

冠状动脉容积再现成像中人工重建与人工智能重建的比较研究

严慧¹, 包亚红², 盛国华¹, 黄凯荣¹, 李勇¹, 耿海华³

1.南通市海门区人民医院心内科, 江苏 南通 226100; 2.南通市海门区人民医院CT室, 江苏 南通 226100; 3.南通大学附属医院心内科, 江苏 南通 226001

【摘要】目的:对冠状动脉容积再现成像中人工重建与人工智能重建进行比较研究。**方法:**选取110例冠心病(CHD)患者作为研究对象,全部患者均行CT造影检查,并在冠状动脉容积再现成像中分别采取人工重建(人工组)和人工智能重建(智能组)。比较两组的容积再现(VR)、曲面重组(CPR)图像质量、动脉血管狭窄诊断符合率、血管重建评分。**结果:**人工组的VR图像质量评估优秀率为80.00%,智能组的VR质量评估优秀率为90.91%,智能组VR图像质量显著优于人工组;智能组CPR图像质量评分显著高于人工组($P<0.05$);两组动脉血管(RCA、LAD、LCX)无狭窄、轻微狭窄、中度狭窄和血管闭塞的诊断符合率比较,差异不显著($P>0.05$);轻度狭窄和重度狭窄等诊断符合率比较,差异显著($P<0.05$)。与人工组相比,智能组的总评分平均值、3大主支+后降支+中间支+对角支+钝缘支中位数值、其余血管分支中位数值均显著升高($P<0.05$)。**结论:**与人工重建相比,人工智能重建在冠状动脉容积再现成像中具有更高应用价值。

【关键词】冠状动脉容积;再现成像;人工重建;人工智能重建

【中图分类号】R318;R816.2

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)05-0657-04

Comparison of artificial reconstruction and reconstruction using artificial intelligence in coronary artery volume rendering

YAN Hui¹, BAO Yahong², SHENG Guohua¹, HUANG Kairong¹, LI Yong¹, GENG Haihua³

1. Department of Cardiology, Nantong Haimen People's Hospital, Nantong 226100, China; 2. CT Room, Nantong Haimen People's Hospital, Nantong 226100, China; 3. Department of Cardiology, Affiliated Hospital of Nantong University, Nantong 226001, China

Abstract: Objective To explore artificial reconstruction vs artificial intelligence reconstruction in coronary artery volume rendering (VR). **Methods** A total of 110 coronary heart disease (CHD) patients were enrolled in the study, and underwent computed tomography arteriography. Artificial reconstruction (artificial group) and artificial intelligence reconstruction (intelligent group) were conducted in coronary artery VR. The image quality of VR and curved planar reconstruction (CPR), the diagnosis coincidence rate of arterial stenosis, and vascular reconstruction score were compared between two groups. **Results** The VR image quality of intelligent group was significantly higher than that of artificial group, with excellence rate of 90.91% vs 80.00%; and intelligent group scored higher than artificial group in CPR image quality ($P<0.05$). The differences in the diagnostic coincidence rates of arterial vessels (RCA, LAD, LCX) with no stenosis, slight stenosis, moderate stenosis, and vascular occlusion between two groups were trivial ($P>0.05$), while the two groups differed significantly in the diagnosis coincidence rates of mild stenosis and severe stenosis ($P<0.05$). The mean total score, the median value of the 3 main branches + posterior descending branch + intermediate branch + diagonal branch + blunt margin branch, and the median value of the other vascular branches were all significantly increased in intelligent group as compared with artificial group ($P<0.05$). **Conclusion** Artificial intelligence reconstruction has higher application value than artificial reconstruction in coronary artery VR.

Keywords: coronary artery volume; rendering; artificial reconstruction; artificial intelligence reconstruction

【收稿日期】2023-10-15

【基金项目】江苏省自然科学基金(BK20140249)

【作者简介】严慧,在职硕士,主治医师,研究方向:高血压、冠心病, E-mail: yan430625@sina.com

【通信作者】耿海华,博士,主任医师,研究方向:心血管疾病的临床诊治, E-mail: huahua121829@sina.com

前言

冠心病(Coronary Heart Disease, CHD)是指由于冠状动脉血管内发生动脉管壁硬化或斑块病变而引发血管腔内狭窄甚至阻塞,从而导致病变血管供血区局部心肌缺血、缺氧的一类心脏疾病。早期诊断

