

双源CT“双低”冠状动脉成像技术中对对比剂用量的优化选择

葛 尚¹,朱昭环^{1*},蔡晓蔓¹,张喜文²

¹南京医科大学附属淮安市第一人民医院放射科,²心内科,江苏 淮安 223300

[摘要] 目的:探讨降低双源CT低管电压、低对比剂浓度(双低)冠状动脉CT成像技术(coronary artery CT angiography, CCTA)中对对比剂用量的优化选择研究。方法:92例体重指数(body mass index, BMI)≤25 kg/m²疑有冠状动脉疾病的患者行CCTA检查,按数字表法和不同条件分成A组(270 mgI/mL-80 kV-0.6 mL/kg-4.0 mL/s)、B组(270 mgI/mL-80 kV-0.7 mL/kg-4.0 mL/s)、C组(270 mgI/mL-80 kV-0.7 mL/kg-4.5 mL/s)、D组(350 mgI/mL-120 kV-1 mL/kg-5 mL/s),每组23例,A~C组为实验组,D组为对照组。A、B、C组采用迭代重建(Sinogram affirmed iterative reconstruction, SAFIRE)技术及270 mgI/mL的威视派克,D组采用滤波反投影技术及350 mgI/mL的碘海醇。各组均使用自适应前瞻性心电门控序列扫描技术。对每位患者的剂量长度乘积、有效辐射剂量(effective dose, E)、体型特异性剂量评估(size specific dose estimates, SSDE)、图像噪声、冠状动脉CT值、信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)、碘总量及碘注入率进行评估。结果:A、B、C组E值分别较D组明显降低,差异有统计学意义($P < 0.05$),A、B、C组E值差异无统计学意义($F=0.23, P=0.65$)。A组SSDE值较D组明显降低,降低幅度约66.7%,差异有统计学意义($t=-13.032, P < 0.05$)。A、B、C组总碘量分别较D组减少53.81%、46.00%、46.00%,A、B、C组的碘注入率分别较D组减少38.29%、38.29%、30.29%。A组平均SNR、平均CNR及平均CT值高于D组,但差异无统计学意义($P > 0.05$);B、C组以上数据高于D组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。4组间主观图像质量评分比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。结论:与常规双源CT冠状动脉成像方案相比,“双低”扫描方案在大幅降低辐射剂量的同时,可以大大降低对比剂用量,并且所获得的冠脉图像仍能满足临床诊断需要。

[关键词] 辐射剂量;体层摄影术;冠状动脉;迭代重建;对比剂

[中图分类号] R692

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2018)11-1558-05

doi: 10.7655/NYDXBNS20181116

冠状动脉CT成像检查(coronary artery CT angiography, CCTA)在冠状动脉疾病诊断及随访中的应用日益增多,然而其检查过程中较高的辐射剂量及碘对比剂相关不良反应依旧不容忽视^[1]。低管电压技术是降低辐射剂量的有效手段,可以有效增加脉管系统的溶化效应^[1-4],有研究报道,降低管电压的同时可以降低碘对比剂的浓度(“双低”)^[1,4],这大大降低了辐射剂量,也减少了对比剂的使用,并且获得的图像仍然能够满足诊断需要。在以往研究中发现^[1,3],“双低”组冠状动脉CT值高于对照组,甚至部分病例中CT值高达600 HU,增加了血管细微病变的漏诊率。本研究旨在探讨“双低”扫描技术中对对比剂用量的优化选择。

[基金项目] 淮安市应用研究和科技攻关(社会发展)计划项目(HAS2014009)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: zhuzh1966@163.com

1 对象和方法

1.1 对象

2015年10月—2016年12月,共收集92例体重指数(body mass index, BMI)≤25 kg/m²疑有冠状动脉疾病的患者,其中男43例,女49例,年龄31~85岁,平均年龄(59.76 ± 8.50)岁, BMI(23.45 ± 1.65) kg/m²。按数字表法和不同条件分成4组,A、B、C组采用270 mgI/mL的威视派克及80 kV的管电压,D组采用350 mgI/mL的碘海醇及120 kV管电压,每组均为23例。排除标准: BMI>25 kg/m²;碘对比剂过敏;肝肾功能不全(血肌酐>12 mol/L);严重心律失常及心功能不全;冠状动脉支架植入术或冠状动脉搭桥术后;不能配合呼吸者。所有患者均在自然心率下完成检查。各组患者在性别、年龄、心律变异、心率、BMI、扫描范围上差异无统计学意义($P > 0.05$)。本研究已经通过本院伦理委员会审核,且在检查前签署碘对比剂给药知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 检查方法

