

低碘浓度等渗对比剂联合低电压扫描在经导管主动脉瓣置换术前CT检查中的应用

任心爽 侯志辉 高扬 尹卫华 于易通 马亚南 吕滨

中国医学科学院阜外医院 国家心血管病中心放射影像科,北京 100037

通信作者:吕滨,Email:blu@vip.sina.com

【摘要】目的 探讨应用低碘浓度等渗对比剂联合低管电压扫描模式,在经导管主动脉瓣置换术(TAVR)术前评估应用的可行性及安全性。**方法** 前瞻性纳入2015年10月至2017年2月于中国医学科学院阜外医院行TAVR术前CT检查的98例患者,采用随机数字表法等分为两组,各49例,均采用西门子二代双源CT,应用前瞻性心电门控扫描模式采集主动脉根窦部图像,大螺距扫描模式采集主动脉图像。试验组应用含碘浓度270 mg/ml对比剂(碘克沙醇)联合100 kV管电压,对照组应用含碘浓度370 mg/ml对比剂(碘海醇)联合120 kV管电压进行扫描。对上述图像进行主观评分,以及主动脉根窦部和主动脉不同部位CT值及各部位的图像噪声、信号图像噪声比、对比图像噪声比的测量,在两组间进行独立 t 检验。所有患者于检查24~48 h内行肾功能检查,应用独立 t 检验比较两组患者CT检查前后肌酐水平、肾小球滤过率及肌酐变化幅度的差异。**结果** 所有患者CT检查均获得成功。试验组主动脉根窦部、主动脉图像质量评分分别为(4.2±0.7)、(4.3±0.4)分,对照组图像质量评分分别为(4.3±0.6)、(4.3±0.3)分,两者间差异均无统计学意义(t 值分别为-0.130、-0.155, P 值分别为0.694、0.822)。试验组主动脉根窦部及主动脉噪声高于对照组(P 均<0.05),余客观指标差异均无统计学意义。试验组患者总的有效辐射剂量为(6.1±0.4)mSv,明显低于对照组(8.0±0.4)mSv,差异具有统计学意义($t=-9.253$, $P=0.001$)。两组患者CT检查前后肌酐变化差异无统计学意义。**结论** TAVR术前CT检查应用一次性注射低碘浓度等渗对比剂联合低管电压连续行心脏联合主动脉扫描是可行的,有效降低了患者的辐射剂量和对比剂用量,提高了高龄高危患者检查的安全性。

【关键词】 经导管主动脉瓣置换术; 体层摄影术,X线计算机; 等渗对比剂; 低管电压

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.04.006

Application of low tube voltage combined with low iodine load iso-osmolar contrast in CT angiography for transcatheter aortic valve replacement planning

Ren Xinsuang, Hou Zhihui, Gao Yang, Yin Weihua, Yu Yitong, Ma Yanan, Lyu Bin

Department of Radiology, National Center for Cardiovascular Diseases and Fuwai Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Peking Union Medical College, Beijing 100037, China

Corresponding author: Lyu Bin, Email:blu@vip.sina.com

【Abstract】Objective To investigate the feasibility, image quality, and safety of low-tube-voltage, low iodine load iso-osmolar contrast comprehensive cardiac and aortoiliac CT angiography (CTA) for transcatheter aortic valve replacement (TAVR) planning. **Methods** Ninety-eight consecutive TAVR candidates prospectively underwent combined contrast-enhanced CTA of the aortic root complex and vascular access route. Patients were assigned to group A (2nd generation dual-source CT, 100 kV, contrast 270 mgI/ml iodixanol) or group B (2nd generation dual-source CT, 120 kV, contrast 370 mgI/ml). Mean vascular attenuation, noise, signal-to-noise ratio (SNR), and contrast-to-noise ratio (CNR) of aorta including aortic root, aortic arch, descending aorta at level of diaphragm, abdominal aorta at level of renal artery and femoral artery were compared. Patient creatinine levels before the examination of CTA and during follow-up (24—48 h) were measured. **Results** The image quality score of aortic root and whole aorta was (4.2±0.7) and (4.3±0.4) respectively in experimental group, (4.3±0.6) and (4.3±0.3) in control group. No significant difference in subjective image quality score between two groups including aortic root image and whole aorta image ($t=-0.130$, -0.155 , $P=0.694$, 0.822). The image noise of aortic root and femoral artery were higher in experimental group than that in control group ($P<0.05$). Radiation dose in experimental group was higher than that in control group [(6.1±0.4) vs. (8.0±0.4) mSv, $t=-9.253$, $P=0.001$]. There were no significant

changes in creatinine levels among groups during the follow-up. **Conclusion** TAVR candidates can be safely and effectively evaluated by a comprehensive CTA protocol with low iodine load iso-osmolar contrast using low-tube-voltage acquisition.

