

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2024.11.033

# 基于冠状动脉 CT 血管造影的血流储备分数 对高原高海拔环境下冠心病的诊断价值\*

胡婷婷<sup>1</sup> 曹成瑛<sup>1</sup> 赵文兴<sup>2</sup> 王生元<sup>1</sup> 何莹<sup>1</sup>

(1 青海省心脑血管病专科医院放射科 青海 西宁 810000; 2 青海省心脑血管病专科医院介入科 青海 西宁 810000)

**摘要 目的:**探讨冠状动脉 CT 血管造影(CCTA)的血流储备分数(FFR)对高原高海拔环境下冠心病的诊断价值。**方法:**选择 2022 年 1 月至 2023 年 5 月期间在青海省心脑血管病专科医院接受 CCTA 检查并行导丝测量 FFR 的患者 54 例为研究对象。采用 Flash 双源螺旋 CT 采集数据,基于 CCTA 图像通过流体力学原理模拟计算基于 CCTA 的 FFR(CT-FFR)。以 FFR 为金标准,分析 CT-FFR 诊断冠心病和冠脉血管病变的阳性预测值和阴性预测值、敏感度、准确性、特异度,采用受试者工作特征(ROC)曲线分析 CT-FFR 对冠心病和冠脉血管病变的诊断效能;采用 Bland-Altman 图分析 CT-FFR 与 FFR 的一致性。**结果:**CT-FFR 诊断冠心病的阳性预测值为 73.08%,阴性预测值为 89.29%,敏感度为 86.36%,准确性为 81.48%,特异度为 78.13%;CT-FFR 诊断冠心病的曲线下面积(AUC)为 0.854,95%CI 为 0.747~0.962;CT-FFR 诊断冠状动脉血管病变的阳性预测值为 71.05%,阴性预测值为 91.84%,敏感度为 87.10%,准确性为 82.76%,特异度为 80.36%;CT-FFR 诊断冠脉血管病变的 AUC 为 0.921,95%CI 为 0.865~0.978。无论是诊断冠心病还是诊断冠状动脉血管病变,CT-FFR 与 FFR 具有良好的一致性。**结论:**CT-FFR 诊断高原高海拔环境下的冠心病具有较高的准确性和敏感度,检测效能较理想,与 FFR 具有良好的一致性。

**关键词:**冠状动脉 CT 血管造影;血流储备分数;冠心病;诊断价值

**中图分类号:**R541.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2024)11-2173-04

## Diagnostic Value of Fractional Flow Reserve Based on Coronary CT Angiography for Coronary Heart Disease in High Altitude Environment of Plateau\*

HU Ting-ting<sup>1</sup>, CAO Cheng-ying<sup>1</sup>, ZHAO Wen-xing<sup>2</sup>, WANG Sheng-yuan<sup>1</sup>, HE Ying<sup>1</sup>

(1 Department of radiology, Qinghai Provincial Cardiovascular and Cerebrovascular Disease Specialized Hospital,

Xining, Qinghai, 810000, China; 2 Department of Interventional, Qinghai Provincial Cardiovascular and Cerebrovascular Disease Specialized Hospital, Xining, Qinghai, 810000, China)

**ABSTRACT Objective:** To investigate the diagnostic value of fractional flow reserve (FFR) of coronary CT angiography (CCTA) in coronary heart disease (CHD) in high altitude environment of plateau. **Methods:** 54 patients who underwent CCTA examination and guidewire measurement of FFR in Qinghai Provincial Cardiovascular and Cerebrovascular Disease Specialized Hospital from January 2022 to May 2023 were selected as the research objects. The data were collected by Flash dual-source spiral CT, CCTA-based FFR (CT-FFR) was simulated calculation by fluid mechanics principle based on CCTA images. FFR as the gold standard, positive predictive value, negative predictive value, sensitivity, accuracy and specificity of CT-FFR in the diagnosis of coronary heart disease and coronary artery lesions were analyzed, the diagnostic efficacy of CT-FFR in coronary heart disease and coronary artery lesions were analyzed by receiver operating characteristic (ROC) curve. The consistency between CT-FFR and FFR were analyzed by Bland-Altman plot. **Results:** The positive predictive value of CT-FFR in the diagnosis of coronary heart disease was 73.08%, negative predictive value was 89.29%, sensitivity was 86.36%, accuracy was 81.48%, sensitivity was 78.13%. The area under the curve (AUC) of CT-FFR in the diagnosis of coronary heart disease was 0.854, and 95%CI was 0.747~0.962. The positive predictive value of CT-FFR in the diagnosis of coronary artery lesions was 71.05%, negative predictive value was 91.84%, sensitivity was 87.10%, accuracy was 82.76%, sensitivity was 80.36%. The AUC of CT-FFR in the diagnosis of coronary artery lesions was 0.921, and 95%CI was 0.865~0.978. Whether the diagnosis of coronary heart disease or diagnosis of coronary artery lesions, CT-FFR and FFR had good consistency. **Conclusion:** CT-FFR has high accuracy and sensitivity in the diagnosis of coronary heart disease in high altitude environment, and the detection efficiency is ideal, which has good consistency with FFR.

