



## 冠状动脉CT血管造影测量管腔密度梯度预测心肌桥收缩期压迫程度

盛开, 陆靖, 张佳胤, 钟叶, 李跃华

引用本文:

盛开, 陆靖, 张佳胤, 等. 冠状动脉CT血管造影测量管腔密度梯度预测心肌桥收缩期压迫程度[J]. 中国临床医学, 2020, 27(4): 613–619.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20201120>

### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 基于单中心的中国人群自发性冠状动脉夹层临床特征与治疗策略

Clinical characteristic and therapy strategy of spontaneous coronary artery dissection based on single-center experience in China

中国临床医学. 2018, 25(2): 188–193 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2018.20170683>

#### 减影冠状动脉CT血管成像对轻中度钙化积分患者的诊断价值

Diagnostic value of subtraction coronary computed tomography angiography in patients with mild-moderate calcification score

中国临床医学. 2018, 25(1): 35–39 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2018.20170305>

#### 基于单中心的冠状动脉慢血流危险因素分析及其与炎症反应的相关性

Risk factors of coronary slow flow and its correlation with inflammatory response based on single clinical center in China

中国临床医学. 2018, 25(2): 194–198 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2018.20180136>

#### Barthel评分对高龄急性冠状动脉综合征患者介入治疗预后的评估价值

Significance of Barthel index in elderly acute coronary syndrome patients undergoing percutaneous coronary intervention

中国临床医学. 2018, 25(6): 879–883 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2018.20180120>

#### 2型糖尿病合并冠状动脉慢性完全闭塞病变围手术期心肌损伤预测因素分析

Analysis on predictive factors of periprocedural myocardial injury for type 2 diabetes patients with chronic total occlusion

中国临床医学. 2017, 24(1): 16–20 <https://doi.org/10.12025/j.issn.1008-6358.2017.20161184>

DOI:10.12025/j.issn.1008-6358.2020.20201120

## 冠状动脉 CT 血管造影测量管腔密度梯度预测心肌桥收缩期压迫程度

盛开<sup>1</sup>, 陆靖<sup>1</sup>, 张佳胤<sup>1</sup>, 钟叶<sup>2\*</sup>, 李跃华<sup>1</sup>

1. 上海交通大学附属第六人民医院放射科, 上海 200233

2. 上海市青浦区中心医院放射科, 上海 201700

**[摘要]** **目的:**探讨冠状动脉 CT 血管造影(coronary computed tomography angiography, CCTA)测量的管腔密度衰减梯度(transluminal attenuation gradient, TAG)对预测心肌桥(myocardial bridge, MB)收缩期压迫程度的有关价值。**方法:**收集2017年1月至2019年12月,进行冠状动脉 CT 血管造影(CCTA)检查,且于前后1个月内实行有创性冠状动脉造影(invasive coronary angiography, ICA)检查,确诊为心肌桥的患者的临床资料并进行回顾性分析。经 ICA 影像学诊断,将受试患者分成:无心肌桥收缩压迫、心肌桥收缩压迫程度 $<50\%$ 以及心肌桥收缩压迫程度 $\geq 50\%$ 三组。TAG 被定义为造影剂浓度的衰减和冠状动脉管腔长度之间的线性回归系数。通过测量心肌桥的长度和深度,以及心肌桥血管的 TAG,探寻这三者与在 ICA 检查中检测出的收缩期压迫程度之间的联系。**结果:**共纳入分析 244 例患者。TAG 在无心肌桥收缩压迫的患者、心肌桥收缩压迫 $<50\%$ 以及心肌桥收缩压迫 $\geq 50\%$ 三组中线性相关( $r=-0.53, P<0.001$ ),其数值分别为 $[-9.56\pm 4.11]$  HU/10 mm,  $P<0.001$ ,  $[-13.35\pm 5.82]$  HU/10 mm,  $P<0.001$ 以及 $[-17.48\pm 6.97]$  HU/10 mm,  $P<0.001$ 。反观 MB 长度或深度与心肌桥血管收缩期压迫程度未见明显相关性。经 ROC 曲线分析可得 TAG 最佳临界值取值为 $-14.8$  HU/10 mm 时,其曲线下面积最大即 0.801,诊断准确性为 82.0%,高于其他两组。**结论:**冠状动脉 CTA 上测量的 TAG 能预测 MB 收缩期压迫情况,而 MB 长度或深度对预测 MB 收缩压迫程度的诊断准确度不佳。

**[关键词]** 冠状动脉造影;腔内衰减梯度;心肌桥;冠状动脉疾病**[中图分类号]** R 445.2 **[文献标志码]** A**The value of transluminal attenuation gradient measured by coronary computed tomography angiography in predicting the degree of systolic compression of myocardial bridge**SHENG Kai<sup>1</sup>, LU Jing<sup>1</sup>, ZHANG Jia-yin<sup>1</sup>, ZHONG Ye<sup>2\*</sup>, LI Yue-hua<sup>1</sup>

