

超低对比剂剂量和流率在头颈部CT血管造影中的应用

谢孟臻¹, 吴斌¹, 刘于宝¹, 侯严振¹, 杜牧¹, 贺雄军²

1. 南方医科大学深圳医院医学影像中心, 广东 深圳 518110; 2. 南方医科大学深圳医院神经内科, 广东 深圳 518110

【摘要】目的:探讨双层探测器光谱CT在对比剂低耐受度患者头颈部CT血管造影(CTA)检查中应用超低对比剂剂量和流率扫描的优势。**方法:**收集对比剂低耐受度患者40例(观察组),对比剂用量20 mL,流率2 mL/s,所得图像行40 keV单能谱重建;选取同期普通患者40例(对照组),对比剂用量50 mL,流率5 mL/s;两组患者体质量均在70 kg以下。比较两组患者图像的主观评分、CT值、信号噪声比(SNR)、对比噪声比(CNR)和辐射剂量。**结果:**两组动脉显影图像主观评分比较差异无统计学意义($P>0.05$);在主动脉弓水平,观察组图像CT值、SNR和CNR均显著高于对照组($P<0.05$);在双侧颈总动脉分叉处及双侧大脑中动脉M1段,两组图像CT值比较差异无统计学意义($P>0.05$),但观察组图像SNR和CNR值均显著高于对照组($P<0.05$);观察组和对照组间容积CT剂量指数、剂量长度乘积、有效辐射剂量比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**双层探测器光谱CT在低耐受度患者头颈CTA检查中应用超低对比剂剂量和流率的扫描方案可以满足诊断需求,降低了对比剂肾病、对比剂外渗等副作用风险,且未增加辐射剂量。

【关键词】双层探测器光谱CT;头颈CTA;单能谱成像;低剂量;对比剂

【中图分类号】R816.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2022)09-1128-05

Application of ultra-low dose and flow-rate contrast injection protocol in head and neck CT angiography

XIE Mengzhen¹, WU Bin¹, LIU Yubao¹, HOU Yanzhen¹, DU Mu¹, HE Xiongjun²

1. Medical Imaging Center, Shenzhen Hospital of Southern Medical University, Shenzhen 518110, China; 2. Department of Neurology, Shenzhen Hospital of Southern Medical University, Shenzhen 518110, China

Abstract: Objective To explore the advantages of dual-layer spectral detector CT using ultra-low dose and flow-rate contrast injection protocol in head and neck CT angiography (CTA) for patients with low tolerance to contrast agent. **Methods** Forty patients with low tolerance to contrast agent were enrolled in observation group. The contrast agent of 20 mL and flow rate of 2 mL/s were used in observation group, and the obtained images were reconstructed by 40 keV monoenergetic spectrum. Meanwhile, 40 general patients in the same period were enrolled in control group. The dosage of contrast agent in control group was 50 mL, and the flow rate was 5 mL/s. The weights of patients in both groups were below 70 kg. The subjective image score, CT value, signal-noise ratio (SNR), contrast to noise ratio (CNR) and radiation dose were compared between two groups. **Results** There was no statistical difference in the subjective image scores of arterial imaging between two groups ($P>0.05$). At the level of aortic arch, the CT value, SNR and CNR of observation group were significantly higher than those of control group ($P<0.05$). In bilateral common carotid artery bifurcation and M1 segment of bilateral middle cerebral artery, no significant difference was found in CT value between two groups ($P>0.05$), but SNR and CNR of observation group were significantly higher than those of control group ($P<0.05$). The differences in volume CT dose index, dose length product, and effective radiation dose between observation group and control group were trivial ($P>0.05$). **Conclusion** The application of dual-layer spectral detector CT using ultra-low dose and flow-rate contrast injection protocol in head and neck CTA for patients with low tolerance can meet the diagnostic needs, reduce the risk of adverse reactions such as contrast nephropathy and contrast extravasation, and do not increase radiation dose.

