

Chirurgická léčba mitrální nedomykavosti jako zlatý standard

Pavel Žáček

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

Možnost chirurgicky rekonstruovat nedomykavou mitrální chlopeň byla správně rozpoznána již na počátku 70. let. Systematická analýza mitrální chlopně a ucelený koncept chirurgických zákroků je zásluhou především A. Carpentiera. Stěžejními prvky fyziologické rekonstrukce mitrální chlopně jsou důraz na remodelaci anulu prstencem, uchování pohyblivosti cípů a posílení koaptační zóny. Tyto principy se ukázaly jako trvale platné a mitrální plastiky jsou dnes prováděny v širokém měřítku s vynikajícími výsledky. Chirurgické techniky byly v průběhu let doplněny o další inovativní prvky a v současnosti jsou ve stejné kvalitě prováděny i miniinvasivně a pomocí robotického instrumentária.

Klíčová slova: mitrální regurgitace, mitrální plastika, anuloplastika, kardiochirurgie.

Surgical treatment of mitral incompetence as a gold standard

Reconstructive surgery for mitral regurgitation was initiated already in the early 1970s. A systematic assessment of a regurgitant mitral valve and a comprehensive portfolio of surgical interventions have been valuable contributions by A. Carpentier. Crucial elements are annular remodelling by means of an annuloplasty ring, unrestricted mobility of the valve leaflets, and creation of a large zone of coaptation. These principles have been shown to be consistently valid and mitral repair is nowadays performed extensively with excellent results. Over the years, some additional refinements in the surgical technique have been introduced and, currently, mitral repair can also be performed through a minimally invasive approach or robotically.

Key words: mitral regurgitation, mitral repair, annuloplasty, cardiac surgery.

Postavení mitrální chlopně má ve vývoji chirurgické léčby chlopenních vad řadu mimořádných rysů. Byla to revmatická mitrální stenóza, která si díky své prevalenci a klinické manifestaci vydobyla klinickou pozornost v raných desetiletích 20. století. Koncept řešení mitrální stenózy byl vizionářsky nastíněn již v roce 1915; na konci 40. let byla do klinické praxe uvedena „zkratka“ v podobě naslepo prováděné mitrální komisurolyzy. Objev mimotělního oběhu v roce 1953 otevřel cestu k otevřené mitrální chirurgii a náhradě mitrální chlopně mechanickou protézou v roce 1960 (Albert Starr). Zatímco mitrální komisurolyza byla blahodárnou paliací, náhrada chlopně představovala radikální obnovení chlopenní funkce. Přesto náhrada dodnes znamená amputaci postiženého orgánu

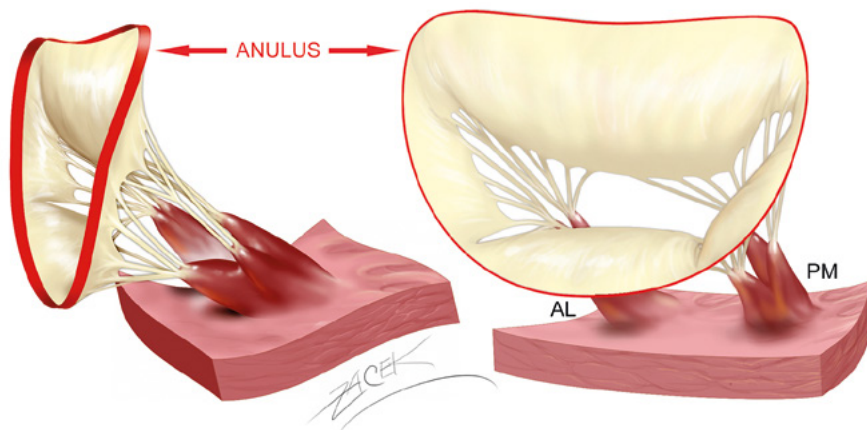
a přináší nemocnému řadu dobře známých limitací.

