

^{18}F -FDG PET/CT 心房显像的方法学研究 及在心房颤动患者中的初步应用

陈碧希¹ 武姣彦¹ 谢博洽² 杨敏福¹

¹首都医科大学附属北京朝阳医院核医学科,北京 100020;²首都医科大学附属北京朝阳医院心脏中心,北京 100020

通信作者:杨敏福, Email: minfuyang@126.com

【摘要】 目的 探讨适合心房 ^{18}F -FDG PET/CT 显像的方法,并分析心房颤动(简称房颤)患者心房异常摄取的特征。方法 前瞻性入组 2017 年 8 月至 2018 年 8 月间北京朝阳医院 69 例房颤患者[男 43 例,女 26 例,年龄(64±11)岁]行 60 及 120 min ^{18}F -FDG PET/CT 双时相显像。另招募 10 名健康志愿者为对照组[男 3 名,女 7 名,年龄(66±4)岁]行 60 min ^{18}F -FDG PET/CT 显像。采用美国核医学与分子影像学会/美国心脏病学会/美国心血管计算机断层扫描学会(SNMML/ASNC/SCCT)指南推荐的方法抑制心肌生理性摄取。图像分析:(1)左心室心肌 ^{18}F -FDG 摄取情况定性分析:0 级,左心室心肌摄取低于或等于心血池;1 级,轻度高于心血池;2 级,明显高于心血池。另观察左心房、左心耳和右心房的 ^{18}F -FDG 摄取情况,高于心血池判定为异常摄取;采用配对 χ^2 检验比较早期相与延迟相各心房及心耳结构异常摄取的比例。(2)定量分析:测定左心房、左心耳、右心房的 SUV_{\max} ,并测定左右心房腔的 SUV_{mean} ,计算左心房、左心耳及右心房的靶本比(TBR);采用 Wilcoxon 符号秩检验分析各心房及心耳结构早期相与延迟相 TBR 间的差异。采用 χ^2 检验及 Mann-Whitney U 检验比较房颤患者和对照组心房各结构 ^{18}F -FDG 摄取差异。**结果** 84.8%(67/79)的受试者左心室心肌生理性摄取被有效抑制,仅 1 例由于左心室摄取较高而影响对左心耳的判读。定性分析结果表明,左心房、右心房及左心耳延迟相异常摄取的比例均高于早期相,其中左心耳差异有统计学意义[27.9%(19/68)与 42.6%(29/68); $\chi^2=8.10, P=0.020$]。定量分析示,左心房、左心耳及右心房延迟相 TBR 均高于早期相 TBR[左心房:1.1(1.0, 1.3)与 1.1(1.0, 1.2);左心耳:1.2(1.0, 1.5)与 1.0(0.9, 1.2);右心房:1.4(1.1, 1.9)与 1.3(1.0, 1.5); z 值:-6.81~-3.42, 均 $P<0.05$]。87.0%(60/69)的房颤患者存在心房异常摄取,明显高于对照组[0(0/10); $\chi^2=31.50, P<0.001$],其中左心耳、右心房异常摄取比例均明显高于对照组[左心耳:30.4%(21/69)与 0(0/10); $\chi^2=4.10, P=0.042$;右心房:53.6%(37/69)与 0(0/10); $\chi^2=8.00, P=0.001$]。**结论** 采用 SNMML/ASNC/SCCT 指南推荐的方法抑制心肌的生理性摄取并适当延长采集间隔,有利于观察心房的 ^{18}F -FDG 异常摄取。房颤患者心房 ^{18}F -FDG 摄取增加。

【关键词】 心房颤动;正电子发射断层显像术;体层摄影术,X 线计算机;氟脱氧葡萄糖 F18

基金项目:国家自然科学基金(81871380)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20201011-00367

Methodological study on atrial ^{18}F -FDG PET/CT imaging and preliminary application in atrial fibrillation

Chen Bixi¹, Wu Jiaoyan¹, Xie Boqia², Yang Minfu¹

¹Department of Nuclear Medicine, Beijing Chaoyang Hospital, Capital Medical University, Beijing 100020, China; ²Cardiac Center, Beijing Chaoyang Hospital, Capital Medical University, Beijing 100020, China

