

低剂量冠状动脉 CT 血管造影评估壁冠状动脉管腔的临床价值

王运兰¹, 张蕾², 田志强¹

(1. 攀枝花市中心医院医学影像中心, 四川省攀枝花市 617067; 2. 攀枝花学院附属医院放射科, 四川省攀枝花市 617067)

[关键词] 冠状动脉 CT 血管造影; 壁冠状动脉; 心肌桥; 收缩压迫

[摘要] **目的** 探讨基于迭代重建算法(IRA)前瞻性心电门控低剂量冠状动脉 CT 血管造影(CCTA)技术评估壁冠状动脉管腔的临床价值。**方法** 选取 2015 年 1 月至 2018 年 1 月期间于攀枝花市中心医院治疗并行 CCTA 检查确诊为左前降支心肌桥(MB)的 160 例患者为研究对象。以侵入性冠状动脉造影作为金标准。根据患者 MB 病变程度将其分为无收缩压迫组 32 例、轻度收缩压迫组 56 例以及重度收缩压迫组 72 例。测量并比较 3 组患者的壁冠状动脉管腔密度差异(MCA-COD)、冠状动脉腔内强化梯度(TAG)和标化 TAG 值以及 MB 长度,并采用受试者工作特征曲线(ROC 曲线)评价标化 TAG、MCA-COD 以及 MB 长度对收缩压迫 MB 诊断的临床价值。**结果** 随着收缩压迫程度增加,患者 TAG、标化 TAG 值逐渐下降,MCA-COD 以及 MB 长度逐渐增大;重度收缩压迫组与轻度收缩压迫组、无收缩压迫组相比,差异具有统计学意义($P < 0.001$)。在检查 MB 是否伴有收缩期压迫方面,MCA-COD 的诊断敏感度和特异度相比标化 TAG 和 MB 长度更高,且三者联合检测在预测伴重度收缩压迫时的诊断价值更高。三者联合检测对轻度收缩压迫的诊断敏感度和特异度分别为 83.12%、80.00%,ROC 曲线下面积为 0.816(95% CI 0.768~0.864);对重度收缩压迫的诊断敏感度和特异度分别为 90.62%、87.50%,ROC 曲线下面积为 0.844(95% CI 0.799~0.890),相比各指标单独检测诊断价值更高。**结论** MCA-COD、标化 TAG 以及 MB 长度作为基于 IRA 的前瞻性心电门控低剂量 CCTA 检查指标,对于评估伴收缩压迫 MB 具有重要诊断价值。

[中图分类号] R54

[文献标识码] A

Clinical value of low-dose coronary CT angiography in the evaluation of mural coronary artery lumen

WANG Yunlan¹, ZHANG Lei², TIAN Zhiqiang¹

(1. Medical Imaging Center, Panzihua Central Hospital, Panzihua, Sichuan 617067, China; 2. Department of Radiology, the Affiliated Hospital of Panzihua University, Panzihua, Sichuan 617067, China)

[KEY WORDS] coronary CT angiography; mural coronary artery; myocardial bridge; systolic compression

[ABSTRACT] **Aim** To explore the clinical value of prospective ECG-gating low-dose coronary angiography (CCTA) based on iterative reconstruction algorithm (IRA) in the evaluation of mural coronary artery lumen. **Methods**