【Key words】 Transcatheter aortic valve replacement; Tomography, X-ray computed; Iso-osmolar contrast; Low tube voltage

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.04.006

经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)是近些年来针对单纯主动脉瓣狭窄的新的介入治疗方法^[1-2]。TAVR手术过程中无法直观观察瓣膜形态,术前影像学评估非常重要。CT扫描操作简便,图像分辨率高,可通过图像后处理多平面、多角度显示主动脉根部解剖结构,明确手术路径,成为TAVR术前必要的检查手段^[3]。

但CT检查存在一定的局限性,由于术前CT采集范围广泛,所需的对比剂用量及辐射剂量明显升高。需行TAVR术前检查的患者多为高龄且合并多种慢性疾病的高危患者,如合并肾功能不全,大量对比剂的应用是诱发急性肾功能损害的重要因素^[4-5]。既往研究显示TAVR患者应用CT检查后发生急性肾功能不全的比例为4%~41%^[4]。高浓度的碘对比剂较低碘浓度对比剂更易诱发肾功能不全^[6]。但低碘浓度对比剂会使血管显影浅淡,影响图像观察。降低管电压能够增强血管的对比度,且应用低碘浓度对比剂、联合低管电压扫描已在冠状动脉血管成像中进行了应用^[7],但这一联合扫描模式能否在TAVR患者中推广应用还鲜见研究报道。本研究旨在评价应用低碘浓度等渗对比剂,联合低管电压扫描模式在TAVR术前CT检查中的可行性,以及对肾功能损害的影响。

资料与方法

一、临床资料

本研究前瞻性纳入2015年10月至2017年2月于我院行TAVR术前CT检查的患者106例。纳入标准:TAVR术前需行CT检查的患者;年龄 ≥ 70 岁;签署知情同意书。排除标准:既往明确对比剂过敏史;患有严重的心律失常(心房颤动;静息心率超过100次/分;服用 β 受体阻滞剂后心率超过70次/min);患有明确的肾功能不全病史[肾小球滤过率(eGFR) $\leq 60 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$];患者既往行肾移植手术;CT检查前2周内注射过对比剂。最终共98例患者进入本研究,根据随机数字表法将患者等分为试验组和对照组,记录患者年龄、性别、身高、体重、既往病史等一般临床资料。本研究通过医院伦理审

查(2017-928),且所有入选患者均签署知情同意书。

二、TAVR术前CT检查

所有患者均应用双源CT(SOMATOM Definition, Siemens, Germany)行血管成像扫描。首先应用前瞻性心电门控进行主动脉根窦部图像采集,扫描范围均为气管隆突至心脏膈面。扫描参数为层厚0.6 mm,机架旋转时间0.28 s/周,在升主动脉的感兴趣区域CT值达到150 HU延迟6 s后获得主动脉根窦部图像,于25%~75%RR间期进行图像采集。之后立即应用大螺距扫描模式进行主动脉图像采集,扫描范围为下颌至股骨大转子,扫描参数为层厚2.5 mm,螺距为3.2。

试验组应用含碘浓度270 mg/ml对比剂(碘克沙醇,GE药业),管电压固定为100 kV。对照组应用含碘浓度370 mg/ml对比剂(碘海醇,GE药业),管电压固定为120 kV。两组均采用自动管电流调节技术,对比剂采用双期相注射,根据患者的体重指数(body mass index, BMI)决定第1期相(主动脉根窦部扫描)对比剂的用量, BMI $\leq 24 \text{ kg/m}^2$, 50 ml; $24 < \text{BMI} \leq 28 \text{ kg/m}^2$, 55 ml; BMI $> 28 \text{ kg/m}^2$, 60 ml, 注射流率4.5 ml/s。第2期相(主动脉扫描)追加20 ml对比剂,注射流率2.0 ml/s。