对CHD患者的临床治疗有着重要作用^[1]。现阶段,冠状动脉CT造影(Computed Tomography Arteriography, CTA)已成为临床CHD患者的优选无创诊断方法^[2]。相关报道指出,容积扫描为CHD患者接受CTA检查期间的优选扫描模式^[3]。CTA采集数据大,后期处理操作复杂,需耗费大量时间和精力进行人工重建和判读,从而极大降低了临床医师的工作效率。伴随医学人工智能影像技术的不断发展,基于深度学习的神经网络及数字原始图像识别等先进技术被逐步应用于CTA检查中,从而为影像科医师的临床诊断工作提供了极大便利^[4-5]。基于此,本研究旨在对比人工重建与人工智能重建在CHD患者临床CTA检查图像后处理中的应用价值。

1 材料与方法

1.1 一般资料

选取南通市海门区人民医院心内科于2019年9月~2023年5月收治的110例CHD患者作为研究对象。其中,男性56例,女性54例;年龄为27~78岁,平均 (59.96 ± 7.21) 岁;体质量指数(BMI)为 $21.17 \sim 29.98 \text{ kg/m}^2$,平均 $(21.36 \pm 2.98) \text{ kg/m}^2$ 。纳入标准:(1)临床资料完整;(2)满足CTA检查标准,无检查禁忌证;(3)对碘造影剂不过敏;(4)无精神、认知障碍。排除标准:(1)临床资料欠缺;(2)不能接受CTA检查;(3)合并心、肾、肺等严重器质性病变;(4)在精神、认知方面存在障碍。本研究已获得医院伦理委员会批准,所有受试者均提前知情并签署同意书。

1.2 方法

1.2.1 CTA检查 全部患者采用西门子FORCE双源机进行检查。检查开始前,详细告知其检查流程及注意事项并进行说明。正式开始检查时,取患者仰卧位,连接电极后,对其采取性腺防护处理,指导患者开展呼吸训练,双足先进。扫描范围:自气管隆突下1 cm至心脏膈面下。若患者对硝酸甘油无扫描禁忌,则先含服硝酸甘油(0.5 mg)再进行扫描。扫描参数设定:管电压120 kVp,管电流采用智能毫安管电流调控技术进行调节。重建图像层厚0.75 mm,层间距0.5 mm,球管旋转时间0.275 s/圈。先应用碘对比剂开展增强扫描,经肘正中静脉注射70 mL(速率:5.0 mL/s),后以同样速率注射生理盐水(40 mL)。

1.2.2 图像重建 人工重建(人工组):将原始数据输入西门子工作站,主要由影像科医师通过“Syngo.via”开展容积再现(VR)、曲面重组(CPR)等后处理工作。人工智能重建(智能组):将原始数据输入数坤人工智能血管处理服务器,将自动重建血管VR图

像、斑块及狭窄程度分析,无需进行任何人工操作。采用“双盲法”法,所采集图像质量由2名经验丰富的影像科医师共同开展评估,若产生不同意见,再邀请1名医师共同商讨后得出一致结论。

1.3 观察指标

(1)VR图像质量评价:若图像清晰显示,不受静脉血管影响,冠状动脉各主干及分支血管走行连续,不受干扰,则判定为“优秀”;若图像合格,但不满足以上任何一项标准,则判定为“良好”;若冠状动脉血管缺如或主干血管识别错误,则判定为“较差”。(2)CPR图像质量评分:采用Likert评分法对两组患者右冠状动脉(RCA)、左前降支(LAD)、左旋支(LCX)的CPR图像质量进行评估。根据图像清晰度、图像噪声等进行判定,评分区间1~4分,评分越高,代表图像质量越好;(3)动脉血管狭窄诊断符合率:以人工动脉血管狭窄诊断结果为“金标准”,对该指标的智能诊断结果进行评价。根据AD-RADS分类标准对两组患者RCA、LAD、LCX进行评估,共分为6级:无狭窄(0级)、轻微狭窄(1级)、轻度狭窄(2级)、中度狭窄(3级)、重度狭窄(4级)及血管闭塞(5级);(4)重建血管评分:根据血管数量、血管长度,对两组患者的重建血管分别进行评分。其中3大主支(RCA、LAD、LCX)每支分值为10分,其余血管分支(对角支、右室前支、室间隔支等)各计为5分,从而计算出血管总分。最终评分=(各支血管得分/血管总分) $\times 100\%$ 。

1.4 统计学分析

数据统计通过SPSS 25.0进行处理。计数资料用 $[n(\%)]$ 表示,采用 χ^2 检验。计量资料若满足正态分布,用均数 \pm 标准差表示,行 t 检验。 $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组VR图像质量评估

