

• 胸部影像学 •

3.0T 非对比增强 MR 冠脉成像在节段水平对血管显著性狭窄的诊断效能评估

邢威,贺俊景,孙杰梅,周丽格,张刚

【摘要】目的:基于冠脉血管节段水平评估 3.0T 自由呼吸非对比增强全心冠状动脉 MR 成像在血管显著性狭窄方面的诊断效能。**方法:**2021 年 5 月至 2023 年 6 月连续纳入于河南中医药大学第一附属医院拟行冠状动脉造影(CAG)的患者 98 例,患者 CAG 术前一周行 3.0T 无对比剂 MR 冠脉成像(CMRA)。完成两项检查后,以 CAG 为“金标准”对 CMRA 在检测冠状动脉显著性狭窄(管腔直径减少 $\geqslant 50\%$)方面的能力进行了基于血管节段水平的评估。**结果:**基于血管节段水平 CMRA 对血管显著性狭窄的诊断效能为敏感度 75.42%、特异度 96.50%、阳性预测值 82.41%、阴性预测值 94.76%、准确度 92.74%;除 LCX2 外,LM、LAD1、LAD2、LAD3、LCX1、RCA1、RCA2、RCA3 节段的 ROC 曲线下面积都大于 0.75;LAD3、LCX2 节段的诊断结果受图像质量影响相对较大。**结论:**3.0T 非对比增强 MR 冠脉成像是一项具有广阔应用前景的无创、无辐射冠状动脉成像技术,与 CAG 具有相似的诊断效能,可用于疑似冠心病患者冠状动脉显著性狭窄的检测。

【关键词】 冠心病;冠状动脉;显著性狭窄;磁共振血管成像;冠状动脉造影

【中图分类号】R543.3; R445.2 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1000-0313(2024)09-1158-08

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.09.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Evaluation of diagnostic efficacy of 3.0T non-contrast-enhanced MR coronary angiography for significant vascular stenosis at the segmental level XING Wei, HE Jun-jing, SUN Jie-mei, et al. Department of Magnetic Resonance, the First Affiliated Hospital of Henan University of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the diagnostic efficacy of 3.0T free-breathing non-contrast-enhanced whole-heart coronary artery MR imaging in significant vascular stenosis based on coronary artery segment levels.**Methods:** From May 2021 to June 2023, 98 patients scheduled for coronary angiography (CAG) at the First Affiliated Hospital of Henan University of Traditional Chinese Medicine were enrolled consecutively. All patients underwent 3.0T non-contrast-enhanced MR coronary angiography (CMRA) one week before CAG. Following both examinations, the ability of CMRA to detect significant coronary artery stenosis (lumen diameter reduction $\geqslant 50\%$) was evaluated at the vascular segment level, using CAG as the "gold standard".**Results:** The diagnostic efficacy of CMRA at the vascular segment level for significant vascular stenosis showed a sensitivity of 75.42%, specificity of 96.50%, positive predictive value of 82.41%, negative predictive value of 94.76%, and accuracy of 92.74%; Except for the LCX2 segment, the area under the ROC curve (AUC) for the LM, LAD1, LAD2, LAD3, LCX1, RCA1, RCA2, and RCA3 segments was greater than 0.75. The diagnostic results for the LAD3 and LCX2 segments were greatly affected by the image quality.**Conclusion:** 3.0T non-contrast-enhanced MR coronary imaging is a promising non-invasive and radiation-free coronary imaging technique with diagnostic efficacy comparable to CAG, which can detect significant coronary artery stenosis in patients with suspected coronary artery disease.

【Key words】 Coronary heart disease; Coronary artery; Significant vascular stenosis; Magnetic resonance angiography; Coronary angiography

作者单位:450000 郑州,河南中医药大学第一附属医院磁共振科

作者简介:邢威(1979—),男,河南周口人,硕士研究生,副主任技师,主要从事磁共振心血管成像技术工作。

通讯作者:张刚,E-mail: Zhanggang1968@163.com

基金项目:河南省中医药科学研究专项课题(2021JDZY023)

冠状动脉粥样硬化性心脏病,又称“冠心病”,是世界上发病率和死亡率较高的疾病之一,严重危害人类身体健康,被称作“人类的第一杀手”^[1,2]。我国 2021 年《中国心血管健康与疾病报告》指出冠心病发病率和死亡率呈逐渐上升趋势,早期发现并明确诊断冠状动脉病变,对冠心病的防治具有重要意义^[3]。目前,心脏冠状动脉 CT 血管造影 (coronary computed tomographic angiography, CCTA)、冠状动脉血管造影 (coronary angiography, CAG) 是冠心病最常用的影像检查方法^[4],其中 CAG 是诊断冠心病公认的金标准,一项研究显示约一半临床怀疑有冠心病的患者在 CAG 下并没有显著狭窄^[5],近半数患者在承受对比剂、电离辐射损伤的情况下并未因此获益。随着磁共振技术的发展,冠状动脉磁共振血管成像 (coronary magnetic resonance angiography, CMRA) 凭借其无辐射暴露、无需对比剂及能够与其他 CMR 技术相结合的全面心脏评估能力,正逐步获得临床的认可^[6,7]。近期有 1 项 Meta 分析显示 CMRA 可以评价胸痛或评估临床怀疑有冠心病表现患者的冠状动脉解剖及其功能,为冠心病早期筛查或长期监测提供一种非侵人性替代方案^[8,9]。