三、图像分析

所有CT扫描图像均传至三维后处理工作站(Deep Blue, ADW4.3, GE Healthcare, USA)进行重建分析,主动脉根窦部图像分析主动脉瓣形态及主动脉瓣环的测量。主动脉图像用于评估血管路径。

CT图像由两名经验丰富的放射科主治医师独立盲法评估。应用Likert 5分法分别对图像质量进行主观评分^[8],取评分的平均值作为最终的评分。客观图像质量评价:主动脉根窦部图像采集主动脉根窦部(C1)、冠状动脉左主干近端(C2)、肺动脉主干(C3)及升主动脉(C4)的CT值及其标准差。主动脉图像采集升主动脉(A1)、主动脉弓(A2)、膈肌处胸主动脉(A3)、肾动脉近端腹主动脉(A4)、左右髂动脉(A5、A6)和左右股动脉(A7、A8)的CT值及其标准差。测量CT值时,圈定范围不超过血管壁,也不包含血管内的钙化及运动伪影。标准差即定义为图像噪

声。每个位置的CT值重复测量3次,取平均值作为最终的数值。信号图像噪声比(signal-noise-ratio, SNR)和对比图像噪声比(contrast-noise-ratio, CNR)由以下公式测量获得:SNR=CT测量值/图像噪声;CNR=(CT测量值-周围肌肉组织CT测量值)/图像噪声;对比两组患者主动脉根窦部图像各点及主动脉各点的CT值、图像噪声及SNR、CNR。

CT检查结束后记录由计算机自动生成的容积CT剂量指数($CTDI_{vol}$)和放射剂量长度乘积(DLP)。有效辐射剂量(effective dose, ED)根据公式 $ED=K \times DLP$ 计算,其中K为转换系数,参照CT质量标准指南^[9],胸部的系数为 $K=0.014 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$,主动脉系数为 $K=0.017 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。

所有患者CT检查前1周内均做过肾功能检查,CT检查后24~48 h再次进行肾功能检查,记录CT检查前后的肌酐水平并计算CT检查后肌酐升高的幅度。若CT检查后肌酐升高超过 $26.5 \mu\text{mol/L}$ 或 0.3 mg/dl ,诊断为对比剂诱发的急性肾功能不全^[4]。

四、统计学方法

采用SPSS16.0软件进行统计学分析,本研究中患者年龄、主观图像质量评分及客观图像质量参数(CT值、噪声、SNR及CNR)、辐射剂量及肌酐水平为计量资料,均符合正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,患者性

别及既往疾病史均为计数资料,以率(%)表示。组间计量资料的比较采用两独立样本 t 检验,计数资料采用 χ^2 检验比较组间差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

一、患者的一般临床资料

两组患者在年龄、性别及BMI间差异均无统计学意义。两组患者合并高血压、糖尿病、高脂血症、冠心病、心功能不全及肾功能不全的比例差异均无统计学意义(表1)。

二、主观图像质量评分

试验组主动脉根窦部、主动脉图像质量评分分别为 (4.2 ± 0.7) 、 (4.3 ± 0.4) 分,对照组图像质量评分分别为 (4.3 ± 0.6) 、 (4.3 ± 0.3) 分,两者间差异均无统计学意义(t 值分别为 -0.130 、 -0.155 , P 值分别为 0.694 、 0.822 ;图1~4)。

三、客观图像质量评分

主动脉根窦部C1~C4部位两组间CT值、SNR、CNR差异均无统计学意义,试验组图像的噪声高于对照组,差异具有统计学意义(表2)。主动脉质量评分中两组A1~A6部位的CT值、噪声、SNR及CNR差异未见统计学意义。试验组A7、A8