Keywords: dual-layer spectral detector CT; head and neck CT angiography; monoenergetic spectral imaging; low dose; contrast agent

【收稿日期】2022-03-18

【基金项目】深圳医疗卫生“三名工程”高层次医学团队项目(SZSM201812047);深圳市宝安区科创局项目(2020JD453)

【作者简介】谢孟臻, 初级技师, 研究方向:CT影像技术, E-mail: xiemengzhen95@163.com

【通信作者】吴斌, 硕士, 副主任技师, 研究方向:CT、MRI影像技术, E-mail: wubin3835@163.com

前言

头颈部CT血管造影(CT Angiography, CTA)已经比较成熟,但其所需大剂量对比剂会造成较大的肾脏负担并增加对比剂肾病的发生概率,同时较高的对比剂注射速率对糖尿病、高龄和化疗等低耐受度患者因外周血管细、脆造成的对比剂外渗风险及静脉炎发生率增高^[1-2]。通过运用新技术,用更少量、更低流率的对比剂完成头颈部CTA检查便是广大设备公司和医务工作者努力追求的方向^[3-6]。双层探测器光谱CT可行低能量虚拟单能级重建,使含碘的血管CT值增高,在满足检查要求的情况下可降低对比剂用量和流率^[7-8];该设备通过特有的反相关噪声抑制技术,结合基于模型的迭代重建算法,明显降低各能级图像噪声^[9-11]。头颈部CTA对比剂低剂量、低流率应用研究较多,但未见对比剂应用20 mL总量和2 mL/s流率扫描方案的研究,本研究旨在探讨对比剂低耐受度患者头颈部CTA检查中应用超低对比剂剂量和流率扫描的优势。

1 资料与方法

1.1 临床资料

收集南方医科大学深圳医院2020年4月~2021年4月行双层探测器光谱CT头颈CTA检查患者80例,其中低耐受度患者(肾功能低下、糖尿病、化疗导致外周血管细脆等)40例为观察组,应用对比剂剂量20 mL,流率2 mL/s;普通头颈部CTA检查患者40例为对照组,应用对比剂剂量50 mL,流率5 mL/s。观察组男18例,女22例,年龄32~81岁,平均(59.65±11.41)岁。对照组男17例,女23例,年龄39~83岁,平均(63.15±10.86)岁,两组患者性别、年龄比较差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。所有患者体质量均在70 kg以下,检查结束后均未出现对比剂不良反应;所有患者均签署知情同意书。

1.2 检查方法

采用双层探测器光谱CT(IQon Spectral CT, Philips Healthcare, Best)。检查前去除患者假牙、项链、耳环、口罩鼻梁金属定型条等,患者仰卧,头先进绑带固定头部,双手放于身体两侧,嘱其平静呼吸,勿做吞咽动作。右侧肘静脉放置留置针,使用德国Ulrich高压注射器,对比剂均为非离子型对比剂(碘海醇,350 mgI/mL),观察组注射对比剂20 mL,流率2 mL/s,然后用20 mL生理盐水冲刷;对照组注射对比剂50 mL,流率5 mL/s,然后用50 mL生理盐水冲刷。

两组患者注射对比剂前先行平扫,扫描范围均

为颅顶至主动脉弓水平,增强触发监测位置为主动脉弓降段,触发阈值为120 HU,触发延迟为5 s。两组其余扫描参数一致:管电压120 kVp,管电流采用自动调制技术制(Automatic Tube Current Modulation, ATCM),范围118~187 mAs,球管转速0.27 s/周,螺距1.046,准直器宽度64×0.625 mm,扫描层厚5 mm,FOV 200 mm×200 mm。增强扫描图像行混合迭代重建(iDose⁴ L5),40 keV单能级图像采用投影空间光谱重建(Spectral L5)。重建层厚0.67 mm,层间距0.5 mm。

1.3 图像处理及测量

将所有图像数据传输至专用后处理工作站(Spectral Diagnostic Suite, SpDS, Philips Healthcare),重组方法采用MPR、MIP、CPR及VR等,观察组数据行40 keV单能级图像重建。分别在主动脉弓、双侧颈动脉分叉处、双侧大脑中动脉M1段3个层面测量动脉血管CT值,两组同层面感兴趣区(Region of Interest, ROI)位置大小相同,并在双侧颈动脉分叉水平测量两侧胸锁乳突肌的CT值和标准差SD(图像噪声),每个ROI均测量3次平均值。计算图像信号噪声比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)和对比噪声比(Contrast to Noise Ratio, CNR)。计算公式:SNR=CT值/SD, CNR=(CT值_{血管}-CT值_{肌肉})/SD。

