

慢性冠脉综合征无创性影像诊断中国专家共识

中华医学会心血管病学分会

通信作者:赵世华, Email: cjr.zhaoshihua@vip.163.com; 张佳胤, Email: andrewssmu@msn.com

【摘要】 慢性冠脉综合征(CCS)的概念由欧洲心脏病学会(ESC)于2019年首次提出,包含6个亚类,涵盖了可导致稳定型心绞痛的一系列病理生理范畴。CCS的精准治疗有赖于对心脏解剖、功能和组织学特征的全面评价。为了指导无创性心血管影像技术在CCS诊断与治疗中的合理选择和规范化应用,中华医学会心血管病学分会影像学组组织国内相关领域专家,在综合考虑了各项影像学技术的最新循证学证据、诊断价值和国内普及性的基础上,制定了该共识。共识的第一部分简要介绍了CT、磁共振、核医学和超声心动图在心血管疾病诊断方面的技术特点与优势;第二部分基于CCS的6大亚类对应的场景,分别对4种无创性影像学技术的临床应用和规范化路径进行阐述和推荐。

【关键词】 冠心病; 慢性冠脉综合征; 计算机断层显像; 核医学; 磁共振显像; 超声心动图

基金项目:“十四五”国家重点研发计划项目(2021YFF0501400,2021YFF0501404);国家自然科学基金重点项目(81930044);上海市卫生健康委员会卫生健康学科带头人(2022XD031);上海市级医院放射学科专科联盟(SHDC22022310-A)

Chinese expert consensus on the non-invasive imaging of chronic coronary syndrome

Chinese Society of Cardiology, Chinese Medical Association

Corresponding author: Zhao Shihua, Email: cjr.zhaoshihua@vip.163.com; Zhang Jiayin, Email: andrewssmu@msn.com

冠心病是一类以动脉粥样硬化病变为主要病理基础,可伴有或不伴有管腔阻塞的冠状动脉(冠脉)疾病。欧洲心脏病学会(European Society of Cardiology, ESC)2019版指南将冠心病分为急性冠脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)和慢性冠脉综合征(chronic coronary syndrome, CCS)两大类^[1]。后者多以稳定型心绞痛或不典型胸痛为主要症状,是十分常见的临床类型。无创性心血管影像检查在CCS的诊断中具有至关重要的价值。为了更好地规范CCS患者的影像诊断流程,中华医学会心血管病学分会影像学组制定了本共识,旨在结合最新的心血管影像技术临床应用和我国国情,为国内CCS影像诊断的优选提供指导。

一、CCS的概念及其更新

CCS的疾病范畴最初在ESC 2006版《稳定型心绞痛诊治指南》中被归为稳定型心绞痛^[2]。限于当时影像技术的限制以及对病理机制的认识不足,该指南推荐的诊断方法以平板运动试验、核素心肌灌注显像、超声心动图和有创性冠脉造影(invasive coronary angiography, ICA)为主。

随着对疾病认识的不断深入,2013年ESC在更新版的指南中,将稳定型心绞痛概念替换为稳定性冠脉疾病^[3],并将其定义扩展为由运动、劳累、情绪应激等诱发的心绞痛症状,可由心外膜下血管阻塞性病变、血管痉挛、冠脉微血管功能障碍(coronary microvascular dysfunction, CMVD)所致或

DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20230704-00391

收稿日期 2023-07-04 本文编辑 范姝婕

引用本文:中华医学会心血管病学分会.慢性冠脉综合征无创性影像诊断中国专家共识[J].中华心血管病杂志,2023,51(8):809-824. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20230704-00391.



继发于心肌梗死的左心室功能不全。得益于 CT 技术的发展和 64 排及以上螺旋 CT 的普及,基于 2008 年发表的 CORE-64 研究结果^[4],2013 版 ESC 指南首次将冠脉 CT 血管造影(computed tomography angiography, CTA)作为 II a 级 C 类推荐,用于稳定性冠脉疾病的影像诊断,丰富了冠心病影像评价的手段。

近年来,随着 PROMISE、SCOT-HEART、MR-INFORM 等多个前瞻性多中心随机对照研究结果的发布,原有冠心病的影像诊断流程已无法满足临床路径最优化的需求。CT、心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)等新技术获得了越来越多高级别的循证学证据支持。ECS 2019 版 CCS 诊治指南首次提出了 CCS 概念,代替了以往稳定性冠脉疾病的诊断。在该指南中,CCS 被分为 6 个亚类:(1)疑似冠心病,伴有稳定型心绞痛症状和(或)呼吸困难;(2)疑似冠心病,伴有新发心力衰竭(心衰)或左心室功能不全;(3)ACS 或血运重建术后 1 年以内无症状或稳定性胸痛;(4)初诊冠心病或血运重建术后 1 年以上,无症状或稳定性胸痛;(5)疑似血管痉挛或微血管病变的心绞痛患者;(6)筛查发现冠心病但无症状。

本专家共识就 CCS 上述 6 种不同亚类的主要临床场景所涉及的无创性影像学方法的优选进行阐述,并结合国内实际情况,提出基于最新循证学证据的影像评价流程推荐,以规范 CCS 的无创性影像诊断。

二、无创性心血管影像技术

1. 冠脉 CTA 技术:冠脉 CTA 是无创性评价冠脉血管解剖的最佳影像学方法。目前临床应用最广泛的 64 层螺旋 CT 时间分辨率约 175 ms,在心率 < 70 次/min 的患者中能得到满足诊断要求的图像。而超高端 CT,如第三代双源 CT 或宽体探测器 CT,具有更高的时间分辨率,对高心率或无法呼吸屏气的患者也能获得质量优异的图像。

CTA 在临床上主要用于冠脉解剖变异的诊断、血管狭窄程度的定量分析以及基于冠脉钙化积分(coronary artery calcium score, CACS)与高危斑块特征的危险分层。与 ICA 相比,冠脉 CTA 对排除阻塞性狭窄病变具有很高的阴性预测价值。此外,CTA 可同时评价管腔的解剖结构和管壁斑块的特征,为高、低危患者的区分和药物治疗评价提供无创性影像学方法。近年来随着流体力学模拟计算和 CT 硬件成像技术的进展,CT 冠脉血流储备分数(CT

fractional flow reserve, CT-FFR)和动态 CT 心肌灌注成像(CT myocardial perfusion imaging, CT-MPI)在冠心病的血流动力学评价方面逐渐展现出应用前景,弥补了 CTA 单纯解剖学评价的局限性,有望为 CCS 的精准诊断和指导治疗提供从解剖到功能的一站式成像方法。

与其他影像学方法相比,冠脉 CTA 的优势在于空间分辨率高、成像速度快,可进行任意角度的多平面和三维重建,是显示冠脉解剖的最佳方法。但 CT 检查具有电离辐射且需要使用碘对比剂,因此碘过敏与肾功能不全的患者不宜进行冠脉 CTA 检查。

2. CMR 技术:CMR 无创、无辐射,能够“一站式”完成心脏形态、功能、血流、灌注和组织特征成像等,是 CCS 影像学检查的重要手段之一。常规的 T1WI 成像可以准确定位并初步评估心脏解剖结构;电影成像能够实时动态观察心脏整体和局部解剖与运动功能,是无创性评价心脏结构和功能的“金标准”;钆对比剂延迟强化(late gadolinium enhancement, LGE)能够识别心肌坏死和纤维化,具有在体映射病理学特征的能力^[5]。以 T1 mapping 和心肌细胞外容积指数(extracellular volume fraction, ECV)为代表的新技术能够进一步定量心肌纤维化,因此在评估心血管疾病病理生理的发生与发展中发挥重要作用,有助于疾病早期诊断。采用 T2WI 和 T2 mapping 能够更准确地甄别心肌水肿,而 T2* mapping 可区分心肌内出血和铁过载等。中国医学科学院阜外医院的报道显示,使用上述成像技术可将疑难性心肌病诊断准确性提升 55.4%^[6]。

心肌灌注成像能够实时动态跟踪对比剂在心肌内的分布,比较其在静息、负荷状态下的心肌灌注缺损,可定性评价心肌缺血。近年来,全定量灌注技术通过测定心肌血流量(myocardial blood flow, MBF)和心肌灌注储备(myocardial perfusion reserve, MPR)能够更加有效地评价心肌缺血,特别是在微循环障碍的评估中显示出巨大潜力,因此其在冠心病、心肌病和糖尿病等可引起心肌微循环障碍的疾病诊疗中能够发挥重要作用。除此之外,心肌应变技术以及 4D 血流成像等量化评价方法也在临床中得以越来越广泛地应用。

综上所述,CMR 的优势在于无创、无电离辐射以及不存在碘对比剂损伤肾功能等优点,极罕见的肾源性系统性纤维化以及钆对比剂脑沉积几乎可



以忽略不计。对比其他影像检查方法,磁共振“一站式”成像最突出的优点在于对心肌组织学特征的评价,因此在疾病的预后与危险分层中发挥重要作用。CMR 的不足之处为现阶段的成像耗时偏长,采集序列需要在临床实践中有针对性地进行取舍;此外在含有铁磁性置入设备、幽闭恐惧症的患者中应用受限。

3. 核医学技术:核医学显像分为两类,一类是单光子发射型计算机断层显像仪(single photon emission computed tomography, SPECT),另一类是正电子发射型计算机断层显像仪(positron emission tomography, PET)。近年来, PET/CT、SPECT/CT 和 PET/核磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)等融合影像设备走进临床,核医学的显像内涵日渐丰富,逐渐发展成为集功能与解剖一体化的成像技术。

在我国,目前临床应用的核医学显像主要有两种,分别是心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)和心肌葡萄糖代谢显像。核素 MPI 是循证医学证据最充分的无创性评价心肌血流的影像方法,主要用于评价心肌缺血的有无、范围和程度,鉴别冠脉狭窄是否具有血流动力学意义。PET-MPI 还可以对心肌的血流进行绝对定量分析,并进而测定冠脉血流储备(coronary flow reserve, CFR)或心肌血流储备分数(myocardial flow reserve, MFR)。CFR 提高了 MPI 诊断轻度心肌缺血、三支血管弥漫病变所致心肌缺血的能力,与冠脉解剖性检查相配合,还可以诊断 CMVD,而且 CFR 对冠心病还具有判断预后的价值。另外,新型 SPECT 或者基于新型探测材料的核素专用 SPECT 也可对心肌血流进行绝对定量,从而用于 CFR 检测。心肌葡萄糖代谢显像则是公认的评价存活心肌的金标准,在冠脉血运重建适应证的选择上具有重要的价值。

