

头颈-冠状动脉超低剂量CTA一站式成像技术的应用价值

高洁¹, 欧阳雪晖¹, 吴伟¹, 王婷¹, 张鹏^{2*}

(1. 内蒙古自治区人民医院 影像医学科, 内蒙古 呼和浩特 010017;

2. 内蒙古医科大学附属医院 影像诊断科, 内蒙古 呼和浩特 010050)

【摘要】目的 本研究旨在探讨超低剂量冠状动脉-头颈动脉一站式CTA临床应用的技术可行性与适宜性。方法 本研究共纳入174例患者, 随机分为A组($n=88$)与B组($n=86$)。A、B两组均采用128层双源CT大螺距螺旋扫描技术。A组采用管电压70~100 kVp, 并采用40 mL低浓度碘对比剂(320 mgI/mL)行CTA检查, B组采用管电压100~140 kVp, 并采用60 mL高浓度碘对比剂(370 mgI/mL)行CTA检查。A组与B组比较图像质量、辐射剂量与碘负荷。结果 A组DLP为(68.72 ± 26.37) mGy·cm, B组为(167.43 ± 21.57) mGy·cm, 差异具有统计学意义($t=-26.996, P<0.001$)。A组平均总碘含量为(12800 ± 0) mg, B组为(22200 ± 0) mg。A、B两组动脉节段可评估率差异无统计学意义(99.15% vs. 99.65%, $\chi^2=1.128, P>0.05$)。结论 超低剂量心脑血管CTA可以在维持诊断性图像质量的前提下最大限度地降低辐射剂量和碘负荷, 值得临床推广应用。

【关键词】 辐射剂量; 图像质量; CT动脉造影; 大螺距扫描; 碘对比剂

中图分类号: R426

文献标识码: B

文章编号: 2095-512X(2023)04-0410-05

随着我国人民老龄化及生活条件改善, 急性脑血管病的发病率逐年增加, 其具有较高的致残率和致死率。内蒙古自治区是高于全国平均水平的少数地区, 这将严重影响本地区人民的健康与预期寿命^[1]。合理的筛查、诊断和评价是降低动脉粥样硬化性疾病患者病死率的重要手段^[1]。CT血管造影(CT angiography, CTA)作为一种非侵入性和高性能的评价工具可以提供准确的形态学信息, 尤其是其极高的阴性预测值, 适合于动脉粥样硬化的排查诊断与临床评价^[2,3]。

然而, 头颈动脉与冠状动脉需要包含从头顶至膈下范围, 过大的扫描长度与过长的扫描时间将会增加患者的辐射剂量与碘负荷, 对检查的安全性产生潜在的影响。基于双源CT的物理特性, 大螺距螺旋扫描可以实现极快的扫描与极短的曝光时间, 这将平衡辐射剂量与碘负荷的矛盾^[4]。多项研究^[5,6]显示, 大螺距螺旋扫描可以应用于大范围CTA, 并且也可以实现心脑血管的联合成像。利用大螺距螺旋扫描、迭代算法和超低管电压设置可以进一步降低标准或偏瘦体型患者的辐射剂量与碘负荷^[7]。有研究^[8-10]显示, 使用大螺距CT冠状动脉造影(CT coronary angiography, CTCA)扫描允许在辐射剂

量 <0.2 mSv、高浓度碘对比剂 <30 mL的情况下维持图像质量的可评估性。参考超低剂量技术, 头颈-冠状动脉CTA也应用于临床实践, 在维持图像诊断性的前提下, 辐射剂量仅为0.33 mSv, 低浓度碘对比剂(320 mgI/mL)用量仅为40 mL^[11]。这说明超低剂量头颈-冠状动脉一站式CTA在特定群体, 如标准或偏瘦体型患者中具有可行性与真实性。但是, 这些患者都是经过高度选择的, 超低剂量技术缺乏普遍性与适宜性的验证。目前, 超低剂量CTCA已经被多项“真实世界”研究证实了其可行性^[12,13], 然而, 超低剂量头颈-冠状动脉一站式CTA是否可以应用于真实患者群体值得商榷。

本研究旨在联合大螺距、超低管电压、迭代算法和小剂量低浓度碘对比剂进行超低剂量头颈-冠状动脉一站式CTA, 并应用于低心率非选择患者群体, 评价其可行性、可靠性、安全性与适宜性。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究为前瞻性研究, 所有患者均签署研究知情同意书。本研究连续纳入2021年3月至2022年