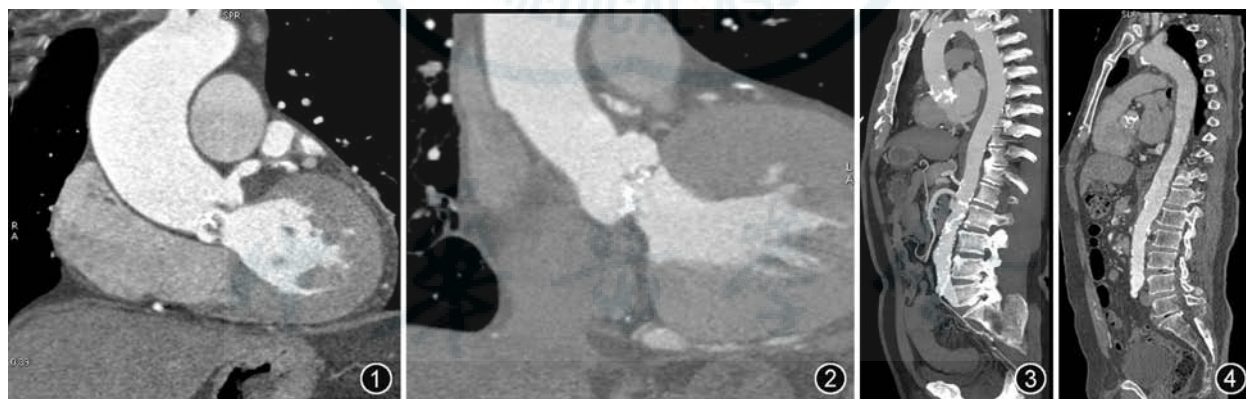


图1 试验组主动脉根窦部CT图像,主观图像质量评分5分,主动脉窦部CT值388.0 HU,噪声8.5 HU 图2 对照组主动脉根窦部CT图像,主观图像质量评分5分,主动脉窦部CT值354.0 HU,噪声11.0 HU 图3 试验组主动脉图像,主观图像质量评分5分,腹主动脉CT值380.0 HU,噪声15.7 HU 图4 对照组主动脉图像,主观图像质量评分5分,腹主动脉CT值362.0 HU,噪声16.5 HU

表1 两组患者的一般临床资料比较

组别	例数	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	BMI (kg/m^2 , $\bar{x} \pm s$)	高血压 (例)	糖尿病 (例)	高脂血症 (例)	冠心病 (例)	心功能不全 (例)	肾功能不全 (例)
		男	女								
试验组	49	28	21	74 ± 5	23 ± 3	28	11	26	13	35	16
对照组	49	25	24	76 ± 5	24 ± 3	30	9	28	18	40	14
统计值		0.370 ^a		-1.539^b	-1.730^b	0.169 ^a	0.871 ^a	1.719 ^a	1.180 ^a	1.420 ^a	0.192 ^a
P值		0.412		0.607	0.843	0.465	0.773	0.505	0.112	0.104	0.579

注:^a: χ^2 值;^b: t 值;BMI:体重指数

表 2 两组患者主动脉根窦部客观图像质量评分比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	C1				C2			
		CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR	CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR
试验组	49	385.7±73.2	26.7±8.5	10.7±3.1	10.8±3.6	397.5±96.8	28.8±7.9	11.7±3.8	19.1±2.7
对照组	49	331.7±66.4	15.9±8.7	11.9±3.2	10.1±2.7	359.8±72.4	18.4±6.3	13.4±4.2	20.8±3.1
<i>t</i> 值		2.319	1.694	-0.151	0.135	2.370	1.580	-0.177	-0.126
<i>P</i> 值		0.113	0.022	0.562	0.778	0.097	0.024	0.488	0.805

组别	例数	C3				C4			
		CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR	CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR
试验组	49	231.9±66.8	30.1±8.4	8.5±2.9	7.5±3.0	364.7±65.9	25.3±7.9	9.8±2.8	8.9±2.5
对照组	49	237.5±63.3	20.6±7.1	10.6±3.0	8.3±3.0	342.5±60.1	13.8±6.9	9.7±3.1	9.0±3.0
<i>t</i> 值		-1.032	1.720	-0.187	-0.135	1.900	2.030	0.125	-0.130
<i>P</i> 值		0.886	0.020	0.415	0.766	0.206	0.018	0.893	0.887

注: C1: 主动脉窦部; C2: 冠状动脉左主干近端; C3: 肺动脉主干; C4: 升主动脉; SNR: 信噪比; CNR: 对比噪声比

部位的CT值、SNR及CNR明显低于对照组,噪声高于对照组(表3)。

两组患者均成功完成了TAVR术前CT检查。试验组患者总的有效辐射剂量为(6.1±0.4)mSv,明显低于对照组(8.0±0.4)mSv,差异具有统计学意义($t=-9.253, P=0.001$)。