From January 2015 to January 2018, 160 patients with myocardial bridge (MB) of left anterior descending coronary artery diagnosed by CCTA and treated in Panzihua Central Hospital were selected as research objects. Invasive coronary angiography was as the gold standard. According to the degree of MB lesion, the patients were divided into three groups: non-systolic compression group (32 cases), mild systolic compression group (56 cases) and severe systolic compression group (72 cases). The mural coronary artery-contrast opacification difference (MCA-COD), transluminal attenuation gradient (TAG), standardized TAG and MB length were measured and compared in the three groups. The clinical value of standardized TAG, MCA-COD and MB length in the diagnosis of systolic compression MB was evaluated by receiver operating characteristic curve (ROC). **Results** With the increase of the degree of systolic compression, the TAG and standardized TAG decreased gradually, and the MCA-COD and MB length increased gradually; The difference between the severe systolic compression group and the mild systolic compression group, the non-systolic compression group was statistically significant ($P < 0.001$). MCA-COD had higher diagnostic sensitivity and specificity than standardized TAG and MB length in detecting whether MB was accompanied with systolic compression, and the combined detection of the three had higher diagnostic value in predicting severe systolic compression. In the mild systolic compression group, the sensitivity of

the combined detection was 83.12%, the specificity was 80.00%, and the area under ROC curve was 0.816 (95% CI 0.768~0.864); In the severe systolic compression group, the sensitivity of the combined detection was 90.62%, the specificity was 87.50%, and the area under ROC curve was 0.844 (95% CI 0.799~0.890). The combined detection of the three was more valuable than the single detection of each index. **Conclusion** MCA-COD, standardized TAG and MB length as prospective ECG-gating low-dose CCTA indexes based on IRA have important diagnostic value for evaluating MB with systolic compression.

心肌桥(myocardial bridge, MB)属于一种心肌束将冠状动脉部分或全部节段覆盖的解剖变异,主要好发于左前降支中段。临床实践结果表明MB会对冠状动脉形成一定程度的压迫,逐渐影响冠状动脉的血流供应,从而进一步造成心肌缺血、动脉痉挛等不良反应,也是造成患者心律失常甚至猝死的潜在因素^[1]。以往临床上进行MB诊断的手段主要包括血管内超声、侵入性冠状动脉造影(invasive coronary angiography, ICA)等,但由于两者均属于有创检查,患者接受程度不高且容易造成感染等并发症^[2]。随着CT检查技术的不断进步以及迭代算法的持续改进,冠状动脉CT血管造影(coronary CT angiography, CCTA)因其良好的诊断敏感度和特异度,已逐渐成为MB等疾病的重要筛查手段^[3]。近年来临床上逐渐开始重视CCTA检查辐射量对患者的潜在影响,研究报道基于迭代重建算法(iterative reconstruction algorithm, IRA)前瞻性心电门控低剂量CCTA作为一种可以有效降低辐射剂量的造影技术,能通过非螺旋扫描以及心电图信号将X线球管触发曝光时间选择性地控制在心脏收缩期末以大量减少曝光时间,从而达到降低辐射剂量的目的^[4]。研究证实其辐射量相比回顾性门控最高可降低80%左右^[5]。本研究拟通过采用低剂量CCTA技术对MB患者进行成像,评估其相关参数如冠状动脉腔内强化梯度(transluminal attenuation gradient, TAG)和壁冠状动脉管腔密度差(mural coronary artery-contrast opacification difference, MCA-COD)以及MB长度等参数对于伴收缩压迫MB的诊断价值。

1 资料和方法

1.1 基本资料

选取2015年1月至2018年1月期间于攀枝花市中心医院治疗并行CCTA检查的160例患者为研究对象,其中男100例,女60例,年龄36~80岁,平均年龄(59.62±4.62)岁。根据患者MB病变程度将其分为无收缩压迫组32例、轻度收缩压迫组56

例以及重度收缩压迫组72例。3组患者的年龄、性别、合并糖尿病、高血压、高血脂、吸烟患者比例以及临床症状表现(ST段改变、稳定型心绞痛和心肌梗死)等均无统计学差异,具有可比性($P>0.05$)。所有患者均签署知情同意书,本研究获得攀枝花市中心医院伦理委员会批准。

纳入标准^[6]:(1)所有患者均确诊为左前降支MB且未存在严重心肝肾肾功能不全;(2)不存在严重心律不齐现象;(3)自愿并签署知情同意书。排除标准:(1)合并肿瘤者;(2)进行过动脉搭桥术或者支架置入术者;(3)患有严重精神疾病者;(4)图像上有伪影且对诊断造成影响者;(5)MCA直径 ≤ 2 mm者。

