

Úskalí hodnocení systolické funkce pravé komory po kardiochirurgických výkonech

Tomáš Paleček^{1,2}, Jana Podzimková², Petr Kuchynka^{1,2}, Martin Mašek³

¹II. interní klinika kardiologie a angiologie VFN, 1. LF UK v Praze

²Mezinárodní centrum klinického výzkumu, FN u sv. Anny v Brně

³Radiodiagnostická klinika VFN, 1. LF UK v Praze

U jedinců podstupujících kardiochirurgický výkon je hodnocení systolické funkce pravé komory (PK) velmi důležité jak v časném perioperačním období, tak v rámci dlouhodobého sledování. Základní metodu hodnocení systolické funkce PK v rutinní klinické praxi představuje v současnosti stále echokardiografie. Kontrakce PK je dominantně určována longitudinálně orientovanými myokardiálními vlákny ve stěně komory, konkrétně v oblasti vtokové části PK, a proto ukazatele longitudinálního zkracování volné stěny PK – amplituda pohybu (TAPSE) a vrcholová systolická rychlost (St) trikuspidálního prstence – jsou doporučovanými parametry pro hodnocení systolické funkce PK vzhledem k obtížnosti stanovení objemu a ejekční frakce (EF) PK pomocí dvourozměrné echokardiografie v důsledku komplexního tvaru PK. Po kardiochirurgickém výkonu však u většiny jedinců dochází k vývoji 2 fenoménů: poklesu TAPSE, resp. St a abnormálnímu pohybu septa komor. Tyto jevy ovšem *a priori* nevedou ke globální systolické dysfunkci PK. K echokardiografickému hodnocení systolické funkce PK po kardiochirurgickém výkonu je tak nutné využít jiných parametrů, jako je stanovení frakční změny plochy PK či výpočet objemu a EF PK pomocí trojrozměrné echokardiografie. U špatně echokardiograficky vyšetřitelných jedinců je pak metodou volby hodnocení systolické funkce PK magnetická rezonance; v přítomnosti kontraindikací pro toto vyšetření je možné k posouzení objemu a EF PK využít počítačovou tomografii.

Klíčová slova: pravá komora, systolická funkce, echokardiografie, magnetická rezonance, počítačová tomografie.

The pitfalls in the assessment of right ventricular systolic function after cardiac surgery

The assessment of right ventricular systolic function is extremely important in all patients undergoing cardiothoracic surgery in both perioperative period and in long term follow up. The gold standard for routine assessment of right ventricle (RV) remains transthoracic echocardiography. Contraction of the RV is predominantly determined by longitudinal myocardial fibres of the ventricular wall, particularly by those present in the inflow tract. Therefore parameters reflecting longitudinal shortening of the RV free wall, namely tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) and peak systolic velocity of tricuspid annulus (St), are recommended parameters for evaluation of RV systolic function; assessment of ventricular volumes and ejection fraction (EF) by 2D echocardiography do not seem convenient for evaluation of RV function because of its morphology. Interestingly, following cardiothoracic surgery two phenomena tend to appear: decline in TAPSE and St, respectively, and abnormal motion of the interventricular septum. However, these features do not result into global RV systolic dysfunction. Therefore, in order to echocardiographically assess RV systolic function, other parameters need to be evaluated: fractional area change (FAC) or RV volumes and EF using 3D echocardiography. Patients who are difficult to be examined by transthoracic echocardiography should be referred to MRI for assessment of RV function. In case of contraindication to MRI, multi-slice computed tomography may be used to evaluate RV volumes and EF, respectively.

Key words: right ventricle, systolic function, echocardiography, magnetic resonance imaging, computed tomography.

Interv Akut Kardiolog 2014; 13(4): 184–189

Anatomie a fyziologie kontrakce pravé komory

Pravá komora (PK) představuje morfologicky i funkčně velmi komplexní trojrozměrnou strukturu, která se zřetelně liší od stavby a funkce komory levé. Zatímco dutinu levé komory lze u zdravých jedinců přirovnat k elipsoidu, tvar PK je podstatně složitější a nejvíce se přibližuje obrazu trojúhelníku, resp. pyramidy (v podélné ose) či půlměsíce (v horizontálních řezech). Pravá komora sestává ze čtyř anatomických komponent: 1) atrioventrikulárního kanálu, 2) sinu, 3) proximálního a 4) distálního kónu. Atrioventrikulární kanál a sinus tvoří vtokovou část PK, kdežto oba kóny jsou součástí výtokového traktu PK neboli infundibula, které zaujímá

přibližně 25 % celkového objemu PK. Mezi vtokem a výtokem PK je hrot komory, kdy část patřící vtoku PK leží proximálně od trabeculy septomarginalis a hrot infundibula je lokalizován distálně. Obě hlavní dutiny PK, vtoková část a výtokový trakt, mají různý fylogenetický i ontogenetický původ, což se projevuje v jejich odlišné anatomii a funkci.

Za normálních hemodynamických podmínek vykazuje PK asynchronní a peristaltický typ kontrakce. Stah stěny PK počíná v sinu a se zpožděním 25–30 ms se objevuje v oblasti infundibula. K vlastní ejekci PK dochází díky nízkému dotížení brzy během vzestupu nitrokomorového tlaku a její trvání je delší než doba ejekce levé komory. Konec ejekce PK není v koin-