四、患者的肾功能评估

试验组和对照组患者CT检查前后的血肌酐水平及估算的肾小球滤过率差异均无统计学意义(表4)。试验组CT检查后血肌酐水平的升高幅度[(8.1±2.3) $\mu\text{mol/L}$]较对照组[(12.8±4.1) $\mu\text{mol/L}$]减低,但两组之间差异无统计学意义($t=-1.450, P=0.217$)。

表 3 两组患者主动脉客观图像质量评分比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	A1				A2			
		CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR	CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR
试验组	49	369.0±65.4	16.4±5.3	20.1±7.7	18.5±7.7	362.3±25.6	21.5±6.4	18.7±7.8	18.1±6.0
对照组	49	354.8±43.8	16.8±7.7	18.4±8.1	17.2±7.9	366.7±32.1	15.5±6.7	22.6±10.1	19.1±8.3
<i>t</i> 值		1.420	-0.107	0.155	0.121	-1.148	1.249	-0.550	-0.362
<i>P</i> 值		0.766	0.819	0.712	0.844	0.853	0.209	0.227	0.872

组别	例数	A3				A4			
		CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR	CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR
试验组	49	372.2±30.0	17.2±5.5	21.1±4.9	19.3±7.2	385.5±45.9	26.8±7.7	17.4±5.8	12.1±4.0
对照组	49	363.8±36.7	13.6±3.6	23.8±5.7	17.1±6.0	358.3±25.9	25.7±9.5	15.4±7.4	13.3±6.3
<i>t</i> 值		1.715	0.340	-0.143	0.128	2.010	0.833	0.350	-0.365
<i>P</i> 值		0.659	0.506	0.801	0.815	0.172	0.845	0.799	0.860

组别	例数	A5				A6			
		CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR	CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR
试验组	49	366.2±32.8	25.2±10.2	16.5±6.7	14.2±5.3	368.4±30.0	32.9±10.4	11.7±3.5	11.5±3.9
对照组	49	387.4±38.0	26.8±12.1	17.1±5.5	15.8±6.4	390.2±40.4	30.8±13.5	14.6±5.1	12.4±6.4
<i>t</i> 值		-1.841	-0.120	-0.110	-0.128	-1.827	1.014	-0.379	-0.204
<i>P</i> 值		0.305	0.822	0.902	0.814	0.311	0.785	0.732	0.907

组别	例数	A7				A8			
		CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR	CT值(HU)	图像噪声(HU)	SNR	CNR
试验组	49	359.9±37.9	27.9±13.8	13.4±5.2	10.4±5.5	352.8±40.0	29.5±10.7	12.0±5.6	10.5±4.3
对照组	49	411.4±57.6	19.7±5.1	22.3±4.6	18.5±7.3	407.1±53.6	18.7±6.2	22.8±9.6	18.5±8.4
<i>t</i> 值		-3.221	1.340	-1.835	-1.770	-3.520	1.866	-1.937	-2.010
<i>P</i> 值		0.021	0.034	0.026	0.040	0.018	0.023	0.020	0.035

注: A1: 升主动脉; A2: 主动脉弓; A3: 胸主动脉; A4: 腹主动脉; A5: 左髂动脉; A6: 右髂动脉; A7: 左股动脉; A8: 右股动脉; SNR: 信噪比; CNR: 对比噪声比

表4 试验组和对对照组肌酐水平及肾小球滤过率的比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	CT检查前		CT检查后	
		肌酐($\mu\text{mol/L}$)	eGFR($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73\text{m}^{-2}$)	肌酐($\mu\text{mol/L}$)	eGFR($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73\text{m}^{-2}$)
试验组	49	78.3±14.8	76.8±20.4	85.7±17.4	69.3±18.2
对照组	49	76.5±13.7	73.2±17.6	90.2±16.8	64.5±20.4
t值		1.029	1.340	-1.865	1.527
P值		0.746	0.660	0.540	0.609

