· 临床研究 ·

禁食前膳食摄入对^{18}F-FDG PET/CT 显像生理性分布的影响

纪春艳[1]　谭辉[2]　石洪成[2]　高键[1]
[1]复旦大学附属中山医院营养科,上海　200032;[2]上海市影像医学研究所、复旦大学附属中山医院核医学科、复旦大学核医学研究所、复旦中山医院肿瘤中心,上海　200032
通信作者:高键, Email: gao.jian@zs-hospital.sh.cn

【摘要】 **目的**　探讨禁食前膳食摄入对^{18}F-FDG 生理性分布的影响,以提高^{18}F-FDG PET/CT 图像质量。**方法**　回顾性分析 2019 年 8 月至 2020 年 5 月间复旦大学附属中山医院 118 例 PET/CT 受检者[男 73 例、女 45 例,年龄(58.4±13.4)岁]禁食前膳食摄入调查资料,包括膳食摄入总能量、3 种产能营养素摄入量和供能比、食物原料种类及膳食性状,同时采集肝脏、纵隔血池及臀部肌肉的 SUV_{max} 和 SUV_{mean}。采用单因素和多因素线性回归分析数据。**结果**　118 例受检者的空腹血糖为(5.36±1.01) mmol/L,禁食前膳食性状为普食、半流质、流质分别为 42(35.59%)、72(61.02%)、4(3.39%)例;碳水化合物、蛋白质、脂肪供能比分别为(55.46±18.27)%、(16.70±7.38)%、(27.72±14.53)%。多因素回归分析示,禁食前膳食摄入中蛋白质供能比是臀部肌肉 SUV_{max}(β=0.005, P=0.031)和 SUV_{mean}(β=0.003, P=0.042)的独立影响因素,膳食性状是纵隔血池 SUV_{max}(β=0.126, P=0.030)和 SUV_{mean}(β=0.197, P=0.002)的独立影响因素。**结论**　禁食前膳食摄入因素对^{18}F-FDG 图像质量具有影响,其中蛋白质供能比是臀部肌肉 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 的独立影响因素,膳食性状是纵隔血池 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 的独立影响因素。

【关键词】 禁食;膳食;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.cn321828-20210414-00111

Effect of dietary intake before fasting on physiological distribution of ^{18}F-FDG PET/CT imaging

Ji Chunyan[1], Tan Hui[2], Shi Hongcheng[2], Gao Jian[1]
[1]Department of Nutrition, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China; [2]Shanghai Institute of Medical Imaging; Department of Nuclear Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University; Nuclear Medicine Institute of Fudan University; Cancer Center, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China
Corresponding author: Gao Jian, Email: gao.jian@zs-hospital.sh.cn

【**Abstract**】 **Objective**　To explore the effect of dietary intake before fasting on the physiological distribution of ^{18}F-FDG PET/CT, and to improve the ^{18}F-FDG PET/CT image quality. **Methods**　From August 2019 to May 2020, questionnaire of dietary intake before fasting of 118 patients (73 males, 45 females; age (58.4±13.4) years) who performed PET/CT imaging in Zhongshan Hospital, Fudan University were retrospectively analyzed. The total dietary energy intake, the nutrient intake and energy supply ratio of the three energy source nutrients, the type of raw materials and the texture of diet were included. The SUV_{max} and SUV_{mean} of the liver, mediastinal blood pool and hip muscles were measured. Single-factor and multi-factors linear regression analyses were used to analyze data. **Results**　The fasting blood glucose of 118 subjects was (5.36±1.01) mmol/L. The texture of diet before fasting were general diet, semiliquid diet and liquid diet, which were 42 (35.59%), 72 (61.02%) and 4 (3.39%) subjects, respectively. The energy supply ratios of carbohydrate, protein and fat were (55.46±18.27)%, (16.70±7.38)% and (27.72±14.53)%, respectively. The results of multi-factors regression analysis indicted that protein energy ratio was an independent factor influencing SUV_{max}(β=0.005, P=0.031) and SUV_{mean}(β=0.003, P=0.042) of the hip muscles, and the texture of diet was an independent factor influencing SUV_{max}(β=0.126, P=0.030) and SUV_{mean}(β=0.197, P=0.002) of mediastinal blood pool. **Conclusions**　The dietary intake before fasting has significant effect on the imaging quality of ^{18}F-FDG. The protein energy ratio is an independent factor influencing SUV_{max} and SUV_{mean} of the hip muscles. The texture of diet is an independent factor influencing SUV_{max} and SUV_{mean} of mediastinal blood pool.