**Key words:** Coronary CT angiography; Fractional flow reserve; Coronary heart disease; Diagnostic value

**Chinese Library Classification(CLC):** R541.4 **Document code:** A

**Article ID:** 1673-6273(2024)11-2173-04

\* 基金项目:青海省卫健委指导性课题(2020-WjZDX-86)

作者简介:胡婷婷(1987-),女,本科,主治医师,研究方向:心血管影像,E-mail: 13099799797@163.com

(收稿日期:2023-10-23 接受日期:2023-11-17)

## 前言

冠心病即冠状动脉性心脏病,是指冠状动脉狭窄、供血不足造成心肌缺血缺氧或坏死的心脏病,被称为危害人类健康的“第一杀手”<sup>[1]</sup>,严重威胁患者的生命安全,只有准确评估冠脉供血功能,才能实现冠心病的精准诊治,挽救患者的生命。有冠状动脉影像学研究表明,冠状动脉 CT 血管造影(Coronary CT angiography, CCTA)能够评估冠状动脉的解剖学狭窄,但无法准确判定狭窄血管是否产生对应心肌缺血。目前,血流储备分数(Fractional Flow Reserve, FFR)在临床上逐渐成为冠脉供血功能评估的“金标准”<sup>[3,4]</sup>,但临床上通常采用压力导丝进行测量,属于有创检测方法,限制了其临床应用。随着计算机仿真计算技术的快速发展,基于冠脉 CCTA 的 FFR 即 CT-FFR 能较好地反映冠状动脉的血流动力学情况<sup>[5,6]</sup>,可为冠心病患者预后评估提供可靠的参考信息<sup>[7,8]</sup>。高原海拔环境的低氧低压、高寒及强辐射对机体的病理或生理产生极为复杂的影响<sup>[9]</sup>,但在高原海拔环境下 CT-FFR 对冠心病的诊断效果尚不清楚。本研究探讨 CT-FFR 对高原海拔环境冠心病的诊断价值,以期临床诊疗提供参考。

## 1 资料和方法

### 1.1 一般资料

选择 2022 年 1 月至 2023 年 5 月期间在青海省心脑血管病专科医院接受 CCTA 检查并行导丝测量 FFR 的患者 54 例为研究对象,其中男 36 例,女 18 例;年龄 46~81 岁,平均(62.36±7.62)岁;高血压病史 34 例,糖尿病 21 例,高脂血症 12 例;吸烟史 17 例,饮酒史 14 例;有冠心病家族史 7 例。本研究方案获得青海省心脑血管病专科医院伦理学委员会批准进行。纳入标准:(1)在本院进行 CCTA 和行经导丝 FFR 检查,CCTA 检查在导丝 FFR 检查之前进行;(2) CCTA 显示在直径≥1.5 cm 的主支血管上至少有一处狭窄程度在 30%~90%;(3) CCTA 影像资料质量能满足 FFR 分析需求;(4)临床资料完整;(5)青海省常住居民,高原海拔环境居住时间≥10 年;(6)患者或其家属知情同意,签署同意书。排除标准:(1)既往有冠脉介入治疗史者;(2)对造影剂过敏、心率不稳、肾功能不良、严重的左室肥厚、ST 段抬高性心肌梗死等 CCTA 或 FFR 检查禁忌者;(3) CCTA 检查与导丝 FFR 检查时间间隔≥3 个月者;(4)冠脉起源异常者;(5) CCTA 影像存在严重伪影、错位等影响图像质量者。