1.2 ICA检查

由2位有5年以上临床经验的心内科医师对所有患者进行ICA检查,穿刺部位为桡动脉或者股动脉。从头足位(20°方向)以及右前斜位(30°方向)察看是否存在MCA,根据比较舒张期末和收缩期末的左前降支血管直径变化情况评估血管狭窄程度,将MCA分为无收缩压迫(狭窄 $<10\%$)、伴轻度收缩压迫(狭窄 $10\% \sim 49\%$)以及伴重度收缩压迫(狭窄 $\geq 50\%$)。

1.3 基于IRA个体化前瞻性心电门控低剂量CCTA

1.3.1 CCTA操作 使用美国通用电气公司GE Revolution 256层CT及其数据处理工作站对所有患者进行CCTA检查,在检查前先对患者进行碘普罗胺过敏试验。患者禁食4~6 h后,取仰卧位,以碘普罗胺(370 g/L)作对比剂,采用高压注射器(型号:CT motion-XD8000)以5 mL/s左右流速经静脉注入,剂量为1.2 mL/kg,总量为65~80 mL。随后以5 mL/s速度注射生理盐水30 mL,监测CT值。扫描范围包括左膈面以下2 cm处至气管隆突,感兴趣区设置为降主动脉,设置的阈值为120 HU,并在延迟5 s后开始扫描。扫描过程中提醒患者保持呼吸平稳以保证成像效果良好,同时监测患者心电图。扫描参数设置为:采取前瞻性门控扫描技术进行扫描,电压为80 kV,电流为280 mA,转速0.27 s/r,扫描时间4.5~5.0 s,同时将螺距、层厚、层间距分别设置为0.18、0.9、0.5 mm。并由经验丰富、操

作熟练的影像医师进行成像,由 2 位主治医师对 CT 扫描图片进行评价。

1.3.2 图像重建 采用 IRA 算法对轴位容积图像进行重建,选定的重建最佳收缩期为 30%~45% R-R 间期,重建最佳舒张期为 65%~80% R-R 间期,设置层厚、间距分别为 0.6、0.5 mm,矩阵大小为 512×512。然后将数据传至 Portal 数据处理工作站并对其进行后处理,包括曲面重组(curved planar reformatting, CPR)图像,以 5 mm 间距在左前降支 CPR 图像上重建血管轴位断面图像,另在 MCA 出入口以 3 mm 间距进行重建轴位断面图像。MCA 诊断标准为心肌将冠状动脉的部分节段完全覆盖,MB 长度是指心肌覆盖于冠状动脉的最长范围。本文参照文献^[7]报道的方法对 MB 长度进行测量,并于收缩期末和舒张期末对 MCA 血管直径和面积进行测定。

1.3.3 TAG、MCA 测定 TAG 是指动脉血管腔内每 10 mm 的 CT 值变化梯度,血管腔内密度测量时需要尽量避开粥样斑块和钙化斑块。标化 TAG 是指左前降支每 10 mm 的断面 CT 值与同层面降主动脉 CT 值之间的比值。另在 MCA 的 CPR 图像上取等距离的 5 个点,即 pre-MB、1/3-MB、1/2-MB、2/3-MB、post-MB, MCA 密度比值差即为短轴位图像上测得的 CT 值与其对应的主动脉 CT 值比值。分别测量 MB 入口和出口的 MCA 标化密度,记为 pre-

MB CO 和 post-MB CO, MCA 中位标化密度($CO_{中位} = \text{pre-MB CO} - \text{post-MB CO}$);实测 MCA 标化密度记为 MB CO, MCA 标化密度差(MCA-COD) = $CO_{中位} - \text{MB CO}$ ^[8]。

