

◁肌肉骨骼影像学▷

¹⁸F-FDG PET/CT 显像对下肢长骨骨折相关性感染的诊断价值

韩洁,冯瑾,张连娜,杨芳

(首都医科大学附属北京积水潭医院核医学科,北京 100035)

[摘要] 目的:总结下肢长骨骨折相关性感染(Fracture related infection,FRI)的¹⁸F-FDG PET/CT 征象,提高对本病的认识。方法:回顾性分析 2019 年 5 月—2022 年 10 月本院 42 例确诊为下肢长骨 FRI 患者的¹⁸F-FDG PET/CT 图像,分析归纳该疾病¹⁸F-FDG PET/CT 征象及代谢参数的特点。结果:42 例下肢长骨 FRI 患者中股骨骨折 18 例,胫腓骨骨折 24 例;骨折端¹⁸F-FDG 代谢均增高,骨折端附近骨质周围代谢增高 34 例、长骨周围代谢增高 10 例,骨折端附近髓腔代谢增高 16 例、长骨髓腔代谢增高 11 例,内固定周围代谢增高 20 例,钉道代谢增高 12 例,窦道形成 11 例,脓肿形成 3 例,SUVmax 为 7.34±2.94,SUVmax/肌肉 SUVmax 为 5.99±2.79,SUVmax/对侧 SUVmax 为 3.72±1.91。根据细菌毒力高低分为两组,代谢参数组间比较无统计学差异。结论:¹⁸F-FDG PET/CT 可显示下肢长骨 FRI 的部位及范围,且不受金属固定物的影响,感染区域表现为单发或多发高代谢灶,程度明显高于肌肉及对侧,窦道、脓肿具有一定的特征性影像学表现。

[关键词] 骨折;下肢骨;感染;正电子发射断层显像计算机体层摄影术;氟脱氧葡萄糖 F18

[中图分类号] R683.42;R817.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1008-1062(2025)03-0209-04

DOI:10.12117/jccmi.2025.03.012

Diagnostic value of ¹⁸F-FDG PET/CT in fracture related infection of lower extremities

HAN Jie, FENG Jin, ZHANG Lian-na, YANG Fang

(Department of Nuclear Medicine, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100035, China)

Abstract: Objective: To investigate the ¹⁸F-FDG PET/CT features of fracture related infection (FRI) in lower extremities and to increase awareness of the disease. **Methods:** Retrospective analysis of ¹⁸F-FDG PET/CT images of 42 patients who had been confirmed as FRI of lower extremities in Beijing Jishuitan Hospital from May 2019 to October 2022, the ¹⁸F-FDG PET/CT metabolic features were analyzed. **Results:** Eighteen cases were femoral fractures and 24 cases were tibiofibular fractures. In all 42 cases, ¹⁸F-FDG uptake was increased at the fracture site. Thirty-four cases were shown around the fracture site and 10 cases were shown around the long bone. Sixteen cases were shown at the medullary cavity near the fracture site and 11 cases were shown at the long bone marrow cavity. Twenty cases were shown around internal fixation and 12 cases were shown at the nail path. Sinus was found in 11 cases and abscess was found in 3 cases. The mean maximum standardized uptake value (SUVmax) was 7.34±2.94. The mean SUVmax ratios of infected area to inactive muscle and the normal side were 5.99±2.79 and 3.72±1.91, respectively. All cases were divided into two groups according to the bacterial virulence and there was no significant difference in these three measurements between groups. **Conclusion:** ¹⁸F-FDG PET/CT can show the location and extent of infection in FRI of lower extremities and it is not affected by metal fixator. ¹⁸F-FDG uptake is increased at infected area which could be single or multiple and it is obviously higher than inactive muscles and contralateral side. Sinus and abscess have characteristic features.

