

❖ 心脏、血管影像学

Deep neural network model based on coronary CT angiography for detection and classification of left anterior descending branch myocardial bridge

JIA Yanan¹, ZHAO Pengfei², LI Ruoping², LI Yuwei², ZHANG Jinyao²,
XU Xiaoyang², ZHU Haifeng^{1*}

(1. Department of Radiology, the Civil Aviation General Hospital, Beijing 100123, China;

2. Keya Medical Technology Co. Ltd., Shenzhen 518100, China)

[Abstract] **Objective** To observe the value of the constructed deep neural network based on coronary CT angiography (CCTA) for automatic detection and classification of left anterior descending branch (LAD) myocardial bridge. **Methods** Data of 726 patients who underwent CCTA for chest pain and discomfort were retrospectively analyzed. The diagnosis and classification (superficial type or deep type) of myocardial bridges were performed by 2 radiologists. Patients with and without myocardial bridges were assigned to training set and test set according to the ratio of 7:3 and 1:2, respectively. Then a deep neural network residual network-long short-term memory (Resnet-LSTM) model was established based on CCTA to detect and classify LAD myocardial bridge. Data in the training set were used to train the model, while those in the test set were used to test the performances of the model according to the diagnostic results of radiologists. **Results** CCTA showed that, among 726 patients, 453 cases were found with at least 1 myocardial bridge in LAD, and totally 654 myocardial bridges were diagnosed, 561 in LAD and the rest 93 in the left circumflex branch or the first diagonal branch, including 503 superficial type and 58 deep type. In the training set, there were 333 cases with myocardial bridge and 91 cases without myocardial bridge, totally 406 LAD myocardial bridges including 365 superficial type and 41 deep type. In the test set, 120 cases were found with and 182 cases without myocardial bridge, and totally 155 LAD myocardial bridges were detected, including 138 superficial type and 17 deep type ones, among which 139 located at the proximal or middle part and 16 at the distal of LAD. In the test set, Resnet-LSTM model detected 137 LAD myocardial bridges in 130 cases, misdiagnosed 27 cases and missed 17 cases, with the sensitivity of 85.83% (103/120) and specificity of 85.16% (155/182), with high consistency to the radiologists' diagnostic results (Kappa=0.70, $P<0.05$). Resnet-LSTM model detected 131 proximal or middle LAD myocardial bridges, misdiagnosed 2 and missed 10, the diagnostic accuracy was 92.81% (129/139). Resnet-LSTM model detected 36 distal LAD myocardial bridges, misdiagnosed 28 and missed 8, and the diagnostic accuracy was 50.00% (8/16). Resnet-LSTM model correctly classified 120 LAD myocardial bridges as superficial type and 17 as deep type, misdiagnosed 13 deep type as superficial type and 9 superficial type as deep type, the classification accuracy was 83.94% (115/137). **Conclusion** The established deep neural network Resnet-LSTM model based on CCTA had good performances for detecting and classifying LAD myocardial bridges, hence having certain clinical application value.

[Keywords] coronary artery disease; myocardial bridging; neural networks, computer; left anterior descending branch

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2022.06.016

[第一作者] 贾亚男(1982—),女,北京人,本科,主治医师。研究方向:心血管及头颈血管疾病影像学诊断。E-mail: jiayanan401402@163.com

[通信作者] 朱海峰,民航总医院放射科,100123。E-mail: haifeng_zh@sohu.com

[收稿日期] 2021-07-20 [修回日期] 2021-10-21

基于冠状动脉 CT 血管造影深度神经网络模型 检出和分类左前降支心肌桥

贾亚男¹, 赵鹏飞², 李若平², 李育威², 张今尧², 许晓阳², 朱海峰^{1*}

(1. 民航总医院放射科, 北京 100123; 2. 深圳科亚医疗科技有限公司, 广东 深圳 518100)