1.4 观察指标比较

比较 3 组不同收缩压迫患者的 CCTA 参数(TAG、标化 TAG、MCA-COD、MB 长度)差异;比较各 CCTA 参数对于 MB 伴轻度和重度收缩压迫患者的诊断价值。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 19.0 软件分析所有数据。计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,采用 *t* 检验;计数资料以例(%)表示,采用 χ^2 检验。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线判断诊断价值,采用 Hanley-McNeil 方法比较 ROC 曲线下面积(area under curve, AUC)。 $P < 0.05$ 表示差异有显著性。

2 结果

2.1 3 组患者一般资料比较

3 组不同收缩压迫程度患者的年龄、性别、合并糖尿病、高血压、高血脂、吸烟比例以及临床表现[ST 段改变、稳定型心绞痛、心肌梗死(3 月以上)]均无统计学差异,具有可比性($P > 0.05$;表 1 和图 1、图 2)。

表 1. 3 组患者一般资料比较

Table 1. Comparison of general data among three groups

分组	<i>n</i>	年龄 (岁)	男/女 (例)	糖尿病 (例)	高血压 (例)	高血脂 (例)	吸烟 (例)	ST 段改变 (例)	稳定型心绞痛 (例)	心肌梗死 (例)
无收缩压迫组	32	59.42±4.26	20/12	6	12	9	8	10	15	5
轻度收缩压迫组	56	59.65±4.71	40/16	9	16	13	12	13	20	8
重度收缩压迫组	72	58.98±4.08	40/32	15	21	18	16	15	26	10
<i>P</i> 值		0.678	0.184	0.866	0.791	0.877	0.926	0.511	0.522	0.973



图 1. 轻度收缩压迫典型病例图像 A、B 分别为 CCTA 舒张期末、收缩期末容积成像图, C 为切线位 CPR 图像及 MB 相应层面轴位截面图像, D 为 ICA 舒张期末右前斜位图像。

Figure 1. Images of typical case of mild systolic compression

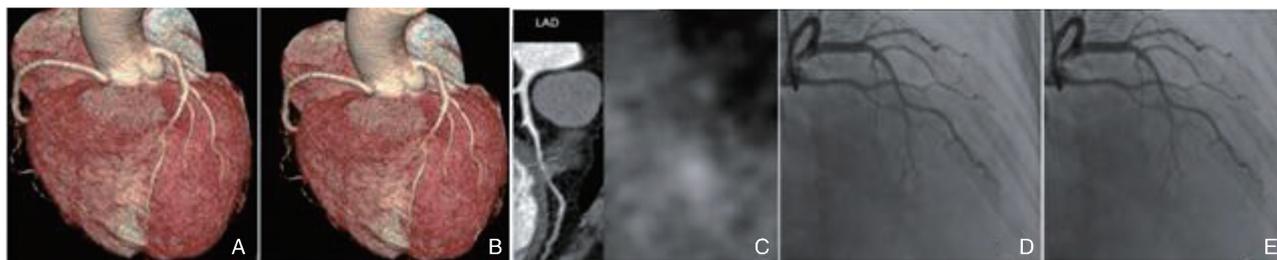


图 2. 重度收缩压迫典型病例图像 A、B 分别为 CCTA 舒张期末、收缩期末容积成像图, C 为 CPR 图像及 MB 相应层面轴位截面图像, D 为 ICA 舒张期末右前斜位图像, E 为 ICA 收缩期末右前斜位图像。

Figure 2. Images of typical case of severe systolic compression

2.2 不同收缩压迫程度患者 CCTA 参数比较

随着收缩压迫程度增加, 患者 TAG、标化 TAG 值逐渐下降, MCA-COD 以及 MB 长度逐渐增大, 重

度收缩压迫组与轻度收缩压迫组和无收缩压迫组相比, 差异均有显著性 ($P < 0.001$; 表 2), 但轻度收缩压迫组与无收缩压迫组差异无显著性 ($P > 0.05$)。

