

# $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT“一站式”评价心外膜脂肪组织容积和活性的临床研究

常玉婷 苏瑶 袁晶晶 陈碧希 杨敏福

首都医科大学附属北京朝阳医院核医学科, 北京 100020

通信作者: 杨敏福, Email: minfuyang@126.com

**【摘要】** 目的 探讨自由呼吸 CT 评价心外膜脂肪组织(EAT)容积和形态的准确性,并基于其探索 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT“一站式”评价心房颤动(简称房颤)患者 EAT 容积和活性的特征。**方法** (1) 选取北京朝阳医院 2020 年 3 月至 2020 年 5 月间 20 例行常规 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 显像、无明显影响心脏及其周围肺部图像疾病患者[男 16 例、女 4 例,年龄 33~86(61.1±14.2)岁]的自由呼吸 CT 和吸气末屏气高分辨率 CT(HRCT)图像进行回顾性研究,通过 Spearman 秩相关分析、Bland-Altman 一致性分析和组内相关系数(ICC)评价两者测定 EAT 容积和形态的相关性和一致性,以及 2 名操作者测量的重复性;(2)前瞻性研究纳入 2017 年 8 月至 2018 年 8 月间北京朝阳医院采集的 20 例房颤患者[男 6 例、女 14 例,年龄 52~76(66.0±6.4)岁]和 10 名健康对照[男 3 名、女 7 名,年龄 59~69(66.0±3.6)岁]的 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 图像,通过 Mann-Whitney *U* 检验比较房颤患者和健康对照组 EAT 容积和 $^{18}\text{F}$ -FDG  $\text{SUV}_{\text{max}}$  的差异。EAT 容积测量通过 Mimics Research 21.0 软件自动+手动辅助完成,EAT 形态通过软件自动计算出的三维模型在基准坐标轴(*x*、*y*、*z*)上投影的最大长度表示;手动测量 EAT 的  $\text{SUV}_{\text{max}}$ 。**结果** 同一操作者 2 次测量 EAT 容积的结果(ICC = 0.999)及 2 名操作者分别测量的结果(ICC = 0.997)均具有良好的重复性。自由呼吸 CT 与吸气末屏气 HRCT 测得的 EAT 容积具有良好的相关性[96.6(79.9, 136.4)和 96.2(80.9, 135.8) ml;  $r_s = 0.929, P < 0.001$ ] 和一致性[19 例患者数据在 95% 一致性界限(95% LoA)内];两者 EAT 三维模型在基准坐标轴上的投影长度最大值具有良好的相关性和一致性(*x* 轴:  $r_s = 0.869, P < 0.001$ , 19 例患者数据在 95% LoA 内; *y* 轴:  $r_s = 0.854, P < 0.001$ , 18 例患者数据在 95% LoA 内; *z* 轴:  $r_s = 0.586, P = 0.007$ , 20 例患者数据全部在 95% LoA 内)。房颤组 EAT 容积高于健康对照组[137.2(113.9, 202.9)与 94.4(76.6, 134.4) ml;  $z = -2.11, P = 0.035$ ];房颤组 EAT 的  $\text{SUV}_{\text{max}}$  亦高于健康对照组[1.2(1.1, 1.5)与 1.1(1.0, 1.2);  $z = -2.14, P = 0.035$ ]。**结论** 自由呼吸 CT 与吸气末屏气 HRCT 对 EAT 容积和形态的测量具有良好的相关性、一致性和测量重复性。利用 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 可以“一站式”评价 EAT 容积和活性的异常。

**【关键词】** 脂肪组织;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.cn321828-20201020-00382

## Clinical study on the $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT "one-stop" evaluation of the volume and activity of epicardial adipose tissue

Chang Yuting, Su Yao, Yuan Jingjing, Chen Bixi, Yang Minfu

Department of Nuclear Medicine, Beijing Chaoyang Hospital, Capital Medical University, Beijing 100020, China

