Fakultní nemocnice Hradec Králové

Aortální stenóza představuje nejčastěji se vyskytující a zároveň i nejčastěji chirurgicky řešenou chlopenní vadu dospělých ve vyspělé společnosti. Trendem moderní chirurgie je přechod od rozsáhlých přístupů k přístupům miniinvazivním, vhodnějším pro pacienta, ale náročnějším pro chirurga. Cílem článku je přiblížit čtenáři problematiku miniinvazivních přístupů v chirurgii aortální chlopně, jejich výhody a nevýhody v porovnání s konvenčním přístupem mediánní sternotomie a předpoklad budoucího směřování těchto trendů (bezstehové chlopně, TAVI, robotická chirurgie). Blíže jsou popsány nejpoužívanější chirurgické miniinvazivní přístupy – parciální horní sternotomie a krátká pravostranná torakotomie.

Klíčová slova: náhrada aortální chlopně, ministernotomie, minitorakotomie, TAVI.

Minimally invasive approaches in aortic valve surgery

Aortic stenosis is one of the most frequent as well as one of the most often surgically treated cardiac valve diseases in adults in modern society. There is a trend in modern surgery to shift from full median sternotomy towards minimally invasive approaches. Obviously, they are more favourable for the patient, but more challenging for the surgeon. The aim of this review is to introduce the topic of minimally invasive approaches in aortic valve surgery, their advantages and disadvantages in comparison with traditional full median sternotomy, and an assumption of future directions of this field (sutureless valve prostheses, TAVI, robotic surgery). The most frequent minimally invasive approaches (upper hemisternotomy and right anterior thoracotomy) are described in more detail.

Key words: aortic valve replacement, ministernotomy, minithoracotomy, TAVI.

Úvod do aortálních vad

Aortální stenóza je nejčastější chlopenní vadou dospělých v moderní společnosti (1). Vzniká na podkladě dvou základních příčin – stařecké degenerativní kalcifikace cípů chlopně a vrozené srdeční vady ve smyslu bikuspidální, resp. unikuspidální chlopně, dozrávající v dospělosti do stenózy. Jiné příčiny (revmatická horečka, familiární hypercholesterolémie, lupus erythematoses či ochrnoza) se vyskytují vzácně a ještě vzácněji dospějí do stadia nutnosti operace (2).

Při aortální stenóze dochází z důvodu zúžení aortálního ústí ke zvyšování afterloadu levé komory a následně k jejímu tlakovému přetížení. Rozvíjí se koncentrická hypertrofie svaloviny, diastolická dysfunkce a později levostranné

srdeční selhání. V klinickém obraze dominuje trojice příznaků – dyspnoe, synkopy a stenokardie. Konzervativní terapie nepřináší větší benefit, proto jediným definitivním řešením vady je náhrada aortální chlopně (AVR – Aortic Valve Replacement) (3).

Druhou skupinu aortálních vad představuje aortální regurgitace, která se projevuje podobně – zejména dušností, únavností, případně stenokardiemi. Tyto symptomy jsou však charakteristicky přítomné až v pozdějším stadiu onemocnění a někdy se objeví v době, kdy je už dysfunkce levé komory ireverzibilní. Při této vadě dochází, na rozdíl od stenózy, k objemovému přetížení levé komory s následnou dilatací a rozvojem systolické dys-

funkce (3). Bývá způsobena skleroticko-degenerativními změnami, vrozenými vadami, dilatací aortálního anulu při dlouhodobé hypertenzi a ateroskleróze, nebo při Marfanově a Ehlers-Danlosově syndromu. Může se rozvinout též akutně, a sice při infekční endokarditidě, disekci aorty typu A (dle Standfordské klasifikace) a při úrazech hrudníku. V jistých případech je možné při operaci chlopně zachovat pomocí plastiky, nicméně většinou je nutná její náhrada (2).

Aortální stenóza a regurgitace se můžou vyskytovat i současně pod obrazem tzv. kombinované aortální vady, obvykle s převahou jedné z těchto složek a s následnou korespondující symptomatologií.

KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA:

MUDr. Ján Gofus, jan.gofus@gmail.com

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

Cit. zkr: Interv Akut Kardiolog 2018; 17(1): 24–28

Článek přijat redakcí: 2. 1. 2018

Článek přijat po přepracování: 2. 2. 2018

Článek přijat k publikaci: 7. 2. 2018

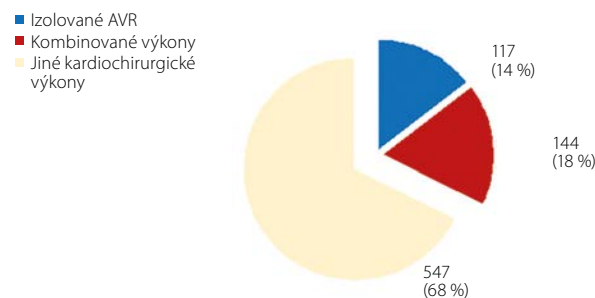
Tab. 1. Přehled retrospektivních studií zaměřených na srovnání miniinvasivního a konvenčního přístupu k aortální chlopni

Studie Autor Rok	Mini-invasivní přístup	Počet pacientů (n) Miniinvasivní / konvenční přístup	Revize pro krvácení (%)	Podávání krevních transfuzí (%)	Délka CxCT (min)	Délka CPB (min)	Pobyt na JIP (den)	Délka UPV (hod)	Hospitali- zace (den)	AF poopera- čně	Poruchy hojení rány (%)	30den- ní mor- tality (%)
Albacker TB 2014 ⁽⁵⁾	UHS	368/287	3/3,8 (p=0,6)	-	-	-	1,125/1,29 (p=0,0007)	14±6,4/ 15±6,2 (p=0,3)	6/7 (p<0,001)	-	0,54/0,69 (p=0,8)	-
Bowdish ME 2016 ⁽¹⁴⁾	RAT	294/198	-	-	58±25 / 59±26 (p=0,8)	79±33/ 81±32 (p=0,34)	2,8±3,8 / 3,2±2,9 (p<0,001)	-	8,2±5,7/ 9,7±5,8 (p<0,001)	29,9/28,8 (p=0,61)	1/6,6 (p=0,001)	-
Ghanta RK 2015 ⁽¹⁷⁾	RAT+UHS	442/899	5,2/2,1 (p=0,12)	24,6/31,8 (p=0,05)	75/73 (p=0,61)	104/103 (p=0,64)	1,79/1,875 (p=0,08)	5/6 (p=0,04)	5/6 (p=0,1)	32,2/28,4 (p=0,6)	-	-
Glauber M 2013 ⁽²⁶⁾	RAT	192/445	-	18,8/34,1 (p=0,006)	86,9±31,8 / 72,1±27,2 (p<0,0001)	121±45/ 107±32,3 (p=0,003)	-	6/8 (p=0,004)	5/6 (p=0,02)	18,1/29,7 (p=0,003)	0/0,7 (p=1)	4±2/ 12±4 (p=0,3)
Neely RC 2015 ⁽⁶⁾	UHS	1 319/1 702	1,6/1,8 (p=1)	20/27,9 (p=0,003)	69/82 (p=0,001)	100/120 (p=0,001)	1,75/1,875 (p=0,039)	5,7/6,3 (p=0,022)	6/7 (p=0,001)	17,6/25,4 (p=0,002)	-	-
Raja SG 2013 ⁽¹⁰⁾	UHS	167/761	6,6/7,6 (p=0,79)	-	75±37 / 85±36 (p=0,28)	51±24/ 62±28 (p<0,0001)	-	-	8/12 (p<0,0001)	-	3,61/5,91 (p=0,32)	0,59/3,15 (p=0,11)
Stoliński J 2016 ⁽²⁰⁾	RAT	68/86	-	-	-	112,8±28,7/ 97,6±17,9 (p<0,01)	1,7 ± 1,6/2,6±2,6 (p=0,003)	7,7±3,6/ 9,7±5,4 (p=0,003)	6±1,5/ 8,1±3,5 (p<0,001)	10,8/19,5 (p=0,147)	0/3,7 (p=0,255)	-

Miniinvasivní přístup / konvenční přístup; "-" – parametr nebyl sledován; UHS – upper hemisternotomie; RAT – right anterior thoracotomy; CxCT – čas klampáže aorty (cross-clamp time); CPB – čas mimotělního oběhu (cardiopulmonary bypass); JIP – jednotka intenzivní péče; UPV – umělá plicní ventilace; AF – fibrilace síní (atrial fibrillation)

AVR, především z důvodu stenózy, je nejčastější kardiologický výkon na srdečních chlopních u dospělých v moderní společnosti (2). Na Kardiologické klinice v Hradci Králové se v roce 2016 uskutečnilo celkem 808 kardiologických operací, z toho aortální náhrada byla realizována ve 261 případech. Ve 117 případech se jednalo o izolovanou náhradu aortální chlopně a ve 144 případech se jednalo o kombinaci s jiným kardiologickým výkonem (graf 1).