CMRA 检查的诊断准确率仍有待提高,其诊断主要依赖于心血管 MR 诊断医师的主观评价,因此受到 MR 诊断医师水平及经验差异的限制,CMRA 诊断的准确性受人为因素影响较大。同时,CMRA 还处于临床推广阶段,对其诊断效能的研究尚不充分,诊断标准及典型影像征象尚不明确。因此,本研究分析了我院行 CMRA 及 CAG 检查患者的影像资料,基于节段水平评估 3.0T 非对比增强 MR 冠脉成像对冠脉血管显著性狭窄的诊断效能,旨在为 CMRA 在冠心病早期筛查或长期监测中的应用提供客观的影像学依据,并为其进一步的发展和完善提供参考。

材料与方法

1. 研究对象

连续性纳入 2021 年 5 月至 2023 年 6 月于河南中医药大学第一附属医院就诊拟行 CAG 的 98 例可疑冠心病患者,所有受试者在 CAG 术前一周行 3.0T 无对比剂 MR 冠脉成像 (CMRA),CMRA 检查前均被告知相关情况并签署书面知情同意书。病例纳入标准^[10]:①年龄≥18 岁;②临床疑诊冠心病拟行冠状动脉造影者;③窦性心律;④生命体征平稳;⑤愿意参与并完成整个 CMRA 研究;⑥右冠优势型。病例排除标准^[11]:①受试者具有 MR 检查禁忌证,如安装心脏起搏器等置入物、幽闭恐惧症;②心律失常;③不稳定型心绞痛、急性或陈旧性心肌梗死;④冠状动脉支架置入

及冠状动脉搭桥术后;⑤左冠优势型受试者中右冠通常短小,不符合本次研究的节段划分标准,导致统计分析复杂化,因此将其排除。本研究最终纳入 75 例完成全心 CMRA 采集和 CAG 检查的患者,其中男 40 例,女 35 例,年龄 34~91 岁,平均年龄 (57.95±11.5) 岁。本研究经单位伦理委员会批准(批号 2021HL-260)。

2. 全心 CMRA 数据采集

CMRA 检查采用 3.0T 超导磁共振扫描仪 (Ingenia CX, Philips Healthcare, Best, the Netherlands),32 通道 dS Torso 心脏专用线圈。心前使用四导联心电向量 R 波触发门控技术 (vectorcardiography, VCG),并结合呼吸门控及膈肌导航技术实时监测窗口。所有患者在 CMRA 检查前接受呼吸训练,在 CMRA 检查中保持浅小、均匀呼吸,减小胸廓及腹壁呼吸运动幅度。患者平躺,呼吸门控置于剑突下方,用绑带固定,绑带松紧适度,尽量避免患者产生束缚感。

扫描步骤及 MR 序列参数如下:①常规三平面定位像扫描,采用超快速梯度回波序列进行标准三平面定位扫描,获取心脏定位像;②膈肌运动追踪序列,在不屏住呼吸的情况下,获得初始测量图像以确定心脏和膈肌的位置;③四腔心电影序列,心脏有两个相对静止期为收缩期末期或舒张期中晚期,在四腔心电影图像上确定右冠状动脉运动幅度最小时相间期作为采集窗宽即冠脉运动相对静止期,计算确定触发延迟时间,得到图像采集间期^[12];④序列应用 Dixon 水脂分离技术,将导航条中心置于右侧膈肌最高点,于呼气末触发采集,膈肌导航采集窗宽为 3~5 mm,采用向量心电门控和自由呼吸导航技术对心脏成像,在整个 CMRA 数据采集过程中时刻监测心率变化。CMRA 扫描参数:TR:shortest(6.2 ms), TE first/TE second; shortest(1.93/3.9 ms), 翻转角 15°, 视野 350 mm×150 mm, 采集像素 1.25 mm×1.5 mm, 层厚 1.5 mm, 层数 150, 重建采集像 0.62 mm×0.62 mm×0.75 mm, 激励次数 1 次, 压缩感知成像技术 (Compressed SENSE) 加速因子为 4.5。

3. 全心 CMRA 图像分析

扫描完成后,将所有 CMRA 原始数据传输至独立的后处理工作站 ISP 9 Workstations (荷兰飞利浦公司),采用最大信号强度投影 (maximum intensity projection, MIP)、曲面重组 (curved planner reformation, CPR)、容积再现 (volume rendering, VR) 等技术进行后处理。

根据美国心脏协会 (American heart association, AHA) 推荐的冠状动脉分段法来评估冠状动脉节段^[13]。将冠状动脉划分为 9 个节段进行质量估价,即左冠状动脉主干 (left main, LM), 左冠状动脉前降支

(left anterior descending, LAD) 的近段、中段、远段 (LAD1、LAD2、LAD3), 左冠状动脉回旋支 (left circumflex coronary artery, LCX) 的近段、远段 (LCX1、LCX2), 右冠状动脉 (right coronary artery, RCA) 的近段、中段、远段 (RCA1、RCA2、RCA3)。综合血管信号强度、图像伪影、冠状动脉与周围组织的信号对比, 对冠状动脉各节段图像进行分级, 然后对冠状动脉各节段图像进行质量评分, 采用 4 分法^[14] 进行评价 (图 1), 评分 1 分的图像难以诊断, 本研究对其进行了剔除。基于临床经验, 右冠优势型 CMRA 图像中 RCA1 节段的图像质量通常最佳, 因此以 RCA1 为基准对其他 9 个节段进行两两比较。CMRA 后处理由 1 位低年资的磁共振主治医师完成, 2 位高年资磁共振主任医师在对患者 CMRA 结果不知情的情况下独立双盲评估图像质量及诊断结果, 意见不一致时两者协商获得一致结论。