收稿日期: 2021-08-28; 修回日期: 2022-12-06

基金项目: 内蒙古医科大学高等教育教学改革研究项目(NYJXGG2021070; NYJXGG2022169)

第一作者: 高洁(1983—), 女, 博士, 副主任医师。研究方向: 乳腺MR诊断、胸腹部影像诊断。E-mail: sky_dtq@163.com

*通信作者: 张鹏, 男, 硕士, 副主任医师, 硕士研究生导师。研究方向: 医学影像诊断。E-mail: zpmangui@163.com

10月内蒙古自治区人民医院可疑心脑血管粥样硬化,且行冠状动脉-头颈动脉一站式CTA的患者174例为研究对象。

纳入标准:心率(heart rate, HR)≤65次/min(bpm),或通过口服美托洛尔降低至65 bpm以下;心率变异性(heart rate variation, HRv)≤3 bpm;其余无限制条件。

排除标准:屏气不佳;对比剂外渗;既往碘过敏史;肾功能不全(血肌酐≥120 μmol/L);心功能不全(左室射血分数<40%)。所有患者按就诊顺序随机分为A组($n=88$)与B组($n=86$)。

1.2 CT影像技术

1.2.1 CT扫描与注射协议 左前臂肘前静脉置入18G静脉留置针(BD公司,中国),并注入20 mL(5 mL/s)生理盐水进行测试。

采用128层双源CT(SOMATOM Definition Flash, 西门子医疗,德国)进行CTA检查。采集参数:准直器宽度为128层×0.6 mm;机架旋转时间为280 ms;flash模式(螺距因子3.4);A、B两组管电流为320 mAs,开启自动管电流调制(CareDose 4D, 西门子医疗);A组(实验组)管电压设置为70~100 kVp(依据体质量指数设置管电压:70 kVp适用于体质量指数≤24 kg/m²;80 kVp适用于体质量指数≤28 kg/m²且>24 kg/m²;100 kVp适用于体质量指数>28 kg/m²),B组(对照组)设置为100~140 kVp(依据体质量指数设置:100 kVp适用于体质量指数≤24 kg/m²;120 kVp适用于体质量指数≤30 kg/m²且>24 kg/m²;140 kVp适用于体质量指数>30 kg/m²)。

增强延迟采用注射跟踪技术:A组感兴趣区(ROI)放置于左心房,待左心房强化幅度达到50 HU以上时延迟5s开始扫描;B组ROI常规置于主动脉根部,待强化幅度达100 HU以上时延迟5s开始扫描。A、B两组的触发时相均为R-R间期的55%。A组采用造影剂药量40~50 mL、注射速率5.0~6.0 mL/s(依据体质量设置注射速率与用量:药量40 mL、速率5.0 mL/s适用于体质量≤60 kg;药量45 mL、速率5.5 mL/s适用于体质量≤80 kg且>60 kg;药量40 mL、速率5.0 mL/s适用于体质量>80 kg)低浓度碘对比剂(碘克沙醇注射液320 mg/mL,恒瑞医疗,中国),B组常规采用造影剂药量60~70 mL、注射速率5.0~6.0 mL/s(依据体质量设置注射速率与用量:药量60 mL、速率5.0 mL/s适用于体质量≤60 kg;药量65 mL、速率5.5 mL/s适用于体质量≤80 kg且>60 kg;药量70 mL、速率5.0 mL/s适用于体质量>

80 kg)高浓度碘对比剂(碘普罗胺370 mg/mL,拜耳先灵制药公司广州分公司,中国),两组生理盐水冲洗量均为液体量40 mL、注射速率5 mL/s。扫描范围从膈下2 cm处至头顶。

1.2.2 图像处理 图像重建层厚为0.75 mm,卷积核采用平滑重建(I26f),A、B两组重建算法均采用迭代算法(SAFIRE 3)。在三维工作站上进行图像处理和存储(AW版本4.4,GE医疗,美国),并应用曲面重建技术结合轴位图像对冠状动脉进行图像质量评价。

1.3 辐射剂量和碘负荷

记录每例患者的CT剂量指数(CTDI_{vol})和剂量长度乘积(DLP)。有效剂量(ED)是由公式($ED=DLP \times k$)计算。本研究胸部和头颈部的k值分别为0.014 mSv/mGy·cm和0.0013 mSv/mGy·cm^[14]。碘对比剂容积由操作者记录,依据平均总碘含量=碘对比剂浓度×容积计算碘负荷。

