

· 国家自然科学基金专栏 ·

子痫前期产后心脏形态及功能改变的影像学研究

赵俊果, 蒋若涵, 夏勇, 郭影, 沈桂权, 高波

【摘要】 子痫前期(PE)孕产妇心功能可出现短期异常和长期损伤,已经越来越被临床重视。子痫前期产后进行影像学筛查能及时发现心脏形态及心功能的异常,为及早进行临床干预提供依据。现有临床和基础研究中常用的检查方法主要有超声、CT 和 MRI 检查,本文就子痫前期产后心脏形态和功能改变的影像学研究进展进行综述。

【关键词】 子痫; 超声心动描记术; 体层摄影术, X 线计算机; 磁共振成像

【中图分类号】 R714.245; R540.45; R445.2; R814.4 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2023)10-1242-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.10.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



子痫前期(preeclampsia, PE)为一种妊娠期高血压疾病,是世界范围内导致孕产妇围产期死亡的重要病因^[1],发病率约占总妊娠的 2%~8%^[2]。PE 定义为妊娠 20 周之后发生的高血压(收缩压 >140 mmHg 或舒张压 >90 mmHg)、蛋白尿^[3],可合并母体其他器官功能障碍如视力障碍,头痛或胎儿生长受限等^[4]。近年来,PE 等妊娠期高血压疾病发病率呈逐渐增加趋势,研究发现 2007 年—2019 年,美国新发妊娠高血压疾病的发病率提高了一倍^[5]。母体和胎盘血管功能障碍都在 PE 的发病机制中发挥作用,常见的致病学说包括胎盘受损、螺旋动脉重塑异常和血管内皮障碍等,这些损伤进一步由免疫因子、线粒体应激和促血管/抗血管生成物质的失衡介导^[6]。

PE 是孕产妇不良心血管结局的独立危险因素^[7],PE 患者产后患心血管疾病的风险增加^[8]。PE 并不是自限性疾病,虽然临床症状可随婴儿出生和胎盘的娩出而结束,但 PE 对心血管系统的损伤会随时间而累积^[9]。研究证明有 PE 病史的女性发生主要心血管疾病(心肌梗死和中风)的风险大约是正常妊娠女性的 2 倍,而且 PE 之后发生心血管事件的发病年龄通常更低^[10]。PE 对心脏的影响主要表现为左心室形态和功能的改变。正常妊娠期间,由于血容量增加,心脏负荷加重,心脏结构和功能产生适应性变化,但这些变化通

常在产后恢复到基线水平;而有 PE 病史的女性心脏对妊娠的代偿能力降低,可能对心血管产生长期影响^[11]。因此,妊娠被称为一种“压力测试”,能揭示孕产妇心血管功能储备不良或功能障碍。研究发现 PE 患者产后左心室出现不同程度的收缩功能障碍、心肌收缩力受损及舒张功能障碍,左心房重构及左室形态异常,如左心房及左心室体积增大、向心性重构、心肌增厚等^[12,13];而右心室收缩及舒张功能障碍程度较左室轻,右心室肥厚有所恢复,但仍有基础心肌舒张功能受损的表现^[14]。

多种影像学检查方法可无创评估心脏的结构和功能。既往研究中常用的影像学手段主要有超声、CT 和 MRI 检查。超声检查方法主要有超声心动图(echocardiography),也是目前最常用的、能够无创评估心脏结构和功能的金标准^[15]。常用的 CT 检查为冠状动脉钙化积分(coronary artery calcification score, CACS)和冠状动脉 CT 血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)。目前临床科研中开展的心脏磁共振成像(cardiac magnetic resonance imaging, CMR)的常用方法包括 T_1 -mapping、 T_2 -mapping、心脏电影成像(cine-MRI)、心脏磁共振特征追踪(cardiovascular magnetic resonance imaging feature tracking, CMR-FT)和钆对比剂延迟强化(late gadolinium enhancement, LGE)等。

然而,由于 PE 症状随着胎盘及胎儿的娩出而缓解,目前 PE 导致患者产后心功能异常的风险尚未引起临床重视。目前临床上尚无指南或规范指导临床对 PE 患者产后进行相关风险评估和预防,也不清楚如何对这些患者进行筛查。在心功能损害无症状期进行干预治疗比在出现症状后进行干预能更有效地改善远期预后,更好地了解孕妇的心功能将有助于改善 PE 患