4. 冠状动脉造影

所有患者行 CAG 术得到的原始图像由 2 位对 CMRA 结果不知情的高年资心内科医师进行独立双盲评估。冠状动脉管腔狭窄程度采用计算机辅助定量冠状动脉造影分析软件 (quantitative coronary angiography, QCA) 进行测量, 显著性狭窄定义为冠状动脉血管中任何节段存在 $\geq 50\%$ 的狭窄^[15,16]。

5. 统计学分析

采用 SPSS 27.0 软件进行统计学分析。使用组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 对 2 位影像医师对 CMRA 9 个节段的图像质量评分一致性进行分析。采用 Cohen's kappa 系数对 2 位影像医师给出的 9 个节段 CMRA 诊断结果及 2 位心内科医师评估的相应节段 CAG 诊断结果进行一致性分析, 大于 0.75 表示一致性良好。对连续型变量行正态性及方差齐性检验, 符合正态分布的连续变量以平均值

± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 计数资料以频率或构成比 (%) 表示。采用单因素方差分析比较全心 CMRA 9 个节段的图像质量评分, 并使用 Games-Howell 进行以 RCA1 为对照的组间两两比较。以 CAG 作为参考标准, 采用四格表 χ^2 检验、绘制受试者工作特性 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线并计算曲线下面积 (area under curve, AUC) 等统计方法评估 CMRA 各节段诊断效能; 运用非参数检验对诊断结果与图像质量的相关性进行分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 患者一般资料

98 例患者中 75 例 (76.5%) 完成了全心冠状动脉 MRA 采集和 CAG 检查, 23 例患者被排除, 其中扫描失败 8 例, 左冠优势型 5 例, 不稳定心绞痛 4 例, 心律失常 3 例, 幽闭恐惧症 2 例, 冠状动脉支架置入 1 例。最终纳入研究的 75 例患者的一般资料见表 1。

表 1 患者的一般资料

特征	CMRA 患者 (n=75)
男 (n, %)	40(53.3)
女 (n, %)	35(46.7)
平均年龄 (岁)	57.95 ± 11.5
身体质量指数 (kg/m ²)	25.42 ± 4.24
心率 (次/min)	75 ± 11
危险因素 (n, %)	
高血压	37(49.3)
高血脂	9(12.0)
高血糖	19(25.3)
吸烟史	6(8.0)
胸痛病史	14(18.7)
冠心病史	14(18.7)

2. CMRA 各节段的图像质量及其组间比较

采用单因素方差分析评估全心 CMRA 9 个节段的图像质量评分, 结果显示 CMRA 各节段图像质量差异

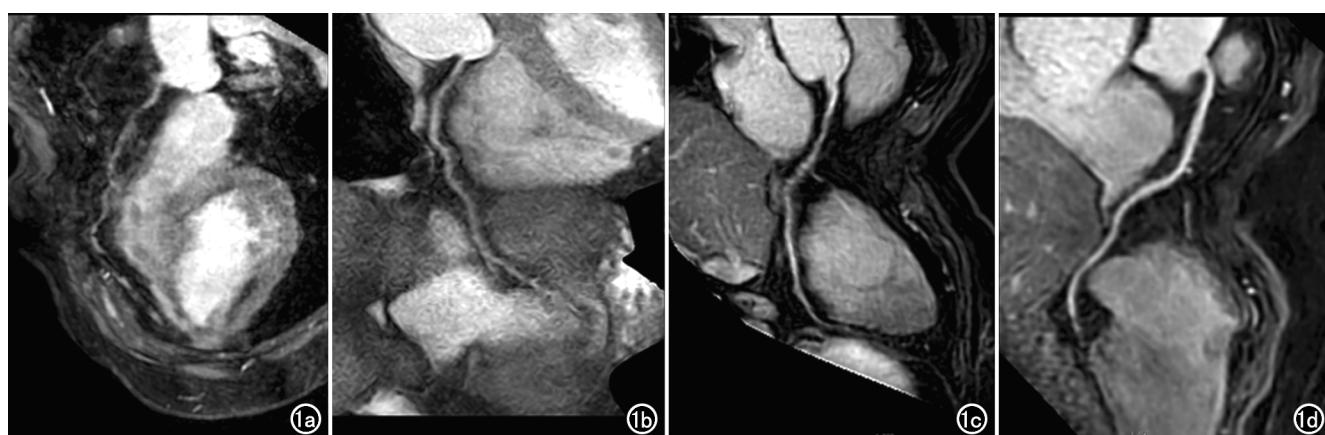


图 1 冠状动脉 MR 血管成像图像质量评分示意图。a) 1 分, 差, 伪影严重, 管腔无法评估或不可见; b) 2 分, 中, 血管可见, 管腔边界较模糊, 影响管腔评估; c) 3 分, 良, 血管显示较充分, 管腔边界轻度模糊; d) 4 分, 优, 血管显示清晰, 管腔边界锐利。