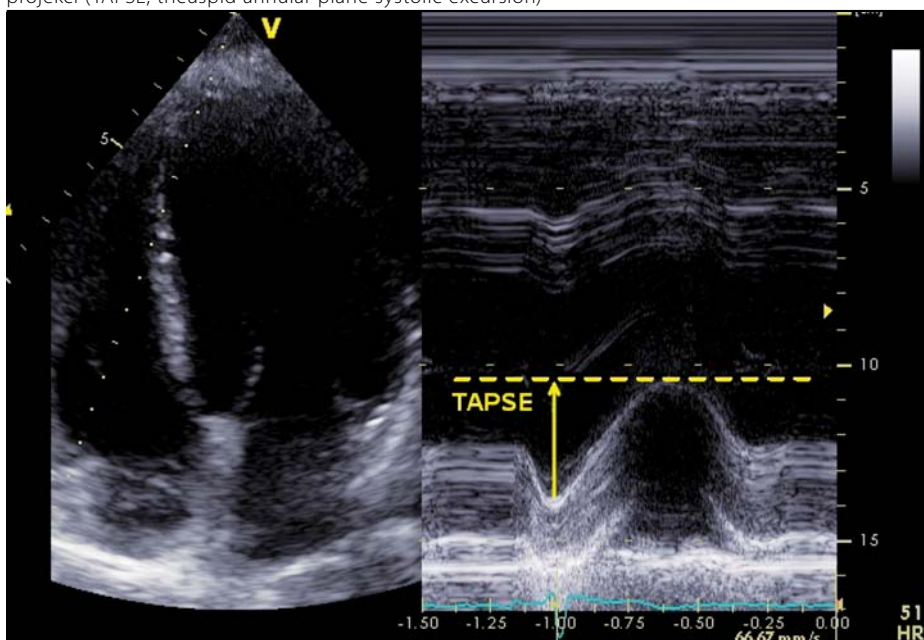
cidenci s koncem systoly PK, určené negativním vrcholem dP/dt , a odehrává se přibližně o 80 ms později, tj. pokračuje až do počátku plnění PK. Ke stahování infundibula neboli výtokového traktu PK totiž dochází i po druhé srdeční ozvě a to díky asynchronii v kontrakci PK a vysoké poddajnosti plicní vaskulatury. V srdečním cyklu PK nejsou proto za normálních podmínek prakticky přítomny izovolumické periody, což společně s časnou maximální elastancí v průběhu ejekce podmiňuje typický trojúhelníkovitý tvar tlakově-objemové křivky PK (1).

Hlavní pumpou PK je její vtoková část, která svou kontrakcí přispívá přibližně 85 % k celkovému tepovému výdeji PK. Ve stěně PK jsou za nor-

Obrázek 1. Ukázka hodnocení frakční změny plochy pravé komory v apikální 4dutinové projekci na základě stanovení end-diastolické a end-systolické plochy pravé komory; $FAC = (EDA-ESA)/EDA$. (EDA, end-diastolická plocha; ESA, end-systolická plocha; FAC, frakční změna plochy)



Obrázek 2. Ukázka měření amplitudy pohybu trikuspidálního anulu v systole v apikální 4dutinové projekci (TAPSE; tricuspid annular plane systolic excursion)



málních podmínek svalová vlákna dominantně orientována šikmo, což při minimálně vyvinuté subepikardiální vrstvě cirkumferenciálně směřovaných snopců podmiňuje skutečnost, že systolická funkce PK je z valné většiny determinována longitudinální kontrakcí volné stěny a její cirkumferenciální deformace se uplatňuje jen minimálně. Tím se PK liší od komory levé, v jejíž stěně jsou ve vnitřní vrstvě dobře vyvinuta cirkumferenciální vlákna, která podmiňují dominantní radiální ztlustňování a cirkumferenciální zkracování stěny, kdežto longitudinální kontrakce daná zkracováním subepikardiálních a subendokardiálních vláken má pro systolickou funkci levé komory menší význam (2).

Pro celkovou systolickou funkci PK má ovšem velký význam i funkce komory levé. Mezikomorové septum (IVS), perikard a společné svalové snopce hrají v rámci ventrikulární interdependence důležitou úlohu při přenosu kontraktilní síly z levé komory na PK. Přibližně jedna třetina systolického tlaku generovaného PK je podmíněna kontrakcí levé

komory (3). Experimentální práce navíc prokázaly, že samotná inaktivace kontrakce IVS vede k podstatnému poklesu funkce PK (4).

Echokardiografické hodnocení systolické funkce pravé komory

Echokardiografie je stále metodou volby pro hodnocení systolické funkce PK v rutinní klinické praxi. Vzhledem k obtížnosti stanovení objemu PK pomocí dvourozměrné (2D) echokardiografie podmíněného komplexností tvaru komory však není hodnocení ejekční frakce (EF) PK na základě 2D echokardiografie vhodným přístupem k posuzování systolické funkce PK. Jako slibné se jeví hodnocení objemu a potažmo EF PK pomocí trojrozměrné (3D) echokardiografie, které daleko lépe koreluje s hodnotami objemu PK získanými magnetickou rezonancí (MRI), současným zlatým standardem pro volumetrii obou srdečních komor; v klinické praxi však 3D echokardiografické hodnocení funkce

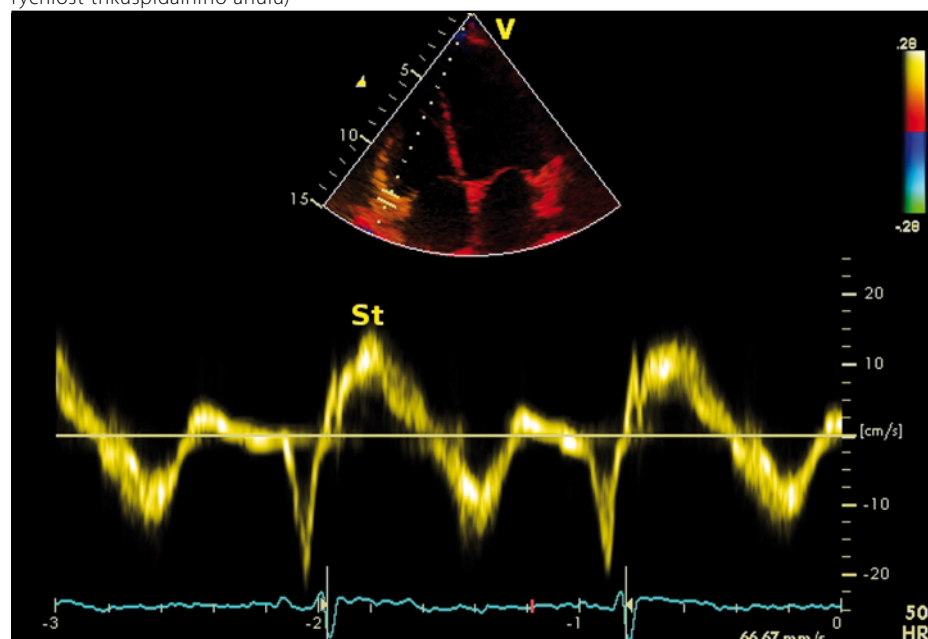
PK není ještě běžnou záležitostí, mj. i pro nutnost kvalitního zobrazení celé dutiny PK. Za normální jsou pro EF PK v 3D echokardiografii považovány hodnoty více než 44 % (5).

