浙江省 ^{99m}Tc -MIBI SPECT 心肌灌注显像检查规范及质量控制专家共识(2020 版)

浙江省核医学中心 浙江省医学会核医学与放射医学防护分会质控学组

【摘要】 核素心肌灌注显像是一种无创、有效评价冠心病心肌缺血的功能性检查方法,准确率高、循证医学证据充分。目前国内最常用的单光子发射型计算机断层显像(SPECT)心肌灌注显像剂是锝(^{99m}Tc)-甲氧基异丁基异腈(MIBI),为更好地实现该检查的规范化及过程质量控制,最终获得高质量、可靠的图像诊断报告,浙江省核医学中心、浙江省医学会核医学与放射医学防护分会质控学组共同组织省内核医学专家,参考国内外最新指南及研究成果,并邀请国内著名心脏病学专家共同编写了《浙江省 ^{99m}Tc -MIBI SPECT 心肌灌注显像检查规范及质量控制专家共识(2020 版)》,以期对 ^{99m}Tc -MIBI SPECT 心肌灌注显像过程采用全面规范化流程及质量管理,达到质量控制和改善,实现最优化的诊断结局。

【关键词】 心肌灌注显像 单光子发射型计算机断层显像 专家共识 质量控制

核素心肌灌注显像是一种无创、有效评价冠心病心肌缺血的功能性检查方法,准确率高、循证医学证据充分^[1],可直接反映冠状动脉供血心肌的血流灌注状态,明确心肌缺血的部位、范围及程度^[2]。根据显像设备的不同,心肌灌注显像分为单光子发射型计算机断层显像(single photon emission computed tomography, SPECT)和正电子发射型计算机断层显像(positron emission computed tomography, PET)。PET 心肌灌注显像虽然在分辨率和图像衰减校正技术方面优于 SPECT 心肌灌注显像,同时还可进行心肌血流定量、评价心肌血流储备(myocardial flow reserve, MFR)和冠状动脉血流储备(coronary flow reserve, CFR)^[3]。但由于 SPECT 心肌灌注显像方法简便、设备和检查价格低廉,其在临床应用上更为普遍、易于开展^[4]。

SPECT 心肌灌注显像常用显像剂包括:锝(^{99m}Tc)-甲氧基异丁基异腈(sestamibi, MIBI)、 ^{99m}Tc -1,2-双[双-(2-乙氧乙基)膦基]乙烷和 ^{201}Tl 等,目前国内最常用的还是 ^{99m}Tc -MIBI^[5]。鉴于 ^{99m}Tc -MIBI SPECT 心肌灌注显像

临床应用的重要价值,为更好地实现该检查的规范化及检查过程的质量控制,最终获得高质量、可靠的图像诊断报告,浙江省核医学中心、浙江省医学会核医学与放射医学防护分会质控学组共同组织省内核医学专家,参考国内外相关指南及研究成果,编写了《浙江省 ^{99m}Tc -MIBI SPECT 心肌灌注显像检查规范及质量控制专家共识(2020 版)》,并邀请国内著名心脏病学专家担任专家指导委员会委员进行审核,以期对 ^{99m}Tc -MIBI SPECT 心肌灌注显像过程采用全面规范化流程及质量管理,达到质量的控制和改善,实现最优化的诊断结局。

1 显像原理

心肌灌注显像检查根据受检者身体状态,分为静息心肌灌注显像(静息显像)和负荷心肌灌注显像(负荷显像);根据是否门控采集分为:门控显像和非门控显像。

显像原理:静脉注射显像剂 ^{99m}Tc -MIBI,其随冠状动脉血流灌注到心肌,心肌细胞对显像剂的摄取量与心肌局部的血流量呈正相关,并与心肌细胞活性有关,且在心肌无明显再分布现象,故显像时心肌内显像剂的分布可反映注射当时的心肌灌注情况。

1.1 静息显像 反映受检者身体处于平静、自然、无刺激状态下的心肌灌注情况。

1.2 负荷显像 冠状动脉具备一定的血流储备功能。研究表明:当冠状动脉狭窄 < 50% 时,其储备功能尚能维持正常,负荷显像结果通常为正常;当冠状动脉狭

DOI: 10.12056/j.issn.1006-2785.2021.43.2.2020-4231

基金项目:国家自然科学基金(81771884)

作者单位:310003 杭州,浙江省核医学中心;浙江省医学会核医学与放射医学防护分会质控学组

通信作者:楼岑,浙江大学医学院附属邵逸夫医院, E-mail: 3194110@zju.edu.cn;董孟杰,浙江大学医学院附属第一医院, E-mail: dmjlfz2016@zju.edu.cn

窄 $\geq 50\%$ 时,其血流储备功能已经受损降低,但静息血流灌注尚能维持正常;即使冠状动脉存在明显狭窄(如 $70\% \sim 80\%$),静息时狭窄冠状动脉灌注区域的心肌血流仍能维持与正常区域相似;当冠状动脉重度狭窄(超过 $80\% \sim 90\%$),静息显像才会相应减低;甚至对于部分冠状动脉闭塞的患者,如果冠状动脉侧支循环良好,静息时闭塞冠状动脉区域的心肌血流仍可以维持与正常区域相似。因此,一般而言,对于冠状动脉狭窄不是特别严重的患者,其静息显像常表现为无明显异常。

在负荷状态下(如运动、药物等),正常冠状动脉、病变冠状动脉的血流量及心肌血流灌注显像剂的相对分布出现明显差异,不仅提高了对病变的检出率,而且可反映狭窄冠状动脉血流储备功能。负荷诱发心肌缺血程度与范围可反映冠心病的危险程度。因此,冠心病心肌缺血诊断推荐行负荷和静息显像,并进行对比。