[摘要] **目的** 观察基于冠状动脉血管造影(CCTA)构建左前降支(LAD)心肌桥检出和分类深度神经网络模型的应用价值。**方法** 回顾性分析 726 例因胸痛不适接受冠状动脉 CTA 患者,由 2 名影像科医师诊断心肌桥并分为浅表型或纵深型。分别按 7:3 及 1:2 比例将心肌桥患者及非心肌桥患者归入训练集和测试集。建立基于 CCTA 的深度神经网络残差-长短期记忆级联网络(Resnet-LSTM)模型,用于检测及分类 LAD 心肌桥。采用训练集对模型进行学习训练;以影像科医师诊断结果为标准,利用测试集数据检测模型性能。**结果** CCTA 显示,726 例中,453 例存在至少 1 处 LAD 心肌桥;共检出 654 处心肌桥,其中 561 处位于 LAD、93 处位于左回旋支及第一对角支等。561 处 LAD 心肌桥中,503 处为浅表型,58 处为纵深型。训练集含 333 例心肌桥患者共 406 处 LAD 心肌桥(365 处浅表型和 41 处纵深型)和 91 例非心肌桥患者;测试集含 120 例心肌桥患者共 155 处 LAD 心肌桥(138 处浅表型和 17 处纵深型,139 处位于 LAD 近、中段,16 处位于 LAD 远段)和 182 例非心肌桥患者。针对测试集数据,Resnet-LSTM 模型检出 130 例存在 137 处 LAD 心肌桥(含浅表型 120 处、纵深型 17 处),误诊 27 例、漏诊 17 例,诊断敏感度为 85.83%(103/120),特异度为 85.16%(155/182),与医师诊断结果的一致性高(Kappa=0.70, $P<0.05$);检出 131 处 LAD 近中段心肌桥,误诊 2 处、漏诊 10 处,诊断准确率为 92.81%(129/139);检出 36 处 LAD 远段心肌桥,误诊 28 处、漏诊 8 处,诊断准确率为 50.00%(8/16);将其中 13 处纵深型误诊为浅表型、9 处浅表型误诊为纵深型,分类准确率为 83.94%(115/137)。**结论** 基于 CCTA 的深度神经网络 Resnet-LSTM 模型用于检出和分类冠状动脉 LAD 心肌桥性能较好,具有一定临床应用价值。

[关键词] 冠状动脉疾病; 心肌桥; 神经网络, 计算机; 左前降支

[中图分类号] R825.4; R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2022)06-0859-05

冠状动脉走行于心肌表面,其末端分支进入心肌,输送氧气和营养。异常情况下,血管走行于心肌内部,在心脏收缩期受心肌压迫而引起心肌缺血,此时覆盖在血管表面的心肌称为心肌桥。冠状动脉左前降支(left anterior descending branch, LAD)走行其中的心肌纤维是心室心肌的直接延伸,易在收缩期压迫 LAD 致其狭窄^[1-2]。检出心肌桥并准确分类对预防和诊断冠状动脉疾病十分重要。冠状动脉 CT 血管造影(coronary CT angiography, CCTA)是评估冠状动脉狭窄的可靠方法,可用于检测心肌桥长度和厚度^[3-4]。作为一种基于人工智能的学习模型,深度神经网络已广泛应用于医学影像去噪、检测钙化及评估病变血管狭窄程度等方面^[5-8]。本研究观察基于 CCTA 构建深度神经网络模型以检出和分类 LAD 心肌桥的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2020 年 9 月—2021 年 1 月 726 例因胸痛于民航总医院接受 CCTA 检查患者,男 377 例,女 349 例,年龄 24~86 岁,平均(58.9±11.7)岁;其中 273 例罹患冠状动脉粥样硬化或心脏疾病。排除图像存在伪影者。