【**Key words**】 Fasting; Diet; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18
DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210414-00111

PET 作为一种功能影像学检查方法,其在肿瘤的良恶性鉴别诊断、临床分期、指导治疗及疗效评价等方面的应用价值得到越来越广泛的认可[1-2]。^{18}F-FDG 作为葡萄糖的类似物是临床上使用最为广泛的显像剂。PET 影像的解读无论是目测分析还是半定量分析(如 SUV 等)都依赖于良好的图像质量。PET(/CT)仪器固有性能以及人为因素都可以影响 SUV 测量的准确性[3-4]。病变组织、心肌及脑等组织对^{18}F-FDG 的摄取情况不仅取决于正常及病变部位的组织细胞学特性,还可能受到显像时体内血糖、游离脂肪酸等能量底物环境及体内某些激素水平的影响。克服诸多因素对病灶摄取 FDG 的影响,提高对病变的充分显示非常重要。食物调节是影响血糖水平的主要途径,不同的膳食摄入使得人体有不同的血糖应答反应以及能量释放速度。目前临床实践中并没有对禁食前膳食摄入做规范管理,只是要求清淡为主。因此,本研究拟探讨禁食前膳食摄入对正常组织^{18}F-FDG 摄取的影响,以提高图像质量。

资料与方法

1.资料收集。回顾性分析 2019 年 8 月至 2020 年 5 月间在复旦大学附属中山医院预约全身^{18}F-FDG PET/CT 的 118 例检查者资料,其中男 73 例、女 45 例,年龄(58.4±13.4)岁。检查前由注册营养师采用面访膳食回顾法进行禁食前膳食摄入调查。分类调查主食类、菜肴类、蛋奶、豆、坚果类、水果、其他零食饮料的摄入量,运用上海臻鼎健康科技有限公司的营养分析软件结合《中国食物成份表》2002 版计算膳食摄入总能量,碳水化合物、蛋白质及脂肪的摄入量及供能比,调查膳食摄入食物原料种类及膳食性状(流质、半流质或普食)。记录检查者基础信息,包括性别、年龄、体质指数(body mass index, BMI)、空腹血糖、禁食时间、糖尿病诊断、早期放化疗、疾病种类、肿瘤 TNM 分期和现场实测信息。入选标准:(1)空腹血糖监测<11.1 mmol/L 者;(2)检查前 1 d 无剧烈活动;(3)检查前充分饮水 500 ml。排除标准:(1)空腹血糖监测≥11.1 mmol/L 者;(2)近 1 周发热和抗炎治疗者;(3)近 1 周行钡餐或碘造影者;(4)无法准确回顾膳食摄入者。本研究由本院伦理委员会批准(批准号:B2021-170R2),所有患者签署知情同意书。

2. ^{18}F-FDG PET/CT 显像及图像分析。按照体质量 3.7 MBq/kg 静脉注射^{18}F-FDG(上海原子科兴药业有限公司供药),注射后休息约 1 h 后进行显像,期间充分饮水 500 ml。记录注射与显像间隔时间。PET/CT 检查采用美国 GE 公司 Discovery VCT64,每个床位 2 min,采集 5~7 个床位,经计算机处理出横断位、冠状位和矢状位断层图像。在肝脏最大层面右叶,避开肝内病灶及大血管,选取直径 20 mm 的 ROI 测量肝脏 SUV_{max} 和 SUV_{mean};选取支气管分叉水平升主动脉层面直径 20 mm 的 ROI 测量纵隔血池 SUV_{max} 和 SUV_{mean};选择平第 2 骶椎水平臀中肌,勾画直径 20 mm 的 ROI 测量臀部肌肉 SUV_{max} 和 SUV_{mean}。