CCTA扫描前舌下含服硝酸甘油0.5 mg。于右肘正中静脉埋置18 G留置针,患者取仰卧位,训练患者屏气。采用德国Siemens双源CT。首先扫描定位像,扫描范围自气管分叉处下1 cm至膈面。根据屏气后的心率变化自动选择相应扫描心电图时相。A、B、C组对比剂采用270 mgI/mL(碘克沙醇),D组对比剂采用350 mgI/mL(碘海醇)。4组使用的对比剂量及注射速率分别为:A组:0.6 mL/kg,4.0 mL/s;B组:0.7 mL/kg,4.0 mL/s;C组:0.7 mL/kg,4.5 mL/s;D组:1.0 mL/kg,5.0 mL/s。4组注射对比剂后均以相同速率注射生理盐水40 mL。4组均采用Bolus-tracking团注法,感兴趣区设置在升主动脉根部,触发阈值100 HU,延迟时间4 s。扫描参数:A、B、C、D组管电压分别为80、80、80、120 kV;参考管电流分别为390、390、390、320 mA/周,实际管电流由四维智能实时剂量调控技术(CARE Dose 4D,西门子医疗系统)根据患者个体情况自动调制。探测器准直2 mm×64 mm,图像层厚0.75 mm,卷积核b26f,启动自适应前瞻性心电图序列扫描技术,数据采集期相:心率<75次/min采集期相为65%~75% R-R间期,心率≥75次/min采集期相为40%~50% R-R间期。A、B、C组采用迭代重建(sinogram affirmed iterative reconstruction, SAFIRE)技术,D组采用滤波反投影重建(filtered back projection, FBP)技术,将重建数据传输至工作站(syngo MMWP VE36A)。

1.2.2 图像后处理

所有图像应用Circulation软件进行重建。对每支血管进行容积再现(volume representation, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、多平面重建(multi-planar reconstruction, MPR)、曲面重建(curve plane reconstruction, CPR)。测量A~D组的主动脉根部、左主干(left main, LM)、左前降支(left anterior descending, LAD)、左旋回支(left circumflex, LCX)、右冠状动脉(right coronary artery, RCA)近端的CT值。

1.2.3 客观评价指标

感兴趣区(region of interest, ROI)放在上述各大血管的近端,ROI要尽可能大,但是要小心避开钙化、斑块及管壁。测量信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)、增强后管腔CT值及对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)的比值,SD值用邻近组织强化CT

值的标准差表示。计算公式为:SNR=管腔CT值/SD值,CNR=(管腔CT值-邻近软组织平均CT值)/SD值。本研究选取背部肌肉为邻近组织。

1.2.4 主观评价指标

根据美国心脏病学会(American Heart Association, AHA)冠状动脉树的15段分段法命名^[5],选取所有直径≥1.5 mm的冠状动脉节段进行分析,观察横轴面、MPR、CPR及MIP图像。按4分法进行评定:4分,图像质量优,噪声小,无伪影;3分,图像噪声较小,血管腔边界稍模糊,图像质量满足诊断;2分,图像噪声较大,血管腔边界模糊,有运动伪影,图像质量尚可满足诊断;1分,图像噪声明显,血管腔边界不清,不能满足诊断要求。冠状动脉节段为单位,包括:RCA近、中、远段,LM, LAD近、中、远段和LCX近、中、远段,以及后降支、第1对角支和第1钝缘支,共计13个节段。由两名资深影像科医师对图像质量进行评价,二者意见不一致时,共同商定结果。