作者单位: 550025 贵阳,贵州医科大学附属医院影像科(赵俊果、蒋若涵、夏勇、郭影、沈桂权、高波); 562400 贵州,黔东南州(兴义市)人民医院影像科(赵俊果)

作者简介: 赵俊果(1987—)女,河南省平顶山人,在读硕士,主治医师,主要从事神经影像相关研究。

通讯作者: 高波, E-mail: gygb2004@gmc.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金(81871333, 82260340, 82360338); 贵州省第七批“千人创新创业人才”(GZQ202007086); 贵州省精准影像与诊疗创新群体(黔教合 KY2021017); 贵州省科技支撑计划(黔科 20204Y159, 2021430); 贵州省脑科学科技创新人才团队(CXTD2022006); 贵州医科大学附属医院学科领军人才(gyfyxkrc-2023-04); 黔东南州科技支撑计划项目

者的临床结局。

本综述目的是讨论现有研究中 PE 患者产后进行心脏形态及功能评估的影像学方法和具体指标及最新进展。

超声心动图

超声心动图是目前应用最为广泛的无创心脏检查方法,超声心动图可提供心脏的实时图像。左心室定量测量包括结构测量(左室容积和质量)和功能评估(左室收缩和舒张功能)。中华医学会超声医学分会制定了超声心动图评估心脏收缩及舒张功能的指南^[16],其中临床最常用的评估左室整体收缩功能的指标为左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF),低于 40%~52%时可诊断为左室收缩功能障碍。整体纵向应变(global longitudinal strain, GLS)对患者亚临床心脏收缩功能降低的评估及预后方面优于 LVEF,但尚无正常参考值。左室舒张功能的评价指标主要有二尖瓣环侧壁和间隔运动速度(e'),二尖瓣舒张期血流速度(E 峰、A 峰),平均 E/ e' 值和二尖瓣 E 峰减速时间(DT)等^[17]。

PE 患者产后可能出现心脏收缩、舒张功能及结构改变。De Martelly 等^[18]研究证实产后 10 年 PE 组左室形态及功能均出现异常,左室收缩及舒张功能均较对照组减低,PE 组整体纵向应变变差,左室后壁厚度和室间隔厚度明显增厚,左室质量增高,E/A 值明显减低。McCarthy 等^[19]研究发现产后 6 个月 10% 的 PE 患者 LVEF<55%,49% 的 PE 患者出现不同程度左室舒张功能障碍,计划分娩组、待产组和常规待产管理组的组间比较无统计学差异,说明计划分娩产后 6 个月并不能减少心血管功能障碍。研究发现妊娠晚期 PE 孕妇出现左室舒张功能障碍,与对照组相比差异有统计学意义^[20]。另一项研究在产后 1 天及 1 年分别对 PE 患者及对照组进行超声心动图检查,发现产后 1d 左室间隔厚度、左室质量、左室舒张末期容积均显著增加, e' 降低,E/ e' 增高;产后 1 年 PE 组上述指标较前恢复且差异具有统计学意义^[21]。Orabonat 等^[22]研究发现产后 6 个月到 4 年 PE 产妇的心输出量增加,左室质量增加,左室收缩末期容积及舒张末期容积均增加。因此,PE 产妇产后可能出现持续的心功能障碍,这些患者需要进行更密切的监测,以防心血管疾病的发生。

CT

CCTA 是诊断无症状患者冠状动脉狭窄的可靠、无创工具。在进行 CCTA 检查的疑似冠心病患者中 CACS 升高是心血管死亡率和发病率中长期复合指标

的独立预测因子^[23]。CACS 在临床上可用于中长期心血管预后的危险分层^[24],CCTA 能够识别冠状动脉斑块的组成和形态,有助于治疗的监测,可能成为个性化治疗的基石。