总体上,以功能显像为特征的核素显像与 CT 等解剖影像技术相互补充,能够对疾病进行更加全面的评价。此外,新型核素显像药物的研制和临床转化,使新的显像技术如心脏交感神经显像、脂肪酸显像等层出不穷,丰富了心血管核医学的功能显像。核医学技术的不足主要在于具有电离辐射、图像空间分辨率较低、显像流程耗时相对较长等。

4. 超声心动图技术:超声心动图是冠心病一线诊断方法,其常规技术包括 M 型、二维灰阶显像、彩

色多普勒血流成像、频谱多普勒显像等。经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)是最常见的检查方法。经食管超声心动图(transesophageal echocardiography, TEE)为半侵入性检查,可以进一步准确评价主动脉瓣、二尖瓣、左心耳、房间隔、心内赘生物等。

对于 CCS,超声心动图的临床价值在于:(1)评估心脏结构与功能,计算左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF);(2)识别与冠心病相关的节段性室壁运动异常;(3)排除致心绞痛和心功能异常的其他心脏疾病;(4)评估心脏舒张功能。

近年来,超声心动图技术发展迅速,一些新的技术逐渐应用于 CCS 的评价。三维超声心动图(three-dimensional echocardiography, 3DE)能够更直观地显示心脏结构,定量评估心腔容积和功能而无需几何形状假设,具有更好的准确性和重复性。斑点追踪超声心动图(speckle-tracking echocardiography, STE)通过追踪心肌反射回声斑点实时评价心肌形变,定量分析节段和整体室壁运动,能够早期评估心肌功能异常和心肌缺血。小剂量多巴酚丁胺超声心动图可以检测存活心肌,具有较高的特异性。负荷超声心动图(药物或运动)通过观察负荷状态下左心室出现节段性室壁运动异常而诊断冠心病。对比剂增强超声心动图(contrast echocardiography, CE)又称为声学造影,其通过静脉注射超声增强剂行心腔显影可以进一步提高对心内膜和心内结构的识别,提高心功能检测的准确性;CE 与药物或运动负荷相结合,有助于提高诊断心肌缺血的敏感性。

超声心动图是目前时间分辨率最高的无创影像技术,受心率和心律影响较小。与其他影像学方法相比,超声心动图具有实时、动态、便捷、经济等优势,其不足在于空间分辨率和信噪比低,扫描视野小,操作者依赖性大。新技术如 3DE、STE 和 CE 仍待发展和完善。

5. 无创性影像技术特点与优势对比:如上所述,CT、CMR、核医学与超声心动图在心血管疾病的诊断中具有各自的优势和不足。如何在不同的临床场景中,根据患者病情合理地优选影像学检查方法,对于 CCS 的精准诊断和指导治疗具有重要临床意义。表 1 总结了各个影像学方法对于冠脉解剖、心脏结构与功能、心肌血流灌注与组织学特征评价的优势与不足。

表 1 无创性影像技术优势对比

项目	CT	心脏磁共振	核医学	超声心动图
冠脉狭窄	+++	+	-	-
冠脉斑块	+++	-	-	-
冠脉支架	+++	-	-	-
冠脉桥血管	+++	+	-	-
心脏结构	++	+++	+	+++
心功能	+	+++	+	+++
心肌缺血	++ ^a	+++ ^c	+++	+
心肌存活	+ ^b	+++	+++ ^d	++ ^e
微血管功能障碍	-	+++ ^c	+++ ^e	++ ^h
心肌组织学特征	-	+++	++ ^f	-

注:冠脉为冠状动脉;+为该影像学方法可对相应临床场景作出评价,但患者获益不明确,且存在安全性、性价比或普及性等方面的限制,不推荐作为该临床场景的影像学诊断方法;++为该影像学方法可对相应临床场景作出评价,患者有一定获益,在一线推荐方法结果不明确或禁忌的情况下,推荐作为该临床场景的补充诊断方法;+++为该影像学方法可对相应临床场景作出评价,患者获益最大,为最优选择,推荐作为该临床场景的一线影像学诊断方法;-为该影像学方法无法对该临床场景作出评价;^a需使用CT心肌灌注成像或CT冠状动脉血流储备分数(CT-FFR)技术进行评价;^b需使用CT心肌灌注成像和碘延迟强化扫描技术进行评价;^c需使用负荷磁共振心肌灌注成像进行评价;^d需使用¹⁸F标记脱氧葡萄糖正电子发射计算机断层显像(¹⁸F-FDG PET)心肌代谢成像;^e需使用正电子发射计算机断层显像(PET)负荷心肌灌注成像或单光子发射型计算机断层显像仪(SPECT)负荷心肌灌注成像;^f需根据成像目的使用特异性的显像剂,如使用^{99m}Tc-PYP进行心肌淀粉样变显像、空腹¹⁸F-FDG进行心脏炎症显像、成纤维细胞活化蛋白抑制剂(FAPI)进行心脏成纤维细胞活化显像等;^g需结合多巴酚丁胺负荷试验;^h需使用负荷超声心动图评估

伴有稳定型心绞痛的疑似或已知冠心病患者无创性影像检查推荐流程见图1。

三、无创性影像技术在CCS中的循证学依据与推荐

(一)疑似冠心病,伴有稳定型心绞痛症状和(或)呼吸困难

具有稳定型心绞痛症状的冠心病是临床最常见的CCS类型之一。该类患者首先需要针对心绞痛症状、心电图表现、心脏超声结果和临床评分,对冠心病的可能性作出初步判断。目前最常用的方法是根据患者的年龄、性别和心绞痛症状对罹患冠心病的验前概率进行评价(低危:验前概率<15%,中低危:验前概率15%~64%,中高危及:验前概率65%~84%,高危:验前概率≥85%)。在明确上述患者的冠心病危险分层后,合理使用解剖学(冠脉CTA)和功能学方法(核素或CMR心肌灌注

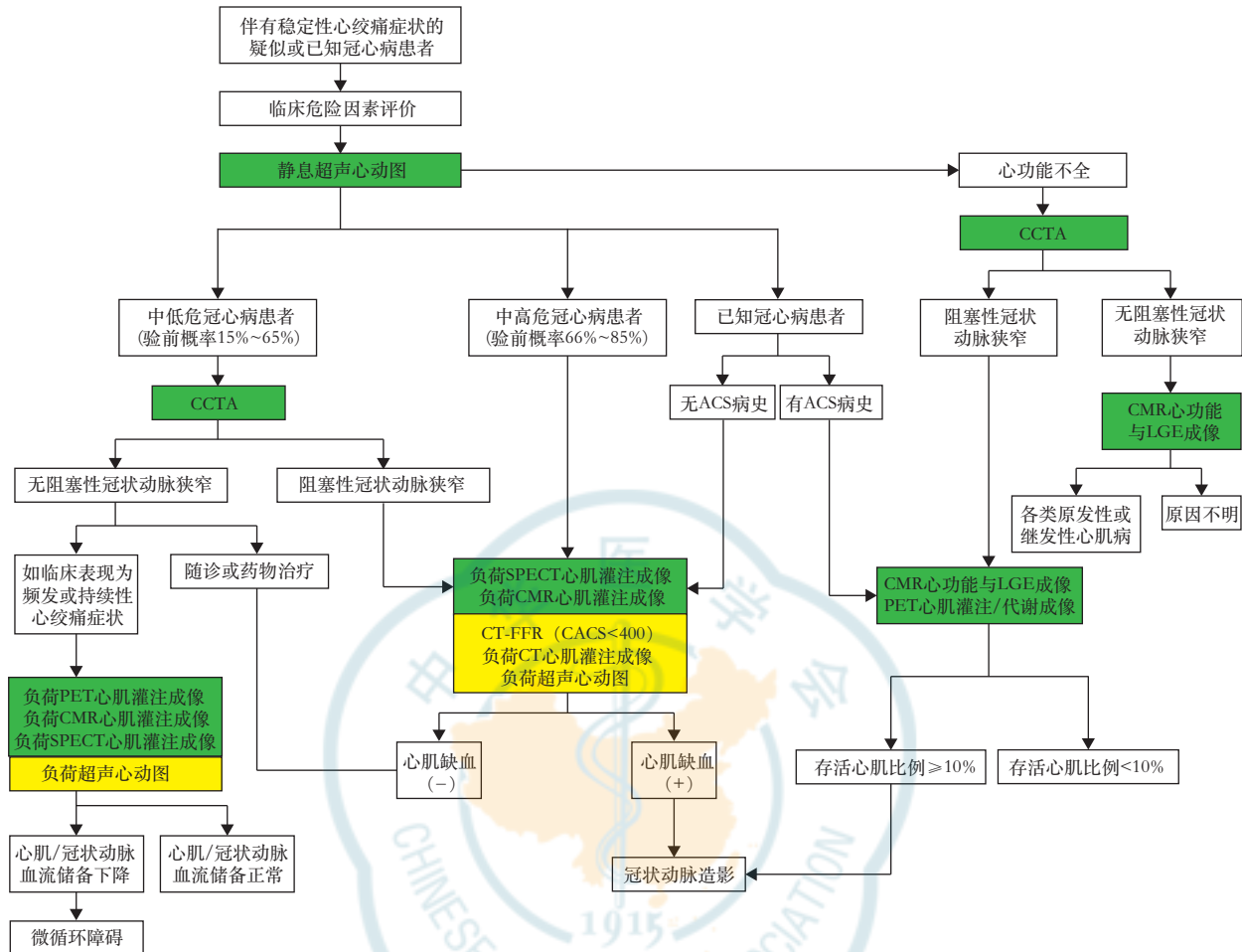
成像)对冠脉狭窄和心肌缺血进行综合评价以及危险分层,有助于优化CCS的诊断和治疗。

1. CT的循证学依据和推荐:冠脉CTA是目前无创性评价血管解剖的最佳影像学方法。ACCURACY研究结果显示,CTA诊断阻塞性冠脉狭窄(直径狭窄≥50%)的敏感性、特异性、阳性预测值和阴性预测值分别为95%、83%、64%和99%^[7],可安全地除外阻塞性冠脉狭窄。SCOT-HEART研究发现,在疑似冠心病稳定性胸痛患者中,使用CTA与常规诊断方法相比,可显著减少稳定性胸痛患者5年心脏不良事件发生率(2.3%比3.9%, $P=0.004$)^[8]。最新的DISCHARGE研究结果更是提示在具有稳定性胸痛的中危冠心病患者中,使用CTA和ICA作为首诊的影像学方法相比,两组远期预后相仿[3.5年主要心血管不良事件(major adverse cardiac event, MACE)发生率2.1%比3.0%, $P=0.1$],CTA组的有创性手术相关并发症发生率明显较低^[9]。

