

·综述·

PET/MR 在心血管疾病中的应用进展

毕晓 徐白萱

解放军总医院核医学科, 北京 100853

通信作者: 徐白萱, Email: xbx301@163.com

【摘要】 PET/MR 作为新型的多模态成像技术, 集合了 MRI 高软组织对比度、多序列、多参数、可定量和 PET 多分子探针显像的高灵敏度的优势, 实现了 PET 分子功能影像与具有精细解剖结构和组织特征的 MRI 影像同步扫描, 在多种心血管疾病中的应用和研究越来越广泛。笔者总结 PET/MR 心血管成像的优点和局限性, 并探讨其在临床中的主要应用。

【关键词】 心血管疾病; 正电子发射断层显像术; 磁共振成像; 分子显像

基金项目: 解放军总医院科技创新苗圃基金(18KMM32)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-201904034-00047](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201904034-00047)

Progress in the application of PET/MR in diagnosing cardiovascular diseases*Bi Xiao, Xu Baixuan**Department of Nuclear Medicine, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China**Corresponding author: Xu Baixuan, Email: xbx301@163.com*

【Abstract】 As a new multimodal imaging technology, PET/MR combines the ability of MRI and its various functional imaging parameters to obtain excellent and highly sensitive soft tissue contrast and the capability of PET to quantify radiotracer metabolism. Via simultaneous scanning, this combined method achieves PET images and allows the examination of fine anatomical structures through MRI. The effectiveness of this combined method is increasingly explored in diagnosing cardiovascular diseases. This review summarizes the advantages and limitations of PET/MR in diagnosing cardiovascular diseases and discusses its potential clinical applications.

【Key words】 Cardiovascular diseases; Positron-emission tomography; Magnetic resonance imaging; Molecular imaging

Fund program: PLA General Hospital Science and Technology Miaopu Fund (18KMM32)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-201904034-00047](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201904034-00047)

在过去数十年中, PET 和 MRI 技术在心血管疾病中的应用迅速发展, PET 显像可在心肌灌注和冠状动脉血流储备的绝对定量以及分子水平上对特定过程(如新陈代谢、炎症或神经支配)进行可视化和定量分析, MRI 在左右心室功能的量化、整体和局部心室壁运动异常的确定、组织特征(瘢痕、脂肪和水肿)及瓣膜功能诊断方面具有极大优势。近年来, PET/MR 作为新型的多模态融合显像技术, 整合了 PET 与 MRI 两种独立的显像技术, 实现了两者同步扫描, 且在不同类型的心血管疾病中的研究和应用越来越广泛^[1]。笔者就 PET/MR 在心血管疾病中的应用现状进行回顾和展望, 并探讨

其优点和局限性。

1 PET/MR 心血管成像技术的挑战

PET 和 MRI 是两种已经在临床上广泛应用的心血管成像技术, 它们的一体化整合面临一些技术上的挑战, 主要是两种设备的相互兼容、PET 的衰减校正(attenuation correction, AC)和运动校正(motion correction, MC)、扫描流程的规范化等。

1.1 硬件构成的挑战

PET 与 MRI 设备的兼容性问题主要为电磁场环境下 PET 硬件结构和 PET 信号采集不受干扰, 同时 PET 结构不影响磁场性质和 MRI 信号采集。

因此,目前 PET/MR 已用雪崩光电倍增管或硅光电倍增管替代易受磁场影响的传统 PET 光电转换器,并使用新的电磁屏蔽技术和低衰减材料把 PET 探测部件嵌入 MRI 射频系统与梯度系统之间^[2]。