### 1.2 方法

**1.2.1 CCTA 检测方法** 采用 Flash 双源螺旋 CT(德国西门子公司)进行 CCTA 检查,所有患者均进行普通平扫和造影剂增强扫描,扫描前若患者的心率超过 70 次/min 则在开始扫描前 1 h 给予西南药业股份有限公司生产的酒石酸美托洛尔缓释片(国药准字 H20033190,规格:25 mg)。患者取仰卧位,头先进,双手上举,扫描时患者受检者心脏位于扫描中心。扫描模式选择自适应前瞻性心电门控制序列模式,扫描时间窗设置为 30%~70%,扫描范围上取主动脉弓肺动脉段,下取膈肌下 1 cm。扫描参数:参考管电压 120 kV,参考管电流 380 mAs,根据对象心率自动调控旋转时间。图像重建参数:重建层厚 1 mm,间隔

0.7 mm,以 SAFIRE 迭代重建算法进行重建。增强扫描对比剂注射方法:平扫结束后经肘静脉以 5 mL/s 的速度注射碘普罗胺注射液(优维显 370)(国药准字 HJ20171340,规格 100 mL:76.89 g,拜耳医药保健有限公司),感兴趣区域(ROI)放置在升主动脉、降主动脉或心腔内,对比剂注射 10 s 后启动个跟踪,触发阈值 10HU,当跟踪触发技术到达阈值,嘱患者在静息状态下吸气后屏气,触发 6 s 后开始扫描,冠状动脉重建时相选择 75%时相。

**1.2.2 FFR 检测方法** 使用 FFR 压力导丝系统(圣犹达医疗用品上海有限公司)测定导丝 FFR,按常规行冠脉造影判定需压力导丝检查的靶血管,完成冠脉造影后进行主动脉及压力导丝校零,将 6F 引导管置于目标冠脉开口处,置入压力感受器,将主动脉压力与压力导丝压力同步后将压力导丝送至靶血管病变远端,压力稳定后经肘正中静脉输注三磷酸腺苷二钠注射液(西南药业股份有限公司,国药准字 H50021612,规格:2 mL:20 mg)诱发最大充血状态,输注速率:(体重公斤数×10)mL/h,读取数据并计算导丝 FFR,FFR=冠脉狭窄时最大血流量/冠脉无狭窄时最大血流量。诊断阈值为 0.8,FFR>0.8 为阴性,FFR≤0.8 为阳性<sup>[10]</sup>。

**1.2.3 CT-FFR 检测方法** 将 CCTA 影像原始数据导入 CT-FFR 分析软件(数坤科技股份有限公司)进行分析。CT-FFR 分析软件基于 CCTA 影像进行冠脉树的三维几何模型进行构建,血管中心线和轮廓由软件自动构建,必要时手动微调。利用计算流体力学方法模拟冠脉内血流与压力,经软件分析获取冠脉树任意点上的 CT-FFR 值,诊断阈值为 0.8,CT-FFR>0.8 为阴性,CT-FFR≤0.8 为阳性<sup>[11]</sup>。

### 1.3 统计学方法

采用 SPSS26.0 进行统计学分析,计量资料表示用均数±标准差( $\bar{x}±s$ )描述,计数资料用%表示。以 FFR 诊断为金标准,计算 CT-FFR 诊断冠心病以及冠脉血管病变的阳性预测值、阴性预测值、准确性、敏感度、特异度,采用受试者工作特征(ROC)曲线分析 CT-FFR 对冠心病和冠脉血管病变的诊断效能;采用 Bland-Altman 图分析 CT-FFR 与 FFR 的一致性。

## 2 结果

### 2.1 CT-FFR 诊断冠心病的价值

本研究 54 例患者,共 87 支目标血管。以 FFR 为金标准,CT-FFR 诊断冠脉血管病变的阳性预测值为 71.05% [27/(27+11)],阴性预测值为 91.84% [45/(4+45)],敏感度为 87.10% [27/(27+4)],准确性为 82.76% [(27+45)/87],特异度为 80.36% [45/(11+45)];任意一支目标血管阳性即诊断为冠心病,CT-FFR 诊断冠心病的阳性预测值为 73.08% [19/(19+7)],阴性预测值为 89.29% [25/(3+25)],敏感度为 86.36% [19/(19+3)],准确性为 81.48% [(19+25)/54],特异度为 78.13% [25/(7+25)]。详见表 1、表 2。

