

临床研究

DOI: 10.13406/j.cnki.cyxh.001888

P3T 模块化注射技术在心脏“一站式”CT 检查中的应用

王思杭, 李信友, 吕发金, 封盼攀, 魏 森, 尹 岚

(重庆医科大学附属第一医院放射科, 重庆 400016)

【摘要】目的:探讨 P3T 模块化个性注射技术在双源 CT 心脏“一站式”检查中的优势。**方法:**将拟行心脏“一站式”检查的 40 例患者随机分为 2 组。对照组采用按公斤体质量计算用量的常规给药方案。试验组采用 Medrad 公司新研发的 P3T 模块化个性注射技术根据患者的情况计算得出的给药方案。对比剂均采用 370 mgI/mL 优维显, 2 组均在 Siemens 公司的二代双源 CT 机上完成心脏“一站式”检查, 在其余相同参数下对比分析 2 组的图像质量及对比剂用量。**结果:**试验组及对照组共 40 例患者均顺利完成检查, 2 组一般资料均无统计学差异 ($P>0.05$)。图像质量在冠状动脉的显示上: 2 组冠脉近、中段的 CT 值均无统计学差异 (右冠近段 CT 值 $P=0.829$ 、右冠中段 CT 值 $P=0.837$ 、前降支近段 CT 值 $P=0.927$ 、前降支中段 CT 值 $P=0.731$ 、回旋支近段 CT 值 $P=0.637$ 、回旋支中段 CT 值 $P=0.949$); 2 组冠脉近中段 CT 值差异均无统计学意义 (右冠近中段 CT 值差异 $P=0.991$ 、前降支近中段 CT 值差异 $P=0.512$ 、回旋支近中段 CT 值差异 $P=0.164$)。试验组冠状动脉远段的 CT 值均高于对照组, 差异有统计学意义 (右冠远段 CT 值 $P=0.016$ 、前降支远段 CT 值 $P=0.012$ 、回旋支远段 CT 值 $P=0.024$); 试验组冠脉中段及近远段 CT 值差异均小于对照组, 差异有统计学意义 (右冠中远段 CT 值差异 $P=0.000$ 、右冠近远段 CT 值差异 $P=0.011$ 、前降支中远段 CT 值差异 $P=0.002$ 、前降支近远段 CT 值差异 $P=0.002$ 、回旋支中远段 CT 值差异 $P=0.000$ 、回旋支近远段 CT 值差异 $P=0.006$)。图像质量在心肌灌注分析上: 对比剂产生的线束硬化伪影数目试验组明显少于对照组 (44 vs. 69); 2 组在舒张期基底层面及心腔中间层面各段正常心肌平均碘含量无统计学差异 (基底层面心肌碘含量 $P=0.236$ 、中间层面心肌碘含量 $P=0.624$); 试验组在舒张期心尖层面及心尖段的正常心肌平均碘含量高于对照组, 差异有统计学意义 (心尖层面心肌碘含量 $P=0.012$ 、心尖段心肌碘含量 $P=0.014$)。在对比剂用量方面: 2 组在正式扫描时对比剂的用量无统计学差异 ($P=0.734$)。**结论:**在心脏“一站式”CT 检查中, 使用 Medrad P3T 模块化注射技术能有效显示心脏冠状动脉远端及细小分支血管, 减少心肌灌注分析时对比剂产生的线束硬化伪影带来的假“阳性”结果, 从而有效提高图像质量。

【关键词】心脏“一站式”检查; 双源 CT; 对比剂; P3T**【中图分类号】**R445.3**【文献标志码】**A**【收稿日期】**2018-03-23

Application of P3T modularized injection technique in “one-stop-shop” cardiac inspection by dual-source computed tomography

Wang Sihang, Li Xinyou, Lü Fajin, Feng Panpan, Wei Miao, Yin Lan

(Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University)

【Abstract】Objective: To investigate the advantages of the P3T modularized and personalized injection technique in “one-stop-shop” cardiac inspection by dual-source computed tomography (CT). **Methods:** Forty patients undergoing “one-stop-shop” cardiac inspection were randomly assigned to two groups. The control group received a conventional dosage regimen based on the patients’ body mass. The experimental group received a dosage regimen calculated by the P3T modularized and personalized injection technique (Medrad, Inc.) based on the patients’ condition. Both groups received “one-stop-shop” cardiac inspection by a second-generation dual-source CT scanner (Siemens, Inc.) using the contrast medium with an iodine concentration of 370 mg/mL (Ultravist). The image quality and contrast medium dosage were compared between the two groups with other parameters remaining the same. **Results:** All patients in the two groups were successfully inspected. There were no significant differences in general information between the two groups ($P>0.05$). In terms of the quality of coronary artery images, there were no significant differences in the CT values of the proximal or middle

作者介绍: 王思杭, Email: dexter_wsh@163.com,

研究方向: 电子计算机断层扫描血管成像技术。

通信作者: 李信友, Email: lixinyou666@163.com。

优先出版: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20181102.1808.004.html>