3.统计学处理。采用 SAS 9.2 软件分析数据,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用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示;采用单因素和多因素线性回归分析各因素对各 SUV 的影响。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1.基本资料及膳食摄入调查结果(表 1)。118 例检查者中,消化系统肿瘤 47 例,肝、胆和胰腺肿瘤 19 例,乳腺和卵巢肿瘤 4 例,淋巴、结缔组织肿瘤 3 例,鼻咽部、胸肺部肿瘤 28 例,泌尿系统肿瘤 2 例,其他 15 例。

2.影响^{18}F-FDG 摄取的膳食摄入因素分析。单因素回归分析示,膳食摄入中碳水化合物摄入量是肝脏 SUV_{max} 的影响因素($\beta=0.200$, $P=0.030$),膳食性状($\beta=0.212$, $P=0.021$)、原料种类($\beta=-0.248$, $P=0.007$)、脂肪摄入量($\beta=-0.198$, $P=0.031$)和蛋白质摄入量($\beta=0.200$, $P=0.030$)是纵隔血池 SUV_{mean} 的影响因素。进一步多因素回归分析示,膳食摄入中蛋白质供能比是臀部肌肉 SUV_{max}($\beta=0.005$, $P=0.031$)和 SUV_{mean}($\beta=0.003$, $P=0.042$)的独立影响因素,膳食性状是纵隔血池 SUV_{max}($\beta=0.126$, $P=0.030$)和 SUV_{mean}($\beta=0.197$, $P=0.002$)的独立影响因素。

讨 论

^{18}F-FDG PET/CT 显像不仅反映组织、器官的形态解剖学结构,重点是反映其摄取利用葡萄糖的功能状况。了解 ^{18}F-FDG 的生理性分布及其相关影响因素是准确解读 PET/CT 影像的关键。^{18}F-FDG 的结构与葡萄糖相似,二者对细胞膜葡萄糖转运蛋白和细胞内己糖激酶存在竞争,血糖水平升高会对组织细胞摄取^{18}F-FDG 产生竞争性抑制。在 PET 显像过程中,胰岛素发挥的糖代谢调节作用,主要体现在

表 1　118 例全身^{18}F-FDG PET/CT 检查者基本资料及膳食摄入情况[$\bar{x}\pm s$ 或 $M(Q_1,Q_3)$;例(%)]

变量	结果
年龄(岁)	58.4±13.4
男性	73(61.86)
体质指数(kg/m^2)	22.33±3.94
空腹血糖(mmol/L)	5.36±1.01
糖尿病	16(13.56)
早期放化疗	17(14.41)
TNM 分期	
Ⅰ	26(22.03)
Ⅱ	16(13.56)
Ⅲ	14(11.86)
Ⅳ	47(39.83)
其他	15(12.71)
注射剂量(MBq)	260.48±54.39
注射与显像间隔时间(min)	67.50(53.00,82.00)
总能量(kJ)	1 474.26±1 024.11
食物原料种类	
<5 种	88(74.58)
≥5 种	30(25.42)
膳食性状	
普食	42(35.59)
半流	72(61.02)
流质	4(3.39)
三类产能营养素供能比	
碳水化合物供能比(%)	55.46±18.27
蛋白质供能比(%)	16.70±7.38
脂肪供能比(%)	27.72±14.53

注:其他指结节、炎性反应等

促进组织细胞摄取血糖和^{18}F-FDG,但肿瘤组织通常为非胰岛素敏感,血糖水平升高时,血浆胰岛素水平会代偿性增高,导致肿瘤组织的^{18}F-FDG 摄取减少,同时对肿瘤周围正常组织的^{18}F-FDG 摄取也有不同影响[5]。因此,检查前适当的禁食时间,使血糖和胰岛素水平稳定在较低水平,有助于提高图像质量。尽管^{18}F-FDG PET/CT 显像前要求血糖在正常范围,但是否为受检者个体最佳水平不得而知。针对脑组织对显像剂高摄取及心肌摄取状况受多种因素影响且自身变异性较大等问题,限制碳水化合物膳食、高脂低碳膳食等对脑或心肌^{18}F-FDG 摄取影响的相关研究逐渐成为热点。有研究者发现,高脂低碳膳食可明显降低心肌对^{18}F-FDG 的摄取,减少胸部病变诊断的假阳性[6-7]。Coulden 等[8]的研究发现,与对照组(常规禁食组)相比,低碳膳食+禁食组心肌 SUV_{max}下降,而肝脏和纵隔血池 SUV_{max}上升。原因不仅是血糖的变化,可能是餐后底物环境的变化影响了不同组织的能量代谢。临床上针对禁食前膳食摄入对正常组织^{18}F-FDG 生理性摄取影响的相关研究比较少。