Corresponding author: Yang Minfu, Email: minfuyang@126.com

【Abstract】 **Objective** To explore suitable strategies for atrial ^{18}F -FDG PET/CT imaging and analyze the characteristics of abnormal atrial uptake in patients with atrial fibrillation (AF). **Methods** From August 2017 to August 2018, 69 AF patients (43 males, 26 females, age (64±11) years) in Beijing Chaoyang Hospital were prospectively enrolled and underwent dual-phase ^{18}F -FDG PET/CT imaging (60 and 120 min postinjection). Additionally, 10 healthy controls (3 males, 7 females, age (66±4) years) were prospectively enrolled and underwent ^{18}F -FDG PET/CT imaging (60 min postinjection). A comprehensive strategy recommended by the Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging/American Society of Nuclear Cardiology/Society of Cardiovascular Computed Tomography (SNMML/ASNC/SCCT) guideline was followed to suppress myocardial uptake. Image analysis: (1) ^{18}F -FDG uptake of left ventricle was qualitatively analyzed and classified into 3 levels: grade 0, the activity of blood pool exceeded or was equal to myo-

cardial activity; grade 1, myocardial activity was mildly higher than blood pool activity; grade 2, myocardial activity was obviously higher than blood pool activity. ^{18}F -FDG uptake in the left atrium (LA), left atrial appendage (LAA) and right atrium (RA) higher than that in blood pool were defined as abnormal. Paired χ^2 test was used to compare the rates of abnormal uptake in atrial structures between two phases. (2) Quantitative analysis: ^{18}F -FDG uptake in all atrial structures were quantitatively analyzed by measuring SUV_{\max} , and left atrial cavity and right atrial cavity were quantitatively analyzed by measuring SUV_{mean} . The target to background ratio (TBR) was calculated. Differences of TBR between two phases were analyzed by Wilcoxon signed rank test. Differences of ^{18}F -FDG uptake in atrial structures between patients with AF and healthy controls were analyzed by Mann-Whitney U test and χ^2 test. **Results** Most subjects (84.8%, 67/79) achieved sufficient myocardial suppression. In one patient, the interpretation of LAA was affected by left ventricle uptake. The incidence of abnormal uptake of LA, LAA and RA in delayed phase were higher than those in early phase, but only the difference of LAA was significantly different (27.9% (19/68) vs 42.6% (29/68); $\chi^2 = 8.10$, $P = 0.020$). TBR of LA, LAA and RA in delayed phase were all significantly higher than those in early phase (LA: 1.1 (1.0, 1.3) vs 1.1 (1.0, 1.2); LAA: 1.2 (1.0, 1.5) vs 1.0 (0.9, 1.2); RA: 1.4 (1.1, 1.9) vs 1.3 (1.0, 1.5); z values: from -6.81 to -3.42, all $P < 0.05$). There were 87.0% (60/69) of AF patients with abnormal atrial FDG accumulation, which was significantly higher than that of the control group (0/10; $\chi^2 = 31.50$, $P < 0.001$). In LAA and RA, the incidences of abnormal accumulation were significantly higher in AF than those in the control group (LAA: 30.4% (21/69) vs 0 (0/10); $\chi^2 = 4.10$, $P = 0.042$; RA: 53.6% (37/69) and 0 (0/10); $\chi^2 = 8.00$, $P = 0.001$). **Conclusions** Using the method recommended by the SNMMI/ASNC/SCCT guideline to suppress the physiological uptake of the left ventricle and appropriately extending the interval is conducive to observing the abnormal ^{18}F -FDG uptake in the atrium. The uptake of ^{18}F -FDG in the atrium of patients with AF is increased.

【Key words】 Atrial fibrillation; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81871380)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20201011-00367

心房壁较薄,常规 ^{18}F -FDG PET/CT 显像鲜见心房摄取。偶见的心房异常摄取的患者多数罹患器质性心脏疾病,以心房颤动(简称房颤)最为常见^[1-4]。心房 ^{18}F -FDG 异常摄取机制目前尚不明确。笔者前期的回顾性研究发现,心房组织的异常摄取与心外膜脂肪活性有关,而心外膜脂肪与心脏局部炎症反应关系密切,据此推测心房 ^{18}F -FDG 摄取可能与局部炎症反应有关^[1]。此外,心房 ^{18}F -FDG 异常摄取的可能机制还包括缺血、容量或压力负荷增加等。无论心房 ^{18}F -FDG 异常摄取是何种机制,都能为心房相关疾病的发病机制研究和临床诊疗提供客观的影像学证据。但是,目前尚缺少适用于心房 ^{18}F -FDG PET/CT 显像的方法学研究,也没有得到验证的显像流程。因此,本研究探讨适合心房 ^{18}F -FDG PET/CT 显像的方法,并初步观察房颤患者的心房 ^{18}F -FDG 摄取特征。