(2018-11-06)

coronary arteries between the two groups (the proximal right coronary artery $P=0.829$, the middle right coronary artery $P=0.837$, the proximal anterior descending coronary artery $P=0.927$, the middle anterior descending coronary artery $P=0.731$, the proximal circumflex coronary artery $P=0.637$, the middle

circumflex coronary artery $P=0.949$); there were also no significant differences in the CT values of the proximal and middle segments of coronary arteries between the two groups (the proximal and middle segment of the right coronary artery $P=0.991$, the proximal and middle segment of the anterior descending coronary artery $P=0.512$, the proximal and middle segment of the circumflex coronary artery $P=0.164$); the CT values of the distal coronary arteries were significantly higher in the experimental group than in the control group (the distal right coronary artery $P=0.016$, the distal anterior descending coronary artery $P=0.012$, the distal circumflex coronary artery $P=0.024$); the CT values of the middle distal and proximal distal coronary arteries were significantly lower in the experimental group than in the control group (the middle distal segment of the right coronary artery $P=0.000$, the proximal distal segment of the right coronary artery $P=0.011$, the middle distal segment of the anterior descending coronary artery $P=0.002$, the proximal distal segment of the anterior descending coronary artery $P=0.002$, the middle distal segment of the circumflex coronary artery $P=0.000$, the proximal distal segment of the circumflex coronary artery $P=0.006$). In terms of the image quality in the myocardial perfusion analysis, the number of beam-hardening artifacts caused by the contrast medium was significantly lower in the experimental group than in the control group (44 vs. 69); there were no significant differences in the mean iodine concentrations of the normal myocardium in the basal or middle layer of the heart during diastole between the two groups (the basal layer of the heart $P=0.236$, the middle layer of the heart $P=0.624$); the mean iodine concentrations of the normal myocardium in the apical layer and apical segment during diastole were significantly higher in the experimental group than in the control group (the apical layer of the heart $P=0.012$, the apical segment of the heart $P=0.014$). There was no significant difference in the contrast medium dose between the two groups ($P=0.734$). **Conclusion:** In the “one-stop-shop” cardiac inspection, the P3T modularized injection technique (Medrad, Inc.) can effectively improve the image quality by effectively demonstrating the distal and minor branches of the coronary arteries and reducing the false-positive results caused by the contrast medium-induced beam-hardening artifacts during the myocardial perfusion analysis.

【Key words】 “one-stop-shop” cardiac inspection; dual-source computed tomography; contrast medium; P3T

心脏“一站式”CT 检查已广泛应用于临床,与常规冠状动脉 CTA (CCTA) 成像技术相比,心脏“一站式”^[1-3]CT 检查不仅可以获得冠状动脉影像,还可利用回顾性心电门控技术获得整个心动周期心脏的全部影像,通过图像后处理获得心脏的功能学指标。此外,利用双能量能谱技术可以得到心肌碘图,实现心肌灌注分析和斑块成分分析等。在图像质量方面大部分学者是通过修改 CT 机扫描参数、图像重建算法等^[4-5]方式来予以优化,然而通过修改对比剂注射方案来提高图像质量的报道还比较少见,如 Jung 等^[6]利用不同浓度对比剂在肾脏多期扫描中的研究。Medrad 公司最近新研发的 P3T 模块化注射技术^[7],可根据患者的实际情况,输入相关参数后自动计算给出个性化注射方案。本研究旨在对比分析 P3T 技术与常规给药方案在心脏“一站式”检查中的优劣势,探讨该技术的临床应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择 2017 年 7 至 10 月在我院拟行心脏“一站式”检查的患者经严格筛选,排除标准为呼吸配合较差屏气时间小于

10 s、心率波动大于 5 次/min、有频发早搏等心律失常、冠状动脉支架植入史、心肾功能不全、碘过敏史的患者及妊娠妇女。共有 40 例患者满足扫描要求,完成检查。并将其随机分为对照组和试验组。对照组男 9 例,女 11 例;年龄 (60.00 ± 8.88) 岁;身高 (161.20 ± 9.88) cm;体质量 (64.50 ± 8.49) kg;体质指数 (24.83 ± 2.56) kg/m²。试验组男 7 例,女 13 例;年龄 (65.60 ± 10.19) 岁;身高 (158.85 ± 9.56) cm;体质量 (59.40 ± 11.91) kg;体质指数 (23.35 ± 3.01) kg/m²。

1.2 检查方法

1.2.1 检查前准备 检查前与患者进行充分沟通,并签署知情与用药同意书。嘱去除金属异物及更衣,同时对其进行呼气后屏气训练,屏气要求呼气时深度一致,屏气时间大于 15 s 即可。测定并控制心率低于 75 次/min,对于心率较快且无用药禁忌者予以 β 受体阻滞剂降低心率。另外,在扫描前舌下含服硝酸甘油扩张冠状动脉。

1.2.2 使用设备及药品 采用德国西门子公司第二代双源螺旋 CT (SOMATOM Definition DECT) 机, MEDRAD STELLANT 双筒高压注射器。优维显 370 mgI/mL 非离子型对比剂和生理盐水。

1.2.3 扫描方案 体位:采取仰卧位足先进方式,双手上举过头置于软垫上。扫描方向:从头至足。扫描范围:冠状动脉开口上缘 3 cm 至心尖下缘 3 cm,包括整个心脏。扫描参数:2 组均采用双能量 (dual energy, DE) 及小剂量时间-密度测试 (test bolus) 技术扫描,采用自动管电压调制和自动毫安秒技