Otevřená srdeční chirurgie umožnila chirurgům získávat zcela nové poznatky. Je dobré připomenout současným kardiologům a kardiochirurgům, kteří se opírají o nepřeberné množství diagnostických zobrazovacích metod, jak sporé byly diagnostické možnosti před 50–60 lety. Základní fyzikální vyšetření, EKG, rozvíjející se srdeční katetrizace a M-mode echokardiografie byly teprve daleko za dveřmi (1). Za těchto okolností je obdivuhodné, jak brzy si kardiochirurgové – tehdy stejně důvtipní jako současní inovátoři – začali klást otázku, zda lze obnovit domykavost chlopní, jejichž listy byly hebké a dobře pohyblivé. Již na prahu 60. let, v mezích daných soudobými poznatky, byly podniknuty první intuitivní chirurgické intervence zaměřené

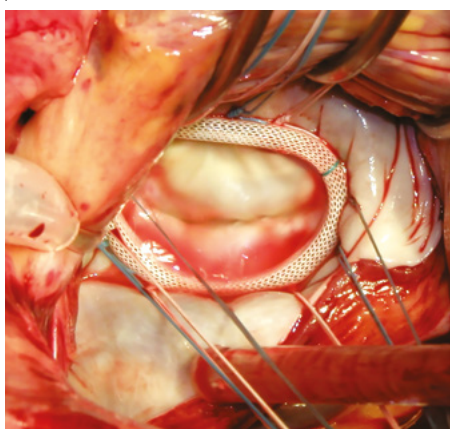
na zmenšení obvodu mitrálního anulu (McGoon, Kay, Wooler, Reed) (2). Zájem o mitrální plastiky byl ale zastíněn nástupem umělých chlopní. Teprve vysoká morbidita spojená s ranými typy chlopenních náhrad vedla k určitému vystřízlivění a obnovenému zájmu o záchranné postupy u mitrální nedomykavosti.

Zásadní postavou ve vybudování rekonstrukční chirurgie mitrální chlopně je francouzský kardiochirurg Alain Carpentier (nar. 1933). Celoživotní inovátor s univerzálním záběrem po celém poli kardiochirurgie, ale zároveň chirurg s obrovskou operační zkušeností, kromě jiného i ve frankofonních rozvojových zemích, začal vyvíjet rekonstrukční postupy chlopenní chirurgie v 70. letech. Svou ucelenou koncepci publikoval v roce 1983 pod názvem „French Correction“ (který je vtipnou aluzí na slavný

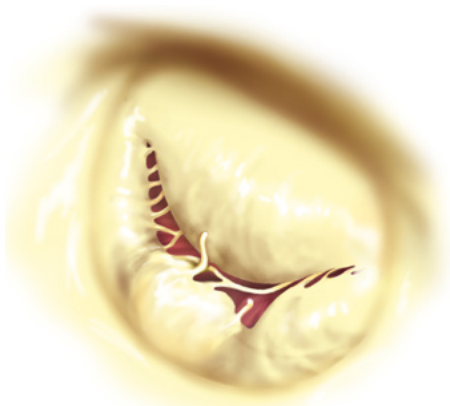
Obr. 1. Funkční komplex mitrální chlopně je podmíněn souhrou 5 komponent: anulu, cípů, šlašinek, papilárních svalů a stěny levé komory



Obr. 2. Implantovaný mitrální anuloplastický prstenec



Obr. 3. Prolaps úseku P2 zadního cípu mitrální chlopně spojený s rupturou šlašinky



soudobý kriminální film) (3). Práce je výjimečná svým vhladem do patofyziologie zejména atrioventrikulárních chlopní a navržené armamentárium postupů má trvalou platnost. Mitrální chirurg, který se bude držet carpentierovských principů neudělá chybu a s vysokou pravděpodobností uspěje v obnovení domykavosti chlopně.

Přitom dynamická fyziologie mitrální chlopně je mimořádně komplexní děj.