表 2. 3 组患者 CCTA 参数比较

Table 2. Comparison of CCTA parameters among three groups

分组	<i>n</i>	TAG (HU/10 mm)	标化 TAG ($10^{-2}/10$ mm)	MCA-COD ($10^{-2}/10$ mm)	MB 长度 (mm)
无收缩压迫组	32	-13.26±3.47	-3.47±0.52	8.87±8.56	14.52±3.13
轻度收缩压迫组	56	-14.52±4.28	-4.08±0.68	13.43±8.16	15.98±3.56 ^a
重度收缩压迫组	72	-22.56±5.12 ^{ab}	-6.51±1.04 ^{ab}	29.47±8.40 ^{ab}	25.42±5.03 ^{ab}

a 为 $P < 0.05$, 与无收缩压迫组相比; b 为 $P < 0.05$, 与轻度收缩压迫组相比。

2.3 联合诊断模型建立

分别以轻度收缩压迫以及重度收缩压迫发生情况 (赋值: 发生 = 1, 未发生 = 0) 为因变量, MCA-COD、标化 TAG 以及 MB 长度为自变量, 进行 Logistic 回归拟合, 分别得到轻度收缩压迫、重度收缩压迫的回归方程: $\text{Logit}(P) = 2.132 + 4.356(\text{MCA-}$

$\text{COD}) - 2.232(\text{标化 TAG}) + 2.586(\text{MB 长度})$, $\text{Logit}(P) = 2.365 + 5.626(\text{MCA-COD}) - 2.652(\text{标化 TAG}) + 2.986(\text{MB 长度})$, 进一步以回归方程中概率值 P 拟合联合诊断模型, 概率 P 值 = $1/[1 + \exp(-\text{Logit}(P))]$ (表 3)。

表 3. 联合检测对轻度收缩压迫和重度收缩压迫的诊断模型

Table 3. Diagnostic model of combined detection for mild systolic compression and severe systolic compression

因变量	自变量	β	S. E.	Wald χ^2	<i>P</i> 值	OR 值	95% CI
轻度收缩压迫	MCA-COD	4.356	0.145	902.484	0.000	77.945	58.662 ~ 103.565
	标化 TAG	-2.232	0.215	107.773	0.000	0.107	0.070 ~ 0.164
	MB 长度	2.586	0.124	434.924	0.000	13.277	10.412 ~ 16.929
重度收缩压迫	MCA-COD	5.626	0.158	1267.901	0.000	277.550	203.633 ~ 378.297
	标化 TAG	-2.652	0.210	159.481	0.000	0.071	0.047 ~ 0.106
	MB 长度	2.986	0.187	254.906	0.000	19.798	13.723 ~ 28.563

2.4 CCTA 参数对不同收缩压迫程度 MB 的诊断效能及 ROC 曲线分析

在检查 MB 是否伴有收缩压迫方面, MCA-COD 的诊断敏感度和特异度相比标化 TAG 和 MB 长度更高, 且三者联合检测相比各指标单独测定在预测

重度收缩压迫时的诊断价值更高。三者联合诊断在轻度收缩压迫组的诊断敏感度为 83.12%, 特异度为 80.00%, ROC 曲线下面积为 0.816 (95% CI 0.768 ~ 0.864); 在重度收缩压迫组的诊断敏感度为 90.62%, 特异度为 87.50%, ROC 曲线下面积为

0.844(95% CI 0.799 ~ 0.890)(表 4 和图 3、图 4)。

表 4. CCTA 参数诊断不同程度收缩压迫 MB 效能比较

Table 4. Comparison of the efficacy of CCTA parameters in diagnosing MB with different degrees of systolic compression