1.4 评价指标

1.4.1 图像质量主观评价 所得图像由2名具有10年以上工作经验的诊断医师采用双盲法针对原始轴位图像及MPR、MIP、CPR和VR等重组图像质量做出评分,如意见不一致时需协商得出最终结果^[12]。(1)依据整体血管充盈度打分,非常好,5分;好,4分;满意,3分;差,2分;非常差,1分。(2)依据最远端大脑中动脉显影情况打分:M3段远段显影,5分;M3段近段显影,4分;M2段远段显影,3分;M2段近段显影,2分;M1段或其起始部显影,1分。得到动脉充盈度及大脑中动脉显影分数后相加得到动脉显示总分(2~10分)。(3)颈部静脉污染情况单独打分(1~5分)。锁骨下静脉内无造影剂残留,5分;锁骨下静脉内仅有少量造影剂残留,不影响锁骨下动脉观察,4分;锁骨下静脉内有较多造影剂残留,影响锁骨下动脉观察,3分;颈内静脉内有造影剂残留,但不超过颈总动脉分叉水平,2分;静脉内残留造影剂超过颈总动脉分叉水平,1分。

1.4.2 图像质量客观评价 对比分析两组患者主动脉弓、双侧颈动脉分叉处、双侧大脑中动脉M1段3个层面的平均CT值与SNR和CNR的差异。

1.4.3 两组辐射剂量比较 统计容积CT剂量指数(CT Dose Index Volume, CTDIvol)、剂量长度乘积

(Dose Length Product, DLP)。CTDIvol用来评价受检者扫描时单位体积所接受的平均剂量,DLP为受检者完成一次CT检查总的辐射剂量。有效辐射剂量(Effective Dose, ED)=DLP×*k*,*k*值为组织权重因子,头颈部的*k*值取值为0.005 4^[13]。

1.5 统计学方法

采用SPSS20.0统计软件对数据进行统计学处理。符合正态分布的计量资料用均数±标准差表示,采用组间比较*t*检验;非正态分布计量资料采用*M*(*Q*1, *Q*3)表示,采用Wilcox检验。*P*<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组主观评价评分比较

观察组动脉显影主观评分低于对照组,两组比较差异无统计学意义(*P*>0.05);观察组颈部静脉对比剂残留评分低于对照组,两组差异有统计学意义(*P*<0.05),见表1、图1a~b和图2a~b。

表 1 两组图像主观评分比较(分)
Table 1 Comparison of subjective image scores between two groups (scores)

部位	观察组	对照组	Z/t值	P值
动脉显影总分	9(9, 10)	10(9, 10)	1.972	0.249
颈部静脉对比剂残留评分	3.20±0.67	3.95±0.68	-4.917	<0.001

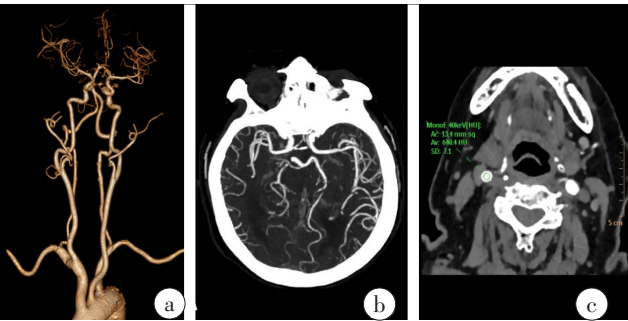


图1 观察组,采用20 mL对比剂,2 mL/s流率
Figure 1 Observation group adopting a protocol of 20 mL contrast agent and 2 mL/s flow rate

图1a、图1b分别为头颈部血管VR图和MIP图,主动脉弓、颈总、大脑中动脉显示清晰,达到诊断标准,评分5分;图1c为颈总动脉分叉处CT值测量图

2.2 两组客观指标评价结果

在主动脉弓水平,观察组图像CT值、SNR和CNR均显著高于对照组(*P*<0.05);在双侧颈总动脉分叉处及双侧大脑中动脉M1段,观察组图像SNR和CNR均显著高于对照组(*P*<0.05),但CT值比较差异

