



## Původní sdělení | Original research article

## CT angiografia u Fontanovských pacientov s implantovanými stentami

(CT angiography in Fontans with implanted stents)

Marek Kardoš<sup>a</sup>, Juraj Mikuláš<sup>b</sup>, Ivan Vulev<sup>b</sup>, Jozef Mašura<sup>a</sup><sup>a</sup> Oddelenie funkčného vyšetřovania, Detské kardiocentrum, Bratislava, Slovensko<sup>b</sup> Oddelenie diagnostickej a intervenčnej rádiológie, Národný ústav srdcových a cievnych chorôb, Bratislava, Slovensko

## INFORMACE O ČLÁNKU

## Historie článku:

Došel do redakce: 5. 6. 2013

Přepřacován: 12. 7. 2013

Přijat: 14. 7. 2013

Dostupný online: 24. 7. 2013

## Klíčové slová:

Fontanovská cirkulácia  
Optimálny enhancement  
CT angiografia  
Stenty

## Keywords:

Computer angiography  
Fontan circulation  
Optimal enhancement  
Stents

## SÚHRN

**Úvod:** CT angiografia je neinvazívna metóda využívaná na hodnotenie pacientov s Fontanovskou cirkuláciou. Pre dobrú vizualizáciu Fontanovskej cirkulácie u týchto pacientov je dôležitý optimálny skenovací čas a správna voľba miesta podania kontrastnej látky.

**Ciel:** Cieľom tejto štúdie bolo potvrdiť, že počítačová tomografia je veľmi dobrou metódou na hodnotenie pacientov po Fontanovskej operácii s implantovanými stentami v pľúcnych artériách alebo vo fenestri.

**Materiál a metódy:** CT angiografiu podstúpilo šesť pacientov s Fontanovskou cirkuláciou a implantovaným stentom v ľavom ramene pľúcnice alebo fenestri. CT angiografické vyšetrenie bolo úspešne realizované u všetkých pacientov. Pre homogénne vysýtenie pľúcnych artérií a Fontanovského tunela sme sa rozhodli použiť protokol so začiatkom skenovania jednu minútu od podania kontrastnej látky do pravej kubitálnej jamky. Optimálne vysýtenie bolo hodnotené v pravom ramene pľúcnice, v ľavom ramene pľúcnice a Fontanovskom tuneli. Ako optimálne vysýtenie sme definovali možnosť hodnotenia stentu.

**Výsledky:** Optimálny enhancement, kedy bolo možné stent hodnotiť intraluminálne, sme dosiahli pri siedmich CT vyšetreniach. Blandov-Altmanov test bol použitý na analýzu stupňa zhody merania medzi oboma vyšetrujúcimi. Zhoda stredných hodnôt denzit nameraných dvoma vyšetrujúcimi bola dobrá.

**Záver:** Táto štúdia demonštruje, že CT angiografia je rýchla, presná a reprodukovateľná metóda použiteľná na hodnotenie pacientov s Fontanovskou cirkuláciou a implantovaným stentom v pľúcnych artériách alebo fenestri.

© 2013, ČKS. Published by Elsevier Urban and Partner Sp. z o.o. All rights reserved.

## ABSTRACT

**Background:** CT angiography is used as a non-invasive method in the evaluation of patients with Fontan circulation. For good visualization of patients having undergone the Fontan operation the optimal scan timing and adequate intravenous route is important.

**Purpose:** The aim of this study was to confirm that computer tomography is a very good tool for assessment of patients after Fontan procedure with implanted stents in pulmonary arteries or in fenestration.

**Material and methods:** Six patients with Fontan circulation and implanted stent in left pulmonary artery or in fenestration underwent CT angiography. The CT angiography was successfully performed to all patients. For homogenous enhancement of Fontan pulmonary arteries and Fontan tract we decided to use 1-minute delay scan with right antecubital application of contrast agent. The optimal enhancement was evaluated at the right pulmonary artery (RPA), left pulmonary artery (LPA), and Fontan tract. Optimal enhancement was defined when evaluation of stent was possible.

**Results:** Optimal enhancement when the stent was possible to evaluate intraluminally was achieved in seven CT examinations. The Bland-Altman test demonstrated good agreement between readers.

**Conclusions:** This study demonstrates that CT angiography is a fast, accurate and reproducible method in the evaluation of patients with Fontan circulation, and implanted stent in pulmonary arteries or in fenestration.