1.2.1 运动负荷显像 心脏在机体运动负荷状态下,心肌耗氧量相应增加,正常冠状动脉血流量明显增加(一般可增加 $3 \sim 5$ 倍)以维持心肌的供血、供氧需求,而病变冠状动脉则扩张有限或不能扩张,使冠状动脉狭窄区域与正常区域的心肌血流灌注出现明显差别,通过此时注射体内的血流灌注显像剂的分布,直观显示心肌缺血的位置、范围和程度信息。

1.2.2 药物负荷显像 药物介入下,通过增加冠状动脉的血流量或心肌收缩力等作用,达到与运动负荷试验相似的效果。常用药物有扩张血管类药物和增加心肌耗氧类药物,前者常见的有腺苷、三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)、双嘧达莫、瑞加诺生(选择性腺苷A_{2A}受体激动剂)等,后者常见的有多巴酚丁胺。

研究显示,运动负荷 SPECT 心肌显像诊断冠心病的灵敏度为 $82\% \sim 88\%$,特异度为 $70\% \sim 88\%$;药物负荷 SPECT 心肌显像诊断冠心病的灵敏度为 $88\% \sim 91\%$,特异度为 $75\% \sim 90\%$ ^[1]。

1.3 门控显像方法及原理 心律齐时,首选门控显像。门控显像以受检者自身心电图 R 波触发作为门控信号,采集不同心动周期时段(通常每个 R-R 间期等分为 8 或 16 个时段)的心肌灌注图像,将每个心动周期相应时段的放射性计数叠加起来,形成单个心动周期不同时段的一系列心肌灌注图像。因此,门控心肌断层显像可同时得到左心室血流灌注和心室功能信息,如左心室射血分数和收缩同步性等。若有明显的心律不齐(心率拒绝 $\geq 5\%$),则选择非门控显像或处理图像时选用非门控数据,此时门控采集测定的心功能参数可能不可靠。

2 适应证和禁忌证^[2,5-7]

2.1 适应证 (1)冠心病的诊断;(2)已确诊冠心病患者,心肌缺血及梗死的部位、范围和程度评价;(3)急性胸痛的鉴别诊断,尤其是心电图及心肌酶阴性者,明确是否有心肌缺血或梗死;(4)冠状动脉血管重建术治疗适应证评估及术后评估、再狭窄监测;(5)冠心病危险分层及预后评估(包括冠心病患者非心脏手术术前评估);(6)冠状动脉微血管疾病的诊断;(7)心力衰竭病因的诊断(包括缺血性心力衰竭及非缺血性心力衰竭)、心肌缺血评估、左心功能及心室机械收缩同步性评价。

除了以上指南推荐的适应证外,心肌灌注显像在临床还有更多应用,如心肌桥及家族性高胆固醇血症等特殊患者心肌缺血评价等^[8-9]。

2.2 禁忌证

2.2.1 运动负荷试验禁忌证 绝对禁忌证:(1)高危不稳定性心绞痛;(2)急性心肌梗死(< 4 d);(3)失代偿性或未充分控制的充血性心力衰竭;(4)静息时,收缩压(systolic blood pressure, SBP) > 200 mmHg,和(或)舒张压(diastolic blood pressure, DBP) > 110 mmHg;(5)不受控制的严重心律失常(引发症状或血流动力学改变);(6)严重症状性主动脉瓣狭窄;(7)急性肺栓塞和(或)下肢静脉血栓;(8)急性主动脉夹层;(9)急性心肌炎或心包炎;(10)重度肺动脉高压;(11)其他急性症状性疾病。

相对禁忌证:(1)显著性左主干冠状动脉狭窄;(2)无症状性重度主动脉瓣狭窄;(3)肥厚型梗阻性心肌病,或其他形式严重流出道梗阻;(4)显著快速型或缓慢型心律失常;(5)高度房室传导阻滞;(6)电解质异常;(7)导致无法进行运动负荷试验的精神或身体障碍;(8)完全性左束支传导阻滞、预激综合征、永久起搏器患者,优先进行扩张血管类药物负荷试验。

2.2.2 扩张血管类药物负荷禁忌证 绝对禁忌证:(1)持续喘息伴支气管痉挛的肺部疾病或有显著反应性气道病史;(2)二度 II 型或三度房室传导阻滞,且无起搏器;(3)窦房结病变,如病态窦房结综合征、症状性窦性心动过缓且无起搏器;(4)SBP < 90 mmHg;(5)SBP > 200 mmHg 和(或)DBP > 110 mmHg;(6)48 h 内服用含双嘧达莫类药物;(7)高危不稳定性心绞痛、急性冠状动脉综合征或急性心肌梗死 < 4 d;(8)已知对负荷药物过敏。

相对禁忌证:(1)顽固性窦性心动过缓(心率 < 40 次/min);(2)二度 I 型房室传导阻滞;(3)24 h 内摄取含咖啡因的食物或饮料;(4)严重主动脉瓣狭窄;(5)癫痫,若患者的癫痫发作与药物负荷有关,不建议使用氨

茶碱。

2.2.3 增加心肌耗氧类药物负荷禁忌证 绝对禁忌证:

(1) 高危不稳定性心绞痛、急性冠状动脉综合征,或急性心肌梗死(<4 d);(2) 血流动力学上显著左心室流出道梗阻;(3) 房性快速型心律失常,伴有不受控制的心室反应;(4) 既往有室性心动过速史;(5) 未加以控制的高血压[SBP >200 mmHg 和(或)DBP >110 mmHg];(6) 主动脉夹层;(7) 已知多巴酚丁胺过敏。

相对禁忌证:(1) 因使用 β 受体阻滞剂使多巴酚丁胺的心率和肌力反应减弱者;(2) 严重主动脉瓣狭窄;(3) 症状性大主动脉瘤;(4) 左束支传导阻滞;(5) 起搏性室性心律。

3 检查前准备

3.1 检查预约 预约检查时,需仔细核对患者姓名、病历号、检查项目、联系方式等基本信息,预约检查时间,完善出生日期、身高、体重等信息,告知检查前后注意事项,并予患者书面预约通知单。