1.2 AC 的挑战

PET/MR 的 AC 包括硬件结构和人体组织两部分。硬件结构用低衰减材料制作,将其对 γ 光子的衰减降至最小;另外, PET/MR 的系统文件中存储其衰减系数图(μ map),当系统检测到硬件已用于 PET/MR 采集时,系统会调取其衰减系数图对 PET 图像行 AC^[3]。人体组织 AC 主要是基于 Dixon MRI 序列的分割法,将组织分类为肺、脂肪、软组织和空气,每类组织赋予相对应的 μ 值,然后对 PET 数据进行 AC^[4]。但实际上不同患者、不同位置的心血管组织衰减程度是不同的。此外,基于 Dixon MRI 序列的分割法无法获取心血管周围骨骼的衰减系数图,因而会明显低估骨旁心血管组织的衰减程度^[5]。此外,支架或血管夹等金属移植植物也会导致 MRI 信号缺失,进而无法进行 AC 甚至产生 AC 伪影。另外, MRI 对比剂增强显像会影响人体软组织及肺部的 AC,但对于心血管的影响还需进一步研究^[6]。尽管如此, Lau 等^[7]通过与 CT 的 AC 比较发现,相控阵线圈会使模型心肌的放射性活度值减少 3%,但心肌的平均 SUV 并无差异,且两者具有很好的相关性($r=0.97$)。

1.3 MC 的挑战

PET/MR 的 MC 是基于 MRI 方法对 PET 数据进行 MC,常使用实时三维 MRI 或标记技术获取呼吸运动、心脏跳动及患者非自主运动信息,用来校正同时获取的 PET 数据中的此类运动信息^[8]。同样,三维 MRI 记录的运动信息也可校正 AC 图像,使 AC 图像与 PET 数据的空间位置一致,提高 AC 精确度^[9-10]。近年来,通过基于门控与 MRI 方法的比较研究发现,在低剂量或高噪声的 PET 数据中,基于 MRI 方法的 MC 增加了 PET 结果的可靠性^[11],但此类方法仍处于进一步的研究中,尚未在临床中常规应用。

1.4 规范化扫描的挑战

PET/MR 心血管成像扫描流程涉及患者训练、体位摆放、扫描序列的选择及其时序上的排列等。患者训练是操作人员对患者扫描过程中的配合状态进行讲解训练,使其能按照规定要求完成配合,通

常指呼吸和紧急求助训练。为尽可能减少操作人员接受的放射性核素的照射,最好在患者注射放射性核素药物前进行配合训练^[12]。PET/MR 心脏成像过程中需要呼吸、心电门控触发 MRI 采集信号,所以体位摆放时需去除金属物品,头先进、仰卧位、双手平放于身体两侧、身体居中等,还需按不同设备要求在患者胸前贴 MRI 兼容的心电电极,在腹部呼吸最明显部位放置呼吸门控软垫。由于磁场对心电信号会有影响,因此在布置好心电门控及放置好线圈后,需确认心电信号优良后再定位。而扫描序列及其时序上排列的选择主要依据心脏疾病的种类、衰减系数图与 PET 数据的配准情况和 PET 与 MRI 同步扫描时患者屏气与自由呼吸交替变换导致 PET 数据的部分容积效应。所以, PET 与心脏 MRI 序列同步扫描流程还需进一步研究。

2 PET/MR 心血管成像的显像剂与 MRI 技术

2.1 PET 显像剂

心脏 PET 显像是使用不同正电子核素标记与心脏生物学相关的分子形成显像剂,引入人体后经过心脏生物学变化摄取显像剂,通过 PET 设备接收显像剂的正电子湮灭辐射产生的 γ 光子对,经过数据处理,最终形成 PET 图像。而 PET 显像剂的研制及应用,是心血管疾病诊断、治疗和疗效评估的基础。依据不同心血管疾病表达的不同靶点或特点,研发出心脏的灌注、代谢及受体等 PET 显像剂。表 1 总结了不同 PET 显像剂在心血管疾病中的应用与研究^[13]。目前,也出现了以纳米材料为基础的 PET/MR 多模态显像剂,如靶向巨噬细胞的 MDIO-⁶⁴Cu-DOTA^[14]。虽然此类多模态显像剂仍未用于临床,但 PET/MR 已显示出了在心脏核医学中的巨大临床应用潜力。

