doi:10.11659/jjssx.07E024159

·临床研究·

基于团注追踪技术的头颈部CTA图像强化质量的影响因素分析

付 军,唐文韬,佘 济,张德川 (重庆市中医院放射科,重庆 400021)

[摘 要] **目的** 探讨基于团注追踪技术获得的头颈部血管成像(CTA)图像强化质量的影响因素,为定量控制图像质量提供依据。**方法** 前瞻性收集2024年1—6月在我院行头颈部CTA检查的500例受检者的一般资料、注射参数、扫描参数以及图像强化质量分析数据。对受检者头颈部CTA图像强化质量进行综合评价,比较图像强化质量合格与不合格的受检者相关检查资料。采用多因素*Logistic*回归分析影响图像强化质量的独立因素。**结果** 500例头颈部CTA图像中,图像强化质量合格262例,不合格238例。图像强化质量合格与不合格受检者的性别、身高、体质量、管电压、扫描方向、触发阈值、诊断延迟时间、碘对比剂浓度、碘对比剂用量、碘对比剂流速比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。多因素*Logistic*分析显示:受检者为男性(95%*CI*:0.22~0.75,$P=0.004$)、体质量(95%*CI*:0.92~0.97,$P<0.01$)、头-足方向扫描(95%*CI*:0.03~0.43,$P=0.002$)、诊断延迟时间(95%*CI*:0.44~0.92,$P=0.017$)、碘对比剂用量(95%*CI*:1.21~1.34,$P<0.001$)、碘对比剂流速(95%*CI*:0.14~0.59,$P<0.001$)均为图像强化质量的独立影响因素;其中,碘对比剂用量($\beta=0.24$,*OR*=1.27)与图像强化质量呈正相关,受检者为男性($\beta=-0.89$,*OR*=0.41)、体质量($\beta=-0.06$,*OR*=0.94)、头-足方向扫描($\beta=-2.23$,*OR*=0.11)、诊断延迟时间($\beta=-0.45$,*OR*=0.64)、碘对比剂流速($\beta=-1.26$,*OR*=0.28)与图像强化质量呈负相关。**结论** 在头颈部CTA的团注追踪技术应用中,个体因素、扫描参数、注射方案是影响头颈部CTA图像强化质量阳性结果的关键控制要素。临床实践中,技师可通过整合人工智能辅助决策系统建立个性化扫描协议,实现精准、规范、个性化成像。

[关键词] 团注追踪技术;头颈部CTA;图像强化质量;多因素*Logistic*回归分析

[中图分类号] R687.3 [文献标志码] A [收稿日期] 2024-07-31

Analysis on factors affecting the enhancement quality of head and neck CTA images based on bolus-tracking technology

FU Jun, TANG Wen-tao, SHE Ji, ZHANG De-chuan (Department of Radiology, Chongqing Traditional Chinese Medicine Hospital, Chongqing 400021, China)

Abstract: Objective To explore the factors affecting the enhancement quality of head and neck computed tomography angiography (CTA) images based on bolus-tracking technology, and provide a basis for quantitatively controlling image quality. **Methods** The general

[基金项目] 重庆市卫生健康委项目(2024WSJK);重庆科卫联合医学科研重点项目(2024ZDXM001)

[通信作者] 张德川,E-mail:cqggzdc@163.com

[11] Kawaguchi M, Sakamoto T, Inoue S, et al. Low dose propofol as a supplement to ketamine-based anesthesia during intraoperative monitoring of motor-evoked potentials[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2000,25(8):974-979. doi:10.1097/00007632-200004150-00013.

[12] Frei FJ, Ryhult SE, Duitmann E, et al. Intraoperative monitoring of motor-evoked potentials in children undergoing spinal surgery[J]. Spine, 2007, 32(8): 911-917. doi: 10.1097/01.brs.0000259836.84151.75.

[13] Wesolowski AM, Zaccagnino MP, Malapero RJ, et al. Remimazolam: pharmacologic considerations and clinical role in anesthesiology[J]. Pharmacotherapy, 2016, 36(9): 1021-1027. doi: 10.1002/phar.1806.

[14] 郭 淼,王茂华,张建友,等. 瑞马唑仑复合瑞芬太尼用于无痛胃镜检查术的效果[J]. 中华麻醉学杂志,2021,41(5):576-579. doi:10.3760/cma.j.cn131073.20210203.00516.