Graf 1. Zastoupení aortálních náhrad v souboru kardiologických operací na Kardiologické klinice Fakultní nemocnice Hradec Králové za rok 2016



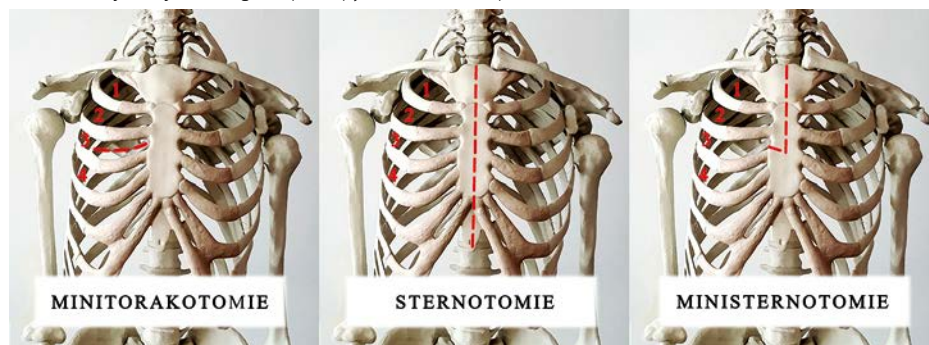
Přístupy k aortální chlopni

Zlatým standardem operačního přístupu v kardiologii je podélná střední (tzv. mediální) sternotomie (obrázek 1, obrázek 2). Tento konvenční přístup poskytuje operátorovi dokonale přehled v operačním poli a umožňuje bezproblémové zavedení kanylu mimotělního oběhu (4). Ačkoliv je tento přístup pro chirurga pohodlný, představuje pro pacienta velkou operační zátěž a v případě, že trpí různými komorbiditami (obezita, chronická obstrukční plicní nemoc, diabetes mellitus a další), může být pooperační průběh, rehabilitace a hojení operační rány značně zkomplikované (5, 6).

V poslední čtvrtině minulého století se v chirurgii začali objevovat trendy k minimalizaci invazivity a tedy snížení operační zátěže pro pacienta. Kardiologie nebyla výjimkou a již v 90. letech se objevují zprávy o miniinvasivních přístupech v koronární a chlopňové chirurgii. V roce 1996 Cosgrove a Sabik poprvé použili k AVR parasternální přístup (7). Následovali je Bennetti a kol., kteří v roce 1997 popsali pravostrannou přední torakotomii (8), a Gundry a kol. prezentující horní parciální sternotomii v roce 1998 (9). Poslední dva zmiňované přístupy představují v současnosti nejpopulárnější miniinvasivní přístupy k aortální chlopni (10). Mimo nich byly popsány i jiné méně invazivní přístupy – transverzální sternotomie (11), dolní parciální sternotomie (12), horní ministernotomie tvaru písmena „V“ (13), které však nenašly kvůli rizikosti, či technické náročnosti v kardiologické komunitě všeobecnou oblibu.

Pravostranná přední torakotomie (RAT – Right Anterior Thoracotomy) začíná kožním řezem délky 5–7 cm v úrovni 2., 3. či 4. mezižebří, obvykle bez nutnosti resekce žebra (možno ale přerušit kostochondrální juncí) a bez narušení integrity hrudní kosti (obrázek 1). Při tomto operačním přístupu je nutné podvázat pravou prsní tepnu, ale samotná náhrada proběhne stejným způsobem, jako při konvenční mediální sternotomii (14, 15).

Obr. 1. Nejčastější chirurgické přístupy k aortální chlopni



Horní parciální sternotomie (UHS – Upper HemiSternotomy) začíná řezem ve střední čáře nad horní polovinou hrudní kosti v délce 8–10 cm. Samotná sternotomie připomíná tvar písmena „J“, protože hrudní kost je rozdělena ve střední čáře shora do úrovně 3–4 mezižebří a následně linie řezu pokračuje doprava do příslušného mezižebří v horizontální rovině, u tohoto přístupu bez nutnosti přerušení pravostranné prsní tepny (obrázek 1, 3, 4, 5). Samotný výkon na srdci probíhá tradičním způsobem a oddělená část hrudní kosti je v závěru operace přiblížena pomocí drátěných kliček (15).