Key words: Fractures; Bones of Lower Extremity; Infections; Positron Emission Tomography Computed Tomography; Fluorodeoxyglucose F18

骨折相关性感染(Fracture related infection,FRI)是创伤骨科一种常见且严重的并发症,其发生率逐年增高^[1],治疗成功的前提是明确诊断^[2],若因诊断不明而忽视治疗,极易感染迁延不愈、复发,甚至致残、死亡,给患者、家庭和社会带来沉重的负担。诸多研究表明¹⁸F-FDG PET/CT 显像诊断 FRI 具有很高的灵敏度、特异性及阴性预测值^[3-11],并且在感染灶的检出和定位、骨折愈合及内固定的评估以及手术

计划的制定中有重要作用,但其影像学诊断标准尚未明确。本研究回顾性分析了本院 42 例下肢长骨 FRI 患者¹⁸F-FDG PET/CT 显像的影像学表现及代谢参数,试图归纳总结其影像学特点及代谢参数的规律,以提高医师对该病的认识及诊断准确性。

1 资料与方法**1.1 研究对象**

[收稿日期] 2024-05-03;[修回日期] 2024-07-01

[作者简介] 韩洁(1990-),女,河北衡水人,主治医师。E-mail:hjaine1505@sina.com

[通信作者] 杨芳,首都医科大学附属北京积水潭医院核医学科,100035。E-mail:yf_hyx@126.com

[基金项目] 吴阶平医学基金(320.6750.2022-2-42)。

回顾性分析 2019 年 5 月—2022 年 10 月本院 42 例确诊为下肢长骨 FRI 患者的临床资料及 ^{18}F -FDG PET/CT 显像资料,所有患者术中细菌培养均为阳性。

1.2 仪器与方法

患者禁食 6 h 以上,空腹血糖低于 11.1 mmol/L。按照 0.11~0.13 mCi/kg 的剂量经上肢静脉注射 ^{18}F -FDG(原子高科股份有限公司,放化纯>95%),嘱患者注射显像剂后饮水 500 mL。40~60 min 后,采用 GE Discovery 710 64 排 PET/CT 进行扫描。CT 参数:管电压 120 kV,有效管电流 160 mAs,矩阵 512×512,螺距 0.984,重建层厚 3.75 mm,层间距 3.27 mm。PET 参数:2 min/床位,VPFX 方法重建,子集 32 个,迭代 2 次,高斯滤波,半峰宽 5.2,矩阵 192×192。扫描范围:包全骨折部位相邻的 2 个大关节,如髋、膝、踝。

1.3 图像分析

由 2 名核医学医师独立阅片 PET/CT 图像,意见不一致时,经协商达成一致。于 PET/CT 融合图像上测量病灶最大标准化摄取值(Maximum standardized uptake value, SUV_{max})、邻近非应力性肌肉 SUV_{max}、对侧相应部位 SUV_{max},计算 SUV_{max}/肌肉 SUV_{max}、SUV_{max}/对侧 SUV_{max}。

1.4 统计学方法

应用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析,符合正态分布的数据采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,不符合正态分布的采用中位数(四分位距)表示。根据细菌毒力高低分为两组,代谢参数符合正态分布的组间比较采用 *t* 检验, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

42 例患者中男 33 例,女 9 例,年龄 24~86 岁,平均(45.14±15.45)岁,体质指数(BMI)为 18.31~35.08。实验室检查:白细胞计数(WBC)为(4.26~12.15)×10⁹ L⁻¹,中性粒细胞相对值 49.2%~81.1%,C 反应蛋白(CRP)为 0.5~95.3 mg/L,红细胞沉降率(ESR)为 2~86 mm。高危因素:开放性骨折 19 例,吸烟 7 例,酗酒 4 例,糖尿病 3 例,高龄 2 例,贫血 5 例,肥胖 16 例,高血压 8 例,心脑血管疾病 3 例,恶性肿瘤 1 例。

42 例患者中股骨骨折 18 例(近端 4 例、骨干 11 例、远端 3 例),胫腓骨骨折 24 例(近端 6 例、骨干 16 例、远端 2 例);其中,内固定 25 例(钢板 17 例、螺钉 3 例、髓内针 4 例、钢针 4 例),外固定 8 例,无固定物 9 例。