1.2.5 辐射剂量计算

所有病例仅计算注入对比剂扫描时的辐射剂量。检查后,CT容积剂量指数(CT dose index of volume, CTDI_{vol})及剂量长度乘积(product of dose and length, DLP)由扫描仪剂量报告提供,有效辐射剂量(effective dose, E)根据公式E(mSv)=DLP×k计算,其中k为换算因子^[6],本研究取值0.017 mSv/(mGy·cm)。由于患者个体接收剂量与扫描机输出剂量及患者体型相关,现在国际上提倡使用体型特异性剂量评估(size specific dose estimates, SSDE),可以较准确地评估受检者所受的辐射剂量,具体换算参数参照Behrman等^[7]的报道。

1.2.6 碘摄入量计算

碘摄入量包括碘总量及碘注入率,计算公式^[4]:总碘量(g)=对比剂浓度(mg/mL)×对比剂使用量(mL)/1 000;碘注入率(g/s)=对比剂浓度(mg/mL)×对比剂注射速率(mL/s)/1 000。

1.3 统计学方法

研究结果采用SPSS 19.0软件进行统计处理。计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,计数资料采用绝对数表示。4组间性别比较用 χ^2 检验,年龄、BMI、心率、管电流、螺距、扫描长度、CTDI_{vol}、DLP、E、SSDE、冠状动脉的各客观参数值、冠状动脉图像质量评分、碘摄入量的比较均采用单因素方差分析,组间两两比较采用独立样本t检验。所有统计学结果以P≤0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者的一般资料

4组患者的性别、年龄、BMI、心率等差异无统计学意义($P > 0.05$)。

2.2 辐射剂量评价

经单因素方差分析,4组辐射剂量差异有统计学意义。经组间独立样本 t 检验:A、B、C组E值分别较D组明显降低,差异有统计学意义($P < 0.05$),A、B、C组间E值无统计学差异($F=0.23, P=0.65$);A组的SSDE值较D组明显降低,降低幅度约67.5%,差异有统计学意义($t=-13.032, P < 0.05$,表1)。

2.3 碘摄入量评价

4组患者摄入的碘总量分别为(9.70 ± 0.31)g、(11.34 ± 0.17)g、(11.34 ± 0.17)g、(21.00 ± 0.23)g,碘注入率分别为1.08、1.08、1.22、1.75 g/s,A、B、C组的总碘量分别较D组减少53.81%、46.00%、46.00%,A、B、C组的碘注入率分别较D组减少38.29%、

表1 4组间辐射剂量比较

组别	DLP(mGy·cm)	E(mSv)	SSDE(mSv)
A组(n=23)	58.15 ± 12.99 ^a	0.748 ± 0.211 ^a	1.214 ± 0.414 ^a
B组(n=23)	61.67 ± 23.43 ^b	0.823 ± 0.321 ^b	1.342 ± 0.597 ^b
C组(n=23)	59.29 ± 16.26 ^c	0.793 ± 0.299 ^c	1.295 ± 0.337 ^c
D组(n=23)	180.08 ± 23.85	2.196 ± 0.691	3.738 ± 0.530

经单因素方差分析,4组间 $F_{DLP}=7.5467 (F_{0.05}=3.24)$ 、 $F_E=6.2103 (F_{0.05}=5.29)$ 、 $F_{SSDE}=7.1201 (F_{0.05}=3.56)$; a: A组与D组比较, $t=-17.454$ 、 -17.444 和 $-13.032, P < 0.05$; b: B组与D组比较, $t=-18.521$ 、 -17.523 和 $-10.119, P < 0.05$; c: C组与D组比较, $t=-17.009$ 、 -17.531 和 $-12.109, P < 0.05$ 。

38.29%、30.29%。

2.4 客观质量评价

经单因素方差分析,4组间客观质量评分差异有统计学意义。经组间独立样本 t 检验:A、B、C组与D组间噪声差异有统计学意义($P > 0.05$),A组的平均SNR、平均CNR较D组差异无统计学意义($P > 0.05$);B、C组的以上数据高于D组,差异有统计学意义($P < 0.05$,表2)。

表2 4组间客观质量评价

组别	噪声(HU)	平均SNR	平均CNR	平均CT值
A组(n=23)	26.15 ± 18.76 ^a	14.56 ± 13.06	12.82 ± 5.96	439.8 ± 109.2 ^a
B组(n=23)	27.19 ± 11.09 ^b	15.83 ± 6.02 ^b	13.04 ± 5.94 ^b	490.2 ± 81.0 ^b
C组(n=23)	26.56 ± 9.30 ^c	20.13 ± 10.67 ^c	18.02 ± 3.49 ^c	588.4 ± 77.0 ^c
D组(n=23)	21.79 ± 7.88	14.46 ± 7.21	12.29 ± 5.15	391.7 ± 110.0