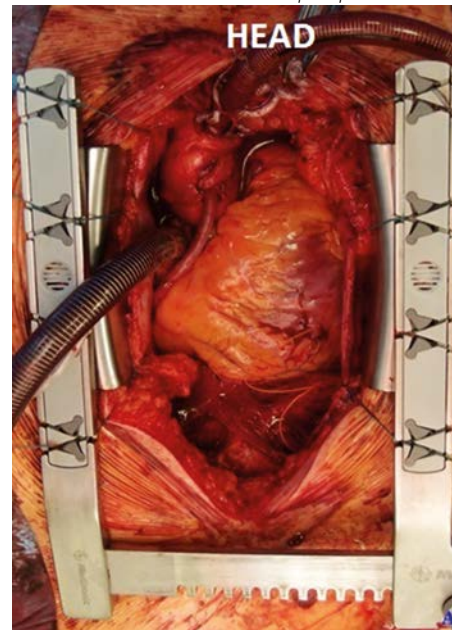
Výhody a nevýhody miniinvasivních přístupů

Mezi výhody miniinvasivních přístupů zcela nepatří jen estetický efekt ve smyslu menší operační rány (tabulka 1). Raja a kol. retrospektivně hodnotili AVR z UHS v porovnání s klasickým přístupem za deset let praxe (167 versus 761 výkonů), přičemž méně invazivní přístup byl spojený s kratší délkou hospitalizace, snížením rizika reintubace a nutnosti mechanické srdeční podpory (10). Stejně tak byla pozorována nižší 30denní mortalita. Nicméně, po vyhodnocení pooperačního sledování, které bylo průměrně $4,0 \pm 2,9$ roku, byla dlouhodobá mortalita u obou skupin srovnatelná. Bowdish a kol. pomocí „propensity-score“ analýzy hodnotili skupinu téměř 500 pacientů, z kterých 294 podstoupilo RAT, ostatní pacienti byli operováni konvenčně (14). V jejich souboru měly obě metody porovnatelnou mortalitu, riziko cévní mozkové příhody a rozvoje pneumonie, statisticky významně však u RAT pozorovali nižší incidenci ranných infekcí, nižší pooperační spotřebu transfuzních přípravků a kratší dobu pobytu na jednotce intenzivní péče a celkové hospitalizace. Také Neely a kol. pomocí propensity-score analýzy popisují soubor 1 319 pacientů, kteří podstoupili AVR

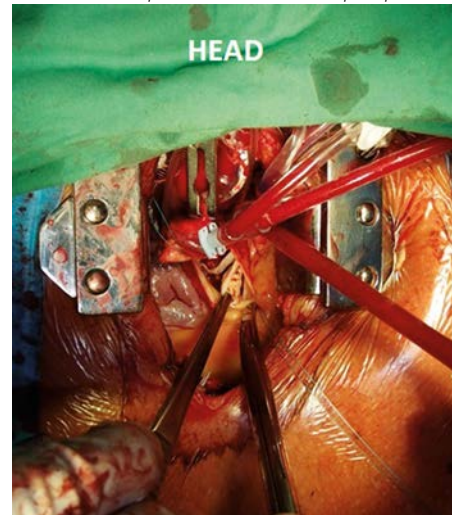
cestou UHS (16). Na rozdíl od předešlé studie nezaznamenali významný rozdíl ve spotřebě transfuzních přípravků. Shodují se s ní však ve výsledcích ohledně kratší délky pobytu v nemocnici a na jednotce intenzivní péče. Pozorují porovnatelnou perioperační a dlouhodobou mortalitu u obou skupin pacientů. Mimo jiného se u miniinvasivní skupiny objevilo i statisticky významně nižší riziko rozvoje fibrilace síní pooperačně.

Vedle single-centre studií je nutné citovat multi-centrickou studii, kterou publikoval Ghant a kol. Hodnotí zde výsledky 17 kardiochirurgických pracovišť z Virginie z let 2011–2013. V rámci této retrospektivní studie podstoupilo miniinvasivní AVR (ať už z přístupu RAT či UHS) 1 341 pacientů (17). V porovnání s mediánní sternotomií hodnotí mortalitu a morbiditu jako ekvivalentní, nižší je však spotřeba transfuzních přípravků, je kratší doba hospitalizace a délka umělé plicní ventilace pooperačně, ve shodě s ostatními studiemi. Mimo toho dokumentují i jednoznačně nižší finanční náklady na celkovou hospitalizaci u miniinvasivně operovaných pacientů. Kirmani a kol. uskutečnili meta-analýzu sedmi prospektivních randomizovaných studií, ve kterých byla použita UHS v porovnání s konvenčním přístupem u celkové 511 pacientů (18). Nebyl zaznamenán významný rozdíl v perioperační mortalitě a v délce hospitalizace. Zaznamenán byl ale trend ke kratší délce hospitalizace u miniinvasivního přístupu. Jednoznačně statisticky významně nižší byly pooperační krevní ztráty, spotřeba transfuzních přípravků a současně kratší doba strávená na jednotce intenzivní péče. Překvapivým zjištěním bylo, že navzdory nižší invazivitě nebyla pozorována menší pooperační bolestivost operační rány a rozdíly v pooperační kvalitě života. Meta-analýzu randomizovaných kontrolovaných studií, porovnávajících UHS s mediánní sternotomií realizoval i Khoshbin a kol. a v úplné shodě