1. CACS

CACS 是一种无创冠状动脉检查方法,无需对比剂,使用低剂量 CT 扫描冠状动脉,随后用 Agatston 评分半自动分析冠状动脉钙化量^[25]。CACS 是对动脉粥样硬化斑块钙化成分的量化,被认为是冠状动脉粥样硬化总负荷的一个良好的替代指标^[26]。近年来,国际上多个指南都提出在无症状患者中使用非对比心脏 CT 扫描来评估 CACS^[27],CACS 被认为是评估心肌梗死风险、全因死亡率等的可靠工具,可改善心血管风险分层^[28,29]。CACS 越高意味着心血管疾病的风险增加,而 CACS 越低意味着未来心血管事件的风险降低^[30]。

一项前瞻性队列研究将 PE 产妇和对照组产妇产后 35 年进行心脏 CT 扫描获得 CACS,发现 PE 组 CACS 较高的几率为对照组的 3.54(1.39~9.02)倍;而调整了血压等因素后为 2.61(0.95~7.14)倍,仍具有显著性差异^[31]。因此,即使控制了传统的危险因素后,PE 病史仍与产后 30 多年后冠状动脉钙化风险增加相关。另一项研究对 258 名有 PE 病史的产妇进行 CACS 检查,并与 Framingham 心脏研究(Framingham heart study, FHS)中正常妊娠产妇匹配后进行比较,发现 PE 组 CACS 较对照组普遍增高,差异在 45~50 岁的女性中最大,且具有统计学意义;且 PE 组 45~50 岁 CACS 进展较 40~45 岁产妇快 4 倍,PE 组产妇 Framingham 风险评分也更高^[32]。基于先前的 ESC 和 ACC/AHA 指南,CT 协会制定了将 CACS 整合到临床决策中以调整心血管疾病的用药指南^[33]。在有 PE 病史的女性中冠状动脉钙化的存在可能识别出那些具有特别高的心血管风险,这应该是未来研究的主题。CACS 筛查在 PE 患者中的作用应在未来的研究中加以探讨。虽然 CACS 作为心血管疾病的风险指标很有前景,并提供了心血管损害的最直接证据,但在将 CACS 作为风险评估时,需要将辐射因素考虑在内。

2. CCTA

CCTA 是检测冠心病的无创性方法,与金标准相比,CCTA 具有较高的敏感性和特异性^[34],可评估和量化冠状动脉狭窄程度、斑块体积及组成、高危斑块特征等^[35,36]。当 CCTA 显示存在动脉粥样硬化疾病时,不良心脏事件的风险明显增加且分级增高,这与狭窄程度的加重以及受累冠状动脉血管数量有关。除了定量评估斑块的严重程度,CCTA 还具有定性斑块特征

的能力,如低密度和/或点状钙化的特征预示高风险^[37]。CCTA 的阴性预测值远高于 90%,但 CCTA 有可能会高估狭窄的严重程度,降低其阳性预测值和特异性^[38]。经 CCTA 证实的冠状动脉阻塞是全因死亡率和冠状动脉发病率的独立预测因素。

CCTA 提供了整个冠状动脉树的信息并迅速发展有望成为有创性检查的一种替代方法^[36]。研究表明在有症状的患者中 CCTA 发现的血管阻塞比 CACS 具有更高的预后价值。一项研究纳入 137 位有 PE 病史的患者和 445 例正常妊娠患者,进行 CCTA 检查后发现 PE 组冠状动脉硬化性心脏病及冠状动脉阻塞性心脏病发生率均高于对照组^[39]。另一项前瞻性队列研究对 164 名无症状型 PE 患者进行 CCTA 检查发现 PE 组亚临床冠状动脉粥样硬化的风险显著高于对照组,47% 患者有冠状动脉粥样硬化斑块,4.3% 有明显狭窄^[40]。这些发现表明 PE 组更容易在发生亚临床缺血性心脏病之前出现早期冠状动脉粥样硬化。许多回顾性队列研究发现即使在 CACS 很低的患者中也可发现大量的非钙化斑块,CCTA 具有更高的诊断准确性和预后价值,可对冠状动脉疾病进行高度准确的诊断^[41]。早期发现这些高危患者可能有助于及时预防,减少未来心脏相关不良事件的发生。