术。A 球管电压:140 kV, B 球管电压:Sn 100 kV, 权重因子:0.5。参考毫安秒:300 mAs。螺距:螺距心率自适应匹配。转速:0.33 rot/s。准直器宽度:32 mm × 2 mm × 0.6 mm。视野:Fov260 mm × 260 mm。扫描层厚:5 mm, 层间隔:5 mm。重建层厚:冠脉:0.6 mm, 心肌:1.0 mm, 功能:1.5 mm。层间隔:冠脉:0.6 mm, 心肌:1.0 mm, 功能:1.5 mm。重建参数:Safire:3。血管:自动重建最佳舒张期及最佳收缩期图像, 数据窗:mono 75 ms。算法:I26f medium smooth ASA。心肌:重建最佳舒张期图像, 数据窗:full 280 ms^[8]。算法:I36f HeartView medium ASA。功能:重建心脏 0~100% 相对时相, 间隔时相为 5%, 算法:I26f medium smooth ASA。

1.2.4 注射方案 对照组采用常规计算方式, 测试用量为 5 mL 对比剂及 20 mL 生理盐水, 注射速率 5 mL/s。运用小剂量时间-密度曲线测试得到的达峰时间(time to peak)+5 s (经验值) 得出延迟时间。正式扫描时按 1 mL/kg 计算对比剂用量, 生理盐水:40 mL, 注射速率 5 mL/s。试验组采用 P3T 技术测试达峰时间及峰值浓度, 测试用量为 5 mL 对比剂及 20 mL 生理盐水, 注射速率 4.2 mL/s。再将测试所得参数、患者体重、扫描时间、达峰时间及延迟时间(达峰时间+5 s) 录入注

射器相关选项后, 注射器将自动计算出正式扫描时最佳注射方案、对比剂配比及注射速率(图 1)。

1.2.5 图像后处理 将原始数据传至西门子后处理工作站(syngoMultimodality Workplace, Software:syngoMMWP, Version:VE40A; syngoWare Workplace, Software:syngoWare, syngo.via client Version:03.00.0000.0022) 进行图像后处理。包括容积再现(Volume rendering, VR); 最大密度投影(maximum intensity projection, MIP); 多平面重组(multi planar reconstruction, MPR) 和曲面重建(curved planar reformation, CPR)。利用 syngoWare 工作站计算 40 例患者冠状动脉钙化积分(图 2) 并对 0~100% 相对时相心脏数据进行后处理分析心脏功能相关指标(图 3), 包括:左室容积(end diastole volume, EDV; end systole volume, ESV); 每搏输出量(stroke volume, SV); 射血分数(ejection fraction, EF); 心肌质量(cardiac mass); 心输出量(cardiac output, CO); 心脏指数(cardiac index) 等。

1.3 图像质量评价

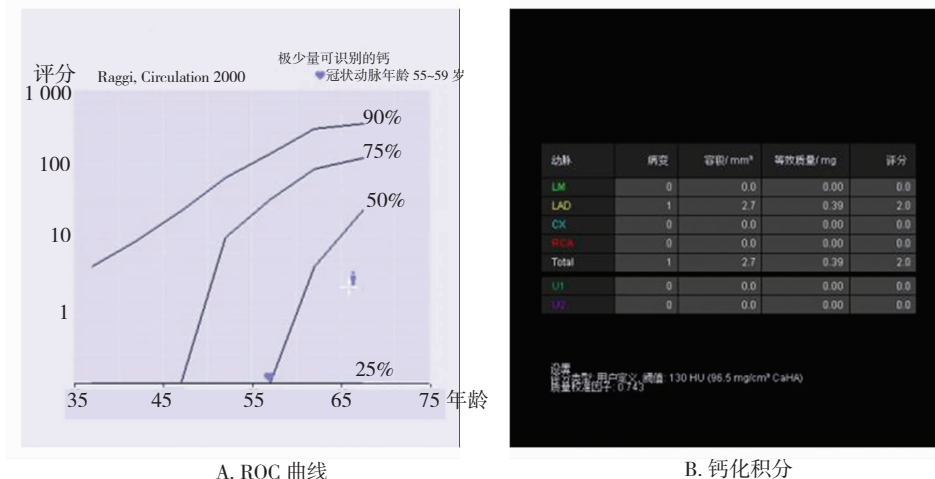
由 2 位经验丰富的影像医师在后处理工作站上对相关指标分别进行测量并取均值, 1 位医师负责记录。当意见不一致时, 由 3 位医师协商统一。



A. P3T 相关参数录入

B. P3T 生成注射方案

图 1 试验组 P3T 注射方案相关参数的录入及自动生成的注射方案



A. ROC 曲线

B. 钙化积分

图 2 冠状动脉钙化分析

1.3.1 冠脉的评价 分别测量 2 组图像最佳舒张期的左、右冠近段,左冠前降支、旋支及右冠的中段和远段的 CT 值,比较 2 组不同注射方案冠脉 CT 值的差异及近中远段冠脉 CT 值衰减情况的差异。