Příroda vytvořila obdivuhodné ústrojí, ve kterém není žádný nehybný bod ani pevná struktura. Mitrální chlopeň při svém otevření umožní bez jakékoliv překážky vtok krve z levé síně do levé komory a vzápětí se promění v neprostupnou bázi při expulzi krve levou komorou. Dokonalá funkce je podmíněna morfologií a funkcí 5 komponent: mitrálního anulu, chlopních listů, šlašinek, papilárních svalů a levé komory (Obr. 1). Léze jedné či více těchto komponent vede různým způsobem ke vzniku mitrální nedomykavosti. Carpentier systematicky analyzoval patofyziologii mitrální nedomykavosti a vytvořil svou známou funkční klasifikaci: typ I – normální pohyblivost chlopních cípů, typ II – nadbytečná pohyblivost cípů (prolaps) a typ III – omezená pohyblivost cípů. V 90. letech s epidemiologickým přesunem od revmatických vad k hlubšímu porozumění ischemické mitrální nedomykavosti rozlišil typ IIIa – restrikce otevření (rvmatické retrakce) a IIIb – restrikce zavření (ischemická retrakce). Stanovil i 3 základní principy rekonstruktivní operace: zachování či obnovení plné pohyblivosti chlopních cípů, vytvoření dostatečné plochy koaptace a remodelace a stabilizace anulu.

Anulus

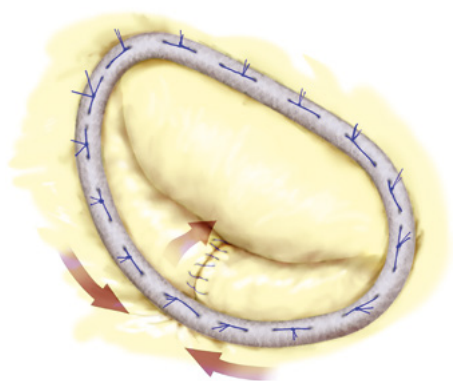
U drtivé většiny mitrálních regurgitací (zejména typu I a II) je přítomná dilatace anulu. Na rozdíl od předchozích intuitivních stehových redukcí obvodu Carpentier navrhl rekonstrukci anulu – tedy zmenšení na velikost adekvátní k ploše chlopních cípů, navrácení optimálního tvaru a trvalou stabilizaci – pomocí anuloplastického prstence (1968) (3). Anuloplastické prstence mají tvar mitrálního anulu v systole,

tedy ledvinkovitý (Obr. 2). Implantace anuloplastického prstence správné velikosti je stěžejní a dnes neodmyslitelný krok u každé mitrální plastiky. Chirurg standardizovaným postupem analyzuje chlopeň a velikost stanovuje pomocí speciální měrky, která se vkládá do interkomisurální vzdálenosti a má pokrýt plochu předního cípu mitrální chlopně. První, tzv. klasický prstenec byl pevný, měl planární tvar a krátké přerušení v oblasti předního cípu, které poněkud kompenzovalo rigiditu prstence. Prstenec byl navržen zejména s ohledem na tehdy časté revmatické vady. Jiní naopak poukazovali na fyziologickou proměnlivost tvaru mitrálního anulu během srdečního cyklu a navrhovali prstence flexibilní (Duran) (4). Postupná proměna spektra nemocných směrem k degenerativním a později ischemickým mitrálním regurgitacím vedla Carpentiera a ostatní k návrhu prostorové konformace prstenců. Prstence Physio jsou semiflexibilní a mají sedlovité vyklenutí úseku A2 (vyhovující systolickému vyboulení aortomitrální kontinuity při expulzi krve výtokovým traktem levé komory) a menší vyklenutí v úseku P2 (5). Prstence navržené pro ischemickou etiologii mitrální regurgitace mají tvar modifikovaný v horizontální rovině i prostorově ve snaze ulevit tahu za segmenty P2–P3 zadního cípu mitrální chlopně (viz dále). Původní předpoklad, že dilataci podléhá pouze anulus zadního cípu, vedl k implantaci neúplných prstenců a flexibilních bandů. Nové poznatky ale ukazují, že i obvod předního cípu může dilatovat a výsledky bandů i flexibilních prstenců nesou vyšší riziko rekurence regurgitace.