资料与方法

1. 临床资料。本研究为前瞻性研究,纳入自 2017 年 8 月至 2018 年 8 月于北京朝阳医院因心律失常入院治疗的房颤患者。排除标准:(1)不稳定的缺血性心脏病;(2)急性冠状动脉综合征;(3)既往发生过心肌梗死;(4)瓣膜性心脏病,特发性心脏病,先天性心脏病;(5)无法控制的心力衰竭;(6)既往行心脏外科手术,射频消融治疗;(7)肺动脉高

压;(8)甲状腺功能亢进症;(9)晚期肾病;(10)患有传染性疾病、炎性疾病;(11)恶性肿瘤;(12)临床状况不稳定;(13) ^{18}F -FDG PET/CT 显像发现恶性肿瘤、炎性疾病。此外,患者既往无出血性疾病或与出血相关的不良事件。共 69 例患者纳入研究,男 43 例,女 26 例,年龄(64±11)岁;持续性房颤患者 42 例,阵发性房颤患者 27 例,均完成 60 及 120 min 双时相 PET/CT 显像。

另招募 10 名健康志愿者作为对照组,男 3 名,女 7 名,年龄(66±4)岁。纳入标准:(1)无房颤病史;(2)无心血管疾病史;(3)无恶性肿瘤病史;(4)PET/CT 未发现恶性肿瘤或炎性疾病。本研究经首都医科大学附属北京朝阳医院伦理委员会批准(编号:2018-科-337),所有入组的房颤患者及健康志愿者均签署知情同意书。

2. ^{18}F -FDG PET/CT 双时相显像。(1)采用美国核医学与分子影像学会/美国心脏病学会/美国心血管计算机断层扫描学会(Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging/American Society of Nuclear Cardiology/Society of Cardiovascular Computed Tomography, SNMMI/ASNC/SCCT)指南^[5]推荐的方法进行患者显像前准备:①两餐低糖高脂饮食;②禁食>16 h;③注射 ^{18}F -FDG 前 15 min 按体质量静脉注射普通肝素(50 U/kg)。所有患者在检查当日

晨停用抗凝药物。

(2) 图像采集。采用美国 GE 公司 Discovery STE PET/CT 仪,¹⁸F-FDG 由北京原子高科股份有限公司提供,放化纯>95%。患者于静息状态下注射¹⁸F-FDG(按体质量 3.7 MBq/kg),60 min 后(早期相)行胸部 PET/CT 图像采集。先采集 CT 图像用于定位及衰减校正,采集参数:140 kV,120 mA,螺距 1.375 mm,准直 16×0.625 mm,扫描层厚 5 mm;后行 PET 图像采集,每个床位 5 min,以心脏为中心采集 2 个床位。注射¹⁸F-FDG 后 120 min(延迟相)行延迟 PET/CT 图像采集,CT 图像采集及参数同上,PET 图像以心脏为中心采集 1 个床位,每个床位 5 min。对照组受试者未行延迟相采集。

3. 图像处理及分析。图像处理采用美国 GE 公司 AW VolumeShare 2 软件,原始 PET 图像采用三维有序子集最大期望值迭代法重建(14 个子集,2 次迭代),CT 图像以标准重建法重建,得到冠状位、矢状位及横断位 PET 图像、CT 图像及 PET/CT 融合图像。

所有图像均由 2 名核医学医师盲法独立阅片,结果不一致时协商解决。图像分析包括定性分析及定量分析。(1) 定性分析。由于在结构上很难区分右心房及右心耳,因此在分析图像时将二者视为整体,采用如下标准:心房或心耳¹⁸F-FDG 摄取高于心血池定义为异常摄取。