分组	诊断方法	敏感度 (%)	特异度 (%)	阳性预测值 (%)	阴性预测值 (%)	约登指数	AUC(95% CI)
轻度收缩压迫组	MCA-COD	65.00	71.67	75.91	69.06	0.367	0.749(0.694 ~ 0.804)
	标化 TAG	81.88	58.75	66.50	76.42	0.406	0.679(0.614 ~ 0.744)
	MB 长度	75.00	63.12	67.04	71.63	0.381	0.631(0.564 ~ 0.698)
	三者联合	83.12	80.00	80.12	82.58	0.6312	0.816(0.768 ~ 0.864)
重度收缩压迫组	MCA-COD	88.12	81.87	82.94	87.33	0.700	0.763(0.720 ~ 0.823)
	标化 TAG	75.62	85.62	84.03	77.84	0.612	0.690(0.621 ~ 0.758)
	MB 长度	80.62	63.75	68.98	76.69	0.444	0.642(0.571 ~ 0.713)
	三者联合	90.62	87.50	87.88	90.32	0.7812	0.844(0.799 ~ 0.890)

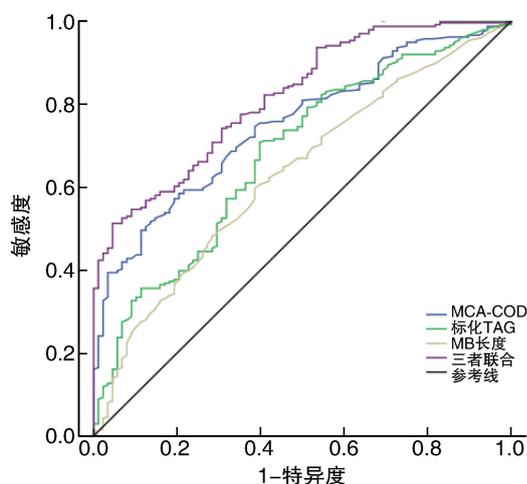


图 3. CCTA 参数诊断轻度收缩压迫 MB 的 ROC 曲线
Figure 3. ROC curve of CCTA parameters in diagnosing MB with mild systolic compression

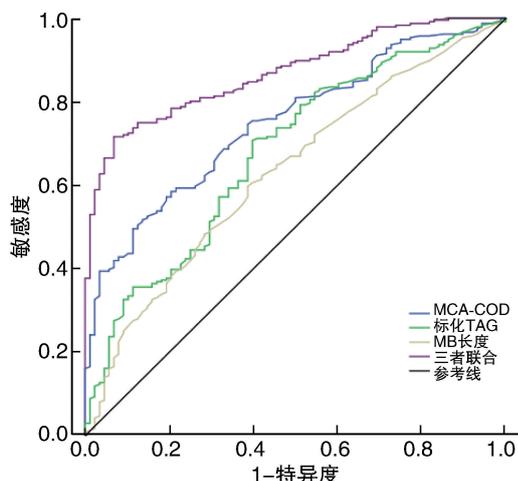


图 4. CCTA 参数诊断重度收缩压迫 MB 的 ROC 曲线
Figure 4. ROC curve of CCTA parameters in diagnosing MB with severe systolic compression