有统计学意义($P < 0.05$),因图像质量太差、冠状动脉起源异常等有 14 个节段未纳入评分。对 CMRA9 个节段进行两两比较,以 RCA1 为参考,RCA1 与 LM、LAD1、LAD2、LCX1、RCA3 节段图像质量相近,差异无统计学意义($P > 0.05$);而 RCA2、LAD3、LCX2 等 3 个节段图像质量相近,与 RCA1 节段图像质量差异有统计学意义($P < 0.05$,表 2)。

表 2 CMRA 各节段图像质量评分及其组间比较结果

冠状动脉节段	可见冠状动脉节段数(个)	图像质量评分(分)	以 RCA1 为标准两两之间比较 P 值
LM	75	3.84±0.37	0.133
LAD1	75	3.76±0.43	0.832
LAD2	75	3.47±0.50	0.418
LAD3	73	2.73±0.56	0.001
LCX1	75	3.51±0.55	0.799
LCX2	69	2.74±0.59	0.001
RCA1	73	3.64±0.48	—
RCA2	74	3.11±0.56	0.001
RCA3	72	3.42±0.62	0.264

表 3 3.0T 自由呼吸全心 CMRA 各节段的诊断效能 [% (95% CI)]

冠状动脉节段	敏感度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	准确度
LM	100(100~100)	100(100~100)	100(100~100)	100(100~100)	100(100~100)
LAD1	86.36(78.60~94.13)	96.23(91.91~100.54)	90.48(83.83~97.12)	94.44(89.26~99.63)	93.33(87.69~98.98)
LAD2	79.31(70.14~88.48)	89.13(82.09~96.17)	82.14(73.47~90.81)	87.23(79.68~94.79)	85.33(77.33~93.34)
LAD3	60.00(48.76~71.24)	98.53(95.77~101.29)	75.00(65.07~84.93)	97.10(93.25~100.95)	95.89(91.34~100.44)
LCX1	72.73(62.65~82.81)	96.88(92.94~100.81)	80.00(70.95~89.05)	95.38(90.64~100.13)	93.33(87.69~98.98)
LCX2	50.00(38.20~61.80)	92.98(86.96~99.01)	60.00(48.44~71.56)	89.83(82.70~96.96)	85.51(77.20~93.81)
RCA1	84.62(76.34~92.89)	98.33(95.40~101.27)	91.67(85.33~98.01)	96.72(92.64~100.81)	95.89(91.34~100.44)
RCA2	70.59(60.21~80.97)	94.74(89.65~99.82)	80.00(70.89~89.11)	91.53(85.18~97.87)	89.19(82.11~96.26)
RCA3	75.00(65.00~85.00)	98.44(95.57~101.30)	85.71(77.63~93.80)	96.92(92.93~100.91)	95.83(91.22~100.45)
节段水平	75.42(72.14~78.71)	96.50(95.10~97.90)	82.41(79.50~85.31)	94.76(93.06~96.46)	92.74(90.76~94.72)

表 4 全心 CMRA 各节段的诊断效能与图像质量评分的相关性分析结果

类别	图像质量评分			Z 值	P 值	
	2 分	3 分	4 分			
LAD1	一致组 不一致组	0(0%)	16(22.9%)	54(77.1%)	-0.861	0.389
		0(0%)	2(40.0%)	3(60.0%)		
LAD2	一致组 不一致组	0(0%)	34(53.1%)	30(46.9%)	-0.087	0.931
		0(0%)	6(54.5%)	5(45.5%)		
LAD3	一致组 不一致组	21(30.0%)	45(61.6%)	4(5.7%)	-2.390	0.017
		3(100%)	0(0%)	0(0%)		
LCX1	一致组 不一致组	2(2.9%)	29(41.4%)	39(55.7%)	-1.422	0.155
		0(0%)	4(80.0%)	1(20.0%)		
LCX2	一致组 不一致组	15(25.4%)	39(66.1%)	5(8.5%)	-3.261	0.001
		8(80.0%)	2(20.0%)	0(0%)		
RCA1	一致组 不一致组	0(0%)	24(34.3%)	46(65.7%)	-1.139	0.255
		0(0%)	2(66.7%)	1(33.3%)		
RCA2	一致组 不一致组	7(10.6%)	44(66.7%)	15(22.7%)	-0.591	0.555
		1(12.5%)	6(75.0%)	1(12.5%)		
RCA3	一致组 不一致组	5(7.2%)	31(44.9%)	33(47.8%)	-0.694	0.487
		0(0%)	1(33.3%)	2(66.7%)		

2 位影像医师对 CMRA9 个节段图像质量评分的 ICC 值在 0.845~1.000 之间,均大于 0.75,显示出良好的一致性,表明图像质量评分在 2 位医师之间具有较高的可靠性。

3.CMRA 各冠脉节段的诊断效能

2 位影像医师对 CMRA9 个节段诊断结果的 Cohen's kappa 系数范围为 0.803~1.000,2 位心内科医师对 CAG 相应各节段诊断结果的 Cohen's kappa 系数范围为 0.902~1.000,Cohen's kappa 系数皆大于 0.75,说明 CMRA 诊断结果及 CAG 诊断结果具有较好的一致性。在 CMRA 诊断结果中,LAD3 和 LCX2 节段的 Cohen's kappa 系数分别为 0.819 和 0.811,相较于其他节段,其一致性较低。以 CAG 为参照,除 LCX2 节段外,LM、LAD1、LAD2、LAD3、LCX1、RCA1、RCA2 及 RCA3 的 AUC 值都大于 0.75,说明这些节段的诊断效能相对较高(表 3,图 2~5)。