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

**【Abstract】 Objective** To investigate the accuracy of free-breathing CT in evaluating the volume and shape of epicardial adipose tissue (EAT), and further explore the characteristics of EAT volume and activity in patients with atrial fibrillation using  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT "one-stop" imaging. **Methods** (1) Retrospective analysis was performed on 20 patients (16 males, 4 females, age: 33–86 (61.1±14.2) years) who underwent  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT imaging and without obvious diseases affecting the images of the heart and surrounding lungs between March 2020 and May 2020 in Beijing Chaoyang Hospital. Free-breathing CT and breath-hold high resolution CT (HRCT) images were reviewed. Spearman rank correlation analysis, Bland-Altman consistency analysis and intraclass correlation coefficient (ICC) were used to evaluate the correlation and consistency of the EAT volume and shape, as well as the repeatability of the two operators' measurements. (2) Prospective analysis was conducted to compare the differences in EAT volume and  $^{18}\text{F}$ -FDG uptake values between 20 patients (6 males, 14 females, age: 52–76 (66.0±6.4) years) with atrial fibrillation

and 10 healthy controls (3 males, 7 females, age: 59–69 (66.0±3.6) years) collected between August 2017 and August 2018 in Beijing Chaoyang Hospital. Mann-Whitney *U* test was used to compare the differences in EAT volume and  $^{18}\text{F}$ -FDG  $\text{SUV}_{\text{max}}$  between patients with atrial fibrillation and healthy controls. EAT volume measurement was conducted by the combination of Mimics Research 21.0 software and manual analysis. The shape of EAT was automatically calculated by the same software to obtain the maximum length of the projection of the three-dimensional (3D) model on the reference axes ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ).  $\text{SUV}_{\text{max}}$  of EAT was manually measured. **Results** The measurements of EAT volume had good repeatability (intra-operator ICC = 0.999; inter-operator ICC = 0.997). There was a good correlation and a good consistency between EAT volumes measured by free-breathing CT and breath-hold HRCT (96.6 (79.9, 136.4) vs 96.2 (80.9, 135.8) ml;  $r_s = 0.929$ ,  $P < 0.001$ ); data of 19 cases were within 95% limits of agreement (95% LoA). The maximum projection length of EAT 3D model on the reference coordinate axis also showed good correlation and consistency ( $x$  axis:  $r_s = 0.869$ ,  $P < 0.001$ , data of 19 cases were within 95% LoA;  $y$  axis:  $r_s = 0.854$ ,  $P < 0.001$ , data of 18 cases were within 95% LoA;  $z$  axis:  $r_s = 0.586$ ,  $P = 0.007$ , data of 20 cases were within 95% LoA). EAT volume of atrial fibrillation group was higher than those of healthy control group (137.2 (113.9, 202.9) vs 94.4 (76.6, 134.4) ml;  $z = -2.11$ ,  $P = 0.035$ ) and  $\text{SUV}_{\text{max}}$  of EAT in the atrial fibrillation group was higher than that in healthy control group (1.2 (1.1, 1.5) vs 1.1 (1.0, 1.2);  $z = -2.14$ ,  $P = 0.035$ ). **Conclusions** Free-breathing CT and breath-hold HRCT have good correlation, consistency and repeatability in measurement of EAT volume and shape.  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT can be a "one-stop" imaging strategy for the evaluation of EAT volume and activity.

**【Key words】** Adipose tissue; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18

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

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20201020-00382

心外膜脂肪组织 (epicardial adipose tissue, EAT) 是心肌和心包之间的局部脂肪沉积。大量研究表明, EAT 容积和活性的变化在心房颤动 (简称房颤) 等心房疾病的发生、发展和复发中起着重要作用<sup>[1]</sup>。EAT 容积的变化可以通过吸气末屏气高分辨率 CT (high resolution CT, HRCT) 进行测量, CT 空间分辨率高, 对 EAT 容积测量准确且重复性好<sup>[2]</sup>。EAT 的活性目前尚缺乏公认的无创性检测方法。 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 已被广泛用于炎症疾病的检测, 少量探索性研究应用  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 评价了 EAT 的活性特征<sup>[3-4]</sup>。但是, PET/CT 中的 CT 为自由呼吸下采集, 关于其能否准确测量 EAT 容积的探讨鲜见报道。本研究通过对自由呼吸 CT 与吸气末屏气 HRCT 下 EAT 容积的差异性进行分析, 来评价自由呼吸 CT 测量 EAT 容积和形态的准确性、可重复性, 并对  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT “一站式” 评价 EAT 容积和活性的临床价值进行探索性研究。