Chlopní cípy, šlašinky a papilární svaly

Základní patologií cípů mitrální chlopně (pomineme-li perforaci cípu jako výsledek destrukce infekční endokarditidou) je prolaps cípu. Prolaps (funkční typ II) znamená patologický pohyb části cípu v systole nad rovinu anulu do levé síně tak, že okraj cípu se zcela vysmekne z kontaktu s protilehlým cípem, mezi cípy není žádná zóna koaptace, ale naopak mezera. Prolaps vzniká na základě poruchy závěsného aparátu – elongace nebo ruptury šlašinek (z důvodu degenerace) nebo elongace či ruptury papilárního svalu (vzácněji, z důvodu ischemie) (Obr. 3). Déletrvající

Obr. 4. Plastika pomocí resekce prolabující části zadního cípu a implantace anuloplastického prstence

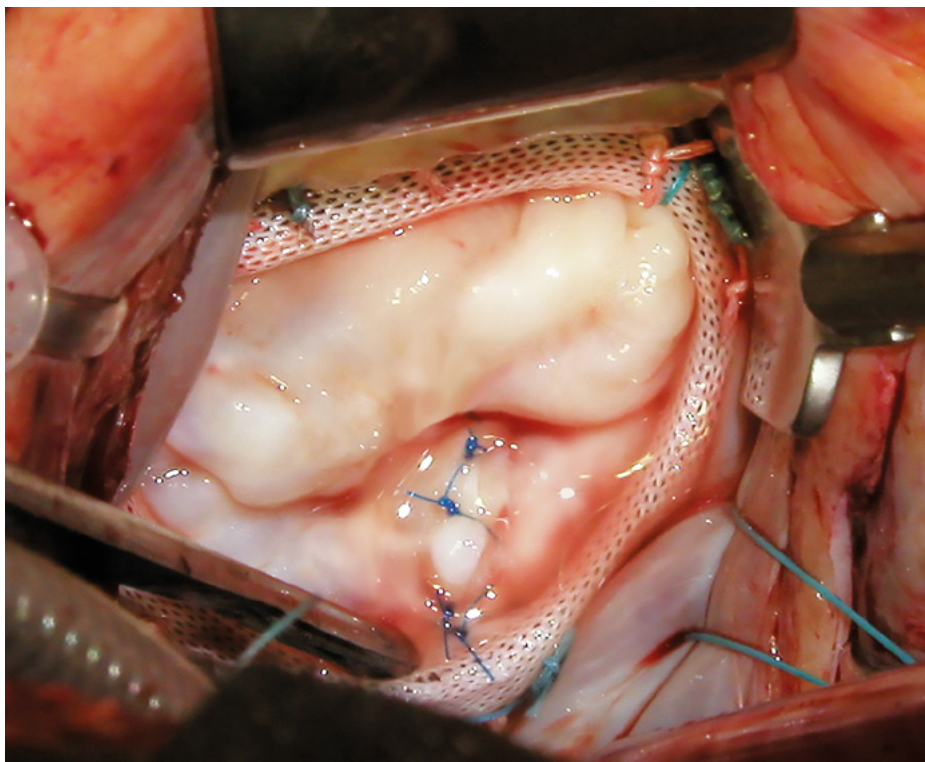


uvolnění závěsu cípu ale vede k rozvoji degenerativních změn přímo ve tkáni cípu. Ve výsledku tak dochází ke vzniku nadbytečné tkáně cípu, která se balonovitě vydouvá do levé síně a dále zhoršuje stupeň nedomykavosti. Nejčastější prolaps postihuje střední část zadního cípu – úsek P2, méně často sousední úseky P1 a P3 a vzácně přední cíp.

Carpentier navrhl dvě cesty řešení prolapsu cípu mitrální chlopně. Především, na rozdíl od předchozích pokusů o plikaci prolabující oblasti cípu, navrhl její přímočarou resekci (3). Podle plošného rozsahu prolapsu lze provést buď triangulární (menší prolaps) nebo kvadrangulární resekci (vytíná se obdélník zadního cípu až k anulu, obnažený anulus se musí plikovat). Zbylé části cípu se sešíjí a doplní se anuloplastika prstencem (Obr. 4, 5). Výsledek je vysoce spolehlivý.