3.2 显像药物准备

3.2.1 显像剂 主要为 ^{99m}Tc -MIBI。

3.2.2 显像剂质量控制 根据《中华人民共和国药典》2015 年版^[10], ^{99m}Tc -MIBI 应符合以下质量要求:(1) 性状:为无色澄明液体;(2) pH 值:可用经过校正的精密 pH 试纸检查,其 pH 值应在相应法定标准规定的范围内,应为 4.0~6.0;(3) 放射化学纯度:按相应质量标准规定的方法进行批次测定,应不低于 90.0%;(4) 放射性活度:参照现行版中国药典放射性药品检定法的相应规定进行测定,应符合规定;(5) 符合注射药品的无菌要求;(6) 细菌内毒素:采用细菌内毒素检查。用水稀释至少 30 倍后,本品每 1 ml 含细菌内毒素的量应少于 15 EU。

3.2.3 显像剂剂量^[7,11] 若采用两日方案,两次注射剂量需基本一致,2016 年美国心脏协会(ASNC)显像指南推荐剂量为 18~30 mCi,我国剂量为 15~30 mCi^[12],以 20~25 mCi 最常用。若采用一日方案,则第 1 次注射低剂量显像剂,1~4 h 后注射第 2 次,剂量约为第 1 次的 3 倍,对于 BMI 分别为 <25 kg/m²、25~30 kg/m²、30~35 kg/m²以及 >35 kg/m²的患者,ASNC 推荐首次注射 ^{99m}Tc -MIBI 分别为 8、9、10 及 12 mCi;我国则多采用 8~9 mCi 的首次剂量和 22~25 mCi 的第 2 次剂量。具体剂量、显像方案需根据患者体型、体重及显像设备性能进行调整,对于体型较大的患者,如体重超过 250 磅(约 112.5 kg)或 BMI >35 kg/m²,推荐两日方案^[2]。

近年来,随着显像设备的进步,尤其是碲锌镉(cad-

mium-zinc telluride, CZT) SPECT 的使用,可以使用更少的显像剂剂量来获得相当于或优于传统 SPECT 显像的图像质量^[13],两日方案推荐为每次注射 ^{99m}Tc -MIBI 9~15 mCi,一日方案的先后 2 次剂量分别为 4~6 mCi 和 12~18 mCi^[2]。

3.3 显像设备准备 可使用(双探头、单探头)SPECT 或 SPECT/CT 进行检查,使用低能通用型(LEGP)或低能高分辨率准直器(LEHR),推荐使用 LEHR。显像设备的质量控制要求:对 SPECT 的固有均匀性、固有空间分辨率及线性、系统平面灵敏度、固有最大计数率、系统空间分辨率、断层空间分辨率、全身成像系统空间分辨率等进行定期质量控制,并至少每年进行总体性能检测,具体参考 2019 年《伽玛照相机、单光子发射断层成像设备(SPECT)质量控制检测规范》^[14];对 CT 的分辨率、噪声、均匀性、CT 值线性、CT 扫描剂量、球管预热、校正、硬件除尘等按时进行质量控制,具体可参考 2015 年版《核医学技师实用手册》^[15]。

3.4 患者准备^[7,11]

3.4.1 静息显像 推荐患者空腹(空腹时间 >3 h)。若为糖尿病患者有高度低血糖风险,或检查时间较晚,可进食少量清淡饮食(谷类食物和水),推荐保持检查前空腹 >3 h;自备脂餐(可选)。

3.4.2 负荷显像 (1) 推荐空腹(空腹时间 >3 h),具体见静息显像(3.4.1);(2) 运动负荷检查前停药 β 受体阻滞剂、硝酸酯类药物、钙通道阻滞剂 2~3 个半衰期(若不清楚具体药物类型,推荐统一停药 24~48 h),能否停药应由临床主诊医师评估;(3) 扩张血管类药物负荷,需停用氨茶碱类药物、含双嘧达莫类药物及 β 受体阻滞剂至少 48 h,停用硝酸酯类药物 12~24 h,停用含咖啡因类食物或饮料 24 h 以上;增加心肌耗氧类药物负荷试验,需停用 β 受体阻滞剂 48 h;(4) 因运动负荷有可能转为药物负荷,故运动及药物负荷试验前 24 h 均需停止摄入含咖啡因类食物或饮料,如咖啡、茶、可乐、红牛、巧克力等;(5) 检查当日穿宽松衣裤,不宜穿连体衣,以便连接心电图及踏车运动;(6) 自备脂餐(可选)。

4 显像方式及方案的选择

4.1 显像方式的选择

4.1.1 静息显像 有运动负荷及药物负荷禁忌证的患者,可仅行静息显像;评估病情较重的患者,可先行静息显像。

4.1.2 负荷显像 (1) 运动负荷显像:运动负荷更符合人体“生理状态”,且可以同时获得心功能、血压、心率等

生理性指标的变化,因此,如无禁忌证,应首选运动负荷显像。(2)药物负荷显像:对于需行负荷显像,但有运动负荷禁忌证,或者进行了运动负荷但难以达到预期目标者,可采用药物负荷显像;因腺苷及 ATP 的半衰期短、不良反应消失快,药物负荷显像首选血管舒张类药物负荷,若有运动负荷及血管舒张类药物负荷禁忌证,可选择增加心肌耗氧类药物负荷试验。为减少药物负荷的不良反应及提高显像质量,推荐血管舒张类药物负荷试验配合低水平运动^[18]。目前一般提倡先行负荷显像^[2,5,16],若正常,则无需行静息显像,从而减少患者不必要的辐射^[17];如果负荷显像提示异常,需进一步行静息显像。

4.2 显像方案的选择 理想情况下,^{99m}Tc-MIBI 的静息显像和负荷显像应在两日分别进行,若无法执行两日方案或需要快速完成显像,可采用一日方案,即低剂量(负荷或静息)/高剂量(静息或负荷)方案。无论是两日方案还是一日方案,先负荷显像还是先静息,均需遵循以患者为中心的原则,而不是让所有患者都采用一个方案^[2]。