1.2 仪器与方法 采用 GE Revolution 256 层螺旋

CT,以智能心电门控技术进行 CCTA 扫描。嘱患者平静呼吸,扫描范围自气管分叉下方 1 cm 处至心脏膈面水平,管电压 120 kV,管电流 300~700 mAs 自动调节,探测器 16 mm,球管转速 0.28 s/rot。采用智能追踪技术,以气管分叉水平下方 10 cm 处升主动脉为追踪点,阈值达 100 HU 后自动触发扫描;对比剂为碘佛醇(350 mgI/ml),注射流率 4.5~5.5 ml/s,剂量为 0.8 ml/kg 体质量。以多模型迭代重建算法重建收缩末期和舒张中期图像,层厚 0.625 mm。

1.3 图像分析 由 2 名具有 10 年以上工作经验的影像科副主任或主任医师分别于 GE AW4.7 工作站行三维重建,获得冠状动脉结构图像,提取冠状动脉中心线并行曲面重建,于其中测量心肌桥厚度与长度,于壁冠状动脉受压最显著部位、与其走行长轴垂直层面测量心肌最远点与壁冠状动脉之间的距离,记为心肌桥厚度;沿冠状动脉血管中心测量其长度;按照国际心血管 CT 协会冠状动脉分段标准^[9],根据心肌桥起点、终点、最深处位置及所在血管分支对心肌桥进行诊断并评估其类别为浅表型或纵深型,意见不一致时讨论决定。诊断心肌桥标准:CCTA 显示冠状动脉血管节段性或环周 1/2 以上被心肌包绕、其远端走行于心肌外

膜组织中时,认为该段心肌组织系心肌桥^[10];以该段冠状动脉外覆心肌厚度 $<2\text{ mm}$ 为浅表型心肌桥、 $\geq 2\text{ mm}$ 为纵深型心肌桥。

1.4 构建深度学习网络 分别按照 7:3 及 1:2 比例将心肌桥患者和非心肌桥患者归入训练集和测试集。在工程师协助下,采用基于中心线导航的深度神经网络残差-长短期记忆级联网络(residual network-long short-term memory, Resnet-LSTM)^[11-13](深圳科亚医疗科技有限公司)构建检出和分类 LAD 心肌桥的多任务模型;网络模型设计图见图 1。将收缩末期和舒张中期曲面重建冠状动脉图像(像素 50×50)导入 Resnet-LSTM 模型,以二维 Resnet 网络提取图中单个血管片层的特征,并以级联双向 LSTM 网络学习心肌桥在血管方向上的高维连续特征,以全连接网络层分别输出心肌桥位置与类别;采用分类与定位交叉熵损失函数矫正学习,自动化提取及筛选多个血管的特征,完成以血管分支为单位检出与分类心肌桥。以训练集数据对 Resnet-LSTM 模型进行学习训练,以测试集数据检测模型性能。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 20.0 统计分析软件。以医师诊断结果为标准,统计 Resnet-LSTM 模型检出 LAD 心肌桥患者及病变数量,计算其检出 LAD 心肌桥的敏感度、特异度、阳性预测值及误诊率,计算其检出及分类 LAD 心肌桥的准确率,以评价其性能。采用 Kappa 检验分析 Resnet-LSTM 模型检出 LAD 心肌桥结果与医师诊断结果的一致性:Kappa ≤ 0.20 为一致性极低,0.20<Kappa ≤ 0.40 为一致性一般,

0.40<Kappa ≤ 0.60 为一致性中等,0.60<Kappa ≤ 0.80 为一致性高,0.80<Kappa ≤ 1 为一致性极高。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 CCTA 726 例患者中,453 例存在心肌桥且均存在至少 1 处 LAD 心肌桥,其中 294 例存在 1 处、124 例存在 2 处、29 例存在 3 处、5 例存在 4 处、1 例存在 5 处;共检出 654 处心肌桥;其中 561 处(561/654, 85.78%)位于 LAD,93 处位于左回旋支和第一对角支等。293 例未见心肌桥形成。

561 处 LAD 心肌桥长度 2.19~95.07 mm,中位长度 21.56 (12.81, 32.17) mm;厚度 0.37~7.21 mm,中位厚度 1.68(1.33, 2.39) mm;44 处位于 LAD 近段,464 处位于 LAD 中段,53 处位于远段;见表 1。其中 503 处浅表型,58 处纵深型。