2.2 心脏磁共振 (cardiac magnetic resonance, CMR) 成像技术

与 CT 扫描相比,CMR 成像技术除了可以降低受检者的辐射剂量外^[13],还可以提供很好的软组织结构特征。另外,CMR 电影成像也可以准确评估心室腔容积、心肌质量、心室壁运动和射血分数等变化;而 CMR 晚期钆增强 (late gadolinium enhanced, LGE) 图像可以评价心肌损伤范围和程度;同时,CMR 还具有定量评估弥散性心肌纤维化、心肌水肿及心肌铁沉积的 T1-mapping、T2-

表1 PET显像剂在心血管疾病中的应用
Table 1 PET tracers for cardiovascular applications

显像剂名称	作用靶点或特点	应用
¹⁵ O-H ₂ O、 ¹³ N-NH ₃ 、 ⁸² Rb-RbCl	心肌血流	判断心肌血供和活性
¹⁸ F-FDG	葡萄糖代谢	判断心肌活性、心肌炎症等
¹⁸ F-fluciclatide	avβ3和avβ5整合素	判断心肌梗死后血管或功能恢复
¹¹ C-hydroxyephedrine	心脏神经支配显像	心脏移植及充血性心衰预后评估等
¹¹ C-PIB、 ¹⁸ F-florbetapir、 ¹⁸ F-flutemetamol、 ¹⁸ F-florbetaben	淀粉样蛋白	心脏淀粉样变性
¹⁸ F-sodium fluoride	淀粉样蛋白、微钙化	心脏淀粉样变性、动脉粥样硬化斑块
⁶⁴ Cu-DOTATATE、 ⁶⁸ Ga-DOTATATE	生长抑素受体	动脉粥样硬化斑块
¹⁸ F-MISO	组织缺氧	动脉粥样硬化斑块
⁶⁸ Ga-NOTA-RGD、 ¹⁸ F-galacto-RGD	血管再生	动脉粥样硬化斑块
¹¹ C-PK11195	转运蛋白	动脉粥样硬化斑块

注，表中，FDG：氟脱氧葡萄糖；DOTATATE：奥曲肽；MISO：硝基咪唑；NOTA：三乙酸；RGD：精氨酸-甘氨酸-天冬氨酸；PK11195：异喹啉-3-甲酰胺

mapping 和 T2*-mapping 成像序列^[15]。近年来，还出现了对冠状动脉粥样硬化斑块性质评估的全冠状动脉斑块定性技术(CATCH)序列成像^[16]。

3 PET/MR 心血管成像的临床应用

3.1 缺血性心脏病

缺血性心脏病即冠状动脉粥样硬化性心脏病，是冠状动脉发生严重粥样硬化性狭窄或阻塞，或在此基础上合并痉挛以及血栓形成，造成管腔阻塞，引起冠状动脉供血不足、心肌缺血或梗死的一种最常见的心脏病。近几十年来，有创的冠状动脉造影和无创的冠状动脉 CT 一直被用于冠状动脉解剖狭窄程度的常规诊断方法，但无法定量判断病变冠状动脉的血流灌注量及其支配的心肌血流量的改变，难以准确诊断和提供危险分层及预后信息^[17]。目前，CMR 和 PET 均被广泛应用于心肌灌注成像，但 PET 被认为是无创心肌灌注定量评价的参考标准^[18]，Rischpler 等^[19]认为，心肌血流量及冠状动脉血流储备绝对定量的 PET 心肌灌注显像结合 CMR 血管成像或 LGE 图像会有助于鉴别心外膜血管狭窄与微循环障碍或心肌瘢痕与无功能性存活心肌。此外，PET/MR 还被用于评估梗死面积，将其作为判断心肌梗死预后的主要指标。Bulluck 等^[20]报道了 21 例心肌梗死后患者的 PET/MR 显像情况，结果证实了¹⁸F-FDG PET 与 T2-mapping 成像所显示的梗死范围一致，两者均大于 LGE 图像所显示的范围，且 LGE 成像和¹⁸F-FDG PET 对心肌节段运动恢复都具有良好的预测能力。在另一项