注:eGFR:肾小球滤过率

讨 论

本研究中应用低碘浓度对比剂联合前瞻性心电图门控低电压扫描模式对TAVR术前患者进行了主动脉瓣及全主动脉的影像评估,同常规扫描模式的患者图像进行对比,虽然试验组图像噪声较对照组增高,但两者主观图像质量评分差异无统计学意义,提示这一扫描方案对术前的诊断及测量是有效可行的。试验组辐射剂量明显小于对照组,提示这一扫描方案具有更高的安全性。TAVR手术本身将会给予患者很大的辐射剂量,且TAVR有趋势成为低中危患者的治疗选择^[10],因此降低辐射剂量仍是非常必要的。本研究试验组患者CT检查后,血肌酐水平升高的幅度低于对照组患者,这一结果提示等渗对比剂的应用可能对肾功能的损害更小。由于TAVR患者常为高龄且合并多种并发症,大剂量对比剂的应用易增加心脏的前负荷,诱发心功能不全。对比剂均经过肾脏代谢,大剂量的对比剂及高碘含量容易加重肾脏的负担,诱发肾功能不全和对比剂肾病^[11-12]。因此降低对比剂浓度及用量非常重要。对比剂在体内的渗透压越接近血浆水平,对细胞的损伤越小。然而,碘浓度降低,会影响血管腔内对比度,最终影响血管腔观察。使用低管电压技术,能够增强血管对比度^[13-14],低电压扫描模式已经在冠脉CTA及主动脉CTA中得到应用^[15-16],在降低对比剂用量的同时,图像质量并未降低。本研究结果也证实了低管电压联合应用等渗对比剂,在TAVR患者术前CT检查中是有效的,降低辐射剂量和对比剂碘的用量同时,保证了图像质量。目前关于等渗对比剂对肾功能的影响研究结果不尽相同,仍需大量样本进行进一步的验证。

TAVR术前的CT检查经过了多次改革,既往TAVR检查需要两次CT扫描,注射两次对比剂。第1次为心脏扫描,包括主动脉根窦部及冠状动脉评估,需要采用心电图门控和多期相采集技术;第2次扫描为全主动脉扫描,可以采用大范围的CT螺

旋扫描模式。两次扫描给患者造成检查的不便,同时增加患者的辐射剂量和较大对比剂用量。随着设备的改良,TAVR术前CT检查可以一次完成,注射一次对比剂,降低曝光时间和对比剂用量^[17]。如何减少患者的辐射剂量及肾功能损害是改善TAVR术前CT扫描模式最需要解决的问题,本研究通过改变对比剂类型及降低管电压实现了现有模式的改良。

本研究也存在一定的局限性。本研究虽为前瞻性随机对照试验,但入选样本例数较少,主要观察终点为图像质量,而不是临床治疗安全性和疗效,对肾功能损害的评价仍需大样本实验进行验证。我们仍需要进一步改良TAVR术前CT血管成像的扫描模式,进一步降低患者的辐射剂量及对比剂用量。

综上所述,对于高龄高危的TAVR患者的术前CT检查,应尽可能采用一次检查和一次注射对比剂技术,应用较低管电压联合等渗对比剂扫描模式,进一步降低患者的辐射剂量和碘的总用量是安全可行的。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Kang DH, Park SJ, Rim JH, et al. Early surgery versus conventional treatment in asymptomatic very severe aortic stenosis[J]. *Circulation*, 2010, 121(13): 1502-1509. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.909903.
- [2] Murphy ES, Lawson RM, Starr A, et al. Severe aortic stenosis in patients 60 years of age or older: left ventricular function and 10-year survival after valve replacement [J]. *Circulation*, 1981,64(2 Pt 2):184-188.
- [3] Jilaihawi H, Wu Y, Yang Y, et al. Morphological characteristics of severe aortic stenosis in China: imaging corelab observations from the first Chinese transcatheter aortic valve trial[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2015, 85 Suppl 1: 752-761. DOI: 10.1002/ccd.25863.
- [4] Jochheim D, Schneider VS, Schwarz F, et al. Contrast-induced acute kidney injury after computed tomography prior to transcatheter aortic valve implantation[J]. *Clin Radiol*, 2014,69(10):1034-1038. DOI: 10.1016/j.crad.2014.05.106.