[15] Ichikawa T, Okuyama K, Kamata K, et al. Suspected propofol infusion syndrome during normal targeted propofol concentration[J]. J Anesth, 2020,34(4):619-623. doi:10.1007/s00540-020-02773-z.

[16] Kondo T, Toyota Y, Narasaki S, et al. Intraoperative responses of motor evoked potentials to the novel intravenous anesthetic remimazolam during spine surgery: a report of two cases[J]. A Clin Rep,2020,6(1):97. doi:10.1186/s40981-020-00401-z.

[17] 赵颖颖,李 锋. 瑞马唑仑与丙泊酚用于无痛胃肠镜检查临床比较[J]. 国际麻醉学与复苏杂志,2021,42(9):924-927. doi:10.3760/cma.j.cn321761-20210407-00367.

[18] Jiang X, Tang X, Liu S, et al. Effects of dexmedetomidine on evoked potentials in spinal surgery under combined intravenous inhalation anesthesia: a randomized controlled trial[J]. BMC Anesthesiol,2023,23(1):36. doi:10.1186/s12871-023-01990-9.

[19] Pastis NJ, Yarmus LB, Schippers F, et al. Safety and efficacy of remimazolam compared with placebo and midazolam for moderate sedation during bronchoscopy[J]. Chest, 2019, 155(1): 137-146. doi:10.1016/j.chest.2018.09.015.

(编辑:贺绍梅)

information, injection parameters, scanning parameters and analysis data of enhancement quality of images of 500 subjects who underwent head and neck CTA examinations in our hospital from January to June 2024 were prospectively collected. A comprehensive evaluation of enhancement quality of head and neck CTA images of the examinees was conducted, and the relevant examination data of the examinees with qualified and unqualified enhancement quality of images were compared. Multivariate *Logistic* regression analysis was used to analyze the independent factors influencing the enhancement quality of image. **Results** Among 500 CTA images of head and neck, 262 cases had qualified enhancement quality of images and 238 cases were unqualified. There were statistically significant differences in gender, height, body weight, tube voltage, scanning direction, trigger threshold, diagnostic delay time, iodine contrast agent concentration, iodine contrast agent dosage, and iodine contrast agent flow rate between the examinees with qualified and unqualified enhancement quality of images ($P<0.05$). Multivariate *Logistic* analysis showed that the examinees were male (95%*CI*: 0.22 to 0.75, $P=0.004$), body weight (95%*CI*: 0.92 to 0.97, $P<0.01$), and head-foot direction scanning (95%*CI*: 0.03 to 0.43, $P=0.002$), diagnostic delay time (95%*CI*: 0.44 to 0.92, $P=0.017$), iodine contrast agent dosage (95%*CI*: 1.21 to 1.34, $P<0.001$), iodine contrast agent flow rate (95%*CI*: 0.14 to 0.59, $P<0.001$) were all the independent influencing factors of enhancement quality of image; Among them, the iodine contrast agent dosage ($\beta=0.24$, *OR*=1.27) was positively correlated with the enhancement quality of image, the examinees were male ($\beta=-0.89$, *OR*=0.41), body weight ($\beta=-0.06$, *OR*=0.94), head-foot direction scanning ($\beta=-2.23$, *OR*=0.11), diagnostic delay time ($\beta=-0.45$, *OR*=0.64), and iodine contrast agent flow rate ($\beta=-1.26$, *OR*=0.28) were negatively correlated with the enhancement quality of image. **Conclusion** In the application of bolus-tracking technology for head and neck CTA, individual factors, scanning parameters, and injection regimens are the key control elements that affect the positive results of enhancement quality of head and neck CTA images. In clinical practice, technicians can establish personalized scanning protocols by integrating artificial intelligence-assisted decision-making systems to achieve precise, standardized and personalized imaging.