1.4 图像质量

1.4.1 主观图像质量 冠状动脉依据美国心脏协会冠状动脉分段法^[15]分为15个节段。头颈动脉按解剖分为如下节段:颈总动脉、颈内动脉、椎动脉、锁骨下动脉、大脑前动脉、大脑中动脉、大脑后动脉、基底动脉。管腔直径<1.5 mm者不进行评价。图像质量按运动伪影与颗粒度轻重分为4分(4=优秀,无伪影;3=好,轻度伪影,不影响评价;2=中,中度伪影,但可进行管腔评价;1=差,伪影较重,不可进行管腔评价)。所有图像由两位从事5年以上心胸影像学诊断的医师作为观察者进行独立评价。

1.4.2 客观图像质量 在选取动脉位置设置ROI测量平均衰减值与标准差,以标准差作为噪声,并测量主动脉根部、右下颌间隙脂肪组织周围脂肪组织的平均衰减值分别作为冠状动脉与头颈动脉的背景强度。设置ROI时避开伪影、血管壁和斑块。信噪比和对比噪声比的计算公式为信噪比=平均衰减值/噪声值,对比噪声比=(动脉平均衰减值-背景强度)/噪声值]。冠状动脉选取位置包括主动脉根部、LM、LAD、LCX和RCA近端;头颈动脉选取位置包括:颈总动脉、颈内动脉、椎动脉、锁骨下动脉、大脑中动脉、基底动脉的1/2处。

1.5 亚组分析

将A组入组患者生理指标与客观图像质量进行相关性分析,患者生理指标包括体质量、体质量指数,图像质量包括衰减值、噪声值、CNR。

1.6 统计学处理

采用SPSS 18.0统计软件进行统计学分析。计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,计数资料用自然数或百分数表示。计量资料比较采用两独立样本 *t* 检验或秩和检验,计数资料两两比较采用 χ^2 检验。连续变量资料相关性分析采用Pearson相关。检验水准为 $\alpha=0.05, P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料

本研究共入组174例患者,其中A组88例,B组86例,中位年龄57.5岁(范围:25~80岁),男性95例,女性79例。A、B两组基线资料比较(见表1)。

表1 两组基线资料对比

项目	年龄/岁	性别/(男,女)	身高/m	体质量/kg	体质量指数/(kg/m ²)	心率/(次/min)	扫描长度/cm
A组	58.97 ± 12.11	62/26	165.06 ± 5.42	67.11 ± 6.70	24.68 ± 2.66	57.74 ± 6.86	57.61 ± 3.96
B组	54.74 ± 10.25	33/53	162.34 ± 5.66	63.68 ± 9.33	24.16 ± 3.37	58.08 ± 8.92	56.63 ± 3.92
统计量	2.486a	18.060b	-3.234a	-2.783a	-1.124a	-0.284a	-1.646a
<i>P</i>	0.014	<0.01	0.001	0.006	0.262	0.777	0.102

注释:a为*t*值,b为 χ^2 值。

2.2 辐射剂量和碘负荷

A组CTDI_{vol}为(1.32 ± 0.48) mGy, B组为(3.25 ± 0.58) mGy,差异有统计学意义($t = -23.910, P < 0.05$)。A组DLP为(68.72 ± 26.37) mGy·cm, B组为(167.43 ± 21.57) mGy·cm, A组较B组降低了59% ($t = -26.996, P < 0.05$)。A组ED为(0.35 ± 0.13) mSv, B组为(0.84 ± 0.10) mSv, A组较B组降低了58% ($t = -27.592, P < 0.05$)。A组和B组对比剂注射总量分别为40 mL和60 mL, A组平均总碘含量为(12.8 ± 0.0) g, B组为(22.2 ± 0.0) g, A组较B组比较下降了42%。

2.3 图像质量

2.3.1 主观图像质量 两位观察者共评价动脉节段5110段。节段水平:A组可评估率为99.45% (2532/2546), B组为99.65% (2555/2564), 差异无统计学意义($P > 0.05$); 患者水平:A组可评估率为88.63% (78/88), B组为94.18% (81/86), 差异无统计学意义($P > 0.05$)。A组平均图像质量评分稍低于B组(3.60 ± 0.59 vs. 3.73 ± 0.54, $Z = -10.007, P < 0.05$), 差异有统计学意义($P < 0.05$)。图1显示了A组1例心脑血管动脉一站式CTA的图像质量。

