

Neinvazivní měření objemu levé síně pomocí echokardiografie a výpočetní tomografie

Noninvasive measurement of left atrial volume using echocardiography and computed tomography

Zbyněk Tüdös¹, Jan Macek¹, Martin Hutrya², Tomáš Skála²

¹Radiologická klinika LF UP a FN Olomouc

²I. interní klinika – kardiologická LF UP a FN Olomouc

Hlavní stanovisko práce

Odhad objemu levé síně z rutinní 2D echokardiografie nedosahuje dostatečné korelace s objemem vypočteným na základě CT dat. Použití EKG synchronizace při CT vyšetření nemá vliv na míru korelace mezi 2D echokardiografickou a CT volumetrií.

SOUHRN

Tüdös Z, Macek J, Hutrya M, Skála T. Neinvazivní měření objemu levé síně pomocí echokardiografie a výpočetní tomografie

Úvod: Neinvazivní zobrazení levé síně je rutinní součástí přípravy pacienta s fibrilací síní ke katérové radiofrekvenční ablací. Cílem práce bylo ověřit, do jaké míry se liší výpočet objemu levé síně při echokardiografii a při výpočetní tomografii (CT). Dále jsme chtěli ověřit, zda má použití synchronizace CT přístroje s elektrokardiografickou (EKG) křivkou vliv na míru shody mezi echokardiografií a CT.

Metodika: Vstupní kritéria splnilo 62 pacientů s fibrilací síní. Všichni podstoupili rutinní transthorakální echokardiografii. Dále byl soubor prospektivně randomizován do dvou skupin. Skupina A podstoupila kontrastní CT vyšetření plicních žil a levé síně s použitím EKG gatingu. U skupiny B byl použit helikální CT protokol bez EKG synchronizace. U všech pacientů byl z echokardiografických záznamů vypočítán objem levé síně Simpsonovou metodou sumace disků. Z CT dat byla provedena manuální volumetrie levé síně. U obou zobrazovacích metod byl výsledný objem indexován na povrch těla. Statisticky byl srovnán indexovaný objem levé síně (LAVi) při echokardiografii a při CT mezi skupinou A a skupinou B. Dále jsme pomocí korelace hodnotili vztah mezi echo LAVi a CT LAVi u obou podskupin a u celého souboru.

Výsledky: LAVi změřený pomocí echokardiografie byl statisticky významně nižší o 31,8–36,6 % ($p < 0,001$). Hodnota CT LAVi se mezi skupinou A a B statisticky významně nelišila (50,71 vs. 54,57 ml/m²; $p = 0,34$). Rovněž

Major statement

Estimation of left atrial volume calculated from routine 2D echocardiography insufficiently correlate with volume based the CT data. The use of ECG gating during the CT data acquisition does not affect the degree of correlation between 2D echocardiographic and CT volumetry.

SUMMARY

Tüdös Z, Macek J, Hutrya M, Skála T. Noninvasive measurement of left atrial volume using echocardiography and computed tomography

Aim: Non-invasive imaging of the left atrium is a routine part of management before catheter radiofrequency ablation in patients suffering from atrial fibrillation. The aim of the study was to verify the degree of agreement in left atrial volume (LAV) calculated from echocardiography and computed tomography (CT) images. Further, we tried to verify whether the use of electrocardiography (ECG) gated CT protocol affects the degree of agreement between echocardiographic and CT volumetry.

Methods: Totally, 62 patients with atrial fibrillation met the inclusion criteria. They all underwent routine transthoracic echocardiography. Furthermore, the group was prospectively randomized into two groups. Group A underwent a contrast-enhanced CT scan of the pulmonary veins and left atrium using ECG-gated protocol. For group B, a helical CT protocol without ECG synchronization was used. Left atrial volumetry was performed using CT data. Left atrial volume was calculated using Simpson's biplane discs summation method based on 2D echocardiographic images. In both imaging methods, the resulting volume was indexed to the body surface area. The indexed left atrial volume (LAVi) in echocardiography and CT scan between group A and group B was statistically compared. We also calculated correlation between echo LAVi and CT LAVi in both subgroups and in the whole study group.