Obr. 2. Mediánní sternotomie pooperačně



Obr. 3. Horní parciální sternotomie pooperačně



prezentuje, že horní parciální sternotomie statisticky významně snižuje čas pobytu na jednotce intenzivní péče, zároveň nevýznamně menší byly i krevní ztráty a délka hospitalizace (19). Tím vyvrací hypotézu, že UHS představuje pro pacienta jen kosmetický benefit.

Důležité místo zastává studie Stolinského a kol., kteří porovnávali respirační funkce u pacientů, kteří podstoupili RAT nebo mediánní sternotomii (20). Statisticky významně lepší výsledky funkčního vyšetření plic týden po operaci měli pacienti po RAT. Lépe obstáli i při vyšetření jeden měsíc a tři měsíce pooperačně, byť rozdíly už nebyly statisticky významné. Stejně tak nevýznamně menší byla u nich i incidence respiračních komplikací. Můžeme předpokládat, že menší invazivita, při zachování celistvosti hrudního koše, vede k rychlejší dechové rehabilitaci po kardiochirurgických operacích, přičemž

Obr. 4. Mediánní sternotomie před dimisí z nemocnice



Obr. 5. Horní parciální sternotomie před dimisí z nemocnice



by logicky z tohoto přístupu mohli profitovat především pacienti trpící chronickou obstrukční plicní nemocí, nebo asthma bronchiale (5).

V kontextu významu zachování stability hrudního koše je nutné vzpomenout i práce, které popisují přístup z mediánní sternotomie v kombinaci s krátkým kožním řezem (do 10 cm). Estetický efekt tu sice zůstane zachovaný, ale ostatní výhody popisované výše (především ve smyslu krevních ztrát a délky pobytu na intenzivní péči) se ztrácejí (21–23).

Ačkoliv jsou miniinvasivní přístupy na jedné straně obecně vzato přínosné pro pacienta, přinášejí na straně druhé jisté nevýhody pro operační tým. První problém těchto přístupů je obtížnost zavedení kanyl mimotělního oběhu, které je často nutné zavádět ne centrálně, ale periferně, tj. cestou femorální tepny a žíly nebo axilární tepny. Tím se invazivita naopak jistým

způsobem zvyšuje – jak to popisuje Ludueña a kol. v práci o komplikacích miniinvasivních výkonů, ale i jiní autoři (14, 15, 24). Glauber a kol., podobně i Miceli a kol., ale zavádějí u všech pacientů mimotělní oběh periferně a připisují tomuto postupu podíl na snížení incidence fibrilace síní – z důvodu omezení manipulace se svalovinou síní při zavádění žilní kanyly (25–27). Druhým problémem je obávané prodloužení času operace, trvání mimotělního oběhu a času srdeční zástavy z důvodu větší technické náročnosti, což by mohlo zvýšit operační zátěž pro pacienta. Některé studie ale uvádějí, že jakmile pracoviště získá zkušenosti s miniinvasivním přístupem, je možné tyto časy dokonce v porovnání s konvenčním přístupem zkrátit (10, 16). Výrazně tomu dopomáhá i zavedení bezstehových chlopní do praxe. U těchto chlopní je možné bez nutnosti stehové fixace implantovat biologickou protézu do aortální pozice při zachování výborných hemodynamických vlastností, současně s dalším snížením délky mimotělního oběhu (28). Třetím problémem je obtížnější odvodu srdečních dutin a realizace všech potřebných manévru, aby se předešlo potenciálnímu rozvoji vzduchové embolie. Jako prevence této komplikace se v kardiochirurgii od konce 60. let minulého století používá insuflace oxidu uhličitého do operačního pole. Ten se mnohonásobně rychleji vstřebává a snižuje riziko rozvoje embolizačních komplikací (29, 30). Posledním problémem je vyšší technická náročnost kontroly krvácení v závěru operace, především v těžko přístupných místech operačního pole. Navzdory tomu je riziko konverze na plnou sternotomii minimální a krevní ztráty jsou srovnatelné či menší než při konvenčním přístupu (10, 14, 16–18). Loor a kol., současně i Plass a kol., doporučují pro další snížení rizika konverze a technické náročnosti výkonu provádět u pacientů před miniinvasivním výkonem CT vyšetření, ideálně i s možností 3D rekonstrukce, které napomůže ke správnému výběru operačního přístupu (31, 32). Při odhalení nevhodných anatomických poměrů je možné pacienta primárně operovat konvenčním přístupem.