将 333 例心肌桥患者共 406 处 LAD 心肌桥(365 处浅表型和 41 处纵深型)及 91 例非心肌桥患者纳入训练集($n=424$),120 例心肌桥患者共 155 处 LAD 心肌桥(138 处浅表型和 17 处纵深型,其中 139 处位于 LAD 近或中段、16 处位于 LAD 远段)和 182 例非心肌桥患者纳入测试集($n=302$)。

表 1 LAD 近、中、远段心肌桥长度及厚度($n=561$)

LAD 血管段	数量[处(%)]	长度(mm)	厚度(mm)
近段	44(7.84)	11.87(6.67, 26.14)	2.59(2.34, 2.90)
中段	464(82.71)	22.73(14.46, 32.64)	1.67(1.32, 2.33)
远段	53(9.45)	15.32(8.95, 20.77)	1.96(1.45, 2.25)

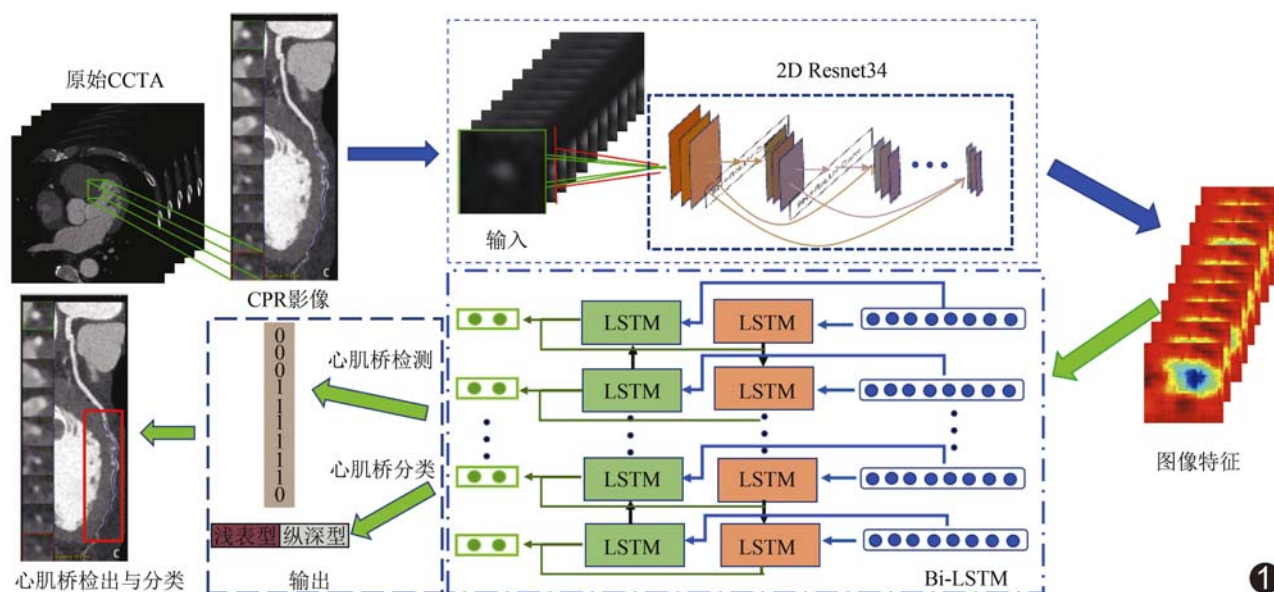


图 1 检出和分类心肌桥的 Resnet-LSTM 模型设计图

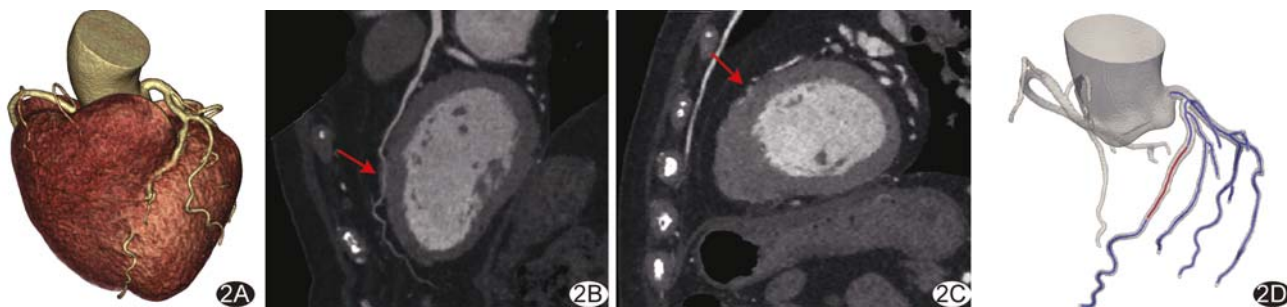


图2 患者女,77岁,LAD中段心肌桥(纵深型) A~C.分别为冠状动脉容积再现图(A)、曲面重建图(B)及矢状位图像(C)(箭示病灶);D. Resnet-LSTM模型检出心肌桥(红线)示意图

2.2 Resnet-LSTM模型检出及分类LAD心肌桥的性能 针对测试集,Resnet-LSTM模型共检出130例存在LAD心肌桥、172例未见心肌桥,误诊27例、漏诊17例,诊断敏感度为85.83%(103/120),特异度为85.16%(155/182),准确率为85.43%(258/302),阳性预测值为79.23%(103/130),误诊率为14.84%(27/182);与医师诊断结果的一致性高(Kappa=0.70, $P<0.05$)。Resnet-LSTM模型共检出167处、误诊30处漏诊18处LAD心肌桥,诊断准确率88.39%(137/155)。