CMR

CMR 成像是一种新兴的无创成像技术,具有空间分辨率高、无电离辐射的优点,是评价心腔容积、心脏功能和组织特征的金标准^[42],在体积测量方面比超声心动图更精确。CMR 还可区分 PE 患者在其他检查上显示的心室壁增厚原因如心肌肥厚或者水肿、纤维化等其他异常^[43]。随着 CMR 的应用越来越广泛,人们越来越认识到将应变评估纳入 CMR 检查的必要性。产后 CMR 的应用可能有助于心肌纤维化的诊断、未来心脏危险的分层和有针对性的降压治疗。

1. T₁-mapping 和 T₂-mapping

可直接测量心肌组织的 T₁、T₂ 值并计算心肌细胞外间质容积分数(extracellular volume fraction, ECV),ECV 是心肌重塑的标志物,数值受年龄和其他因素影响,但对场强的依赖性小,可定量评估心肌纤维化、出血及心肌水肿的程度和范围^[44]。T₁-mapping 分为造影前扫描的初始纵向弛豫时间定量成像(native T₁-mapping)和注射对比剂后的 T₁-mapping,二者结合可估算 ECV^[45]。Native T₁-mapping 被认为是一种很有前景的检测心肌异常的方法,T₁ 值的升高与纤维化更相关,也可见于心肌损伤或炎症引起的水肿、心肌细胞坏死等以及纤维化引起的细胞外间隙扩张等,因而特异性欠佳,必须结合其他成像序列和临床资

料进行疾病诊断^[46]。心肌细胞体积和间质体积的增加与左室周向应变的增加密切相关,ECV 也与左室肥厚和左室质量改变有关^[44]。T₂-mapping 被认为是目前特异性检测心肌含水量最理想的成像技术^[47],可直接量化局部心肌炎症和水肿。T₂-mapping 序列可用于急性心肌梗死、心肌炎、应激性心肌病、结节病和同种异体心脏移植排斥反应患者的心肌水肿检测^[48],目前很少有研究探讨 T₂-mapping 在其他心肌疾病中的价值^[49]。一项研究对 6 名 PE 患者及正常妊娠孕妇妊娠晚期进行 CMR 检查,发现部分患者出现心肌水肿及左室质量增加^[50]。一项研究对伴有肺水肿的 PE 患者和重度 PE 患者进行 CMR 检查,发现产后 T₁ 和 T₂ 值较正常妊娠孕妇增加,部分患者确诊为心肌水肿,而进行 LGE 出现未见延迟强化^[51]。然而,文献报道心肌疾病也可进行 DWI 成像后获得表观扩散系数图(apparent diffusion coefficient, ADC),从而评估心肌水肿,且与 T₁-mapping 和 T₂-mapping 存在一定差异性^[52]。

2. LGE

LGE 是在静脉注射 Gd-DTPA 后延迟 5~10 min 后进行扫描,由于对比剂是细胞外对比剂,不能通过正常细胞膜,因而在正常心肌细胞中分布很少,当心肌细胞破损或者纤维化时病变区域对比剂增多,表现为高信号^[53]。LGE 是检测纤维化、坏死或细胞外蛋白质沉积的可靠技术。研究指出高血压患者的 LGE 增加,伴有 T₁ 值和 ECV 显著增加,LGE 可能与左室舒张末期容积、射血分数和总纵向应变之间有密切联系^[44]。超声心动图不能发现心肌间质性纤维化,而 CMR 可识别和量化这些重要的结构变化。但心脏损伤的及时诊断和早期治疗是很必要的,因为适当的治疗可以使心肌纤维化和左室肥厚消退。

3. Cine-MRI

Cine-MRI 能自动生成心脏容积和功能参数,包括左/右心室舒张末期容积,左/右心室收缩期末容积,LVEF/RVEF 等。研究对 6 名 PE 患者及 8 名正常妊娠孕妇产后不同时期进行 CMR 检查,结果发现 PE 患者在分娩后 1~3 d 左心室质量指数较对照组增高(57 g/m² vs 48 g/m², $P=0.01$),然而到产后 6 个月恢复至正常水平^[54]。丹麦一项全国性研究纳入围产期心肌病患者(peripartum cardiomyopathy, PPCM)、正常妊娠和 PE 产妇各 28 例,其中 PPCM 组大部分患者有妊娠期高血压疾病病史,产后 1 年进行 CMR 检查发现 PPCM 组及 PE 组左心室收缩功能明显减低,LVEF 分别为 27±9%,52±9% 和 60±10%;产后 7 年后进行 cine-MRI 及 LGE 检查,结果发现 LVEF 较前升高,但 PPCM 组平均 LVEF 较正常妊娠组仍明显

