

## <sup>18</sup>F-FDG PET/CT在左心室辅助装置植入术后感染诊断中的临床应用进展

### Clinical application progress of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in the diagnosis of infection after left ventricular assist device implantation

Chen Yue, Li Jianming

引用本文:

陈越, 李剑明. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT在左心室辅助装置植入术后感染诊断中的临床应用进展[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2022, 46(12): 730-734. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202204021-00247

Chen Yue, Li Jianming. Clinical application progress of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in the diagnosis of infection after left ventricular assist device implantation[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2022, 46(12): 730-734. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202204021-00247

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202204021-00247>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### [<sup>18</sup>F-FDG PET/CT在脊柱感染诊治中的应用及与MRI的比较](#)

Application of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in the diagnosis and treatment of spinal infection and comparison with MRI  
国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(10): 659-662 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202012008-00101>

#### [<sup>18</sup>F-FDG PET/CT在胃癌中的临床应用进展](#)

Research progress in the clinical application of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in gastric cancer  
国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(12): 775-779 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201908004-00097>

#### [<sup>18</sup>F-FDG PET/CT与<sup>18</sup>F-FDG PET/MRI在卵巢癌临床应用中的进展](#)

Advances in clinical application of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT and <sup>18</sup>F-FDG PET/MRI in ovarian cancer  
国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(5): 441-446 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.05.010>

#### [<sup>18</sup>F-FDG PET/CT在乳腺癌术后随访中的价值](#)

Clinical value of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in follow-up of postoperative breast cancer  
国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(3): 159-165 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.03.001>

#### [<sup>18</sup>F-FDG PET/CT在不明原发灶肿瘤中的临床应用价值](#)

Clinical value of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in cancer of unknown primary  
国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(2): 94-97, 149 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.02.003>

#### [<sup>18</sup>F-FDG PET/CT在胃癌分期、复发检测及预后评估中的应用价值](#)

Progress in research on the use of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in the staging, recurrence detection, and prognosis evaluation of patients with gastric carcinoma  
国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(6): 541-546 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.06.012>

#### [<sup>18</sup>F-FDG PET/CT在脊柱感染诊治中的应用及与MRI的比较](#)

Application of  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT in the diagnosis and treatment of spinal infection and comparison with MRI  
国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(10): 659-662 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202012008-00101>

### $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT在胃癌中的临床应用进展

Research progress in the clinical application of  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT in gastric cancer

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(12): 775-779 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-201908004-00097>

### $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT与 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/MRI在卵巢癌临床应用中的进展

Advances in clinical application of  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT and  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/MRI in ovarian cancer

国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(5): 441-446 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.05.010>

### $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT在乳腺癌术后随访中的价值

Clinical value of  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT in follow-up of postoperative breast cancer

国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(3): 159-165 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.03.001>

### $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT在不明原发灶肿瘤中的临床应用价值

Clinical value of  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT in cancer of unknown primary

国际放射医学核医学杂志. 2017, 41(2): 94-97, 149 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.02.003>

### $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT在胃癌分期、复发检测及预后评估中的应用价值

Progress in research on the use of  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT in the staging, recurrence detection, and prognosis evaluation of patients with gastric carcinoma

国际放射医学核医学杂志. 2018, 42(6): 541-546 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2018.06.012>

## <sup>18</sup>F-FDG PET/CT 在左心室辅助装置植入术后感染诊断中的临床应用进展

陈越 李剑明

泰达国际心血管病医院核医学科, 天津 300457

通信作者: 李剑明, Email: [ichlijm@163.com](mailto:ichlijm@163.com)

**【摘要】** 左心室辅助装置(LVAD)植入术是治疗终末期心力衰竭患者重要且有效的手段, 感染是其最常见的并发症, 诊断延误或评估不足将导致生存预后降低等严重后果。近年来, <sup>18</sup>F-氟脱氧葡萄糖(FDG)PET/CT 在 LVAD 植入术后感染诊断的定性、定位、分型、程度评估、治疗指导和预后预测方面发挥着独特且重要的临床作用。笔者对<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 在 LVAD 植入术后感染中的临床应用进展进行综述。