Současně Carpentier navrhl a sám prováděl celý vějíř zkracovacích zákroků na šlašinkách a hlavách papilárních svalů. Využíval sekundární šlašinky, nejrozličnější způsoby manipuloval s hlavami papilárních svalů, od Durana převzal i techniku „flip-over“ – přenos části listu se šlašinkami na protější cíp (6). Jednalo se ovšem o minuciózní chirurgické intervence, obtížně reprodukovatelné v běžné praxi jak geometricky, tak i chirurgickou erudicí. Průlom nastal až tehdy, když David a Frater začali v 90. letech používat místo šlašinek PTFE stehy (Obr. 6) (7, 8). Umělé PTFE šlašinky se osvědčily jako trvanlivá náhrada a umožnily liberální rekonstrukci závěsného aparátu i v případech rozsáhlých prolapsů. Dovednost potřebnou pro správný odhad délky umělých šlašinek usnadnilo i použití předpřipravených svazků šlašinek o předem definované délce (Mohr) (9).

Obr. 5. Stav po úspěšné plastice resekce prolapsu zadního cípu



Standardizace a dobrá reprodukovatelnost rekonstrukcí s použitím PTFE šlašinek vedla ke vzniku alternativní strategie při korekci prolapsu cípu, kdy postižený úsek cípu není resekován, ale pouze vtažen do levé komory do potřebné hloubky. Perier tento koncept zpopularizoval pod názvem RRR – respect-rather-than-resect (10). Smyslem bylo akceptovat nadbytečnou tkáň zadního cípu (s výjimkou excesivních forem Barlowovy choroby mitrální chlopně) a využít k vytvoření dostatečně velké nárazníkové plochy pro koaptaci s předním cípem. Obě strategie – resekce cípu i jeho resuspenze – mají shodně výborné dlouhodobé výsledky; možnou výhodou resuspenzní strategie je užití větších anuloplastických prstenců (11). Jako podstatnější se ukázalo, že rekonstrukce mitrální chlopně pomocí PTFE šlašinek usnadňuje výkony, prováděné miniinvazivním přístupem nebo roboticky (12).

Do výčtu chirurgických technik patří i edge-to-edge mitrální plastika. Tu navrhl Alfieri v roce 1991 jako alternativní řešení při prolapsu jednoho nebo obou cípů (13). Spojením obou cípů vytvořil chlopeň o dvou ústech, kterou doplnil anuloplastikou prstencem. Technika nikdy nebyla jednoznačně přijata, protože ji chirurgové vnímali jako nefyziologickou mutaci chlopně, popírající

Obr. 6. Princip použití umělých šlašinek PTFE



principy volné pohyblivosti chlopních cípů. Používá se výjimečně jako hraniční řešení ve složitých situacích nebo při intraoperační dynamické mitrální regurgitaci při SAM (systolic anterior motion) předního cípu. Jak ukázal pozdější vývoj, koncept spojení obou cípů mitrální chlopně byl přenesen mimo kardiologii do oblasti perkutánních strukturálních intervencí (Mitraclip). Zde ovšem není doplněn remodelující anuloplastikou.

Specifické situace

Mezi specifické situace patří mitrální regurgitace u chlopní, jejichž cípy nesou známky určitého stupně fibrotického posti-

žení, ztuhlosti nebo i přítomnosti kalcifikací. Carpentier, v kontextu doby vzniku French correction a své rozsáhlé operační zkušenosti s revmatickými vadami v rozvojových zemích, vypracoval celou řadu chirurgických zásahů, kterými lze rozvolnit fibrotický závěsný aparát či srůsty komisur. V současnosti jsme při nálezů zhoršené poddajnosti cípů rezervovaní a preferujeme náhradu chlopně. Tyto chlopně sice lze rekonstruovat, ale vznik mitrální stenózy ve střednědobém horizontu je vysoce pravděpodobný.