1.3.2 心肌灌注分析 利用 MMWP 工作站心肌灌注分析软件(Heat PBV)对心脏舒张期 2 组图像各段正常心肌碘含量进行测定,按国际标准分段法将心脏分为 17 个节段,依次为:基底层面(前段、前间隔段、下间隔段、下段、下外侧段、前外侧段)分别编号:1、2、3、4、5、6;中间层面(前段、前间隔段、下间隔段、下段、下外侧段、前外侧段)分别编号:7、8、9、10、11、12;心尖层面(前段、间隔段、下段、外侧段)分别编号:13、14、15、16;左室长轴或四腔心层面(心尖段)编号:17。分别测量 2 组图像相同层面正常心肌的碘含量并比较。

1.3.3 线束硬化伪影计数 根据 1.3.2 心脏节段分法对 2 组图像硬化伪影进行计数并分析。

1.3.4 对比剂用量比较 对比分析 2 组不同注射方案对比剂的用量。试验组对比剂用量由输入相关参数后自动计算得出,对照组采用常规计算公式每公斤体重 1 mL 对比剂计算得出。

1.4 统计学方法

本组资料通过 SPSS 21.0 软件处理系统进行统计分析,计量资料以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,2 组间计量资料比较采用 t 检验,计数资料采用卡方检验,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 一般资料

本次研究中,40 例患者均成功完成心脏“一站式”检查,共有 22 例患者 47 支冠状动脉分支有狭窄或者闭塞表现,对照组与试验组之间年龄、性别、身高、体重、体质指数、平均心率、狭窄程度、左室收缩末容积、左室舒张末容积、每搏输出量、心输出量、心肌质量、射血分数、体表面积、心脏指数均无统计学差异($P>0.05$),见表 1。

2.2 图像质量

2.2.1 冠脉的评价 对照组与试验组冠脉分支 CT 值相比,左、右冠近段,前降支、回旋支及右冠中段 CT 值均无统计学差异($P>0.05$),且 2 组间冠脉近中段 CT 值的差值无统计学



A. 左室容积曲线

B. 左室功能标准值

C. 左室功能指数值

图3 左室功能分析相关指标

表1 2组间基线资料对比($\bar{x} \pm s, n, \%$)

基线资料	对照组 ($n=20$)	试验组 ($n=20$)	t 值	P 值
年龄(岁)	60.00 $\pm$ 8.88	65.6 $\pm$ 10.19	1.853	0.072
性别(男, $n, \%$)	9 (45)	7 (35)	-0.632	0.531
身高(cm)	161.2 $\pm$ 9.88	158.85 $\pm$ 9.56	-0.765	0.449
体质量(kg)	65.40 $\pm$ 8.49	59.4 $\pm$ 11.91	-1.559	0.128
体质指数(kg/m ²)	24.83 $\pm$ 2.56	23.35 $\pm$ 3.01	-1.670	0.103
平均心率(次/min)	66.20 $\pm$ 5.44	63.60 $\pm$ 6.24	-1.404	0.169
轻度($n, \%$)	16 (80)	15 (75)	0.143	0.705
中度($n, \%$)	11 (55)	8 (40)	0.902	0.342
重度($n, \%$)	4 (20)	5 (25)	0.143	0.705
闭塞($n, \%$)	2 (10)	1 (5)	0.360	0.548
左室收缩末容积(mL)	40.92 $\pm$ 14.06	35.18 $\pm$ 11.59	-1.407	0.168
左室舒张末容积(mL)	114.08 $\pm$ 32.24	107.44 $\pm$ 27.37	-0.702	0.487
每搏输出量(mL)	73.17 $\pm$ 19.67	72.26 $\pm$ 18.35	-0.151	0.881
心输出量(L/min)	4.84 $\pm$ 1.39	4.60 $\pm$ 1.17	-0.610	0.546
心肌质量(g)	123.98 $\pm$ 37.32	121.51 $\pm$ 40.46	-0.201	0.842
射血分数(%)	65.00 $\pm$ 5.00	67.00 $\pm$ 5.00	1.484	0.146
体表面积(m ²)	1.70 $\pm$ 0.15	1.61 $\pm$ 0.21	-1.462	0.153
心脏指数[L/(min·m ²)]	2.85 $\pm$ 0.75	2.85 $\pm$ 0.62	-0.005	0.996

意义($P>0.05$)。但试验组前降支、回旋支及右冠远段 CT 值明显高于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),且试验组冠脉中远段及近远段 CT 值差值小于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 2,图 4。

连续测量冠状动脉各点 CT 值,试验组(图 4B)右冠远段 CT 值明显高于对照组(图 4C),且近远段、中远段 CT 值差值明显小于对照组,血管显示良好。

2.2.2 心肌灌注分析 对照组与试验组各段正常心肌碘含量的测定;2 组相比,心脏底部及中间层面各段正常心肌

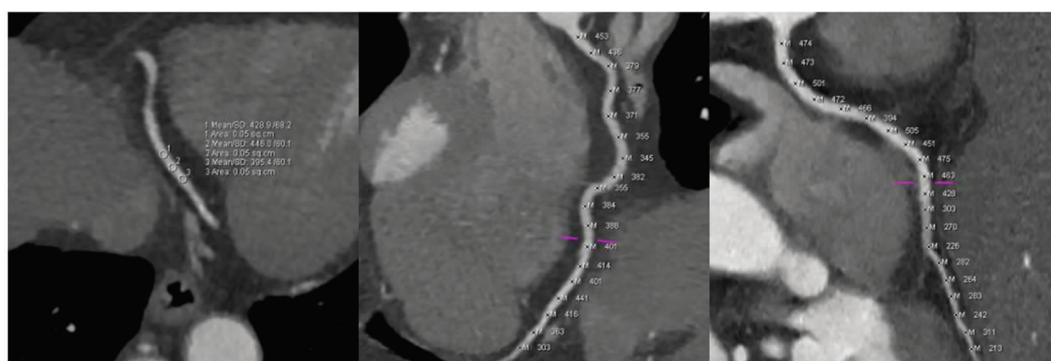
平均碘含量无明显差异($P>0.05$);但在心尖层面,试验组心脏前壁、间隔壁、下壁及外侧壁的心肌平均碘含量明显高于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 3、图 5。