2.3.2 客观图像质量 客观图像质量中, A组的平均衰减值和噪声值明显高于B组(衰减值:(546.64 ± 144.91) HU vs. (512.85 ± 129.09) HU, 噪声值:29.61 ± 11.09 HU vs. 24.01 ± 10.64 HU, $P < 0.05$)。A组信噪比和对比噪声比均低于B组(20.96 ± 9.54 vs. 25.82 ± 13.86 和 25.68 ± 11.32 vs. 31.97 ± 16.74, $P < 0.05$)。

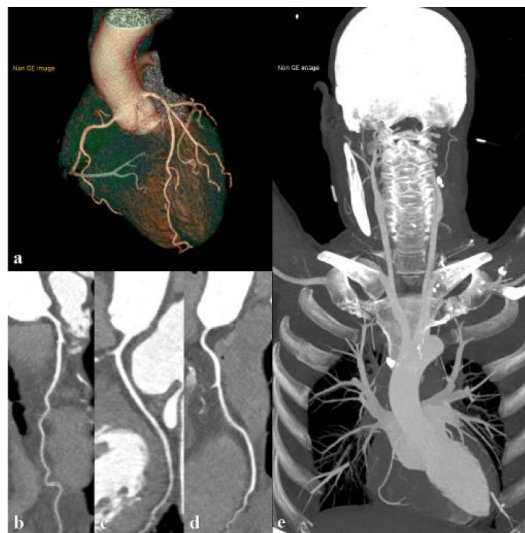


图1 典型病例展示

注:女性,59岁。体质量指数19.68 kg/m²(身高1.61m,体质量51kg)。采用大螺距螺旋扫描技术进行心脑血管CTA,管电压设置为70kVp,注射低浓度对比剂(320 mgI/mL)40 mL。辐射剂量仅为0.37 mSv。(a)显示整体冠状动脉容积再现;(b)~(d)分别显示前降支、回旋支与右冠脉曲面重建;(e)显示心脑血管最大密度投影,图像质量为4分

2.4 亚组分析

A组患者衰减与体重呈负相关($r = -0.360, P < 0.001$), 噪声值与体重呈负相关($r = -0.244, P < 0.023$), CNR与体重呈负相关($r = -0.078, P = 0.471$) (见图2); 衰减与BMI无相关($r = -0.376, P < 0.001$), 噪声值与BMI无相关($r = -0.196, P < 0.069$), CNR与BMI无相关($r = -0.003, P = 0.977$) (见图3)。

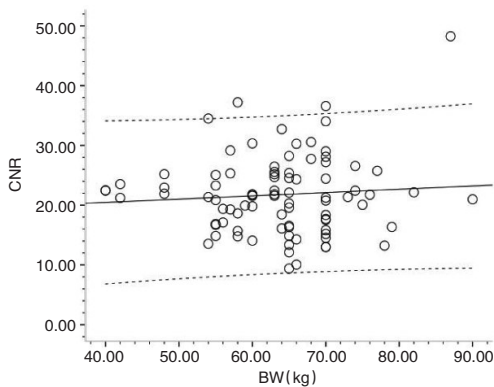


图2 CNR与体质量相关性散点图

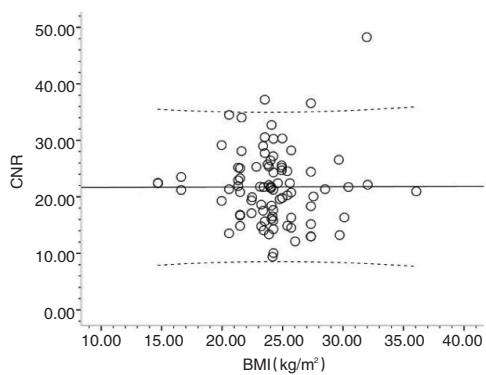


图3 CNR与体质量指数相关性散点图

3 讨论

大扫描范围CTA可以同时观察两个部位以上的动脉解剖学信息,实现了动脉粥样硬化的综合评价。然而大扫描范围CTA可导致辐射剂量与对比剂用量的显著增加,从而削弱检查安全性^[16]。因此,本研究充分利用双源CT扫描速度快、时间分辨率高的优点进行头颈-冠状动脉一站式成像,在保证诊断性图像质量的同时提高检查安全性,并且最重要的一点是,超低剂量技术完全可以应用于低心率下的真实群体,即心率是限制超低剂量技术的唯一条件。本研究显示,超低剂量心脑血管一站式大螺距CTA在不影响图像可评估率的前提下将心脑血管CTA的辐射剂量与碘负荷降低到极低的水平,与对照组相比,有效剂量降低58%,总碘含量降低42%,显著低于相似研究^[5-6]。