PET/CT 显像与骨折发生的时间间隔为 285.5 d(493.5 d)。全部患者在 PET/CT 显像后均进行手术治

疗,手术与 PET/CT 显像的时间间隔为 9.5 d(16.75 d),术中细菌培养结果均为阳性,其中革兰阳性菌 30 例,革兰阴性菌 12 例。单一细菌感染 32 例(金黄色葡萄球菌 5 例,表皮葡萄球菌 8 例,人葡萄球菌 3 例,头状葡萄球菌、肺炎克雷伯菌、铜绿假单胞菌、粘质沙雷菌各 2 例,科氏葡萄球菌、粪肠球菌、阴沟肠杆菌、鲍曼不动杆菌、纹带棒杆菌、枯草芽孢杆菌、产气克雷伯菌、奥斯陆摩拉菌各 1 例),两种细菌感染 9 例(表皮葡萄球菌、头状葡萄球菌 2 例,表皮葡萄球菌、粪肠球菌 1 例,表皮葡萄球菌、乳微杆菌 1 例,表皮葡萄球菌、科氏葡萄球菌科氏亚种 1 例,粪肠球菌、纹带棒杆菌 1 例,解糖葡萄球菌、藤黄微球菌 1 例,肺炎克雷伯菌、嗜麦芽窄食单胞菌 1 例,大肠埃希菌、杨氏柠檬酸杆菌 1 例),3 种细菌感染 1 例(表皮葡萄球菌、人葡萄球菌、头状葡萄球菌 1 例)(图 1,2)。

CT 表现:42 例病例中,骨不连 38 例,骨折端硬化、骨质密度增高 33 例,骨痂少量或无 32 例、骨痂不规则 9 例,死骨形成 7 例,非骨折部位骨膜反应 8 例,髓腔狭窄 5 例,固定物松动 5 例,骨溶解 1 例,骨外露 2 例,邻近软组织肿胀、层次不清 18 例,软组织显示不清 5 例,软组织内气体 1 例,无明显软组织改变 4 例,关节软组织增厚 3 例,关节积液 0 例。

^{18}F -FDG 代谢特点:42 例骨折端代谢均增高,骨折端附近骨质周围代谢增高 34 例、长骨周围代谢增高 10 例,骨折端附近髓腔代谢增高 16 例、长骨髓腔代谢增高 11 例,内固定周围代谢增高 20 例,钉道代谢增高 12 例,窦道形成 11 例,脓肿形成 3 例,邻近关节代谢增高 14 例,SUV_{max} 为 7.34±2.94,SUV_{max}/肌肉 SUV_{max} 为 5.99±2.79,SUV_{max}/对侧 SUV_{max} 为 3.72±1.91。细菌毒力高低的两组组间比较,SUV_{max} 的 *t* 值为 1.411, $P=0.166$;SUV_{max}/肌肉 SUV_{max} 的 *t* 值为 0.443, $P=0.660$;SUV_{max}/对侧 SUV_{max} 的 *t* 值为 1.736, $P=0.09$ 。

3 讨论

FRI 国际及国内的专家共识将诊断标准分为两类——确定性诊断标准和提示性诊断标准^[3-5],影像学方法作为提示性诊断标准纳入。共识中提到具备以下任何一个影像学特点,则提示性诊断成立:骨溶解(骨折端,内植物周围);内固定松动;死骨形成(逐渐形成的);骨愈合进程受阻(骨不连);骨膜反应(出现在非骨折部位或已愈合的骨折部位)^[3-5]。该诊断标准主要是针对 X 线及 CT 检查,且需要和患者既往的影像学检查进行比对,而本研究中大多数病例距创伤骨折发生的时间较长,已明确诊断骨不连由外院转诊而来,具体手术方式不详,缺乏之前的影像学