(2) 定量分析。①对于有心房异常摄取的患者,结合 CT 和 PET 图像,在横断位图像上逐层勾画 ROI 来测量心房壁可见的异常摄取,选取所有层面中最大的 SUV_{max} 代表心房的代谢活性;对于未观察到心房异常摄取的患者,结合 CT 和 PET 图像,于右下肺静脉水平在左心房右侧壁上、主动脉根部水平在右心房游离壁上,分别勾画 1 个直径为 5 mm 的圆形 ROI 代表左、右心房代谢活性。②对于心耳结构¹⁸F-FDG 摄取的测量,结合 CT 和 PET 图像,在横断位图像上沿心耳轮廓逐层勾画 ROI,选取所有层面中最大 SUV_{max} 代表心耳代谢活性。同时,测量左心房及右心房的 SUV_{mean} 对心房及心耳的 SUV 进行校正,分别计算双房及左心耳靶本比(target to background ratio, TBR)。

(3) 左心室心肌¹⁸F-FDG 摄取的等级评估。采用定性分析方法:0 级,左心室心肌摄取低于或等于心血池;1 级,左心室心肌摄取轻度高于心血池;2 级,左心室心肌摄取明显高于心血池。0 和 1 级判定为心肌摄取被充分抑制。

4. 统计学处理。采用 IBM SPSS 24.0 软件行统

计学分析。定性资料采用百分比(%)表示,符合正态分布的定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的定量资料用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。利用 χ^2 检验比较房颤患者与对照组受试者各心房结构发生异常摄取的比例;采用配对 χ^2 检验分析早期相与延迟相各心房及心耳结构发生异常摄取的比例;采用 Wilcoxon 符号秩检验分析各心房及心耳结构早期相与延迟相间 TBR 的差异;采用 χ^2 检验和 Mann-Whitney U 检验比较房颤患者与对照者心房各结构异常¹⁸F-FDG 摄取及 TBR 间的差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一般资料。69 例房颤患者与 10 名对照者年龄、性别、体质指数[(26.3±3.3)与(24.5±3.1) kg/m²]、血糖[6.3(5.9, 7.1)与 6.8(6.0, 8.6) mmol/L]差异均无统计学意义(t 值:-0.90, 1.50, $U = 247.00$, 均 $P > 0.05$)。69 例患者与 10 名对照者均完成显像,未发生与饮食控制或肝素注射相关的并发症。

2. 左心室心肌¹⁸F-FDG 摄取的抑制情况。69 例房颤患者左心室心肌摄取 0、1 和 2 级比例分别为 72.5%(50/69)、13.0%(9/69)和 14.5%(10/69),对照组分别为 7/10、1/10 和 2/10。总体上,84.8%(67/79)的受试者左心室心肌生理性摄取被充分抑制。在未被充分抑制的 12 例受试者中,仅 1 例阵发性房颤患者由于左心室¹⁸F-FDG 摄取较高,影响了对其左心耳异常摄取的判断。

3. 双时相显像分析。(1) 定性分析。左心耳早期相与延迟相有异常摄取的比例分别为 27.9%(19/68)和 42.6%(29/68),差异有统计学意义($\chi^2 = 8.10, P = 0.020$);而左心房和右心房延迟相异常摄取的比例有高于早期相的趋势,但差异无统计学意义[左心房:18.8%(13/69)与 26.1%(18/69); $\chi^2 = 3.20, P = 0.062$;右心房:56.5%(39/69)与 63.8%(44/69); $\chi^2 = 3.20, P = 0.062$]。

(2) 定量分析。心房各结构延迟相 TBR 均明显高于早期相:左心房,1.1(1.0, 1.3)与 1.1(1.0, 1.2)($z = -3.42, P = 0.010$);左心耳,1.2(1.0, 1.5)与 1.0(0.9, 1.2)($z = -6.81, P < 0.001$);右心房,1.4(1.1, 1.9)与 1.3(1.0, 1.5)($z = -6.62, P < 0.001$)。

4. 房颤患者和对照者心房¹⁸F-FDG 摄取的比较。87.0%(60/69)的房颤患者有心房异常¹⁸F-FDG 摄取,明显高于对照组(0/10; $\chi^2 = 31.50, P < 0.001$)。房颤患者左心耳、右心房异常¹⁸F-FDG 摄取比例明显高于对照组:左心耳,30.4%(21/69)与 0(0/10)($\chi^2 =$