经单因素方差分析,4组间 $F_{噪声}=3.1240 (F_{0.05}=2.10)$ 、 $F_{SNR}=6.1101 (F_{0.05}=3.33)$ 、 $F_{CNR}=5.3301 (F_{0.05}=4.92)$ 、 $F_{CT值}=6.8840 (F_{0.05}=4.01)$; a: A组与D组比较, $t=6.019$ 、 $3.336, P < 0.05$; b: B组与D组比较, $t=2.981$ 、 3.115 、 1.989 和 $0.971, P < 0.05$; c: C组与D组比较, $t=0.786$ 、 4.019 、 2.343 和 $1.974, P < 0.05$ 。

2.5 主观质量评价

各组患者共有1075段冠状动脉血管直径 ≥ 1.5 mm。经单因素方差分析,4组间主观质量评分差异无统计学意义($P > 0.05$,表3,图1)。

表3 4组间主观质量评价 (分)

组别	4分	3分	2分	1分	合计
A组(n=23)	149	108	3	4	264
B组(n=23)	128	121	3	6	258
C组(n=23)	137	122	4	3	266
D组(n=23)	148	132	3	4	287

经单因素方差分析,4组间主观质量评分差异无统计学意义, $F=0.921 (F_{0.05}=2.12)$ 。

3 讨论

CCTA以其快速、无创、诊断准确度高等特点,在排查和诊断冠心病的应用中越发广泛^[1,6,8-12]。为了

保证较好的图像质量,常规选择高浓度370 mgI/mL或350 mgI/mL对比剂,用量按1 mL/kg计算,通常60~80 mL。然而由高渗碘对比剂带来的肾毒性越发吸引广大学者的注意。目前,对比剂肾病(contrast involved nephropathy, CIN)已成为医源性急性肾衰竭的第3位原因。研究显示:碘对比剂的用量以及渗透压与CIN相关^[13]。因此,一个更佳的对剂应用策略在临床中显得尤为重要。

Pan等^[2]研究对比剂浓度从370 mgI/mL降到270 mgI/mL,联合低管电压(“双低”)及迭代重建技术所获得的图像仍能满足诊断需求,其对比剂用量为60~70 mL。在笔者以往研究中发现^[1]:“双低”组中的图像噪声及CT值明显高于对照组,然而“双低”组的CNR和SNR均不低于对照组,甚至部分冠脉节段的数据结果明显高于对照组,笔者分析这可能是因为常规注射速率(5 mL/s)对于“双低”扫描方案来