1. Department of Radiology, Shanghai Sixth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200233, China

2. Department of Radiology, Shanghai Qingpu Central Hospital, Shanghai 201700, China

**[Abstract]** **Objective:** To investigate the value of transluminal attenuation gradient (TAG) measured by coronary computed tomography angiography (CCTA) in predicting systolic compression of myocardial bridge (MB). **Methods:** Between January 2017 and December 2019, clinical data of patients diagnosed with MB by both CCTA and invasive coronary angiography (ICA) within one month were collected and analyzed retrospectively. According to their ICA findings, patients were divided into three groups: patients without systolic compression, patients with systolic compression  $<50\%$ , and patients with systolic compression  $\geq 50\%$ . TAG was defined as the linear regression coefficient between the contrast agent concentration of the luminal attenuation in the coronary artery and the length from the vessel ostium. By measuring the length and depth of MB, as well as the TAG of MB vessels, the relationship between these three parameters and the degree of systolic compression detected by ICA was explored. **Results:** Totally, 244 patients meeting the inclusion criteria were included. TAG showed a linear correlation ( $r=-0.53, P<0.001$ ) in the three groups of patients without MB systolic compression, MB systolic compression  $<50\%$  and MB systolic compression  $\geq 50\%$ , with values of  $[-9.56\pm 4.11]$  HU/10 mm,  $P<0.001$ ,  $[-13.35\pm 5.82]$  HU/10 mm,  $P<0.001$  and  $[-17.48\pm 6.97]$  HU/10 mm,  $P<0.001$ . In contrast, there was no significant correlation between the length or depth of MB and the degree of the systolic compression of MB. When the best cut-off value of TAG was determined by ROC curve analysis as  $-14.8$  HU/10 mm, area under curve was 0.801, and its diagnostic accuracy (82.0%)

**[收稿日期]** 2020-05-17**[接受日期]** 2020-06-05**[基金项目]** 国家自然科学基金(81671673),上海市重中之重医学影像重点学科(2017ZZ02005),青浦区卫生和计划生育委员会科研课题(W2018-07). Supported by National Natural Science Foundation of China (81671673), Shanghai Key Discipline of Medical Imaging (2017ZZ02005) and Qingpu Scientific Research Project of Health and Family Planning Commission (W2018-07).**[作者简介]** 盛开,技师. E-mail: 876141604@qq.com

\*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-69719190, E-mail: chzhhb03@sina.com

were higher than those of the other two control groups. **Conclusions:** TAG measured by coronary CTA can predict systolic compression of myocardial bridge. However, the length or depth of MB is not very accurate in predicting the degree of the systolic compression of myocardial bridge.

**[Key Words]** coronary computed tomography angiography; transluminal attenuation gradient; myocardial bridge; coronary artery disease

心肌桥(MB)是一种较为常见的先天性冠状动脉血管畸形,它是指冠状动脉表面为心肌纤维所包绕或走行于心肌内<sup>[1]</sup>。从血管造影和尸体解剖研究来看,大部分 MB 见于前降支(LAD)中段及远端<sup>[2]</sup>。虽然通过临床结果<sup>[3]</sup>认定大多数 MB 患者是良性的,但 MB 可能与心肌缺血<sup>[4]</sup>、急性冠状动脉综合征<sup>[5]</sup>、心律失常<sup>[6]</sup>、冠状动脉痉挛<sup>[7-8]</sup>和心源性猝死<sup>[9-10]</sup>等临床表现有关。

MB 的检出率在不同的成像方式中,存在显著差异。MB 在有创性冠状动脉造影(ICA)检查时由于典型的“挤牛奶效应”不易显现从而漏诊,而其在冠状动脉 CT 血管造影(CCTA)检查的诊断是基于冠状动脉和心肌纤维两者之间的直接解剖学关系,所以 ICA 对心肌桥的检出率明显低于 CCTA<sup>[11-16]</sup>。然而,心肌桥的临床意义在于动态压迫引起的下游心肌血流动力学改变。通过无创的冠脉 CT 来鉴别心肌桥血管是否存在动态压迫从而确定合适的治疗方案,具有重要的临床意义。就此建立了传统的 CCTA 形态学指标,如 MB 长度和深度,以及分析它们与 ICA 显示收缩压迫的关系<sup>[15-16]</sup>。然而,在以往的研究<sup>[15-16]</sup>结果中发现,不同 MB 解剖特征的预测价值存在较大差异。腔内衰减梯度(transluminal gradient, TAG)最初被用于评价冠状动脉狭窄的血流动力学意义,该指标定义为冠状动脉管腔内造影剂浓度衰减与冠状动脉长度之间的线性回归系数<sup>[17-19]</sup>。假设 TAG 可能具有预测心肌桥血管动态压迫的价值。因此,本文旨在研究和 ICA 相比,CCTA 指标对于预测 MB 动态压迫的诊断效能。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 对在 2017 年 1 月至 2019 年 12 月期间,连续 1 个月内接受 CCTA 和 ICA 检查的患者资料进行回顾性分析。入组标准:(1)至少有一种影像学检查(CCTA 和/或 ICA)显示 MB 的存在;(2)CCTA 与 ICA 的检查时间间隔小于 1 个月。排除标准:(1)两种影像学方法均未检出 MB;(2)靶血管(MB 血管)合并有阻塞性冠状动脉狭窄(定义为