鉴于上述多个随机对照研究均证实了冠脉CTA作为稳定性胸痛患者一线影像学诊断方法的价值,因此,2021年美国心脏病学会(American Heart Association, AHA)胸痛诊断指南和2019年ESC CCS诊治指南均推荐在疑似冠心病患者中使用冠脉CTA排除阻塞性冠心病^[1, 10]。值得注意的是,CTA的患者获益与人群的冠心病验前概率密切相关。在低危或中低危人群中,阻塞性冠心病的概率较低,CTA具有高阴性预测价值,因此能可靠地排除阻塞性狭窄。在中高危或高危患者中,一方面由于该部分人群血管钙化往往较重导致CTA的假阳性率增高,另一方面由于阻塞性狭窄的发生率较高,因此在该类患者中,相较于冠脉CTA,心肌缺血评价对于指导治疗策略的选择具有更重要的意义。冠脉CTA最适合用于中低危冠心病患者排除阻塞性狭窄。

冠脉CTA另一个优势在于能够在体对粥样硬化斑块特征进行无创性评价。低密度斑块成分(CT值<30 HU)、正性重构(重构指数≥1.1)、点状钙化和餐巾环征是不稳定斑块的特征^[11],在组织学上对应薄纤维帽脂质斑块,与MACE的发生密切相关^[12]。国际心血管CT学会推荐在诊断报告中对具有两个或两个以上高危斑块特征的病变进行提示,以指导后续治疗^[13]。





ACS为急性冠状动脉综合征,CACS为冠脉钙化积分,CCTA为冠脉CT血管造影,CMR为心脏磁共振,CT-FFR为CT冠脉血流储备分数,LGE为钆延迟增强,PET为正电子发射型计算机断层显像,SPECT为单光子发射型计算机断层显像;绿色为影像学检查首选推荐,黄色可作为绿色影像学检查的替代推荐,建议综合考虑所在单位无创性影像检查方法的技术优势、经验、卫生经济学和可获得性,进行个体化选择

图1 伴有稳定性心绞痛的疑似或已知冠心病患者无创性影像检查推荐流程

近年来随着流体力学模拟计算技术的进展和CT硬件平台改进,CT-FFR和动态CT-MPI成为两项基于CT的功能学成像方法,两者对诊断缺血性狭窄的敏感度和特异度分别达到86%、79%(CT-FFR)^[14],与84%、89%(动态CT-MPI)^[15]。值得注意的是,CT-FFR对于CTA图像质量要求较高,同时重度钙化会严重降低诊断准确性;而动态CT-MPI则对CT扫描仪的探测器覆盖范围和时间分辨率有较高的要求,需使用双源CT或宽体探测器CT以保证首过灌注动态采集的全心覆盖和无心脏运动伪影的灌注图像,常用的64排CT由于探测器窄、时间分辨率低而无法开展。目前这两项技术均缺少前瞻性随机对照研究结果支持其作为一线影像学方法改善冠心病患者的预后。

要点提示

1. 推荐在冠心病中危的稳定型心绞痛患者中,使用冠脉CTA作为一线影像学方法除外阻塞性冠心病。
2. 推荐在冠心病中危的稳定型心绞痛患者中,使用冠脉CT计算CACS和识别高危斑块进行危险分层。
3. CT-FFR可选择性用于CACS低于400分的临界病变患者,评价其血流动力学意义。
4. 负荷CT心肌灌注成像可选择性用于CTA提示为临界病变、多支病变和重度钙化病变患者,评价其血流动力学意义。

2. 核素的循证学依据和推荐:MPI是临床应用最久的评价心肌缺血的无创影像技术,其在疑诊冠心病稳定型心绞痛患者中的诊断和预后价值已经

有大量的循证医学证据支持。PET-MPI 的诊断效能优于 SPECT-MPI, 但前者的普及性、性价比不如后者, 尤其是随着新型心脏专用 SPECT 的推广, 在未来的一段时间内 SPECT-MPI 仍是临床的首选。

对于疑诊冠心病稳定型心绞痛患者的诊断, 如果以压力导丝测量的冠脉血流储备分数 (fractional flow reserve, FFR) 作为参考标准, 常规 SPECT-MPI 的敏感度、特异度和准确性分别为 61%、93% 和 78%, 而 PET-MPI 分别为 90%、87% 和 88%^[16]。基于心脏专用机定量分析的 SPECT-MPI 的诊断效能有一定提高^[17]。对于有症状的疑诊冠心病患者, 在影响检查流程中, 推荐以核素 MPI 为代表的冠脉功能性评价手段优先用于冠心病中高危患者, 而中低危患者则优选冠脉解剖性影像。但是, 对于冠心病中低危患者, 如果存在冠脉重度弥漫性钙化、严重心律不齐、重度肥胖、无法配合屏气以及因其他原因无法获得满意 CT 图像的患者, 也建议首选以核素为代表的功能性影像方法。

对于稳定型心绞痛患者的风险评估, PROMISE 等一系列研究均证实, 无论以核素 MPI 为代表的功能性影像还是以 CTA 为代表的解剖性影像为初始评估手段, 患者的预后并无明显差异^[18]。因此, 临床上应该综合多方面因素以决定究竟采取何种影像手段。其中, 对于 CTA 提示的临界病变或多支病变的患者, 建议行核素 MPI 或其他功能性检查, 以明确是否存在缺血。

对于有稳定型心绞痛症状、疑似冠心病的中高危风险患者, 推荐使用核素 MPI 诊断冠心病, 并对患者进行风险评估和预后判断。

要点提示

对于有稳定型心绞痛症状、疑似冠心病的中高危风险患者, 推荐使用核素 MPI 诊断冠心病, 并对患者进行风险评估和预后判断。

3. CMR 的循证学依据和推荐: CMR 药物负荷心肌灌注成像评估心肌缺血在国际上已经得到广泛应用。相较于传统的 SPECT 心肌灌注成像, 负荷 CMR 的空间分辨率更高, 并且能够实时动态追踪对比剂分布, 有助于诊断心内膜下缺血, 且具有无辐射的优势。多个荟萃分析的结果均表明, 以 FFR 为参考, CMR 对诊断缺血性冠心病的敏感度和特异度分别为 80%~90% 和 87%~94%^[19], 其诊断表现优于其他功能学成像影像手段。

由于上述成像技术的优势, CMR 在对稳定型心绞痛患者的诊断、指导治疗决策及预后评价方面具有重要价值。MR-INFORM 随机对照研究提示在稳定型心绞痛患者中, 与直接行 ICA+FFR 相比, 根据负荷 CMR 是否显示心肌缺血决定治疗策略同样安全有效 (两组 1 年期主要心血管不良事件发生率无明显差异: CMR 3.6% 比 ICA+FFR 3.7%)^[20]。该研究结果揭示了负荷 CMR 在指导稳定性胸痛患者的治疗策略方面不劣于目前有创性功能学检查的金标准 FFR, 且使用 CMR 可减少约 50% 的有创性检查。

在预后评价方面, CE-MARC 研究的 5 年随访结果显示, 多参数 CMR 包括负荷心肌灌注、电影成像、冠脉血管成像、LGE 等可准确预测主要不良心血管事件^[21]。CE-MARC 2 研究发现, 在负荷 CMR 指导治疗的策略下, 疑似心绞痛患者 1 年后接受非必要有创性导管检查的比例显著减低^[22]。此外, 在一项近期发表的冠心病诊断卫生经济学研究中, 与 ICA 相比, 负荷 CMR 指导的治疗策略在中低危和高危风险的冠心病患者中, 分别降低了 42% 和 52% 的医疗花费^[23]。鉴于此, 对于伴有稳定型心绞痛的 CCS 患者, 2021 年 AHA 胸痛诊断指南和 2019 年 ESC 慢性冠脉综合征诊治指南均推荐行负荷 CMR 评价心肌缺血情况^[1, 9]。

要点提示

1. 对于有稳定型心绞痛症状、无冠心病病史的中高危风险患者, 推荐使用负荷 CMR 诊断心肌缺血、指导治疗以及评价预后。
2. 对于有稳定型心绞痛症状、无冠心病病史的中高危风险患者, 当冠脉 CTA 提示为临界病变或其他功能学检查结果不明确时, 推荐行负荷 CMR 评价心肌缺血。

4. 超声心动图的循证学依据和推荐: 对疑似稳定型心绞痛冠心病患者, 可采用 TTE 检查进行心脏结构和功能的评价。此类患者 LVEF 大多正常^[24], 如 TTE 检查显示 LVEF 减低和 (或) 节段性室壁运动异常, 提示患冠心病可能性大^[25]。TTE 提供的 LVEF 以及室壁运动异常等参数, 可用于对该类患者进行危险分层。对于超声声窗不佳患者, 应用超声对比剂增强成像, 可提高对节段性室壁运动异常及左心功能的评估效能^[26]。此外超声二维斑点追踪成像技术可早期评估左心室壁整体、节段和跨壁



心肌收缩功能受损,识别潜在的高危患者^[27-29]。

在所有疑似稳定型心绞痛的冠心病患者临床管理中,均需通过静息 TTE 进行初步筛查^[1,9]。此外,负荷造影超声心动图能够更敏感地探测局部心肌节段的运动和心肌血流灌注及其力学功能状态,对可疑冠心病患者亦具有重要诊断意义,但该技术在国内的临床应用尚有待推广。

要点提示

1. 所有疑似稳定型心绞痛患者,推荐静息 TTE 检查评估心脏结构、识别整体与节段性室壁运动异常、计算 LVEF,并排除其他可能存在的异常。
2. 对于疑似稳定型心绞痛症状的中高危风险患者,在适当的条件下,可考虑使用负荷超声心动图评价心肌血流灌注。

(二)疑似冠心病,伴有新发心衰或左心室功能不全

冠心病是我国住院心衰患者的常见病因之一。根据中国心衰中心注册研究结果,在 31 356 例因心衰住院的患者中,冠心病占其病因的 54.6%^[30]。严重的血管病变,尤其是多支病变引起的心肌缺血或心肌梗死,是导致该类患者心肌收缩功能障碍和心衰的主要原因。