Pomocí 2D echokardiografie lze však zhodnotit tzv. frakční změnu plochy PK (FAC), která dobře koreluje s MRI stanovenou EF PK. Výpočet FAC je založen na planimetrii end-diastolické a end-systolické plochy PK v apikální 4dutinové projekci, kdy hodnoty obou ploch jsou zadány místo objemů do stejného vzorce, jakým je počítána EF (obrázek 1). Normální hodnoty FAC PK činí 35 % a více. Prognostický význam stanovení FAC PK, jakožto ukazatele systolické funkce PK, byl demonstrován např. u jedinců s akutní plicní embolizací či po infarktu myokardu (5).

Kontinuální dopplerovský záznam trysky trikuspidální regurgitace poskytuje možnost neinvazivního hodnocení dp/dt , a to na základě měření sklonu záznamu regurgitace v časovém intervalu mezi 1 a 2 m/s. Ačkoli se jedná o technicky relativně jednoduchou metodu, její širší využití je, kromě řady dalších faktorů, limitováno především nutností přítomnosti takového množství regurgitačního toku, který umožní kvalitativně dostatečný dopplerovský záznam pro validní hodnocení jeho sklonu.

Jelikož kontrakce stěny PK je dominantně určována longitudinálně orientovanými myokardiálními vlákny, je možné k hodnocení celkové systolické funkce PK využít parametry, které odrážejí kvalitu longitudinálního zkracování volné stěny PK. Prvým z nich je amplituda pohybu trikuspidálního anulu v systole, tzv. TAPSE (z angl. tricuspid annular plane systolic excursion). K měření TAPSE je využívána jednorozměrná echokardiografie, M-mode, kdy kurzor M-modu je v apikální 4dutinové projekci proložen přes laterální okraj trikuspidálního anulu (obrázek 2). Validita TAPSE, jakožto ukazatele celkové systolické funkce PK, byla opakovaně prokázána v řadě studií korelujících jeho hodnotu vůči EF PK stanovenou radionuklidovou ventrikulografií nebo MRI. Za normální jsou dle stávajících doporučení považovány hodnoty TAPSE 16 mm a více (5). Dalším parametrem, který primárně odráží kvalitu zkracování longitudinálních vláken stěny PK, je vrcholová systolická rychlost trikuspidálního anulu (St), získaná pomocí tkáňové pulzně-dopplerovské echokardiografie laterálního okraje anulu opět v apikální 4dutinové projekci (obrázek 3). I u St byla řadou nukleárních a MRI studií ověřena dobrá korelace s EF PK. Pro normální systolickou funkci PK svědčí hodnoty St nad 10 cm/s. Jak TAPSE, tak St jsou technicky jednoduše získatelné parametry, jejichž hodnocení je velmi reprodukcibilní. Důležité je též to, že u obou těchto ukazatelů systolické

Obrázek 3. Ukázka pulzně dopplerovské tkáňové echokardiografie pohybu trikuspidálního anulu v apikální 4dutinové projekci s hodnocením vrcholové systolické rychlosti anulu (St; vrcholová systolická rychlost trikuspidálního anulu)



funkce PK byl prokázán jejich silný prognostický význam, např. u nemocných se srdečním selháním či plicní arteriální hypertenzí. Proto TAPSE i St jsou, společně s FAC, dle současných doporučení amerických i evropských echokardiografických společností preferovanými kvantitativními parametry pro rutinní hodnocení systolické funkce PK (5). Je nutné však zdůraznit, že žádný z těchto parametrů nereflektuje přínos kontrakce IVS pro celkovou systolickou funkci PK, a jak TAPSE, tak i St jsou kromě vlastního zkrácení volné stěny PK nemalou mírou ovlivněny celkovým pohybem srdce v uzavřeném perikardiálním vaku, resp. v dutině hrudníku.

Dalšími echokardiografickými parametry, které primárně odrážejí kvalitu longitudinální kontrakce stěny PK, jsou strain/strain rate a myokardiální akcelerace během izovolumické kontrakce. K hodnocení strainu, tj. procenta deformace myokardu, a strain rate, tj. rychlosti této deformace, lze využít tkáňové dopplerovské echokardiografie, která je však výrazně limitována úhlovou závislostí, nebo moderněji tzv. speckle-tracking, 2D kvantifikaci deformace myokardu (odtud i název 2D strain echokardiografie). Zásadními výhodami 2D strainu jsou jednak jeho úhlová nezávislost, jednak možnost simultánního hodnocení deformace jak volné stěny PK, tak i IVS, které pak dává hodnotu tzv. globálního strainu PK. Metoda 2D strainu však bohužel stále zůstává spíše výzkumnou modalitou, kdy jejímu většímu využití brání kromě výrazné variability dosud publikovaných referenčních dat především nutnost akvizice velmi kvalitního 2D obrazu PK, aby byla zajištěna kvalitní analýza a tím i produkce reprodučibilních údajů. Izovolumickou akceleraci stěny PK je možné hodnotit na zákla-

dě tkáňové dopplerovského záznamu rychlosti laterálního trikuspidálního anulu, kdy její hodnota je určena poměrem maximální izovolumické rychlosti myokardu vůči času nutnému k jejímu dosažení. Přestože tento parametr by měl být daleko méně závislý na plicních podmínkách PK než všechny výše uvedené ukazatele systolické funkce PK, které jsou hodnoceny až v ejekční fázi systoly, nedošlo k jeho většímu rozšíření v běžné praxi, což je dáno minimem normativních dat a závislostí na řadě faktorů, jako je věk, tepová frekvence a pochopitelně omezením daným úhlovou závislostí dopplerovského měření.