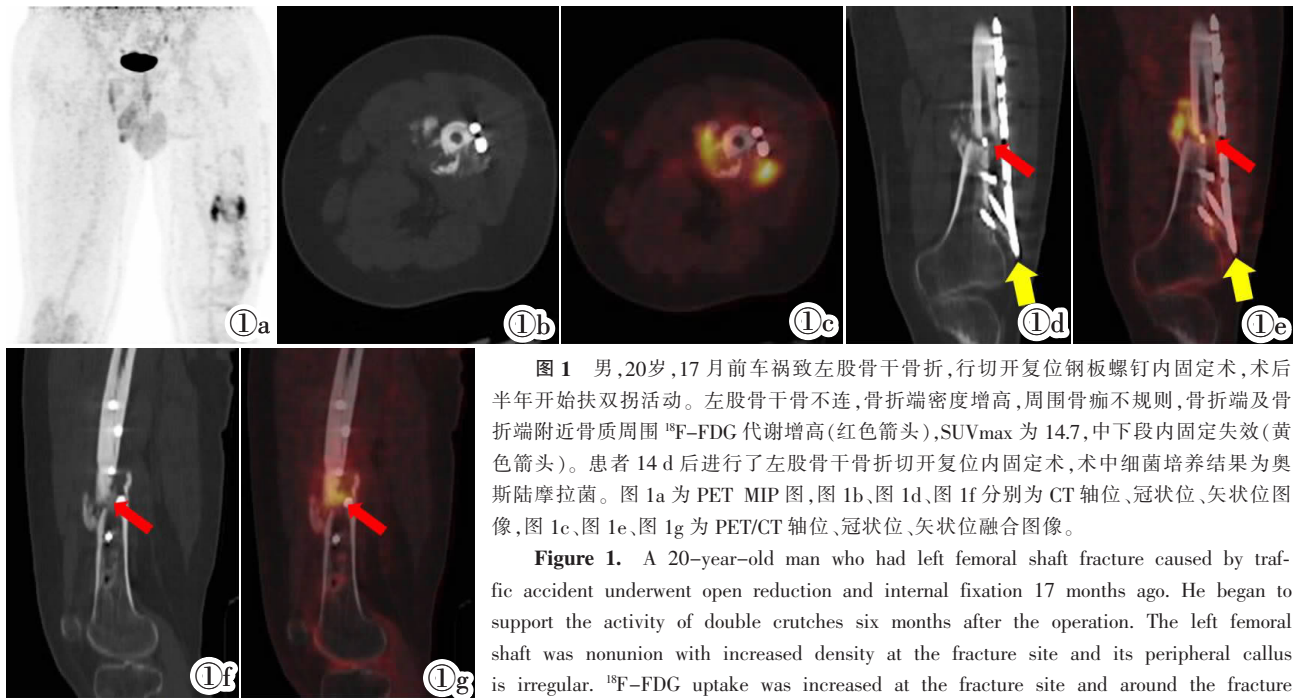


图 1 男,20岁,17月前车祸致左股骨干骨折,行切开复位钢板螺钉内固定术,术后半年开始扶双拐活动。左股骨干骨不连,骨折端密度增高,周围骨痂不规则,骨折端及骨折端附近骨质周围 ^{18}F -FDG 代谢增高(红色箭头),SUVmax 为 14.7,中下段内固定失效(黄色箭头)。患者 14 d 后进行了左股骨干骨折切开复位内固定术,术中细菌培养结果为奥斯陆摩拉菌。图 1a 为 PET MIP 图,图 1b、图 1d、图 1f 分别为 CT 轴位、冠状位、矢状位图像,图 1c、图 1e、图 1g 为 PET/CT 轴位、冠状位、矢状位融合图像。

Figure 1. A 20-year-old man who had left femoral shaft fracture caused by traffic accident underwent open reduction and internal fixation 17 months ago. He began to support the activity of double crutches six months after the operation. The left femoral shaft was nonunion with increased density at the fracture site and its peripheral callus is irregular. ^{18}F -FDG uptake was increased at the fracture site and around the fracture site (red arrows). SUVmax was 14.7. The internal fixation in middle and lower segment was failure (yellow arrows). The patient underwent open reduction and internal fixation 14 days later and the intraoperative bacterial culture was *Moraxella osloensis*. Figure 1a is PET MIP image. Figure 1b, Figure 1d, Figure 1f are axial, coronal and sagittal CT images. Figure 1c, Figure 1e, Figure 1g are axial, coronal and sagittal PET/CT images.