无创性影像学检查在该类患者诊断和指导治疗中的价值体现在对整体心功能的评价、心衰病因的判断、冠脉病变的诊断以及心肌存活的识别等。

1. CT 的循证学依据和推荐:在心衰患者中,冠脉 CTA 可无创性评价血管解剖、明确有无阻塞性病变,以及疾病程度是否是导致心功能不全的主要病因。一项前瞻性研究显示,以 ICA 作为金标准,冠脉 CTA 诊断冠心病原性心衰的敏感度、特异度、阳性预测价值和阴性预测价值分别为 100%、95%、67% 和 100%;且 CTA 可以在 82% 的患者中可靠地除外阻塞性冠心病、减少不必要的有创性检查^[31]。IMAGE-HF 研究显示,在病因未知的心衰患者中,使用冠脉 CTA 作为首诊工具,与使用 ICA 相比,两者具有相似的 1 年期预后,但前者整体医疗花费和放射剂量更低^[32]。

要点提示

在疑似冠心病的心功能不全患者中,推荐使用冠脉 CTA 检查排查阻塞性冠心病。

2. 核素的循证学依据和推荐:对于确诊的缺血性心衰患者,基于回顾性研究的荟萃分析表明,有存活心肌的缺血性患者行血运重建后生存率明显改善;而没有存活心肌的患者血运重建与药物治疗的预后相似^[33]。进一步研究表明,只有当冬眠心肌大于左心室心肌的 10% 时,才能从血运重建中获益^[34]。因此,存活心肌评价对于缺血性心衰的预后和治疗方案制定具有重要价值。值得注意的是,近年来发表的 STICH 和 REVIVED-BCIS2 试验与其他研究结果相悖,未能证明再血管化治疗(经皮冠状动脉介入手术或冠状动脉旁路移植术)可改善存在存活心肌的缺血性心衰患者预后^[35-36]。但另一项以 ¹⁸F-FDG 心肌代谢显像指导临床决策的前瞻性随机对照研究 PARR-2 证实,如果遵循核素心肌显像结果,血运重建可以显著提高有存活心肌的缺血性心衰患者的中期和长期预后^[37]。因此,对于缺血性心衰患者,目前认为在血运重建术前应用核素心肌显像评价存活心肌是有意义的,FDG-PET 是评价存活心肌的最佳方法之一。

要点提示

对于确诊的缺血性心衰患者,推荐使用核素心肌灌注/代谢显像评价存活心肌。

3. CMR 的循证学依据和推荐:不论是 LVEF 保留或减低的左心功能不全患者,病因评估对制定合理治疗方案和评价预后至关重要。CMR 可准确测量左右心室容积、LVEF、心室质量、整体及节段室壁运动功能等参数,还能通过负荷 CMR 评价心肌血流灌注,通过 LGE 成像识别心肌纤维化,对于合并心功能不全的可疑冠心病患者具有重要的诊断价值。

心肌延迟强化的分布特征可帮助鉴别缺血性和非缺血性心衰。对于缺血性心脏病患者,其 LGE 往往呈现为心内膜下或透壁分布为主,并且与血管所支配的供血区域相对应。而非缺血性心脏病,如扩张型心肌病、心肌炎等,LGE 往往以壁间和外膜下分布为主要特点。结合负荷成像所显示的血流灌注和心功能特征,CMR 可对合并心衰的疑似冠心病患者作出病因学诊断。根据一项包含 1 227 例射血分数降低的心衰(heart failure with reduced ejection fraction, HFrEF)患者的荟萃分析结果,CMR 提示心肌 LGE 阳性对冠心病诊断的敏感度、特异度、阳性似然比和阴性似然比分别为 87%、

93%、12.91、0.14^[38]。这提示在大部分 HFrEF 患者中,当 CMR 的心肌延迟强化阴性时基本上可以排除缺血性心脏病。而对于射血分数保留的心衰(heart failure with preserved ejection fraction, HFpEF)患者,相比其他影像学检查,CMR 具有组织学定性的优势,为明确病因(如缺血性心脏病、CMVD、肥厚型心肌病、缩窄性心包炎等)以及揭示潜在病理生理机制提供了重要信息^[39]。

CMR 一站式评价心脏结构与功能、灌注和组织特征的优势不仅有助于疑似冠心病心衰患者的病因诊断,在预后与危险分层方面也具有重要价值。SPINS 研究发现,在疑似心肌缺血的 HFrEF 或 HFpEF 患者中,负荷 CMR 显示的心肌缺血和 LGE 延迟强化均是心血管不良事件的独立预测因子^[40]。一项纳入 2 850 例 LVEF 降低的缺血性和非缺血性心肌病患者的荟萃分析结果显示,LGE 阳性是该类患者发生室性心律失常的强预测因子,对安置植入型心律转复除颤仪有指导意义^[41]。因此,对于疑似冠心病伴有 HFpEF 或 HFrEF 的患者,多参数 CMR 检查均有助于明确患者病因、指导治疗决策及评价预后^[42]。

要点提示

对于可疑冠心病合并新发心衰的患者,推荐行 CMR 成像进行诊断与鉴别诊断、预后判断与危险分层。

4. 超声心动图的循证学依据和推荐:冠心病患者发生心衰或左心功能不全十分常见,超声心动图是首选的检查方法。在临床实践中,HFrEF 和射血分数轻度降低的心衰(heart failure with mildly reduced ejection fraction, HFmrEF)发生率高于 HFpEF^[43]。依据 2021 版 ESC 急性和慢性心衰诊断与治疗指南,超声心动图能够明确不同的心衰类型^[43]。

超声心动图主要的临床价值在于评估心腔大小、室壁厚度和心脏运动功能并排除其他疾患^[43],LVEF 是最常用于评估心功能的参数。对于收缩期和舒张期功能异常,TTE 都是首选的评估方法^[44]。在一项首次入院心衰患者的前瞻性观察性研究中,使用超声心动图检查对改善心衰患者的预后具有积极的作用^[45]。对于 HFpEF,超声心动图仍是现阶段评估舒张功能的首选影像学方法^[46],其显示的左心室舒张功能减退是心肌梗死患者远期不良预后

的强预测因子^[47]。负荷超声心动图试验也可评估心肌缺血和(或)心肌存活^[43, 48],但目前临床应用尚不广泛。

要点提示

1. 推荐应用超声心动图评估所有疑似冠心病合并心衰患者的左心室功能。
2. 冠心病伴心衰患者且临床管理认为适合冠脉血运重建者,有条件可以实施负荷超声心动图来评估心肌缺血和心肌存活。

(三) ACS 或血运重建术后 1 年以内无症状或稳定性胸痛

对于发生过 ACS 或接受过血运重建的患者,如在 1 年内仍有稳定性胸痛症状,属于高危风险人群,其症状可能是由未处理的残余病变引起或血运重建术后病变发生再狭窄所致。在该类患者中,临床需要对冠脉的解剖学和心肌的功能学进行完整的评价,以明确是否还存在需要进一步处理的血管病变以及心肌缺血/存活在上次血运重建术后的恢复情况。对于无症状的非 ACS 患者,由于现有循证学证据未能提示常规进行心肌灌注成像的临床获益,因此以经济、易行的心脏超声随访为主。

1. CT 的循证学依据和推荐:该类患者既往阻塞性冠脉病变的诊断已明确,在末次血运重建术后仍存在未处理病变的患者中,冠脉 CTA 可用于评价药物治疗后的转归、明确是否需要再次进行 ICA^[49]。但值得注意的是,如既往解剖学影像数据(CTA 或 ICA)提示患者具有重度钙化病变(CACS>400 分)、硬化线束伪影等,会干扰冠脉 CTA 对狭窄程度的判断导致假阳性病例增多,不推荐在该部分患者中使用冠脉 CTA 作为随访影像学检查。

对于血运重建术后 1 年内有症状的患者,冠脉 CTA 可用于部分支架和桥血管通畅性的评价。冠脉 CTA 诊断直径 ≥ 3 mm 支架再狭窄的敏感度和特异度均达到 90% 以上^[50]。但受到硬化线束伪影影响,CT 支架可评估性和诊断准确性随着支架直径减小、支架壁增厚而下降。虽然高分辨率探测器 CT 的应用可提高 CTA 对小管径支架的诊断效能^[51],但目前临床最为普及的 64 层螺旋 CT 对于部分直径<3 mm 的支架仍无法诊断。因此,目前的循证学证据仅支持冠脉 CTA 评价直径 \geq

3 mm 支架的通畅性。在桥血管诊断方面,冠脉 CTA 是目前评价桥血管通畅性的最佳无创性影像方法,以 ICA 作为参考标准,CTA 诊断桥血管病变(直径狭窄 $\geq 50\%$)的敏感度和特异度均高达 98%^[52]。

此外,如患者在初次血运重建术后仍存在未处理的慢性完全闭塞(chronic total occlusion, CTO)病变,往往需要再次手术,但在择期 PCI 术前,可通过冠脉 CTA 对病变的解剖特征和手术路径规划进行进一步的精准评价,以提高复杂性 CTO 病变(J-CTO 评分 ≥ 2 分)的手术成功率^[53]。

要点提示

1. 推荐在 ACS 或血运重建术后 1 年内具有稳定性胸痛患者中,使用冠脉 CTA 评价支架(直径 ≥ 3 mm)的通畅性以及桥血管通畅性。
2. 推荐在 ACS 或血运重建术后 1 年内具有稳定性胸痛患者中,使用冠脉 CTA 指导择期复杂性 CTO 病变(J-CTO 评分 ≥ 2 分)经皮再血管化治疗。

2. 核素的循证学依据和推荐:对于 ACS 或血运重建术后 1 年内伴有稳定性胸痛的患者,如果核素 MPI 提示 ACS 或血运重建术后的患者仍然存在心肌缺血,则提示预后不良^[54]。COURAGE 研究的核素 MPI 亚组分析提示,PCI 术后的 5 年随访期内,无残余缺血患者的心脏事件发生率是 0,而残余缺血 $>10\%$ 的患者心脏事件发生率是 39%^[55]。

另外,对于发生过 ACS 心肌梗死的患者,如存在胸痛症状则提示有心肌缺血的可能。但是对于伴有显著心功能不全的患者,尤其是 LVEF $<35\%$ 的患者,仍然需要明确有无存活心肌以决定最佳治疗策略。急性心肌梗死后 3 个月内梗死区会有炎症的持续存在,会干扰 FDG-PET 评价存活心肌的准确性。因此,可以考虑在 3 个月后进行存活心肌评价。