**【关键词】** 病灶感染; 左心室辅助装置; 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

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202204021-00247](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202204021-00247)

### Clinical application progress of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in the diagnosis of infection after left ventricular assist device implantation

Chen Yue, Li Jianming

Department of Nuclear Medicine, TEDA International Cardiovascular Hospital, Tianjin 300457, China

Corresponding author: Li Jianming, Email: [ichlijm@163.com](mailto:ichlijm@163.com)

**【Abstract】** Left ventricular assist device (LVAD) implantation is an important and effective method for the treatment of patients with end-stage heart failure. Infection is the most common complication. Delayed diagnosis or inadequate evaluation will lead to reduced survival and other serious consequences. In recent years, <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose(FDG) PET/CT plays an unique and important clinical effect in the diagnosis, location, classification, degree evaluation, treatment guidance and prognosis prediction of infection after LVAD implantation. The paper reviews the progress of clinical application of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in infection after LVAD implantation.

**【Key words】** Focal infection; Left ventricular assist device; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202204021-00247](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202204021-00247)

心力衰竭(简称心衰)的发病率和病死率较高,严重影响患者的生活质量,且治疗费用昂贵。目前全球约有6400万心衰患者,发展中国家占比较高<sup>[1]</sup>。心脏移植是终末期心衰患者最有效的治疗手段,但供体紧缺且需求庞大的特点极大地限制了心脏移植的临床应用。左心室辅助装置(left ventricular assist device, LVAD)植入术缓解了这一紧迫的医疗状况。LVAD 研制之初是作为心衰患者心脏移植前的“桥梁”,但已有越来越多的患者,尤其是不适合做心脏移植的患者,选择将 LVAD 作为治疗心衰的终点治疗手段<sup>[2]</sup>。患者植入 LVAD 后 1~2 年的生存率与心脏移植相当,4 年

生存率稍低于心脏移植<sup>[3]</sup>。与其他人工植入物一样,患者植入 LVAD 也会导致诸多并发症,其中术后感染最常见,而术后感染的早期诊断、定性、定位和程度评估,对临床指导(抗生素治疗、外科清创、拆除泵或紧急心脏移植)和预后预测等具有十分重要的意义<sup>[4]</sup>。

PET/CT 是集解剖和功能显像于一身的融合显像技术,可在 CT 的清晰解剖背景上融合显示功能信息,其在肿瘤、心脏和脑疾病中的临床应用价值已得到公认,在感染诊断中的应用价值也越来越受到重视。2015 年欧洲心脏病学会指南<sup>[5]</sup>推荐将<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 应用于心脏植入性电子装

置相关感染、人工瓣膜感染和心内膜感染的评估。 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 显像在诊断 LVAD 植入术后的感染方面亦有着重要的临床价值。我们对 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 在 LVAD 植入术后感染中的临床应用进展进行综述。

## 1 LVAD 植入术后感染概述

患者体内植入 LVAD 后 1 年的术后感染总体发生率为 18.1%，其中泵相关感染总体发生率为 28%<sup>[3]</sup>，2~5 年的术后感染总体发生率分别可达 39%、48%、53% 和 57%<sup>[6]</sup>。Hannan 等<sup>[7]</sup>的研究结果显示，患者体内植入 LVAD 后 1 年未发生感染的总生存率为 74.8%，发生感染的总生存率为 59%。对使用 LVAD 作为“桥梁”而等待心脏移植的患者而言，心脏移植前发生 LVAD 植入术后感染对心脏移植后的生存率也有较大的负面影响<sup>[8]</sup>。