5 显像规范流程推荐^[2,7,11,19]

5.1 检查流程

5.1.1 静息显像 (1)病史采集及准备:①再次核对患者信息(姓名、病历号、检查项目、检查时间等)。②询问并记录病史,包括患者发病情况、诊疗经过、用药史、有无再血管化治疗、既往史等,再次评估适应证、禁忌证;③签署知情同意书,建立静脉通路(留置针尺寸最好大于 24 G)。(2)注射显像剂及显像时间:通过静脉通路,注射相应剂量的 ^{99m}Tc-MIBI。ASNC 指南推荐于注射显像剂后 30~60 min 显像检查,国内普遍为注射显像剂后 60~120 min 显像,推荐注射显像剂后 60~90 min 显像,图像质量较优^[20]。若患者有严重胃炎及肠炎,为减少胃肠道干扰,可考虑药物注射后 15~30 min 后开始显像;若显像提示胃肠道干扰仍较大,可进食面包等食物降低胃肠道位置后再显像,或显像前饮水 300 ml。(3)进食脂餐:国内外的指南及操作规范关于是否进食脂餐存在争议,国外一些指南及研究不推荐进食脂餐^[2],认为其促进显像剂从肝胆排泄以改善图像质量的作用并不明确,若出现胃肠道反流或排入肠道的显像剂到达横结肠,反而会造成干扰。国内普遍推荐进食脂餐^[21],静息或药物负荷显像时,注射显像剂后 30 min 内进食脂餐可增加肝胆排泄的时间,提高图像质量^[22]。国内常可供选择的脂餐有:500 ml 全脂牛奶、500 ml 全脂酸奶、2 只油煎鸡蛋及 2 个肉包子+250 ml 全脂牛奶等^[23]。虽然脂餐可有

多种选择,但需遵循以下原则:易得、经济、美味、不过敏以及理想的胆囊排空效果^[24],具体可按饮食习惯。进食脂餐后,若患者体力佳或病情稳定,鼓励适当走动;若消化道和肝胆干扰太大,可再进食脂餐并配合适当活动后,再采集图像,一般距离注射药物不超过 2 h,以减少肠道影响。推荐显像前饮水约 300 ml,可减少左半肝及高位肠道对下壁心肌的影响。

5.1.2 运动负荷显像 (1)病史采集及准备:详见“3.4 患者准备”。(2)运动负荷方案:采用 Bruce 方案或改良后 Bruce 方案,国内通常采用分级式次极量踏车运动,可从 25 W 开始,每 2~3 min 增加 20~30 W,转速 60~80 r/min。监测并记录不同阶段(运动前、运动过程中、运动高峰、运动后恢复过程及恢复终点)的 12 导联心电图、血压、心率等,若出现异常改变,则随时记录;观察患者的症状及体征变化。(3)负荷终止指征:①达到目标心率,即达到极量运动心率(220-年龄)或次极量运动心率(预计年龄最大心率的 85%或 190-年龄);②患者出现中重度心绞痛或心电图 ST 段明显压低(≥ 2 mm)或在无诊断性 Q 波的导联中 ST 段抬高 > 1 mm(V_1 及 aVR 导联除外);③呼吸困难;④严重心律失常,如持续性室上速、短阵室速、室性二联律、室性期前收缩 R on T、无法与室速区分开的左束支传导阻滞或室内传导延迟;⑤负荷增加,但血压下降(SBP 较基线下降超过 10 mmHg,并伴有其他低灌注现象);⑥血压过高,SBP > 230 mmHg 和(或)DBP > 115 mmHg;⑦非故障条件下,无法检测到心电图或收缩压;⑧运动失调、头晕或晕厥;⑨有灌注不良的现象(发绀、苍白);⑩极度疲乏,无法继续运动,或患者提出终止试验。(4)注射显像剂:预先建立静脉通路,一旦达到负荷终止条件,即刻注射。(5)注射显像剂后继续踏车 1~2 min,若患者不能耐受或症状较明显,可酌情减慢踏车速度或降低踏车功率。(6)停止踏车后患者需在踏车上休息,至症状消失、心律失常恢复或心率接近基础心率,再嘱患者离开。记录恢复过程的心电图、心率、血压。ASNC 推荐注射显像剂后 15~60 min 进行显像,国内普遍为 30~90 min 后显像,推荐常规 60 min 后显像^[20]。(7)诊断性的运动负荷试验,若运动不能达标,可转药物负荷试验,或药物负荷+低强度运动(如跑步机,速度 1.7 mph,坡度 0°或踏车功率 25W)的联合方案^[25]。(8)进食脂餐及相关注意事项见静息显像。

注:2016 年 ASNC 指南推荐运动负荷试验的终点为出现症状(胸痛、呼吸困难、疲劳等),达到次极量运动心率不作为试验终止的指标,故推荐对于到达次极量运动心率时,若无其他负荷提前终止指征出现,而患者能

耐受继续运动,建议继续负荷运动,达到极量运动心率或出现症状(包括疲劳)为止;对于已知冠心病但无法停药或基础心率较慢的患者,无法达到极量或次极量运动心率者,试验对患者预后仍有评估价值,建议以出现症状或极度疲劳为负荷终止指征。