Co se týká vzájemného porovnání UHS a RAT, výsledky nejnovějších studií jsou rozporuplné. Statisticky významně větší riziko krvácení a delší doba operace jsou popisované u RAT v porovnání s UHS, jak udávají Fattouch a kol. (15) a stejně tak i Phan a kol. (33). Na druhé

straně Miceli a kol. preferují spíše RAT z důvodu nižšího výskytu pooperační fibrilace síní, kratší doby umělé plicní ventilace, pobytu na jednotce intenzivní péče a celkové doby hospitalizace (27). Nejaktuálnější poznatky v této problematice přináší Balmforth a kol., kteří v práci z roku 2017 hodnotí šest nejrelevantnějších studií, věnujících se této oblasti (34). Udává, že podle dostupných informací mají obě metody ekvivalentní mortalitu. RAT je spojena s kratší dobou hospitalizace, navzdory delšímu mimotělnímu oběhu a klampáži aorty, ale je i finančně náročnější v porovnání s UHS i s mediánní sternotomií. Zároveň potvrzují, že UHS je spojena s menšími krevními ztrátami oproti RAT. V závěru konstatují, že v současné době je nedostatek kvalitních důkazů na zodpovězení této otázky, především chybí kontrovaná randomizovaná prospektivní studie.

Budoucnost miniinvasivních metod

Budoucí směřování miniinvasivních přístupů vede k další redukci délky operace a invazivity operačního přístupu. K prvnímu zmiňovanému může pomoci rozvoj tzv. bezstehových, neboli „sutureless“ chlopní, jejichž principem je expanze a upevnění protézy v požadované poloze bez nutnosti šití (25). Další redukce invazivity je možná s využitím endoskopické techniky v kombinaci se „sutureless“ protézami, tzv. „Totally Endoscopic Aortic Valve Replacement“ = TEAVR. Pomocí kamery a endoskopických nástrojů je možné odstranit poškozenou chlopeň a nahradit ji protézou bez nutnosti narušení integrity hrudního koše, bodovými vstupy přes mezižebříkové prostory. Už nyní jsou publikovány první studie, kde byl tento postup u lidí využit (35, 36). Vyžaduje však extrémně dobrou technickou zručnost a zkušenost s těmito metodami, proto má před sebou ještě dlouhou cestu k všeobecnému rozšíření a uznání v chirurgické společnosti. Potenciálně dalším krokem v tomto směru může být aplikace robotických technologií.

Zcela jinou kapitolou v terapii aortálních vad představuje transkatetrová implantace aortální chlopně (TAVI – „Transcatheter Aortic Valve Implantation“), která byla představena v roce 2002 (37). Při této metodě se periferním cévním přístupem nebo přes srdeční hrot přímo do stenotické chlopně implantuje biologická chlopní náhrada. TAVI nepochybně

představuje přijatelnou a efektivní alternativu k tradiční chirurgické AVR u rizikových a inoperabilních pacientů (38). Minimalizace invazivity u této metody není vyjádřena jenom další redukcí operačního přístupu, ale také absencí mimotělního oběhu a srdeční zástavy. Tyto okolnosti, současně s kratší dobou výkonu, dále snižují míru systémové zánětlivé odpovědi organismu, celkovou operační zátěž a riziko komplikací. Je to však postup finančně náročnější a též má své technické limity – nemožnost uskutečnění výkonu u dvojčipých

aortálních chlopní, při velmi malém nebo velmi velkém aortálním anulu, opatrnost indikace při poškozené funkci levé komory a při infekční endokarditidě (38, 39, 40).