对于LAD近、中段心肌桥,Resnet-LSTM模型共正确检出131处、误诊2处、漏诊10处,诊断准确率92.81%(129/139);对于LAD远段心肌桥,模型共正确检出36处、误诊28处、漏诊8处,诊断准确率为50.00%(8/16)。

Resnet-LSTM模型正确检出的测试集137处LAD心肌桥中,将其中120处分类为浅表型、17处为纵深型,将13处纵深型误归浅表型、9处浅表型误归为纵深型,分类准确率83.94%(115/137)。见图2。

3 讨论

临床诊断冠状动脉心肌桥在一定程度上依赖影像科医师的主观判断,结果缺乏客观性和可重复性。深度神经网络Resnet-LSTM采用2D Resnet网络提取血管剖面图像特征,结合LSTM网络获取血管剖面连续性信息,以级联结构实现血管3D空间特征学习;能以多任务方式快速检测并分类心肌桥,同步输出结果,实现快速自动化诊断心肌桥。

LAD是心肌桥的主要发病位置。LAD心肌桥为引起心肌缺血、心绞痛等临床症状的主要原因之一^[1-2,4]。本组心肌桥患者中,LAD中段心肌桥占比最高(464/561,82.71%)。本研究基于中心线导航的深度神经网络Resnet-LSTM建立模型,针对CCTA图像对LAD心肌桥进行检测及分类;所获模型在对测试集LAD心肌桥的检出敏感度为85.83%,特异度为

85.16%,准确率为85.43%,与医师诊断结果的一致性高;其对LAD心肌桥病灶的诊断准确率为88.39%,分类准确率达83.94%。Resnet-LSTM模型对于LAD近、中段心肌桥的检出效能高,诊断准确率达92.81%,表明其识别CCTA图像中的心肌桥的能力较好;但对LAD远段心肌桥的检出效能欠佳,诊断准确率仅50.00%。分析原因:①近、中段LAD直径相对较大,且形态结构简单、稳定,利于检出及分类心肌桥;②LAD远段分支逐渐进入心肌内部,血管剖面图像表现为心肌环绕于血管四周,影响模型检出效能。另一方面,临床基于CCTA进行诊断时,往往多关注直径较大的血管,如冠状动脉病变SYNTAX评分仅针对直径 >1.5 mm的血管病变进行评估^[14],提示识别LAD远段心肌桥准确率较低对其临床应用价值的影响有限。