Přijato: 30. 1. 2020

Korespondenční adresa:

doc. MUDr. Tomáš Skála, Ph.D., FESC
I. interní klinika – kardiologická, Fakultní nemocnice Olomouc
I. P. Pavlova 6, 779 00 Olomouc
e-mail: tomasskala@gmail.com

Konflikt zájmů: žádný.

Práce byla podpořena vnitřním grantem Univerzity Palackého: IGA_LF_2020_012.

hodnota echo LAVi se mezi skupinou A a B statisticky významně nelišila (34,58 vs. 34,60 ml/m²; $p = 0,94$). Korelační koeficient ρ mezi echo LAVi a CT LAVi u skupiny A dosáhl 0,429, u skupiny B 0,527 a v celém souboru 0,482.

Závěr: Odhad objemu levé síně při rutinně prováděné transthorakální echokardiografii byl významně podhodnocen a dosáhl pouze středně silné korelace s CT, proto by měl být tento druh výpočtu interpretován s opatrností. Použití EKG synchronizace v průběhu akvizice CT dat nemá vliv na míru shody mezi echokardiografickou a CT volumetrií.

Klíčová slova: echokardiografie, fibrilace síní, objem levé síně, výpočetní tomografie.

Results: LAVi measured by echocardiography was statistically significantly lower by 31.8–36.6% ($p < 0.001$). The CT LAVi value did not differ significantly between groups A and B (50.71 vs. 54.57 ml/m²; $p = 0.34$). Similarly, the echo LAVi value did not differ significantly between groups A and B (34.58 vs. 34.60 ml/m²; $p = 0.94$). The correlation coefficient ρ between echo LAVi and CT LAVi in group A reached 0.429, in group B 0.527 and in the whole group 0.482.

Conclusion: The estimation of left atrium volume in a routine transthoracic echocardiography was significantly underestimated and achieved only moderate correlation in comparison with CT volumetry, therefore this estimation should be interpreted with caution. The use of ECG-gated protocol during the CT data acquisition did not affect the degree of agreement between echocardiographic and CT volumetry.

Key words: atrial fibrillation, computed tomography, echocardiography, left atrial volume.

ÚVOD

Fibrilace síní (FS) představuje závažný klinický problém s významnou morbiditou a vzrůstající prevalencí (1, 2). U pacientů s FS je invazivní izolace ústí plicních žil metodou katetrizační radiofrekvenční ablace (RFA) indikována při neuspokojivém efektu farmakoterapie (3). Nedílnou součástí přípravy k RFA je neinvazivní zobrazení plicních žil a levé síně. Součástí hodnocení je i měření rozměrů a výpočet objemu levé síně, který má přímou souvislost s úspěšností RFA (1, 4). Nejlépe dostupnou neinvazivní metodou je transthorakální echokardiografie, která však má omezenou výtežnost a je zatížena větší interpersonální variabilitou. Dále pacient obvykle před výkonem podstoupí vyšetření pomocí počítačové tomografie (CT), jehož účelem je jednak detailnější vizuální zhodnocení anatomických poměrů při plánování výkonu a dále vytvoření trojrozměrné digitální fúze morfologických obrazů s elektroanatomickou mapou v průběhu samotného výkonu (5, 6).

Cílem práce bylo zhodnotit míru shody v měření objemu levé síně mezi rutinně provedenou transthorakální echokardiografií a CT vyšetřením. Design studie nám navíc umožnil porovnat, zda má použití EKG synchronizace při akvizici CT dat vliv na míru shody

mezi výše zmíněnými zobrazovacími modalitami.

METODIKA

Soubor

Do studie byli prospektivně zařazováni pacienti s paroxysmální FS indikovaní k RFA.

Vstupní kritéria: Paroxysmální FS, nejméně tři epizody FS za posledních 6 měsíců, věk nad 18 let, sinusový rytmus při CT vyšetření, podepsání informovaného souhlasu s účastí ve studii.