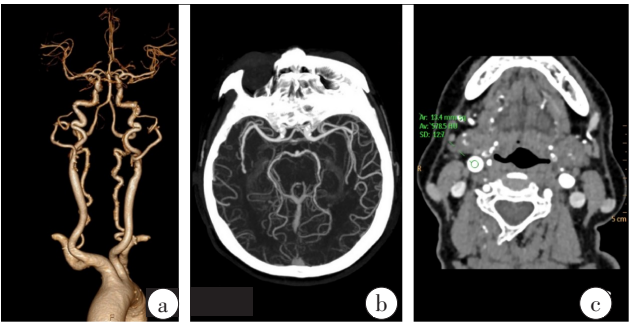


图2 对照组,采用50 mL对比剂,5 mL/s流率
Figure 2 Control group adopting a protocol of 50 mL contrast agent and 5 mL/s flow rate

图2a、图2b分别为头颈部血管VR图和MIP图,主动脉弓、颈总、大脑中动脉显示清晰,达到诊断标准,评分5分;图2c为颈总动脉分叉处CT值测量图

无统计学意义(*P*>0.05)。图像各部位CT值、SNR和CNR比较见表2、图1c和图2c。

2.3 两组患者辐射剂量结果比较

观察组和对照组间CTDIvol、DLP和ED比较差异均无统计学意义(*P*>0.05),见表3。

3 讨论

头颈部CTA作为廉价、快速、高效的血管成像方法在临床上的应用越来越广泛,但常规检查所需大剂量对比剂所造成的副作用不容忽视。近年来,应用低剂量对比剂完成头颈部CTA检查的研究越来越多^[14-18]。目前能谱CT在低剂量对比剂CTA中的运用成为热门,如刘瑛等^[19]用20~25 mL对比剂,5.0 mL/s的流速可获得满意的图像;王帅等^[20]采用30 mL对比剂,流率3.0 mL/s,并重建最佳单能量(60±5) keV图像可满足临床需求;吴家伟^[21]用0.5 mL/kg对比剂,3.0 mL/s流速结合(60±5) keV单能量重建可获得满足诊断标准的图像。有报告显示,应用双层探测器光谱CT 50 keV单能级重建,实现了与120 kVp传统混合能量成像相同的CNR,但碘浓度降低了2.5倍,40 keV单能级图像更是在维持相同CNR的同时降低了4倍碘浓度^[16];Oda^[22]研究发现,在肾功能低下患者的冠脉CTA检查中,在保证图像质量的前提下,双层探测器光谱CT 50 keV图像比传统120 kVp图像减少50%的对比剂用量;刘珮君等^[23]应用相同技术联合高浓度对比剂,使冠状动脉CTA检查的对比剂用量和流率分别降到了18 mL和2 mL/s,降幅分别达到了55%和50%,且得到了更高的图像质量。可见,双层探测器光谱CT结合低能级重建,可使增强CT检查大幅减少对比剂用量,同时获得满足临床需求的图像。但双层探测器光谱成像技术在头颈部CTA检

表2 两组客观指标评价比较($\bar{x}\pm s$)

Table 2 Comparison of objective indicators evaluation between two groups (Mean±SD)

部位	参数	观察组	对照组	t值	P值
主动脉弓	CT值/HU	484.90±124.83	393.60±61.84	4.145	0.000
	SNR	115.56±69.22	70.46±32.19	3.736	0.000
	CNR	99.93±64.89	56.96±29.18	3.819	0.000
左颈总分叉处	CT值/HU	447.85±125.18	435.28±66.83	0.560	0.577
	SNR	108.22±67.36	77.75±35.55	2.556	0.013
	CNR	90.96±58.68	66.56±31.11	2.323	0.024
右颈总分叉处	CT值/HU	456.48±120.80	438.93±69.23	0.797	0.428
	SNR	109.05±65.81	78.58±35.83	2.571	0.013
	CNR	92.72±58.79	67.18±31.81	2.416	0.019
左侧大脑中动脉M1段	CT值/HU	420.00±116.95	406.03±67.38	0.655	0.515
	SNR	100.07±60.02	71.23±30.77	2.705	0.009
	CNR	83.73±53.24	59.96±26.00	2.536	0.014
右侧大脑中动脉M1段	CT值/HU	433.45±118.73	409.18±69.67	1.115	0.269
	SNR	101.83±56.94	72.92±33.19	2.774	0.007
	CNR	86.45±50.54	61.17±29.13	2.741	0.008
颈总动脉分叉处胸锁乳突肌	CT值标准差(噪声)/HU	5.28±2.43	6.68±3.05	-2.271	0.026