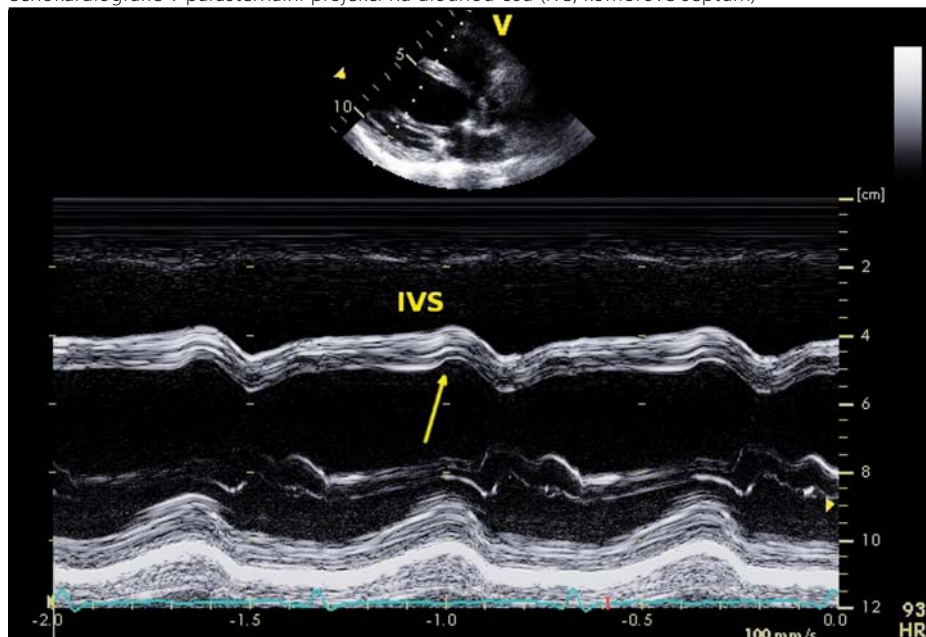
Vliv kardiochirurgického výkonu na echokardiografické parametry systolické funkce pravé komory

Echokardiografie je samozřejmě metodou první volby pro hodnocení morfologického a funkčního stavu PK i u nemocných, kteří podstoupili kardiochirurgický výkon. Evaluace systolické funkce PK je však v těchto případech ztížena dvěma fenomény, které se velmi často v návaznosti na provedení výkonu objevují: jedná se o zřetelný pokles hodnoty TAPSE, resp. St oproti předoperačním hodnotám, a vývoj abnormálního, často až paradoxního pohybu IVS. V následujícím textu se proto pokusíme analyzovat možné příčiny vzniku těchto dvou charakteristických pooperačních nálezů a odpovědět na důležitou otázku, zda-li jejich přítomnost odráží globální systolickou dysfunkci PK.

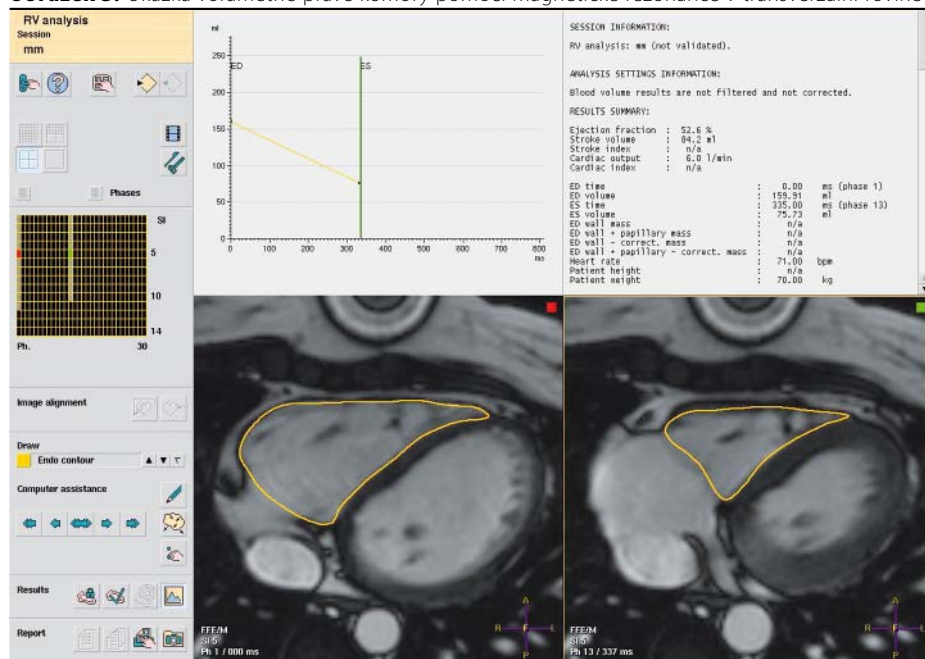
Fenomén poklesu amplitudy pohybu trikuspidálního anulu, tj. TAPSE, vznikajícího časně v návaznosti na kardiochirurgický výkon byl