要点提示

1. 推荐在 ACS 后 1 年内具有稳定性胸痛患者中,使用核素 MPI 评价心肌缺血并使用核素心肌代谢显像评价存活心肌。
2. 推荐近期 PCI 术后具有稳定性胸痛患者中,使用核素 MPI 评价心肌缺血。

3. CMR 的循证学依据和推荐:如前所述,功能学评价在 ACS 或血运重建术后 1 年内有稳定性胸痛症状的患者中具有重要意义。与其他无创性影像方法相比,CMR 的优势在于可同时对 ACS 或再血管化术后的左心室功能、心肌灌注恢复以及心肌瘢痕范围进行综合性评价。通过上述参数的定量和定性诊断,明确患者是否存在残余心肌缺血、缺血区域的心肌活性以及室壁运动功能。如患者仍存在较大范围的缺血但心肌存活区域,进一步的介入干预有助于缓解该类患者的心绞痛症状、改善预后。

2019 年 ESC CCS 的诊治指南推荐,在血运重建术后 1 年内,如仍然存在胸痛症状,建议行无创性影像检查(核素 MPI 或负荷 CMR)评价是否存在残余心肌缺血,为制定后续治疗方案提供依据^[1]。目前已有多项研究结果表明,无论是冠脉旁路移植术后还是 PCI 术后,CMR 提示的可逆性心肌缺血均是心血管不良事件的独立预测因子^[56-57]。

要点提示

1. 推荐在 PCI 术后 1 年内具有稳定性胸痛患者中,有条件可使用负荷 CMR 评价是否存在残余心肌缺血。
2. 推荐在 ACS 后 1 年内患者中,使用磁共振成像评估心功能与心肌瘢痕组织。

4. 超声心动图的循证学依据和推荐:ACS 或血运重建术后 1 年内有稳定性胸痛症状的患者,应行 TTE 监测随访,及时评估风险状态^[58]。TTE 所测量的 LVEF 值,是稳定型心绞痛预后判断的重要指标之一^[25]。若症状持续存在,可能与心外膜冠脉血管舒缩异常和(或)CMVD 有关^[59]。如果负荷超声心动图诱发出现室壁运动异常,则强烈提示存在心外膜下冠脉阻塞性病变;如果负荷超声心动图阴性且平板运动试验显示 ST 段压低,则高度提示 CMVD^[60]。因此,负荷超声心动图可对该类患者进行危险分层^[61],其阳性结果是主要心血管事件强而独立的预测指标^[62]。

对临床状态突然恶化伴胸痛复发或其他症状患者,也需应用 TTE 进行重新评估,以便及时发现进展性左心室功能障碍或并发症的证据^[63]。对 LVEF 保留的患者,组织多普勒、心肌应变成像及左心室舒张功能评估,可早期检测心肌功能



障碍^[3]。

要点提示

1. 推荐在 ACS 或血运重建术后 1 年内至少行 2 次 TTE 检查, 全面评估心脏形态结构与功能。当临床症状出现变化时, 则需随时复查 TTE, 适时指导临床治疗。

2. 若血运重建前或 ACS 后出现左心室收缩功能异常, 需在干预后 8~12 周内, 重新评估左心室功能。

3. 若症状持续存在, 有条件可行负荷超声心动图检查并进行危险分层。

(四) 初诊冠心病或血运重建术后 1 年以上, 无症状或稳定性胸痛

对于初诊冠心病或血运重建术后 1 年以上的稳定性胸痛患者, 尤其是持续存在稳定型心绞痛或新发心绞痛人群, 需要对冠脉解剖和心肌血流灌注/存活进行综合评价, 以明确是否需要介入干预或强化药物治疗。对于已知冠心病 1 年以上的无症状患者, 则以临床风险评分为主, 不推荐以 CTA 或心肌灌注成像作为常规随访手段。

1. CT 的循证学依据和推荐: 对于初诊后 1 年以上的有症状患者, 得益于斑块定量技术的发展, 冠脉 CTA 可无创性地监测粥样硬化病变在治疗前后的动态变化。对于他汀治疗有效的患者, CTA 可显示斑块内钙化成分的增加和非钙化斑块成分减少^[64]。因此, 对于整体粥样硬化斑块负荷较重或具有高危斑块特征的患者, CTA 是一项有效的无创性影像方法, 用于疾病进展的监测并指导治疗。

对于已知为多支病变的稳定性胸痛患者, CT-FFR 技术有助于指导再血管化治疗策略的选择。SYNTAX II 研究前瞻性纳入了已知的多支病变患者, 与 ICA/FFR 相比, CTA 高估了解剖 SYNTAX 评分, 但 CT-FFR 获得的功能性 SYNTAX 评分与有创性结果具有良好的一致性, 基于 CT-FFR 的功能性 SYNTAX 评分有望替代有创性检查以优化多支病变患者的治疗^[65]。

对于血运重建术后 1 年以上的稳定性胸痛患者, 冠脉 CTA 同样适用于评价支架和桥血管通畅性, 其循证学证据和推荐等级同前文所

述。对于已知冠心病 1 年以上的无症状患者, 目前尚无循证学证据支持冠脉 CTA 用于该类人群的随访和复查。近年来随着 CT 扫描技术的进展, 负荷 CT 心肌灌注成像在 PCI 术后的诊断价值同样崭露头角, 以 ICA 作为参考标准, CT-MPI 诊断阻塞性支架内再狭窄的准确性显著高于 CTA^[66]。

要点提示

1. 推荐在初诊冠心病 1 年以上稳定性胸痛患者中, 使用冠脉 CTA 监测斑块负荷和狭窄程度进展。

2. 推荐在已知多支病变的有症状患者中, 使用 CT-FFR 指导再血管化治疗策略。

3. 推荐在 PCI 术后 1 年以上有稳定性胸痛患者中, 使用冠脉 CTA 评价支架(直径 ≥ 3 mm)通畅性。

4. 推荐在 CABG 术后 1 年以上有症状患者中, 使用冠脉 CTA 评价桥血管通畅性。

5. 负荷 CT 心肌灌注成像可用于 PCI 术后 1 年以上稳定性胸痛患者, 评价支架内再狭窄。

2. 核素的循证学依据和推荐等级: 对于血运重建 1 年以上的患者, 核素 MPI 可以用来检测症状性心肌缺血, 结合病史和其他检查还可以进一步推测缺血是否由再狭窄或非重建血管的疾病进展所致。无论是否有临床症状, 核素 MPI 异常都提示预后不良。研究提示, PCI 术后 1 年复查核素 MPI 有缺血患者未来 3 年的心脏事件发生率远高于无缺血的患者^[67]。因此, 对于有症状的血运重建术后患者, 行核素 MPI 检查是有意义的。

与症状性患者相比, 目前尚没有证据对初诊冠心病或血运重建 1 年以上无症状的患者常规进行核素 MPI 检测心肌缺血。在 PCI 术后 1 年常规行功能学检查(核素 MPI 或负荷超声心动图)并不能减少 MACE 发生率、改善患者的预后^[68]。

要点提示

推荐在初诊冠心病或血运重建 1 年以上的有症状的患者中行核素 MPI 检测心肌缺血。

3. CMR 的循证学依据和推荐: 对于初诊后 1 年以上的有症状患者, 由于存在心血管疾病的诸多高危因素, 心血管相关不良事件的发生率相对更高,

CMR 在该人群的指导治疗、长期预后分析和风险分层有独特的优势。在已知冠心病的症状性患者中,负荷 CMR 提示的心肌缺血与心肌梗死/心源性死亡和 MACE 风险密切相关^[69]。如 CMR 检查显示没有心肌缺血的患者,其年化心肌梗死和心血管死亡率较低,提示 CMR 可为已确诊冠心病患者提供了新的风险分层策略。对于传统风险分层为中等风险的患者,可根据 CMR 是否存在心肌缺血和瘢痕进一步分为低(无心肌缺血和心肌瘢痕)和高(有心肌缺血和心肌瘢痕)风险患者,以指导治疗策略的选择^[69]。因此,在 2021 版 AHA 胸痛诊断指南中,对于已知冠心病的症状性患者,推荐首选负荷 CMR 作为功能学影像手段评价心肌缺血^[9]。

要点提示

对于初诊冠心病或血运重建术后 1 年以上的有症状患者,推荐行负荷 CMR 评价心肌缺血,推荐 LGE 评估心肌瘢痕。

4. 超声心动图的循证学依据和推荐:该类患者病情可能长期稳定,亦可出现变化,须应用 TTE 进行定期随访。静息 TTE 测量左心室舒张末内径和收缩末内径,负荷 TTE 评价左心室整体和节段收缩功能,上述超声参数均与患者长期预后密切相关^[24, 70]。此外应用超声心动图评价左心室大小与功能、瓣膜状态,也可使无症状患者获益^[63]。

要点提示

推荐该类患者定期复查静息 TTE,一般间隔 3~5 年,此前有阳性结果者则间隔 1 年。若临床症状变化时,则随时复查 TTE 并酌情考虑实施负荷 TTE,对危险程度进行分层以指导治疗决策。

(五)疑似血管痉挛或微血管病变的心绞痛

具有典型心绞痛症状但 CTA 或 ICA 未显示心外膜冠脉阻塞性病变的患者在临床中并不少见。该部分患者的症状可能是由 CMVD 或血管痉挛所致,在 2020 版 ESC 缺血伴非阻塞性冠脉疾病诊治专家共识中被定义为缺血伴非阻塞性冠脉疾病(ischemia with non-obstructive coronary arteries, INOCA)^[71]。血管痉挛性 INOCA 目前仅能由有创性冠脉激发试验确诊。对于 CMVD 导致的 INOCA,无创性影像方法有较大的诊断价值,但该部分患者的评价仍是目前临床面临的难点之一。常规的解

剖学影像方法仅能排除阻塞性冠脉狭窄,其诊断需要功能学试验以明确心肌缺血的存在。因此,解剖联合功能的综合影像评价是诊断 CMVD 导致的 INOCA 必不可少的重要环节。