5.1.3 药物负荷显像 (1)病史采集及准备:详见静息显像及负荷显像患者准备。(2)负荷药物及设备:双嘧达莫、腺苷、ATP 及多巴酚丁胺(按体重计算剂量)、静脉泵、 ^{99m}Tc -MIBI、氨茶碱及其他抢救药物。双嘧达莫负荷:输注速率(ml/min)= $140\ \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{min})\times\text{体重}(\text{kg})/\text{双嘧达莫浓度}$,共 4 min。腺苷负荷:输注速率(ml/min)= $140\ \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{min})\times\text{体重}(\text{kg})/\text{腺苷浓度}$,共 4~6 min。ATP 负荷:输注速率(ml/min)= $160\ \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{min})\times\text{体重}(\text{kg})/\text{ATP 浓度}$,共 5 min,总剂量 0.8 mg/kg。多巴酚丁胺负荷:起始输注速率(ml/min)为 $5\sim 10\ \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{min})\times\text{体重}(\text{kg})/\text{多巴酚丁胺浓度}$,后每 3 min 的间隔依次增加 $10\ \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{min})$,最高不超过 $40\ \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{min})$ 。(3)药物负荷方案:①双嘧达莫输注方案:静脉泵持续输注双嘧达莫 4 min 后停止,停止 3~5 min 后注射 ^{99m}Tc -MIBI。②腺苷输注方案:静脉泵持续输注 6 min,第 3 分钟予放射性药物注射;若出现不需要终止试验的非显著性症状或体征,可以考虑输注时间缩短至 4 min,则注射 ^{99m}Tc -MIBI 时间为第 2 分钟。③ATP 输注方案:ATP 静脉泵持续输注 5 min,第 3 分钟注射放射性药物(为保证注射放射性药物后持续输注 ATP 不小于 2 min,可适当提前至 2 min 50 s 注射 ^{99m}Tc -MIBI)。④多巴酚丁胺输注方案:起始输注速率(ml/min)为 $5\sim 10\ \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{min})\times\text{体重}(\text{kg})/\text{多巴酚丁胺浓度}$,逐渐加量,至目标心率或出现其他终止指征时注射 ^{99m}Tc -MIBI,再持续负荷 1 min。建议对单独多巴酚丁胺负荷未达到目标心率的,添加阿托品(分剂量给药,0.25~0.5 mg/次,最高 1~2 mg/次)。监测心电图、血压、心率(负荷前、负荷过程及负荷高峰、停药后恢复终点),观察患者的症状及体征变化。(4)可能出现的不良反应:①轻微不良反应:皮肤泛红、胸痛、呼吸困难、头晕、恶心、症状性低血压等,胸痛不具有特异性,并不一定代表存在冠状动脉疾病;②房室传导阻滞,但二度房室传导阻滞发生率较低,大多自限性,不需处理;③ST 段压低:ST 段压低 $>1\ \text{mm}$,与胸痛相比,或许可以作为真正缺血的指标;④其他罕见不良反应:房颤、新发或复发性痉挛发作,致命性或非致命性心肌梗死,出血性或缺血性脑血管意外等。(5)输注提前终止指征:①双嘧达莫、腺苷及 ATP 输注提前终止指征:a.严重低血压($\text{SBP}<80\ \text{mmHg}$);b.发展为症状性、持续性二度或完全房室传导阻滞;c.其

他显著性心律失常;d.喘息;e.中重度胸痛,并伴有 ST 段明显压低 $\geq 2\ \text{mm}$;f.有灌注不良的迹象:发绀、脸色苍白、皮肤冰冷等;g.监控设备故障或患者要求停止。②多巴酚丁胺输注提前终止指征:a.达到目标心率(次极量运动心率)及以上;b.严重低血压($\text{SBP}<80\ \text{mmHg}$);c.严重高血压($\text{SBP}>230\ \text{mmHg}$ 或 $\text{DBP}>115\ \text{mmHg}$);d.显著性心律失常;e.中重度胸痛,并伴有 ST 段明显压低 $\geq 2\ \text{mm}$;f.有灌注不良的迹象:发绀、脸色苍白、皮肤冰冷等;g.监控设备故障或患者要求停止。

试验终止后,评估患者,若症状消失、指标恢复、生命体征平稳,可让患者离开负荷试验房间,按医嘱进食脂餐,候诊室等候显像。

5.2 不良反应处理 若为轻微不良反应,则无需特殊处理,停止负荷后可逐渐消失;若为严重不良反应,则需立即处理,具体不良反应处理参考文献[26]。为保障运动及药物负荷试验的安全性,需要做到:(1)应配备至少 3 位医护人员;(2)应配备抢救心脏意外所需的急救药品和设备(如除颤仪、吸氧设备等),掌握急救常规流程;(3)应与心内科、心外科及急救小组有良好的沟通,建立快速响应机制,必要时拨打急救电话,以使患者得到及时的急救处理;(4)应严格掌握适应证和禁忌证。

5.3 图像采集及处理 (1)采集前,嘱患者除去项链、上衣口袋内的金属异物等。(2)体位:传统 SPECT 机型常规仰卧位,双手上举到头部,俯卧位(可选);心脏专用机(CZT SPECT)常规仰卧位/直立位,俯卧位(可选)。(3)参数设置:传统 SPECT 机型:能峰 140 keV,窗宽 20%,推荐低能高分辨率准直器,通常探头从右前斜位 45° 至左后斜位 45° 旋转 180° ,采集 30~60 个投影,每个投影采集时间为 20~40 s(推荐低分辨率机型采集 30~32 帧,每帧采集 30 s;高分辨率机型采集 60~64 帧,每帧采集 20 s),像素大小 3~6 mm,矩阵为 64×64 ,或 128×128 ,根据视野大小,选用适当的放大因子(具体条件依据各家扫描机器设置不同)。心律不齐时,首选门控显像,每个 RR 间期 8 帧(或 16 帧);心律不齐,则选择非门控显像。心脏专用机(CZT SPECT):能峰 140 keV,窗宽 15%~20%,广角/多针孔准直器,像素大小 2~3 mm,矩阵最小不低于 64×64 ,推荐 128×128 ,定位扫描(探头及准直器不移动),持续采集至计数 100 万。心律不齐时,首选门控显像,每个 RR 间期 8 帧(或 16 帧);心律不齐,则选择非门控显像。对于脏器易位者,需修改成像参数,如完全镜像型右位心,若机器旋转类型为滑环设计,采用反方向旋转方式采集,其他条件不变,其他机型可采用 360° 旋转方式采集。(4)采集后质量评估:采集完成后,需确认