Vylučovací kritéria: Perzistující, dlouhodobě perzistující nebo permanentní FS, strukturální srdeční onemocnění, chlopenní vada nebo stav po operaci chlopně, užívání amiodaronu v posledních 3 měsících, ejekční frakce levé komory $< 35\%$, těhotenství, kojení. Studii schválila místní etická komise. Všichni pacienti podepsali informovaný souhlas s účastí na studii. Celkem bylo zařazeno 62 pacientů, kteří byli randomizováni do dvou skupin: skupina A (CT vyšetření s EKG synchronizací, $n = 31$) a skupina B (helikální CT bez EKG synchronizace, $n = 31$). Mezi skupinami nebyl statisticky významný rozdíl v pohlaví, věku a v parametru body mass index (BMI) (tab. 1).



1 Metodika biplanárního měření objemu levé síně z transthorakální echokardiografie v apikální čtyřdutinové projekci (a) a apikální dvoudutinové projekci (b)

Methodology of biplanar measurement of left atrial volume from transthoracic echocardiography in the apical four-chamber view (a) and the apical two-chamber view (b)

Echokardiografie – provedení a volumetrie

Vstupní echokardiografická vyšetření byla provedena v rutinním provozu na přístroji Vivid 9 (GE Healthcare Technologies, Waukesha, Wisconsin, USA) vybaveného M3S sondou (2–5 MHz). Pacienti byli vyšetřováni v poloze na levém boku při klidné respiraci, přičemž registrované sekvence k následnému hodnocení byly získány v klidném výdechu k minimalizaci translačních pohybů srdce. Detailní hodnocení nálezů bylo prováděno retrospektivně off-line v prostředí archivačního programu EchoPac 7 Option (verze BT 10.0.0) jedním hodnotitelem bez znalosti výsledků ostatních vyšetření

a zobrazovacích metod. Objem levé síně byl kvantifikován pomocí kalkulace podle Simpsonovy metody sumace disků z parametrů získaných na konci systoly komor v době maximální naplně levé síně z apikální čtyřdutinové projekce a apikální dvoudutinové projekce dle recentních doporučení (7). Asi u 30 % pacientů hodnotitel konstatoval horší vyšetřitelnost. Získaná hodnota objemu levé síně v ml byla vydělena hodnotou tělesného povrchu vypočítané vzorcem dle Mostellera (8).

CT protokoly a CT volumetrie

Všichni účastníci podstoupili vyšetření na 64-řadém přístroji LightSpeed VCT (General Electric, Milwaukee, USA).

Křivka EKG byla monitorována u všech účastníků a všichni měli v průběhu akvizice dat pravidelný sinusový rytmus. Studijní skupina A podstoupila CT vyšetření s retrospektivním EKG gatingem s napětím 120 kV, kolimací 64 × 0,625 mm, rotací 0,4 s. Studijní skupina B podstoupila helikální CT bez EKG synchronizace s napětím 120 kV, kolimací 64 × 0,625 mm a rotací 0,4 s. U obou skupin byly CT obrazy rekonstruovány s tloušťkou vrstvy 0,625 mm. Účastníci obou skupin dostali intravenózně 70 ml jodované kontrastní látky Iopromide (Ultravist® 370, Bayer Healthcare, Berlín, Německo) rychlostí 4 ml/s s následným proplachem 30 ml fyziologického roztoku. Akvizice dat byla časována pomocí techniky „bolus tracking“; oblast zájmu byla umístěna v levé síni. Více detailů o CT protokolech lze nalézt v naší předchozí práci (6). Volumetrie byla provedena na rekonstrukční stanici Advantage Windows. Objem levé síně byl manuálně vykreslen s vyloučením ústí plicních žil a levého ouška (9, 10) (obr. 2). U skupiny A byla k volumetrii vybrána fáze srdečního cyklu na konci systoly komor. Získaná hodnota objemu levé síně v ml byla vydělena hodnotou tělesného povrchu vypočítané vzorcem dle Mostellera (8).