LVAD 植入术后感染包括：(1) LVAD 特异性感染，与 LVAD 植入直接相关，包括泵和(或)套管感染、泵袋感染和导线传动系统的浅层及深层感染；(2) LVAD 相关感染，包括感染性心内膜炎、血流感染、纵隔炎和胸骨切口感染，但在非 LVAD 植入患者中亦可见；(3) 非 LVAD 相关感染，与 LVAD 植入无直接关系，包括下呼吸道感染、胃肠炎、尿路感染等多种系统感染。非 LVAD 相关感染最常见，占 66%，主要发生在植入 LVAD 后的早期( $\leq 3$  个月)；其次是 LVAD 特异性感染，其中最常见的是导线传动系统感染(82.9%)<sup>[9]</sup>。导线传动系统感染往往是患者 LVAD 植入术后感染的起源，其经皮特性带来的感染隐患是持续存在的，潜在威胁着 LVAD 植入术的治疗获益。因此，导线传动系统感染也被称为 LVAD 植入术治疗中的“阿喀琉斯之踵”<sup>[2,10]</sup>。LVAD 植入术后感染最常见的病因是细菌，革兰氏阳性细菌约占 50%，其中以金黄色葡萄球菌和表皮葡萄球菌为多；革兰氏阴性细菌约占 32%，真菌则不太常见( $<10\%$ )<sup>[11]</sup>。导线传动系统出口部位或血液样本中获得的微生物学数据通常可以判断是否存在感染，但不能确定其精确的位置或范围。手术摘除后的 LVAD 表面微生物培养是诊断感染的“金标准”，但通常不易获得，因为不论是更换还是去除 LVAD 都会给患者带来极大的风险。

## 2 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 在 LVAD 植入术后感染中的应用

虽然超声心动图检查便捷、成本低，但是其过分依赖于操作者的个人经验，如泵体金属伪影等干扰因素会导致较差的显影声窗，且早中期感染很可能无明显形态学改变，这会造成较高比例的假阴性，因此超声心动图较少应用于 LVAD 植入术后感染的诊断，但通常可作为渗出液抽吸引流时的影像指导。CT 显像受伪影影响更大，虽然注射造影剂后的门控采集可在一定程度上改善此问题，但更高

的辐射剂量和碘造影剂会对患者的肾功能造成损伤。MRI 因有绝对禁忌而不能使用。PET/CT 的优势是在感染早期，即形态学损伤发生之前就能检测到炎症细胞聚集，其还可同时检查 LVAD 和其他部位，从而检测容易被忽略的远处感染部位，这对 LVAD 植入术后相关感染早期处理策略的制定和预后均有重要意义。

### 2.1 基本原理

$^{18}\text{F}$ -FDG 结构与葡萄糖相似，可由细胞膜上的葡萄糖转运蛋白(glucose transporter, GLUT)转运至细胞内，在己糖激酶作用下磷酸化，形成 6-磷酸- $^{18}\text{F}$ -FDG，但不能再进一步参与三羧酸循环而滞留于细胞内，因此葡萄糖代谢增高的组织细胞对 $^{18}\text{F}$ -FDG 的摄取也会增高。因此， $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 通常被应用于肿瘤和心肌代谢显像。对炎症过程而言，以活化的白细胞为主的炎症细胞，如中性粒细胞、单核或巨噬细胞家族的细胞和淋巴细胞等能高水平表达 GLUT，尤其是 GLUT1 和 GLUT3，其可提高己糖激酶活性，增加自身葡萄糖的摄取并以此为主要能量来源。因此，在感染所致的炎症病灶中会有 $^{18}\text{F}$ -FDG 摄取的异常增高， $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 也被应用于感染所致的炎症显像<sup>[12]</sup>。

### 2.2 图像的判读

LVAD 植入术后感染的炎症病灶在 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 中表现为 $^{18}\text{F}$ -FDG 异常高摄取，在图像上形成“热点”，判读时需要先鉴别组织生理性摄取与非感染性病灶。目前推荐显像前 1 d 高脂低碳化合物饮食，检查前禁食 12 h 以上，以调动心肌脂肪酸代谢、抑制糖代谢，从而减少心肌摄取 $^{18}\text{F}$ -FDG 对周边判读的干扰<sup>[13]</sup>。LVAD 植入本身会产生一定的反应性炎症，需要与感染性炎症相鉴别。因此，术后 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 显像时间十分关键，但目前尚无统一论。一般认为最快在植入术后 1 个月，反应性炎症就会完全消失，如有需要可行 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT<sup>[14]</sup>，但还是以术后 3 个月为最佳显像时间<sup>[15]</sup>。