echokardiografistům znám již počátkem 90. let minulého století. Studie využívající tkáňovou dopplerovskou echokardiografii posléze vcelku nepřekvapivě prokázaly, že i rychlost systolického pohybu trikuspidálního anulu St klesá časně po výkonu a může perzistovat po řadu měsíců až let (6). Jestli snížená pooperační hodnota TAPSE a St je podmíněna, jak by bylo logické, poklesem longitudinální kontrakce volné stěny PK není zcela zřejmé, byť vysoce pravděpodobné. Existují práce, které ukazují, že deformace volné stěny PK hodnocená pomocí tzv. strain echokardiografie je stejná u nemocných, kteří podstoupili kardiokirurický výkon, a zdravých kontrolních jedinců, kdežto u pacientů se systémovou PK, tj. tlakově dlouhodobě přetíženou, dominuje cirkumferenciální ztlusťování volné stěny komory (7). Naopak, velmi recentní práce Raina et al., která byla zaměřena právě na hodnocení změn kontraktility chování PK po operaci, demonstrovala pomocí 2D echokardiografie pokles longitudinálního a současné navýšení transverzálního zkrácení plochy PK při zachování normální celkové systolické funkce PK (8). Co je příčinou snížení TAPSE a St v návaznosti na kardiokirurický výkon je předmětem diskuzí. Zvažován byl vliv mimotělního oběhu a neadekvátní kardioplegie, perioperační ischemie v povodí pravé věnčité tepny, efekt otevření perikardiálního vaku a následné perikardiální adheze. Velmi důležité poznatky stran etiologie poklesu TAPSE a St, jakožto echokardiografických parametrů longitudinální funkce PK, přinesla elegantní práce Unswortha et al. (9). Tito autoři transezofageálním přístupem intenzivně monitorovali hodnoty St intraoperačně u 9 jedinců podstupujících svou první kardiokirurickou revaskularizaci myokardu. Ukázali, že k poklesu St dochází okamžitě po provedení incize perikardu a nikoli v návaznosti na uvedení do celkové anestezie, sternotomie, zahájení mimotělního oběhu a aplikaci kardioplegického roztoku či uzavření sternotomie na konci výkonu. Neshledali ani rozdíl v chování St mezi nemocnými bez a s provedeným bypassesem na pravou věnčitou tepnu, tj. s potenciálem perioperační ischemie v jejím povodí. Na základě výsledků této práce tak lze s vysokou pravděpodobností říci, že k poklesu echokardiografických parametrů longitudinální kontrakce volné stěny PK dochází při kardiokirurickém výkonu v okamžiku otevření perikardiálního vaku. Vlastní příčina tohoto jevu však stále není jasná; autoři citované práce spekulují o možnosti zvýšení napětí stěny PK v důsledku perioperační ztráty její podpory perikardiálním vakem po jeho incizi s následnou změnou zakřivení stěny PK a jejího transmuralního tlaku.

Obrázek 4. Ukázka abnormálního pooperačního pohybu septa komor (šipka) pomocí jednorozměrné echokardiografie v parasternální projekci na dlouhou osu (IVS; komorové septum)



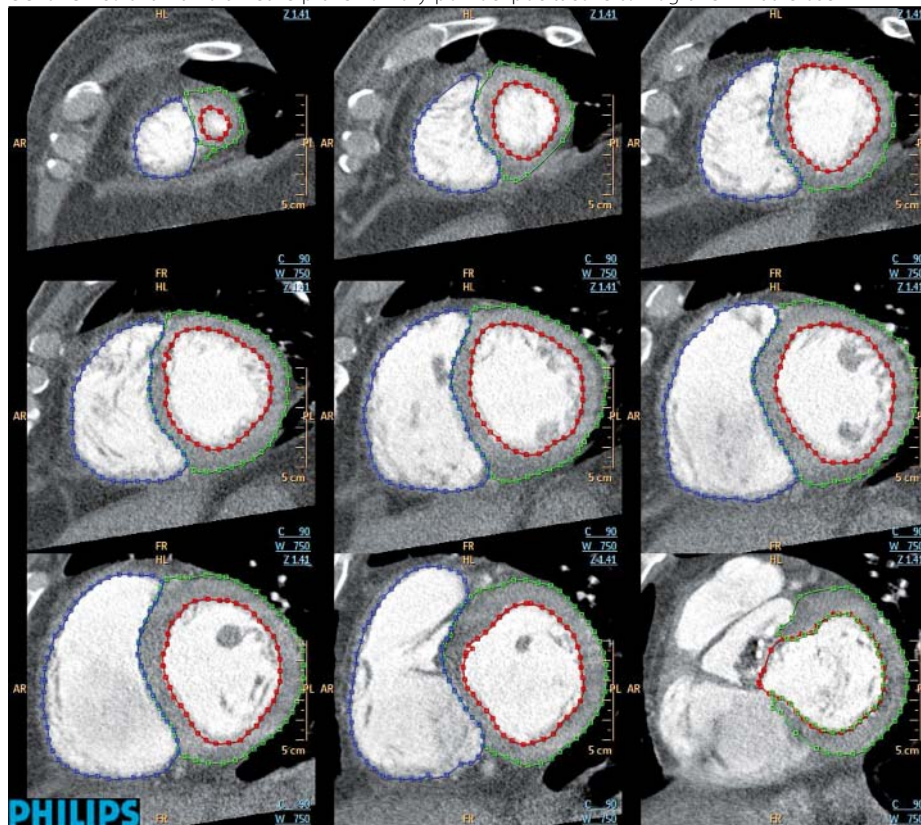
Obrázek 5. Ukázka volumetrie pravé komory pomocí magnetické rezonance v transverzální rovině



Abnormální, resp. až paradoxní pooperační pohyb IVS v systole je také jev, který je echokardiografům znám již velmi dlouho (obrázek 4). Je důležité jej odlišit od jiných typů abnormálního pohybu IVS, např. při blokáde levého raménka Tawarova, kardiostimulaci, tlakovém či objemovém přetížení PK, při konstriktivní perikarditidě. Podobně jako snížení TAPSE či St, i paradoxní pohyb IVS může přetrvávat řadu měsíců po kardiokirurgickém výkonu. Jako příčiny tohoto jevu bylo zvažováno ischemické poškození IVS v průběhu operace nebo změny pozice, resp. pohybu celého srdce. Řada prací, založených na klasických echokardiografických technikách či využívajících moderní strain echokardiografie,

ukázala, že pooperačně vzniklý paradoxní pohyb IVS nevede k poruše longitudinálního zkracování či cirkumferenciálního ztlusťování IVS, což výrazně svědčí proti ischemii myokardu, jakožto příčině abnormálního septálního pohybu (7, 10, 11). Již v roce 1982 Kerber et al. testovali hypotézu, že paradoxní pohyb IVS by mohl být dán buďto změnou tvaru levé komory či pohybu srdce v hrudníku (12). Tito autoři vyšetřili 25 jedinců podstupujících nekoronární kardiokirurgický výkon, kteří předoperačně vykazovali normální pohyb IVS; jeho paradoxní pohyb se následně vyvinul u 14 z nich. U nemocných s pooperačním paradoxním pohybem IVS nebyly zaznamenány zásadní změny ve tvaru a velikosti levé komory,