对 28 例心肌梗死后患者的研究中^[21]，LGE 和 PET 对存活心肌的评估也具有较好的一致性(Kappa 值=0.65)，且都准确预测了 6 个月后局部心室壁运动的恢复情况。

3.2 心脏炎性疾病

近年来，多种显像剂的 PET 和 MRI 对包括心脏在内的炎症疾病的诊断和监测的应用越来越广泛^[22-23]。在有关心肌炎 PET/MR 的病例报道中^[24-25]，局灶性心外膜下 LGE 与抑制正常心肌葡萄糖代谢的¹⁸F-FDG PET 高摄取密切匹配，并伴有心肌水肿和充血；虽然 MRI 足以诊断心肌炎，但 PET 还可用于评价心脏炎性活动状态，监测治疗效果。而在心脏结节病的临床指南中，PET 和 MRI 都被推荐用于该病的诊断与评估^[26]，LGE 成像可以显示结节病的心肌纤维化，¹⁸F-FDG PET 高摄取且灌注正常提示其炎性活动期，¹⁸F-FDG 高摄取且灌注减低提示其炎性进展期，¹⁸F-FDG 无摄取且无灌注或低灌注提示其炎性终末期；既往研究也显示 PET/MR 在心脏结节病的诊断和疗效监测中具有可行性^[27]，所以 PET/MR 不仅可以诊断结节病在心肌中的受累情况，还可以对其进行分期，从而指导治疗。

3.3 心脏淀粉样变性 (cardiac amyloidosis, CA)

CA 是由于原发性或继发性因素致使前体蛋白以异常的 β 折叠形式沉积在心肌细胞外的某种自体蛋白纤维，从而引起心脏舒缩功能和(或)传导系统障碍，是具有典型限制性心肌病临床表现的一组疾病，主要分为获得性单克隆免疫球蛋白轻链(AL)和转甲状腺素(TTR)两种类型，鉴于其不同

的预后和治疗方法,临床分型显得尤为重要。CMR已成为诊断CA的成熟工具,但无法分型^[28-29]。而Trivieri等^[30]的研究结果表明,与获得性单克隆免疫球蛋白轻链型患者及正常体检者相比,转甲状腺素型患者的¹⁸F-NaF PET显像表现为心肌放射性摄取增加,且与LGE显像的病变范围一致。另外,一些研究结果也表明,¹¹C-PIB PET可用于CA的诊断^[30-32]。Lee等^[31]报道了22例疑似CA患者,在经活检证实的15例患者中,有13例¹¹C-PIB PET为阳性;而无CA的患者,¹¹C-PIB PET扫描结果均无阳性;且非化疗组与化疗组心肌对¹¹C-PIB摄取的差异有统计学意义($P=0.014$)。所以,PET/MR不仅可以对CA进行诊断、分期,还可以进行疗效评估,特别是对于肾功能异常而无法进行MRI LGE显像的患者。

3.4 冠状动脉粥样硬化斑块

冠状动脉粥样硬化性心脏病是导致人类病死的主要原因之一,其中急性冠状动脉综合征是导致患者发生猝死和预后不良的主要原因。而急性冠状动脉综合征发病的主要原因是冠状动脉粥样硬化易损斑块破裂或内皮表面糜烂导致冠状动脉内形成血栓。因此,早期无创性诊断冠状动脉粥样硬化斑块的稳定性已成为国内外研究热点之一。目前,PET和CMR对冠状动脉硬化易损斑块的成像主要体现在斑块的炎症、微钙化及出血上^[33],PET可通过不同靶点的放射性显像剂对易损斑块进行评估,包括作用于易损斑块炎症细胞的⁶⁸Ga-pentixafor,针对斑块微钙化的¹⁸F-NaF及用于新生血管的⁶⁴Cu-DOTA-VEGFR121等;CMR可通过黑血T1加权成像和冠状动脉增强成像或冠状动脉亮血成像评估冠状动脉解剖异常、管腔狭窄严重程度及斑块内出血等情况。Joshi等^[34]在对40例心肌梗死和40例稳定性心绞痛患者的研究中发现,在37例心肌梗死患者中,“罪犯斑块”与“非罪犯斑块”对¹⁸F-NaF摄取的差异有统计学意义($P<0.0001$),而对¹⁸F-FDG的摄取差异无统计学意义($P=0.34$);在18例稳定性心绞痛患者中,“罪犯斑块”对¹⁸F-NaF均呈高摄取,此结果与血管内超声结果一致。另外,Xie等^[16]研究结果证实,在CMR的全心冠状动脉斑块定性技术(CATCH)序列黑血图上,冠状动脉高信号与正常心肌信号的比值大于1.4的病灶,与冠状动脉光学成像所检测的易损斑块评分相