### 2.2 CT-FFR 对冠心病的诊断效能的 ROC 曲线分析

以 FFR 为状态变量,以 CT-FFR 为检验变量,CT-FFR 诊断冠心病的曲线下面积为 0.854,95%CI 为 0.747~0.962;CT-FFR 诊断冠脉血管病变的曲线下面积为 0.921,95%CI 为 0.865~0.978。

表 1 CT-FFR 诊断冠脉血管病变的价值(支)

Table 1 Value of CT-FFR in the diagnosis of coronary artery lesions (branch)

| FFR       | CT-FFR |      |           | Accuracy(%) | Sensitivity(%) | Specificity(%) | Positive predictive value(%) | Negative predictive value(%) |
|-----------|--------|------|-----------|-------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|
|           | ≤ 0.8  | >0.8 | Summation |             |                |                |                              |                              |
| ≤ 0.8     | 27     | 11   | 38        | 82.76       | 87.10          | 80.36          | 71.05                        | 91.84                        |
| >0.8      | 4      | 45   | 49        |             |                |                |                              |                              |
| Summation | 31     | 56   | 87        |             |                |                |                              |                              |

表 2 CT-FFR 诊断冠心病的价值(例)

Table 2 The value of CT-FFR in the diagnosis of coronary heart disease (n)

| FFR       | CT-FFR |      |           | Accuracy(%) | Sensitivity(%) | Specificity(%) | Positive predictive value(%) | Negative predictive value(%) |
|-----------|--------|------|-----------|-------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|
|           | ≤ 0.8  | >0.8 | Summation |             |                |                |                              |                              |
| ≤ 0.8     | 19     | 7    | 26        | 81.48       | 86.36          | 78.13          | 73.08                        | 89.29                        |
| >0.8      | 3      | 25   | 28        |             |                |                |                              |                              |
| Summation | 22     | 32   | 54        |             |                |                |                              |                              |

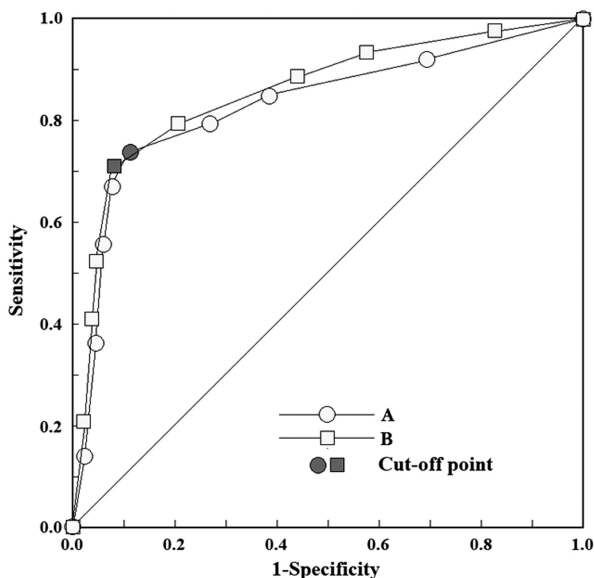


图 1 CT-FFR 诊断冠心病及冠脉血管病变的 ROC 曲线(A:诊断冠心病;B:冠脉血管病变)

Fig. 1 ROC curve of CT-FFR in the diagnosis of coronary heart disease and coronary artery lesions (A: diagnosis of coronary heart disease; B: coronary artery lesions)

2.3 CT-FFR 与 FFR 的一致性

绘制 CT-FFR 与 FFR 的 Bland-Altman 图(见图 2),可见无论是诊断冠心病还是冠脉血管病变,多数样本点均落在 (Mean±1.96 SD)这一范围内,CT-FFR 与 FFR 具有良好的一致性。

3 讨论

近年来冠心病患病率呈逐年增加的趋势,严重威胁患者的生命安全,及时准确地诊断是精准治疗的前体,对确保患者生命安全意义重大<sup>[2]</sup>。目前冠心病常用的影像学检查手段主要由 ICA 和 CCTA,ICA 和 CCTA 均可以提供冠脉的解剖信息,可