4.10, $P=0.042$); 右心房, 53.6% (37/69) 与 0 (0/10) ($\chi^2=8.00, P=0.001$)。房颤患者右心房代谢活性明显高于对照组 [1.3 (1.0, 1.5) 与 1.0 (0.9, 1.1)]; $U=169.00, P=0.009$]。患者及健康对照者¹⁸F-FDG PET/CT 显像典型图像见图 1。

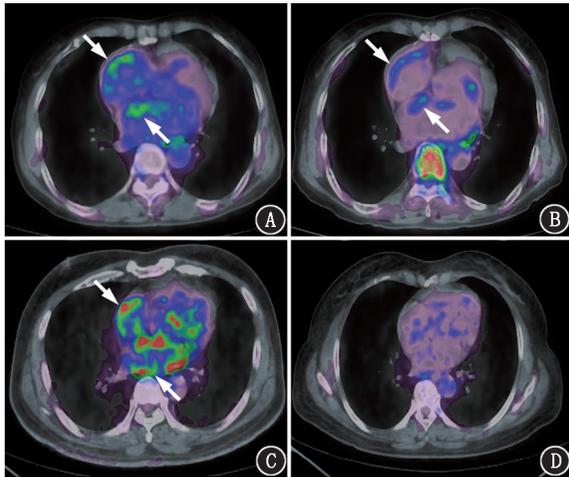


图 1 心房颤动(简称房颤)患者及健康对照者¹⁸F-FDG PET/CT 显像图(箭头示心房异常摄取)。A、B.持续性房颤患者,女,74岁,早期相(A)与延迟相(B)均可见左心房及右心房异常摄取;C.阵发性房颤患者,男,57岁,显像可见左心房及右心房异常摄取;D.对照组受试者,女,59岁,显像未见心房异常摄取

讨 论

本研究采用 SNMMI/ASNC/SCCT 指南^[5]推荐的方法抑制心肌的生理性摄取,并适当延长采集间隔,有利于观察心房的¹⁸F-FDG 摄取。同时还发现,房颤患者心房各结构的¹⁸F-FDG 摄取均增加。

心肌细胞可以利用多种底物提供能量,包括葡萄糖、脂肪酸、酮体等。各种代谢底物在心肌能量供应中所占的比例与饮食、胰岛素、心肌供氧情况等密切相关^[6]。在禁食情况下,正常心肌组织主要利用游离脂肪酸供能,但仍有 30%~40% 由葡萄糖供应,此为生理性摄取^[7]。因此,在常规禁食的情况下,仍会有相当一部分患者的左心室心肌组织有¹⁸F-FDG 摄取。左心室的过高摄取有可能影响对邻近心房结构¹⁸F-FDG 摄取的观察。为了抑制左心室心肌的生理性摄取、便于对病理性摄取的观察,近年来学者探索了多种策略^[8-11]。SNMMI/ASNC/SCCT 在此基础上制定了指南^[5]。本研究遵循指南建议,采用综合措施来抑制心肌的生理性摄取,包括低糖高脂饮食、长时间禁食及应用普通肝素。结果发现,84.8% (67/79) 的患者左心室心肌¹⁸F-FDG 摄取被充分抑制,与以往文献报道的结果相近^[12-14]。本研究

仅 1 例患者因左心室存在明显摄取而干扰了对左心耳的观察。因此,采用 SNMMI/ASNC/SCCT 指南^[5]推荐的方法,可以在绝大多数患者中实现对左心室生理性摄取的抑制,从而实现对与其毗邻的心房组织的¹⁸F-FDG 摄取观察。需要注意的是,很多房颤患者常规使用抗凝药,而肝素有致出血风险,本研究为了抑制心肌生理性摄取,均在注射¹⁸F-FDG 前注射了肝素,但未发生任何出血性事件或其他不良事件。因此,房颤患者使用一定剂量的肝素进行¹⁸F-FDG 显像准备是安全的。

另外,本研究发现,注射¹⁸F-FDG 后 60 min 显像,87.0% (60/69) 的房颤患者心房及心耳出现异常¹⁸F-FDG 摄取,与之前的临床研究一致^[1-2]。但有 8.7% (6/69) 的患者只在延迟相(120 min)显示心房异常摄取。推测原因可能是:早期相心房壁与血池摄取的差异较小,由于部分容积效应无法辨别。因此,延长注射-采集间隔更有利于心房异常摄取的显示。