动脉粥样硬化是一种全身性、系统性疾病,累及全多处主要动脉,尤其是心脑血管,造成心脑血管不良事件的频繁发生,显著影响患者预后^[17]。但是,头颈-冠状动脉同时扫描存在技术局限性,并降低检查安全性。因此,CT设备的物理性能是决定技术可行性与适宜性的重要因素。第二代双源CT由于双

放射源-探测器系统特殊构造、极快的机架旋转速度和移床速度,具有执行大螺距螺旋扫描的物理特性,采集时间仅需要约700 ms^[4-6],这是减低辐射暴露与碘负荷的根本原因。然而,低浓度和低用量对比剂可导致时间密度曲线(TDC)下移^[18]。增加动脉强化效果有两种办法,增加对比剂容积可以使TDC上移和右移,高流速注射也可使TDC上移和左移^[18]。因此,相对于超低剂量CTCA,考虑到额外头颈动脉成像,试验组仅多给2 s注射时间以提高窗口弹性,并依据体重提高了注射流率与用量,较对照组常规12 s注射时间^[5-6]大幅减少。

冠状动脉运动具有一定规律性,表现在收缩末期与舒张中晚期存在冠状动脉相对运动静止期^[19]。在舒张中晚期,冠状动脉相对静止期随着心率的增加而不断缩短^[20]。因此,舒张中晚期成像需要控制心率以确保大螺距螺旋扫描存在足够的成像时间^[4,7-10]。本研究将心率作为唯一的限制条件是有原因的:一项研究通过小螺距螺旋扫描模拟了大螺距螺旋扫描收缩末期成像的状态,发现其可靠性较低^[21],这也与临床实践相符合^[22]。

亚组分析显示,患者体型指标如体重与体质量指数,对图像衰减与噪声值造成影响,但未影响CNR。这说明采用本研究体型依赖性技术流程可以维持图像质量的稳定性,降低生理参数对图像质量的影响。

本研究具有局限性:第一,样本量较低,这可能会降低统计效能;第二,超低剂量成像技术的诊断效能需要侵入性动脉造影验证。图像质量与诊断准确性、阳性预测值关联较高^[23],本研究已对图像质量可评估性进行了详细分析;另外,超低剂量技术真实性已经被一些研究^[8,10]所证实;第三,对于试验组或对照组检查失败的患者没有进行进一步的处理,主要是为了明确真实群体下的新技术应用特征。今后的研究将反映真实扫描流程,纳入并统计检查失败后重复扫描的患者。

总之,超低剂量头颈-冠状动脉一站式CTA可以提供可诊断的图像质量,并大幅减少辐射剂量和碘负荷,并不受限制应用于低心率真实患者中,具有临床适宜性^[24]。

参考文献

[1]Zhou M, Wang H, Zhu J, et al. Cause-specific mortality for 240 causes in China during 1990-2013: A systematic sub-national analysis for the Global Burden of Disease Study 2013[J]. Lancet, 2016, 387(10015): 251-272