较好地反映患者血管狭窄程度<sup>[13,14]</sup>,然而单凭视觉上评估的冠脉狭窄程度无法精准评估其与心肌血供的具体关系。为了弥补视觉评估的局限,学界提出通过评价冠脉狭窄的功能学指标予以弥补并得到广泛的认可。FFR 是通过压力测定冠脉血流的新指标,是指心外膜冠脉存在狭窄时该血管所供应区域能获得的最大心肌血流量与同区域无狭窄时最大心肌血流量的比值<sup>[5]</sup>,目前已被证实可作为评价心外膜冠脉狭窄功能性评价的 "金标准"。然而,常规 FFR 需经导管测量,属于有创诊断方法,压力导丝及药物的使用不仅增加了检测成本,增加了手术时间,同时还增加了 FFR 测量过程中的不适度和不良反应,限制了其临床应用<sup>[6]</sup>。

CT-FFR 本质上是一种无创的图像后处理新技术,其基本原理是计算机技术模拟流体力学原因,以常规 CCTA 所获得的三维图像辅以计算机专用软件模拟冠脉解剖结构,联合冠脉生理学的数学模型、流体动力学原理模拟目标血管血流情况,进而计算其血流速度和压力,经计算获得 FFR<sup>[7]</sup>,能较客观准确反映冠脉狭窄的解剖严重程度和生理效应。临床上 CT-FFR 的使用可大幅度减少 ICA 的使用,提高血运重建占比,对冠心病的诊断和预后预测均具有一定的价值<sup>[8]</sup>,目前已被建议推广用于冠状动脉疾病的诊断、风险评估、个体化治疗方案的制定中<sup>[9]</sup>。然而,高原高海拔环境下冠心病的危险因素与低海拔地区呈现出明显的差异<sup>[20]</sup>,高原高海拔环境的低氧低压和高寒可刺激交感神经,人体血液中红细胞占比更大,血液粘滞性增强,血管血流阻力更大<sup>[21]</sup>;另外高原海拔环境的冠心病患者高血压、血脂异常的比例更高<sup>[22]</sup>,这样的情况下 CT-FFR 诊断冠心病是否具有很好的精准性目前尚缺乏足够的临床证据。

本研究显示,无论是诊断冠脉血管病变还是诊断冠心病患者,CT-FFR 诊断高原海拔环境下的冠心病准确性、敏感度和阴性预测值均超过 80%,ROC 曲线分析表明 CT-FFR 诊断高原海拔环境下的冠心病的 AUC 高于 0.85,且与 "金标准" 的 FFR 具有高度一致性,表明 CT-FFR 诊断高原海拔环境下的冠心病

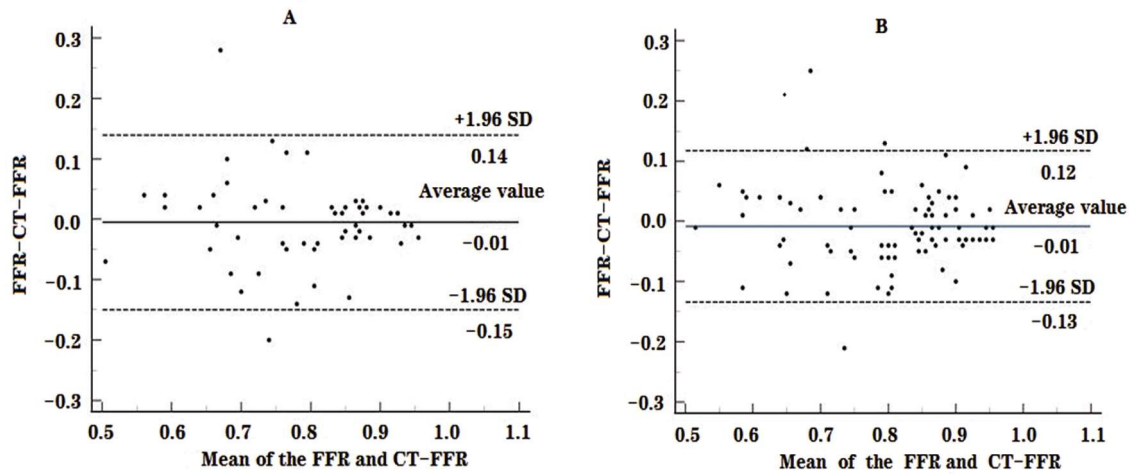


图 2 CT-FFR 与 FFR 的 Bland-Altman 图(A: 诊断冠心病; B: 冠脉血管病变)