## 资料与方法

1. 临床资料。本研究包括 2 个队列的患者。(1) 自由呼吸 CT 与吸气末屏气 HRCT 测定 EAT 容积和形态对比分析 (队列 1)。本研究为回顾性研究, 符合《赫尔辛基宣言》的原则。从本单位 2020 年 3 月至 2020 年 5 月全身 PET/CT 数据库中, 选取 20 例满足如下条件的患者的 CT 图像: PET/CT 显像后采集了同机胸部吸气末屏气 HRCT 且屏气效果良好; 无明显的影响心脏及周围肺部图像的疾病。20 例患者

中, 男 16 例、女 4 例, 年龄 33~86 (61.1±14.2) 岁。

(2) PET/CT “一站式” 测定 EAT 容积和活性的特征 (队列 2)。此部分患者选自本院开展的一项前瞻性临床研究, 纳入自 2017 年 8 月至 2018 年 8 月入院至心律失常病房治疗的房颤患者。该研究通过本院伦理委员会伦理审查 (编号 2018-科-337)。在该前瞻性研究中, 共 100 例房颤患者和 10 名健康志愿者 [男 3 名、女 7 名, 年龄 59~69 (66.0±3.6) 岁] 行心脏 PET/CT 检查。以健康志愿者作为对照组, 另外选取与健康对照组性别、年龄和体质指数匹配的房颤患者 20 例入选本研究 [男 6 例、女 14 例, 年龄 52~76 (66.0±6.4) 岁]。

房颤患者均有住院期间 24 h 心电监测或多次心电图记录证实诊断, 且除外以下情况: 不稳定的缺血性心脏病、急性冠状动脉综合征、既往发生过心肌梗死、瓣膜性心脏病、特发性心肌病、先天性心脏病、心力衰竭、既往行心脏外科手术或射频消融治疗、肺动脉高压、甲状腺功能亢进症、晚期肾病、患有传染性疾病或炎症性疾病、恶性肿瘤、临床状况不稳定、既往有出血性疾病或与出血相关的不良事件、行  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 显像发现恶性肿瘤或炎性病变。

健康对照组均满足以下条件: 无房颤病史、心电图检查无房颤、无心血管疾病史、无恶性肿瘤病史、 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 显像未发现恶性肿瘤或炎性病变。入组的房颤患者及健康志愿者均签署知情同意书。

2. 检查前准备。队列 1 患者按照常规  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 显像的饮食方案进行准备, 均空腹 6 h 以

上。为了抑制心肌生理性摄取,队列 2 患者及健康志愿者检查前采用指南推荐的方法行如下准备:(1)两餐低糖高脂饮食;(2)禁食>16 h;(3)注射 $^{18}\text{F}$ -FDG 前 15 min 静脉注射普通肝素(50 U/kg)<sup>[5]</sup>。检查当日晨停用抗凝药物。

3.显像方法。 $^{18}\text{F}$ -FDG 由北京原子高科股份有限公司提供,放化纯>95%,按受试者体质量静脉注射 37 MBq/kg,1 h 后采集图像。显像均在美国 GE Discovery STE PET/CT 仪上完成。采集时患者取仰卧位,双手抱住对侧肘关节并置于头顶。(1)队列 1 患者行全身 PET/CT 检查过程中,均在自由呼吸下采集全身 CT 图像(管电流 120 mA、管电压 120 kV、重建层厚 3.75 mm,采集范围为颅底至股骨上段)。常规 PET/CT 检查结束后,患者吸气末屏气采集胸部 HRCT 图像(管电流 205 mA、管电压 120 kV、重建层厚 1.25 mm,采集范围为肺尖至膈底)。

(2)队列 2 患者在自由呼吸下采集 CT 图像(管电流 120 mA、管电压 140 kV、重建层厚 3.75 mm)。结束后体位不变,采集 PET 图像,以心脏为中心采集 2 个床位,每床位采集 5 min,利用 CT 图像对 PET 图像进行衰减校正及融合定位。在 GE AW Volume-Share 2 上自动获取重建后融合 PET/CT 图像。