在对 LVAD 植入术后感染的图像进行判读时应注意与装置相关的重点部位：(1) 导线传动系统出口处；(2) 导线传动系统皮下段；(3) 泵和(或)泵袋；(4) 泵流入口及周围；(5) 流出管道周围，即沿人工血管路径；(6) 胸骨切口及其周围；(7) 术区远端的其他区域。人体免疫组织和器官，如淋巴结、脾脏和骨髓的异常摄取，通常反映人体对感染的反应性免疫细胞活化和动员。目前尚无 LVAD 植入术后感染的 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 图像判读的统一标准。de Vaugelade 等<sup>[16]</sup>将心脏 LVAD 部位(套管、泵袋和泵)摄取分为 3 级：I 级，无摄取或仅在流入套管周围区域的环形区域摄取；II 级，局灶性 $^{18}\text{F}$ -FDG 摄取但不延伸到软组织；III 级，局灶性或节段性 $^{18}\text{F}$ -FDG 摄取延伸到软组织或纵隔系统。将外周导线传动系统摄取(近、中和远段)分为 3 级：

I级,无<sup>18</sup>F-FDG摄取;II级,局灶性或节段性<sup>18</sup>F-FDG摄取而不延伸到软组织;III级,局灶性或节段性<sup>18</sup>F-FDG摄取并延伸到软组织。I级为感染阴性,II、III级为感染阳性。不同于传统判读标准,考虑到LVAD植入术后短期内会产生非感染性的局部炎症反应,该研究将泵体周边呈环形、均匀一致的<sup>18</sup>F-FDG摄取也判定为感染阴性。有研究者采用4点评分法(0为无摄取;1为略高但低于肝摄取;2为中度摄取,但低于或等于肝摄取;3为高于肝摄取)进行视觉分析<sup>[17]</sup>。Kanapinn等<sup>[18]</sup>将导线传动系统感染在<sup>18</sup>F-FDG PET/CT上的表现分为3类:(1)浅表导线感染直到腹筋膜(筋膜上);(2)感染扩散超过腹筋膜(筋膜下);(3)皮下导线感染,沿着术后额外的腹部切口,而导线出口处无感染。

<sup>18</sup>F-FDG PET/CT亦能提供半定量分析指标,如SUV或SUV<sub>max</sub>。目前尚未有统一的SUV<sub>max</sub>临界值来对所有的感染病灶进行判读。有研究结果显示,在LVAD核心感染部位使用半定量分析的诊断效能较差<sup>[17-18]</sup>。Avramovic等<sup>[19]</sup>的研究结果显示,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT对可疑LVAD导线传动系统感染的视觉判读与半定量分析之间的诊断效能并无明显差异。但应注意,病灶若在衰减校正模式下和非衰减校正模式下均表现为<sup>18</sup>F-FDG摄取程度比本底明显升高,才会被判定为感染阳性,避免因衰减校正过度而造成的假阳性<sup>[16-17]</sup>。

### 2.3 诊断效能

目前关于LVAD植入术后感染的影像诊断尚无公认的“金标准”,然而越来越多的研究结果表明,相比于传统影像,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT对LVAD植入术后感染诊断的应用价值更高<sup>[18, 20-22]</sup>。有研究者认为<sup>18</sup>F-FDG PET/CT对LVAD植入术后感染诊断效能的灵敏度和特异度较高,但也有研究者得出了特异度较低的结论<sup>[16, 21, 23-24]</sup>。Tam等<sup>[25]</sup>的Meta分析中,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT诊断LVAD植入术后感染的灵敏度和特异度分别为92%(95%CI: 0.82~0.97)和83%(95%CI: 0.24~0.99)。ten Hove等<sup>[15]</sup>的Meta分析中,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT

诊断LVAD植入术后感染的灵敏度和特异度分别为95%(95%CI: 0.89~0.97)和91%(95%CI: 0.54~0.99);诊断泵和(或)泵袋感染的灵敏度和特异度分别为97%(95%CI: 0.69~1.00)和93%(95%CI: 0.64~0.99);诊断导线传动系统感染的灵敏度和特异度分别为96%(95%CI: 0.88~0.99)和99%(95%CI: 0.13~1.00)。目前,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT是最具前途的诊断和评估LVAD植入术后感染的成像技术。近年来关于<sup>18</sup>F-FDG PET/CT对LVAD植入术后感染诊断效能研究的主要文献见表1。

### 3 <sup>18</sup>F-FDG PET/CT对LVAD植入术后感染治疗决策的指导和预后评估的意义

作为一种功能显像技术,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT能对LVAD植入术后感染进行诊断、定性、定位、程度评估、预后预测和指导治疗,这可能比临床诊断或各种实验室检查结果更可靠<sup>[28]</sup>。<sup>18</sup>F-FDG PET/CT提示阴性(无或有较低的与LVAD植入术后感染相关的<sup>18</sup>F-FDG摄取),可在不去除装置的情况下进行保守的抗生素治疗;<sup>18</sup>F-FDG PET/CT提示阳性(<sup>18</sup>F-FDG摄取较高且广泛),一般表示感染严重,尤其是已处于持续抗生素治疗的患者,需要手术清创或紧急进行心脏移植等。Avramovic等<sup>[19]</sup>认为<sup>18</sup>F-FDG PET/CT揭示了LVAD植入术后感染的真实程度,对患者的后续治疗管理(单独抗生素治疗、手术清创和紧急心脏移植)具有极其重要的临床意义,且感染指标水平高的患者只有少数被证明有导线传动系统感染,因此,相较于单纯的感染标志物,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT诊断更具优势。此外,<sup>18</sup>F-FDG PET/CT的高灵敏度及宽扫描范围有助于发现无症状LVAD植入患者的潜在感染,并可进行多系统综合评价,如脾脏和骨髓的<sup>18</sup>F-FDG摄取增加,提示有网状内皮系统激活的败血症或败血症前期的情况。LVAD植入患者可根据<sup>18</sup>F-FDG PET/CT图像针对性地对治疗方案上调或下调以获得良好预后。对准备接

表1 <sup>18</sup>F-FDG PET/CT对左心室辅助装置植入术后感染的诊断效能

Table 1 Diagnostic efficacy of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in infection after implantation of left ventricular assist device

作者	发表年份	例数	图像判断方法	灵敏度(%)	特异度(%)	诊断标准
Akin等 <sup>[14]</sup>	2018	9	视觉判断	100	100	a
de Vaugelade等 <sup>[16]</sup>	2019	22	视觉判断、SUV <sub>max</sub>	95.2、90	66.7、66.7	a、b、c
Kanapinn等 <sup>[18]</sup>	2019	30	SUV <sub>max</sub>	100	100	a、b
Avramovic等 <sup>[19]</sup>	2017	48	视觉判断、SUV <sub>max</sub> 、代谢容积	87.5、87.5、96	79、87.5、87.5	a、b
Kim等 <sup>[20]</sup>	2019	35	视觉判断	100	100	a、b
Bernhardt等 <sup>[21]</sup>	2017	21	视觉判断	87.5	100	a
Dell'Aquila等 <sup>[22]</sup>	2018	47	视觉判断	90	71.4	a、b
Dell'Aquila等 <sup>[24]</sup>	2016	31	视觉判断	100	80	a、b
Friedman等 <sup>[26]</sup>	2020	25	视觉判断	100	100	a、b
Sommerlath等 <sup>[27]</sup>	2019	57	视觉判断、SUV <sub>peak</sub> (传动系统)	100、87	25、59	a