Fig. 2 Bland-Altman plot of CT-FFR and FFR (A: diagnosis of coronary heart disease; B: coronary artery lesions)

可获得较理想的准确性, 诊断效能较为理想。虽然高原海拔环境下冠心病的危险因素与低海拔地区有差异, 但 CT-FFR 检测仪常规 CCTA 三维图像为基础, 通过专业软件模拟冠脉解剖结构及血流情况, 从而客观反映出冠脉狭窄的解剖严重程度及生理效应<sup>[23,24]</sup>, 其检测过程不易受高原海拔环境的影响。因此本研究认为 CT-FFR 诊断冠心病适用于高原海拔环境。本研究中阳性预测值较低, 刚达到 70% 左右, 这可能与 CT-FFR 的计算软件有关, 推测通过优化计算软件或许能进一步提高 CT-FFR 诊断冠心病的阳性预测值<sup>[25]</sup>。

综上所述, CT-FFR 对高原海拔环境下冠心病具有较高的诊断价值, 但本研究也存在一定的局限, 其一是本研究仅纳入高原海拔环境患者, 未与低海拔患者进行对照分析, 后续尚需与低海拔环境进行对照分析以进一步验证其准确性; 其次本研究患者样本含量较小, 尚需多中心大样本临床研究予以进一步证实。

参考文献(References)

[1] Cybulska B, Kłosiewicz-Latoszek L. Landmark studies in coronary heart disease epidemiology. The Framingham Heart Study after 70 years and the Seven Countries Study after 60 years [J]. *Kardiol Pol*, 2019, 77(2): 173-180.

[2] Cademartiri F, Casolo G, Clemente A, et al. Coronary CT angiography: a guide to examination, interpretation, and clinical indications[J]. *Expert Rev Cardiovasc Ther*, 2021, 19(5): 413-425.

[3] Peper J, Becker LM, van Kuijk JP, et al. Fractional Flow Reserve: Patient Selection and Perspectives[J]. *Vasc Health Risk Manag*, 2021, 14(17): 817-831.

[4] B?aziak M, Urban S, Jura M, et al. Fractional flow reserve-guided treatment in coronary artery disease: Clinical practice [J]. *Adv Clin Exp Med*, 2021, 30(10): 1075-1084.

[5] Choi AD. CT-FFR: Real-World Questions, and the New CAD Imaging Triple Aim[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2023, 16(8): 1066-1068.

[6] Anastasius M, Magg iore P, Huang A, et al. The clinical utility of FFRCT stratified by age [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2021, 15 (2): 121-128.

[7] Peper J, Such? D, Swaans M, et al. Functional cardiac CT-Going

beyond Anatomical Evaluation of Coronary Artery Disease with Cine CT, CT-FFR, CT Perfusion and Machine Learning [J]. *Br J Radiol*, 2020, 93(1113): 20200349.

[8] Khav N, Ihdahid AR, Ko B. CT-Derived Fractional Flow Reserve (CT-FFR) in the Evaluation of Coronary Artery Disease [J]. *Heart Lung Circ*, 2020, 29(11): 1621-1632.

[9] 侯海文, 陈田凤, 郝汇聪, 等. 高海拔地区冠状动脉粥样硬化性心脏病患者冠状动脉病变的相关因素[J]. *岭南心血管病杂志*, 2021, 27 (5): 520-525.

[10] 周晓婧, 提拉柯孜·图尔荪, 冯伟, 等. 冠状动脉 CT 血流储备分数在冠状动脉临界狭窄患者心肌缺血诊断中的应用 [J]. *山东医药*, 2023, 63(27): 43-46.

[11] Coenen A, Rossi A, Lubbers MM, et al. Integrating CT Myocardial Perfusion and CT-FFR in the Work-Up of Coronary Artery Disease [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(7): 760-770.

[12] 王正芳, 姜润涵, 吴天学, 等. I<sub>p</sub>-PLA<sub>2</sub>/RBP 与冠心病病变程度相关性及其疾病诱发的危险因素分析 [J]. *现代生物医学进展*, 2022, 22(23): 4546-4550.