Chirurgicky náročné jsou rekonstrukce mitrálních chlopní, postižených excesivní myxomatózní degenerací a nejčastěji sdružené pod eponymem Barlowova choroba; obdobně nesnadné jsou nálezy u Marfanova syndromu a jiných postižení pojivové tkáně. Typický obraz pokročilé Barlowovy choroby znamená dilataci anulu s atriální disjunkcí a velký nadbytek tkáně obou cípů, které jsou bizarně laločnatě malformované a vzhledem k elongaci šlašinek hluboce prolabují do levé síně. Chirurg musí respektovat dilataci anulu (velký anuloplastický prstenec), vypořádat se s prolapsem (PTFE šlašinky) a zejména s nadbytkem tkáně zadního cípu, který snadno vyvolá pooperační SAM. Řešením je modifikovaná resekce zadního cípu (sliding plasty), kterou se sníží i výška cípu. V rukou zkušeného chirurga mají i tyto komplexní nálezy vysokou pravděpodobnost úspěšné plastiky.

Specifickým nálezem je i ischemická mitrální nedomykavost, tedy funkční typ IIIb – restriktivní porucha systolického uzavěru chlopně. Tyto chlopně jsou strukturálně normální a mají normální, nebo jen mírně dilatovaný anulus. Příčinou dysfunkce je geometricky abnormální tah na závěsný aparát, způsobený remodelací levé komory při ischemické kardiomyopatii. Dnešní echokardiografie dokáže tyto chlopně dobře analyzovat a kvantifikovat jev tzv. tentingu chlopně.

Chirurgové se i těmito nemocným snažili nabídnout rekonstrukci jako výhodnější než náhradu umělou chlopní. Bolling již od roku 1995 navrhoval významně reduktivní anuloplastiku (undersizing), později užití flexibilních prstenců (14). Pozdější echokardiografické analýzy, rozlišující mezi symetrickou a asymetrickou dilatací levé komory, vedly k navržení specificky 3D konformovaných prstenců IMR ETlogix (asymetrický úsek P3, snížený do levé komory) a Geoform (významné sedlovité zvýšení úseku P2 a zmenšený předozadní rozměr), s potenciálně slibnými výsledky (15, 16). Pro snížení tahové restrikce cípů a přiblížení ke koaptační zóně bylo navrženo rozšíření plochy cípů záplatou z perikardu (opuštěno pro časnou degeneraci záplaty) nebo přetěti sekundárních šlašinek (s diskutabilním vlivem na vývoj geometrie levé komory) (17, 18). Ke korekci stěžejního patofyziologického prvku, tedy dislokace a oddálení papilárních svalů v dilatované levé komoře bylo navrženo několik chirurgických intervencí (resekce a přemístění papilárních svalů, sblížení papilárních svalů smyčkou, vytažení hlav tahem k anulu) (19–23). Žádný z těchto postupů ale nedospěl ke standardizaci a bezpečné reprodukovatelnosti. Nelze zapomínat, že léčbou ischemické mitrální regurgitace je i optimální revaskularizace (24). Platí ovšem, že volba chirurgické strategie u tohoto funkčního typu nedomykavosti je nesnadná a v přítomnosti významných prediktorů selhání plastiky je, po komplexním zvážení všech individuálních faktorů, rovnocennou volbou náhrada chlopně (25).

Závěrem

Rekonstrukční chirurgie mitrální nedomykavosti patří mezi nejskvělejší kapitoly kardiochirurgie. Tento výrok není patetický, uvědomíme-li si, jak záhy po „velkém“ nástupu kardiochirurgie na počátku 60. let byl rozpoznán význam obnovení domykavosti při

současné zachování vlastní nativní chlopně. Vizionářský systémový analytický přístup a odpovídající strukturované kompendium chirurgických zásahů jsou především grandiózním přínosem Alaina Carpentiera. Jím vytyčené principy a chirurgické techniky jsou i po půl století zcela platné a spolehlivé. Při jejich dodržení chirurg s vysokou reprodukcibilitou dosáhne úspěchu. Anuloplastika prstencem (bez jednoznačného vlivu konkrétního typu) je zásadním předpokladem pro trvalou dobrou systolickou funkci mitrální chlopně. Mitrální plastiky se provádějí s velmi nízkým operačním rizikem, ve velkých počtech a v celosvětovém měřítku. Nízká pooperační „valve-related“ morbidita, nízké riziko endokarditidy a velmi dobré dlouhodobé výsledky byly potvrzeny bezpočtem studií. Bezkonkurenční výhodou chirurga je možnost zasáhnout anatomicky přesně v jakémkoliv rozsahu na kterékoliv části funkčního komplexu mitrální chlopně. Je nesnadné si představit, že by perkutánní intervence mohly dosáhnout stejné kauzální přesnosti; vzhledem ke zřejmým morfologickým překážkám jsou dosud prováděné intervence na mitrální chlopní spíše *sui generis* zástupnou paliací.