关性良好,可识别斑块内成分及其稳定性。所以,针对不同靶点的放射性核素PET/MR动脉粥样硬化斑块成像具有较大的临床应用潜力。

3.5 心脏肿瘤

MRI可以很好地评估心脏肿瘤,因为其能够准确地描述肿瘤的位置、大小、血管分布及病变组织特征。不过,同时进行¹⁸F-FDG PET/MR检查则可增加对心脏肿瘤代谢信息的了解,有助于对肿瘤良恶性进行鉴别^[35]。最近的一项研究结果表明,¹⁸F-FDG PET/MR区分良恶性肿瘤的灵敏度为100%、特异度为92%,并且在评估原发性心脏恶性肿瘤与转移性心脏肿瘤时,全身¹⁸F-FDG PET/MR较单纯MRI有更高的灵敏度^[36]。

4 结论

PET/MR心血管成像作为新型的多模态成像技术,可以一次扫描同时获得心血管解剖、组织特征、功能和分子水平信息,给心脏疾病的诊断和疗效评估提供了进一步的帮助。另外,较低的辐射剂量对年轻患者的临床成像尤其重要。但在临床广泛应用之前,需要通过PET与CMR的交叉验证,探索出更合理的应用参数,规范操作流程(比如:可能不需要PET与CMR两种技术同时评估心肌灌注和左心室功能值)等。所以,目前仍需进一步的临床研究来探索PET/MR在心脏疾病方面的潜在应用。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 毕晓负责论文的撰写和最终版本的修订;徐白莹负责研究命题的提出和论文的审阅。

参 考 文 献

- [1] Nensa F, Bamberg F, Rischpler C, et al. Hybrid cardiac imaging using PET/MRI: a joint position statement by the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR) and the European Association of Nuclear Medicine (EANM)[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(10): 4086-4101. DOI: 10.1007/s00330-017-5008-4.
- [2] Krizsan AK, Lajos I, Dahlbom M, et al. A promising future: comparable imaging capability of MRI-compatible silicon photomultiplier and conventional photosensor preclinical PET systems[J]. *J Nucl Med*, 2015, 56(12): 1948-1953. DOI: 10.2967/jnumed.115.157677.
- [3] Delso G, Martinez-Möller A, Bundschuh RA, et al. Evaluation of the attenuation properties of MR equipment for its use in a