注:FDG为氟脱氧葡萄糖;PET为正电子发射断层显像术;CT为计算机断层摄影术;a表示微生物学,包括细菌培养、拭子检测、渗液培养及设备表面微生物培养等;b表示临床证据,包括疼痛、反复发热、C反应蛋白水平升高、白细胞水平升高及随访结果等;c表示其他影像,包括CT、超声等

受心脏移植的患者而言,  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 能协助判断是否需要紧急进行心脏移植或围手术期抗生素强化治疗, 包括术中及术后采用针对性改良或巩固治疗方案, 如持续抗生素治疗、引流管持续纵隔冲洗等, 以使患者在心脏移植手术及术后获得良好的效果<sup>[14,21]</sup>。

此外, 由于 LVAD 植入术后感染通常开始于浅表导线出口部位, 早期评估和治疗有利于控制感染的发展。Kim 等<sup>[20]</sup> 研究发现, 以  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 区分的不同类型的感染患者(中心感染组、外周感染组和非感染组)的生存分布差异有统计学意义, 其中以中心感染组最差, 其次为外周感染组。 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 显像能区分 LVAD 植入术后感染与非感染患者, 并进一步将感染部位定位为外周部位 [ 经皮出口部位和(或)传动线 ] 和中心部位 [ 插管外部和(或)泵袋 ], 对 LVAD 植入术后感染的早期发现具有重要的临床、治疗指导和预后意义。

#### 4 其他应用

目前, LVAD 植入术绝大多数还是正中开胸术式, 因此胸骨切口感染的早期识别和治疗非常重要。PET/CT 可精确定位感染部位, 鉴别浅层 [ 涉及皮肤、皮下组织和(或)胸肌筋膜 ] 和深层 [ 胸骨和(或)纵隔炎 ] 感染。既往有研究结果显示, PET/CT 对胸骨切口感染引起的肋软骨炎的识别和定位具有极高的灵敏度和特异度<sup>[29-30]</sup>。PET/CT 对胸骨切口深层感染的诊断会明显影响治疗方案, 既能使感染较轻患者避免过度的二次手术治疗, 也能为感染较重患者明确感染深度、部位和范围, 指导手术清创, 大大缩短手术和住院时间, 减少复发率, 提高生存率<sup>[31]</sup>。

#### 5 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 对 LVAD 植入术后感染诊断的局限性

$^{18}\text{F}$ -FDG 作为炎症显像剂的特异度不高, 这是由其宽泛的生物学特性决定的, 目前多种针对病原体的高特异度显像剂正在研发中, 但并未进入临床。LVAD 设备精密的部件和材质特点导致的  $^{18}\text{F}$ -FDG 示踪信号复杂的衰减模式是  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 读图和定量的关键受限因素。因此, 对图像准确的判读依赖于诊断医师经验的积累以及后处理软件更科学的数学运算模式的升级。另外,  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 普及度低、价格昂贵也限制了其应用。

#### 6 小结与展望

综上所述,  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 作为一种功能显像技术, 相较于传统影像技术在感染诊断和评估方面具有较大的诊断增益价值, 其在 LVAD 植入术后感染诊断的定性、定位、程度评估和预后预测等方面起到了不可替代的作用, 尤其是诊断结果对 LVAD 植入术后感染治疗决策的指导和患者预后评估具有十分重要的意义。因此,  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 将

来可能会成为 LVAD 植入术后感染诊断和评估中的重要环节。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 陈越负责文献的收集与整理、综述的撰写; 李剑明负责综述命题的提出、设计与最终版本的修订