3 讨论

心肌桥是指穿走于心肌的冠状动脉被心肌纤维包裹,该冠状动脉被称为 MCA。MCA 的分布位置、长度、形态以及直径均是冠状动脉血流量的重要影响因素,进一步对心肌细胞的血供产生显著影响。MCA 血流动力学模型研究证实 MB 近端是 MCA 管腔压力变化的主要发生部位,MB 入口处血流往往存在不同程度的运行阻力。以往临床上常根据解剖结果显示的 MCA 位置深浅对 MB 形态学进行分型,一般包括纵深型以及表浅型。但将上述 2 种分型应用于活体患者仍过于粗泛,不能囊括影像学检查表现出的所有 MB 形态^[1]。CT 作为一种经典的 MCA 检查手段,能够客观反映患者 MCA 的具体形态细节;CCTA 具有敏感度和特异度良好等优势,已经成为冠心病筛查的关键检查手段^[9]。但随着临床实践发现,CT 扫描对于患者恶性肿瘤的发生具有促进作用,且随着 CCTA 在临床广泛的应用,这一问题越来越引发临床医师和患者的重视。有研究显示恶性肿瘤患者中约 2% 左右的发病诱因属于 CT 检查^[10]。故在满足成像图片的诊断质量前提下,为患者制订量身定做的个体差异化扫描策略从而有效降低 CT 的辐射剂量具有重要的临床意义。IRA 是目前临床上降低 CT 辐射剂量的最常用方法^[4],有研究结果显示采用 IRA 进行的低剂量 CCTA 扫描不仅可以有效降低患者的辐射剂量,还可以得到能够满足临床诊断需求的成像图片,其图片质量虽相比常规剂量成像图片有所下降,但两者不存在显著性差异($P>0.05$)^[11]。

TAG 值是反映 MCA 血管密度差异的参数,而

MCA-COD 值对于体现显著压迫的 MCA 密度差异会更加直观。心肌桥 MCA 狭窄主要发生在收缩期, TAG 值表现为在 MCA 狭窄部位下降速度相比正常动脉更快,且 TAG 值的下降斜率与动脉狭窄程度存在显著正相关。研究报道联合应用基于 CCTA 数据计算的 MCA-COD 值和 TAG,可以有效提高心肌桥 MCA 重度压迫的检出率,准确度进一步提高^[12]。本文研究结果显示随着收缩压迫程度增加,患者 TAG、标化 TAG 参数水平逐渐下降, MCA-COD 以及 MB 长度逐渐增大,重度收缩压迫组与轻度收缩压迫组、无收缩压迫组相比,差异具有统计学意义($P < 0.001$),但轻度收缩压迫组和无收缩压迫组之间差异不具统计学意义($P > 0.05$)。潘存雪等^[13]研究报道 TAG 值容易受强化程度、动脉直径以及测量误差等多种因素的影响,故本文对 TAG 值与主动脉腔内值进行标化,以标化 TAG 对强化梯度以及 MCA 压迫程度进行评估更加准确客观,结果更加合理可靠。王玉君等^[14]研究结果证实 MCA-COD 以及 MB 长度与患者 MB 收缩压迫程度存在显著正相关性,标化 TAG 与患者 MB 收缩压迫程度存在负相关性($P < 0.05$);本文研究结果与此一致。另外本文研究结果显示 MCA-COD 指标在检查 MB 是否伴有收缩期压迫方面的诊断敏感度和特异度相比标化 TAG 和 MB 长度更高,且三者联合检测在预测重度收缩压迫时的诊断价值更高;三者联合诊断在轻度收缩压迫组的诊断敏感度和特异度为 83.12%,特异度为 80.00%,ROC 曲线下面积为 0.816(95% CI 0.768 ~ 0.864);在重度收缩压迫组的诊断敏感度和特异度为 90.62%,特异度为 87.50%,ROC 曲线下面积为 0.844(95% CI 0.799 ~ 0.890),相比各指标单独测定诊断价值更高。分析其可能原因是伴轻度收缩压迫患者的 MCA 狭窄仅表现在收缩期,而伴重度收缩压迫患者的 MCA 狭窄长时间存在,甚至可延续至舒张晚期,从而导致血管内血流量严重减少以及管腔密度急剧下降。故三者指标在预测重度收缩压迫组患者的诊断价值更高^[15]。另外,存在重度收缩压迫的 MB 在收缩期的血流量以及血流速度明显变缓,但其在舒张期时的血流速度相比收缩期会显著增加,两个时期血流速度会形成明显差异。且在舒张期,血管内血流会快速向远端末梢流动,从而在 TAG 密度曲线上表现为 MB 入口和出口的血管密度存在显著差异,但此现象一般不会对动脉粥样硬化导致的动脉狭窄中表现出来。