4. EAT 容积及形态测量。心脏定位于右肺动脉完全出现层面至心脏膈面心外膜完全消失层面,通过比利时 Materialise 公司开发的 Mimics Research 21.0 软件自动识别 CT 图像中 CT 值为-190 至-30 HU 的 EAT<sup>[6]</sup>,手动调整部分未能识别或识别不准确的心外膜,生成 EAT 三维模型并计算 EAT 容积(图 1)。上述测量由 2 名技师独立进行,其中 1 名技师对每例患者 EAT 容积进行 2 次测量,以 3 次测量结果均值作

为最终结果。以图像导入时软件标准三维坐标轴为基准,测量 EAT 三维模型在坐标轴( $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴)上投影的最大长度,以 3 次测量均值为最终结果。

5.  $^{18}\text{F}$ -FDG 摄取的测量。选取右冠状动脉起始部的脂肪组织代表 EAT<sup>[7]</sup>(图 2),在连续 3 个横截面上勾画出最大的脂肪组织 ROI,并分别记录每个层面 ROI 的  $\text{SUV}_{\max}$ ,选取 3 个层面中最大值作为最终测量结果,由 1 名医师对同一患者进行 2 次测量,以 2 次测量结果均值作为最终结果。

6.统计学处理。采用 MedCalc 软件进行 Bland-Altman 一致性分析,余统计学分析采用 IBM SPSS 26.0 软件进行。符合正态分布的定量资料以  $\bar{x}\pm s$  表示,不符合正态分布的定量资料以  $M(Q_1, Q_3)$  表示。对 2 名技师测量的 EAT 容积以及由同 1 名技师进行的 2 次 EAT 容积测量结果分别行重复性分析,采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评价测量重复性(ICC>0.80 为可靠性良好)。对自由呼吸 CT 与吸气末屏气 HRCT 图像测量的 EAT 容积和在坐标轴( $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴)上投影的最大长度行 Bland-Altman 一致性分析和 Spearman 秩相关分析。对房颤组患者和健康对照组的年龄、体质指数、EAT 容积、EAT 的  $\text{SUV}_{\max}$  差异分析行两独立样本  $t$  检验或 Mann-Whitney  $U$  检验,性别差异分析行 Fisher 确切概率法。 $P<0.05$  为差异或相关性有统计学意义。

## 结 果

1.自由呼吸 CT 与吸气末屏气 HRCT 测定 EAT 容积和形态的对比分析。两者图像测定的 EAT 三维模型见图 1(未做表面光滑及空洞填补等处理)。同一技师对 EAT 容积的 2 次测量结果 ICC 为 0.999,