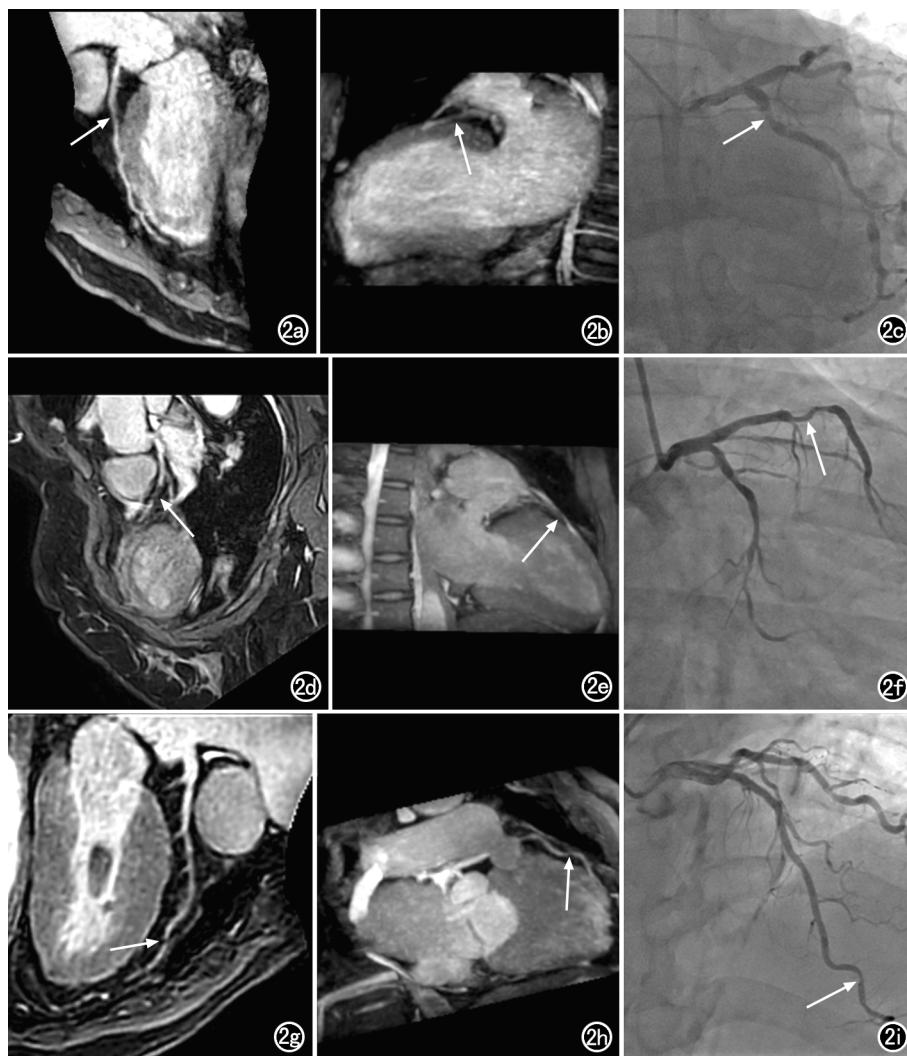


图 2 LAD 节段 CPR 图像、MIP 图像与 CAG 图像对比, 表现为显著性狭窄(箭)。a) LAD1-CPR 图像; b) LAD1-MIP 图像; c) LAD1-CAG 图像; d) LAD2-CPR 图像; e) LAD2-MIP 图像; f) LAD2-CAG 图像; g) LAD3-CPR 图像; h) LAD3-MIP 图像; i) LAD3-CAG 图像。

4. 全心 CMRA 各节段诊断结果与图像质量的相关性

基于 CMRA、CAG 诊断结果是否一致, 将 CMRA 各节段分为诊断结果一致组和诊断结果不一致两组, 运用非参数检验对 CMRA 各节段这两组中的图像质量评分进行分析, 结果显示 CMRA 中 LAD3、LCX2 两个节段诊断结果不一致时, 图像质量差异有统计学意义($P < 0.05$, 表 4), 说明 LAD3、LCX2 的诊断结果受图像质量影响相对较大。

讨 论

本研究 CMRA 序列应用 Dixon 水脂分离技术结合压缩感知技术, 基于血管节段平均水平分析 CMRA 对显著性血管狭窄的诊断效能为敏感度 75.42%、特异度 96.50%、阳性预测值 82.41%、阴性预测值 94.76%、准确度 92.74%, CMRA 各节段的 AUC 基本都大于 0.75, 证明 3.0T 无对比剂 MR 冠脉成像技术对冠心病具有较高的诊断价值, 该结果与近期国内外多项研究的结果相近^[17,18]。先前研究更侧重于患者水平、血管水平的整体评估, 本研究参照 AHA 推荐的冠状动脉

分段法, 对冠状动脉各节段的诊断效能进行了评估, 同时深入研究各节段诊断结果与图像质量之间的关联, 并对诊断结果不稳定的节段进行深入剖析, 探究其产生的潜在原因。