本研究的局限性:①为单中心、单一设备研究,且样本中纵深型心肌桥含量过小;②所获Resnet-LSTM模型对浅表型心肌桥与非心肌桥的检测及分类性能有待提高;③未对收缩期和舒张期图像进行对比观察。

综上所述,基于CCTA的深度神经网络Resnet-LSTM模型用于检出和分类LAD心肌桥性能较好,具有一定临床应用价值。

[参考文献]

- [1] GOULD K L, JOHNSON N P. Myocardial bridges: Lessons in clinical coronary pathophysiology[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2015, 8(6):705-709.
- [2] MURTAZA G, MUKHERJEE D, GHARACHOULOU S M, et al. An updated review on myocardial bridging[J]. Cardiovasc Revasc Med. 2020, 21(9):1169-1179.
- [3] 张斌,余小平,王纯,等.冠状动脉心肌桥的诊断及临床意义[J]. 中国医学影像技术, 2004, 20(7):1042-1044.
- [4] 赵林芬,杨立,王新江,等.64层螺旋CT冠状动脉成像对心肌桥-

- 壁冠状动脉的评价[J]. 中国医学影像技术, 2008, 24(4): 545-548.
- [5] WOLTERINKJ M, van HAMERSVELT R W, VIERGEVER M A, et al. Coronary artery centerline extraction in cardiac CT angiography using a CNN-based orientation classifier[J]. Med Image Anal, 2019, 51: 46-60.
- [6] WOLTERINKJ M, LEINER T, VIERGEVER M A, et al. Generative adversarial networks for noise reduction in low-dose CT[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2017, 36(12): 2536-2545.
- [7] ZREIK M, van HAMERSVELT R W, WOLTERINKJ M, et al. A recurrent CNN for automatic detection and classification of coronary artery plaque and stenosis in coronary CT angiography[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2019, 38(7): 1588-1598.
- [8] WU D, WANG X, BAI J, et al. Automated anatomical labeling of coronary arteries via bidirectional tree LSTMs[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2019, 14(2): 271-280.
- [9] LEIPSIC J, ABBARA S, ACHENBACH S, et al. SCCT guidelines for the interpretation and reporting of coronary CT angiography: A report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2014, 8(5): 342-358.
- [10] ISHIKAWAY, AKASAKA Y, SUZUKI K, et al. Anatomic properties of myocardial bridge predisposing to myocardial infarction[J]. Circulation, 2009, 120(5): 376-383.
- [11] HE K, ZHANG X, REN S, et al. Deep residual learning for image recognition[C]. New York: IEEE, 2016: 770-778.
- [12] YE H, GAO F, YIN Y, et al. Precise diagnosis of intracranial hemorrhage and subtypes using a three-dimensional joint convolutional and recurrent neural network[J]. Eur Radiol, 2019, 29(11): 6191-6201.
- [13] 李若平, 赵鹏飞, 李俊环, 等. 医学图像分析方法和装置、计算机设备及存储介质: CN112686899A[P]. 2021-04-20.
- [14] FAROOQ V, HEAD S J, KAPPETEIN A P, et al. Widening clinical applications of the SYNTAX Score[J]. Heart, 2014, 100(4): 276-287.

文章题名要求

▲题名应以简明、确切的词语反映文章中最重要、最特定的内容,要符合编制题录、索引和检索的有关原则,并有助于选定主题词。

▲中文题名一般不宜超过 20 个字,必要时可加副题名。

▲英文题名应与中文题名含义一致。

▲题名应避免使用非公知公用的缩写词、字符、代号,尽量不出现数学公式和化学式。