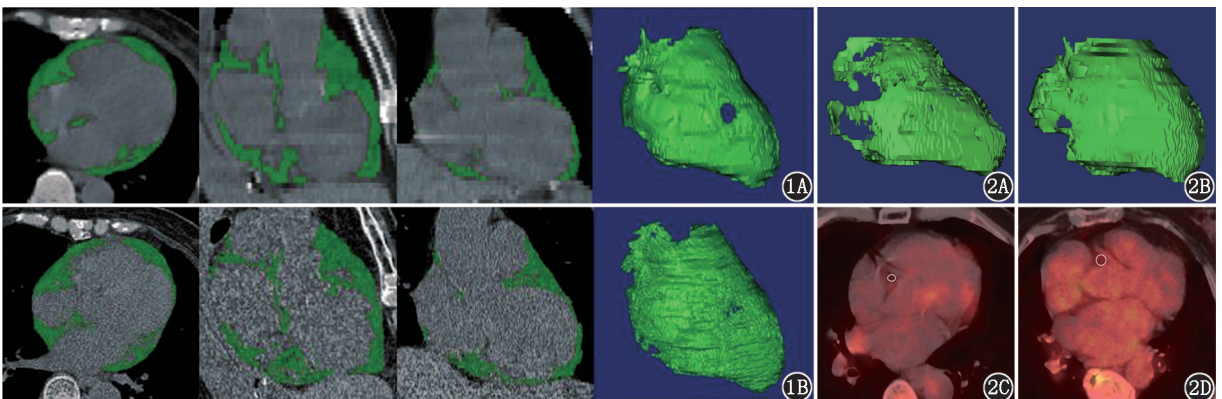


图 1 在 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 图像上进行心外膜范围勾画(横断面、矢状面、冠状面)及心外膜脂肪组织(EAT)三维模型示意图(男,67岁)。1A.自由呼吸 CT,EAT 容积为 143.7 ml;1B.吸气末屏气高分辨率 CT,EAT 容积为 148.1 ml 图 2 健康对照组(男,68岁)和心房颤动(简称房颤)组(男,76岁)EAT 三维模型及  $\text{SUV}_{\max}$  测量示意图。2A.健康对照组 EAT 三维模型 EAT 容积为 99.6 ml;2B.房颤组 EAT 三维模型 EAT 容积为 154.9 ml;2C.健康对照组 EAT 的  $\text{SUV}_{\max}$  为 1.1;2D.房颤组 EAT 的  $\text{SUV}_{\max}$  为 1.5

2 名技师分别测量的 EAT 容积结果 ICC 为 0.997。

自由呼吸 CT 图像测得的 EAT 容积为 96.6(79.9, 136.4) ml,  $x$  轴投影最大长度为 128.1(124.4, 143.6) mm,  $y$  轴为 115.5(107.0, 121.6) mm,  $z$  轴为 111.2(104.7, 114.5) mm。吸气末屏气 HRCT 测得的 EAT 容积为 96.2(80.9, 135.8) ml,  $x$  轴为 127.6(124.4, 139.7) mm,  $y$  轴为 116.5(112.4, 123.9) mm,  $z$  轴为 111.3(108.8, 117.2) mm。

自由呼吸 CT 与吸气末屏气 HRCT 测得的 EAT 容积相关系数为 0.929( $P < 0.001$ ); 两者  $x$  轴投影最大长度相关系数为 0.869( $P < 0.001$ ),  $y$  轴为 0.854( $P < 0.001$ ),  $z$  轴为 0.586( $P = 0.007$ )。

Bland-Altman 分析结果显示, 对于自由呼吸 CT 与吸气末屏气 HRCT 测得的 EAT 容积, 有 19 例患者数据在 95% 一致性界限 (95% limits of agreement, 95% LoA) 内, 差值均值为 1.4(95% CI: -17.1 ~ 19.9) ml; 对于  $x$  轴最大投影长度, 有 19 例数据在 95% LoA 内, 差值均值为 3.6(95% CI: -8.6 ~ 15.7) mm; 对于  $y$  轴最大投影长度, 有 18 例数据在 95% LoA 内, 差值均值为 -2.7(95% CI: -10.7 ~ 5.4) mm; 对于  $z$  轴最大投影长度, 全部 20 例数据均在 95% LoA 内, 差值均值为 1.0(95% CI: -12.9 ~ 10.8) mm。

2. PET/CT“一站式”测定 EAT 容积和活性的特征。20 例房颤患者与 10 名健康对照者的性别构成 ( $P = 1.000$ )、年龄 ( $t = -0.07$ ) 及体质指数 [24.7(22.8, 25.5) 与 24.1(22.1, 27.1) kg/m<sup>2</sup>;  $z = 0.19$ ] 差异均无统计学意义 (均  $P > 0.05$ )。入组者均完成显像, 未发生与饮食控制或肝素注射相关的并发症。房颤组 EAT 容积明显高于健康对照组 [137.2(113.9, 202.9) ml 与 94.4(76.6, 134.4) ml;  $z = -2.11$ ,  $P = 0.035$ ]; 房颤组 EAT 的 SUV<sub>max</sub> 明显高于健康对照组 [1.2(1.1, 1.5) 与 1.1(1.0, 1.2);  $z = -2.14$ ,  $P = 0.035$ ]。