[13] Knuuti J, Ballo H, Juarez-Orozco LE, et al. The performance of non-invasive tests to rule-in and rule-out significant coronary artery stenosis in patients with stable angina: a meta-analysis focused on post-test disease probability[J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(35): 3322-3330.

[14] 高艳, 顾慧, 杨世锋, 等. 基于冠状动脉 CT 血管成像的斑块定量分析及其与心肌缺血损伤的相关性研究 [J]. *中华放射学杂志*, 2020, 54(2): 129-135.

[15] Scoccia A, Tomaniak M, Neleman T, et al. Angiography-Based Fractional Flow Reserve: State of the Art[J]. *Curr Cardiol Rep*, 2022, 24(6): 667-678.

[16] 祁冬, 何兴义, 姚木子, 等. 基于冠状动脉 CT 血管成像的血流储备分数诊断心肌缺血的研究进展[J]. *江苏大学学报(医学版)*, 2022, 32(1): 88-92.

[17] Gohmann RF, Seitz P, Pawelka K, et al. Combined Coronary CT-Angiography and TAVI Planning: Utility of CT-FFR in Patients with Morphologically Ruled-Out Obstructive Coronary Artery Disease[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(5): 1331.

- [2] 燕红, 岳瑾瑜, 段小艺. 超声多模态成像技术对脑梗死患者颈动脉斑块稳定性的预测价值[J]. 贵州医药, 2023, 47(1): 115-116.
- [3] 王丽, 戴海琳, 唐旭, 等. ABCD2 评分联合 MRA 检查对短暂性脑缺血发作后发生脑梗死的预测价值 [J]. 成都医学院学报, 2020, 15(5): 595-598.
- [4] 刘海燕. ABCD3- I 评分联合 TCD 预测 TIA 患者短期进展为脑梗死的价值研究 [J]. 湖南师范大学学报 (医学版), 2022, 19(3): 113-116.
- [5] 王婧, 陈蕾, 王俊力, 等. 多模态监测对急性脑梗死患者脑颈血流动力学及神经功能预后的评估 [J]. 疑难病杂志, 2022, 21(11): 1129-1134.
- [6] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018 [J]. 中华神经科杂志, 2018, 51(9): 666-682.
- [7] 游文静, 李菁, 董燕清, 等. LP-PLA2 与经颅多普勒超声对急性缺血性脑卒中预后的预测价值 [J]. 中国医药导报, 2022, 19(2): 71-74, 79.
- [8] Quinn TJ, Lees KR, Hardemark HG, et al. Initial experience of a digital training resource for modified rankin scale assessment in clinical trials[J]. Stroke, 2007, 38(8): 2257-2261.
- [9] Mastantuono JM, Combescure C, Elia N, et al. Transcranial doppler in the diagnosis of cerebral vasospasm: an updated meta-analysis[J]. Crit Care Med, 2018, 46(10): 1665-1672.
- [10] Jaiswal SK, Fu-Ling Y, Gu L, et al. Accuracy of transcranial doppler ultrasound compared with magnetic resonance angiography in the diagnosis of intracranial artery stenosis [J]. J Neurosci Rural Pract, 2019, 10(3): 400-404.
- [11] 田广平, 邹宁, 马颖, 等. 内囊预警综合征患者进展为急性脑梗死的危险因素分析[J]. 贵州医科大学学报, 2022, 47(8): 947-952.
- [12] Mazya MV, Ahmed N, Azevedo E, et al. Impact of transcranial doppler ultrasound on logistics and outcomes in stroke thrombolysis: results from the sits-istr[J]. Stroke, 2018, 49(7): 1695-1700.
- [13] 黎西, 陈长春, 袁长红. 经颅多普勒辅助阿替普酶静脉溶栓治疗急性脑梗死的疗效[J]. 中国临床医生杂志, 2021, 49(5): 549-552.
- [14] Miller ML, Ghisletta P, Jacobs BS, et al. Changes in cerebral arterial pulsatility and hippocampal volume: a transcranial doppler ultrasonography study[J]. Neurobiol Aging, 2021, 10(8): 110-121.
- [15] 孙永奇, 叶琳琳, 杨慧, 等. 多普勒超声对脑梗死 rt-PA 溶栓患者治疗效果的诊断价值分析 [J]. 解放军预防医学杂志, 2019, 37(2): 19-20, 23.
- [16] 王俊, 张敏, 罗丹. 经颅多普勒血流动力学定量参数对急性脑梗死的老年患者预后的预测价值 [J]. 实用医院临床杂志, 2020, 17(4): 205-208.
- [17] 王琴, 张中宝, 曾雅清, 等. 经颅多普勒超声评估大脑中动脉供血区急性脑梗死早期神经功能恶化的效果[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2019, 22(21): 2345-2352.
- [18] 来洪卫. 探讨经颅多普勒超声辅助动脉溶栓治疗急性脑梗死患者的临床效果[J]. 世界复合医学, 2022, 8(6): 53-56.
- [19] 黄红, 谢懿漫. 颈部血管超声联合经颅多普勒超声在老年急性脑梗死患者颈动脉狭窄评估中的应用[J]. 中国老年学杂志, 2022, 42(9): 2084-2087.
- [20] Puetz V, Gerber JC, Kruger P, et al. Cerebral venous drainage in patients with space-occupying middle cerebral artery infarction: effects on functional outcome after hemicraniectomy[J]. Front Neurol, 2018, 9(3): 876-881.
- [21] Das S, Mitchell P, Ross N, et al. Decompressive hemicraniectomy in the treatment of malignant middle cerebral artery infarction: a metaanalysis[J]. World Neurosurg, 2018, 12(4): 674-678.
- [22] 张振平, 李泽群, 凌思卓, 等. 颈部多普勒超声联合经颅多普勒超声在老年急性脑梗死患者颈动脉狭窄评估中的价值[J]. 山东医药, 2023, 63(34): 77-79.
- [23] 乔菲, 高飞. TCD 持续监测颅内压对急性脑梗死溶栓后早期神经功能恶化的预测[J]. 河北医学, 2023, 29(3): 422-426.
- [24] 陆娇娇, 章琴, 王佩. 经颅多普勒超声联合颈动脉超声检查在老年脑梗死患者血管病变评估中的应用价值 [J]. 浙江医学, 2022, 44(24): 2667-2671.
- [25] 郭丹丹, 郝姜蕾, 刘涛, 等. 经颅多普勒超声联合 GFAP 对急性脑梗死患者预后的评估价值 [J]. 脑与神经疾病杂志, 2023, 31(9): 561-565.