- [5] Yin WH, Lu B, Gao JB, et al. Effect of reduced x-ray tube voltage, low iodine concentration contrast medium, and sinogram-affirmed iterative reconstruction on image quality and radiation dose at coronary CT angiography: results of the prospective multicenter REALISE trial[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2015, 9(3): 215-224. DOI: 10.1016 / j.jcct.2015.01.010.
- [6] Sadat U, Usman A, Boyle JR, et al. Contrast medium-induced acute kidney injury[J]. Cardiorenal Med, 2015, 5(3):219-228. DOI: 10.1159/000430770.
- [7] Zhang LJ, Qi L, Wang J, et al. Feasibility of prospectively ECG-triggered high-pitch coronary CT angiography with 30 mL iodinated contrast agent at 70 kVp: initial experience[J]. Eur Radiol, 2014, 24(7): 1537-1546. DOI: 10.1007 / s00330-014-3157-2.
- [8] Meyer M, Haubenreisser H, Schoepf UJ, et al. Closing in on the K edge: coronary CT angiography at 100, 80, and 70 kV-initial comparison of a second-versus a third-generation dual-source CT system[J]. Radiology, 2014, 273(2): 373-382. DOI: 10.1148/radiol.14140244.
- [9] Halliburton SS, Abbara S, Chen MY, et al. SCCT guidelines on radiation dose and dose-optimization strategies in cardiovascular CT[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2011, 5(4): 198-224. DOI: 10.1016/j.jcct.2011.06.001.
- [10] Frerker C, Bestehorn K, Schlüter M, et al. In-hospital mortality in propensity-score matched low-risk patients undergoing routine isolated surgical or transfemoral transcatheter aortic valve replacement in 2014 in Germany[J]. Clin Res Cardiol, 2017, 106(8): 610-617. DOI: 10.1007 / s00392-017-1097-y.
- [11] Bagur R, Webb JG, Nietlispach F, et al. Acute kidney injury following transcatheter aortic valve implantation: predictive factors, prognostic value, and comparison with surgical aortic valve replacement[J]. Eur Heart J, 2010, 31(7):865-874. DOI: 10.1093/eurheartj/ehp552.
- [12] Arnold SV, Lei Y, Reynolds MR, et al. Costs of periprocedural complications in patients treated with transcatheter aortic valve replacement: results from the Placement of Aortic Transcatheter Valve trial[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2014, 7(6): 829-836. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.001395.
- [13] Wang SY, Gao W, Zhong YM, et al. Prospective ECG-triggering cardiac CT for infants with complex congenital heart disease using low-dose contrast medium, low tube voltage, and adaptive statistical iterative reconstruction[J]. Clin Radiol, 2017, 72(6): 502-507. DOI: 10.1016 / j.crad.2017.01.017.
- [14] Hou QR, Gao W, Sun AM, et al. A prospective evaluation of contrast and radiation dose and image quality in cardiac CT in children with complex congenital heart disease using low-concentration iodinated contrast agent and low tube voltage and current[J]. Br J Radiol, 2017, 90(1070):20160669. DOI: 10.1259/bjr.20160669.
- [15] Shen Y, Sun Z, Xu L, et al. High-pitch, low-voltage and low-iodine-concentration CT angiography of aorta: assessment of image quality and radiation dose with iterative reconstruction[J]. PLoS One, 2015, 10(2): e0117469. DOI: 10.1371/journal.pone.0117469.
- [16] Sun J, Zhang Q, Hu D, et al. Improving pulmonary vessel image quality with a full model-based iterative reconstruction algorithm in 80kVp low-dose chest CT for pediatric patients aged 0-6 years[J]. Acta Radiol, 2015, 56(6): 761-768. DOI: 10.1177/0284185114540884.
- [17] Scholtz JE, Ghoshhajra B. Advances in cardiac CT contrast injection and acquisition protocols[J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2017, 7(5):439-451. DOI: 10.21037/cdt.2017.06.07.

(收稿日期:2018-06-07)

(本文编辑:张琳琳)

·读者·作者·编者·

本刊对形态学图片的质量和制作要求

作者提供给杂志用的形态图片既要为论文的出版用,也为论文的评审和编辑用,除图片要足够的大小外,图像要能真实反映形态的原貌和特征。图片要清晰,对比度好,色彩正常。基本要求如下。

1. 图片必须是原始图像或由原始图像加工成的照片,图像要能显示出形态特征,必要时需加提示或特指符号(如箭头等)。

2. 数码照片的图像分辨率调整为300 dpi或以上,总像素至少要在150万~200万像素或以上,图像文件用tif格式。

3. 图像要有简明扼要、规范的形态描述,但不能简单到只写“电子显微镜形态改变”之类。

4. 大体标本图片上应有标尺,显微镜图片应注明染色方法和图像的真正放大倍数,数码照片的放大率最好用比例尺来标注。

5. 插入到文本文件中的图片,在调整其大小时要保持原图像的宽/高比例(即先按下计算机的Shift键,再进行缩放操作)。

(本刊编辑部)