试验组(图 5B)中由于采用 P3T 注射方案几乎没有线束硬化伪影产生,与对照组(图 5C)中间隔段产生的线束硬化伪影比较,图像质量明显改善。且正常心肌与线束硬化伪影区心肌碘含量测值差异较大,造成假阳性结果。

2.2.3 线束硬化伪影计数 2 组图像线束硬化伪影的分布及计数见表 4、图 5。

表 2 2 组间冠状动脉分支 CT 值的比较 (HU, $\bar{x} \pm s$)

冠状动脉分支 CT 值 (HU)	对照组 ($n=20$)	试验组 ($n=20$)	t 值	P 值
右冠近段 CT 值	453.82 $\pm$ 61.04	457.95 $\pm$ 58.87	0.218	0.829
右冠中段 CT 值	417.92 $\pm$ 52.88	421.37 $\pm$ 52.56	0.207	0.837
右冠远段 CT 值	344.46 $\pm$ 56.15	386.96 $\pm$ 50.16	2.524	0.016
前降支近段 CT 值	453.50 $\pm$ 61.03	455.22 $\pm$ 56.40	0.093	0.927
前降支中段 CT 值	410.63 $\pm$ 60.14	416.90 $\pm$ 54.39	0.346	0.731
前降支远段 CT 值	323.18 $\pm$ 68.45	372.80 $\pm$ 49.01	2.636	0.012
回旋支近段 CT 值	441.76 $\pm$ 54.56	450.05 $\pm$ 55.59	0.476	0.637
回旋支中段 CT 值	411.73 $\pm$ 62.69	410.53 $\pm$ 55.91	-0.064	0.949
回旋支远段 CT 值	324.38 $\pm$ 49.76	363.44 $\pm$ 55.46	2.344	0.024
右冠近段-中段 CT 值	36.69 $\pm$ 27.97	36.59 $\pm$ 27.58	-0.012	0.991
右冠中段-远段 CT 值	73.46 $\pm$ 36.71	34.41 $\pm$ 22.59	-4.051	0.000
右冠近段-远段 CT 值	109.36 $\pm$ 51.66	71.00 $\pm$ 37.14	-2.697	0.011
前降支近段-中段 CT 值	43.88 $\pm$ 29.09	38.32 $\pm$ 23.70	-0.662	0.512
前降支中段-远段 CT 值	87.45 $\pm$ 50.59	44.11 $\pm$ 21.35	-3.530	0.002
前降支近段-远段 CT 值	130.33 $\pm$ 54.22	82.43 $\pm$ 31.63	-3.413	0.002
回旋支近段-中段 CT 值	30.03 $\pm$ 28.27	41.02 $\pm$ 20.00	1.419	0.165
回旋支中段-远段 CT 值	87.35 $\pm$ 40.12	41.61 $\pm$ 20.41	-4.544	0.000
回旋支近段-远段 CT 值	117.38 $\pm$ 43.50	82.63 $\pm$ 30.38	-2.929	0.006



A. 右冠远端 CT 值的测量

B. 试验组右冠 CPR 图像

C. 对照组右冠 CPR 图像

图 4 冠脉的评价

表 3 2 组间心肌碘含量的比较 ($\bar{x} \pm s$)

部位	对照组 ($n=20$)	试验组 ($n=20$)	t 值	P 值
基底层面 (mg/mL)	2.31 $\pm$ 1.10	2.50 $\pm$ 1.04	1.189	0.236
中间层面 (mg/mL)	2.28 $\pm$ 1.05	2.35 $\pm$ 0.94	0.492	0.624
心尖层面 (mg/mL)	1.60 $\pm$ 0.69	1.96 $\pm$ 0.71	2.560	0.012
心尖段 (mg/mL)	1.45 $\pm$ 0.43	2.11 $\pm$ 0.74	2.669	0.014

2.3 注射方案及对比剂使用情况

对照组与试验组注射方案及对比剂使用情况见表 5。

采用 P3T 注射方案由于注射速率优化后较常规固定注射速率更符合人体血流动力学,注射压力仅为 164 Psi(图 6A),

较常规注射方案注射压力 202 Psi(图 6B)更低,更远离压力阈值 325 Psi,减少血管破裂风险提高患者舒适度。另外 P3T 采用三期给药方案后,压力曲线下降部分呈阶梯状缓降,也不同于常规注射方案的骤升骤降形态。