- whole-body PET/MR scanner[J]. *Phys Med Biol*, 2010, 55(15): 4361–4374. DOI: [10.1088/0031-9155/55/15/011](https://doi.org/10.1088/0031-9155/55/15/011).
- [4] Eiber M, Martinez-Möller A, Souvatzoglou M, et al. Value of a Dixon-based MR/PET attenuation correction sequence for the localization and evaluation of PET-positive lesions[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2011, 38(9): 1691–1701. DOI: [10.1007/s00259-011-1842-9](https://doi.org/10.1007/s00259-011-1842-9).
- [5] Schulz V, Torres-Espallardo I, Renisch S, et al. Automatic, three-segment, MR-based attenuation correction for whole-body PET/MR data[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2011, 38(1): 138–152. DOI: [10.1007/s00259-010-1603-1](https://doi.org/10.1007/s00259-010-1603-1).
- [6] Lois C, Bezrukov I, Schmidt H, et al. Effect of MR contrast agents on quantitative accuracy of PET in combined whole-body PET/MR imaging[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2012, 39(11): 1756–1766. DOI: [10.1007/s00259-012-2190-0](https://doi.org/10.1007/s00259-012-2190-0).
- [7] Lau JMC, Laforest R, Sotoudeh H, et al. Evaluation of attenuation correction in cardiac PET using PET/MR[J]. *J Nucl Cardiol*, 2017, 24(3): 839–846. DOI: [10.1007/s12350-015-0197-1](https://doi.org/10.1007/s12350-015-0197-1).
- [8] Kolbitsch C, Ahlman MA, Davies-Venn C, et al. Cardiac and respiratory motion correction for simultaneous cardiac PET/MR[J]. *J Nucl Med*, 2017, 58(5): 846–852. DOI: [10.2967/jnumed.115.171728](https://doi.org/10.2967/jnumed.115.171728).
- [9] Ouyang J, Li QZ, Georges EF. Magnetic resonance-based motion correction for positron emission tomography imaging[J]. *Semin Nucl Med*, 2013, 43(1): 60–67. DOI: [10.1053/j.semnuclmed.2012.08.007](https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2012.08.007).
- [10] Fürst S, Grimm R, Hong I, et al. Motion correction strategies for integrated PET/MR[J]. *J Nucl Med*, 2015, 56(2): 261–269. DOI: [10.2967/jnumed.114.146787](https://doi.org/10.2967/jnumed.114.146787).
- [11] Guo R, Petibon Y, Ma YX, et al. MR-based motion correction for cardiac PET parametric imaging: a simulation study[J/OL]. *EJNMMI Phys*, 2018, 5(1): 3[2019-04-21]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5792384/>. DOI: [10.1186/s40658-017-0200-9](https://doi.org/10.1186/s40658-017-0200-9).
- [12] 刘家金, 陈英茂, 张雄伟, 等. PET/MR 一体机操作优化的初步经验[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2014, 34(6): 438–442. DOI: [10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.06.005](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.06.005).
- Liu JJ, Chen YM, Zhang XW, et al. Initial experience on protocol optimization for integrated PET/MR[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2014, 34(6): 438–442. DOI: [10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.06.005](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.06.005).
- [13] Robson PM, Dey D, Newby DE, et al. MR/PET imaging of the cardiovascular system[J]. *JACC Cardiovascular Imaging*, 2017, 10(10): 1165–1179. DOI: [10.1016/j.jcmg.2017.07.008](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.07.008).
- [14] Tu CQ, Thomas SCN, Russell EJ, et al. Multimodality PET/MRI agents targeted to activated macrophages[J]. *J Biol Inorg Chem*, 2014, 19(2): 247–258. DOI: [10.1007/s00775-013-1054-9](https://doi.org/10.1007/s00775-013-1054-9).
- [15] Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP, et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on expert consensus documents[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 55(23): 2614–2662. DOI: [10.1016/j.jacc.2009.11.011](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.11.011).
- [16] Xie YB, Kim YJ, Pang J, et al. Coronary atherosclerosis T1-weighted characterization with integrated anatomical reference: comparison with high-risk plaque features detected by invasive coronary imaging[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(6): 637–648. DOI: [10.1016/j.jcmg.2016.06.014](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.06.014).
- [17] 彭琨, 李剑明. PET/CT 冠状动脉血流储备测定在冠状动脉微血管性疾病中的研究进展[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2018, 42(5): 436–440. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.05.009](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.05.009).
- Peng K, Li JM. Progress in the measurement of coronary reverse flow in coronary microvascular diseases with PET/CT[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2018, 42(5): 436–440. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.05.009](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.05.009).
- [18] Sciagrà R, Passeri A, Bucorius J, et al. Clinical use of quantitative cardiac perfusion PET: rationale, modalities and possible indications. Position paper of the Cardiovascular Committee of the European Association of Nuclear Medicine (EANM)[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2016, 43(8): 1530–1545. DOI: [10.1007/s00259-016-3317-5](https://doi.org/10.1007/s00259-016-3317-5).
- [19] Rischpler C, Nekolla SG, Dregely I, et al. Hybrid PET/MR imaging of the heart: potential, initial experiences, and future prospects[J]. *J Nucl Med*, 2013, 54(3): 402–415. DOI: [10.2967/jnumed.112.105353](https://doi.org/10.2967/jnumed.112.105353).
- [20] Bulluck H, White SK, Fröhlich GM, et al. Quantifying the area-at-risk in reperfused STEMI patients using hybrid cardiac PET-MR imaging[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(3): e003900. DOI: [10.1161/CIRCIMAGING.115.003900](https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.115.003900).
- [21] Rischpler C, Langwieser N, Souvatzoglou M, et al. PET/MRI early after myocardial infarction: evaluation of viability with late gadolinium enhancement transmural vs. ¹⁸F-FDG uptake[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2015, 16(6): 661–669. DOI: [10.1093/ehjci/jeu317](https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu317).
- [22] Lurz P, Luecke C, Eitel I, et al. Comprehensive cardiac magnetic resonance imaging in patients with suspected myocarditis: the MyoRacer-Trial[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 67(15): 1800–1811. DOI: [10.1016/j.jacc.2016.02.013](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.02.013).
- [23] Wu CX, Li F, Niu G, et al. PET imaging of inflammation biomarkers[J/OL]. *Theranostics*, 2013, 3(7): 448–466[2019-04-21]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/journals/1512/>. DOI: [10.7150/thno.6592](https://doi.org/10.7150/thno.6592).
- [24] Nensa F, Kloth J, Tezgah E, et al. Feasibility of FDG-PET in myocarditis: Comparison to CMR using integrated PET/MRI[J]. *J Nucl Cardiol*, 2018, 25(3): 785–794. DOI: [10.1007/s12350-016-0616-y](https://doi.org/10.1007/s12350-016-0616-y).
- [25] Abgral R, Dweck MR, Trivieri MG, et al. Clinical utility of combined FDG-PET/MR to assess myocardial disease[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(5): 594–597. DOI: [10.1016/j.jcmg.2016.02.029](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.02.029).
- [26] Schatka I, Bengel FM. Advanced imaging of cardiac