Závěr

I když zlatým standardem chirurgické terapie aortálních vad nadále zůstává náhrada aortální chlopně z mediánní sternotomie, představují miniinvasivní přístupy pro pacienta výhodnou alternativu, a to z důvodu menší perioperační zátěže, nižšího rizika komplikací, a lepšího kosme-

tického efektu. Je u nich dokumentována nižší spotřeba krevních transfuzí, kratší délka pobytu pacienta na jednotce intenzivní péče a kratší délka hospitalizace pooperačně. Jsou finančně výhodnější, méně alterují pooperační respirační funkce a vykazují nižší riziko poruch hojení operační rány. Pokud nejsou ze strany pacienta kontraindikace, jsou tedy preferovaným přístupem, který je všeobecně reprodukovatelný, a je předpoklad, že v budoucnu se stanou metodou první volby chirurgické terapie aortálních vad.

Podpořeno programem PROGRES Q 40/04

LITERATURA

1. Iung B, Baron G, Butchart EG, et al. A prospective survey of patients with valvular heart disease in Europe: The Euro Heart Survey on Valvular Heart Disease. *Eur Heart J.* 2003; 24(13): 1231–1243.
2. Dominik J, Žáček P. Chirurgie srdečních chlopní (nejen pro kardiochirurgy). 1. ed. Praha: Grada Publishing, a.s.; 2008: 367.
3. Aschermann M. Kardiologie. In: P K, editor. Vnitřní lékařství. 4. ed. Praha: Galén; 2011: 175–330.
4. Dominik J. Kardiokirurgie. 1. ed. Praha: Grada; 1998: 215.
5. Albacker TB, Blackstone EH, Williams SJ, et al. Should less-invasive aortic valve replacement be avoided in patients with pulmonary dysfunction? *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014; 147(1): 355–61.e5.
6. Lemaigen A, Birgand G, Ghodhbane W, et al. Sternal wound infection after cardiac surgery: incidence and risk factors according to clinical presentation. *Clin Microbiol Infect.* 2015; 21(7): 674.e11–8.
7. Cosgrove DM, 3rd, Sabik JF. Minimally invasive approach for aortic valve operations. *The Annals of thoracic surgery.* 1996; 62(2): 596–597.
8. Benetti FJ, Mariani MA, Rizzardi JL, Benetti I. Minimally invasive aortic valve replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1997; 113(4): 806–807.
9. Gundry SR, Shattuck OH, Razzouk AJ, del Rio MJ, Sardari FF, Bailey LL. Facile minimally invasive cardiac surgery via ministernotomy. *The Annals of thoracic surgery.* 1998; 65(4): 1100–1104.
10. Raja SG, Benedetto U, Amrani M. Aortic valve replacement through J-shaped partial upper sternotomy. *J Thorac Dis.* 2013; 5(Suppl 6): S662–668.
11. Bridgewater B, Steyn RS, Ray S, Hooper T. Minimally invasive aortic valve replacement through a transverse sternotomy: a word of caution. *Heart.* 1998; 79(6): 605–607.
12. Fenton JR, Doty JR. Minimally invasive aortic valve replacement surgery through lower half sternotomy. *J Thorac Dis.* 2013; 5(Suppl 6): S658–661.
13. Karimov JH, Santarelli F, Murzi M, Glauber M. A technique of an upper V-type ministernotomy in the second intercostal space. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2009; 9(6): 1021–1022.
14. Bowdish ME, Hui DS, Cleveland JD, et al. A comparison of aortic valve replacement via an anterior right minithoracotomy with standard sternotomy: a propensity score analysis of 492 patients. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2016; 49(2): 456–463.
15. Fattouch K, Moscarelli M, Del Giglio M, et al. Non-sutureless minimally invasive aortic valve replacement: mini-