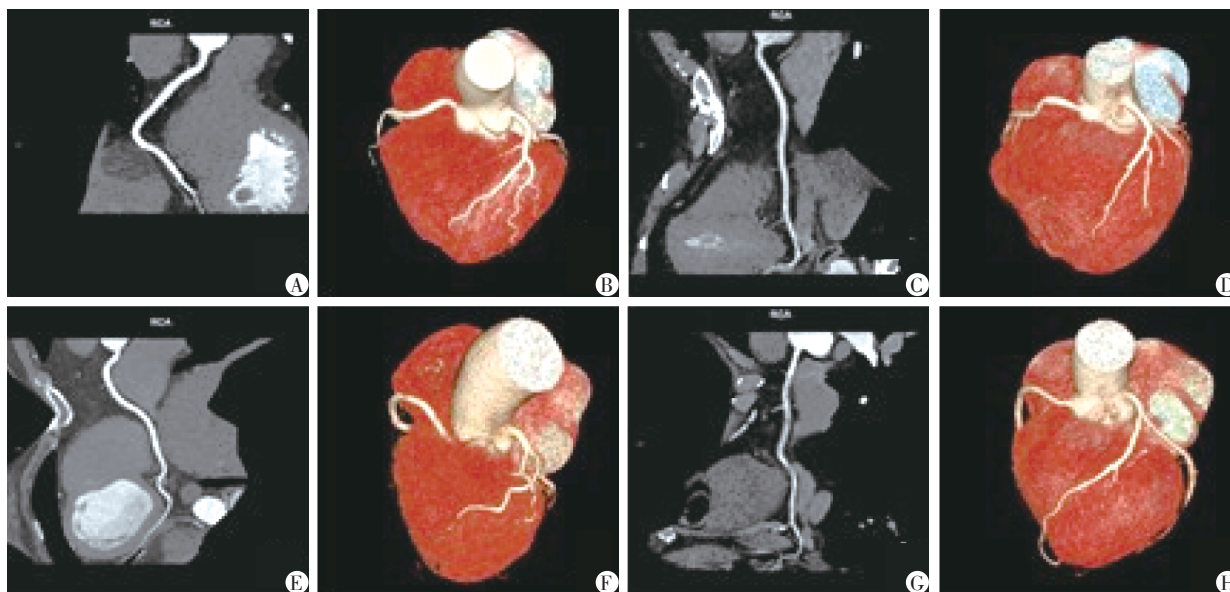


图1 4例患者的CCTA检查结果

A、B: 为同一患者,男,63岁,BMI为23.56 kg/m²,管电压80 kV,管电流339 mA,平均心率76次/min,选择65%~75%R-R间期扫描,对比剂用量33 mL,总碘量9.9 g,碘注入率1.08 g/s。CPR图像示:右冠状动脉管壁光滑,无伪影,评分4分。C、D: 为同一患者,男,59岁,BMI为23.01 kg/m²,管电压80 kV,管电流320 mA,平均心率67次/min,选择65%~75%R-R间期扫描,对比剂用量42 mL,总碘量11.40 g,碘注入率1.08 g/s。CPR图像示:右冠状动脉管壁光滑,无伪影,评分4分。E、F: 为同一患者,女,67岁,BMI为23.99 kg/m²,管电压80 kV,管电流260 mA,平均心率83次/min,选择40%~50%R-R间期扫描,对比剂用量44 mL,总碘量11.41 g,碘注入率1.22 g/s。CPR图像示:右冠状动脉管壁光滑,无伪影,评分4分。G、H: 为同一患者,女,61岁,BMI为23.71 kg/m²,管电压120 kV,管电流260 mA,平均心率69次/min,选择65%~75%R-R间期扫描,对比剂用量60 mL,总碘量21.10 g,碘注入率1.75 g/s。CPR图像示:右冠状动脉近中段见混合斑块,无伪影,评分4分。

说尚偏高,甚至部分病例中CT值高达600 HU,增加了血管细微病变的漏诊率,所以对比剂注射策略仍有进一步优化的必要。杨文才等^[12]依据体重调整冠状动脉CTA的对比剂最低用量,研究认为使用次高渗对比剂(350 mgI/mL)按0.6 mL/kg能满足诊断需求。本研究中,在联合使用270 mgI/mL对比剂、80 kV管电压以及SAFIRE迭代重建的条件下,按患者体重计算对比剂用量,设定不同注射速率,以期这种“双低”扫描方案能得到优质图像的同时,降低碘对比剂带来的肾毒危险性。

本研究结果显示:随着碘对比剂用量的逐步减少,C组到B组再到A组冠状动脉各支血管的CT值呈下降趋势,但由于低管电压的浊化效应,虽然碘对比剂的使用量降低了,但A、B、C组的CT值仍然明显高于D组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。在CCTA中,通常CT值 >300 HU就可以满足诊断要求,最佳CT值为350 HU左右,过高的CT值会增加血管细微病变的漏诊率。本研究中3组低浓度对比剂组的CT值均 >300 HU,C组CT值最高1例达650 HU,但随着对比剂用量和(或)注射流率的减低,A组及B组的CT值明显降低,其中A组CT值最低,为320~540 HU,完全能满足诊断需要,这说明按