本研究发现,对于房颤患者而言,双时相显像的延迟相较早期相可明显提高心房组织 TBR [左心房, 1.1 (1.0, 1.3) 与 1.1 (1.0, 1.2); 左心耳 1.2 (1.0, 1.5) 与 1.0 (0.9, 1.2); 右心房, 1.4 (1.1, 1.9) 与 1.3 (1.0, 1.5); z 值: $-6.81 \sim -3.42$, 均 $P < 0.05$]。心房壁较薄,且心房肌细胞与葡萄糖代谢相关的酶活性低于心室肌细胞^[15],因此在生理状态下心房组织¹⁸F-FDG 摄取低于心室肌,常规¹⁸F-FDG PET/CT 显像鲜见摄取。但是,对于房颤或其他心房疾病来说,可能由于心房局部缺血、炎性反应或压力负荷增高等原因,使其葡萄糖代谢活性增高^[16]。本研究发现,房颤组较对照组的心房摄取增加 [右心房: 1.3 (1.0, 1.5) 与 1.0 (0.9, 1.1)]; $U=169.00, P=0.009$],可能不同病理因素导致心房肌细胞或心肌间质内其他细胞葡萄糖摄取增加,进而出现异常¹⁸F-FDG 摄取。本研究仅为临床观察性研究,尚无法明确心房异常摄取的机制,需要进一步基础研究以明确。此外,对于房颤患者而言,由于心脏血流动力学的改变,心耳内易形成血栓,既往有研究报道心耳内血栓可出现¹⁸F-FDG 摄取^[17-18]。目前仅根据 PET/CT 图像鉴别心耳摄取与血栓摄取仍较困难,需结合超声心动图及增强 CT 综合判断,本研究中入组的房颤患者均接受了经食管超声和(或)CT 增强检查,未见明确的心房血栓形成。

本研究的不足之处:(1) 对照组未行双时相显像,在无心房疾病者中,无法判断其是否可提高心房组织 TBR。(2) 未行部分容积效应校正,可能对图

像判读及 SUV 的测量产生影响。

综上所述,本研究发现,房颤患者心房¹⁸F-FDG 摄取增加,采用 SNMMI/ASNC/SCCT 指南推荐的方法抑制左心室的生理性摄取并适当延长采集间隔,可以明显提高 TBR,有利于观察心房的¹⁸F-FDG 摄取。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 陈碧希、武姣彦、谢博洽:研究实施;陈碧希、谢博洽:统计分析、文章撰写;杨敏福:研究指导、论文修改、经费支持