1. CT 的循证学依据和推荐:冠脉 CTA 的作用在于可靠地除外阻塞性冠脉病变^[72]。CMVD 所致的微血管性心绞痛往往与阻塞性狭窄所致的劳力性心绞痛症状相似,前者诊断的第一步需要通过解剖学影像学方法排除可能存在的阻塞性狭窄,CTA 是目前临床应用最广泛的无创性解剖学成像方法,适合作为排除阻塞性冠脉病变的首诊影像学检查。

要点提示

推荐在疑似微血管病变的心绞痛患者中,使用冠脉 CTA 除外阻塞性冠脉疾病。

2. 核素的循证学依据和推荐:根据显像设备的不同,目前有两种核素心肌血流定量分析技术可以用来诊断 CMVD,即 PET-MPI 和 SPECT-MPI。两种技术都是基于对心肌血流的绝对定量检测,得到静息 MBF 和使用冠脉扩张药物后的最大充血状态 MBF,并根据二者的比值得到 MFR。需要强调的是,核素诊断 CMVD 必须结合冠脉解剖学影像检查排除心外膜下冠脉狭窄以及血管痉挛性心绞痛。

PET-MPI 一直被公认为是诊断 CMVD 的无创影像金标准^[73],其准确性已被微球技术验证^[74]。PET-MPI 的临床价值也得到了大量临床研究的验证,包括在具有冠心病危险因素的患者中可以提供独立的预后价值^[75-76],以及微血管心绞痛的治疗监测^[74, 77]。基于新型 SPECT 或心脏专用机的 SPECT-MPI 检测 MFR 的准确性已经得到了 PET-MPI 的验证^[78],但是 SPECT-MPI 的临床价值目前的循证医学证据还不充分,需要进一步验证。

要点提示

推荐在疑似微血管病变的心绞痛、且已除外阻塞性冠心病的患者中,采用 PET-MPI 或心脏专用 SPECT-MPI 诊断 CMVD。

3. CMR 的循证学依据和推荐:CMVD 可导致心肌缺血,同样在 INOCA 的无创性诊断中,首先必须结合冠脉解剖学影像检查排除心外膜下冠脉狭窄。负荷 CMR 可以定量计算最大充血状态和静息状态

下的 MBF, 两者的比值即为心肌灌注储备指数 (myocardial perfusion reserve index, MPRI), MPRI 是目前 CMR 评价心肌微血管功能的最佳指标。WISE 研究纳入了 118 例临床疑似 CMVD 的女性心绞痛患者, 以侵入性冠脉反应试验为参考, MPRI 诊断 CMVD 的敏感度和特异度为 73% 和 74%^[79]。另一项纳入 75 例疑似 INOCA 患者的对照研究发现, 以有创性多普勒导丝测量的 CFR 作为参考标准, 磁共振 MPRI 诊断 CMVD (准确度 79%, AUC=0.88) 显著优于磁共振定量的负荷 MBF (准确度 64%, AUC=0.64, $P<0.001$) 和目测分析 (准确度 58%, AUC=0.6, $P<0.001$)^[80]。

除了诊断价值, MPRI 在 INOCA 人群预后、疗效评价中的价值也逐渐得到重视。近期一项纳入 1 049 例疑似冠心病患者的多中心、前瞻性 CMR 研究发现, 在不存在心外膜血管病变或目测负荷心肌灌注缺损的患者中, MPRI 是全因死亡和 MACE 的独立预测因子^[81]。此外, CMR 还可用于监测药物治疗后心肌微循环的改善^[82]。鉴于此, 2021 年 AHA 胸痛诊断指南和 2020 年欧洲经皮心血管介入学会 (European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions, EAPCI) INOCA 诊治专家共识均推荐在临床疑似 INOCA 患者中, 可使用负荷 CMR 进行 CMVD 的诊断^[9, 71]。

要点提示

对于疑似微血管病变的心绞痛、且已除外阻塞性冠心病患者, 推荐使用负荷 CMR 定量的 MPRI 诊断 CMVD。

4. 超声心动图的循证学依据和推荐等级: TTE 可显示前降支血流并测量其速度, 在记录到静息状态下前降支舒张期流速后, 静脉注射腺苷, 测量冠脉最大充血状态下的舒张期流速, 可计算得出 CFR。研究显示低 CFR 与 4 年后心血管事件的高发生率呈显著相关^[83]。需要指出的是并非所有的患者都能获得满意的超声窗, 目前临床实际应用较少, 缺乏大样本循证学依据。

要点提示

推荐疑似微血管病变的心绞痛患者, 在无法进行核素或 CMR 功能学评价时, 使用负荷超声心动图评价前降支 CFR。

(六) 筛查发现冠心病但无症状

具有心血管疾病危险因素的症状患者, 体检筛查首先以临床风险评分为主, 辅以血生化指标、颈动脉内膜厚度和冠脉 CACS 等简便易行的影像学指标, 以筛出冠心病高危患者。对于被评估为高危的无症状患者, 后续可考虑进一步行无创性解剖学或功能学影像学评价, 以优化治疗策略的制定。

CACS 是无症状患者冠心病危险分层的一项简便、有效的方法, 目前临床上广泛采用的是 Agatston 评分。MESA 研究显示, CACS 1~100 分、101~300 分和 >300 分人群的心脏事件发生率分别为无冠脉钙化人群的 3.16、7.73 和 9.67 倍^[84]。与其他临床指标 (如颈动脉内膜厚度等) 相比, CACS 联合 Framingham 评分具有最高的 MACE 预测价值^[85]。

冠脉 CTA 在无症状患者中筛查的价值目前尚不明确。FACTOR-64 是一项前瞻性、多中心、随机对照研究, 该研究的结果未提示使用 CTA 筛查可以减低无症状糖尿病患者的远期心血管不良事件发生率^[86]。因此, 目前尚无充分的循证学证据支持使用 CTA 用于无症状患者的冠心病筛查。

CMR 与核素 MPI 不用于无症状患者的冠心病筛查。但对于临床风险评分与 CACS 提示为高风险患者 (如 CACS>400 分), 则可考虑使用功能学检查 (CMR 或核素 MPI) 进一步排除无症状心肌缺血的发生。

要点提示

1. 推荐在临床风险评分为中高危的无症状人群中, 使用 CACS 进行危险分层。
2. 不推荐使用核素 MPI 和 CMR 在无症状人群中进行冠心病筛查。也不推荐使用超声心动图在无症状人群中进行冠心病筛查, 超声心动图旨在排除其他心脏疾患。

随着 CCS 疾病概念和诊疗策略的进展和更新, 其无创性影像诊断已逐渐发展到整合解剖、功能和组织学特征的多模态成像评估。本专家共识契合上述需求, 基于各类影像技术的最新循证学证据, 并综合考虑国内应用现状、临床价值、科学性、适用性和性价比, 进行了诊断流程的推荐, 旨在推动我国无创性心血管影像应用的规范化。希望通过本专家共识的制定, 进一步推动我国心血管无创影像技术的发展及其临床应用, 为 CCS 的个体化、精准化诊断提供最优化的指导。



写作组成员:赵世华(中国医学科学院阜外医院),张佳胤(上海市第一人民医院),杨敏福(首都医科大学附属北京朝阳医院),郭应坤(四川大学华西第二医院),谢明星(武汉协和医院),舒先红(复旦大学附属中山医院),尹立雪(四川省立医院)

专家组成员(按姓氏拼音排序):陈凡(中南大学湘雅医院),陈未(中国医学科学院北京协和医院),陈秀玉(中国医学科学院阜外医院),方理刚(中国医学科学院北京协和医院),方纬(中国医学科学院阜外医院),方跃华(上海交通大学医学院附属瑞金医院),傅国胜(浙江大学医学院附属邵逸夫医院),付晓霞(中华医学会杂志社),兰晓莉(华中科技大学同济医学院附属协和医院),李航(吉林大学白求恩第一医院),李剑明(泰达国际心血管病医院),李康(中国科学院大学重庆医院),李睿(川北医学院附属医院),李小虎(安徽医科大学第一附属医院),吕秀章(首都医科大学附属北京朝阳医院),逢坤静(中国医学科学院阜外医院),彭芸(首都医科大学附属北京儿童医院),钱菊英(复旦大学附属中山医院),邱建星(北京大学第一医院),饶莉(四川大学华西医院),沈建颖(上海市第十人民医院),沈君(中山大学孙逸仙纪念医院),孙志军(解放军总医院第一临床医学中心),田野(哈尔滨医科大学附属第一医院),汪芳(卫生部北京医院),王斌(北部战区总医院),王敬萍(山西省心血管病医院),王锡明(山东省立医院),王新宇(北京大学第三医院),王跃涛(苏州大学第三附属医院),吴爵非(南方医科大学南方医院),吴连明(上海交通大学医学院附属仁济医院),徐怡(江苏省人民医院),姚桂华(山东大学齐鲁医院),叶场(浙江大学医学院附属邵逸夫医院),张卫萍(西安交通大学医学院第一附属医院),张晓丽(首都医科大学附属北京安贞医院),赵蕾(首都医科大学附属北京安贞医院),周微微(北部战区总医院),朱天刚(北京大学人民医院)

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

志谢 本专家共识的制定过程中,得到了韩雅玲院士、葛均波院士、张运院士、马长生教授、刘士远教授和郭佑民教授等资深专家的大力支持;中华医学会心血管病学分会和《中华心血管病杂志》对本共识的起草、制定和发布给予了巨大的支持和帮助,在此一并表示最诚挚的感谢