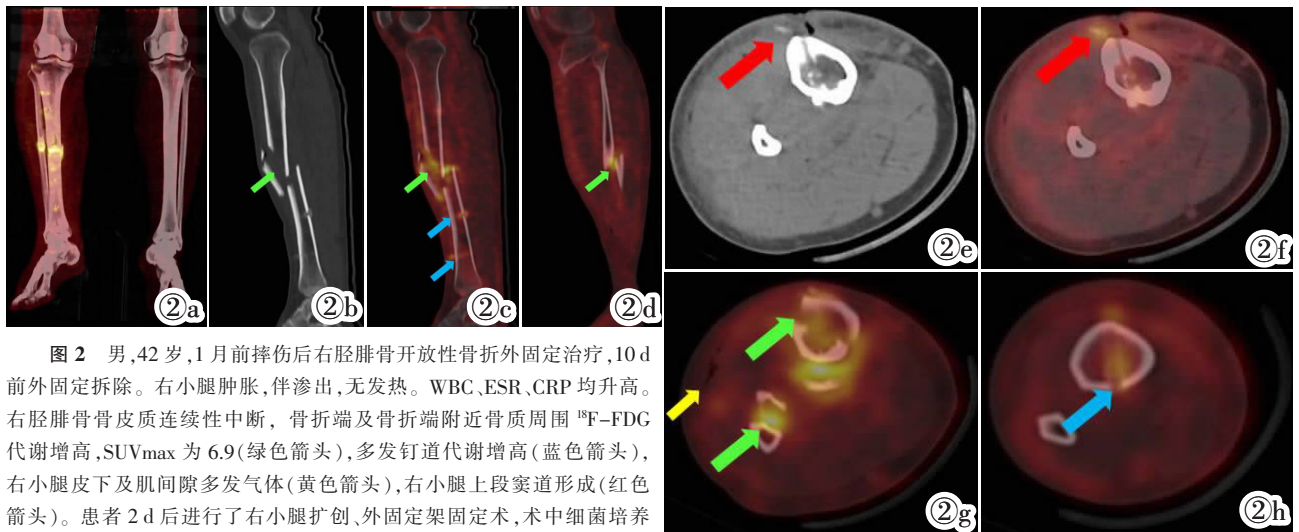


图 2 男,42岁,1月前摔伤后右胫腓骨开放性骨折外固定治疗,10 d 前外固定拆除。右小腿肿胀,伴渗出,无发热。WBC、ESR、CRP 均升高。右胫腓骨骨皮质连续性中断,骨折端及骨折端附近骨质周围 ^{18}F -FDG 代谢增高,SUVmax 为 6.9(绿色箭头),多发钉道代谢增高(蓝色箭头),右小腿皮下及肌间隙多发气体(黄色箭头),右小腿上段窦道形成(红色箭头)。患者 2 d 后进行了右小腿扩创、外固定架固定术,术中细菌培养结果为粪肠球菌、纹带棒杆菌。图 2a 为 PET/CT MIP 图;图 2b、图 2e 分别为 CT 矢状位、轴位图像;图 2c、2d、图 2f~2h 分别为 PET/CT 矢状位、轴位融合图像。

Figure 2. A 42-year-old male with open fracture of right tibia and fibula underwent external fixation 1 month ago and the external fixation was removed 10 days ago. Right calf was swollen with exudation and he had no fever. WBC, ESR and CRP were increased. The cortical continuity of the right tibia and fibula was interrupted. ^{18}F -FDG uptake was increased at and around the fracture site (green arrows) and multiple nail paths (blue arrows). SUVmax was 6.9. Gas was shown in right leg subcutaneous and muscle space (yellow arrow). Sinus was shown at the upper right calf (red arrows). He underwent external fixation 2 days later and the intraoperative bacterial culture results were *Enterococcus faecalis* and *Corynebacterium striatum*. Figure 2a is PET/CT MIP image. Figure 2b and Figure 2e are sagittal and axial CT images. Figure 2c, 2d and Figure 2f~2h are sagittal and axial PET/CT fusion images.