经 ICA 诊断的直径狭窄程度 $\geq 50\%$ ,该狭窄也可能导致 TAG 改变);(3)冠状动脉再血管化治疗病史者(如 PCI 或搭桥术后);(4)靶血管弥漫性钙化(定义为长度 $\geq 5$  mm 的环周钙化);(5)CCTA 与 ICA 间隔时间大于 1 个月;(6)CCTA 图像存在质量问题,无法满足诊断要求。

1.2 CCTA 扫描方案 采用西门子第三代双源 CT (SOMATOM Force, Siemens Healthineers, Forchheim, 德国)进行扫描。在检查前 1 h,对心率大于 65 次/min 且排除患有  $\beta$ -受体阻滞剂禁忌证(如支气管哮喘、严重心动过缓、房室传导阻滞、重度心力衰竭、急性肺水肿等症状)的患者后口服酒石酸美托洛尔(25~75 mg,阿斯利康,中国),在确认无硝酸甘油禁忌证(如:青光眼、严重贫血、颅内压过高及对硝酸甘油过敏等症状)的前提下,所有患者舌下含服硝酸甘油(0.3 g)。使用双筒高压注射器(Tyco, Cincinnati, 美国),以 4.5~5 mL/s 的速率将对剂碘帕醇(370 mg/mL,拜耳先灵,德国)团注于左侧肘正中静脉,随后以相同速率用 20~40 mL 的生理盐水进行冲洗,并采用对比剂团注追踪法进行扫描,设置感兴趣的区域于升主动脉内,延迟时间设定为 4 s 加上升主动脉的峰值时间时启动扫描。扫描参数如下:在最终心率 $\geq 70$  bpm 的患者中,使用回顾性心电门控模式进行图像采集,管电压=120 kVp,管电流设为 200~500 mAs,螺距设为 0.2~0.5,参考管电流和螺距根据心电门控自适应调整来最大程度地减少辐射有效剂量,重建层厚=0.6 mm,重建层间距=0.5 mm,探测器准直=64 $\times$ 0.6 mm,球管旋转时间=300 ms,40%~70%的 R-R 间隔为全剂量时间窗。在最终心率 $< 70$  bpm 的患者中进行前瞻性 ECG 触发的 CCTA 扫描,触发窗口的中心设置为 RR 间隔的 70%。其余前瞻性 ECG 扫描相关参数与回顾性 ECG 扫描参数相同。

1.3 CCTA 图像重建与分析 数据传至后处理工作站(Syngo Via, 西门子)选取图像质量最佳的心脏期相图像进行重建和分析。重建的图像序列主要包括:曲线重建图像(CPR)、多平面重建图像

(MPR)、轴位横断面图像、血管截面图、容积重建图像(VR)以及最大密度投影图像(MIP)。

如果冠状动脉节段在轴位横断面图像,血管截面图像上显示完全被心肌所包绕,则诊断为MB。在CPR上测量MB长度,而MB的深度则是通过测量血管截面图像上覆盖心肌的最大厚度来确定的。当MB表面覆盖的心肌厚度 $\leq 1$  mm时,记录1 mm的厚度,以便进一步定量分析。所有的管腔衰减测量均在血管截面图像上进行,通过手工绘制感兴趣区域(ROI,大小=2 mm<sup>2</sup>)放置于管腔中心,并避开血管壁钙化。起止点自冠脉开口到血管横截面 $\leq 2$  mm<sup>2</sup>,以每隔5 mm血管横截面中央手动设置ROI,记录ROI内平均CT值。研究显示,衰减梯度是由冠状动脉每10 mm长度上管腔内CT值(HU)的衰减变化确定,定义为HU与冠状动脉长度之间的线性回归系数。本次研究还测量了参考血管的TAG,当存在右冠优势或左冠优势时,以右冠状动脉或左回旋支作为参考血管,以便与MB血管的TAG进行比较。

由两名有经验的放射科医师(分别有9年和12年心血管成像经验)在对临床病史和既往ICA结果不知情的情况下,独立分析病变并测量MB血管的TAG,将两次测量的TAG平均值用于进一步分析。对40个随机选择的病变中进行Bland-Altman分析,以检验评估者之间的一致性。

**1.4 ICA诊断** ICA采用经股动脉入路或经桡动脉入路,每支主要心外膜血管均至少采集两组或以上投照体位图像。由两名经验丰富的观察者(分别有25年和19年的冠状动脉介入治疗经验)在对CCTA结果不知情的情况下评估所有节段。至少具有一个投照体位发现冠脉于舒张期管径正常,但在收缩期管径狭窄,呈“挤牛奶效应”,则诊断为

MB,通过目测法比较收缩末期和舒张末期桥节段的管腔直径来确定收缩期直径变窄的程度。据此将患者分为3个亚组:无动态压迫、轻度动态压迫( $<50\%$ )及显著动态压迫( $\geq 50\%$ )。

**1.5 统计学处理** 使用SPSS和MedCalc 19.0.7版进行统计分析。采用单样本Kolmogorov-Smirnov检验来验证正态分布假设,正态分布的定量变量用 $\bar{x} \pm s$ 表示,其余用中位数和四分位数表示。 $t$ 检验和Mann-Whitney  $U$ 检验分别用于正态分布和非正态分布的数据。三组数据的组间比较采用方差分析(正态分布)或Kruskal Wallis检验(非正态分布)。Pearson和Spearman相关分析,用于比较ICA评定的收缩期压迫程度与CCTA评定的TAG、MB深度和长度的相关性。通过约登指数确定各参数的最佳临界值,采用Delong法生成ROC曲线,并计算出TAG、MB长度和MB深度三者灵敏度、特异性和阳性预测值以及阴性预测值。