Statistická analýza

Data byla popsána pomocí mediánu, průměru a směrodatné odchylky. Wilcoxonovým neparametrickým testem byly

Tab. 1. Demografické srovnání obou skupin

Table 1. Demographic comparison of study groups

		Skupina A	Skupina B	p
n		31	31	
pohlaví	muži	22	21	1,000
	ženy	9	10	
věk	medián	62	60	0,554
	průměr	57,58	55,65	
	SD	12,47	12,27	
BMI	medián	26,53	29,28	0,116
	průměr	27,82	29,66	
	SD	4,46	3,51	

skupina A – CT protokol s retrospektivním EKG gatingem, group A – retrospective ECG gated CT protocol

skupina B – helikální CT bez EKG synchronizace, group B – helical non-gated CT protocol

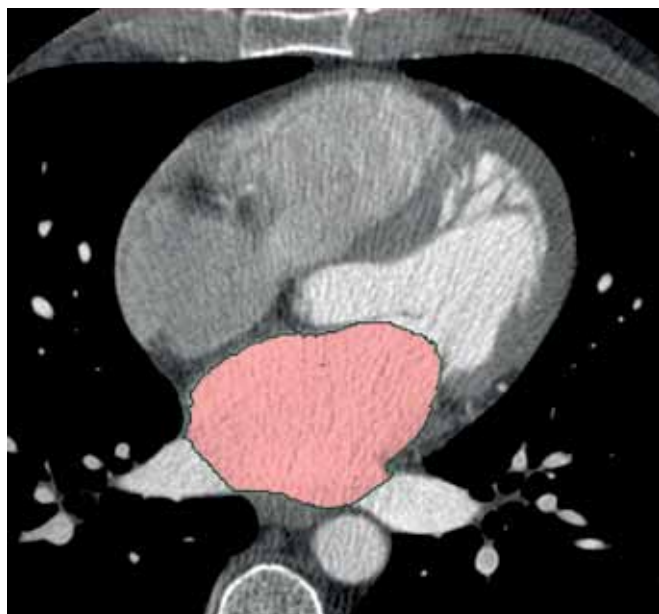
n – počet subjektů/number of subjects

BMI – body mass index

p – hladina významnosti/level of significance

SD – směrodatná odchylka/standard deviation

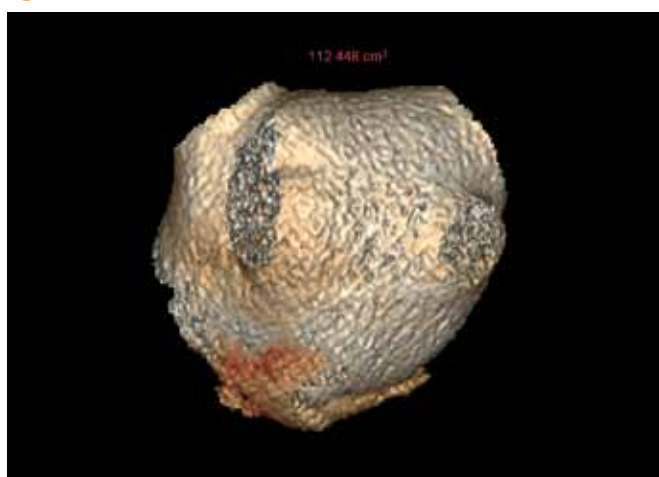
2a



2b



2c



2 Metodika manuální segmentace a volumetrie levé síně na CT v axiální rovině (a), v koronární rovině (b), 3D rekonstrukce (c)
Methodology of manual left atrial CT segmentation and volumetry in the axial plane (a), in the coronal plane (b), in the volume-rendered reconstruction (c)

porovnány hodnoty LAV a LAVi naměřené při CT a echokardiografii. Dále byly neparametrickým Mannovým-Whitneyovým U testem porovnány hodnoty mezi LAV a LAVi mezi skupinou A a skupinou

B. Míra korelace mezi CT LAVi a echo LAVi byla hodnocena pomocí Spearmanova korelačního koeficientu ρ . Hladina významnosti byla u všech testů $p = 0,05$.