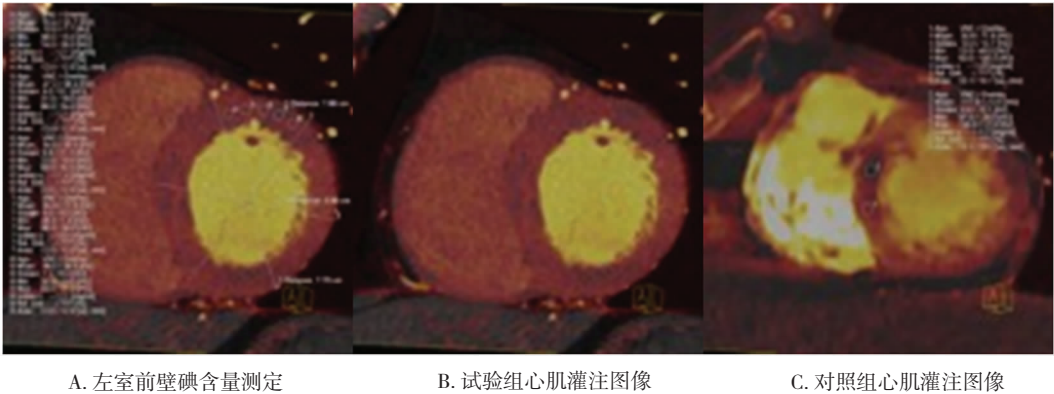


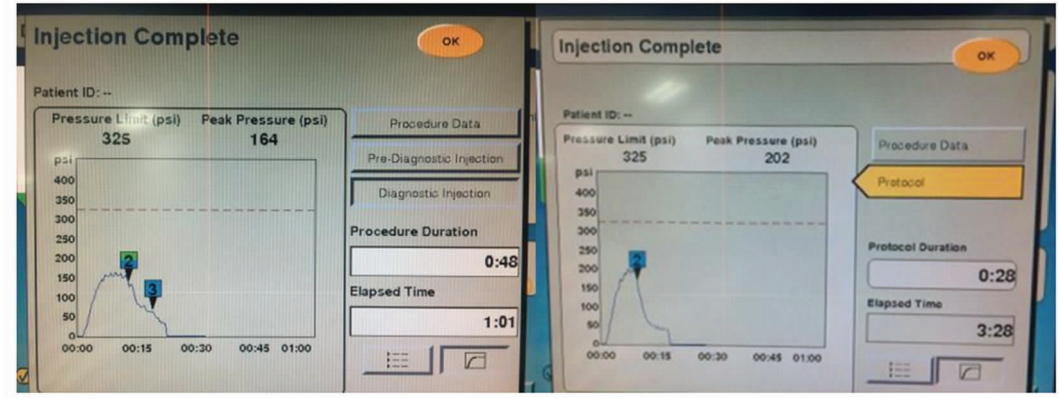
图 5 心肌灌注分析

表 4 2 组间线性硬化伪影的比较 (n,%)

	对照组 (n=20)	试验组 (n=20)	t 值	P 值
基底层面 (n,%)	29 (24)	17 (14)	3.873	0.049
中间层面 (n,%)	24 (20)	15 (13)	2.480	0.115
心尖层面 (n,%)	11 (14)	8 (10)	0.538	0.463
心尖段 (n,%)	5 (25)	4 (20)	0.143	0.500
伪影总计 (n,%)	69 (20)	44 (13)	6.633	0.010

表 5 2 组间注射方案及对比剂使用的比较

	对照组 (n=20)	试验组 (n=20)	t 值	P 值
注射方案	100%对比剂 + 生理盐水	100%对比剂 + 药水混合液 + 生理盐水	-	-
注射期数	两期	三期	-	-
第 1 期用量 (mL)	64.50 ± 8.49	53.25 ± 4.98	-5.109	0.000
第 2 期用药比 (%)	0	43.00 ± 9.79	36.743	0.000
第 2 期用量 (mL)	0	12.11 ± 2.55	21.212	0.000
第 3 期用量 (mL)	0	0	-	-
注射速率 (mL/s)	5.00 ± 0.00	4.42 ± 0.42	-6.180	0.000
给药时间 (s)	12.90 ± 1.70	18.63 ± 1.33	11.889	0.000
正式扫描用量 (mL)	64.50 ± 8.49	65.36 ± 7.30	0.343	0.734



A. 试验组 P3T 注射压力曲线 B. 对照组常规注射压力曲线

图 6 试验组及对照组注射压力曲线

达峰较晚的患者,启动扫描时右心系统已过峰值平台期,右室没有对比剂充盈,与室间隔分界不清(图 7A)。达峰较早的患者,虽能满足左、右心系统同时显影,但右室内充盈有大量未被稀释的对比剂,容易产生线束硬化伪影,使得心肌强化 CT 值有明显差异,心肌灌注分析不准确,影响诊断(图 7B)。试验组采用 P3T 注射方案后,3 期给药不仅可延长峰值平台时间,使不同循环速率的患者左、右心系统同时充分显影,且第 2 期采用稀释后低浓度注射的方式,可有效降低右心室对比剂含量,减少线束硬化伪影产生(图 7C)。