资料,因此,该诊断标准并不能完全适用于本研究的 ^{18}F -FDG PET/CT 显像。

可疑 FRI 患者首先需要明确的是感染是否存在,感染区域在 ^{18}F -FDG PET/CT 图像上表现为 ^{18}F -FDG 摄取增高。本研究中感染区域 SUVmax 为 7.34 ± 2.94 ,且明显高于肌肉及对侧。需要注意的是, ^{18}F -FDG

并不是感染的特异性显像剂,除感染外,手术、内固定、骨折的愈合、局部应力增加等非感染性因素也会引起 ^{18}F -FDG 摄取增高,程度大都低于 FRI,但 SUVmax 在鉴别感染和非感染时缺乏特异性^[2],目前没有可靠的截止值^[1]。既往研究中,依据 PET 或 PET/CT 的影像学表现进行定性诊断或联合 SUVmax 进行综合

诊断的准确性均较高^[8-9], 而仅依据 SUV_{max} 进行诊断的准确性相对较低。因此, FRI 的诊断并不能仅依据 SUV_{max}, 除了 ¹⁸F-FDG 摄取增高的程度外, 摄取增高的部位、形态及分布也十分重要。本研究中细菌毒力高低的两组 ¹⁸F-FDG 代谢参数组间比较没有显著差异, 这可能是由于感染的程度是由细菌毒力、侵入机体的细菌数量、感染灶的局部环境、机体的免疫力等共同作用。

FRI 主要考虑的是细菌是否存在于骨折端和内固定周围, 有金属固定物的患者也可行 ¹⁸F-FDG PET/CT 显像^[3], PET 图像受金属伪影的影响较小, 可很好地显示病灶的代谢程度, CT 软组织窗受金属伪影的影响较大, 骨窗受影响较小, 能够提供解剖定位信息, 明确 ¹⁸F-FDG 摄取增高的部位及范围, 有助于临床定位感染灶及制定手术方案。本研究中 42 例患者骨折端代谢均增高, 25 例内固定患者中有 20 例内固定周围代谢增高。FRI 可表现为单发感染灶也可表现为多发感染灶, 多发感染区域可相通也可各自独立存在, 可相隔距离较近也可相隔距离较远(如骨折端位于长骨远端、另一感染区域位于长骨近端), 本研究中 34 例骨折端附近骨质周围代谢增高、16 例骨折端附近髓腔代谢增高均与骨折端的代谢增高区域相连, 但 10 例长骨周围代谢增高、11 例长骨髓腔代谢增高与骨折端的代谢增高区域不相连。

¹⁸F-FDG PET/CT 显像对脓肿、窦道的显示颇具特点, 脓肿表现为环形代谢增高中央代谢缺损(需与血肿鉴别), 窦道表现为条形或短条形代谢增高, 一端达皮肤表面(局部可凹陷或隆起), 另一端与内植物、断端或髓腔相通。依据专家共识, 出现瘘管、窦道、伤口裂开、伤口脓性渗出物或术中发现深部脓液即可诊断 FRI。本研究 3 例脓肿及 11 例窦道均经手术证实。

FRI 患者由于创伤、应力等也会导致关节代谢增高, 本研究中 14 例邻近关节代谢增高, 均无关节积液, 经手术证实均未发生关节感染。专家共识指出, 存在内植物突破关节囊、关节内骨折时, FRI 可能存在于邻近关节^[2]。由此可见, 邻近关节感染的诊断需谨慎。

有研究回顾性分析了 254 例下肢骨折内固定术后可疑 FRI 的 ¹⁸F-FDG PET/CT 图像, 结果显示根据同侧腹股沟淋巴结 SUV_{max} 诊断 FRI 的灵敏度和特异性均较高^[13]。腹股沟淋巴结在下肢淋巴引流中有重要作用, 常作为前哨淋巴结出现^[14], 但本研究扫描范围为骨折部位邻近两个关节, 胫腓骨骨折的病例扫描时并未包括腹股沟, 提示我们下肢骨折可能需要扩大扫描范围, 即骨盆至足。