Adresa: MUDr. Marek Kardoš, Oddelenie funkčného vyšetřovania, Detské kardiocentrum – SR, Limbová 1, 833 51 Bratislava, Slovensko

DOI: 10.1016/j.crvasa.2013.07.003

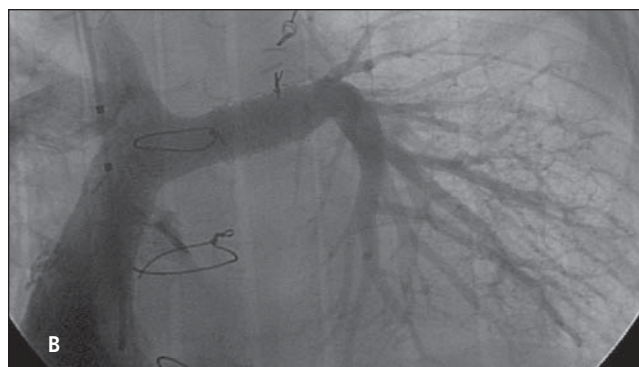
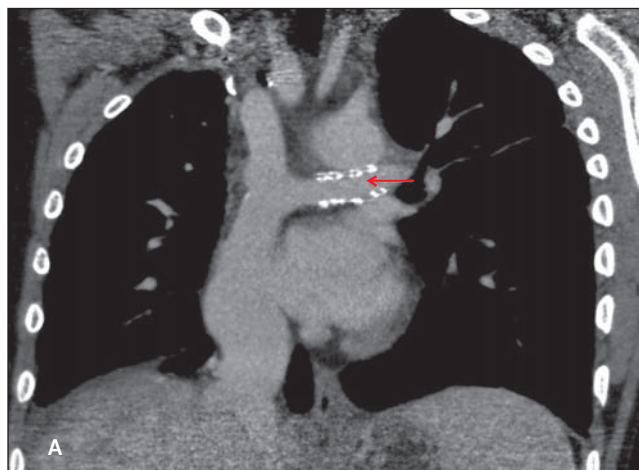
## Úvod

V priebehu rokov sa Fontanovská operácia stala revolučnou operáciou u pacientov s jednokomorovým srdcom. Operácia prešla niekoľkými modifikáciami a prognóza týchto pacientov sa zlepšila. Prvýkrát bola použitá v roku 1968 u pacienta s trikuspidálnou atréziou a v roku 1971 bola opísaná Fontanom a Baudetom. Zahŕňala inzerciu aortálneho alebo pľúcneho homograftu s chlopňou do vtoku a výtoku pravej predsieň. V súčasnosti sa používajú dve techniky úplnej kavopulmonálnej anastomózy ako metódy výberu (laterálny alebo extrakardiálny tunel). Od techniky, pri ktorej sa vytvorila anastomóza medzi predsieňou a pľúcnou artériou, sa upustilo. Kvôli komplikáciám, ktoré pri využití tejto techniky vznikali, množstvo pacientov podstúpilo konverziu z atriopulmonálneho spojenia na úplné kavopulmonálne spojenie [1].

Aj napriek tejto konverzii pacienti trpia na množstvo komplikácií. Jednou z najčastejších sú stenózy ramien pľúcnice [2]. Existuje zvýšené riziko ich vzniku u pacientov s hypoplastickými ramenami pľúcnice, po ligácii duktu, po anastomóze akéhokoľvek druhu. Najčastejšou príčinou stenózy ľavého ramena pľúcnice (LPA) u pacientov s Fontanovskou cirkuláciou je jeho kompresia dilatovanou neoortou [3]. Preto je nutné efektívne menežovať týchto pacientov. Je dôležité zabezpečiť neobštrukčný tok krvi do pľúcnych artérií. Z krátkodobého sledovania boli dokázané dobré výsledky po operačnej korekcii stenóz, avšak aj zvýšený výskyt restenóz pľúcnych artérií po opakovaných chirurgických zákrokoch. Alternatívnou liečbou sú transkatérové intervencie, ktoré pozostávajú z balónikovej angioplastiky (použitie konvenčného, vysokotlakového alebo cutting balónika), resp. implantácie stentu. Stenty sa používajú na liečbu stenóz po predchádzajúcej operácii, kinkingu pľúcnej artérie, externej kompresii alebo elastickom type stenózy [4,5]. Sekundárna fenestrácia zlyhavajúcej Fontanovskej cirkulácie zabezpečí zlepšenie hemodynamických parametrov u týchto pacientov [6].