## 讨 论

EAT 是由心外膜囊包裹的局部内脏脂肪组织, 具有旁分泌功能, 是附近的心脏结构的炎性反应发源地。大量研究表明, EAT 容积的增加对房颤、冠状动脉粥样硬化等诸多心血管疾病的发生发展有重要影响。EAT 已被认为是增加罹患心血管疾病的标志<sup>[8-9]</sup>。无创性测量 EAT 容积和活性有望为多种心脏疾病的诊疗提供重要信息。

脂肪组织被激活后可利用葡萄糖作为代谢底物, 因此, 可利用葡萄糖类似物<sup>18</sup>F-FDG 对脂肪组织进行 PET 显像。在<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 显像中, 脂肪组

织的活性通过 SUV 表示, SUV 越高, 脂肪组织活性越高<sup>[10]</sup>。EAT 容积可通过空间分辨率较高的 CT 图像进行测量, EAT 活性则可通过<sup>18</sup>F-FDG PET 显像进行无创性测量。

心脏 CT 采集时, 为避免呼吸运动和心脏自身跳动的影响, 通常采用高管电流的多层 CT 快速扫描, 扫描时受试者屏气。然而, PET/CT 中的 CT 扫描通常是在自由呼吸状态下进行, CT 图像质量较差, 其能否准确测量 EAT 容积尚不得而知。本研究分别计算了 20 例患者自由呼吸 CT 和吸气末屏气 HRCT 图像的 EAT 容积, 发现二者的测量结果具有良好的相关性、一致性和测量重复性。为了减少 EAT 容积测量的误差, 本研究还分别测量了 EAT 三维模型在 3 个方向上的投影最大长度, 以其代表 EAT 三维模型形态, 结果显示 3 个方向上的投影最大长度具有良好的相关性和一致性, 即 2 种方式测量出的 EAT 形态基本一致, 从而验证了 EAT 容积测量的可靠性与准确性。本研究结果提示, 自由呼吸状态下采集的 CT 图像可用于检测 EAT 容积。

房颤是最常见的心律失常性疾病, 可引起心力衰竭、脑卒中等严重并发症。既往研究表明, EAT 容积和活性的变化在房颤的发生和持续中起重要作用。近年来, 有研究发现房颤患者 EAT 容积大于健康人群的 EAT 容积。在校正年龄、性别及房颤发生的危险因素后, EAT 容积对房颤发生所产生的效应仍存在, 故 EAT 容积是房颤发生及其严重程度的独立危险因素<sup>[11-12]</sup>。本研究显示, 房颤组患者的 EAT 容积明显大于健康对照组 [137.2(113.9, 202.9) 与 94.4(76.6, 134.4) ml;  $z = -2.11$ ,  $P = 0.035$ ], 与既往临床研究一致。另有回顾性研究显示, 房颤患者左心房顶部、房室沟、左大动脉附近 EAT 的 SUV<sub>max</sub> 明显大于对照组<sup>[4]</sup>。本课题组前期研究显示, EAT 活性是心房代谢活性增加的独立预测因素<sup>[3]</sup>。本研究结果显示, 房颤组患者 EAT 的 SUV<sub>max</sub> 明显高于健康对照组 [1.2(1.1, 1.5) 与 1.1(1.0, 1.2);  $z = -2.14$ ,  $P = 0.035$ ], 与前期研究结果一致。

成人心脏表面的 80% 被 EAT 覆盖, 覆盖范围主要位于右心室, 而在心房游离壁及心耳周围仅有少量脂肪组织覆盖。当患者体质量增加时, 其体内脂肪含量增加, 相应的 EAT 容积也随之增加, 并侵犯周围的心肌组织<sup>[13]</sup>。既往有研究指出, 心室周围 EAT 容积是房颤发生的独立危险因素<sup>[14]</sup>。因为 EAT 以右心室为主要覆盖范围, 较其他部位的脂肪组织更便于识别, 因此本研究仅选取右冠状动脉起

始部进行 SUV<sub>max</sub> 测量,这与以往研究有所不同。

本研究的不足之处:(1)病例数较少,特别是健康对照组仅有 10 名,且体质指数差异较大,研究结论尚需更大规模研究加以验证;(2)EAT 容积测量耗费时间较长,且对部分不清晰的心外膜识别受测量者主观判断影响较大,因此尚需开发可自动勾画和测量 EAT 的方法;(3)仅测量了 EAT 总容积和 SUV<sub>max</sub>,还需要针对左心房 EAT 容积和 SUV<sub>max</sub> 行进一步研究。