降低,且 PPCM 组左心室舒张功能较正常妊娠组受损。但其中仅 1 名有 PE 病史的 PPCM 患者 LGE 表现异常,为多灶性,同时有中壁、跨壁和心外膜病灶^[55]。

4. CMR-FT

LVEF 被公认为是左室整体收缩功能的参考标准。然而,LVEF 仅代表左室几何形态的变化而非功能变化,可能无法识别轻微的左室收缩异常。CMR-FT 为评估整体和局部心肌收缩力提供了一种新的方法,它通过常规 Cine-MRI 成像获得左/右心室基底、中央部和心尖部整体和区域的径向、周向和纵向的峰值应变^[56]。有学者提出 CMR 是评估左心室体积和射血分数的金标准,而整体纵向应变是比 LVEF 更强大的心血管事件预测因子,更能评估心脏收缩功能^[57]。CMR-FT 可以发现高血压患者在 LVEF 处于代偿期时心肌应变显著低于对照组,证实了应变在早期轻微心肌损伤检测中的价值^[58]。CMR-FT 可能具有定量分析心脏运动的潜力,并在未来的常规临床实践中应用。

总结和展望

既往的研究已经充分阐明了 PE 与产后心脏结构及功能损害之间的显著联系,以及不同影像学检查方法在不同方向的应用。如果能及早、全面地评估 PE 患者产后的心脏功能,就有可能更早、更准确地诊断出短期和长期心脏相关疾病并预测疾病的严重程度以进一步指导治疗,改善 PE 的临床结局。目前,超声心动图在评估心脏结构及收缩、舒张功能方面仍是应用最常用的方法;CT 对冠状动脉的钙化及非钙化斑块的评估应用越来越多且有望替代有创的冠状动脉造影检查;而 CMR 检查目前尚未得到普及,但其在心脏的结构和功能成像的评估中优于超声心动图,CMR-FT 对早期轻微心肌损伤非常敏感,可用于 PE 产后早期的心功能评估, T_1 -mapping 和 T_2 -mapping 可以鉴别不同原因引起的心肌增厚及心肌水肿、纤维化等,Cine-MRI 评估心功能较超声心动图更为精确,LGE 可用于 PE 产后晚期的心功能评估。在诊断心脏疾病方面,CMR 具有无辐射、无创和精确等不可替代的优势,在心脏相关疾病诊断方面发挥着越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] Hirshberg A, Srinivas SK. Epidemiology of maternal morbidity and mortality. *Semin Perinatol*[J]. *Semin Perinatol*, 2017, 41(6): 332-337.
- [2] Pauw ND, Lely AT. Cardiovascular sequels during and after preeclampsia[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2018, 1065(28): 455-470.
- [3] Sibai B, Dekker G, Kupferminc M. Pre-eclampsia[J]. *Lancet*, 2005, 365(9461): 785-799.