Všechny popsané výhody chirurgické rekonstrukce nedomykové mitrální chlopně byly dříve vyváženy nutným chirurgickým přístupem. Na přelomu tohoto tisíciletí se ale ukázalo, že stejně plnohodnotné výkony lze provádět i z miniinvazivních přístupů a v současné době (po dvou dekádách pomalého rozvoje) nyní naplno i roboticky. Robotická mitrální chirurgie tak spojuje **zlatý standard** chirurgických postupů s maximální šetrností vůči nemocnému; řada technických vylepšení činí práci chirurga s mitrální chlopní dokonce ještě preciznější.

P. S.: A není náhodou, že Alain Carpentier stál i u zrodu první robotické mitrální valvuloplastiky v roce 1998 (26).

LITERATURA

- Maleki M, Esmaeilzadeh M. The evolutionary development of echocardiography. Iran J Med Sci. 2012;37(4):222-32. PMID: 23390327; PMCID: PMC3565194.
- Jouan J. Mitral valve repair over five decades. Ann Cardiothorac Surg. 2015;4(4):322-34. doi: 10.3978/j.issn.2225-319X.2015.01.07. PMID: 26309841; PMCID: PMC4526505.
- Carpentier A. Cardiac valve surgery – the „French correction“. J Thorac Cardiovasc Surg. 1983;86(3):323-37. PMID: 6887954.

- Duran CM, Pomar JL, Cucchiara G. A flexible ring for atrioventricular heart valve reconstruction. J Cardiovasc Surg (Torino). 1978;19(4):417-20. PMID: 150424.
- Carpentier AF, Lessana A, Relland JY, et al. The „physio-ring“: an advanced concept in mitral valve annuloplasty. Ann Thorac Surg. 1995;60(5):1177-85; discussion 1185-6. doi: 10.1016/0003-4975(95)00753-8. PMID: 8526596.
- Duran CG. Repair of anterior mitral leaflet chordal rupture or elongation (the flip-over technique). J Card Surg. 1986;1(2):161-6. doi: 10.1111/j.1540-8191.1986.tb00705.x. PMID: 2979918.
- David TE. Replacement of chordae tendineae with expanded polytetrafluoroethylene sutures. J Card Surg. 1989;4(4):286-90. doi: 10.1111/j.1540-8191.1989.tb00291.x. PMID: 2520006.