图像合格后再嘱患者离开检查室;若有严重移位等,需重新采集图像。(5)重建方法:常用的有滤波反投法和迭代法两种,一般认为迭代法优于滤波反投法。迭代法目前使用最广泛的迭代技术是基于有序的子集期望最大化(OSEM)的方法,OSEM 推荐参数:迭代次数 2~5,子集数 8~10。滤波反投法有多种滤波函数可以选择,如 Butterworth、hann、hamming 滤波等,其中 Butterworth 滤波最常用,其图像质量一般由截止频率(Cut-off)和抖动因子(Order)两个主要参数共同决定,推荐参数:Cut-off 0.4~0.6,Order 6~10。具体建议采用厂商推荐的迭代次数及其他参数,并与实践结合。(6)影像调节:①水平长轴建议保证平行穿过心尖和心底,并平行于水平面;垂直长轴建议保证平行穿过心尖和心底,并垂直于水平面;②若有负荷和静息显像,负荷与静息对位准确;③图像色阶和灰度调整合理,需减少人为因素影响,两次显像时,尽量保持一致条件,推荐灰阶 0~100%;④必要时扣除一定本底;⑤若图像质量佳,则可不用 CT 衰减校正(CT attenuation correction,CTAC)图像,若有膈肌、乳房等干扰时,可选用 CTAC 校正,但需警惕掩盖病变,需结合临床信息及原始图像、衰减与非衰减校正图像对比、局部室壁运动等信息^[2]; (7)图像分析:经过图像处理,分别得到心脏原始图像,心脏短轴、水平长轴、垂直长轴三个层面的图像,靶心图,量化指标,心功能相关数值及曲线等信息。

6 图像质量控制

质量良好的原始图像,心肌显影清晰,肝脏影较淡,心肌周围无较浓的胃肠道影,正弦图光滑而连续。具体要求如下:(1)图像基本信息准确,如患者姓名、性别、检查号、检查日期等无误;(2)显像剂使用正确;(3)注射部位无显像剂滞留;(4)心脏周围无肝脏、胃肠道等热点干扰;(5)前、后、左、右等标识准确;(6)影像位置准确,采集过程中无位移;(7)选用采集、处理条件恰当;(8)对比度、清晰度良好,无影像模糊;(9)无伪影、叠影及干扰诊断的影像;(10)影像系统内资料图像保存良好、完整。

7 诊断报告书写及规范化

7.1 阅片要点 (1)结合原始图像分析;(2)综合分析心脏短轴、水平长轴、垂直长轴三个层面的图像及靶心图;(3)半定量及定量分析时,对软件给出的数据,需结合原始图像进行分析。

7.2 报告基本要素 心肌显像报告要素应包含检查单位信息、检查设备信息、患者基本信息、简要临床病史、

检查目的、检查项目、显像过程、图像描述及诊断。具体可参考中华医学会核医学分会发布的《核素心肌显像规范化报告书写专家共识》(2018 版)^[27]。

8 结语

规范化的心肌灌注显像检查流程及质量控制,是高质量的影像报告的基础,也是撰写本共识的初衷。期待本共识能为心肌灌注显像的规范化提供参考和帮助,并在临床实践中得到检验及进一步完善。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突。

编写委员会成员:

写作组组长:董孟杰,楼岑,李林法,程爱萍,田梅

写作组成员:陆锡利,杨君,张军,方庆钢,刘宁虎,黄中柯,叶芊倪

专家组成员(按姓氏拼音排序):程爱萍(浙江省人民医院),褚玉(中国科学院大学宁波华美医院),段润卿(萧山区第一人民医院),方庆钢(横店文荣医院),董孟杰(浙江大学医学院附属第一医院),高树兴(嘉兴市第一医院),李焕斌(温州医科大学附属第一医院),李林法(中国科学院大学浙江肿瘤医院),刘宁虎(浙江大学医学院附属第一医院),陆锡利(浙江大学医学院附属第一医院),潘建虎(杭州全景医学影像诊断中心),沈训泽(绍兴市人民医院),田梅(浙江大学医学院附属第二医院),楼岑(浙江大学医学院附属邵逸夫医院),黄中柯(浙江大学医学院附属邵逸夫医院),王琤(浙江省台州医院),汪建华(宁波大学医学院附属医院),王祖飞(丽水市中心医院),温广华(金华市中心医院),杨君(浙江大学医学院附属第一医院),叶芊倪(浙江大学医学院),易战雄(东阳市人民医院),余小忠(浙江衢化医院),占宏伟(浙江大学医学院附属第二医院),张宏(浙江大学医学院附属第二医院),张军(浙江大学医学院附属第一医院),张丽霞(浙江中医药大学附属第一医院/浙江省中医院),张琦(温州医科大学附属第二医院),郑思廉(宁波市鄞州人民医院),郑祥武(温州医科大学附属第一医院),赵春雷(杭州市肿瘤医院),赵葵(浙江大学医学院附属第一医院),钟吉俊(台州市中心医院)

省外专家指导委员会委员(按姓氏拼音排序):方纬(中国医学科学院北京协和医学院阜外医院),何作祥(北京清华长庚医院),黄钢(上海健康医学院),贾强(天津医科大学总医院),兰晓莉(华中科技大学同济医学院附属协和医院),李思进(山西医科大学第一医院),李剑明(中国医学科学院北京协和医学院泰达国际心血管病医院),李亚明(中国医科大学附属第一医院),刘兴党(复旦大学附属华山医院),石洪成(复旦大学附属中山医院),许百灵(美国密苏里哥伦比亚大学-核科学暨工程研究所),王跃涛(苏州大学附属第三医院),王雪梅(内蒙古医科大学附属医院),汪静(空军军医大学西京医院),武志芳(山西医科大学第一医院),张晓丽(首都医科大学附属北京安贞医