Tradičnou zobrazovacou metódou v pred- a pooperačnom hodnotení pacientov s vrodenými srdcovými chybami (VSCH) bola katérová angiografia, ktorá však bola nahradená echokardiografiou [7]. Diagnostická kvalita zobrazenia prostredníctvom echokardiografie vysoko závisí od skúseností vyšetrujúceho a prítomnosti vhodného akustického okna. Zobrazenie magnetickou rezonanciou (MRI) predstavuje excelentnú diagnostickú metódu na hodnotenie detí s VSCH, ktoré musia byť sledované počas celého života [8–10]. Avšak diagnostické možnosti MRI sú v dôsledku prítomnosti chirurgických materiálov (napr. kovové klipy) a implantovaných stentov značne obmedzené pre výpadok signálu v mieste ich lokalizácie. Preto zobrazenie stentov u týchto pacientov je lepšie prostredníctvom počítačovej tomografie (CT). Počítačová tomografia umožňuje optimálne hodnotenie in-stent restenózy. Vizualizácia stentu je pre prítomnosť Fontanovskej cirkulácie výzvou. Dôležité je dosiahnuť homogénne vysýtenie vo všetkých častiach Fontanovskej cirkulácie. Homogénna opacifikácia je nevyhnutná aj pre detekciu možného trombu [11].

V tejto práci sme sa zamerali na problémy s vizualizáciou Fontanovskej cirkulácie u pacientov s implantovaným stentom v hlavných pľúcnych artériách alebo fenestri.



Obr. 1 – (A) CT sken v koronálnej rovine. Pacient po Fontanovskej operácii a implantácii stentu do LPA. Šípka ukazuje na priechodný stent v LPA. (B) Konvenčná angiografia u toho istého pacienta.

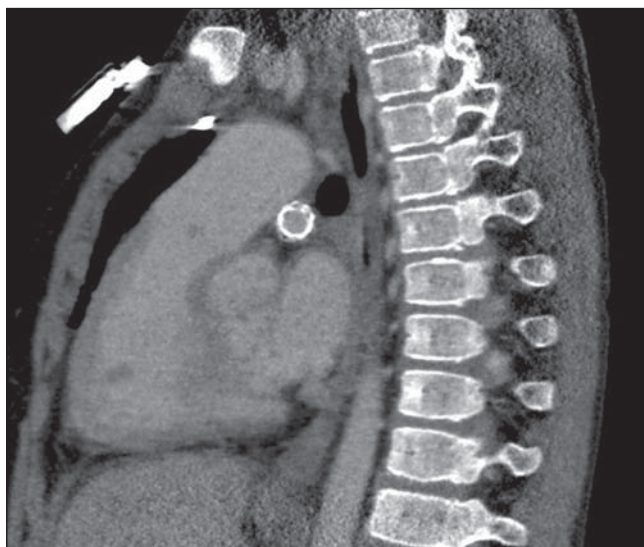
## Materiál a metódy

### Pacienti

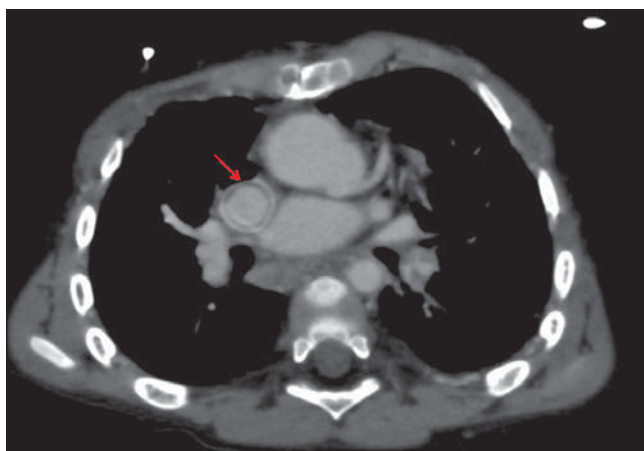
Štúdia zahŕňala šesť Fontanovských pacientov so stentom implantovanom v LPA alebo fenestri. Tabuľka 1 ukazuje demografické údaje pacientov. U šiestich pacientov (všetci boli chlapci, stredný vek 8,08 roku) bolo medzi februárom 2010 a februárom 2013 celkovo realizovaných osem CT vyšetrení. Každý pacient podpísal informovaný súhlas s CT vyšetrením. Predoperačné diagnózy zahŕňali rôzne formy hypoplastického ľavokomorového syndrómu (HLHs) a pľúcnu atréziu. Všetci pacienti podstúpili modifikovanú Fontanovskú operáciu. Úplné kavopulmonálne spojenie bolo realizované u všetkých pacientov: laterálny tunel u jedného pacienta, extrakardiálny konduit u piatich pacientov. Indikáciou CT vyšetrenia bolo zhodnotenie in-stent restenózy a u niektorých pacientov aj vizualizácia fenestra (obr. 1 a 2).