- [4] Bro Schmidt G, Christensen M, Breth Knudsen U. Preeclampsia and later cardiovascular disease-what do national guidelines recommend[J]? *Pregnancy Hypertens*, 2017, 10: 14-17.
- [5] Cameron NA, Everitt I, Seegmiller LE, et al. Trends in the incidence of new-onset hypertensive disorders of pregnancy among rural and urban areas in the united states, 2007 to 2019[J]. *J Am Heart Assoc*, 2022, 11(2): e023791.
- [6] Opichka MA, Rappelt MW, Gutterman DD, et al. Vascular dysfunction in preeclampsia[J]. *Cells*, 2021, 10(11): 3055.
- [7] Gibbone E, Huluta I, Wright A, et al. Maternal cardiac function at midgestation and development of preeclampsia[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2022, 79(1): 52-62.
- [8] Brown HL, Smith GN. Pregnancy complications, cardiovascular risk factors, and future heart disease[J]. *Obstet Gynecol Clin North Am*, 2020, 47(3): 487-495.
- [9] Thilaganathan B, Kalafat E. Cardiovascular system in preeclampsia and beyond[J]. *Hypertension*, 2019, 73(3): 522-531.
- [10] Zoet GA, Koster MP, Velthuis BK, et al. Determinants of future cardiovascular health in women with a history of preeclampsia[J]. *Maturitas*, 2015, 82(2): 153-161.
- [11] Barr LC, Liblik K, Johri AM, et al. Maternal cardiovascular function following a pregnancy complicated by preeclampsia[J]. *Am J Perinatol*, 2022, 39(10): 1055-1064.
- [12] Rafik Hamad R, Larsson A, Pernow J, et al. Assessment of left ventricular structure and function in preeclampsia by echocardiography and cardiovascular biomarkers[J]. *J Hypertens*, 2009, 27(11): 2257-2264.
- [13] Melchiorre K, Sutherland GR, Baltabaeva A, et al. Maternal cardiac dysfunction and remodeling in women with preeclampsia at term[J]. *Hypertension*, 2011, 57(1): 85-93.
- [14] Melchiorre K, Sutherland GR, Liberati M, et al. Preeclampsia is associated with persistent postpartum cardiovascular impairment[J]. *Hypertension*, 2011, 58(4): 709-715.
- [15] Reddy M, Wright L, Rolnik DL, et al. Evaluation of cardiac function in women with a history of preeclampsia: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Am Heart Assoc*, 2019, 8(22): e013545.
- [16] 中华医学会超声医学分会超声心动图学组, 中国医师协会心血管分会超声心动图专业委员会. 超声心动图评估心脏收缩和舒张功能临床应用指南[J]. *中华超声影像学杂志*, 2020, 29(6): 461-477.
- [17] Giorgione V, O'Driscoll J, Coutinho CM, et al. Peripartum echocardiographic changes in women with hypertensive disorders of pregnancy[J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2022, 59(3): 365-370.
- [18] deMartelly VA, Dreixler J, Tung A, et al. Long-term postpartum cardiac function and its association with preeclampsia[J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(5): e018526.
- [19] McCarthy FP, O'Driscoll JM, Seed PT, et al. Multicenter cohort study, with a nested randomized comparison, to examine the cardiovascular impact of preterm preeclampsia[J]. *Hypertension*, 2021, 78(5): 1382-1394.
- [20] Badenoosh B, Yazdani S, Hossieni Gohar S, et al. Comparison of echocardiographic findings in women with late preeclampsia and healthy pregnant women: a case-control study[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2022, 35(25): 7491-7496.