参 考 文 献

- [1] Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes[J]. Eur Heart J, 2020, 41(3): 407-477. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz425.
- [2] Fox K, Garcia MA, Ardissino D, et al. Guidelines on the management of stable angina pectoris: executive summary: The Task Force on the management of stable angina pectoris of the European Society of Cardiology[J]. Eur Heart J, 2006, 27(11):1341-1381. DOI: 10.1093/eurheartj/ehl001.
- [3] Montalescot G, Sechtem U, Achenbach S, et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology[J]. Eur Heart J, 2013, 34(38):2949-3003. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz296.
- [4] Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT[J]. N Engl J Med, 2008, 359(22):2324-2336. DOI: 10.1056/NEJMoa0806576.
- [5] Zhao S. Letter to the editor: is it time for imaging to level with pathology? [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2020, 36(11):2249-2250. DOI: 10.1007/s10554-020-01936-z.
- [6] 赵世华. 重视磁共振成像在心血管疾病风险预测模型构建中的价值[J]. 中华心血管病杂志, 2023, 51(6): 563-567. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20230414-00218.
- [7] Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial[J]. J Am Coll Cardiol, 2008, 52(21):1724-1732. DOI: 10.1016/j.jacc.2008.07.031.
- [8] Newby DE, Adamson PD, Berry C, et al. Coronary CT angiography and 5-year risk of myocardial infarction[J]. N Engl J Med, 2018, 379(10):924-933. DOI: 10.1056/NEJMoa1805971.
- [9] Maurovich-Horvat P, Bossert M, Kofoed KF, et al. CT or invasive coronary angiography in stable chest pain[J]. N Engl J Med, 2022, 386(17):1591-1602. DOI: 10.1056/NEJMoa2200963.
- [10] Gulati M, Levy PD, Mukherjee D, et al. 2021 AHA/ACC/AASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR guideline for the evaluation and diagnosis of chest pain: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on clinical practice guidelines[J]. Circulation, 2021, 144(22): e368-e454. DOI: 10.1161/CIR.0000000000001030.
- [11] Motoyama S, Sarai M, Harigaya H, et al. Computed tomographic angiography characteristics of atherosclerotic plaques subsequently resulting in acute coronary syndrome[J]. J Am Coll Cardiol, 2009, 54(1): 49-57. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.02.068.
- [12] Nerlekar N, Ha FJ, Cheshire C, et al. Computed tomographic coronary angiography-derived plaque characteristics predict major adverse cardiovascular events: a systematic review and meta-analysis[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2018, 11(1):e006973. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.117.006973.
- [13] Cury RC, Abbara S, Achenbach S, et al. Coronary Artery Disease-Reporting and Data System (CAD-RADS): an expert consensus document of SCCT, ACR and NASCI: endorsed by the ACC[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2016, 9(9):1099-1113. DOI: 10.1016/j.jcmg.2016.05.005.
- [14] Nørgaard BL, Leipsic J, Gaur S, et al. Diagnostic performance of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary computed tomography angiography in suspected coronary artery disease: the NXT trial (Analysis of Coronary Blood Flow Using CT Angiography: Next Steps) [J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 63(12):1145-1155. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.11.043.
- [15] Nous F, Geisler T, Kruk M, et al. Dynamic myocardial perfusion CT for the detection of hemodynamically significant coronary artery disease[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(1):75-87. DOI: 10.1016/j.jcmg.2021.07.021.
- [16] Driessen RS, Danad I, Stuijzand WJ, et al. Comparison of coronary computed tomography angiography, fractional

- flow reserve, and perfusion imaging for ischemia diagnosis[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73(2):161-173. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.10.056.
- [17] Agostini D, Roule V, Nganoa C, et al. First validation of myocardial flow reserve assessed by dynamic (99m) Tc-sestamibi CZT-SPECT camera: head to head comparison with (15)O-water PET and fractional flow reserve in patients with suspected coronary artery disease. The WATERDAY study[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 45(7): 1079-1090. DOI: 10.1007/s00259-018-3958-7.
- [18] Douglas PS, Hoffmann U, Patel MR, et al. Outcomes of anatomical versus functional testing for coronary artery disease[J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(14):1291-1300. DOI: 10.1056/NEJMoa1415516.
- [19] Danad I, Szymonifka J, Twisk J, et al. Diagnostic performance of cardiac imaging methods to diagnose ischaemia-causing coronary artery disease when directly compared with fractional flow reserve as a reference standard: a meta-analysis[J]. *Eur Heart J*, 2017, 38(13): 991-998. DOI: 10.1093/eurheartj/ehw095.
- [20] Nagel E, Greenwood JP, McCann GP, et al. Magnetic resonance perfusion or fractional flow reserve in coronary disease[J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(25): 2418-2428. DOI: 10.1056/NEJMoa1716734.
- [21] Greenwood JP, Herzog BA, Brown JM, et al. Prognostic value of cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography in suspected coronary heart disease: long-term follow-up of a prospective, diagnostic accuracy cohort study[J]. *Ann Intern Med*, 2016, 165(1):1-9. DOI: 10.7326/M15-1801.
- [22] Greenwood JP, Ripley DP, Berry C, et al. Effect of care guided by cardiovascular magnetic resonance, myocardial perfusion scintigraphy, or nice guidelines on subsequent unnecessary angiography rates: the CE-MARC 2 randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2016, 316(10): 1051-1060. DOI: 10.1001/jama.2016.12680.
- [23] Moschetti K, Kwong RY, Petersen SE, et al. Cost-minimization analysis for cardiac revascularization in 12 health care systems based on the EuroCMR/SPINS registries[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(4): 607-625. DOI: 10.1016/j.jcmg.2021.11.008.
- [24] Daly C, Norrie J, Murdoch DL, et al. The value of routine non-invasive tests to predict clinical outcome in stable angina[J]. *Eur Heart J*, 2003, 24(6): 532-540. DOI: 10.1016/s0195-668x(02)00820-5.
- [25] Daly CA, De Stavola B, Sendon JL, et al. Predicting prognosis in stable angina--results from the Euro heart survey of stable angina: prospective observational study [J]. *BMJ*, 2006, 332(7536): 262-267. DOI: 10.1136/bmj.38695.605440.AE.
- [26] Senior R, Becher H, Monaghan M, et al. Clinical practice of contrast echocardiography: recommendation by the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) 2017[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18(11): 1205-1205af. DOI: 10.1093/ehjci/jex182.
- [27] Smedsrud MK, Sarvari S, Haugaa KH, et al. Duration of myocardial early systolic lengthening predicts the presence of significant coronary artery disease[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(12): 1086-1093. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.06.022.
- [28] Eek C, Grenne B, Brunvand H, et al. Strain echocardiography and wall motion score index predicts final infarct size in patients with non-ST-segment-elevation myocardial infarction[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2010, 3(2): 187-194. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.109.910521.
- [29] Smedsrud MK, Gravning J, Omland T, et al. Sensitive cardiac troponins and N-terminal pro-B-type natriuretic peptide in stable coronary artery disease: correlation with left ventricular function as assessed by myocardial strain[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2015, 31(5):967-973. DOI: 10.1007/s10554-015-0646-6.
- [30] Wang H, Li YY, Chai K, et al. Contemporary epidemiology and treatment of hospitalized heart failure patients in real clinical practice in China[J]. *Zhonghua Xin Xue Guan Bing Za Zhi*, 2019, 47(11):865-874. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2019.11.004.
- [31] ten Kate GJ, Caliskan K, Dedic A, et al. Computed tomography coronary imaging as a gatekeeper for invasive coronary angiography in patients with newly diagnosed heart failure of unknown aetiology[J]. *Eur J Heart Fail*, 2013, 15(9): 1028-1034. DOI: 10.1093/eurjhf/hft090.
- [32] Chow B, Coyle D, Hossain A, et al. Computed tomography coronary angiography for patients with heart failure (CTA-HF): a randomized controlled trial (IMAGE-HF 1C) [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 22(9): 1083-1090. DOI: 10.1093/ehjci/jeaa109.
- [33] Allman KC, Shaw LJ, Hachamovitch R, et al. Myocardial viability testing and impact of revascularization on prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction: a meta-analysis[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2002, 39(7): 1151-1158. DOI: 10.1016/s0735-1097(02)01726-6.
- [34] Ling LF, Marwick TH, Flores DR, et al. Identification of therapeutic benefit from revascularization in patients with left ventricular systolic dysfunction: inducible ischemia versus hibernating myocardium[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2013, 6(3):363-372. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.112.000138.
- [35] Bonow RO, Maurer G, Lee KL, et al. Myocardial viability and survival in ischemic left ventricular dysfunction[J]. *N Engl J Med*, 2011, 364(17): 1617-1625. DOI: 10.1056/NEJMoa1100358.
- [36] Panza JA, Ellis AM, Al-Khalidi HR, et al. Myocardial viability and long-term outcomes in ischemic cardiomyopathy[J]. *N Engl J Med*, 2019, 381(8):739-748. DOI: 10.1056/NEJMoa1807365.
- [37] Mc Ardle B, Shukla T, Nichol G, et al. Long-term follow-up of outcomes with F-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging-assisted management of patients with severe left ventricular dysfunction secondary to coronary disease[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(9): e004331. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.115.004331.
- [38] Manchuelle A, Pontana F, De Groote P, et al. Accuracy of cardiac magnetic resonance imaging to rule out significant coronary artery disease in patients with systolic heart failure of unknown aetiology: single-centre experience and comprehensive meta-analysis[J]. *Arch Cardiovasc Dis*, 2018, 111(11):686-701. DOI: 10.1016/j.