- sarcoidosis[J]. *J Nucl Med*, 2014, 55(1): 99–106. DOI: [10.2967/jnumed.112.115121](https://doi.org/10.2967/jnumed.112.115121).
- [27] Nensa F, Tezgah E, Poeppel T, et al. Diagnosis and treatment response evaluation of cardiac sarcoidosis using positron emission tomography/magnetic resonance imaging[J]. *Eur Heart J*, 2015, 36(9): 550. DOI: [10.1093/eurheartj/ehu473](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu473).
- [28] Fontana M, Chung R, Hawkins PN, et al. Cardiovascular magnetic resonance for amyloidosis[J]. *Heart Fail Rev*, 2015, 20(2): 133–144. DOI: [10.1007/s10741-014-9470-7](https://doi.org/10.1007/s10741-014-9470-7).
- [29] Barison A, Aquaro GD, Pugliese NR, et al. Measurement of myocardial amyloid deposition in systemic amyloidosis: insights from cardiovascular magnetic resonance imaging[J]. *J Intern Med*, 2015, 277(5): 605–614. DOI: [10.1111/joim.12324](https://doi.org/10.1111/joim.12324).
- [30] Trivieri MG, Dweck MR, Abgral R, et al. ¹⁸F-Sodium fluoride PET/MR for the assessment of cardiac amyloidosis[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 68(24): 2712–2714. DOI: [10.1016/j.jacc.2016.09.953](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.09.953).
- [31] Lee SP, Lee ES, Choi H, et al. ¹¹C-Pittsburgh B PET imaging in cardiac amyloidosis[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2014, 8(1): 50–59. DOI: [10.1016/j.jcmg.2014.09.018](https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.09.018).
- [32] Pilebro B, Lindqvist P, Gustafsson S, et al. Positron emission tomography (PET) utilizing Pittsburgh compound B (PIB) detects amyloid heart deposits in hereditary transthyretin amyloidosis (ATTR)[J/OL]. *Orphanet J Rare Dis*, 2015, 10. <https://link.springer.com/article/10.1186/1750-1172-10-S1-O15#citeas>. DOI: [10.1186/1750-1172-10-S1-O15](https://doi.org/10.1186/1750-1172-10-S1-O15).
- [33] Xie YB, Jin H, Zeng MS, et al. Coronary artery plaque imaging[J]. *Curr Atheroscler Rep*, 2017, 19(9): 37. DOI: [10.1007/s11883-017-0672-z](https://doi.org/10.1007/s11883-017-0672-z).
- [34] Joshi NV, Vesey AT, Williams MC, et al. ¹⁸F-fluoride positron emission tomography for identification of ruptured and high-risk coronary atherosclerotic plaques: A prospective clinical trial[J]. *Lancet*, 2014, 383(9918): 705–713. DOI: [10.1016/S0140-6736\(13\)61754-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61754-7).
- [35] Lau JMC, Laforest R, Nensa F, et al. Cardiac applications of PET/MR imaging[J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2017, 25(2): 325–333. DOI: [10.1016/j.mric.2016.12.007](https://doi.org/10.1016/j.mric.2016.12.007).
- [36] Nensa F, Tezgah E, Poeppel TD, et al. Integrated ¹⁸F-FDG PET/MR imaging in the assessment of cardiac masses: a pilot study[J]. *J Nucl Med*, 2014, 56(2): 255–260. DOI: [10.2967/jnumed.114.147744](https://doi.org/10.2967/jnumed.114.147744).