人工组VR图像质量评估的优秀率为80.00%,智能组VR质量评估的优秀率为90.91%,智能组VR图像质量显著优于人工组($P < 0.05$),见表1。

表1 两组VR图像质量评估对比 $[n=110, \text{例}(\%)]$

Table 1 Comparison of VR image quality assessment between two groups $[n=110, \text{cases}(\%)]$

图像质量评估	人工组	智能组	χ^2 值	P 值
优秀	88(80.00)	100(90.91)	3.014	0.012
良好	16(14.55)	8(7.27)	2.986	0.017
差	6(5.45)	2(1.82)	0.173	0.028

2.2 两组CPR图像质量评分

两组CPR图像质量评分比较,智能组显著高于人工组($P<0.05$),见表2。

表2 两组CPR图像质量评分比较($n=110, \bar{x}\pm s$)
Table 2 Comparison of CPR image quality scores between two groups ($n=110, Mean\pm SD$)

项目	人工组	智能组	t 值	P 值
RCA	3.69±0.48	3.79±0.43	1.93	0.046
LAD	3.68±0.49	3.75±0.48	1.91	0.017
LCX	3.75±0.48	3.82±0.49	1.76	0.043

2.3 动脉血管狭窄诊断符合率

无狭窄、轻微狭窄、中度狭窄和血管闭塞诊断符合率比较,差异不显著($P>0.05$)。轻度狭窄和重度狭窄等诊断符合率比较,差异具有显著性($P<0.05$)。见表3。

表3 动脉血管狭窄诊断符合率[例(%)]
Table 3 Diagnosis coincidence rate of arterial stenosis [cases (%)]

图像质量评估	人工组	智能组	χ^2 值	P 值
无狭窄	2(1.82)	4(3.64)	1.320	0.065
轻微狭窄	32(29.09)	34(30.91)	0.860	0.152
轻度狭窄	30(27.41)	38(34.55)	11.140	0.036
中度狭窄	22(20.00)	20(18.18)	0.760	0.203
重度狭窄	16(14.55)	8(7.41)	12.830	0.033
血管闭塞	8(7.41)	6(5.45)	0.450	0.512

2.4 两组重建血管评分

智能组总评分平均值、3大主支+后降支+中间支+对角支+钝缘支评分、其余血管分支评分均显著高于人工组($P<0.05$),见表4。

3 讨论

冠状动脉造影在既往CHD临床诊疗中发挥关键作用^[6]。随着影像学技术的飞速发展,CTA在CHD患者的临床诊断与治疗中逐渐发挥出较高的应用价值^[7]。与常规冠状动脉造影相比,CTA具有无创、价格低廉、检查迅速、可以开展3D成像等优点,因此已成为临床冠状动脉疾病的优选诊断方案^[8-9]。伴随CHD患者数量与日俱增,临床检查对图像质量的要求也愈加严格,检查程序及图像后处理也变得日益繁琐。近年来,人工智能在医学影像数据处理中发挥着越来越重要的作用。随着人工智能技术的逐步

表4 两组血管重建评分比较($\bar{x}\pm s$)

Table 4 Comparison of vascular reconstruction score between two groups ($Mean\pm SD$)

项目	人工组	智能组	P 值
总评分			
范围	36.24%~72.23%	71.33%~99.99%	<0.01
评分	54.23%±9.36%	89.91%±6.03%	
3大主支+后降支+中间支+对角支+钝缘支			
范围	49.32%~94.15%	75.13%~99.99%	<0.01
评分	70.03%±8.87%	93.25%±6.13%	
中位数	69.93%	94.32%	
其余血管分支			
范围	0.00%~74.32%	28.84%~99.99%	<0.01
评分	20.03%±10.37%	80.01%±12.23%	
中位数	17.03%	81.15%	

发展,利用人工智能技术开展冠脉三维重建已成医学领域关注的热点。数坤冠状动脉辅助诊断程序在各大医院得到了广泛应用,并协助医师完成了大量冠状动脉CTA后处理工作,从而帮助医师极大提升了自身工作效率^[10]。该程序具有基于深度学习的神经网络算法模型,能够对3D模型进行直接统计处理,从而有效开展图像预处理、血管分割及提取、血管修复等工作,因此已成为影像医师临床工作中的“得力帮手”^[11-13]。