参 考 文 献

- [1] Xie BQ, Chen BX, Wu JY, et al. Factors relevant to atrial ¹⁸F-fluorodeoxyglucose uptake in atrial fibrillation [J]. J Nucl Cardiol, 2020, 27(5): 1501-1512. DOI:10.1007/s12350-018-1387-4.
- [2] Sinigaglia M, Mahida B, Piekarski E, et al. FDG atrial uptake is associated with an increased prevalence of stroke in patients with atrial fibrillation [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 46(6): 1268-1275. DOI:10.1007/s00259-019-4274-6.
- [3] Ghannam M, Yun HJ, Ficaro EP, et al. Multiparametric assessment of left atrial remodeling using ¹⁸F-FDG PET/CT cardiac imaging: a pilot study [J]. J Nucl Cardiol, 2020, 27(5): 1547-1562. DOI:10.1007/s12350-018-1429-y.
- [4] Watanabe E, Miyagawa M, Uetani T, et al. Positron emission tomography/computed tomography detection of increased ¹⁸F-fluorodeoxyglucose uptake in the cardiac atria of patients with atrial fibrillation [J]. Int J Cardiol, 2019, 283: 171-177. DOI:10.1016/j.ijcard.2018.10.106.
- [5] Dorbala S, Di Carli MF, Delbeke D, et al. SNMMI/ASNC/SCCT guideline for cardiac SPECT/CT and PET/CT 1.0 [J]. J Nucl Med, 2013, 54(8): 1485-1507. DOI:10.2967/jnumed.112.105155.
- [6] Depre C, Vanoverschelde JL, Taegtmeyer H. Glucose for the heart [J]. Circulation, 1999, 99(4): 578-588. DOI:10.1161/01.cir.99.4.578.
- [7] Dilsizian V, Bacharach SL, Khin MM, et al. Fluorine-18-deoxyglucose SPECT and coincidence imaging for myocardial viability: clinical and technologic issues [J]. J Nucl Cardiol, 2001, 8(1): 75-88. DOI:10.1067/mnc.2001.111409.
- [8] Kobayashi Y, Kumita S, Fukushima Y, et al. Significant suppression of myocardial ¹⁸F-fluorodeoxyglucose uptake using 24-h carbohydrate restriction and a low-carbohydrate, high-fat diet [J]. J Cardiol, 2013, 62(5): 314-319. DOI:10.1016/j.jjcc.2013.05.004.
- [9] Gormsen LC, Christensen NL, Bendstrup E, et al. Complete somatostatin-induced insulin suppression combined with heparin loading does not significantly suppress myocardial ¹⁸F-FDG uptake in patients with suspected cardiac sarcoidosis [J]. J Nucl Cardiol, 2013, 20(6): 1108-1115. DOI:10.1007/s12350-013-9798-8.
- [10] Minamimoto R, Morooka M, Kubota K, et al. Value of FDG-PET/CT using unfractionated heparin for managing primary cardiac lymphoma and several key findings [J]. J Nucl Cardiol, 2011, 18(3): 516-520. DOI:10.1007/s12350-011-9358-z.
- [11] 王雅雯,孙晓昕. ¹⁸F-FDG 显像中抑制心肌生理性摄取的方法研究进展 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2017, 37(5): 305-307. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.05.013. Wang YW, Sun XX. Methods of suppressing physiological myocardial uptake in ¹⁸F-FDG imaging [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 37(5): 305-307. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.05.013.
- [12] Morooka M, Moroi M, Uno K, et al. Long fasting is effective in inhibiting physiological myocardial ¹⁸F-FDG uptake and for evaluating active lesions of cardiac sarcoidosis [J]. EJNMMI Res, 2014, 4(1): 1. DOI:10.1186/2191-219X-4-1.
- [13] Manabe O, Yoshinaga K, Ohira H, et al. The effects of 18-h fasting with low-carbohydrate diet preparation on suppressed physiological myocardial ¹⁸F-fluorodeoxyglucose (FDG) uptake and possible minimal effects of unfractionated heparin use in patients with suspected cardiac involvement sarcoidosis [J]. J Nucl Cardiol, 2016, 23(2): 244-252. DOI:10.1007/s12350-015-0226-0.
- [14] Scholtens AM, Verberne HJ, Budde RP, et al. Additional heparin preadministration improves cardiac glucose metabolism suppression over low-carbohydrate diet alone in ¹⁸F-FDG PET imaging [J]. J Nucl Med, 2016, 57(4): 568-573. DOI:10.2967/jnumed.115.166884.
- [15] Bass A, Stejskalová M, Ostádal B, et al. Differences between atrial and ventricular energy-supplying enzymes in five mammalian species [J]. Physiol Res, 1993, 42(1): 1-6.
- [16] Chung MK, Wass SY, Cerqueira M. Imaging and atrial fibrillation: a new paradigm for precision targeting of AF? [J]. J Nucl Cardiol, 2020, 27(5): 1513-1516. DOI:10.1007/s12350-018-01496-9.
- [17] Okura K, Maeno K, Hirazawa M, et al. Fluorodeoxyglucose accumulation in the left atrial appendage of a patient with paroxysmal atrial fibrillation [J]. J Cardiol Cases, 2012, 5(1): e32-e35. DOI:10.1016/j.jccase.2011.09.005.
- [18] 孙晓昕,何作祥,张晓丽,等. ¹⁸F-FDG PET/CT 在心脏占位性病变良恶性鉴别诊断中的应用 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2015, 35(2): 85-87. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.02.002. Sun XX, He ZX, Zhang XL, et al. Diagnostic value of ¹⁸F-FDG PET/CT in differentiating the cardiac benign from malignant lesions [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 35(2): 85-87. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.02.002.

(收稿日期:2020-10-11)