Keywords: bolus-tracking technology; head and neck CTA; enhancement quality of image; multivariate *Logistic* regression

脑血管疾病是发生在老年群体中较为常见的疾病，由于其发病率、致残率和致死率高，若治疗不及时，不仅严重威胁患者生命，还会给家庭和社会造成极大负担[1-2]。头颈部血管成像（computed tomography angiography，CTA）是一种非侵入性的常规影像检查技术，可获得详细、准确的血管疾病信息，有助于检测和诊断头颈部血管疾病，如动脉瘤、狭窄和梗塞等[3-5]。虽然碘对比剂团注追踪技术作为头颈部CTA检查的推荐扫描方案，但在实际临床工作中，影响图像强化质量的问题仍比较突出[3,6]。为了深入探究影响图像强化质量的影响因素及各因素之间的相互制约关系，本研究拟基于团注追踪技术，探讨头颈部CTA图像强化质量与受检者个体因素、扫描参数、对比剂注射参数之间的相关性，为头颈部CTA成像技术实现精准化、个性化、标准化方案提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料

前瞻性收集2024年1—6月于重庆市中医院就诊并行头颈部CTA检查的500例受检者的一般资料和影像检查数据。纳入标准：①年龄≥18周岁；②使用团注追踪技术的头颈CTA；③受检者或家属均签署碘对比剂增强使用同意书；④能配合完成检查。排除标准：①临床资料不完整；②碘对比剂注射后有严重不良反应；③图像存在严重运动伪影，不能用于诊断；④头颈部CTA联合其他部位增强或CTA检查。

1.2 注射和扫描方案

采用GE Revolution 256排螺旋CT联合Urich双筒高压注射系统，根据患者情况设置扫描和碘对比剂注射参数。受检者取仰卧位，听眦线垂直于床面，两外耳孔与检查床面等距，固定头部并置于扫描野的中心。嘱受检者保持头部不动，平静呼吸且不做吞咽动作。采用团注追踪技术，主要参数：管电压100~120 kV、管电流200~300 mA、探测器宽度80 mm、螺距0.992∶1、旋转时间0.5 s、FOV 200~250 mm、层厚0.625 mm、重建矩阵512×512，监测主动脉弓，诊断延迟时间设置为自动最短，预置触发阈值为200 Hu，自动触发扫描。扫描后数据传至GE AW4.7工作站。

1.3 图像质量评价标准

参照国内相关学者研究制定图像强化质量综合评价细则[3,7-9]，见表1。由放射科2位经验丰富的神经影像组放射诊断主治医师在图像存储与传输系统（picture archiving and communication systems，PACS）工作站上对所有符合标准的图像进行阅片，3~5分为合格，1~2分为不合格，意见不一致时由2位医师协商达成共识，阅片遵循双盲法原则。

1.4 统计学方法

所有统计分析均使用R4.3.0软件。连续变量组间比较采用t检验，分类变量采用χ^2检验，符合正态分布的计量资料用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示，分类变量用率

表1 图像强化质量评价细则

客观评价指标	主观评价指标	评分
颈动脉横断层面CT值为300~350 Hu,颅内动脉横断层面CT值大于200 Hu,扫描区域内静脉的横断层面CT值小于150 Hu	头颈部血管结构显示清晰,细节明确,病灶清晰,图像无伪影干扰,能快速进行评估	5分
颈动脉横断层面CT值大于350 Hu,颅内动脉横断层面CT值大于200 Hu,扫描区域内静脉的横断层面CT值大于150 Hu	头颈部血管基本结构、解剖细节及病灶显示,但清晰程度略低,颅内静脉及右锁骨下静脉高浓度对比剂对Willis环和头臂干显影未产生干扰,能够诊断	4分
颈动脉横断层面CT值大于350 Hu,颅内动脉横断层面CT值大于200 Hu,肺动脉层面CT值大于150 Hu	头颈部大血管的解剖结构可满足临床诊断要求,但颅内小血管分支显示不清;右锁骨下静脉残留高浓度碘对比剂对头颈部产生影响小	3分
颈动脉横断层面CT值不在200~300 Hu范围内,颅内动脉横断层面CT值小于200 Hu,颅内静脉横断层面CT值小于150 Hu,锁骨下动脉及肺动脉层面CT值大于150 Hu	头颈部血管结构及血管分支显示不清,难以发现病灶,右锁骨下静脉高浓度碘对比剂对头臂干产生严重影响,不能用于诊断	2分
颈动脉横断层面CT值小于200 Hu,颅内动脉横断层面CT值小于100 Hu,扫描区域内静脉的横断层面CT值小于150 Hu	头颈部血管解剖结构显示模糊不清,不能用于诊断	1分

(%)表示,将P<0.05的相关性因素进行多因素*Logistic*回归分析,P<0.05表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 受检者群体组间差异分析