本研究结果显示,人工智能组的VR、CPR图像质量显著优于人工组($P<0.05$)。此外,在总体成像质量上,与人工组相比,智能组具有显著优势。以上结果表明,与人工冠脉CTA重建相比,人工智能重建能提供更好的图像质量。分析其可能原因为人工重建中重建质量受限于重建技师/医师的工作效率,所得到的CTA图像用时较长,得到的VR图像一般以三大主支+后降支+中间支+对角支+钝缘支血管为主;而人工智能重建的重建质量取决于大量精细标注数据下的深度学习^[14-15]。在研发初始阶段,工程师花费了大量人力物力,获得了经过精细标注后的大量CTA数据。此后,工程师基于这些数据编写相关人工智能程序,并利用深度学习对算法进行不断完善,最终通过成熟算法快速获取冠脉CTA重建图像^[16-17]。此外,在人工重建中,VR图像会受到静脉血管的影响,这些静脉血管难以通过人工方法清除,而人工智能技术则能对静脉血管实现精准识别并去除^[18]。本研究结果显示,对于智能组个别患者,其RCA及LCX闭塞未能正确识别,分析其可能原因主要包括以下两方面:(1)由于患者的冠状动脉血管狭窄程度严

重,因此人工智能难以对其实现精准识别;(2)由于学习模型不典型,因此利用人工智能技术处理数据的过程中,可能导致血管分割发生遗漏^[19]。本研究结果显示,人工智能在诊断动脉血管狭窄程度上,无狭窄、轻微狭窄、中度狭窄及血管闭塞的诊断符合率差异并不明显,而轻度狭窄、重度狭窄的诊断符合率低于人工方法,差异显著,分析其可能原因是由于影像学医师在对动脉狭窄程度进行判断期间,难免带有个人主观色彩。同时因钙化斑块所引发的硬化伪影,会增加人工智能对狭窄程度的判别难度,并且斑块自身形态结构也会对血管狭窄程度判定结果造成一定影响^[20]。

综上所述,与人工重建相比,人工智能在冠状动脉CTA检查中具有更大优势。然而,由于市面上的不同人工智能冠状动脉辅助诊断软件之间存在差异,加之本研究样本量较小,且仅对冠状动脉3大分支狭窄程度进行评估等诸多因素,造成本研究的结论具有一定局限性,故后续仍需开展大量相关研究做进一步探讨。