表3 两组辐射剂量比较($\bar{x}\pm s$)

Table 3 Comparison of radiation dose between two groups (Mean±SD)

组别	例数	CTDIvol/mGy	DLP/mGy·cm	ED/mSv
观察组	40	25.82±3.30	1 134.95±127.70	6.13±0.69
对照组	40	25.24±3.03	1 129.84±119.83	6.10±0.65
t值		0.415	0.854	0.854
P值		-0.819	-0.185	-0.185

查中使用常规浓度、超低剂量、超低流率对比剂的研究却鲜见报道。

本研究观察组应用了 20 mL 的超低对比剂总量和 2 mL/s 的超低注射速率,相较于常规 50 mL 和 5 mL/s 的对比剂注射方案,对比剂用量和流率均下降了 60%,这极大地降低肾脏负担和静脉对比剂外渗风险,而且结合 40 keV 单能级重建,在 CT 值和 SNR、CNR 和动脉显影评分等评价标准上,观察组得到了等同甚至高于对照组的图像质量评价结果;但在颈部静脉对比剂残留评分上观察组显著低于对照组($P<0.05$)。相比混合能量成像,双层探测器光谱 CT 的 40 keV 单能级重建,可使低能级图像接近碘的 k 边缘值,光电效应增强,提高了血管的强化,但该技术在增强动脉血管强化的同时也显著提高了静脉残留对比剂的 CT 值^[24]。相较于其他能谱 CT,双层探测器光谱 CT 基于“同时、同源、同向”数据采集模式,实现了数据在投影域内达到时间和空间

的完全匹配,可利用反相关噪声抑制技术和基于模型的迭代重建算法,帮助低能级图像更好地抑制噪声,达到更佳的 SNR 和对比 CNR^[10-11]。

有研究^[25]显示头颈部 CTA 对比剂达峰值时间与患者的身高、年龄呈正相关,与心率呈负相关^[26]。本研究观察组注射对比剂剂量和流率低,目标血管内对比剂峰值浓度降低^[26],致药物峰值窗缩短。主观评分中有 2 例患者大脑中动脉显影仅为 3 分,分析原因为患者因紧张致心率大幅度增加,对比剂达峰值提前,对比剂峰值窗未能与设备扫描时间窗完美重叠。

在客观评价中,主动脉弓水平观察组各测量数值均明显高于对照组,但在双侧颈总动脉分叉处及大脑中动脉 M1 段水平两组 CT 值差异却没有统计学意义($P>0.05$),分析原因为观察组对比剂用量少,注射流率慢,在主动脉弓水平尚能保持相对较高的浓度,40 keV 单能级重建后的 CT 值可明显超过对照组,但到了颈总动脉及大脑中动脉后,对比剂被稀释明显,即使经 40 keV 单能级重建提升后的 CT 值不足以超过对照组常规剂量对比剂的 CT 值。

影响 CT 辐射剂量的因素主要有管电压、管电流、模体直径、模体内深度、螺距、准直宽度及管电流调制技术(ATCM)等。双层探测器 CT 的 ATCM 调制方式是根据扫描定位像上的患者尺寸、X 线衰减信息计算出管电流的输出值,本研究两组患者定位像扫描成像角度均为正侧位、管电压 120 kV、管电流 30 mA,排除了定位像成像角度、管电压、管电流对 ATCM 产生的影响^[27]。

因此在各设备参数不变的情况下,患者的尺寸和体型决定了唯一变量 ATCM,进而影响辐射剂量;同时患者尺寸也决定了扫描长度,从而直接影响 DLP 值($CT DIvol \times L$)。统计结果显示,两组间容积 CT 剂量指数、剂量长度乘积、有效辐射剂量等各辐射剂量指标差异并无统计学意义($P>0.05$)。