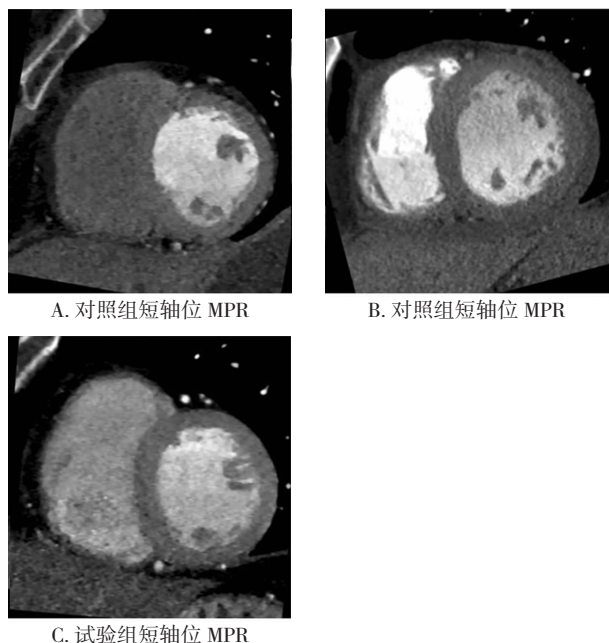


图 7 对照组及试验组左室短轴位 MPR 图像

3 讨论

随着 CT 技术的发展,心脏“一站式”检查不仅能为临床提供心脏及冠状动脉的解剖学影像,还能提供心脏功能学指标^[9],但如何获得高质量、精准的图像一直是影像技术学者追求的目标。众所周知,获取良好增强图像的前提是兴趣区内含有足够浓度的对比剂,而高浓度对比剂及固定的给药方式又会使心腔内残留大量对比剂从而产生线束硬化伪影影响图像质量,因此如何在这个矛盾中寻求平衡是心脏“一站式”检查成败的关键。传统注射方案虽然简便快捷,但只考虑了患者的体质量,并没有考虑患者的心功能和血流动力学等因素,在扫描时往往不能很好地维持对比剂在血管内的峰值浓度,使远端及分支小血管显影不佳而导致漏诊及误诊。本试验从对比剂增强和线束硬化伪影产生的原理出发,研究在双源 CT 心脏“一站式”检查中使用 P3T

注射技术,是否可以得到更好的心脏影像。

P3T 技术将注射分 3 个步骤完成:第一期(纯对比剂)主要用于左心系统及冠状动脉的显示,根据峰值浓度、扫描时间等参数,P3T 可以自动计算出与人体血流动力学相匹配的注射速率及用量,保证在扫描期间有足够的峰值平台期使兴趣血管持续显影。本研究显示 2 组冠脉近、中段血管 CT 值及近中段 CT 值的差值无统计学差异,但试验组冠脉远端血管 CT 值明显高于对照组且中远段、近远段 CT 值的差值均低于对照组,提示 P3T 注射能够保证足够长的平台期,在冠脉远端血管显示方面优于传统注射。在心肌灌注方面,DECT 依据高低密度物质分别在高低能量下不同的衰减特性实现了物质成分分离,注射对比剂后对碘成分提取的碘物质密度成像,并配以伪彩即碘图,可直接反映正常心肌组织和发生梗死或缺血心肌组织对碘对比剂摄取存在的差异^[10]。2 组图像正常心肌碘含量的测定显示,心脏基底部及中间层面各段正常心肌平均碘含量无明显差异,但在心尖层面,试验组心脏前壁、间隔壁、下壁及外侧壁心肌平均碘含量均明显高于对照组,提示 P3T 注射对于冠脉远端血管供血的心肌显影也优于传统注射。其次,通过合理的调整可以有效减少第一期对比剂的用量。本次研究结果显示,第一期的平均对比剂用量试验组较对照组明显减少。因此,在对比剂总量不变的条件下,P3T 技术可以将剩余对比剂与生理盐水以适当比例稀释完成第二期(混合液)的注射。另外,注射速率越大压力曲线斜率越大,峰值越接近注射器压力报警阈值(325 Psi),血管破裂对比剂渗漏的风险也越大,且患者发热等不适感也越明显^[11]。P3T 将血流动力学因素计算在内,通过调整注射方案可有效改变注射压力曲线(图 6),本次实验结果显示试验组平均注射速率也较对照组低,因此该技术在改善患者舒适度及降低血管破裂风险上也有一定的优势。

第二期(混合液)主要用于右心系统的显示,这一点对于心脏“一站式”检查至关重要^[12]。当今学者对于左心系统研究已相对成熟,但对右心系统的检查涉足较少。传统注射方案将显示左、右心系统的对比剂在第一期内全部注入体内,对于部分达峰较晚的患者由于峰值平台期持续时间短,往往在启动扫描时右心系统已无对比剂充盈,使得右心系统显影较差且特别难以与室间隔区分。但对于部分达峰较早的患者,虽在启动扫描时左右心系统同时显影,但右心系统为“直接”法显影,即高浓度对比剂