院),张永学(华中科技大学同济医学院附属协和医院),赵军(同济大学附属东方医院),左传涛(复旦大学附属华山医院)

9 参考文献

- [1] Fihn SD, Gardin JM, Abrams J, et al. 2012 ACCF/AHA/ACP/AATS/PCNA/SCAI/STS Guideline for the diagnosis and management of patients with stable ischemic heart disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, and the American College of Physicians, American Association for Thoracic Surgery, Preventive Cardiovascular Nurses Association, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Thoracic Surgeons[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(24):e44- e164. DOI: 10.1016/j.jacc.2012.07.013.
- [2] Dorbala S, Ananthasubramaniam K, Armstrong IS, et al. Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) Myocardial Perfusion Imaging Guidelines: Instrumentation, Acquisition, Processing, and Interpretation[J]. *J Nucl Cardiol*, 2018,25(5):1784-1846. DOI:10.1007/s12350-018-1283-y.
- [3] Dilsizian V, Bacharach SL, Beanlands RS, et al. ASNC imaging guidelines/SNMMI procedure standard for positron emission tomography(PET) nuclear cardiology procedures[J]. *J Nucl Cardiol*, 2016,23(5):1187- 1226. DOI:10.1007/s12350-016-0522-3.
- [4] 中华医学会核医学分会. 2018 年全国核医学现状普查结果简报[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2018, 38(12):813- 814. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.12.010.
- [5] 中华医学会核医学分会, 中华医学会心血管病学分会. 核素心肌显像临床应用指南(2018)[J]. *中华心血管病杂志*, 2019, 47(7):519- 527. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2019.07.003.
- [6] Hendel RC, Berman DS, Di Carli MF, et al. ACCF/ASNC/ACR/AHA/ASE/SCCT/SCMR/SNM 2009 Appropriate Use Criteria for Cardiac Radionuclide Imaging: A Report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, the American Society of Nuclear Cardiology, the American College of Radiology, the American Heart Association, the American Society of Echocardiography, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and the Society of Nuclear Medicine[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2009,53(23):2201- 2229. DOI:10.1016/j.jacc.2009.02.013.
- [7] Henzlova MJ, Duval WL, Einstein AJ, et al. ASNC imaging guidelines for SPECT nuclear cardiology procedures: Stress, protocols, and tracers[J]. *J Nucl Cardiol*, 2016,23(3):606- 639. DOI:10.1007/s12350-015-0387-x.
- [8] Hsieh PJ, Su HY, Lo HS, et al. Dipyridamole ²⁰¹Tl myocardial SPECT in the assessment of a patient with myocardial bridging and concomitant atherosclerotic coronary artery disease[J]. *Clin Nucl Med*, 2012,37(10):e257- 262. DOI:10.1097/RLU.0b013e318244429f.
- [9] Mouratidis B, Vaughan-Neil EF, Gilday DL, et al. Detection of silent coronary artery disease in adolescents and young adults with familial hypercholesterolemia by single-photon emission computed tomography thallium- 201 scanning[J]. *Am J Cardiol*, 1992, 70(13):1109- 1112. DOI:10.1016/0002-9149(92)90038-z.
- [10] 国家药典委员会.《中华人民共和国药典》[M]. 2015 年版. 北京:中国医药科技出版社, 2015:1605.
- [11] Culic V. Letter by Culic Regarding Article, "Risk Factors of Sudden Cardiac Death in the Young: Multiple- Year Community- Wide Assessment"[J]. *Circulation*, 2018, 138(16):1761- 1762. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.118.036090.
- [12] Glenn N Levine, Eric R Bates, John A Bittl, et al. 2016 ACC/AHA Guideline Focused Update on Duration of Dual Antiplatelet Therapy in Patients With Coronary Artery Disease: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines: An Update of the 2011 ACCF/AHA/SCAI Guideline for Percutaneous Coronary Intervention, 2011 ACCF/AHA Guideline for Coronary Artery Bypass Graft Surgery, 2012 ACC/AHA/ACP/AATS/PCNA/SCAI/STS Guideline for the Diagnosis and Management of Patients With Stable Ischemic Heart Disease, 2013 ACCF/AHA Guideline for the Management of ST- Elevation Myocardial Infarction, 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients With Non-ST- Elevation Acute Coronary Syndromes, and 2014 ACC/AHA Guideline on Perioperative Cardiovascular Evaluation and Management of Patients Undergoing Noncardiac Surgery[J]. *Circulation*, 2016,134(10):e192- 194. DOI:10.1161/CIR.0000000000000452.
- [13] Einstein AJ, Blankstein R, Andrews H, et al. Comparison of image quality, myocardial perfusion, and left ventricular function between standard imaging and single- injection ultra- low- dose imaging using a high- efficiency SPECT camera: the MIL- LISIEVERT study[J]. *J Nucl Med*, 2014, 55(9):1430- 1437. DOI: 10.2967/jnumed.114.138222.
- [14] WS 523- 2019. 伽玛照相机、单光子发射断层成像设备(SPECT)质量控制检测规范[S]. 2019.
- [15] 尹大一,王铁. 核医学技师实用手册[M]. 北京:人民卫生出版社, 2015.
- [16] Havmoeller R, Reinier K, Teodorescu C, et al. Elevated plasma free fatty acids are associated with sudden death: a prospective community- based evaluation at the time of cardiac arrest [J]. *Heart Rhythm*, 2014, 11(4):691- 696. DOI:10.1016/j.hrthm.2014.01.012.
- [17] Lecchi M, Malaspina S, Scabbio C, et al. Myocardial perfusion scintigraphy dosimetry: optimal use of SPECT and SPECT/CT technologies in stress- first imaging protocol[J]. *Clin Transl Imaging*, 2016,4(6):491- 498. DOI:10.1007/s40336-016-0212-9.
- [18] Brinkert M, Reyes E, Walker S, et al. Regadenoson in Europe: first- year experience of regadenoson stress combined with submaximal exercise in patients undergoing myocardial perfusion scintigraphy[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2014, 41(3): 511- 521. DOI:10.1007/s00259-013-2619-0.
- [19] Vohra J, Skinner J, Semsarian C. Cardiac genetic investigation of young sudden unexplained death and resuscitated out of