- ternotomy versus mini-thoracotomy: a series of 1130 patients. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2016; 23(2): 253–258.
16. Neely RC, Boskovski MT, Gosev I, et al. Minimally invasive aortic valve replacement versus aortic valve replacement through full sternotomy: the Brigham and Women's Hospital experience. *Ann Cardiothorac Surg.* 2015; 4(1): 38–48.
17. Ghanta RK, Lapar DJ, Kern JA, et al. Minimally invasive aortic valve replacement provides equivalent outcomes at reduced cost compared with conventional aortic valve replacement: A real-world multi-institutional analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015; 149(4): 1060–1065.
18. Kirmani BH, Jones SG, Malaisrie SC, Chung DA, Williams RJ. Limited versus full sternotomy for aortic valve replacement. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017; 4: CD011793.
19. Khoshbin E, Prayaga S, Kinsella J, Sutherland FW. Mini-sternotomy for aortic valve replacement reduces the length of stay in the cardiac intensive care unit: meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ open.* 2011; 1(2): e000266.
20. Stoliński J, Plicner D, Gawęda B, et al. Function of the Respiratory System in Elderly Patients After Aortic Valve Replacement. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2016; 30(5): 1244–1253.
21. Alassar Y, Yildirim Y, Pecha S, Detter C, Deuse T, Reichenspurner H. Minimal access median sternotomy for aortic valve replacement in elderly patients. *J Cardiothorac Surg.* 2013; 8: 103.
22. Luciani GB, Lucchese G. Minimal-access median sternotomy for aortic valve replacement. *J Thorac Dis.* 2013; 5(Suppl. 6): S650–653.
23. Raja SG, Benedetto U. Minimal access aortic valve replacement via limited skin incision and complete median sternotomy. *J Thorac Dis.* 2013; 5(Suppl. 6): S654–657.
24. Ludueña MM, Rastan AJ. Complications and conversions in minimally invasive aortic valve surgery. *Ann Cardiothorac Surg.* 2014; 4(1): 94–98.
25. Glauber M, Ferrarini M, Miceli A. Minimally invasive aortic valve surgery: state of the art and future directions. *Ann Cardiothorac Surg.* 2015; 4(1): 26–32.
26. Glauber M, Miceli A, Gilmanov D, et al. Right anterior minithoracotomy versus conventional aortic valve replacement: a propensity score matched study. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013; 145(5): 1222–1226.
27. Miceli A, Murzi M, Gilmanov D, et al. Minimally invasive aortic valve replacement using right minithoracotomy is associated with better outcomes than ministernotomy. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014; 148(1): 133–137.
28. Concistrè G, Chiamonti F, Bianchi G, et al. Aortic Valve Replacement With Perceval Bioprosthesis: Single-Center Ex-

- perience With 617 Implants. *The Annals of thoracic surgery.* 2018; 105(1): 40–46.
29. Martens S, Neumann K, Sodemann C, Deschka H, Wimmer-Greinecker G, Moritz A. Carbon dioxide field flooding reduces neurologic impairment after open heart surgery. *The Annals of thoracic surgery.* 2008; 85(2): 543–547.
30. Selman MW, McAlpine WA, Albregt H, Tatan R. An effective method of replacing air in the chest with CO₂ during open-heart surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1967; 53(5): 618–622.
31. Looor G, Desai MY, Roselli EE. Pre-operative 3D CT imaging for virtual planning of minimally invasive aortic valve surgery. *JACC Cardiovascular imaging.* 2013; 6(2): 269–271.
32. Plass A, Scheffel H, Alkadhi H, et al. Aortic valve replacement through a minimally invasive approach: preoperative planning, surgical technique, and outcome. *The Annals of thoracic surgery.* 2009; 88(6): 1851–1856.
33. Phan K, Xie A, Tsai Y-C, Black D, Di Eusanio M, Yan TD. Mini-sternotomy or minithoracotomy for minimally invasive aortic valve replacement: a Bayesian network meta-analysis. *Annals of Cardiothoracic Surgery.* 2014; 4(1): 3–14.
34. Balmforth D, Harky A, Lall K, Uppal R. Is ministernotomy superior to right anterior minithoracotomy in minimally invasive aortic valve replacement? *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery [Internet].* 2017; ivx241. Available from: <https://doi.org/10.1093/icvts/ivx241>.
35. Vola M, Fuzellier JF, Campisi S, et al. Total endoscopic sutureless aortic valve replacement: rationale, development, perspectives. *Ann Cardiothorac Surg.* 2015; 4(2): 170–174.
36. Vola M, Fuzellier JF, Campisi S, et al. Closed chest human aortic valve removal and replacement: Technical feasibility and one year follow-up. *Int J Cardiol.* 2016; 211: 71–78.
37. Cribier A, Eltchaninoff H, Bash A, et al. Percutaneous transcatheter implantation of an aortic valve prosthesis for calcific aortic stenosis: first human case description. *Circulation.* 2002; 106(24): 3006–3008.
38. Panayiotides IM, Nikolaidis E. Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI): Is it Time for This Intervention to be Applied in a Lower Risk Population? *Clin Med Insights Cardiol.* 2014; 8: 93–102.
39. Chiam PTL, Chao VTT, Tan S-Y, et al. Percutaneous Transcatheter Heart Valve Implantation in a Bicuspid Aortic Valve. *JACC: Cardiovascular Interventions.* 2010; 3(5): 559–561.
40. Wenaweser P, Stortecky S, Schwander S, et al. Clinical outcomes of patients with estimated low or intermediate surgical risk undergoing transcatheter aortic valve implantation. *Eur Heart J.* 2013; 34(25): 1894–1905.