## 2 结果

**2.1 临床特征** 2017年至2019年,本中心共有1 130例患者同时接受CCTA和ICA检查,其中有408例患者存在MB。根据排除标准,共有164例患者因不同原因无法评估予以排除出组。最终本研究共对244例患者,平均年龄(65.77 $\pm$ 10.24)岁进行回顾性分析,其中186例男性患者[平均年龄:(64.84 $\pm$ 10.43)岁],58例女性患者[平均年龄:(68.72 $\pm$ 9.07)岁]。CCTA的剂量长度乘积(DLP)为(459.3 $\pm$ 132.1) mGy $\times$ cm。CCTA使用的平均对比剂量为(81.7 $\pm$ 8.9) mL。CCTA和ICA检查之间的平均间隔时间为(9.3 $\pm$ 6.3) d。患者一般资料见表1。

表1 患者基本情况

指标	所有患者( $n=244$ )	无动态压迫( $n=174$ )	动态压迫 $<50\%$ ( $n=31$ )	动态压迫 $\geq 50\%$ ( $n=39$ )
年龄(岁)	65.77 $\pm$ 10.24(34~91)	65.52 $\pm$ 10.42(34~91)	66.68 $\pm$ 9.83(48~88)	66.15 $\pm$ 9.93(43~82)
男性 $n(\%)$	186(76.23)	131(75.29)	24(77.42)	31(79.49)
女性 $n(\%)$	58(23.77)	43(24.71)	7(22.58)	8(20.51)
病变位置 $n(\%)$				
LAD	243(99.59)	173(99.43)	31(100.00)	39(100.00)
RCA	1(0.41)	1(0.57)	0(0.00)	0(0.00)

注:LAD:前降支;RCA:右冠状动脉

**2.2 CCTA和ICA检测到的MB发病率** 经CCTA检测出的MB患者共计408例,其中116例患者同时经ICA诊断发现。CCTA和ICA检测到的MB发生

率分别为36.1%(408/1 130)和10.3%(116/1 130)。

此外,为确保对MB血管准确分析,共有164例患者因符合前述排除标准,被排除出组。在纳入研究

的244例患者中,通过ICA检查证实有70例患者依据不同程度的动态压迫确认了MB的存在(39例收缩期压迫 $\geq 50\%$ ,31例收缩期压迫 $< 50\%$ )。

2.3 CCTA指标与ICA评估的MB动态压迫的相关性 计算分析3种CCTA指标即:MB血管的TAG(腔内衰减梯度)、MB长度和MB深度,来测试

它们与ICA评估的MB动态压迫的相关性。Bland-Altman分析显示,两个评估者所测到的TAG的平均差值为 $-1.6 \text{ HU}/10 \text{ mm}$ (95%CI为 $-7.2 \text{ HU}/10 \text{ mm} \sim 3.9 \text{ HU}/10 \text{ mm}$ ),两者之间TAG测量的相关系数为 $0.922$ (95%CI: $0.857 \sim 0.958$ , $P < 0.001$ )。典型病例如图1、图2。

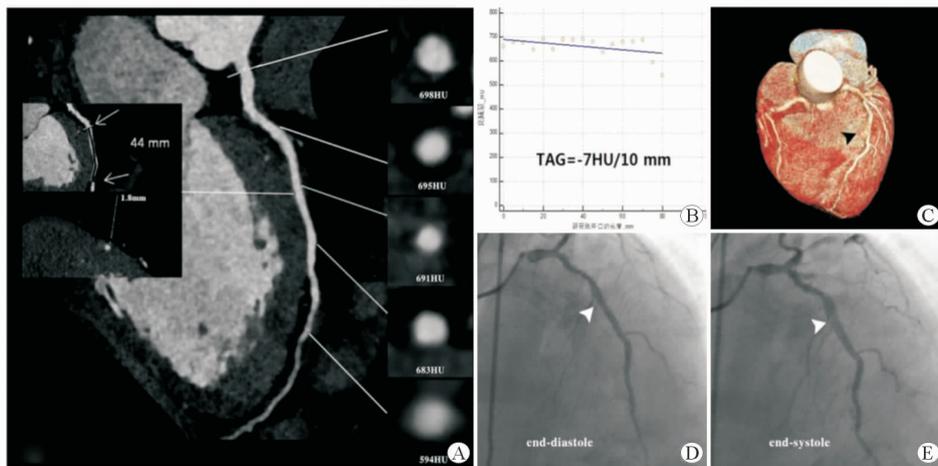


图1 无MB收缩压迫患者图像

A: CPR图像显示LAD中段存在MB(白箭头所示)。在CPR和血管截面上测得MB的长度和深度分别为44 mm和1.8 mm。在横截面图像上LAD近端至远端测量的血管管腔密度衰减略有减少;B:坐标图显示TAG值为 $-7 \text{ HU}/10 \text{ mm}$ ,高于TAG的临界值,该值视为无显著动态压迫意义的;C:VR图像上LAD中段局部走行于心肌内(黑色箭头所示);D、E:ICA证实了LAD中段无显著的MB动态压迫(白箭头所示)。CPR:曲面重建;ICA:有创性冠状动脉造影;LAD:左前降支;MB:心肌桥;TAG:管腔密度衰减梯度;VR:容积重建图像