### CT vyšetrenie

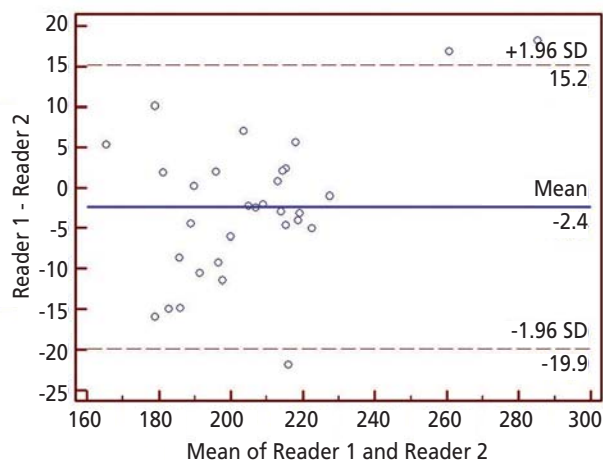
CT vyšetrenia boli vykonané na MDCT skeneri (Aquilion-ONE, Toshiba Medical Systems, Nasu, Japonsko). Použité skenovacie parametre sú zobrazené v tabuľke 2. Na redukcii pohybových artefaktov sme použili „EKG gating“. Preferovaný zobrazovací protokol závisí od indikácie. Na hodnotenie stentov implantovaných v ramenách pľúcnic alebo vo fenestri sme použili oneskorené skenovanie



Obr. 2 – CT sken v sagitálnej rovine. Ten istý pacient ako na obr. 1.



Obr. 3 – CT sken v axiálnej rovine. Môžete vidieť hypodenzný lem vo Fontanovskom tuneli (šípka), ktorý predstavuje nástenný trombus. Tento obrázok poukazuje na to, že počas 1-minútového oneskoreného skenovania je možná vizualizácia murálneho trombu alebo intimálna proliferácia.



Obr. 4 – Blandov-Altmanov test demonštruje dobrú zhodu medzi oboma vyšetrujúcimi.

Mean – stredná hodnota; SD – štandardná odchylka; reader 1, 2 – vyšetrujúci 1, 2.

(jednu minútu od podania kontrastnej látky). Ak je nutné zobraziť aj fenester bez implantovaného stentu, uskutočňujeme aj arteriálnu fázu. Používali sme neiónové kontrastné médium (Ultravist 370, Schering, Berlín, Nemco) v množstve 1–1,5 ml/kg aplikované do pravej kubitálnej žily cez 20–22 gauge kanylu. Bola zvolená taká rýchlosť aplikácie, akú dovoľovala použitá kanyla a veľkosť pacienta. Na redukciu artefaktov z nezriedenej kontrastnej látky a na redukciu jej celkového množstva sme použili preplach. Preferujeme metódu „bolus tracking“. V prípade 2-fázového protokolu (pri potrebe arteriálnej fázy) bol ROI (region of interest) umiestnený do hornej duté žily (SVC) alebo do jej spojenia s pravým ramenom pľúcnice (RPA) alebo LPA a skenovanie bolo spustené pri dosiahnutí 150 HU. Jednominútový oneskorený sken v tomto prípade predstavoval druhú fázu.

### Rekonštrukcia dát

Pri hodnotení pacientov s Fontanovskou cirkuláciou sme použili niekoľko rekonštrukčných techník – multiplanárnu rekonštrukciu (MPR), „maximum intensity projection“ (MIP) a „volume rendering technique“ (VRT).