- [21] Ambrožič J, Lučovnik M, Cvijić M. Evolution of cardiac geometry and function in women with severe preeclampsia from immediately post-delivery to 1 year postpartum[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2021, 37(7): 2217-2225.
- [22] Orabona R, Mohseni Z, Sciatti E, et al. Maternal myocardial dysfunction after normotensive fetal growth restriction compared with hypertensive pregnancies: a speckle-tracking study[J]. *J Hypertens*, 2020, 38(10): 1955-1963.
- [23] Yamamoto H, Kitagawa T, Kunita E, et al. Impact of the coronary artery calcium score on mid- to long-term cardiovascular mortality and morbidity measured with coronary computed tomography angiography[J]. *Circ J*, 2018, 82(9): 2342-2349.
- [24] Tay SY, Chang PY, Lao WT, et al. The proper use of coronary calcium score and coronary computed tomography angiography for screening asymptomatic patients with cardiovascular risk factors[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 17653.
- [25] Mlynarska A, Mlynarski R, Sosnowski M. Usefulness of the coronary artery calcium score in predicting subsequent coronary interventions-a ten-year single-center perspective[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(12): 2132.
- [26] Matos D, Ferreira AM, de Araújo Gonçalves P, et al. Coronary artery calcium scoring and cardiovascular risk reclassification in patients undergoing coronary computed tomography angiography[J]. *Rev Port Cardiol (Engl Ed)*, 2021, 40(1): 25-30.
- [27] Kutkienė S, Petrulionienė Ž, Laucevičius A, et al. Is the coronary artery calcium score the first-line tool for investigating patients with severe hypercholesterolemia? [J] *Lipids Health Dis*, 2019, 18(1): 149.
- [28] Gheorghe AG, Jacobsen C, Thomsen R, et al. Coronary artery CT calcium score assessed by direct calcium quantification using atomic absorption spectroscopy and compared to macroscopic and histological assessments[J]. *Int J Legal Med*, 2019, 133(5): 1485-1496.
- [29] Dzaye O, Dudum R, Mirbolouk M, et al. Validation of the coronary artery calcium data and reporting system (CAC-DRS): dual importance of CAC score and CAC distribution from the coronary artery calcium (CAC) consortium[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2020, 14(1): 12-17.
- [30] Aljizeeri A, Alsaleek A, Al-Mallah MH. Coronary artery calcium score to guide hypertension therapy! [J] *Atherosclerosis*, 2019, 282: 162-164.
- [31] White WM, Mielke MM, Araoz PA, et al. A history of preeclampsia is associated with a risk for coronary artery calcification 3 decades later[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2016, 214(4): e1-e8.
- [32] Benschop L, Brouwers L, Zoet GA, et al. Early onset of coronary artery calcification in women with previous preeclampsia[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(11): e010340.
- [33] Ramzi Dudum, Omar Dzaye, Steven J, et al. Coronary artery calcium scoring in 2019: past present and future[J]. *Current Cardiovascular Imaging Reports*, 2019, 12(9): 37-37.
- [34] Houssany-Pissot S, Rosencher J, Allouch P, et al. Screening coronary artery disease with computed tomography angiogram should limit normal invasive coronary angiogram, regardless of pretest probability[J]. *Am Heart J*, 2020, 223: 113-119.
- [35] Conte E, Mushtaq S, Pontone G, et al. Plaque quantification by coronary computed tomography angiography using intravascular ultrasound as a reference standard: a comparison between standard and last generation computed tomography scanners[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(2): 191-201.
- [36] Taron J, Lee S, Aluru J, et al. A review of serial coronary computed tomography angiography (CTA) to assess plaque progression and therapeutic effect of anti-atherosclerotic drugs[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020, 36(12): 2305-2317.
- [37] Sharif D. Coronary computed tomography angiography (CTA): implications and challenges[J]. *Trends Cardiovasc Med*, 2022, 32(7): 429-430.
- [38] Singh A, Mor-Avi V, Patel AR. The role of computed tomography myocardial perfusion imaging in clinical practice [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2020, 14(2): 185-194.
- [39] Wichmann JL, Takx RAP, Nunez JH, et al. Relationship between pregnancy complications and subsequent coronary artery disease assessed by coronary computed tomographic angiography in black women[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(7): e008754.
- [40] Zoet GA, Benschop L, Boersma E, et al. CREW consortium. Prevalence of subclinical coronary artery disease assessed by coronary computed tomography angiography in 45- to 55-year-old women with a history of preeclampsia[J]. *Circulation*, 2018, 137(8): 877-879.
- [41] van Rosendael AR, Bax AM, Smit JM, et al. Clinical risk factors and atherosclerotic plaque extent to define risk for major events in patients without obstructive coronary artery disease: the long-term coronary computed tomography angiography CONFIRM registry[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(5): 479-488.
- [42] Tayal U, Wage R, Newsome S, et al. Predictors of left ventricular remodelling in patients with dilated cardiomyopathy-a cardiovascular magnetic resonance study[J]. *Eur J Heart Fail*, 2020, 22(7): 1160-1170.
- [43] 张恒. 高血压性心脏病的心脏磁共振评估研究进展[J]. *放射学实践*, 2022, 37(9): 1177-1181.
- [44] Tadic M, Cuspidi C, Plein S, et al. Comprehensive assessment of hypertensive heart disease: cardiac magnetic resonance in focus[J]. *Heart Fail Rev*, 2021, 26(6): 1383-1390.
- [45] Doebelin P, Hashemi D, Tanacir R, et al. CMR tissue characterization in patients with HFmrEF[J]. *J Clin Med*, 2019, 8(11): 1877.
- [46] 周笛, 赵世华, 陆敏杰. 心肌 T₁-mapping 进展: 成像技术与临床应用[J]. *放射学实践*, 2020, 35(7): 933-938.
- [47] Baessler B, Luecke C, Lurz J, et al. Cardiac MRI and texture analysis of myocardial T₁ and T₂ maps in myocarditis with acute versus chronic symptoms of heart failure[J]. *Radiology*, 2019, 292(3): 608-617.
- [48] Pan KK, Yoo JH, Dong JI, et al. Myocardial T₁ and T₂ mapping: techniques and clinical applications [J]. *Korean J Radiology*, 2017, 18(1): 113-131.
- [49] Messroghli D, Moon J, Ferreira V, et al. Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T₁, T₂, T₂* and extracellular volume: A consensus statement by the society for cardiovascular magnetic resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI)[J]. *J Cardiovascular Magnetic Resonance: Official J Society*