8. Frater RW, Vetter HO, Zussa C, et al. Chordal replacement in mitral valve repair. *Circulation*. 1990;82(5 Suppl):IV125-30. PMID: 2225397.
9. von Oppell UO, Mohr FW. Chordal replacement for both minimally invasive and conventional mitral valve surgery using premeasured Gore-Tex loops. *Ann Thorac Surg*. 2000;70(6):2166-8. doi: 10.1016/s0003-4975(00)02047-6. PMID: 11156150.
10. Perier P, Hohenberger W, Lakew F, et al. Toward a new paradigm for the reconstruction of posterior leaflet prolapse: midterm results of the „respect rather than resect“ approach. *Ann Thorac Surg*. 2008;86(3):718-25; discussion 718-25. doi: 10.1016/j.athoracsurg.2008.05.015. PMID: 18721552.
11. Lange R, Guenther T, Noebauer C, et al. Chordal replacement versus quadrangular resection for repair of isolated posterior mitral leaflet prolapse. *Ann Thorac Surg*. 2010;89(4):1163-70; discussion 1170. doi: 10.1016/j.athoracsurg.2009.12.057. PMID: 20338326.
12. Seeburger J, Falk V, Borger MA, et al. Chordae replacement versus resection for repair of isolated posterior mitral leaflet prolapse: à égalité. *Ann Thorac Surg*. 2009;87(6):1715-20. doi: 10.1016/j.athoracsurg.2009.03.003. PMID: 19463584.
13. Fucci C, Sandrelli L, Pardini A, et al. Improved results with mitral valve repair using new surgical techniques. *Eur J Cardiothorac Surg*. 1995;9(11):621-6 discuss 626-7. doi: 10.1016/s1010-7940(05)80107-1. PMID: 8751250.
14. Bolling SF, Deeb GM, Brunsting LA, et al. Early outcome of mitral valve reconstruction in patients with end-stage cardiomyopathy. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1995;109(4):676-82; discussion 682-3. doi: 10.1016/S0022-5223(95)70348-9. PMID: 7715214.
15. De Bonis M, Taramasso M, Grimaldi A, et al. The GeoForm annuloplasty ring for the surgical treatment of functional mitral regurgitation in advanced dilated cardiomyopathy. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2011;40(2):488-95. doi: 10.1016/j.ejcts.2010.11.048. Epub 2011 Jan 12. PMID: 21232967.
16. Gatti G, Pinamonti B, Dell'Angela L, et al. Mitral annuloplasty with IMR ETlogix ring for ischemic mitral regurgitation and left ventricular dysfunction. *J Heart Valve, DiS*. 2012;21(5):556-63. PMID: 23167218.
17. Kincaid EH, Riley RD, Hines MH, et al. Anterior leaflet augmentation for ischemic mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg*. 2004;78(2):564-8; discussion 568. doi: 10.1016/j.athoracsurg.2004.02.040. PMID: 15276520.
18. Goetz WA, Lim HS, Lansac E, et al. Anterior mitral basal „stay“ chords are essential for left ventricular geometry and function. *J Heart Valve, DiS*. 2005;14(2):195-202; discussion 202-3. PMID: 15792179.
19. Hvass U, Tapia M, Baron F, et al. Papillary muscle sling: a new functional approach to mitral repair in patients with ischemic left ventricular dysfunction and functional mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg*. 2003;75(3):809-11. doi: 10.1016/s0003-4975(02)04678-7. PMID: 12645698.
20. Kron IL, Green GR, Cope JT. Surgical relocation of the posterior papillary muscle in chronic ischemic mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg*. 2002;74(2):600-1. doi: 10.1016/s0003-4975(02)03749-9. PMID: 12173864.
21. Menicanti L, Di Donato M, Frigiola A, et al; RESTORE Group. Ischemic mitral regurgitation: intraventricular papillary muscle imbrication without mitral ring during left ventricular restoration. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2002;123(6):1041-50. doi: 10.1067/mtc.2002.121677. PMID: 12063449.
22. Ueno T, Sakata R, Iguro Y, et al. New surgical approach to reduce tethering in ischemic mitral regurgitation by relocation of separate heads of the posterior papillary muscle. *Ann Thorac Surg*. 2006;81(6):2324-5. doi: 10.1016/j.athoracsurg.2005.03.059. PMID: 16731191.
23. Pausch J, Girdauskas E, Conradi L, et al. Secondary mitral regurgitation repair techniques and outcomes: Subannular repair techniques in secondary mitral regurgitation type IIIB. *JTCVS Tech*. 2021;10:92-97. doi: 10.1016/j.xjtc.2021.09.019. PMID: 34977710; PMCID: PMC8691802.
24. Kang DH, Kim MJ, Kang SJ, et al. Mitral valve repair versus revascularization alone in the treatment of ischemic mitral regurgitation. *Circulation*. 2006;114(1 Suppl):1499-503. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.000398. PMID: 16820626.
25. McGee EC, Gillinov AM, Blackstone EH, et al. Recurrent mitral regurgitation after annuloplasty for functional ischemic mitral regurgitation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2004;128(6):916-24. doi: 10.1016/j.jtcvs.2004.07.037. PMID: 15573077.
26. Carpentier A, Loumet D, Aupelec B et al. (1998) [Computer assisted open heart surgery. First case operated on with success]. *C R Acad Sci III* 321:437-42