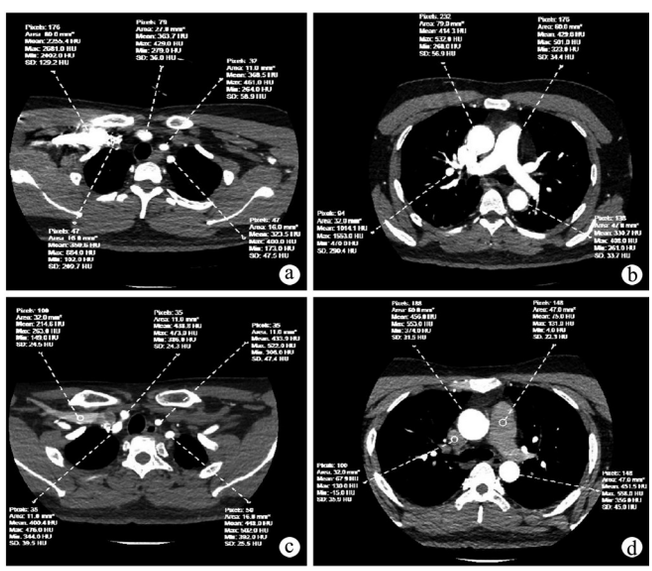
在纳入的500例行头颈部CTA检查的受检者中,图像强化质量合格262例,不合格238例。图像强化质量合格与不合格受检者的性别、身高、体质量、管电压、扫描方向、触发阈值、诊断延迟时间、碘对比剂浓度、碘对比剂用量、碘对比剂流速比较,差异有统计学意义(P<0.05),见表2。

表2 受检者一般资料及检查相关资料

变量		合格(n=262)	不合格(n=238)	t/χ^2	P
年龄(岁)		64.00±11.53	65.28±11.47	−1.24	0.214
性别[例(%)]	女	100(38.17)	129(54.20)	12.92	<0.001
	男	162(61.83)	109(45.80)		
身高(cm)		161.88±8.14	159.87±7.51	2.86	0.004
体质量(kg)		63.79±10.97	61.83±11.23	1.98	0.048
BMI(kg/m^2)		24.27±3.35	24.07±3.27	0.70	0.483
管电压[例(%)]	100 kV	49(18.70)	14(5.88)	18.61	<0.001
	120 kV	213(81.30)	224(94.12)		
扫描方向[例(%)]	足-头	245(93.51)	168(70.59)	45.60	<0.001
	头-足	17(6.49)	70(29.41)		
触发阈值(Hu)		216.83±45.32	200.01±45.92	4.12	<0.001
诊断延迟时间(s)		2.35±1.10	2.91±1.18	−5.39	<0.001
扫描时间(s)		2.56±0.65	2.64±1.17	−0.95	0.345
上肢静脉通道[例(%)]	右侧	246(95.35)	232(95.87)	0.08	0.777
	左侧	12(4.65)	10(4.13)		
碘对比剂浓度[例(%)]	320 mgI/mL	14(5.34)	4(1.68)	16.52	<0.001
	350 mgI/mL	21(8.02)	6(2.52)		
	370 mgI/mL	13(4.96)	5(2.10)		
	400 mgI/mL	214(81.68)	223(93.70)		
碘对比剂用量(mL)		42.47±10.23	55.93±12.85	−12.88	<0.001
碘对比剂流速(mL/s)		4.03±0.61	4.18±0.43	−3.23	0.001
冲刷盐水用量(mL)		44.25±5.89	44.39±6.36	−0.25	0.800
冲刷盐水流速(mL/s)		4.18±0.50	4.22±0.42	−1.06	0.289