冠状动脉狭窄在 CMRA 的主要影像学表现以信号改变为主, 多为信号强度减低或狭窄处信号缺失(以严重钙化者多见), 并伴有狭窄节段冠状动脉的管腔直径缩小, 严重闭塞时可涉及冠脉血管狭窄节段处的远端血管。目前 CMRA 的诊断更偏向于对原始图像及 CPR 的观察, 但在 CMRA 的诊断中层厚 8 到 10 mm、间隔 -6 到 -8 mm 的 CMRA-MIP 图也能提供有价值的诊断信息, 负间隔的 CMRA-MIP 图应作为必要的图像后处理方法及观察环节在 CMRA 诊断中加以应用, MIP 与 CPR 在狭窄节段都呈现管腔信号减低的影像学改变^[14](图 2~4)。另外, 在 CMRA 诊断前应先评估图像质量, 3~4 分的 CMRA 图像可用于冠心病的诊断, 2 分的 CMRA 图像可对其血管进行评估, 而 1 分图像中冠脉血管管腔直径缩小、信号强度减低并不能盲目诊断为冠脉动脉狭窄(图 1a)。

良好的图像质量是完成精准诊断的前提, 影响



图 3 LCX 节段 CPR 图像、MIP 图像与 CAG 图像对比, 表现为显著性狭窄(箭)。a) LCX1-CPR 图像; b) LCX1-MIP 图像; c) LCX1-CAG 图像; d) LCX2-CPR 图像; e) LCX2-MIP 图像; f) LCX2-CAG 图像。

CMRA 图像质量的因素众多而又互相关联。在 CMRA 成像过程中, 克服心脏搏动和呼吸运动产生的双重伪影是主要的技术挑战。此外, 由于冠状动脉管径

细小且走形迂曲, 其空间解剖结构复杂且被冠周脂肪所包裹, 因此需要有效的脂肪抑制才能获得对比度良好的冠脉图像。既往研究指出, 受检者的心率、BMI

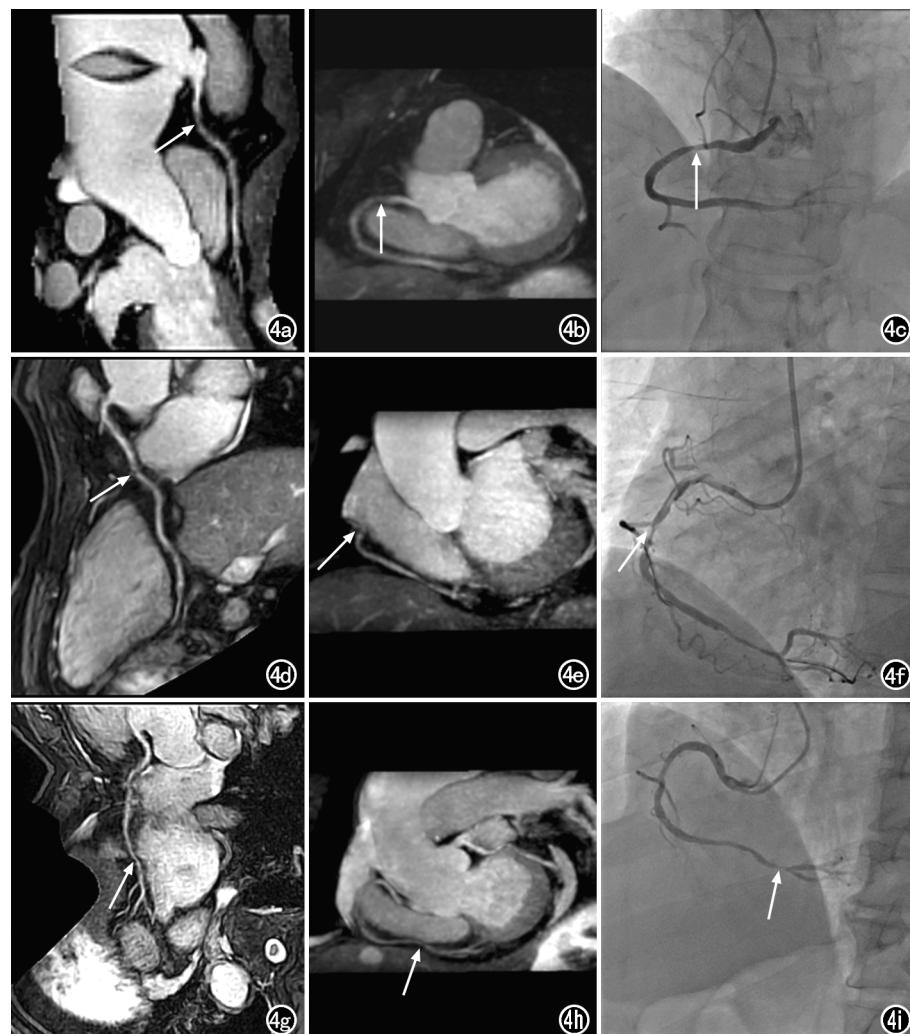


图 4 RCA 节段 CPR 图像、MIP 图像与 CAG 图像对比, 表现为显著性狭窄(箭)。a) RCA1-CPR 图像; b) RCA1-MIP 图像; c) RCA1-CAG 图像; d) RCA2-CPR 图像; e) RCA2-MIP 图像; f) RCA2-CAG 图像; g) RCA3-CPR 图像; h) RCA3-MIP 图像; i) RCA3-CAG 图像。