ale byla patrna výrazně vyšší exkurze epikardu u zadní stěny levé komory směrem k hrudní stěně, indikující větší dopředný pohyb celého srdce v systole. Detailnější náhled na časování vzniku abnormálního pohybu IVS přinesli Schnittgerová et al., kteří na skupině 21 nemocných podstupujících různé kardiokirurgické výkony ukázali, že abnormální/paradoxní pohyb IVS nevzniká v průběhu operace, ale ihned po ní, v řádu několika hodin, a následně přetrvává minimálně několik měsíců (13). Identické nálezy stran časné pooperačního vzniku abnormálního septálního pohybu a současně přítomnosti exagované motility levé komory směrem k hrudní stěně reportovali i Feneley et al. (14). Ve všech citovaných pracích bylo také opět dokumentováno normální ztlusťování IVS, jakožto známka jeho normální perfuze. Jinak než echokardiograficky byl mechanismus abnormálního pooperačního pohybu IVS zkoumán Joshim et al. (15). V této práci bylo pomocí magnetické rezonance vyšetřeno 23 nemocných před a 3 měsíce po provedení aortokoronární rekonstrukce. Vývoj abnormálního pohybu IVS byl zaznamenán u všech jedinců; pooperačně došlo též k navýšení dopředného pohybu boční stěny, resp. celé dutiny LK, pohyb volné stěny PK byl naopak redukován a hodnota ejekční frakce PK pozitivně korelovala se stupněm dopředného pohybu IVS. Na základě všech výše uvedených poznatků lze tedy shrnout, že ke vzniku abnormálního pohybu IVS dochází v průběhu několika málo hodin po ukončení kardiokirurgického výkonu, tj. uzavření hrudní stěny, a jeho podkladem je zvýšený dopředný pohyb celé levé komory. Tento exagovaný pohyb srdce směrem k hrudní stěně je dáván do souvislosti s incizí perikardiálního vaku, který je po výkonu prakticky vždy ponechán neuzavřen, jakožto prevence časné pooperační tamponády; i jeho sutura však zřejmě nevede k efektivnímu „fyzilogickému“ uzavření perikardiálního obalu s výsledným omezením pohybu srdce, a proto k rozvoji abnormálního septálního pohybu dochází i v těchto případech (12, 14). Teorii vztahu vzniku abnormálního/paradoxního pohybu IVS k otevření perikardu významně podporuje též skutečnost, že se obdobné nálezy vyskytují i u nemocných s kongenitální absencí perikardu (16). Dalším faktorem, který by mohl hrát roli při exageraci dopředného pooperačního pohybu srdce, je vývoj adhezí v oblasti mezi sternem a stěnou PK. Názory na toto však nejsou jednotné. Průkaz zmenšení systolické separace volné stěny PK od hrudní stěny (15) a rezoluce abnormálního pohybu IVS v řádu měsíců od provedení výkonu (14) nasvědčují významu pooperačních

Obrázek 6. Ukázka volumetrie pravé komory pomocí počítačové tomografie v krátké ose

adhezí, vznik abnormálního septálního pohybu v řádu pár hodin po uzavření hrudníku však tuto hypotézu zcela nepodporuje (13).

Nejzásadnější, a to především z klinického pohledu, je ovšem otázka, zda-li pokles TAPSE, resp. St a abnormální/paradoxní pohyb IVS vedou ke globální systolické dysfunkci PK. Tamborini et al. vyšetřili pomocí transtorakální 2D a 3D echokardiografie 40 nemocných předoperačně a následně v několika intervalech v horizontu měsíců po záchovné operaci mitrální chlopně pro prolaps (17). Hodnoty TAPSE a St signifikantně poklesly proti předoperačním hodnotám a zůstávaly snížené i v odstupu 12 měsíců od výkonu; EF PK hodnocená 3D echokardiografií však zůstala nezměněna. Řada studií využívajících hodnocení EF PK pomocí magnetické rezonance též demonstrovala, že různé typy kardiokirurických výkonů nevedou k poklesu EF PK (15, 18, 19). Po kardiokirurickém výkonu tedy pokles TAPSE, St a vývoj abnormálního pohybu IVS a priori neindikují zhoršení EF, jakožto parametru globální systolické funkce PK.

Jak hodnotit systolickou funkci PK po kardiokirurickém výkonu?

Jestliže TAPSE a St neodrážejí kvalitu celkové systolické funkce PK po kardiokirurické operaci, je nutné k jejímu hodnocení využít jiných parametrů. Na poli echokardiografie se v současnosti stále na prvním místě nabízí stanovení FAC PK v apikální

4dutinové projekci (obrázek 1). Jedná se o jednoduše získatelný, poměrně reprodukcibilní parametr, který je možné hodnotit jak transtorakálně, tak i při jícnové echokardiografii. Při nedostatečné delinaci endokardu je možné zlepšit opacifikaci stěn PK podáním kontrastní látky. Jestliže kvalita dvourozměrného zobrazení neumožňuje validní stanovení FAC a je přítomno dostatečné množství trikuspidální regurgitace, lze se pokusit o neinvazivní dopplerovské stanovení dP/dt. Především však jsou již nyní některé přístroje vybaveny možností trojrozměrné echokardiografie. V těchto případech a jistě s narůstající dostupností do budoucna se jako optimální jeví stanovení objemu PK a spočtení EF. Volumetrie PK a následné stanovení EF PK pomocí trojrozměrné echokardiografie v reálném čase byly v posledních letech opakovaně validovány vůči současnému zlatému standardu pro hodnocení komorových objemů, magnetické rezonanci (MRI), a to na skupinách nemocných s různými srdečními patologiemi (20, 21). Metaanalýza několika studií ukázala, že trojrozměrná echokardiografie v porovnání s MRI podhodnocuje objemy a EF PK, jejich hodnoty však spolu významně korelují; k výraznějšímu podhodnocení dochází u dilatovaných PK (22). Dostupné jsou v současnosti již referenční hodnoty pro normální hodnoty objemů a EF PK stanovené trojrozměrnou echokardiografií v reálném čase (23). Velmi důležitý poznatek ve vztahu k tématu tohoto sdělení přinesla recentně práce italských autorů, demonstrující možnost

provedení volumetrie PK a stanovení EF pomocí jícnové trojrozměrné echokardiografie v reálném čase perioperačně u nemocných podstupujících různé kardiokirurické výkony (24).