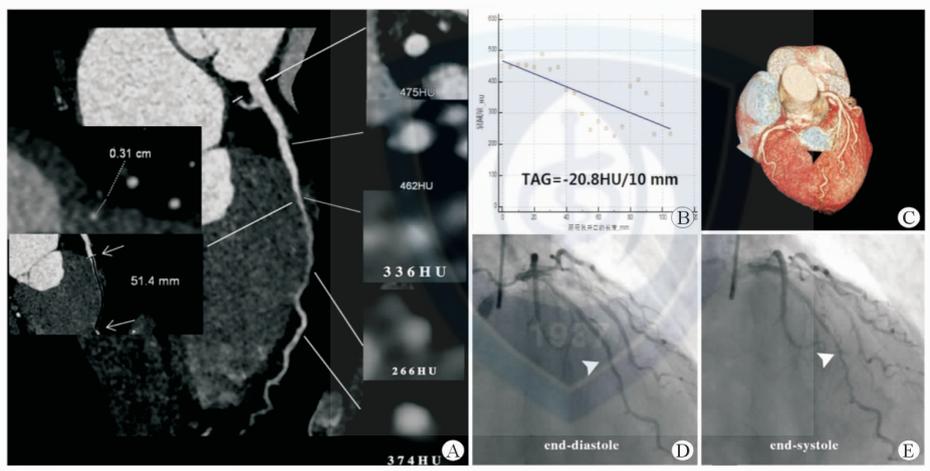


图2 存在MB收缩压迫患者图像

A: CPR图像显示LAD中段存在MB(白箭头所示)。在CPR和血管截面上测得MB的长度和深度分别为51.4 mm和3.1 mm。在横截面图像上LAD近端至远端测量的血管管腔密度衰减显著降低;B:坐标图显示TAG值为 $-20.8 \text{ HU}/10 \text{ mm}$ ,低于TAG的临界值,该值视为具有显著动态压迫意义的;C:VR图像上LAD中段局部被心肌覆盖(黑色箭头所示);D、E:ICA检查证实LAD中段存在显著的动态压迫(白箭头所示)。CPR:曲面重建;ICA:有创性冠状动脉造影;LAD:左前降支;MB:心肌桥;TAG:管腔密度衰减梯度;VR:容积重建图像

将TAG分为三个亚组(没有动态压迫的MB,轻度动态压迫的MB和显著动态压迫的MB患者),发现TAG在有显著MB压迫的患者中数值最低 $[-17.48 \pm 6.97] \text{ HU}/10 \text{ mm}$ ,而在无MB压迫患者中的数值最高 $[-9.56 \pm 4.11] \text{ HU}/10 \text{ mm}$ ,

(表2)。反观MB长度和MB深度这两个指标在三个亚组中的分布相似,不同亚组之间的差异很小(表2)。根据Pearson相关分析,TAG与MB动态压迫程度之间的相关性最佳( $r = -0.53$ ,95%CI= $-0.61 \sim -0.43$ , $P < 0.001$ ;图3)。参考血管的

TAG 明显大于具有显著动态压迫的 MB 血管的 TAG $[-(7.08 \pm 5.01)$  HU/10 mm vs  $(-17.48 \pm 6.97)$  HU/10 mm], ( $P < 0.001$ )。

2.4 CCTA 参数对 MB 动态压迫的诊断性能 通过 ROC 曲线分析确定每个 CCTA 参数的最佳临界

值来识别 MB 动态压迫。在 ROC 曲线分析中(表 3、图 4)发现,TAG 具有最大的曲线下面积(AUC)。此外,当 TAG 临界值为 $-14.8$  HU/10 mm 时,所有参数具有最佳的诊断准确性、灵敏度、特异性以及阴性预测值(表 4)。

表 2 三组间不同 CCTA 参数分布差异

指标	所有患者(n=244)	无动态压迫(n=174)	动态压迫<50%(n=31)	动态压迫≥50%(n=39)	P 值
TAG(HU/10 mm)	-11.31 ± 5.71	-9.56 ± 4.11	-13.35 ± 5.82	-17.48 ± 6.97	<0.0001
MB 长度(mm)	23.96 ± 12.12	23.67 ± 12.36	22.82 ± 8.35	26.16 ± 13.48	0.2173
MB 深度(mm)*	1(1~1.6)	1(1~1.7)	1(1~1.3)	1(1~1.2)	0.0795

\* 结果显示为中位数(第一个四分位数至第三个四分位数)