Tab. 2. Srovnání CT a echokardiografické volumetrie

Table 2. A comparison of echocardiographic and CT left atrial volumetry

	Skupina A			Skupina B			P
	medián	průměr	SD	medián	průměr	SD	
CT LAV (ml)	100,00	106,03	29,98	111,6	115,98	31,10	0,22
CT LAVi (ml/m ²)	46,43	50,71	12,96	50,41	54,57	14,41	0,34
echo LAV (ml)	69,90	72,92	30,09	69,00	74,29	28,36	0,76
echo LAVi (ml/m ²)	33,01	34,58	12,37	31,16	34,60	12,38	0,94

CT LAV – objem levé síně dle CT/left atrial volume estimation according to CT

CT LAVi – objem levé síně dle CT indexovaný na povrch těla/left atrial volume estimation according to CT indexed on the body surface

echo LAV – objem levé síně dle echokardiografie/left atrial volume estimation according to 2D echocardiography

echo LAVi – objem levé síně dle 2D echokardiografie indexovaný na povrch těla/left atrial volume estimation according to 2D echocardiography indexed on the body surface

SD – směrodatná odchylka/standard deviation

p – hladina významnosti/level of significance

VÝSLEDKY

Indexované i neindexované objemy byly při CT vyšší než při echokardiografii, rozdíly byly statisticky signifikantní na hladině $p < 0,001$ (tab. 2). Mezi skupinou A a skupinou B nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v hodnotách LAV a LAVi bez ohledu na zobrazovací modalitu (tab. 2). Korelace mezi CT a echokardiografickou hodnotou LAVi dosáhla u skupiny A pouze středně významné hodnoty ($\rho = 0,429$). U skupiny B byla korelace mírně vyšší ($0,527$), nicméně rozdíl korelačního koeficientu mezi skupinami nebyl statisticky významný ($p = 0,317$). Při sloučení obou skupin do jednoho souboru dosáhl korelační koeficient ρ hodnoty $0,482$. Výsledky korelace jsou shrnuty v tabulce 3 a zobrazeny v grafech 1a–c.

Tab. 3. Hodnoty korelace objemu levé síně mezi 2D echokardiografií a CT vyšetřením

Table 3. Values of correlation in left atrial volumes between 2D echocardiography and CT

	CT LAVi vs echo LAVi		p*
	<i>rho</i>		
skupina A	<i>rho</i>	0,429	0,317
	p	0,0158	
skupina B	<i>rho</i>	0,527	0,002
	p	0,002	
celý soubor	<i>rho</i>	0,482	< 0,001
	p	< 0,001	

skupina A – CT protokol s retrospektivním EKG gatingem, group A – retrospective EKG gated CT protocol

skupina B – helikální CT bez EKG synchronizace, group B – helical non-gated CT protocol

rho – Spearmanův korelační koeficient *rho*/Spearman's correlation coefficient *rho*

p – hladina významnosti korelačních koeficientů/level of significance of correlation coefficients