Samozřejmým předpokladem pro možnost validního hodnocení trojrozměrnou echokardiografií však stále zůstává – podobně jako u stanovení FAC – nutnost kvalitního zobrazení dutiny PK v dvourozměrném zobrazení. Proto u nemocných, u kterých není možné kvalitně zhodnotit systolickou funkci PK echokardiograficky, je metodou volby stanovení objemů a EF PK MRI. Ta je v současnosti považována za zlatý standard volumetrického hodnocení levé komory i PK vzhledem k možnosti trojrozměrného pokrytí celého srdce s neomezeným množstvím skenovacích rovin a tím pádem nezávislosti na nutnosti geometrických asumpcí tvaru komor, a to zvláště PK, při stanovování jejich objemů pomocí dvourozměrné echokardiografie. U hodnocení objemů a EF PK MRI je ovšem nutno upozornit na důležitou skutečnost, že standardní akvizice dat při tomto vyšetření je zaměřena na volumetrii levé komory a je tak prováděna v orientaci na její krátkou osu. Ze série řezů v krátké ose je možné následně provádět i volumetrii a stanovení EF PK, toto hodnocení však může být významně limitováno nedobrou identifikací pozice trikuspidální a pulmonální chlopně, resp. bazálního okraje dutiny PK. Toto omezení je pak zdrojem výrazné chyby při hodnocení objemů PK, neboť bazální řez PK zahrnuje velkou část plochy PK. Alfakih et al. ve své práci jasně prokázali, že volumetrie PK v krátké ose systematicky podhodnocuje objemy a EF PK v porovnání s hodnocením založeným na akvizici dat v transverzální (axiální) rovině (25) (obrázek 5). Důležitým poznatkem této studie je též větší reprodukcibilita měření prováděných v transverzální rovině. Pro hodnocení objemů a systolické funkce PK pomocí MRI je tak vhodné provádět akvizici dat v transverzální rovině; nevýhodou tohoto přístupu je ovšem zřetelné prodloužení doby vyšetření.

Řada nemocných však z různých důvodů – klaustrofobie, přítomnost feromagnetického materiálu – nemůže vyšetření magnetickou rezonancí podstoupit. U těchto jedinců, pokud nelze získat validní echokardiografické údaje a posouzení systolické funkce PK, je důležité pro další management pacienta, je možné ke stanovení objemů a EF PK využít víceřadou počítačovou tomografii (MSCT), se synchronizovaným sběrem dat podle EKG křivky (obrázek 6). K možnosti provést funkční analýzu kontraktility komor se používá sběr dat na základě tzv. retrospektivního gatingu, kdy je prováděn kontinuální záznam během celé délky trvání R-R intervalu, což je spojeno se zvýše-

ním radiační zátěže. Volumetrie PK a stanovení její EF pomocí MSCT již bylo též validováno v řadě prací (26, 27). V porovnání s MRI, jakožto zlatým standardem, se dle některých studií zdá, že MSCT systematicky nadhodnocuje objemy a podhodnocuje EF PK (28).

Závěr

Echokardiografické hodnocení systolické funkce PK po kardiokirurgickém výkonu je ztíženo vývojem 2 charakteristických fenoménů: poklesu TAPSE, resp. St a abnormálním/paradoxním pohybem IVS. K poklesu TAPSE a St, jakožto parametrů primárně odrážejících longitudinální kontrakci volné stěny PK, dochází v okamžiku otevření perikardiálního vaku; přesný podklad tohoto jevu není jasný, spekuluje se o možnosti zvýšení napětí stěny PK s následnou změnou jejího zakřivení vedoucí ke snížení longitudinálního zkracování myokardiálních vláken. Abnormální pohyb IVS je dán zvýšeným celkovým pohybem levé komory v důsledku ztráty perikardiálního omezení po incizi osrdečníku, resp. při jeho neuzavření po kardiokirurgickém výkonu, na jeho vzniku se pravděpodobně též podílí vývoj pooperačních adhezí. Pokles TAPSE či St, a vývoj abnormálního septálního pohybu však nevedou ke globální systolické dysfunkci PK. K echokardiografickému hodnocení systolické funkce PK po kardiokirurgickém výkonu je tak nutné využít jiných parametrů, jako je stanovení FAC či výpočet objemů a EF PK pomocí trojrozměrné echokardiografie. U špatně echokardiograficky vyšetřitelných jedinců je pak metodou volby pro hodnocení systolické funkce PK magnetická rezonance; v přítomnosti kontraindikací pro toto vyšetření lze k posouzení objemů a EF PK využít MSCT.

Tato práce byla podpořena projekty:

PRVOUK-P35/LF1/5, Evropským fondem pro regionální rozvoj (ERDF) – Projektem FNUSA-ICRC (No. CZ.1.05/1.1.00/02.0123).

Literatura

1. Grignola JC, Pontet J, Vallarino M, Ginés F. Own properties of the right ventricle cardiac cycle phases. *Rev Esp Cardiol* 1999; 52: 37–42.
2. Valsangiacomo Buechel ER, Mertens LL. Imaging the right heart: the use of integrated multimodality imaging. *Eur Heart J* 2012; 33: 949–960.