CCTA:冠状动脉 CT 血管造影;MB:心肌桥;TAG:管腔密度衰减梯度

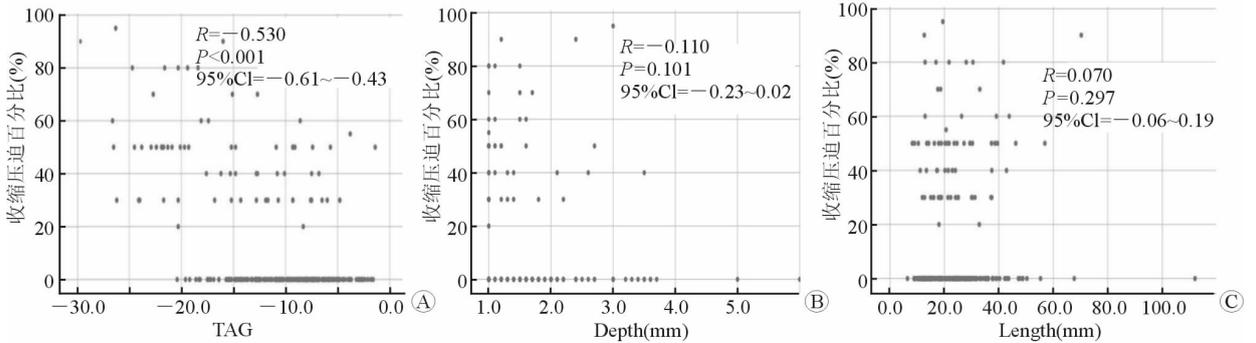


图 3 经 CCTA 与 ICA 得出的参数测得的收缩压迫百分比线性回归图

A:收缩压迫百分比与 TAG 之间具有显著的线性相关性(pearson 相关, $r = -0.53$ ,  $P < 0.001$ );B:收缩压迫百分比与 MB 深度之间无显著相关性(pearson 相关, $r = -0.11$ ,  $P = 0.101$ );C:收缩压迫百分比与 MB 长度之间无显著相关性(pearson 相关, $r = 0.07$ ,  $P = 0.297$ ). CCTA:冠状动脉 CT 血管造影;ICA:有创性冠状动脉造影;MB:心肌桥;TAG:管腔密度衰减梯度

表 3 ROC 曲线分析

指标	AUC	P 值	95%CI	最佳临界值
TAG(HU/10 mm)	0.801	<0.001	0.745~0.849	-14.8
MB 长度(mm)	0.553	0.317	0.488~0.617	37.1
MB 深度(mm)	0.566	0.110	0.502~0.629	1.2

经 ICA 诊断 MB 收缩压迫 $\geq 50\%$ 定义为该 MB 具有显著的动态压迫。AUC:曲面下面积;CCTA:冠状动脉 CT 血管造影;ICA:有创性冠状动脉造影;MB:心肌桥;ROC:接受者操作特征性曲线;TAG:管腔密度衰减梯度

### 3 讨论

目前的研究具有 2 个主要发现。(1)TAG 与 MB 的动态压迫程度相关,而 MB 长度和 MB 深度没有表现出这种相关性。(2)当 TAG $\leq -14.8$  HU/10 mm(最佳临界值)时,对 MB 的显著动态压迫具有较高的诊断准确率(81.97%,200/244)。

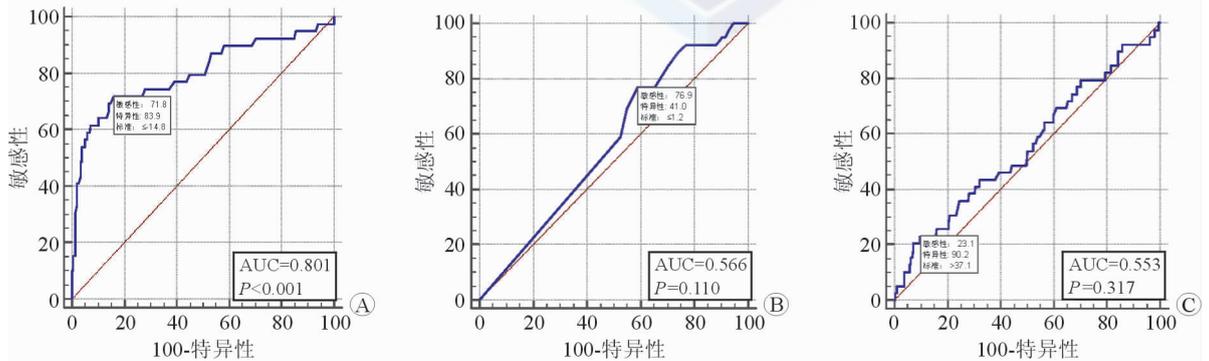


图 4 ROC 曲线分析密度梯度,病变长度和深度对诊断收缩压迫 $\geq 50\%$ 的价值

A-C:密度梯度显示出最大的曲面下面积和最佳的诊断表现(TAG vs depth,  $P = 0.0008$ ; TAG vs length,  $P = 0.0003$ ; length vs depth,  $P = 0.8607$ ). AUC:曲面下面积;CCTA:冠状动脉 CT 血管造影;ICA:有创性冠状动脉造影;MB:心肌桥;ROC:接受者操作特征性曲线;TAG:管腔密度衰减梯度

表4 CCTA参数对MB动态压迫 $\geq 50\%$ 的诊断表现

(%)