### Interpretácia výsledkov

Pri subjektívnom hodnotení CT dát došlo u oboch radiológov (jeden so 6-ročnou praxou v hodnotení CT srdca a druhý so 4-ročnou praxou) k zhode. Hodnotili prítomnosť, resp. chýbanie artefaktov v oboch ramenách pľúcnic a Fontanovskom tuneli, optimálne vysýtenie Fontanovskej cirkulácie. Za optimálne vysýtenie bol považovaný stav, keď obaja hodnotiaci boli schopní hodnotiť stent intraluminálne. Na hodnotenie optimálneho a homogénneho enhancementu štyroch cievnych štruktúr (aorta, obe ramená pľúcnic, Fontanovský tunel) a hodnôt strednej denzity bol použitý ROI lokalizovaný v jednotlivých vyššie uvedených anatomických štruktúrach. Stredné hodnoty vo všetkých častiach Fontanovskej cirkulácie boli získané meraním denzít pri každom CT vyšetrení. Všetky merania boli realizované oboma vyšetrujúcimi.

### Štatistická analýza

Štatistická analýza pozostávala z výpočtu stredných hodnôt a štandardných odchýlok. Blandov-Altmanov test bol použitý na analýzu stupňa zhody merania medzi oboma vyšetrujúcimi.

### Výsledky

Výsledky subjektívnej analýzy sú zosumarizované v tabuľke 3. Prítomnosť „beam-hardening“ artefaktov bola dokázaná u jedného pacienta. Dôvodom ich prítomnosti bola komplexnosť srdcovej chyby u tohto pacienta (HLHs s interrupciou IVC a azygos kontinuitou). Aj napriek použitiu oneskoreného skenovania bol Fontanovský tunel nehomogénne opacifikovaný. Neopacifikovaná krv stále pritekala z žily azygos do tunela. Homogénne vysýtenie oboch pľúcnic ako aj tunela bolo získané u siedmych vyšetrení (tabuľka 3, obr. 3). Výsledky kvantitatívnych meraní sumarizuje tabuľka 4. Hodnoty strednej denzity boli veľmi podobné u oboch popisujúcich. Najvyššia stredná hodnota denzity bola dokázaná v LPA u popisujúceho č.



**Tabuľka 1 – Demografické dáta pacientov**

Počet pacientov	6
<b>Pohlavie</b>	
Muži	6
Ženy	0
<b>Vek</b>	
Stredný (roky)	8,08
Rozsah (roky)	3,5–13
<b>Diagnóza</b>	
HLHs	5
PA	1
<b>Typ FF</b>	
Intrakardiálny laterálny tunel	1
Extrakardiálny konduit	5
<b>Implantovaný stent</b>	
LPA	4
Fenestrácia	2

FF – fenestrovaný Fontan; HLHs – hypoplastický ľavokomorový syndróm; LPA – ľavé rameno pľúcnice; PA – pľúcna atrežia.

**Tabuľka 2 – Skenovacie parametre**

Kolimácia detektora	0,5 mm
Rotačný čas	0,5 s
Pitch faktor	0,828
Hodnota napätia	<ul style="list-style-type: none"> <li>80 kV(p) pre pacientov 40 kg a menej</li> <li>120 kV(p) pre pacientov ťažších ako 40 kg</li> </ul>
Hodnota prúdu	100–250 mA
Hrúbka rezu	0,5 mm
Rekonštrukčný interval	0,5 mm
Rozsah skenovania	Od hrotu pľúc k pečeni

**Tabuľka 3 – Subjektívna analýza troch anatomických štruktúr pri 1-minútovom oneskorenom skenovaní od podania kontrastnej látky antekubitálnou cestou**

	Vyšetrujúci 1	Vyšetrujúci 2
Celkový počet vyšetrení	8	8
<b>Prítomnosť artefaktov</b>		
RPA	1	1
LPA	1	1
Fontanovský tunel	1	1
<b>Homogénne vysýtenie</b>		
RPA	7	7
LPA	7	7
Fontanovský tunel	7	7

Dáta predstavujú počty CT vyšetrení.  
LPA – ľavé rameno pľúcnice; RPA – pravé rameno pľúcnice.

2. Táto hodnota bola veľmi blízka strednej hodnote denzity v aorte. Najnižšia hodnota strednej denzity bola namieraná u oboch vyšetrujúcich vo Fontanovskom tuneli. Blandov-Altmanov test demonštruje dobrú zhodu medzi vyšetrujúcimi (obr. 4).