照0.6 mL/kg计算,在BMI ≤ 25 kg/m²受试者中行冠状动脉CTA检查是可行的,并且4.0 mL/s的注射速率也降低了血管负荷。A组的对比剂用量较B、C、D组分别下降14.29%、14.29%、40.00%,碘总量分别减少14.46%、53.81%;碘注入率分别减少0%、11.48%、38.29%,A组中最低用量仅为30 mL,可以预计该方案对于肾功能受损、心力衰竭、糖尿病肾病患者,能降低CIN的发生风险,并且可以提高检查的效益-风险比。对比剂用量减少后冠状动脉血管强化程度会下降,但通过减低管电压的方法,可增强光电效应,减少康普顿散射,从而增加血管腔与周围组织的对比度。同时采用迭代重建技术可弥补降低管电压所致的噪声增加^[1,6,10],在保证图像质量与减少对比剂用量之间达到平衡。本研究中4组图像主观质量评价差异无统计学意义,3组实验组的客观图像质量评价均不低于对照组。与此同时,A组SSDE较D组下降了67.5%。

本研究的不足:首先,本研究没有将CCTA诊断结果与目前“金标准”的冠状动脉数字减影血管造影结果对照;其次,未考虑心输出量对冠状动脉血管强化程度的影响,心功能不全会使血液对碘对比剂产生稀释作用;再次,本研究只纳入正常体重的

受试者,超重和肥胖患者的对比剂合理用量还需进一步研究。

综上所述,行 CCTA 检查时,在 SAFIRE 重建算法的技术支持下,在“双低”扫描方案(低管电压 80 kV 及低浓度等渗对比剂 270 mgI/mL)中,对于 BMI \leq 25 kg/m² 患者,按 0.6 mL/kg 剂量及 4.0 mL/s 的注射速率注射对比剂是可行的,在降低患者检查过程中所受辐射剂量的同时,也大大减少了碘对比剂用量,降低了 CIN 的发生风险,并且所获得的图像依然可以满足诊断需要。

[参考文献]

- [1] 葛尚,李春和,潘昌杰,等. 双源 CT“双低”冠状动脉成像质量及辐射剂量的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(3): 226-230
- [2] Pan YN, Li AJ, Chen XM, et al. Coronary computed tomographic angiography at low concentration of contrast agent and low tube voltage in patients with obesity_a feasibility study[J]. Acad Radiol, 2016, 23(4): 438-445
- [3] Kanematsu M, Goshima S, Miyoshi T, et al. Whole-body CT angiography with low tube voltage and low-concentration contrast material to reduce radiation dose and iodine load[J]. AJR Am J Roentgenol, 2014, 20(2): 106-116
- [4] 潘昌杰,王涛,钱农,等. 等渗低浓度对比剂冠状动脉 CT 低剂量成像的初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2014, 48(10): 800-804
- [5] Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography[J]. JAMA, 2009, 301(5): 500-507
- [6] Wang R, Schoepf UJ, Wu R, et al. Image quality and radiation dose of low dose coronary CT angiography in obese patients: sinogram affirmed iterative Reconstruction versus filtered back projection [J]. Eur J Radiol, 2012, 81(11): 3141-3145
- [7] Behrman BLH. Comment on the_report of AAPM TG 204_size-specific dose estimates(SSDE)in pediatric and adult body CT examinations_[report of AAPM TG 204, 2011] [J]. Correspondence, 2011, 39(7): 4013-4014
- [8] 胡春峰,徐凯,袁莹莹,等. 双源 CT 评价冠状动脉狭窄与左心室功能的临床应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2012, 28(8): 1192-1196
- [9] Kyongtae TA. Contrast enhancement in cardiovascular MDCT_effect of body weight, height, body surface area, body mass index, and obesity [J]. AJR, 2008, 190(1): 777-784
- [10] Karolyi M, Szilveszter B, Kolossvary M, et al. Iterative model reconstruction reduces calcified plaque volume in coronary CT angiography[J]. Eur J Radiol, 2017, 87(6): 83-89
- [11] 王海林,纪建松,卢陈英,等. 胸围调节管电压技术冠状动脉 CT 血管成像的图像质量和辐射剂量[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(4): 284-288
- [12] 杨文才,骆春柳,洗朝晖,等. 320 排冠脉 CT 成像中根据体重调整的对比剂最低用量的可行性研究[J]. 影像诊断与介入放射学, 2014, 23(1): 16-21
- [13] 赵玉勤,陶红,张俊,等. 碘海醇在冠脉介入治疗中对肾功能的影响及相关护理[J]. 护士进修杂志, 2011, 26(17): 1578-1580

[收稿日期] 2017-08-13



欢迎关注本刊微博、微信公众号!