本研究存在一定的局限性:(1)后续应进一步扩大样本量,以获得更具代表性的统计数据;(2)只收集 70 kg 以下患者的资料作统计分析,研究结论可能存在偏差,后续将根据患者 BMI 重新设定对比剂用量、流率和辐射剂量等亚方向的研究;(3)观察组直接选择了最低重建能级(40 keV)图像与常规图像比较,未比较其他低能图像的诊断效能,后续可作不同能级间的比较;(4)未能将 DSA 结果纳入对比。

综上所述,采用超低对比剂用量和速率结合 40 keV 单能级重建进行头颈部 CTA,可以获得可媲美常规对比剂剂量的血管图像,虽然存在颈部静脉对比剂残留影响,但该技术极大地降低了肾功能低下患者的肾脏负担和对比剂外渗及静脉及风险,值得在对对比剂低耐受度患者中推广应用。

【参考文献】

- [1] Azzalini L, Spagnoli V, Ly HQ. Contrast-Induced nephropathy: from pathophysiology to preventive strategies[J]. Can J Cardiol, 2016, 32(2): 247-255.
- [2] Dykes TM, Bhargavan-Chatfield M, Dyer RB. Intravenous contrast extravasation during CT: a national data registry and practice quality improvement initiative[J]. AJR J Am Coll Radiol, 2015, 12(2): 183-191.
- [3] Kim JE, Lee JM, Baek JH, et al. Initial assessment of dual-energy CT in patients with gallstones or bile duct stones: can virtual nonenhanced images replace true nonenhanced images?[J]. AJR Am J Roentgenol, 2012, 198(4): 817-824.
- [4] Postma AA, Hofman PA, Stadler AA, et al. Dual-energy CT of the brain and intracranial vessels[J]. AJR Am J Roentgenol, 2012, 199(Suppl 5): S26-S33.
- [5] Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience[J]. Eur Radiol, 2007, 17(6): 1510-1517.
- [6] Bogot NR, Fingerle A, Shaham D, et al. Image quality of low energy pulmonary CT angiography: comparison with standard CT[J]. AJR Am J Roentgenol, 2012, 197(2): W273-W278.
- [7] Yi Y, Zhao XM, Wu RZ, et al. Low dose and low contrast medium coronary CT angiography using dual-layer spectral detector CT[J]. Int Heart J, 2019, 60(3): 608-617.
- [8] Neuhaus V, Hokamp NG, Abdullayev N, et al. Comparison of virtual monoenergetic and polyenergetic images reconstructed from dual-layer detector CT angiography of the head and neck[J]. Eur Radiol, 2018, 28(3): 1102-1110.
- [9] Sakabe D, Funama Y, Taguchi K, et al. Image quality characteristics for virtual monoenergetic images using dual-layer spectral detector CT: comparison with conventional tube-voltage images[J]. Phys Med, 2018, 49: 5-10.
- [10] Kalisz K, Rassouli N, Dhanantwari A, et al. Noise characteristics of virtual monoenergetic images from a novel detector-based spectral CT scanner[J]. Eur J Radiol, 2018, 98: 118-125.
- [11] Goo HW, Goo JM. Dual-Energy CT: new horizon in medical imaging[J]. Korean J Radiol, 2017, 18(4): 555-569.
- [12] 石林平,黎雪琴,李长英,等.不同剂量对比剂在 64 排螺旋 CT 脑动脉成像中的比较研究[J].生物医学工程与临床,2014,18(6): 544-548.
- [13] 杨枫,郑书刚,郑彩端,等.256 层螺旋 CT 双低剂量模式对头颈 CTA 图像质量的影响研究[J].西南国防医药,2018,28(11): 1058-1061.
- [14] 普福顺,吴晶晶,罗家滨,等.小剂量对比剂 CTA 在头颈血管病变筛查中的应用[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2019,17(1): 61-62.
- [15] Pu FS, Wu JJ, Luo JB, et al. The clinical application of low dose contrast agent CT angiography in the diagnosis of head and neck vascular diseases[J]. Chinese Journal of CT and MRI, 2019, 17(1): 61-62.
- [16] Guo X. The Feasibility analysis of low-dose contrast agent in cranial CT angiography[J]. Contemporary Medicine, 2016, 22(36): 88-89.
- [17] Tsang DS, Merchant TE, Merchant SE, et al. Quantifying potential reduction in contrast dose with monoenergetic images synthesized from dual-layer detector spectral CT[J]. Br J Radiol, 2017, 90(1078): 20170290.