直接到达右心系统,这样线束硬化伪影的产生在所难免。心肌灌注碘图产生的伪影中最主要的是线束硬化伪影,尽管在初次重建过程中所有图像都经过软组织线束硬化校正^[4],但是由高密度物质特别是心室内的碘对比剂产生的线束硬化并不能被这种校正方法有效最小化,这种伪影会导致心肌灌注定性或定量评估结果不准确。通过分析 2 组图像产生的线束硬化伪影的位置和数量发现,最容易产生线束硬化伪影的位置在心脏基底部和中间层面的室间隔前段及下段,本研究与魏森^[5]、Okayama^[13]和 Rodriguez-Granillo^[14]等学者研究结果一致。因为该位置两旁为心脏的左、右心室,由于扫描时心室内仍含有大量浓度较高的对比剂,将大量吸收 X 线的低能级部分,使穿过室间隔的 X 线“变硬”吸收减少从而产生线束硬化伪影。本研究 P3T 在第二期(混合液)注射中,使用的对比剂平均剂量为 (12.11 ± 2.55) mL,仅占总量的 $(18.25 \pm 2.22)\%$,即 1/5 左右,并混以生理盐水将其稀释至原有浓度的 $(43.00 \pm 9.79)\%$,即近似 1:1 比例稀释再注入体内。P3T 利用第二期低剂量低浓度的对比剂对右心系统进行持续显影,一方面可有效降低右心系统碘剂含量,减少线束硬化伪影。本研究中试验组心脏基底部和中间层面的室间隔前段及下段线束硬化伪影明显少于对照组,证实 P3T 技术能有效减少线束硬化伪影,提高图像质量。另一方面还可使左、右心系统因碘剂含量不同产生较大的 CT 值差异,更利于左、右心系统的区分。

第三期(生理盐水)同传统注射,主要用于将残留在链接管中剩余对比剂冲入体内,并维持一定的注射压力。本次研究还发现与传统注射“单梯形”压力曲线不同的是:试验组采用 P3T 注射时压力曲线图为“双梯形”形态,即产生双平台期,压力曲线随对比剂浓度降低呈阶梯下降。该变化较传统注射骤升骤降的压力变化相比,更有利于保护患者的脉管系统,提高患者的舒适度。

另外,本次试验中虽 40 例患者均成功完成检查,但其中试验组有 1 例患者由于正式注射前后心率波动较大,使得测试与正式扫描时的达峰时间、峰值浓度差异较大,导致第 1 次扫描失败。而后,总结失败原因为患者在正式注射时全身发热过于紧张,导致心率加快、心排量增加,从而影响血流动力学使得正式扫描时峰值提前。经过与患者的充分沟通后,同意并顺利完成第 2 次扫描。可见血流动力学对心脏“一站式”检查的成败起至关重要的作用。

P3T 技术虽对于传统注射有一定的优势,但一味依赖先进技术不注重检查前准备,得不到患者良好配合仍可能导致失败。

参 考 文 献

- [1] 刘思宏,刘孝臣,吴平,等. 双源双能量 CT 心肌灌注成像对冠心病的诊断价值[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2016, 8(11): 1351-1353.
- [2] Schwarz F, Ruzsics B, Schorpf UJ, et al. Dual-energy CT of the heart—principles and protocols[J]. Eur J Radiol, 2008, 68(3): 423-433.
- [3] Graser A, Johnson TR, Hecht EM, et al. Dual-energy CT in patients suspected of having renal masses: can virtual nonenhanced images replace true nonenhanced images[J]. Radiology, 2009, 252(2): 433-440.
- [4] Yoon MA, Kim SH, Lee JM, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction and Veo: assessment of image quality and diagnostic performance in CT colonography at various radiation doses[J]. J Comput Assist Tomogr, 2012, 36(5): 596-601.
- [5] 魏森,王思杭,温家华,等. 双源双能量 CT 心肌灌注扫描的单能量成像对线束硬化伪影的校正研究[J]. 第三军医大学学报, 2015, 37(16): 1662-1667.
- [6] Jung SC, Kim SH, Cho JY. A comparison of the use of contrast media with different iodine concentrations for multidetector CT of the kidney[J]. Korean J Radiol, 2011, 12(6): 714-721.
- [7] 薛波. P3T 心脏模块个性化患者注射技术在心脏冠状动脉成像中的初步探讨[J]. 实用放射学杂志, 2014, 30(9): 1553-1555.
- [8] 祁荣兴,王天乐,崔磊,等. 双能量 CT 心肌灌注碘图图像质量与重组时相的关系[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(5): 760-763.
- [9] Kern MJ, Samady H. Current concepts of integrated coronary physiology in the catheterization laboratory[J]. J Am Coll Cardiol, 2010, 55(3): 173-185.
- [10] Weininger M, Schoepf UJ, Ramachandra A, et al. Adenosine stress dynamic real-time myocardial perfusion CT and adenosine-stress first-pass dual-energy myocardial perfusion CT for the assessment of acute chest pain: Initial results[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(12): 3703-3710.
- [11] 史金雁. 高压注射器在 CT 增强扫描中的应用与探讨[J]. 中国医药指南, 2016, 14(18): 81.
- [12] Chae EJ, Seo JB, Krauss B, et al. Dual-energy CT for assessment of the severity of acute pulmonary embolism: pulmonary perfusion defect score compared with CT angiographic obstruction score and right ventricular/left ventricular diameter ratio[J]. AJR, 2010, 194(3): 604-610.
- [13] Okayama S, Seno A, Soeda T, et al. Optimization of energy level for coronary angiography with dual-energy and dual-source computed tomography[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2012, 28(4): 901-909.
- [14] Rodriguez-Granillo GA, Rosales MA, Degrossi E, et al. Signal density of left ventricular myocardial segments and impact of beam hardening artifact: implication for myocardial perfusion assessment by multidetector CT coronary angiography[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2010, 26(3): 345-354.

(责任编辑:冉明会)