### Limitácie štúdie

Nejde o randomizovanú štúdiu, bola vykonaná na malej vzorke pacientov. Okrem toho individuálne hemodynamické rozdiely spôsobené rozdielnym vekom pacientov, hmotnosťou, ich srdcovým výdajom mali vplyv na výsledky štúdie.

### Diskusia

Na správnu diagnostiku in-stent restenózy implantovaných stentov v pľúcnych artériách alebo vo fenestri u pacientov s Fontanovskou cirkuláciou je nutný homogénny enhancement týchto štruktúr. Tradičnou zobrazovacou technikou na sledovanie týchto pacientov bola v minulosti invazívna angiografia, ktorá však bola nahradená neinvazívnymi technikami, akou je napr. MRI. Zobrazenie magnetickou rezonanciou predstavuje excelentný diagnostický nástroj v diagnostike Fontanov [9,12]. Avšak diagnostické možnosti MRI sú limitované prítomnosťou stentov, ktoré spôsobujú výpadok signálu v mieste ich implantácie. V niektorých štúdiách boli publikované prvé, relatívne dobré výsledky použitia MRI pri hodnotení stentov. Najlepšiu vizualizáciu a tým aj diagnostickú presnosť poskytli tri – „high flip angle through-plane gradient-recalled echo (GRE) imaging“, „in-plane“ a „through-plane steady-state free precession (SSFP) imaging“ a „high flip angle MR angiografia“. Boli získané relatívne dobré výsledky. Avšak hlavnou limitáciou štúdie bola jej *in vitro* realizácia [13]. Pri vizualizácii Fontanovskej cirkulácie u pacientov s implantovaným stentom hrá poprednú úlohu CT angiografia, zásadnou podmienkou na jej správne hodnotenie je homogénna opacifikácia vo všetkých častiach Fontanovskej cirkulácie. Doposiaľ bolo publikovaných niekoľko prác zaoberajúcich sa technikami na homogénne zobrazenie Fontanovskej cirkulácie. Greenberg vo svojej práci opisuje použitie techniky CT angiografie (CTA) s duálnym podaním kontrastného agens do hornej aj dolnej končatiny v súbore šiestich pacientov s extrakardiálnym alebo laterálnym tunelom [14]. Myslíme si, že táto technika je pre deti traumatizujúca. Park a spol.

**Tabuľka 4 – Merania štyroch anatomických štruktúr**

	Hodnotiaci 1	Hodnotiaci 2
<b>Stredná hodnota denzít, HU</b>		
Fontanovský tunel	180,3 ± 25,5	176,9 ± 8,9
RPA	213,3 ± 16,5	202,5 ± 18,2
LPA	214,6 ± 43,4	218 ± 51,2
Aorta	215,1 ± 12,5	217,8 ± 34,6

Dáta predstavujú výpočty stredných hodnôt HU a ich štandardných odchýlok.

HU – Hounsfieldove jednotky; LPA – ľavé rameno pľúcnice; RPA – pravé rameno pľúcnice.

použili túto techniku u jednej skupiny pacientov, avšak príchod kontrastného média do SVC a tunela v rovnakom čase bolo veľmi ťažké dosiahnuť, a to najmä kvôli rozdielom v rezistencii, stupni kolaterálneho prietoku a rôznej rýchlosti prietoku krvi v jednotlivých kompartmentoch Fontanovskej cirkulácie. Táto štúdia demonštruje, že 3-minútový oneskorený sken je najoptimálnejší u Fontanov pri detekcii trombu bez ohľadu na miesto aplikácie kontrastnej látky a použitú chirurgickú techniku. Pri 1-minútovom oneskorení skene s použitím antekubitálnej cesty aplikácie kontrastnej látky boli dosiahnuté vyššie hodnoty Hounsfieldových jednotiek (HU) ako pri 3-minútovom oneskorení skene [15]. U našej malej vzorky pacientov sme sa rozhodli použiť 1-minútový oneskorený sken, pretože na vizualizáciu intimálnej proliferácie v stentoch implantovaných v LPA je nutná vyššia hodnota denzity. Uniformné vysýtenie oboch pľúcnych artérií a tunela sme získali pri siedmich vyšetreniach, kedy bolo možné hodnotiť stent intraluminálne. Hodnotenie jedného stentu implantovaného vo fenestri bolo obtiažne pre nehomogénnu opacifikáciu Fontanovského tunela. Dôvod bola komplexnosť diagnózy srdcovej chyby pacienta (HLHs s interupciou dolnej dutej žily a azygos kontinuitou). Aj napriek použitiu 1-minútového oneskoreného skenu bol tunel naďalej nehomogénne opacifikovaný.