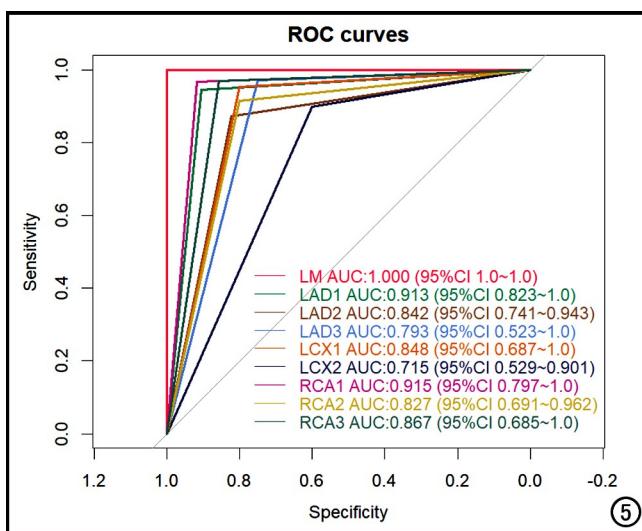


图 5 全心 CMRA 9 个节段的 ROC 曲线。

和呼吸等生理因素也可能影响 CMRA 的图像质量。在 CMRA 的临床应用中,面对高心率、高 BMI 或呼吸紊乱的受检者时,CMRA 检查的失败率较高。面对上述情况时,对检查者的要求较高,需要其了解 CMRA 扫描序列及参数,以便根据患者的生理特征和配合程度来制定个性化的扫描方案。特别是心脏静止期的选择(收缩期或舒张期)、触发延迟、激发时长及门控窗宽等参数的精准设置至关重要^[19]。CMRA 序列参数的精准设定能够控制不良因素对图像的影响程度,尽可能消除上述因素干扰,让诊断结果更为可靠。

本研究分别分析了冠脉各节段图像评分、诊断效能及诊断效能与图像质量的相关性,发现 LM、LAD1、LAD2、LCX1、RAD1、RAD2、RAD3 图像质量稳定,诊断结果可靠;而 LAD3、LCX2 图像质量差异大,受图像质量影响其结果出现假阳性、假阴性的概率较其它冠脉节段高。LAD3 可能是由于左冠心动周期内相对静止不动的时间较右冠短,产生心脏搏动伪影的概率更高。LAD3 较其它节段更贴近心肌,同时心包积液多积聚该走行区,进一步降低了图像质量^[20]。而 LCX2 的图像质量相对较差可能与压缩感知技术产生的伪影有关,本研究发现 LCX2 走行区易出现条纹状伪影,该伪影降低了 LCX2 的诊断效能。Nakamura 等^[21]在 CS-CMRA 的研究报道中也提及冠脉血管病变在高加速时可能会模糊,该问题有待于压缩感知技术的进一步发展来改善。

右冠优势型是冠脉分型最常见的类型,本研究结果显示 RCA1、RCA2、RCA3 三个节段都表现出了较高的诊断效能,其中 RCA2 的图像质量、诊断效能较 RCA1、RCA3 低,其原因可能与右冠中段锐缘支发出处较大的弯曲部有关。冠状动脉血液的流动大部分属于管腔内规则运动的层流,当血液流经血管迂曲、转

弯、分叉处等特殊位置时,血流速度加快形成湍流^[22],该状态下血液中氢质子失相位严重多表现为血管管腔的低信号,此时需与血管狭窄导致的低信号相鉴别。

本研究存在以下局限性:①本研究属单中心研究,可能存在主观性偏倚,导致结果存在一定偏差;②MRA 技术一般存在对血管狭窄程度高估的风险,因此 CMRA 可能同样面临这一问题,该情况的评估需要对冠状动脉管腔狭窄程度进行进一步分级,这有待于进一步研究;③由于 CMRA 的空间分辨率和统计分析的限制,本研究仅对右侧优势型受试的冠脉主干进行了评估,而未涵盖后降支、对角支、钝缘支等冠脉分支,这可能导致研究存在一定局限性。

综上所述,3.0T 无对比剂 MR 冠脉成像是一项具有广阔应用前景的无创、无辐射冠状动脉成像技术,与 CAG 具有相似的诊断效能,可用于疑似冠心病患者冠状动脉显著性狭窄的检测,CMRA 中 LAD3、LCX2 图像质量相对不稳定,其结果的判读需要特别注意和鉴别。

参考文献:

- Zhang Y, Zhang X, Jiang Y, et al. 3D Whole-heart noncontrast coronary MR angiography based on compressed SENSE technology: a comparative study of conventional SENSE sequence and coronary computed tomography angiography[J]. Insights Imaging, 2023, 14(1): 35.
- Tsao CW, Aday AW, Almarzooq ZI, et al. Heart disease and stroke statistics-2023 update: a report from the American Heart Association[J]. Circulation, 2023, 147(8): e93-e621.
- 《中国心血管健康与疾病报告》2021(冠心病部分内容)[J].心肺血管病杂志,2022,(12):1205-1211.
- 杨阳,刁楠,黄增发,等.CAD-RADS 在冠心病诊断中的应用:人工智能与人工方法的对照研究[J].放射学实践,2022,37(4): 413-418.
- Patel MR, Dai D, Hernandez AF, et al. Prevalence and predictors of nonobstructive coronary artery disease identified with coronary angiography in contemporary clinical practice[J]. Am Heart J, 2014, 167(6): 846-852.
- Hajhosseiny R, Bustin A, Munoz C, et al. Coronary magnetic resonance angiography: technical innovations leading us to the promised land? [J]. JACC Cardiovasc Imagin, 2020, 13 (12): 2653-2672.
- Nakamura S, Ishida M, Nakata K, et al. Long-term prognostic value of whole-heart coronary magnetic resonance angiography[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2021, 23(1): 1-9.
- Kato S, Azuma M, Nakayama N, et al. Diagnostic accuracy of whole heart coronary magnetic resonance angiography: a systematic review and meta-analysis[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2023, 25(1): 36.
- 潘子怡,赵赟,唐媛媛,等.RSNA2023 心脏 CT 及 MRI[J].放射学实践,2024,39(2):147-152.
- 金航,曾蒙苏,葛梅英,等.单纯含服硝酸甘油对全心导航冠状动脉 MRA 成像参数及图像质量影响的自身对照研究[J].放射学实践,2024,39(2):147-152.

- 实践,2011,26(11):1185-1188.
- [11] 林路,张晓娜,雷红,等.1.5T 无对比剂全心冠状动脉磁共振血管成像评估冠状动脉狭窄严重程度的临床价值[J].中国医学科学院学报,2021,43(3):406-413.
- [12] 鲁鸿飞,田地,赵士海,等.3.0T 非增强 Dixon 水脂分离压缩感知冠状动脉 MR 血管成像诊断冠状动脉狭窄的效能研究[J].中华放射学杂志,2022,56(10):1051-1057.
- [13] Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association [J]. Circulation, 2002, 105 (4):539-542.
- [14] 中国医学装备协会磁共振应用专业委员会.冠状动脉 MR 血管成像临床应用专家共识(第一版)[J].中华放射学杂志,2021,55 (9):895-902.
- [15] Hajhosseiny R, Rashid I, Bustin A, et al. Clinical comparison of sub-mm high-resolution non-contrast coronary CMR angiography against coronary CT angiography in patients with low-intermediate risk of coronary artery disease: a single center trial[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2021, 23(1):1-14.
- [16] Nazir MS, Hajhosseiny R, Yazdani M, et al. High-resolution non-contrast free-breathing coronary cardiovascular magnetic resonance angiography at 3.0 T: feasibility and initial clinical experience[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2022, 24(1):26.
- [17] Lu H, Zhao S, Tian D, et al. A clinical strategy to improve the diagnostic performance of 3T non-contrast coronary MRA and noninvasively evaluate coronary distensibility: combination of diastole and systole imaging[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2023, 25 (1):67.
- [18] He Y, Pang J, Dai Q, et al. Diagnostic performance of self-navigated whole-heart contrast-enhanced coronary 3T MR angiography [J]. Radiology, 2017, 281(2):401-408.
- [19] 邢威,贺俊景,李婷婷,等.3.0T 无对比剂 MR 冠状动脉造影图像质量的影响因素[J].中国医学影像技术,2023,39(6):899-904.
- [20] 代静文,曹剑,林路,等.3.0T 磁共振无对比剂冠状动脉血管成像的可行性[J].中国医学科学院学报,2020,42(2):216-221.
- [21] Nakamura M, Kido T, Kido T, et al. Non-contrast compressed sensing whole-heart coronary magnetic resonance angiography at 3T: A comparison with conventional imaging[J]. Eur J Radiol, 2018, 104(7):43-48.
- [22] 张伟中.动脉血管三维重建及其血流动力学分析[D].南昌:南昌大学,2016.

(收稿日期:2023-09-25 修回日期:2024-04-11)

下期要目

- 宫颈胃型腺癌的影像学分析(附 8 例报道)
联合人工智能模型迭代重建和 80kV 管电压降低
腹部增强 CT 辐射剂量
MR 酰胺质子转移成像在鉴别肝细胞癌与肿块型
肝内胆管癌中的价值
基于 CT 三维可视化定量参数在肺磨玻璃结节术前
手术方式评估中的价值
0 期和 I 期肺腺癌的 CT 形态学分型研究
多时相 CT 血管成像彩色编码图评估急性缺血性
脑卒中临床预后的价值
下肢 CTA 及足部 CT 灌注对下肢动脉硬化闭塞症
合并足溃疡的研究

- 第二代运动校正算法对心肌桥-壁冠状动脉 CTA 图像
质量及测量可重复性的影响
基于 DCE-MRI 瘤内及瘤周影像组学的列线图预测早期
乳腺癌腋窝淋巴结负荷的价值
PC-MRI 在 I 型 Chiari 畸形伴咳嗽性头痛患者脑脊液
动力学变化中的应用
DCE-MRI 评价 H₂S 干预糖尿病重症肢体缺血兔骨髓血管
内皮细胞氧化应激水平
CCTA 斑块特征联合冠周脂肪衰减指数与 FFR_{CT} 预测
急性冠脉综合征的临床价值
三阴性乳腺癌全数字化乳腺 X 线摄影(FFDM)影像特征与
腋窝淋巴结转移相关性的 logistic 回归分析