2.2 头颈部CTA图像强化质量客观评价

颈动脉横断层面CT值在350 Hu以上,扫描区域内锁骨下静脉、上腔静脉和肺动脉的横断层面CT值不超过150 Hu或不影响动脉血管清晰显示,被认为图像强化质量合格;扫描区域内右锁骨下静脉、上腔静脉和肺动脉强化均远高于150 Hu,右侧椎动脉开口严重受到锁骨下静脉高浓度碘对比剂硬束化伪影干扰,被认为图像强化质量不合格,见图1。



a、b:同一受检者的椎动脉开口层面和肺动脉层面的图像,强化质量不合格;c、d:另一位受检者的椎动脉开口层面和肺动脉层面的图像,强化质量合格

图1 图像强化质量客观评价

2.3 多因素*Logistic*回归分析

为了明确图像强化质量的独立影响因素,剔除混杂因素,将上述因素进行逐步双向多因素*Logistic*回归分析,结果显示受检者为男性、体质量、头-足方向扫描、诊断延迟时间、碘对比剂用量、碘对比剂流速均为图像强化质量的独立影响因素(P<0.05)。其中碘对比剂用量与图像强化质量呈正相关(β>0,OR>1.00),受检者为男性、体质量、头-足方向扫描、诊断延迟时间、碘对比剂流速与图像强化质量呈负相关(β<0,OR<1.00),触发阈值与图像强化质量阳性结果发生与否未见相关性(β=0,OR=1.00),见表3。

表3 逐步双向多因素*Logistic*回归分析结果

变量		*β*	*S.E*	*Z*	*P*	*OR (95%CI)*
性别	女					1.00(Reference)
	男	−0.89	0.31	−2.87	0.004	0.41(0.22~0.75)
身高		−0.01	0.02	−0.54	0.590	0.99(0.94~1.03)
体质量		−0.06	0.02	−3.53	<0.001	0.94(0.92~0.97)
管电压	100 kV					1.00(Reference)
	120 kV	−0.64	0.43	−1.50	0.133	0.52(0.23~1.22)
扫描方向	足-头					1.00(Reference)
	头-足	−2.23	0.71	−3.14	0.002	0.11(0.03~0.43)
触发阈值		0	0	−1.45	0.146	1.00(0.99~1.00)
诊断延迟时间		−0.45	0.19	−2.39	0.017	0.64(0.44~0.92)
碘对比剂	320 mgI/mL					1.00(Reference)
浓度	350 mgI/mL	−0.98	0.86	−1.14	0.253	0.37(0.07~2.02)
	370 mgI/mL	−0.46	0.93	−0.49	0.624	0.63(0.10~3.92)
	400 mgI/mL	−0.21	0.70	−0.30	0.768	0.81(0.21~3.21)
碘对比剂用量		0.24	0.03	9.20	<0.001	1.27(1.21~ 1.34)
碘对比剂流速		−1.26	0.37	−3.40	<0.001	0.28(0.14~0.59)

3 讨论

头颈部CTA是脑血管疾病首选且无创的影像学检查方法，深受临床肯定[10-12]。如何获得优质的头颈部CTA图像一直是临床研究的热点[8-9]，但检查方案由于受受检者个体因素、对比剂注射参数以及扫描参数等多种因素的影响，在研究和实际工作中往往难以面面俱到。曹希明等[13]报道不合理的注射方案和扫描方案可能会导致头颈部血管强化过高或过低，影响血管狭窄判读或掩盖病变显示，同时，过多的使用碘对比剂会增加受检者肾脏排泄负荷[14]。因此，分析图像强化质量的影响因素，有助于操作技师在扫描前制定并优化检查策略，从而获得优质的图像强化质量，推动该检查的规范化、精准化和同质化。