【参考文献】

- [1] 张楚珍,姜慧杰,赵成磊,等.多层螺旋CT联合多模型迭代重建算法用于高体质量指数患者冠状动脉成像[J].中国医学影像技术,2021,37(4):593-598.
Zhang CZ, Jiang HJ, Zhao CL, et al. Multi-slice spiral CT combined with adaptive statistical reconstruction Veo algorithm for coronary artery angiography in patients with high body mass index[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2021, 37(4): 593-598.
- [2] 王宏伟,李瑛,高一峰,等.深度学习图像重建算法用于肥胖个体低剂量冠状动脉CT血管成像[J].中国医学影像技术,2021,37(5):754-758.
Wang HW, Li Y, Gao YF, et al. Deep learning image reconstruction algorithm in low-dose coronary CT angiography of obese persons[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2021, 37(5): 754-758.
- [3] Li RF, Hou CL, Zhou H, et al. Comparison on radiation effective dose and image quality of right coronary artery on prospective ECG-gated method between 320 row CT and 2nd generation (128-slice) dual source CT[J]. J Appl Clin Med Phys, 2020, 21(8): 256-262.
- [4] 朱刚明,谭源满,陶娟,等.基于深度学习的冠状动脉CTA人工智能后处理对疑似冠心病患者诊断价值的初步研究[J].临床放射学杂志,2021,40(11):2128-2133.
Zhu GM, Tan YM, Tao J, et al. The value of artificial intelligence of coronary CTA based on deep learning in suspected coronary arteriosclerotic heart disease patients [J]. Journal of Clinical Radiology, 2021, 40(11): 2128-2133.
- [5] 刘春雨,谢媛,苏晓芹,等.基于人工智能的冠状动脉CT血管成像检测阻塞性冠状动脉狭窄效能的研究[J].国际医学放射学杂志,2021,44(5):516-522.
Liu CY, Xie Y, Su XQ, et al. Diagnostic performance of artificial intelligence based coronary CT angiography in detecting obstructive coronary artery disease [J]. International Journal of Medical Radiology, 2021, 44(5): 516-522.
- [6] 谢林洪,李龙,陆力坚.256层螺旋CT冠脉成像对冠状动脉病变诊断及心肌桥检出的意义[J].影像科学与光化学,2021,39(6):871-874.
Xie LH, Li L, Lu LJ. Significance of 256 slice spiral CT angiography in diagnosis of coronary artery disease and detection of myocardial bridge[J]. Imaging Science and Photochemistry, 2021, 39(6): 871-874.
- [7] Serruys PW, Hara H, Garg S, et al. Coronary computed tomographic angiography for complete assessment of coronary artery disease: JACC state-of-the-art review[J]. J Am Coll Cardiol, 2021, 78(7): 713-736.
- [8] 冯雪聪,陈波,钱俊磊,等.基于深度学习的CTA影像冠状动脉分割[J].激光杂志,2022,43(2):200-204.
Feng XC, Chen B, Qian JL, et al. Coronary artery segmentation in CTA images based on deep learning[J]. Laser Journal, 2022, 43(2): 200-204.
- [9] 王娜娜,李大胜,张媛,等.人工智能在冠状动脉CTA诊断冠状动脉疾病中的应用价值[J].中国中西医结合影像学杂志,2022,20(3):225-229.
Wang NN, Li DS, Zhang Y, et al. Application value of artificial intelligence in the diagnosis of coronary artery disease by coronary CTA [J]. Chinese Imaging Journal of Integrated Traditional and Western Medicine, 2022, 20(3): 225-229.
- [10] 萧毅,刘士远.医学影像人工智能进入深水区的思考[J].中华放射学杂志,2019,53(1):2-5.
Xiao Y, Liu SY. The state-of-the-art medical imaging artificial intelligence: challenges and strategies [J]. Chinese Journal of Radiology, 2019, 53(1): 2-5.
- [11] Mu D, Bai JJ, Chen WP, et al. Calcium scoring at coronary CT angiography using deep learning[J]. Radiology, 2022, 302(2): 309-316.
- [12] Griffin WF, Choi AD, Riess JS, et al. AI evaluation of stenosis on coronary CTA, comparison with quantitative coronary angiography and fractional flow reserve: a CREDENCE trial substudy[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2023, 16(2): 193-205.
- [13] Lin A, Kolossváry M, Cadet S, et al. Radiomics-based precision phenotyping identifies unstable coronary plaques from computed tomography angiography[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(5): 859-871.
- [14] 陈钰,王彦玲,苏童,等.深度学习重建算法对头CT灌注重建参数及图像质量影响探讨[J].放射学实践,2023,38(2):210-215.
Chen Y, Wang YL, Su T, et al. The preliminary results of the effect of deep learning-based reconstruction on cerebral CT perfusion: cerebral parameters and image quality[J]. Radiologic Practice, 2023, 38(2): 210-215.
- [15] 王宪凯,贾学燕,程祥科,等.人工智能在冠状动脉CTA图像后处理及狭窄评估中的应用价值[J].医学影像学杂志,2022,32(4):588-590.
Wang XK, Jia XY, Cheng XK, et al. Application value of artificial intelligence in coronary artery CTA image post-processing and stenosis evaluation[J]. Journal of Medical Imaging, 2022, 32(4): 588-590.
- [16] 袁嘉俊,袁明远,张佳胤.人工智能在冠状动脉CT血管成像中的应用与进展[J].中国医刊,2023,58(5):468-472.
Yuan JJ, Yuan MY, Zhang JY. Application and progress of artificial intelligence in coronary CT angiography [J]. Chinese Journal of Medicine, 2023, 58(5): 468-472.
- [17] 王珍,邱晓明,叶宇.人工智能技术在头颈部CT血管成像中的临床应用价值[J].临床放射学杂志,2022,41(11):2025-2030.
Wang Z, Qiu XM, Ye Y. Clinical application value of artificial intelligence technology in Head-Neck CT angiography[J]. Journal of Clinical Radiology, 2022, 41(11): 2025-2030.
- [18] 张晓浩,刘军波,范丽娟.人工智能技术应用于冠状动脉CTA图像后处理的可行性[J].放射学实践,2021,36(8):994-999.
Zhang XH, Liu JB, Fan LJ. Feasibility of applying artificial intelligence technology to post-processing process of coronary CT angiography images[J]. Radiologic Practice, 2021, 36(8): 994-999.
- [19] 赵福琳,陈澜菁,刘俊七,等.对比人工与人工智能图像后处理冠状动脉CT血管造影显示冠状动脉解剖及其病变[J].中国介入影像与治疗学,2022,19(12):782-786.
Zhao FL, Chen LJ, Liu JQ, et al. Comparison on manual and artificial intelligence image postprocessing of coronary CT angiography for displaying anatomy and lesions of coronary arteries [J]. Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy, 2022, 19(12): 782-786.
- [20] Podgorsak AR, Sommer KN, Reddy A, et al. Initial evaluation of a convolutional neural network used for noninvasive assessment of coronary artery disease severity from coronary computed tomography angiography data[J]. Med Phys, 2020, 47(9): 3996-4004.

(编辑:黄开颜)