综上,本研究探讨了基于常规 PET/CT 自由呼吸 CT 评价 EAT 容积的准确性,并发现房颤患者的 EAT 容积和活性均明显增加。因此,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 有望成为“一站式”评价 EAT 容积和活性的无创性技术。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 常玉婷、苏瑶:实施研究、论文撰写;袁晶晶、陈碧希:采集数据、分析数据;杨敏福:研究指导、论文修改、经费支持

### 参 考 文 献

- [1] Zhou M, Wang H, Chen J, et al. Epicardial adipose tissue and atrial fibrillation; possible mechanisms, potential therapies, and future directions [J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2020, 43(1): 133-145. DOI:10.1111/pace.13825.
- [2] Davidovich D, Gastaldelli A, Sicari R. Imaging cardiac fat[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2013, 14(7): 625-630. DOI:10.1093/ehjci/jet045.
- [3] Joseph P, Ishai A, MacNabb M, et al. Atrial fibrillation is associated with hematopoietic tissue activation and arterial inflammation [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2016, 32(1): 113-119. DOI:10.1007/s10554-015-0766-z.
- [4] Mazurek T, Kiliszek M, Kobylecka M, et al. Relation of proinflammatory activity of epicardial adipose tissue to the occurrence of atrial fibrillation[J]. *Am J Cardiol*, 2014, 113(9): 1505-1508. DOI: 10.1016/j.amjcard.2014.02.005.
- [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] Nappi C, Pongiglione A, Acampa W, et al. Relationship between epicardial adipose tissue and coronary vascular function in patients with suspected coronary artery disease and normal myocardial perfusion imaging[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(12): 1379-1387. DOI:10.1093/ehjci/jez182.
- [7] Oliveira AL, Azevedo DC, Bredella MA, et al. Visceral and subcutaneous adipose tissue FDG uptake by PET/CT in metabolically healthy obese subjects [J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2015, 23(2): 286-289. DOI:10.1002/oby.20957.
- [8] Goudis CA, Vasileiadis IE, Liu T. Epicardial adipose tissue and atrial fibrillation; pathophysiological mechanisms, clinical implications, and potential therapies[J]. *Curr Med Res Opin*, 2018, 34(11): 1933-1943. DOI:10.1080/03007995.2018.1462786.
- [9] Bertaso AG, Bertol D, Duncan BB, et al. Epicardial fat; definition, measurements and systematic review of main outcomes [J]. *Arq Bras Cardiol*, 2013, 101(1): e18-e28. DOI: 10.5935/abc.20130138.
- [10] Chen KY, Cypess AM, Laughlin MR, et al. Brown Adipose Reporting Criteria in Imaging Studies (BARCIST 1.0): recommendations for standardized FDG-PET/CT experiments in humans [J]. *Cell Metab*, 2016, 24(2): 210-222. DOI: 10.1016/j.cmet.2016.07.014.
- [11] Wong CX, Sun MT, Odutayo A, et al. Associations of epicardial, abdominal, and overall adiposity with atrial fibrillation [J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2016, 9(12): e004378. DOI:10.1161/CIRCEP.116.004378.
- [12] Mahabadi AA, Lehmann N, Kälsch H, et al. Association of epicardial adipose tissue and left atrial size on non-contrast CT with atrial fibrillation: the Heinz Nixdorf Recall Study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2014, 15(8): 863-869. DOI:10.1093/ehjci/jeu006.
- [13] Shin SY, Yong HS, Lim HE, et al. Total and interatrial epicardial adipose tissues are independently associated with left atrial remodeling in patients with atrial fibrillation [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2011, 22(6): 647-655. DOI:10.1111/j.1540-8167.2010.01993.x.
- [14] Yorgun H, Canpolat U, Aytemir K, et al. Association of epicardial and peri-atrial adiposity with the presence and severity of non-valvular atrial fibrillation [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2015, 31(3): 649-657. DOI:10.1007/s10554-014-0579-5.

(收稿日期:2020-10-20)