## Záver

Táto štúdia demonštruje, že CT angiografia je rýchla, presná a reprodukovateľná metóda použiteľná na hodnotenie pacientov s Fontanovskou cirkuláciou a implantovaným stentom v pľúcnych artériách alebo fenestri.

*Týmto by som chcel poďakovať svojej manželke a rodine za pomoc.*

## Literatúra

- [1] M.A. Kanakis, A.C. Petropoulos, F.A. Mitropoulos, Fontan operation, *Hellenic Journal of Cardiology* 50 (2009) 133–141.
- [2] M. Gewillig, The Fontan circulation, *Heart* 91 (2005) 839–846.
- [3] G. Khanna, S. Bhalla, R. Krishnamurthy, C. Canter, Extracardiac complications of the Fontan circuit, *Pediatric Radiology* 42 (2012) 233–241.
- [4] Z. Venczelova, P. Tittel, J. Masura, First experience with AndraStent XL Implantation in children and adolescents with congenital heart diseases, *Catheterization and Cardiovascular Interventions* 81 (2013) 103–110.
- [5] H.S. Weber, J.L. Myers, Association of asymmetric pulmonary artery growth following palliative surgery for hypoplastic left heart syndrome with ductal coarctation, neo-aortic arch compression, and shunt-induced pulmonary artery stenosis, *American Journal of Cardiology* 91 (2003) 1503–1506.
- [6] M. Gewillig, D. Boshoff, T. Delhaas, Late fenestration of the extracardiac conduit in a Fontan circuit by sequential stent flaring, *Catheterization and Cardiovascular Interventions* 67 (2006) 298–301.
- [7] D.W. Brown, A.J. Powell, Tal Geva, Imaging complex congenital heart disease—functional single ventricle, the Glenn circulation and the Fontan circulation: a multimodality approach, *Progress in Pediatric Cardiology* 28 (2010) 45–58.
- [8] Tal Geva, D.J. Sahn, A.J. Powell, Magnetic resonance imaging of congenital heart disease in adults, *Progress in Pediatric Cardiology* 17 (2003) 21–39.
- [9] F. Takawira, J.G. Ayer, E. Onikul, et al., Evaluation of the extracardiac conduit modification of the Fontan operation for thrombus formation using magnetic resonance imaging, *Heart, Lung and Circulation* 17 (2008) 407–410.
- [10] B. Stinn, P. Stolzmann, J. Fornaro, et al., Technical principles of computed tomography in patients with congenital heart disease, *Insights into Imaging* 2 (2011) 349–356.
- [11] A. Kurata, T. Higaki, E. Yamamoto, et al., Supraventricular thrombus after pulmonary artery banding and Fontan procedure evaluated by multidetector-row computed tomography, *Journal of Cardiology Cases* 5 (2012) 51–54.
- [12] P. Festa, L. Ait Ali, M. Bernabei, D. De Marchi, The role of magnetic resonance imaging in the evaluation of the functionally single ventricle before and after conversion to the Fontan circulation, *Cardiology in the Young* 15 (Suppl. 3) (2005) 51–56.
- [13] J. Nordmeyer, R. Gaudin, O.R. Tann, et al., MRI may be sufficient for noninvasive assessment of great vessel stents: an in vitro comparison of MRI, CT, and conventional angiography, *American Journal of Roentgenology* 195 (2010) 865–871.
- [14] S.B. Greenberg, S.T. Bhutta, A dual contrast injection technique for multidetector computed tomography angiography of Fontan procedures, *International Journal of Cardiovascular Imaging* 24 (2008) 345–348.
- [15] E.A. Park, W. Lee, S.Y. Chung, et al., Optimal scan timing and intravenous route for contrast-enhanced computed tomography in patients after Fontan operation, *Journal of Computed Assisted Tomography* 34 (2010) 75–81.

*Z anglického originálu preložil autor.*