- [18] Yeh BM, FitzGerald PF, Edi PM, et al. Opportunities for new CT contrast agents to maximize the diagnostic potential of emerging spectral CT technologies[J]. Adv Drug Deliv Rev, 2017, 113: 201-222.
- [19] Saito H, Noda K, Ogasawara K, et al. Reduced iodinated contrast media for abdominal imaging by dual-layer spectral detector computed tomography for patients with kidney disease[J]. Radiol Case Rep, 2018, 13(2): 437-443.
- [20] 刘璎,陈学志,高晓玲,等. Force CT 双能量模式不同管电压低剂量对比剂在头颈部 CTA 中的临床应用[J].中国中西医结合影像学杂志,2020,18(2): 139-143.
- [21] Liu Y, Chen XZ, Gao XL, et al. Clinical application of Force CT dual-energy mode with different tube voltages and low-dose contrast agent in head and neck CTA[J]. Chinese Imaging Journal of Integrated Traditional and Western Medicine, 2020, 18(2): 139-143.
- [22] 王帅,石磊,郑敏文,等.双低剂量对比剂和最佳单能谱成像在头颈部 CTA 中的应用价值[J].中国医疗设备,2016,31(7): 9-11.
- [23] Wang S, Shi L, Zheng MW, et al. Effectiveness of application of double low-dose contrast agent and optimal gemstone spectral imaging in head and neck CT angiography[J]. China Medical Devices, 2016, 31(7): 9-11.
- [24] 吴家伟.头颈部 CTA 中的双低剂量对比剂和最佳单能谱成像分析[J].中国实用医药,2019,14(23): 78-79.
- [25] Wu JW. Double-low-dose contrast agent and best single-energy spectrum imaging analysis in head and neck CTA[J]. China Practical Medical, 2019, 14(23): 78-79.
- [26] Oda S. Low contrast material dose coronary computed tomographic angiography using a dual-layer spectral detector system in patients at risk for contrast-induced nephropathy[J]. Br J Radiol, 2019, 92(1094): 20180215.
- [27] 刘珮君,王怡宁,焦阳,等.双层探测器光谱 CT 单能级技术联合高浓度对比剂提高冠状动脉图像质量的可行性研究[J].中华放射学杂志,2020,54(6): 514-520.
- [28] Liu PJ, Wang YN, Jiao Y, et al. Feasibility of high concentrated contrast media combined with monochromatic images to improve image quality with double low scanning in dual-layer spectral coronary CT angiography[J]. Chinese Journal of Radiology, 2020, 54(6): 514-520.
- [29] Rajiah P, Abbara S, Halliburton SS. Spectral detector CT for cardiovascular applications[J]. Diagn Interv Radiol, 2017, 23(3): 187-193.
- [30] 冯晨,方玉,张德川,等.头颈 CTA 达峰时间相关因素的分析研究[J].CT 理论与应用研究,2021,30(6): 727-733.
- [31] Feng C, Fang Y, Zhang DC, et al. Analysis and study on correlative factors of CTA peak time in head and neck[J]. Computerized Tomography Theory and Applications, 2021, 30(6): 727-733.
- [32] 吴丽霞,普福顺,唐太松,等.低剂量对比剂联合生理盐水在 128 层 CT 头颈血管成像中的可行性研究[J].中国中西医结合影像学杂志,2018,16(2): 174-176.
- [33] Wu LX, Pu FS, Tang TS, et al. asibility study of low dose contrast agent combined with normal saline in 128-slice CT head and neck angiography[J]. Chinese Imaging Journal of Integrated Traditional and Western Medicine, 2018, 16(2): 174-176.
- [34] Tang YC, Liu YC, Hsu MY, et al. Adaptive iterative dose reduction 3D integrated with automatic tube current modulation for CT coronary artery calcium quantification: comparison to traditional filtered back projection in an anthropomorphic phantom and patients[J]. Acad Radiol, 2018, 25(8): 1010-1017.

(编辑:陈丽霞)