- [2]Hamirani YS, Larijani V, Isma'eel H, et al. Association of plaque in the carotid and coronary arteries: using MDCT angiography[J]. *Atherosclerosis*, 2010, **211**(1): 141–145
- [3]Min JK, Edwardes M, Lin FY, et al. Relationship of coronary artery plaque composition to coronary artery stenosis severity: Results from the prospective multi center ACCURACY trial[J]. *Atherosclerosis*, 2011, **219**(2): 573–578
- [4]Lell M, Marwan M, Schepis T, et al. Prospectively ECG-triggered high-pitch spiral acquisition for coronary CT angiography using dual source CT: Technique and initial experience[J]. *European Radiology*, 2009, **19**(11): 2576–2583
- [5]Sun K, Li K, Han R, et al. Evaluation of high-pitch dual-source CT angiography for evaluation of coronary and carotid-cerebrovascular arteries[J]. *European Journal of Radiology*, 2015, **84**(3): 398–406
- [6]Wang Z, Chen Y, Wang Y, et al. Feasibility of low-dose contrast medium high pitch CT angiography for the combined evaluation of coronary, head and neck arteries[J]. *PLOS ONE*, 2014, **9**(6): e90268
- [7]Schuhbaeck A, Achenbach S, Layritz C, et al. Image quality of ultra-low radiation exposure coronary CT angiography with an effective dose <0.1 mSv using high-pitch spiral acquisition and raw data-based iterative reconstruction[J]. *European Radiology*, 2013, **23**(3): 597–606
- [8]Jia CF, Zhong J, Meng XY, et al. Image quality and diagnostic value of ultra low-voltage, ultra low-contrast coronary CT angiography[J]. *European Radiology*, 2019, **29**(7): 3678–3685
- [9]Zhao L, Liu A, Guo Y. Ultra-low-dose CT coronary angiography using 128-slice dual source CT with low concentration contrast-agent: initial experience[J]. *Japanese Journal of Radiology*, 2017, **35**(12): 724–32
- [10]Zhang LJ, Wang Y, Schoepf UJ, et al. Image quality, radiation dose, and diagnostic accuracy of prospectively ECG-triggered high-pitch coronary CT angiography at 70 kVp in a clinical setting: comparison with invasive coronary angiography[J]. *European Radiology*, 2016, **26**(3): 797–806
- [11]Zhao L, Bao J, Guo Y, Li J, et al. Ultra-low dose one-step CT angiography for coronary, carotid and cerebral arteries using 128-slice dual-source CT[J]. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 2019, **17**(5): 4167–4175
- [12]Kosmala A, Petritsch B, Weng AM, et al. Radiation dose of coronary CT angiography with a third-generation dual-source CT in a "real-world" patient population[J]. *European Radiology*, 2019, **29**(8): 4341–4348
- [13]Richards CE, Dorman S, John P, et al. Low-radiation and high image quality coronary computed tomography angiography in "real-world" unselected patients[J]. *World Journal of Radiology*. 2018, **10**(10): 135–142
- [14]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
- [15]Austen WG, Edwards JE, Frye RL, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. Report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association [J]. *Circulation*, 1975, **51**(S4): S5–S40
- [16]Tognolini A, Arellano CS, Marfori W, et al. Comprehensive low-dose imaging of carotid and coronary arteries with a single-injection dual-source CT angiography protocol[J]. *Clin Radiol*, 2014, **69**(3): 246–253
- [17]Hamirani YS, Larijani V, Isma'eel H, et al. Association of plaque in the carotid and coronary arteries: Using MDCT angiography[J]. *Atherosclerosis*, 2010, **211**(1): 141–145
- [18]Bae KT, Seeck BA, Hildebolt CF, et al. Contrast enhancement in cardiovascular MDCT: Effect of body weight, height, body surface area, body mass index, and obesity[J]. *American Journal of Roentgenology*, 2008, **190**(3): 777–784
- [19]Adler G, Meille L, Rohnean A, et al. Robustness of end-systolic reconstructions in coronary dual-source CT angiography for high heart rate patients[J]. *European Radiology*, 2010, **20**(5): 1118–1123.
- [20]Lu B, Mao SS, Zhuang N, et al. Coronary artery motion during the cardiac cycle and optimal ECG triggering for coronary artery imaging[J]. *Invest Radiology*, 2001, **36**(5): 250–256
- [21]Zhao L, Liu A, Guo Y. Quantification and limitation of CT coronary angiography using 128-slice dual-source CT at high heart rates: A simulation study[J]. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 2018, **8**(6): 1201–1206
- [22]Goetti R, Feuchtner G, Stolzmann P, et al. High-pitch dual-source CT coronary angiography: systolic data acquisition at high heart rates[J]. *European Radiology*, 2010, **20**(11): 2565–2571
- [23]Pontone G, Andreini D, Bartorelli AL, et al. Diagnostic accuracy of coronary computed tomography angiography: A comparison between prospective and retrospective electrocardiogram triggering[J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2009, **54**(4): 346–355
- [24]李亚涛, 谢生辉, 宋段. CTA对高血压患者颅内外斑块特征分析[J]. *内蒙古医科大学学报*, 2022, **44**(05): 483–485+490