3. Jurcut R, Giusca S, La Gerche A, Vasile S, Ghingina C, Voigt JU. The echocardiographic assessment of the right ventricle: what to do in 2010? *Eur J Echocardiogr* 2010; 11: 81–96.
4. Klima UW, Lee MY, Guerrero JL, LaRaia PJ, Levine RA, Vlahakes GJ. Determinants of maximal right ventricular function: role of septal shift. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002; 123: 72–80.
5. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography Endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 685–713.
6. Alam M, Hedman A, Nordlander R, Samad B. Right ventricular function before and after an uncomplicated coronary artery bypass graft as assessed by pulsed wave Doppler tissue imaging of the tricuspid annulus. *Am Heart J* 2003; 146: 520–526.
7. Pettersen E, Helle-Valle T, Edvardsen T, et al. Contraction pattern of the systemic right ventricle. Shift from longitudinal to circumferential shortening and absent global ventricular torsion. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49: 2450–2456.
8. Raina A, Vaidya A, Gertz ZM, Chambers S, Forfia PR. Marked changes in right ventricular contractile pattern after cardiopulmonary surgery: implications for post-surgical assessment of right ventricular function. *J Heart Lung Transplant* 2013; 32: 777–783.
9. Unsworth B, Casula RP, Kyriacou A, et al. The right ventricular annular velocity reduction caused by coronary artery bypass graft surgery occurs at the moment of pericardial incision. *Am Heart J* 2010; 159: 314–322.
10. Waggoner AD, Shah AA, Schuessler JS, et al. Effect of cardiac surgery on ventricular septal motion: Assessment by intraoperative echocardiography and cross-sectional two-dimensional echocardiography. *Am Heart J* 1982; 104: 1271–1277.
11. Silva JA, Khuri B, Barbee W, Fontenot D, Cheirif J. Systolic excursion of the mitral annulus to assess septal function in paradoxical septal motion. *Am Heart J* 1996; 131: 138–145.
12. Kerber RE, Litchfield R. Postoperative abnormalities of interventricular septal motion: Two-dimensional and M-mode echocardiographic correlations. *Am Heart J* 1982; 104: 263–268.
13. Schnittger I, Keren A, Yock PG, et al. Timing of abnormal interventricular septal motion after cardiopulmonary bypass operations. Lack of injury proved by preoperative, intraoperative, and postoperative echocardiography. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1986; 91: 619–623.
14. Feneley M, Kearney L, Farnsworth A, Shanahan M, Chang V. Mechanisms of the development and resolution of paradoxical interventricular septal motion after uncomplicated cardiac surgery. *Am Heart J* 1987; 114: 106–114.
15. Joshi SB, Salah AK, Mendoza DD, Goldstein SA, Fuisz AR, Lindsay J. Mechanism of paradoxical ventricular septal motion after coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* 2009; 103: 212–215.
16. Payvandi MN, Kerber RE. Echocardiography in congenital and acquired absence of the pericardium. An echocardiographic mimic of right ventricular volume overload. *Circulation* 1976; 53: 86–92.
17. Tamborini G, Muratori M, Brusoni D, et al. Is right ventricular systolic function reduced after cardiac surgery? A two- and three-dimensional echocardiographic study. *Eur J Echocardiogr* 2009; 10: 630–634.
18. Reesink HJ, Marcus JT, Tulevski II, et al. Reverse right ventricular remodeling after pulmonary endarterectomy in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension: utility of magnetic resonance imaging to demonstrate restoration of the right ventricle. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007; 133: 58–64.
19. Joshi SB, Roswell RO, Salah AK, Zeman PR, Corso PJ, Lindsay J, Fuisz AR. Right ventricular function after coronary artery bypass graft surgery—a magnetic resonance imaging study. *Cardiovasc Revasc Med* 2010; 11: 98–100.
20. Chua S, Levine RA, Yosefy C, et al. Assessment of right ventricular function by real-time three-dimensional echocardiography improves accuracy and decreases interobserver variability compared with conventional two-dimensional views. *Eur J Echocardiogr* 2009; 10: 619–624.
21. Sugeng L, Mor-Avi V, Weinert L, et al. Multimodality comparison of quantitative volumetric analysis of the right ventricle. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010; 3: 10–18.
22. Shimada YJ, Shiota M, Siegel RJ, Shiota T. Accuracy of right ventricular volumes and function determined by three-dimensional echocardiography in comparison with magnetic resonance imaging: a meta-analysis study. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 943–953.
23. Tamborini G, Marsan NA, Gripari P, et al. Reference values for right ventricular volumes and ejection fraction with real-time three-dimensional echocardiography: evaluation in a large series of normal subjects. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 109–115.
24. Fusini L, Tamborini G, Gripari P, et al. Feasibility of intraoperative three-dimensional transesophageal echocardiography in the evaluation of right ventricular volumes and function in patients undergoing cardiac surgery. *J Am Soc Echocardiogr* 2011; 24: 868–877.
25. Alfakih K, Plein S, Bloomer T, et al. Comparison of right ventricular volume measurements between axial and short axis orientation using steady-state free precession magnetic resonance imaging. *J Magn Reson Imaging* 2003; 18: 25–32.
26. Plumhans C, Mühlenbruch G, Rapae A, et al. Assessment of global right ventricular function on 64-MDCT compared with MRI. *AJR Am J Roentgenol* 2008; 190: 1358–1361.
27. Guo YK, Gao HL, Zhang XC, et al. Accuracy and reproducibility of assessing right ventricular function with 64-section multi-detector row CT: comparison with magnetic resonance imaging. *Int J Cardiol* 2010; 139: 254–262.
28. Schroeder J, Peterschroeder A, Vaske B, et al. Cardiac volumetry in patients with heart failure and reduced ejection fraction: a comparative study correlating multi-slice computed tomography and magnetic resonance tomography. Reasons for intermodal disagreement. *Clin Res Cardiol* 2009; 98: 739–747.

Článek přijat redakcí: 17. 1. 2014

Článek přijat k publikaci: 6. 3. 2014

doc. MUDr. Tomáš Paleček, Ph.D.

*II. interní klinika VFN a 1. LF UK
U Nemocnice 2, 128 08 Praha 2
tpalec@lf1.cuni.cz*