- acvd.2018.04.004.
- [39] Kanagala P, Cheng A, Singh A, et al. Diagnostic and prognostic utility of cardiovascular magnetic resonance imaging in heart failure with preserved ejection fraction-implications for clinical trials[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2018, 20(1): 4. DOI: 10.1186/s12968-017-0424-9.
- [40] Ge Y, Antiochos P, Steel K, et al. Prognostic value of stress CMR perfusion imaging in patients with reduced left ventricular function[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(10):2132-2145. DOI: 10.1016/j.jcmg.2020.05.034.
- [41] Disertori M, Rigoni M, Pace N, et al. Myocardial fibrosis assessment by LGE is a powerful predictor of ventricular tachyarrhythmias in ischemic and nonischemic LV dysfunction: a meta-analysis[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(9):1046-1055. DOI: 10.1016/j.jcmg.2016.01.033.
- [42] Assadi H, Jones R, Swift AJ, et al. Cardiac MRI for the prognostication of heart failure with preserved ejection fraction: A systematic review and meta-analysis[J]. *Magn Reson Imaging*, 2021, 76: 116-122. DOI: 10.1016/j.mri.2020.11.011.
- [43] McDonagh TA, Metra M, Adamo M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(36): 3599-3726. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab368.
- [44] Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC[J]. *Eur J Heart Fail*, 2016, 18(8):891-975. DOI: 10.1002/ehf.592.
- [45] Tribouilloy C, Rusinaru D, Mahjoub H, et al. Impact of echocardiography in patients hospitalized for heart failure: a prospective observational study[J]. *Arch Cardiovasc Dis*, 2008, 101(7-8):465-473. DOI: 10.1016/j.acvd.2008.06.012.
- [46] Galderisi M, Cosyns B, Edvardsen T, et al. Standardization of adult transthoracic echocardiography reporting in agreement with recent chamber quantification, diastolic function, and heart valve disease recommendations: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18(12): 1301-1310. DOI: 10.1093/ehjci/jex244.
- [47] Hillis GS, Møller JE, Pellikka PA, et al. Noninvasive estimation of left ventricular filling pressure by E/e' is a powerful predictor of survival after acute myocardial infarction[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2004, 43(3):360-367. DOI: 10.1016/j.jacc.2003.07.044.
- [48] Saraste A, Barbato E, Capodanno D, et al. Imaging in ESC clinical guidelines: chronic coronary syndromes[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(11): 1187-1197. DOI: 10.1093/ehjci/jez219.
- [49] Lee SE, Sung JM, Andreini D, et al. Differences in progression to obstructive lesions per high-risk plaque features and plaque volumes with CCTA[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(6): 1409-1417. DOI: 10.1016/j.jcmg.2019.09.011.
- [50] Dai T, Wang JR, Hu PF. Diagnostic performance of computed tomography angiography in the detection of coronary artery in-stent restenosis: evidence from an updated meta-analysis[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(4): 1373-1382. DOI: 10.1007/s00330-017-5097-0.
- [51] Li Y, Yu M, Li W, et al. Third generation dual-source CT enables accurate diagnosis of coronary restenosis in all size stents with low radiation dose and preserved image quality[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(6): 2647-2654. DOI: 10.1007/s00330-017-5256-3.
- [52] Barbero U, Iannaccone M, d'Ascenzo F, et al. 64 slice-coronary computed tomography sensitivity and specificity in the evaluation of coronary artery bypass graft stenosis: A meta-analysis[J]. *Int J Cardiol*, 2016, 216: 52-57. DOI: 10.1016/j.ijcard.2016.04.156.
- [53] Hong SJ, Kim BK, Cho I, et al. Effect of coronary CTA on chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: a randomized trial[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(10): 1993-2004. DOI: 10.1016/j.jcmg.2021.04.013.
- [54] Georgoulas P, Valotassiou V, Tsougos I, et al. Myocardial perfusion SPECT imaging in patients after percutaneous coronary intervention[J]. *Curr Cardiol Rev*, 2010, 6(2): 98-103. DOI: 10.2174/157340310791162677.
- [55] Shaw LJ, Berman DS, Maron DJ, et al. Optimal medical therapy with or without percutaneous coronary intervention to reduce ischemic burden: results from the Clinical Outcomes Utilizing Revascularization and Aggressive Drug Evaluation (COURAGE) trial nuclear substudy[J]. *Circulation*, 2008, 117(10): 1283-1291. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.743963.
- [56] Kinnel M, Sanguineti F, Pezel T, et al. Prognostic value of vasodilator stress perfusion CMR in patients with previous coronary artery bypass graft[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 22(11): 1264-1272. DOI: 10.1093/ehjci/jeaa316.
- [57] Pezel T, Hovasse T, Kinnel M, et al. Long-Term prognostic value of stress cardiovascular magnetic resonance in patients with history of percutaneous coronary intervention[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(6): e012374. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.120.012374.
- [58] Ibanez B, James S, Agewall S, et al. 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC) [J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(2):119-177. DOI: 10.1093/eurheartj/ehx393.
- [59] Niccoli G, Montone RA, Lanza GA, et al. Angina after percutaneous coronary intervention: the need for precision medicine[J]. *Int J Cardiol*, 2017, 248:14-19. DOI: 10.1016/j.ijcard.2017.07.105.
- [60] Crea F, Bairey Merz CN, Beltrame JF, et al. Mechanisms and diagnostic evaluation of persistent or recurrent angina following percutaneous coronary revascularization [J]. *Eur Heart J*, 2019, 40(29):2455-2462. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy857.
- [61] Harb SC, Marwick TH. Prognostic value of stress imaging after revascularization: a systematic review of stress echocardiography and stress nuclear imaging[J]. *Am Heart J*, 2014, 167(1):77-85. DOI: 10.1016/j.ahj.2013.07.035.
- [62] Cortigiani L, Sicari R, Bigi R, et al. Usefulness of stress

- echocardiography for risk stratification of patients after percutaneous coronary intervention[J]. *Am J Cardiol*, 2008, 102(9): 1170-1174. DOI: 10.1016/j.amjcard.2008.06.041.
- [63] Steeds RP, Garbi M, Cardim N, et al. EACVI appropriateness criteria for the use of transthoracic echocardiography in adults: a report of literature and current practice review[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18(11): 1191-1204. DOI: 10.1093/ehjci/jew333.
- [64] Lee SE, Chang HJ, Sung JM, et al. Effects of statins on coronary atherosclerotic plaques: the PARADIGM study [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2018, 11(10): 1475-1484. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.04.015.
- [65] Collet C, Miyazaki Y, Ryan N, et al. Fractional flow reserve derived from computed tomographic angiography in patients with multivessel CAD[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 71(24):2756-2769. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.02.053.
- [66] Andreini D, Mushtaq S, Pontone G, et al. CT perfusion versus coronary CT angiography in patients with suspected in-stent restenosis or CAD progression[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(3):732-742. DOI: 10.1016/j.jcmg.2019.05.031.
- [67] Alazraki NP, Krawczynska EG, Kosinski AS, et al. Prognostic value of thallium-201 single-photon emission computed tomography for patients with multivessel coronary artery disease after revascularization (the Emory Angioplasty versus Surgery Trial [EAST]) [J]. *Am J Cardiol*, 1999, 84(12): 1369-1374. DOI: 10.1016/s0002-9149(99)00578-0.
- [68] Park DW, Kang DY, Ahn JM, et al. Routine functional testing or standard care in high-risk patients after PCI[J]. *N Engl J Med*, 2022, 387(10):905-915. DOI: 10.1056/NEJMoa2208335.
- [69] Antiochos P, Ge Y, Heydari B, et al. Prognostic value of stress cardiac magnetic resonance in patients with known coronary artery disease[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(1):60-71. DOI: 10.1016/j.jcmg.2021.06.025.
- [70] Yao SS, Qureshi E, Sherrid MV, et al. Practical applications in stress echocardiography: risk stratification and prognosis in patients with known or suspected ischemic heart disease[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2003, 42(6): 1084-1090. DOI: 10.1016/s0735-1097(03)00923-9.
- [71] Kunadian V, Chieffo A, Camici PG, et al. An EAPClexpert consensus document on ischaemia with non-obstructive coronary arteries in collaboration with European Society of Cardiology Working Group on coronary pathophysiology & microcirculation endorsed by Coronary Vasomotor Disorders International Study Group[J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(37):3504-3520. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa503.
- [72] Mathew RC, Bourque JM, Salerno M, et al. Cardiovascular imaging techniques to assess microvascular dysfunction [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(7): 1577-1590. DOI: 10.1016/j.jcmg.2019.09.006.
- [73] 中华医学会心血管病学分会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 缺血性非阻塞性冠状动脉疾病诊断及治疗中国专家共识[J]. *中华心血管病杂志*, 2022, 50(12): 1148-1160. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20220908-00682.
- [74] Schindler TH, Schelbert HR, Quercioli A, et al. Cardiac PET imaging for the detection and monitoring of coronary artery disease and microvascular health[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2010, 3(6):623-640. DOI: 10.1016/j.jcmg.2010.04.007.
- [75] Schindler TH, Nitzsche EU, Schelbert HR, et al. Positron emission tomography-measured abnormal responses of myocardial blood flow to sympathetic stimulation are associated with the risk of developing cardiovascular events[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 45(9):1505-1512. DOI: 10.1016/j.jacc.2005.01.040.
- [76] Murthy VL, Naya M, Taqueti VR, et al. Effects of sex on coronary microvascular dysfunction and cardiac outcomes[J]. *Circulation*, 2014, 129(24):2518-2527. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.008507.
- [77] Quercioli A, Montecucco F, Pataky Z, et al. Improvement in coronary circulatory function in morbidly obese individuals after gastric bypass-induced weight loss: relation to alterations in endocannabinoids and adipocytokines[J]. *Eur Heart J*, 2013, 34(27):2063-2073. DOI: 10.1093/eurheartj/eht085.
- [78] Hsu B, Hu LH, Yang BH, et al. SPECT myocardial blood flow quantitation toward clinical use: a comparative study with (13)N-Ammonia PET myocardial blood flow quantitation[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 44(1): 117-128. DOI: 10.1007/s00259-016-3491-5.
- [79] Thomson LE, Wei J, Agarwal M, et al. Cardiac magnetic resonance myocardial perfusion reserve index is reduced in women with coronary microvascular dysfunction. A National Heart, Lung, and Blood Institute-sponsored study from the Women's Ischemia Syndrome Evaluation [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2015, 8(4): e002481. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.114.002481.
- [80] Rahman H, Scannell CM, Demir OM, et al. High-resolution cardiac magnetic resonance imaging techniques for the identification of coronary microvascular dysfunction[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(5): 978-986. DOI: 10.1016/j.jcmg.2020.10.015.
- [81] Knott KD, Seraphim A, Augusto JB, et al. The prognostic significance of quantitative myocardial perfusion: an artificial intelligence-based approach using perfusion mapping[J]. *Circulation*, 2020, 141(16): 1282-1291. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044666.
- [82] Bairey Merz CN, Handberg EM, Shufelt CL, et al. A randomized, placebo-controlled trial of late Na current inhibition (ranolazine) in coronary microvascular dysfunction (CMD): impact on angina and myocardial perfusion reserve[J]. *Eur Heart J*, 2016, 37(19): 1504-1513. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv647.
- [83] 武萍, 郭小闪, 张茜, 等. PET 心肌血流绝对定量评估冠状动脉微血管疾病的临床研究 [J]. *中华心血管病杂志*, 2020, 48(3): 205-210. DOI: 10.3760/cmaj.cn112148-20191024-00652-1.
- [84] Detrano R, Guerci AD, Carr JJ, et al. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups[J]. *N Engl J Med*, 2008, 358(13): 1336-1345. DOI: 10.1056/NEJMoa072100.
- [85] Yeboah J, McClelland RL, Polonsky TS, et al. Comparison of novel risk markers for improvement in cardiovascular risk assessment in intermediate-risk individuals[J]. *JAMA*, 2012, 308(8):788-795. DOI: 10.1001/jama.2012.9624.
- [86] Muhlestein JB, Lappé DL, Lima JA, et al. Effect of screening for coronary artery disease using CT angiography on mortality and cardiac events in high-risk patients with diabetes: the FACTOR-64 randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2014, 312(21): 2234-2243. DOI: 10.1001/jama.2014.15825.