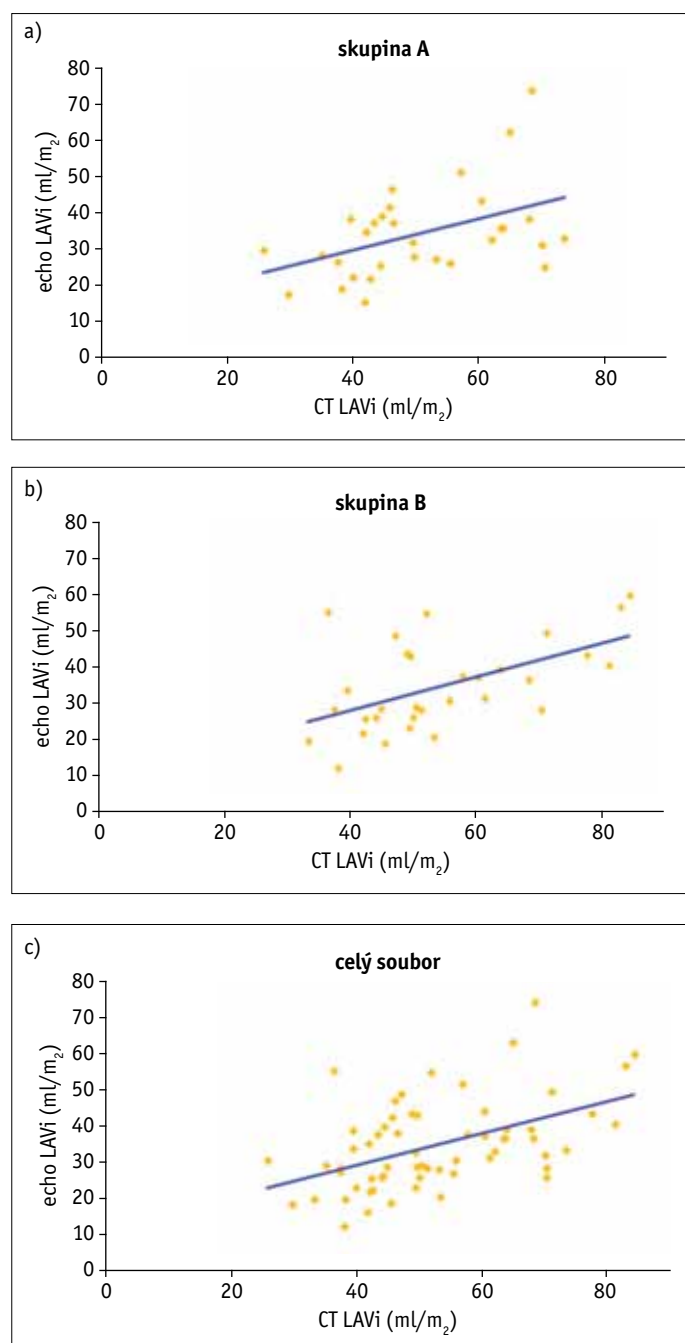
p* – hladina významnosti rozdílu mezi skupinou A a skupinou B/level of significance of difference between group A and B

DISKUSE

Neinvasivní zobrazení levé síně je nedílnou součástí přípravy pacienta ke katérové ablací FS. Nejdostupnější metodou je transthorakální echokardiografie, která je dostupná a neriziková. Nevýhodou je často omezená vyšetřitelnost a větší interindividuální variabilita. Cílem vyšetření je identifikace strukturálního srdečního onemocnění (např. chlopenní vady) a posouzení velikosti a funkce levé komory (systolické a diastolické), velikost síní a funkce pravostranných srdečních oddílů (3). Kromě celkového zhodnocení anatomických poměrů je důležitý odhad velikosti

levé síně, neboť dilatace levé síně je spojena s nižší úspěšností RFA (1, 4, 10). Nejjednodušší možností měření levé síně je zadopřední měření levé síně v parasternální dlouhé ose (7). Tato jednoduchá metoda však dosahuje v literatuře nejmenší přesnosti ve srovnání s CT volumetrií (4, 11, 12). Pokročilejší a časově náročnější metodou je odhad objemu levé síně na podkladě dvou-rozměrného měření, v tomto směru je popsáno několik možných metodik, např. kubická metoda, výpočet „délka-šířka“, výpočet „obsah-délka“, výpočet elipsoidu a výpočet objemu modifikovanou Simpsonovou metodou (7, 13). Nejpokročilejší metodou měření při echokardiografii je trojrozměrné měření, které v literatuře dosahuje nejlepších výsledků (14, 15). CT je v porovnání s echokardiografií objektivnější a reproduktivnější, neboť poskytuje možnost manuálního zhotovení trojrozměrného modelu a volumetrii levé síně a je používána jako zlatý standard pro hodnocení přesnosti echokardiografických metod (13–19). Ve srovnání s CT volumetrií je v literatuře popisováno systematické signifikantní podhodnocení objemu získaného pomocí 2D echokardiografických technik, uvádí se podhodnocení v rozmezí 22–34 % (13,16–18,20), což se blíží našim výsledkům (tj. podhodnocení objemu levé síně o 31,8–36,6 %). Hodnota korelačního koeficientu mezi 2D echokardiografií a CT je uváděna v rozmezí 0,68–0,98 (13,16–19,21). V tomto směru dosáhla echokardiografie v našem souboru výrazně horších výsledků (korelační koeficient 0,482 pro celý soubor). Rozdíl si vysvětlujeme rozdílným přístupem k echokardiografickému vyšetření – v ostatních publikovaných studiích byla echokardiografie prováděna prospektivně omezeným počtem výzkumníků předem domluvenou metodikou. V našem případě echokardiografická vyšetření prováděl v rutinním provozu široký okruh lékařů s vágně definovanou metodikou. Dále byla u relativně vysokého počtu pacientů konstatována zhoršená vyšetřitelnost pomocí transthorakální echokardiografie. Náš výsledek lze interpretovat tak, že v rutinní praxi je přesnost echokardiografie nižší než v pečlivě vedených výzkumných studiích.