指标	诊断准确性	敏感性(95%CI)	特异性(95%CI)	阳性预测率(95%CI)	阴性预测率(95%CI)
TAG $\leq -14.8$ HU/10 mm	81.97 (200/244)	71.79 (55.1~85.0)	83.9 (78.1~88.7)	45.9 (37.0~55.1)	94.0 (90.4~96.3)
MB长度 $>37.1$ mm	81.15 (198/244)	23.08 (11.1~39.3)	90.24 (85.3~93.9)	31 (18.1~47.7)	86.0 (83.8~88.0)
MB深度 $\leq 1.2$ mm	46.72 (114/244)	76.92 (60.7~88.9)	40.98 (34.2~48.0)	19.9 (16.8~23.4)	90.3 (83.7~94.4)

CCTA:冠状动脉CT血管造影;MB:心肌桥;TAG:管腔密度衰减梯度;95%CI:95%置信区间

MB是一种常见的冠状动脉先天性解剖异常,尸检发现,高达40%~80%的病例可见MB<sup>[1]</sup>。虽然MB通常被认为是一种良性解剖变异,但它可能与动态压迫相关的临床表现有关<sup>[4-10]</sup>。临床治疗的指导原则是通过在负荷试验中观察冠状动脉管腔内有无血流动力学改变或心肌缺血等表现来确立的<sup>[20]</sup>。因此,为了确定合适的治疗方案,检测MB是否存在明显的动态压迫具有重要的临床意义。

ICA是目前评估MB动态压迫程度的参考标准,因此ICA可以用于可靠的定量分析。尽管CCTA的MB的检出率高于ICA,但是先前CCTA预测MB动态压迫的特异性较低,只有23%~46%的MB病例被CCTA检测到<sup>[15-16]</sup>。此外,因为在不同的研究<sup>[15-16]</sup>中MB长度或深度显示出不同的诊断准确性,故CCTA研究中对于动态压迫的形态学预测尚存在争议。这种差异的根本原因在于他们的分析方法,其中仅包括形态学指标(MB长度、深度和位置)的评估。从以往的研究<sup>[3]</sup>中得知,MB的收缩压迫程度取决于多种因素的协同作用,例如MB的深度和长度,MB相对于心肌纤维的方向以及MB周围是否存在疏松结缔组织或脂肪组织。此外,由于CCTA检查对呼吸伪影、心率等因素的较高敏感性,不能确保每个病例都有高质量的舒张末期和收缩末期图像来进行准确的定量分析。因此,传统的CCTA评价MB方法的价值有限。

本研究探索了一种新的参数TAG来评价MB的动态压迫,该指标对预测MB收缩压迫程度的诊断准确性明显高于MB长度和深度等传统形态学参数。TAG最初由Steigner<sup>[21]</sup>引入,用以描述正常冠状动脉管腔的衰减梯度,随后由Choi等<sup>[17-19]</sup>研究人员进行细化,发现这一指标可能与冠状动脉狭窄的血流动力学意义有关,提高了CCTA检查对冠状动脉狭窄的诊断性能。而另一项研究<sup>[22]</sup>还揭示了TAG对检测钙化病变的严重狭窄的潜在临床意义。

TAG在新领域的潜在开发应用也显示出令人鼓舞的初步结果。与其他传统解剖参数相比,TAG可以确定相关的动态压迫,故具有更高的诊断价值。TAG改变的潜在机制可能由2个因素来解释。(1)心肌缺血引起的MB不仅与收缩期血管压迫有关,而且与持续性舒张期充盈功能障碍有关<sup>[23]</sup>,这可能导致收缩期和舒张期时无法完全填充造影剂,从而导致该段管腔衰减降低。其次,显著的动态压迫可能与下游血流受限有关,这也可能导致TAG的改变,类似于此前研究的阻塞性冠状动脉疾病的情况<sup>[24]</sup>。这2个因素产生的协同效应可能会改变MB血管的TAG。本研究具有很高的阴性预测值(94.0%),因此,本研究的临床意义在于,通过TAG的临床应用来排除MB的显著动态压迫,这可能有助于确定合适的治疗方案。

本研究的局限性如下,(1)由于其回顾性设计和缺乏相关的功能学检查对照,大多数研究对象在ICA或FFR测量之前没有进行心肌灌注成像,无法确定在MB病例中TAG是否与血流动力学状态相关,所以还需进一步利用前瞻性研究来证实TAG在MB患者中的价值;(2)因CT技术限制,较多患者的扫描结果无法保证收缩期和舒张期同时满足重建要求,故选取图像质量最佳的时期图像进行重建分析,而心肌桥在CCTA的舒张期和收缩期时相重建图像存在差异可能引起腔内衰减梯度改变;(3)未使用宽体探测器CT扫描,因此无法同时获得整个心脏图像。测量的衰减梯度将高度依赖于注入对比剂的扫描时间。因此,如果扫描在对比剂注入后期进行,从而导致腔内衰减梯度改变,降低其预测MB显著动态压迫的准确度。未来的宽体探测器CT研究可能会进一步提高MB病例中TAG的诊断性能。