(上接第 2176 页)

- [18] Schuessler M, Saner F, Al-Rashid F, et al. Diagnostic accuracy of coronary computed tomography angiography-derived fractional flow reserve (CT-FFR) in patients before liver transplantation using CT-FFR machine learning algorithm [J]. Eur Radiol, 2022, 32(12): 8761-8768.
- [19] 中国医师协会心血管内科医师分会超声心动图和影像学组, 《中国介入心脏病学杂志》编辑委员会. 冠状动脉 CT 血流储备分数应用临床路径中国专家共识 [J]. 中国介入心脏病学杂志, 2023, 31(4): 241-251.
- [20] 努尔比叶木·麦提艾力, 张艳君, 牛明远, 等. 高原地区心功能不全患者临床特征及心室扩大危险因素的观察性研究[J]. 临床心血管病杂志, 2022, 38(8): 659-664.
- [21] 范媛媛, 吴岑岑, 祖凌云. 高海拔环境对心血管系统生理指标及疾病的影响[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2021, 13(10): 1267-1269.
- [22] 刘斌, 张敏, 李显刚, 等. 边疆高原地区彝族人群 rs1333049 位点单核苷酸多态性与冠心病易感性的关系 [J]. 实用临床医药杂志, 2022, 26(17): 24-28, 36.
- [23] Gohmann RF, Pawelka K, Seitz P, et al. Combined cCTA and TAVR Planning for Ruling Out Significant CAD: Added Value of ML-Based CT-FFR[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(3): 476-486
- [24] Bigler MR, Stark AW, Giannopoulos AA, et al. Coronary CT FFR vs Invasive Adenosine and Dobutamine FFR in a Right Anomalous Coronary Artery[J]. JACC Case Rep, 2022, 4(15): 929-933.
- [25] 李涯, 蔡震宇, 李亿华, 等. 冠状动脉 CT 血流储备分数评估心肌梗死: 基于计算流体力学仿真技术 [J]. 放射学实践, 2023, 38(4): 426-433.