本研究纳入的病例均为下肢长骨 FRI, 且病例

数较少, 无法对不同部位的骨折展开进一步研究, 今后应收集更多病例作进一步探讨。

总之, ¹⁸F-FDG PET/CT 显像是诊断 FRI 较好的影像学检查方式之一, 可以直观地提供感染是否存在的证据, 将感染可视化, 能够显示单发或多发感染灶的部位、范围, 脓肿、窦道具有一定的影像学表现特征, 可用于有金属固定物的患者, 能够评价骨折愈合情况及内固定的情况, 明确解剖特征, 便于手术计划的制定, 值得临床推广应用。

[参考文献]

- [1]Ren Y, Liu L, Sun D, et al. Epidemiological updates of post-traumatic related limb osteomyelitis in china: a 10 years multi-centre cohort study[J]. Int J Surg, 2023, 109(9): 2721-2731.
- [2]Metsemakers WJ, Morgenstern M, Senneville E, et al. General treatment principles for fracture-related infection: recommendations from an international expert group [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2020, 140(8): 1013-1027.
- [3]中华医学会骨科学分会创伤骨科学组, 中华医学会骨科学分会外固定与肢体重建学组, 中国医师协会创伤外科医师分会创伤感染专业委员会, 等. 中国骨折内固定术后感染诊断与治疗专家共识(2018版)[J]. 中华创伤骨科杂志, 2018, 20(11): 929-936.
- [4]Metsemakers WJ, Morgenstern M, McNally MA, et al. Fracture-related infection: A consensus on definition from an international expert group[J]. Injury, 2018, 49(3): 505-510.
- [5]Metsemakers WJ, Morgenstern M, McNally MA, 等. 骨折相关性感染定义的共识[J]. 中华骨科杂志, 2018, 38(9): 513-518.
- [6]Govaert GAM, Kuehl R, Atkins BL, et al. Diagnosing Fracture-Related Infection: Current Concepts and Recommendations [J]. J Orthop Trauma, 2020, 34(1): 8-17.
- [7]Glaudemans AWJM, Bosch P, Slart RHJA, et al. Diagnosing fracture-related infections: can we optimize our nuclear imaging techniques?[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 46(8): 1583-1587.
- [8]Sollini M, Trenti N, Malagoli E, et al. ¹⁸F-FDG PET/CT in non-union: improving the diagnostic performances by using both PET and CT criteria [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 46(8): 1605-1615.
- [9]Lemans JVC, Hobbelen MGG, Ijzerman FFA, et al. The diagnostic accuracy of ¹⁸F-FDG PET/CT in diagnosing fracture-related infections[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 46(4): 999-1008.
- [10]Zhang Q, Dong J, Shen Y, et al. Comparative diagnostic accuracy of respective nuclear imaging for suspected fracture-related infection: a systematic review and Bayesian network meta-analysis[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2021, 141(7): 1115-1130.
- [11]Wenter V, Albert NL, Brendel M, et al. ¹⁸F-FDG PET accurately differentiates infected and non-infected non-unions after fracture fixation[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 44(3): 432-440.
- [12]常冰洁, 刘加成, 吴嘉钰, 等. ¹⁸F-FDG PET/CT 对非肿瘤性疾病导致不明原因发热的诊断价值 [J]. 中国医学影像学杂志, 2023, 31(8): 882-886.
- [13]Wang Y, Sun Z, Liang X, et al. Inguinal draining-lymph node in ¹⁸F-FDG PET/CT images could be a new indicator for the diagnosis of fracture-related infection in the lower extremities[J]. Front Immunol, 2023, 14: 1206682.
- [14]朱世坤, 张舒, 罗亚平. SPECT/CT 定位诊断皮肤肿瘤前哨淋巴结的应用体会[J]. 协和医学杂志, 2023, 14(4): 795-801.