Dalším cílem naší práce bylo ověření, zda má EKG synchronizace vliv na míru shody mezi echokardiografií a CT, neboť EKG gatovaný protokol umožňuje vybrat



Graf 1. Grafické znázornění vztahu indexovaného objemu levé síně mezi 2D echokardiografií (echo LAVi) a CT (CT LAVi): skupina A zahrnuje pacienty vyšetřené s využitím EKG gatingu v průběhu akvizice CT dat (a); skupina B zahrnuje pacienty vyšetřené bez využití EKG synchronizace v průběhu akvizice CT dat (b); celý soubor zahrnující obě předchozí skupiny (c)

Graph 1. Scatter plots revealing relation of indexed left atrial volumes measured from 2D echocardiography (echo LAVi) and CT data (CT LAVi); the group A represents subjects with EKG gated CT scan (a), the group B represents subject with helical non-gated CT scan (b), the whole study group pooling both previous groups (c)

libovolnou fázi srdečního cyklu tak, aby odpovídala výběru fáze při echokardiografii. U helikálního CT protokolu bez EKG synchronizace je k dispozici pouze jedna náhodně zachycená fáze. Teoreticky by tedy měla být korelace u EKG gatovaného protokolu lepší. Naše výsledky však tento předpoklad nepotvrzují, naopak oproti předpokladu byl korelační koeficient u EKG gatovaného protokolu nižší, ačkoliv rozdíl nebyl statisticky signifikantní. Na základě naší studie konstatujeme, že EKG synchronizace nevede ke zlepšení korelace mezi echokardiografií a CT vyšetřením.

ZÁVĚR

Odhad objemu levé síně pomocí 2D metody při rutinně prováděné transthorakální echokardiografii byl ve srovnání s CT volumetrií významně podhodnocen, navíc korelace obou metod byla pouze středně silná, což je výrazně horší korelace, než je uváděno v prospektivních výzkumných studiích. Výsledek echokardiografické volumetrie v rutinní praxi je tedy třeba interpretovat s opatrností. Použití EKG synchronizace v průběhu akvizice CT dat nemá vliv na míru shody mezi echokardiografickou a CT volumetrií. ●