综上所述, MCA-COD、TAG 及校正值作为基于 IRA 的前瞻性心电门控低剂量 CCTA 检查指标,对

于评估伴重度收缩压迫 MB 具有重要诊断价值。

[参考文献]

- [1] Li Y, Yu M, Zhang J, et al. Non-invasive imaging of myocardial bridge by coronary computed tomography angiography: the value of transluminal attenuation gradient to predict significant dynamic compression[J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(5): 1971-1979.
- [2] Vogrin S, Harper R, Paratz E, et al. Comparative effectiveness of routine invasive coronary angiography for managing unstable angina [J]. *Ann Intern Med*, 2017, 166(11): 836.
- [3] Jørgensen ME, Andersson C, Nørgaard BL, et al. Functional testing or coronary computed tomography angiography in patients with stable coronary artery disease[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 69(14): 1761-1770.
- [4] Adamson PD, Fordyce CB, Mcallister DA, et al. Identification of patients with stable chest pain deriving minimal value from coronary computed tomography angiography: An external validation of the PROMISE minimal-risk tool[J]. *Int J Cardiol*, 2018, 252: 31-34.
- [5] Ippolito D, Fior D, Franzesi CT, et al. Diagnostic accuracy of 256-row multidetector CT coronary angiography with prospective ECG-gating combined with fourth-generation iterative reconstruction algorithm in the assessment of coronary artery bypass: evaluation of dose reduction and image quality[J]. *Radiol Med*, 2017, 122(12): 893-901.
- [6] 高润霖, 刘冰. 经皮冠状动脉介入治疗指南[J]. *中国循环杂志*, 2003, 37(2): 55-64.
- [7] 余蒙蒙, 李跃华, 李文彬, 等. 舒张期冠状动脉 CTA 管腔内密度衰减率预测心肌桥收缩压迫程度[J]. *中国医学影像技术*, 2017, 33(8): 1143-1147.
- [8] 谢伟, 谢元亮, 王翔, 等. 冠状动脉血管密度梯度参数对伴收缩期压迫的心肌桥的诊断价值[J]. *临床放射学杂志*, 2018, 37(7): 1107-1111.
- [9] Forsdahl SH, Rogers IS, Schnittger I, et al. Myocardial bridges on coronary computed tomography angiography—Correlation with intravascular ultrasound and fractional flow reserve[J]. *Circ J*, 2017, 81(12): 1894-1899.
- [10] 邸茹杰, 孙振学, 于显钊, 等. 高端影像学检查 CT 辐射的安全认知和意识水平调查[J]. *武警医学*, 2017, 28(7): 730-732.
- [11] Dekker KH, Battista JJ, Jordan KJ. Technical note: Evaluation of an iterative reconstruction algorithm for optical CT radiation dosimetry[J]. *Med Phys*, 2017, 44(12): 6678-6682.
- [12] 陈亚磊, 王瑞, 贺毅, 等. 冠状动脉 CT 血管成像腔内衰减梯度评价慢性完全闭塞病变侧支循环及其影响因素[J]. *中华心血管病杂志*, 2017, 45(10): 857-861.
- [13] 潘存雪, 索伦格, 党军, 等. 不同扫描触发阈值设定对双能量冠状动脉 CT 血管成像效果的影响[J]. *中华放射学杂志*, 2018, 52(2): 96-102.
- [14] 王玉君, 刘海霞, 冯长超. 128 层 CT 冠脉成像心肌桥和壁冠状动脉狭窄程度的定量分析[J]. *检验医学与临床*, 2017, 14(14): 306-311.
- [15] 马贺, 张家禧, 高雯, 等. 心肌桥近段冠状动脉粥样硬化性狭窄临床特点及危险因素研究[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2017, 9(6): 748-750.

(此文编辑 曾学清)