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] Bragazzi NL, Zhong W, Shu JX, et al. Burden of heart failure and underlying causes in 195 countries and territories from 1990 to 2017[J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2021, 28(15): 1682–1690. DOI: 10.1093/eurjpc/zwaa147.
- [ 2 ] Qu Y, Peleg AY, McGiffin D. Ventricular assist device-specific infections[J/OL]. *J Clin Med*, 2021, 10(3): 453[2022-04-19]. <https://www.mdpi.com/2077-0383/10/3/453>. DOI: 10.3390/jcm10030453.
- [ 3 ] Goldstein DJ, Meyns B, Xie RB, et al. Third annual report from the ISHLT mechanically assisted circulatory support registry: a comparison of centrifugal and axial continuous-flow left ventricular assist devices[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2019, 38(4): 352–363. DOI: 10.1016/j.healun.2019.02.004.
- [ 4 ] Teoh TK, Hannan MM. Ventricular assist device-associated infection[J]. *Infect Dis Clin North Am*, 2018, 32(4): 827–841. DOI: 10.1016/j.idc.2018.07.001.
- [ 5 ] Habib G, Lancellotti P, Antunes MJ, et al. 2015 ESC guidelines for the management of infective endocarditis: the task force for the management of infective endocarditis of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS), the European Association of Nuclear Medicine (EANM)[J]. *Eur Heart J*, 2015, 36(44): 3075–3128. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv319.
- [ 6 ] Kormos RL, Cowger J, Pagani FD, et al. The society of thoracic surgeons intermacs database annual report: evolving indications, outcomes, and scientific partnerships[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2019, 38(2): 114–126. DOI: 10.1016/j.healun.2018.11.013.
- [ 7 ] Hannan MM, Xie RB, Cowger J, et al. Epidemiology of infection in mechanical circulatory support: a global analysis from the ISHLT mechanically assisted circulatory support registry[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2019, 38(4): 364–373. DOI: 10.1016/j.healun.2019.01.007.
- [ 8 ] Chahal D, Sepehry AA, Nazzari H, et al. The impact of left ventricular assist device infections on postcardiac transplant outcomes: a systematic review and meta-analysis[J]. *ASAIO J*, 2019, 65(8): 827–836. DOI: 10.1097/MAT.0000000000000921.
- [ 9 ] Aburjania N, Hay CM, Sohail MR. Continuous-flow left ventricular assist device systems infections: current outcomes and management strategies[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2021, 10(2): 233–239. DOI: 10.21037/acs-2020-cfmcs-26.
- [ 10 ] Zierer A, Melby SJ, Voeller RK, et al. Late-onset driveline infections: the Achilles' heel of prolonged left ventricular assist device support[J]. *Ann Thorac Surg*, 2007, 84(2): 515–520. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2007.03.085.
- [ 11 ] Tattevin P, Flécher E, Auffret V, et al. Risk factors and prognostic impact of left ventricular assist device-associated infections[J]. *Am Heart J*, 2019, 214: 69–76. DOI: 10.1016/j.ahj.2019.04.021.