LITERATURA

1. Kirchhof P, Benussi S, Kotecha D, et al. 2016 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS. *European Heart Journal* 2016; 37(38): 2893–2962.
2. January CT, Wann LS, Alpert JS, et al. 2014 AHA/ACC/HRS Guideline for the Management of Patients With Atrial Fibrillation. *Journal of the American College of Cardiology* 2014; 64(21): e1–e76.
3. Čihák R, Haman L, Táborský M. 2016 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS. Summary of the document prepared by the Czech Society of Cardiology. *Cor et Vasa* 2016; 58(6): e636–e683.
4. Parikh SS, Jons C, McNitt S, Daubert JP, Schwarz KQ, Hall B. Predictive capability of left atrial size measured by CT, TEE, and TTE for Recurrence of Atrial Fibrillation Following Radiofrequency Catheter Ablation. *Pacing and Clinical Electrophysiology* 2010; 33(5): 532–540.
5. Skála T, Táborský M. Electromechanical mapping in electrophysiology and beyond. *Cor et Vasa* 2015; 57(6): e470–e482.
6. Tudos Z, Skála T, Homola M, et al. ECG non-gated multi-detector computed tomography protocol prior to catheter ablation of atrial fibrillation provides sufficient data quality with lower radiation exposure compared to ECG-gated protocol. A prospective, randomized and blinded study. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub* 2018; 162(4): 310–318.
7. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2015; 28(1): 1–39.e14.
8. Mosteller RD. Simplified calculation of body-surface area. *New England Journal of Medicine* 1987; 317(17): 1098.
9. Helms AS, West JJ, Patel A, et al. Relation of left atrial volume from three-dimensional computed tomography to atrial fibrillation recurrence following ablation. *The American Journal of Cardiology* 2009; 103(7): 989–993.
10. Abecasis J, Dourado R, Ferreira A, et al. Left atrial volume calculated by multi-detector computed tomography may predict successful pulmonary vein isolation in catheter ablation of atrial fibrillation. *Europace* 2009; 11(10): 1289–1294.
11. Hof I, Arbab-Zadeh A, Scherr D, et al. Correlation of left atrial diameter by echocardiography and left atrial volume by computed tomography. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology* 2009; 20(2): 159–163.
12. Havránek Š, Bulková V, Fiala M, et al. Poor relationship between left atrial diameter and volume in patients with atrial fibrillation. *Cor et Vasa* 2012; 54(11–12): e386–e392.
13. Christiaens L, Lequeux B, Ardilouze P, et al. A new method for measurement of left atrial volumes using 64-slice spiral computed tomography: Comparison with two-dimensional echocardiographic techniques. *International Journal of Cardiology* 2009; 131(2): 217–224.
14. Rohner A, Brinkert M, Kawel N, et al. Functional assessment of the left atrium by real-time three-dimensional echocardiography using a novel dedicated analysis tool: Initial validation studies in comparison with computed tomography. *European Journal of Echocardiography* 2011; 12(7): 497–505.
15. Iwataki M, Takeuchi M, Otani K, et al. Measurement of left atrial volume from transthoracic three-dimensional echocardiographic datasets using the biplane Simpson's technique. *Journal of the American Society of Echocardiography* 2012; 25(12): 1319–1326.
16. Avelar E, Durst R, Rosito GA, et al. Comparison of the accuracy of multidetector computed tomography versus two-dimensional echocardiography to measure left atrial volume. *The American Journal of Cardiology* 2010; 106(1): 104–109.
17. Gweon HM, Kim SJ, Kim TH, Lee SM, Hong YJ, Rim S-J. Evaluation of Left Atrial Volumes Using Multidetector Computed Tomography: Comparison with Echocardiography. *Korean Journal of Radiology* 2010; 11(3): 286–294.
18. Kircher B, Abbott JA, Pau S, et al. Left atrial volume determination by biplane two-dimensional echocardiography: validation by cine computed tomography. *American Heart Journal* 1991; 121(3 Pt 1): 864–871.
19. Nagaya M, Kawasaki M, Tanaka R, et al. Quantitative validation of left atrial structure and function by two-dimensional and three-dimensional speckle tracking echocardiography: A comparative study with three-dimensional computed tomography. *Journal of Cardiology* 2013; 62(3): 188–194.
20. Kühl JT, Lønborg J, Fuchs A, et al. Assessment of left atrial volume and function: a comparative study between echocardiography, magnetic resonance imaging and multi slice computed tomography. *International Journal of Cardiovascular Imaging* 2012; 28(5): 1061–1071.
21. Carr L, Cosgrove C, Dahiya A, Chao C, Prasad S, Younger J. Comparison of Left Atrial (LA) Volume Assessment by 2D Echocardiography (2DE) with Volumetric Analysis by Computed Tomography Coronary Angiography (CTCA). *Heart, Lung and Circulation* 2013; 22: S169.