本研究是基于团注追踪技术，探讨个体因素、扫描参数和对比剂注射参数对图像强化质量的影响，结果显示，男性、体质量、头-足方向扫描、诊断延迟时间、碘对比剂用量、碘对比剂流速均为图像强化质量的独立影响因素。受检者的个体因素中性别和体质量是影响图像强化质量阳性结果的保护性因素，分析认为，首先，男性受检者阳性结果发生率较女性降低，这一现象可归因于体格解剖学差异与循环系统差异[15]。其次，体质量对图像质量的影响，回归分析显示，体质量每增加1 kg，阳性结果风险下降6%，其机制涉及流体容积效应和分布动力学改变。因此，对于体质量大的受检者，须谨慎预置注射和扫描参数[16]。本研究中，碘对比剂用量为图像强化质量阳性结果的危险性因素，而流速为其保护性因素。研究显示，碘对比剂用量每增加1 mL，阳性结果发生率将增加27%，而流速每增加一个单位，阳性结果发生风险将减少72%，二者通过注射持续时间（对比剂用量与流速比值）实现协同作用，该项参数直接影响首次流经目标血管时的峰值碘浓度[17]，这一发现为个性化参数设置提供了理论依据。从血流动力学角度，适度提升注射速率可带来双重效应：一方面通过缩短时间窗口（72%风险下降）降低锁骨下静脉伪影干扰；另一方面增强单位时间的造影剂传递效率，使目标血管的强化值更符合诊断需求[18]，然而临床应用中需警惕剂量-流速的平衡问题：对比剂总量每增加100 mL，估算肾小球滤过率下降风险增加[19]；同时，当流速超过5mL/s时，外周血管渗漏率将呈现指数级增长[20-21]。最后，本研究发现，扫描参数中的扫描方向和诊断延迟时间均为影响图像强化质量阳性结果的保护性因素。其中，有研究认为足-头方向（顺血流方向）扫描的阳性结果发生率为头-足方向（逆血流方向）的0.11倍。而梁卡丽等[22]研究认为头-足向（逆血流方向）扫描可以减少注射侧锁骨下静脉伪影及双侧颈内静脉、颅内静脉显影干扰，提高头颈部CTA影像质量，与上述研究结果不一致，但是该研究影响因素单一，没有考虑其他影响因素及关系，比如受检者个体差异、碘对比剂注射参数变化、扫描参数因素改变等。值得注意的是，诊断延迟时间每增加一个单位，阳性结果发生率下降36%，因为在相同的阈值触发条件下，启动扫描时间过早（<8 s延迟），会导致碘对比剂剂量未推注完成或大量碘对比剂残留在锁骨下静脉而产生硬束伪影影响动脉分支开口显示[23-24]，同时颅内血管强化效果也没有达到诊断要求。因此，在触发阈值确定时，合适的诊断延迟时机仍需深入研究。同时，本研究结果还显示，使用设备预置触发阈值波动对图像强化阳性结果的发生无显著影响。

然而本研究存在一定局限性：①为单中心研究，研究结果可能存在偏倚，未来将进一步扩大样本量进行多中心随机对照研究；②扫描设备为单一设备，可能存在一定误差；③本组数据中，老年居多，可能存在年龄选择偏差。

综上所述，在头颈部CTA的团注追踪技术应用中，个体因素（性别、体质量）、扫描参数（扫描方向、诊断延迟时间）、注射方案（对比剂用量、流速）是影响头颈部CTA图像强化质量阳性结果的关键控制要素。临床实践中，技师通过整合人工智能辅助决策系统建立个性化扫描协议，实现精准、规范、个性化成像。

［参考文献］

[1] Zhang L, Lu H, Yang C. Global, regional, and national burden of stroke from 1990 to 2019: a temporal trend analysis based on the Global Burden of Disease Study 2019[J]. Int J Stroke, 2024, 19(6): 686-694. doi: 10.1177/17474930241246955.

[2] 国家卫生健康委员会脑卒中防治工程委员会神经影像专业委员会，中华医学会放射学分会神经学组. 脑血管病影像规范化应用中国指南[J]. 中华放射学杂志，2019，53(11)：916-940. doi：10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.11.002.

[3] 中华医学会放射学分会. 头颈部CT血管成像扫描方案与注射方案专家共识[J]. 中华放射学杂志，2019，53(2)：81-87. doi：10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.02.001.

[4] 周 舟，王道清. 颈动脉狭窄及斑块性质对缺血性脑血管病的影响[J]. 实用放射学杂志，2015(10)：1737-1739. doi：10.3969/j.issn.1002-1671.2015.10.046.

[5] 陆凤明，姜亦伦，黄文磊，等. 多时相CTA联合CT灌注成像对短暂性脑缺血发作患者进展为ACI的预测价值分析[J]. 影像科学与光化学，2025，43(3)：25-33. doi：10.7517/issn.1674-0475.2025.03.04.

[6] 鲜军舫，陈 敏，洪 楠，等. 大力推进规范化精准影像检查、质控和管理体系建设与实施[J]. 中华放射学杂志，2022，56(7)：723-726. doi：10.3760/cma.j.cn112149-20220509-00419.

[7] 姚开情，吕发金，李剑秋，等. 脑血管腔内碘对比剂浓度对脑血管CT血管成像图像质量的影响[J]. 中国医学影像学杂志，2012(8)：569-572. doi：10.3969/j.issn.1005-5185.2012.08.003.