(下转第 147 页)

- ighted imaging and three-dimensional arterial spin labeling magnetic resonance imaging [J]. *Acta Radiol*, 2019, 12(12): 284185119891694. DOI:10.1177/0284185119891694.
- [15] Woo S, Lee JM, Yoon JH, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MR imaging of hepatocellular carcinoma: correlation with enhancement degree and histologic grade [J]. *Radiology*, 2014, 270(3):758-767. DOI:10.1148/radiol.13130444.
- [16] Tan WL, Huang WY, Yin B, et al. Can diffusion tensor imaging noninvasively detect IDH1 gene mutations in astroglomas? A retrospective study of 112 cases [J]. *Am J Neuroradiol*, 2014, 35(5):920-927. DOI:10.3174/ajnr.A3803.
- [17] Zhao S, Lin Y, Xu W, et al. Glioma-derived mutations in IDH1 dominantly inhibit IDH1 catalytic activity and induce HIF-1 α [J]. *Science*, 2009, 324(5924):261-265. DOI:10.1126/science.1170944.
- [18] Wang XW, Labussiere M, Valable S, et al. IDH1(R132H) mutation increases U87 glioma cell sensitivity to radiation therapy in hypoxia [J]. *Biomed Res Int*, 2014, 2014:198697. DOI:10.1155/2014/198697.
- [19] Li S, Chou AP, Chen W, et al. Overexpression of isocitrate dehydrogenase mutant proteins renders glioma cells more sensitive to radiation [J]. *Neuro Oncol*, 2013, 15(1):57-68. DOI: 10.1093/neuonc/nos261.
- [20] Li K, Ouyang L, He M, et al. IDH1 R132H mutation regulates glioma chemosensitivity through Nrf2 pathway [J]. *Oncotarget*, 2017, 8(17):28865-28879. DOI:10.18632/oncotarget.15868.
- [21] Shi J, Sun B, Shi W, et al. Decreasing GSH and increasing ROS in chemosensitivity gliomas with IDH1 mutation [J]. *Tumour Biol*, 2015, 36(2):655-662. DOI:10.1007/s13277-014-2644-z.
- [22] Lu Y, Kwintkiewicz J, Liu Y, et al. Chemosensitivity of IDH1-mutated gliomas due to an impairment in PARP1-Mediated DNA repair [J]. *Cancer Res*, 2017, 77(7):1709-1718. DOI:10.1158/0008-5472.CAN-16-2773.
- [23] Rohle D, Popovici-Muller J, Palaskas N, et al. An inhibitor of mutant IDH1 delays growth and promotes differentiation of glioma cells [J]. *Science*, 2013, 340(6132):626-630. DOI:10.1126/science.1236062.
- [24] Turcan S, Fabius AW, Borodovsky A, et al. Efficient induction of differentiation and growth inhibition in IDH1 mutant glioma cells by the DNMT inhibitor Decitabine [J]. *Oncotarget*, 2013, 4(10):1729-1736. DOI:10.18632/oncotarget.1412.
- [25] Borodovsky A, Salmasi V, Turcan S, et al. 5-azacytidine reduces methylation, promotes differentiation and induces tumor regression in a patient-derived IDH1 mutant glioma xenograft [J]. *Oncotarget*, 2013, 4(10):1737-1747. DOI:10.18632/oncotarget.1408.

(收稿日期:2020-06-12)

(本文编辑:严玮雯)

(上接第 123 页)

- hospital cardiac arrest [J]. *Heart Lung Circ*, 2011, 20(12):746-750. DOI:10.1016/j.hlc.2011.07.015.
- [20] 张永学, 黄钢, 匡安仁, 等. 核医学 [M]. 2 版. 北京:人民卫生出版社, 2010:168-169.
- [21] 李思进, 李亚明. SPECT 心肌灌注显像技术与图像处理要点专家共识 (2019) [J]. *中华核医学与分子影像学杂志*, 2020, 40(1):32-36. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2020.01.007.
- [22] 陈盛祖, 张永学, 黄钢, 等. 临床技术操作规范核医学分册 [M]. 北京:人民军医出版社, 2004.
- [23] 刘青岩, 李思进. 影响脂质排泄因素对心肌灌注显像图像质量的影响 [J]. *中外医疗*, 2009, 30:152-154.
- [24] Fotos JS, Tulchinsky M. Oral Cholecystagogue Cholescintigraphy: A Systematic Review of Fatty Meal Options [J]. *Clin Nucl Med*, 2015, 40(10):796-798. DOI:10.1097/RLU.0000000000000913.
- [25] Cabrera R, Husain Z, Palani G, et al. Comparison of hemodynamic and stress testing variables in patients undergoing regadenoson stress myocardial perfusion imaging to regadenoson with adjunctive low-level exercise myocardial perfusion imaging [J]. *J Nucl Cardiol*, 2013, 20(3):336-343. DOI:10.1007/s12350-012-9671-1.
- [26] Dilsizian V, Gewirtz H, Paivanas N, et al. Serious and potentially life-threatening complications of cardiac stress testing: Physiological mechanisms and management strategies [J]. *J Nucl Cardiol*, 2015, 22(6):1198-1213. DOI:10.1007/s12350-015-0141-4.
- [27] 中华医学会核医学分会. 核素心肌显像规范化报告书写专家共识 (2018 版) [J]. *中华核医学与分子影像学杂志*, 2018, 38(12):805-809. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.12.008.

(收稿日期:2020-11-23)

(本文编辑:严玮雯)