(收稿日期: 2019-04-22)

读者 · 作者 · 编者

2020 年本刊可直接使用缩写形式的常用词汇

ATP(adenosine-triphosphate), 三磷酸腺苷

AUC(area under curve), 曲线下面积

CI(confidence interval), 可变区间

CT(computed tomography), 计算机断层摄影术

CV(coefficient of variation), 变异系数

DNA(deoxyribonucleic acid), 脱氧核糖核酸

DTC(differentiated thyroid cancer), 分化型甲状腺癌

DTPA(diethylene-triaminepentaacetic acid), 二亚乙基三胺五乙酸

FDG(fluorodeoxyglucose), 氟脱氧葡萄糖

MDP(methylenediphosphonate), 亚甲基二膦酸盐

MIBI(methoxyisobutylisonitrile), 甲氧基异丁基异腈

MRI(magnetic resonance imaging), 磁共振成像

MTT(3-(4, 5-dimethylthiazol-2-yl)-2, 5-diphenyltetrazolium bromide), 3-(4, 5-二甲基噻唑-2)-2, 5-二苯基四氮唑溴盐

PBS(phosphate-buffered solution), 磷酸盐缓冲液

PCR(polymerase chain reaction), 聚合酶链反应

PET(positron emission tomography), 正电子发射断层显像术

RBC(red blood cell), 红细胞

RNA(ribonucleic acid), 核糖核酸

ROC(receiver operator characteristic), 受试者工作特征

ROI(region of interest), 感兴趣区

SER(sensitization enhancement ratio), 放射增敏比

SPECT(single photon emission computed tomography), 单光子发射计算机断层摄影术

SUV(standardized uptake value), 标准化摄取值

SUV_{max}(maximum standardized uptake value), 最大标准化摄取值

SUV_{min}(minimum standardized uptake value), 最小标准化摄取值

T₃(triiodothyronine), 三碘甲状腺原氨酸

T₄(throxine), 甲状腺素

TNF(tumor necrosis factor), 肿瘤坏死因子

TNM(tumor, node, metastasis), 肿瘤、结节、转移

T/NT(the ratio of target to non-target), 靶/非靶比值

TSH(thyroid-stimulating hormone), 促甲状腺激素

WBC(white blood cell count), 白细胞计数

本刊编辑部