综上所述,ICA评估的MB的收缩压迫程度与TAG显著相关,使用 $-14.8$  HU/10 mm作为最佳

临界值具有较高的诊断性能,可以预测 MB 的显著压迫。

## 参考文献

- [1] GEIRINGER E. The mural coronary[J]. *Am Heart J*, 1951, 41(3):359-368.
- [2] KO B S, SENEVIRATNE S, CAMERON J D, et al. Rest and stress transluminal attenuation gradient and contrast opacification difference for detection of hemodynamically significant stenoses in patients with suspected coronary artery disease [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2016, 32 (7): 1131-1141.
- [3] CORBAN M T, HUNG O Y, ESHTEHARDI P, et al. Myocardial bridging: contemporary understanding of pathophysiology with implications for diagnostic and therapeutic strategies[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014,63(22): 2346-2355.
- [4] GOWDA R M, KHAN I A, ANSARI A W, et al. Acute ST segment elevation myocardial infarction from myocardial bridging of left anterior descending coronary artery[J]. *Int J Cardiol*, 2003,90(1):117-118.
- [5] YANO K, YOSHINO H, TANIUCHI M, et al. Myocardial bridging of the left anterior descending coronary artery in acute inferior wall myocardial infarction [J]. *Clin Cardiol*, 2001,24(3):202-208.
- [6] 孙贺建, 田福利. 冠状动脉心肌桥致恶性心律失常 1 例[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2015,7(1):134.
- [7] STUIJFZAND W J, DANAD I, RAIJMAKERS P G, et al. Additional value of transluminal attenuation gradient in CT angiography to predict hemodynamic significance of coronary artery stenosis[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2014,7(4): 374-386.
- [8] TERAGAWA H, FUKUDA Y, MATSUDA K, et al. Myocardial bridging increases the risk of coronary spasm[J]. *Clin Cardiol*, 2003,26(8):377-383.
- [9] CUTLER D, WALLACE J M. Myocardial bridging in a young patient with sudden death[J]. *Clin Cardiol*, 1997,20 (6):581-583.
- [10] MORALES A R, ROMANELLI R, BOUCEK R J. The mural left anterior descending coronary artery, strenuous exercise and sudden death [J]. *Circulation*, 1980, 62 (2): 230-237.
- [11] JACOBS J E, BOD J, KIM D C, et al. Myocardial bridging: evaluation using single- and dual-source multidetector cardiac computed tomographic angiography [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2008,32(2):242-246.
- [12] 郑玲, 张龙江, 黄伟, 等. 双源 CT 心肌桥的检出率及其价值[J]. *临床放射学杂志*, 2008,27(2):186-189.
- [13] LU G M, ZHANG L J, GUO H, et al. Comparison of myocardial bridging by dual-source CT with conventional coronary angiography[J]. *Circ J*, 2008,72(7):1079-1085.
- [14] KAWAWA Y, ISHIKAWA Y, GOMI T, et al. Detection of myocardial bridge and evaluation of its anatomical properties by coronary multislice spiral computed tomography[J]. *Eur J Radiol*, 2007,61(1):130-138.
- [15] ZEINA A R, ODEH M, BLINDER J, et al. Myocardial bridge: evaluation on MDCT [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2007,188(4):1069-1073.
- [16] KIM P J, HUR G, KIM S Y, et al. Frequency of myocardial bridges and dynamic compression of epicardial coronary arteries: a comparison between computed tomography and invasive coronary angiography [J]. *Circulation*, 2009, 119 (10):1408-1416.
- [17] CHOI J H, MIN J K, LABOUNTY T M, et al. Intracoronary transluminal attenuation gradient in coronary CT angiography for determining coronary artery stenosis[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2011,4(11):1149-1157.
- [18] WONG D T, KO B S, CAMERON J D, et al. Transluminal attenuation gradient in coronary computed tomography angiography is a novel noninvasive approach to the identification of functionally significant coronary artery stenosis: a comparison with fractional flow reserve[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013,61(12):1271-1279.
- [19] WONG D T, KO B S, CAMERON J D, et al. Comparison of diagnostic accuracy of combined assessment using adenosine stress computed tomography perfusion + computed tomography angiography with transluminal attenuation gradient + computed tomography angiography against invasive fractional flow reserve[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 63(18):1904-1912.
- [20] SCHWARZ E R, GUPTA R, HAAGER P K, et al. Myocardial bridging in absence of coronary artery disease: proposal of a new classification based on clinical-angiographic data and long-term follow-up[J]. *Cardiology*, 2009,112(1): 13-21.
- [21] STEIGNER M L, MITSOURAS D, WHITMORE A G, et al. Iodinated contrast opacification gradients in normal coronary arteries imaged with prospectively ECG-gated single heart beat 320-detector row computed tomography[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2010,3(2):179-186.
- [22] ZHENG M, WEI M, WEN D, et al. Transluminal attenuation gradient in coronary computed tomography angiography for determining stenosis severity of calcified coronary artery: a primary study with dual-source CT [J]. *Eur Radiol*, 2015,25(5):1219-1228.
- [23] BOURASSA M G, BUTNARU A, LESPÉRANCE J, et al. Symptomatic myocardial bridges: overview of ischemic mechanisms and current diagnostic and treatment strategies [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2003,41(3):351-359.
- [24] STUIJFZAND W J, DANAD I, RAIJMAKERS P G, et al. Additional value of transluminal attenuation gradient in CT angiography to predict hemodynamic significance of coronary artery stenosis[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2014,7(4): 374-386.