[8] 赖宇林，郭建雄，温晓琴，等. 以目标血管对比剂峰值浓度和持续时间计算的低剂量对比剂在头颈部CTA中的应用[J]. 医学影像学杂志，2018，28(5)：718-720.

[9] 温孟皇，郑君惠，叶维韬，等. 头颈动脉CT血管成像脑动脉强化的相关体质因素[J]. 中国医学影像学杂志，2019，27(2)：135-138. doi：10.3969/j.issn.1005-5185.2019.02.013.

[10] 吕恩振，杜彦涛，陈圆圆，等. 头颈部CTA检查对比DSA检查在缺血性脑血管病中的诊断价值探讨[J]. 影像研究与医学应用，2022，6(14)：89-91. doi：10.3969/j.issn.2096-3807.2022.14.031.

[11] 徐清珍，吉 征，李世宇. 64排螺旋CT头颈联合CTA扫描技术的临床应用[J]. 影像技术，2024，36(6)：13-17. doi：10.3969/j.issn.1001-0270.2024.06.003.

[12] 郭宏宇，孙存可，韩招娣. CT血管成像技术对脑出血的早期诊断价值分析[J]. 影像技术，2024，36(5)：51-55. doi：10.3969/j.issn.1001-0270.2024.05.010.

[13] 曹希明，郑君惠，巫梓斌，等. 低剂量对比剂在256层CT头颈血管成像中的应用[J]. 中国医学影像学杂志，2017，25(2)：101-104. doi：10.3969/j.issn.1005-5185.2017.02.006.

[14] 汪劭川，曾一红，孙政文，等. 双低剂量肺动脉血管造影（CTPA）成像技术在诊断肺动脉栓塞的可行性研究[J]. 中国CT和MRI杂志，2024，22(1)：68-70. doi：10.3969/j.issn.1672-5131.2024.01.022.

[15] Akiyama N, Nakamura Y. Optimization of contrast injection protocol for coronary CTA: adjustment of injection iodine volume on test bolus parameters and patients' sex and BSA[J]. Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi, 2009, 65(8): 1073-1080. doi: 10.6009/jjrt.65.1073.

[16] 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. doi：10.15953/j.1004-4140.2021.30.06.08.

[17] Tatsugami F, Kanamoto T, Nakai G, et al. Reduction of the total injection volume of contrast material with a short injection duration in 64-detector row CT coronary angiography[J]. Br J Radiol, 2010, 83(985): 35-39. doi: 10.1259/bjr/23203690.

[18] Yuan D, Li L, Zhang Y, et al. Image quality improvement in head and neck CT angiography: Individualized post-trigger delay versus fixed delay[J]. Eur J Radiol, 2023, 168: 111142. doi: 10.1016/j.ejrad.2023.111142.

[19] Gutjahr R, Fletcher JG, Lee YS, et al. Individualized delay for abdominal computed tomography angiography bolus-tracking based on sequential monitoring: increased aortic contrast permits decreased injection rate and lower iodine dose[J]. J Comput Assist Tomogr, 2019, 43(4): 612-618. doi: 10.1097/RCT.0000000000000874.

[20] 欧建宏，伍学斌，钟丽珍. 64排螺旋CT低剂量对比剂扫描技术在头颈部CTA应用的效果探究[J]. 影像研究与医学应用，2021，5(2)：134-135. doi：10.3969/j.issn.2096-3807.2021.02.065.

[21] 蔡敏华，崔毛毛，叶俊杰. 低浓度对比剂对头颈部CTA受检者受辐射剂量、对比剂肾损伤发生率的影响[J]. 中国CT和MRI杂志，2024，22(2)：52-54. doi：10.3969/j.issn.1672-5131.2024.02.016.

[22] 梁卡丽，杨 琴. 不同扫描方向在头颈部联合CT血管造影中的应用[J]. 浙江临床医学，2022，24(9)：1383-1384.

[23] 梁 慧. 600例头颈CTA主动脉达峰时间分析[J]. 影像研究与医学应用，2018，2(21)：16-18. doi：10.3969/j.issn.2096-3807.2018.21.009.

[24] 刘建新，崔 晨，高福生，等. 三次团注法行头颈部CT血管成像扫描方案的初步研究[J]. 中华放射学杂志，2012，46(12)：1138-1140. doi：10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2012.12.018.

（编辑：杨 颖）