- [12] Martineau P, Grégoire J, Harel F, et al. Assessing cardiovascular infection and inflammation with FDG-PET[J/OL]. *Am J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 11(1): 46–58[2022-04-19]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33688455>.
- [13] Legallois D, Manrique A. Diagnosis of infection in patients with left ventricular assist device: PET or SPECT?[J]. *J Nucl Cardiol*, 2019, 26(1): 56–58. DOI: 10.1007/s12350-018-1324-6.
- [14] Akin S, Muslem R, Constantinescu AA, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in the diagnosis and management of continuous flow left ventricular assist device infections: a case series and review of the literature[J]. *ASAIO J*, 2018, 64(2): e11–e19. DOI: 10.1097/MAT.0000000000000552.
- [15] ten Hove D, Treglia G, Slart RHJA, et al. The value of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT for the diagnosis of device-related infections in patients with a left ventricular assist device: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(1): 241–253. DOI: 10.1007/s00259-020-04930-8.
- [16] de Vaugelade C, Mesguich C, Nubret K, et al. Infections in patients using ventricular-assist devices: comparison of the diagnostic performance of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT scan and leucocyte-labeled scintigraphy[J]. *J Nucl Cardiol*, 2019, 26(1): 42–55. DOI: 10.1007/s12350-018-1323-7.
- [17] Dell'Aquila AM, Sindermann JR. <sup>18</sup>F-FDG positron emission tomography/computed tomography for diagnosis of pump housing infections in patients on left ventricular assist devices: should we contain our initial enthusiasm?[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 53(4): 892–896. DOI: 10.1093/ejcts/ezx445.
- [18] Kanapinn P, Burchert W, Körperich H, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT imaging of left ventricular assist device infection: a retrospective quantitative inpatient analysis[J]. *J Nucl Cardiol*, 2019, 26(4): 1212–1221. DOI: 10.1007/s12350-017-1161-z.
- [19] Avramovic N, Dell'Aquila AM, Weckesser M, et al. Metabolic volume performs better than SUV<sub>max</sub> in the detection of left ventricular assist device driveline infection[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 44(11): 1870–1877. DOI: 10.1007/s00259-017-3732-2.
- [20] Kim J, Feller ED, Chen W, et al. FDG PET/CT for early detection and localization of left ventricular assist device infection: impact on patient management and outcome[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(4): 722–729. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.01.024.
- [21] Bernhardt AM, Pamirsad MA, Brand C, et al. The value of fluorine-18 deoxyglucose positron emission tomography scans in patients with ventricular assist device specific infections[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 51(6): 1072–1077. DOI: 10.1093/ejcts/ezx016.
- [22] Dell'Aquila AM, Avramovic N, Mastrobuoni S, et al. Fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography for improving diagnosis of infection in patients on CF-LVAD: longing for more 'insights'[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2018, 19(5): 532–543. DOI: 10.1093/ehjci/jex158.
- [23] Juneau D, Golfam M, Hazra S, et al. Positron emission tomography and single-photon emission computed tomography imaging in the diagnosis of cardiac implantable electronic device infection: a systematic review and meta-analysis[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(4): e005772. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.116.005772.
- [24] Dell'Aquila AM, Mastrobuoni S, Alles S, et al. Contributory role of fluorine 18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography in the diagnosis and clinical management of infections in patients supported with a continuous-flow left ventricular assist device[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 101(1): 87–94. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2015.06.066.
- [25] Tam MC, Patel VN, Weinberg RL, et al. Diagnostic accuracy of FDG PET/CT in suspected LVAD infections: a case series, systematic review, and meta-analysis[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(5): 1191–1202. DOI: 10.1016/j.jcmg.2019.04.024.
- [26] Friedman SN, Mahmood M, Geske JR, et al. Positron emission tomography objective parameters for assessment of left ventricular assist device infection using <sup>18</sup>F-FDG PET/CT[J/OL]. *Am J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 10(6): 301–311[2022-04-19]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33329932>.
- [27] Sommerlath Sohns JM, Kröhn H, Schöde A, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in left-ventricular assist device infection: initial results supporting the usefulness of image-guided therapy[J]. *J Nucl Med*, 2020, 61(7): 971–976. DOI: 10.2967/jnumed.119.237628.
- [28] Chen W, Dilsizian V. Diagnosis and image-guided therapy of cardiac left ventricular assist device infections[J]. *Semin Nucl Med*, 2021, 51(4): 357–363. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2020.11.002.
- [29] Filsoufi F, Castillo JG, Rahmanian PB, et al. Epidemiology of deep sternal wound infection in cardiac surgery[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2009, 23(4): 488–494. DOI: 10.1053/j.jvca.2009.02.007.
- [30] Zhang RF, Feng ZH, Zhang Y, et al. Diagnostic value of fluorine-18 deoxyglucose positron emission tomography/computed tomography in deep sternal wound infection[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2018, 71(12): 1768–1776. DOI: 10.1016/j.bjps.2018.07.017.
- [31] Liu SW, Zhang J, Yin HY, et al. The value of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in diagnosing and localising deep sternal wound infection to guide surgical debridement[J]. *Int Wound J*, 2020, 17(4): 1019–1027. DOI: 10.1111/iwj.13368.