- for Cardiovascular Magnetic Resonance, 2017, 19(1):75.
- [50] Chen SSM, Leeton L, Castro JM, et al. Myocardial tissue characterisation and detection of myocardial oedema by cardiovascular magnetic resonance in women with pre-eclampsia: a pilot study [J]. Int J Obstet Anesth, 2018, 36:56-65.
- [51] Joubert L, Doubell A, Langenegger E, et al. Cardiac magnetic resonance imaging in preeclampsia complicated by pulmonary edema shows myocardial edema with normal left ventricular systolic function [J]. Am J Obstetrics and Gynecology, 2022, 227(2):e1-e11.
- [52] Moulin K, Viallon M, Romero W, et al. MRI of reperfused acute myocardial infarction edema: ADC quantification versus T₁ and T₂ mapping [J]. Radiology, 2020, 295(3):542-549.
- [53] Kwong RY, Farzaneh-Far A. Value of late gadolinium enhancement imaging in diagnosis of myocardial infarction and unobstructed coronary arteries [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2020, 13(5):1149-1151.
- [54] Kalapotharakos G, Salehi D, Steding-Ehrenborg K, et al. Cardiovascular effects of severe late-onset preeclampsia are reversed within six months postpartum [J]. Pregnancy Hypertens, 2020, 19:18-24.
- [55] Ersbøll AS, Bojer AS, Hauge MG, et al. Long-term cardiac function after peripartum cardiomyopathy and preeclampsia: a danish nationwide, clinical follow-up study using maximal exercise testing and cardiac magnetic resonance imaging [J]. J Am Heart Assoc, 2018, 7(20):e008991.
- [56] Chen X, Li L, Cheng H, et al. Early left ventricular involvement detected by cardiovascular magnetic resonance feature tracking in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy: the effects of left ventricular late gadolinium enhancement and right ventricular dysfunction [J]. J Am Heart Assoc, 2019, 8(17):e012989.
- [57] Kammerlander AA. Feature tracking by cardiovascular magnetic resonance imaging: the new gold standard for systolic function? JACC [J]. Cardiovasc Imaging, 2020, 13(4):948-950.
- [58] Liu H, Wang J, Pan Y, et al. Early and quantitative assessment of myocardial deformation in essential hypertension patients by using cardiovascular magnetic resonance feature tracking [J]. Sci Rep, 2020, 10(1):3582.

(收稿日期:2022-05-23 修回日期:2023-02-07)

欢迎订阅 2024 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管,华中科技大学同济医学院主办,与德国合办的全国性影像学学术期刊,创刊至今已 39 周年。遵照同行评议、价值导向、等效应用原则,国内各大学会、协会、组织机构通过科技工作者推荐、专家评议、结果公示等规定程序,《放射学实践》杂志入选中国科协发布 10 大领域《我国高质量科技期刊分级目录》业内认可的较高水平期刊。《放射学实践》杂志再次入选 2020 年版北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。

本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向,关注国内外影像医学的新进展、新动态,全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果,受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为中国科学引文数据库(CSCD)核心库来源期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、中国科技核心期刊、中国高质量科技期刊分级目录临床医学领域医学影像学期刊,并在中国学术期刊分区中位列 Q1 区。

主要栏目:论著、继续教育园地、专家荐稿、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、传染病影像学、影像技术学、外刊摘要、学术动态、请您诊断、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊,每册 25 元,全年定价 300 元。

国内统一刊号:ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R 邮政代号:38-122

电话:(027)69378385

E-mail:fsxsjzz@163.com 网址:http://www.fsxsj.net

编辑部地址:430199 武汉市蔡甸区中法新城同济医院专家社区别墅 C 栋