PET/CT 影像分析普遍采用自身对比的方式,即病灶与毗邻组织之间的对比,或者是与血液本底间的对比,涉及参考器官糖代谢水平的评估。一般较多选择肝脏、纵隔血池以及肌肉等作为参考器官,放松状态下的骨骼肌一般无明显的显像剂摄取,因此本研究选择了臀部肌肉作为参考。本研究检查前空腹血糖为(5.36±1.01) mmol/L,在合理范围内。膳食摄入调查根据食物成分表中各种食物的能量及营养素的含量,结合膳食调查得到的摄入量,计算出膳食摄入的总能量、三大产能营养素摄入量及供能比,同时调查摄入原料种类及膳食性状。

本研究结果显示,禁食前膳食蛋白质供能比是臀部肌肉 SUV_{max}和 SUV_{mean}的独立影响因素。分析其原因在于,摄入蛋白质经消化吸收的氨基酸与体内组织蛋白分解产生的氨基酸称为氨基酸代谢库,肌肉中的氨基酸占总代谢库的 50%以上,其中支链氨基酸的分解主要在骨骼肌中进行;其次,在禁食后期主要由糖异生合成葡萄糖维持血糖水平,同时脂解作用增强,许多组织优先利用脂肪而不是葡萄糖,而当蛋白质摄入过多时,机体不能存储多余的蛋白质转而发生氧化分解产生能量。因此,膳食蛋白质摄入可能通过自身及禁食后的代谢过程对臀部肌肉 SUV_{max}和 SUV_{mean}产生独立影响。

本研究结果同时显示,膳食性状是纵隔血池 SUV_{max}和 SUV_{mean}的独立影响因素。不同的膳食性状能量、营养素及水分摄入量均存在较大差异,从而产生不同的血糖应答反应以及能量释放速度。研究发现进食固体食物的同时进食 300 g 水,会显著升高健康志愿者的血糖和胰岛素峰值,同时增大受试者的总体血糖应答[9]。可能的机制是,水分含量增加提高了胃排空率,同时刺激胰岛素更多的分泌来维持血糖稳定。本研究中 61.02%(72/118)的检查者禁食前选择半流膳食(粥、面或馄饨等)。因此,禁食前膳食性状可能通过不同的血糖和胰岛素应答,从而对纵隔血池 SUV_{max}和 SUV_{mean}产生独立影响作用。

正常肝脏对^{18}F-FDG 的摄取受多种因素影响[10],现有条件下没有观察到肝脏 SUV 受膳食摄入的独立影响。肝脏通过糖原合成、分解及糖异生等来调节血糖水平。禁食状况下,脂肪动员增加,又在肝脏内转化为酮体。因此,肝脏的显像对能量底物环境稳定性要求更高。

理想情况下,同一患者多次进行检查时,血糖水平应保持在相近水平,以最大程度地保证 SUV 的可

比性。本研究发现,膳食摄入因素对臀部肌肉和纵隔血池^{18}F-FDG 的摄取产生独立影响作用。临床上可通过规范禁食前膳食摄入,实现能量底物环境的稳定和标准化,从而控制影响^{18}F-FDG 生理性分布的相关因素。合理的膳食摄入可以不同程度地延缓消化速度,避免诱发相关激素水平的剧烈变化[11-12]。血糖应答与碳水化合物食物“质”与“量”密切相关,也依赖于脂肪、蛋白质、膳食纤维等成分的数量和种类及其交互作用[13-14]。碳水化合物、蛋白质和脂肪在体内都有其特殊的生理功能且又互相影响。中国居民膳食营养素参考摄入量(dietary reference intakes, DRIs)推荐成人膳食中碳水化合物、脂肪和蛋白质供能比分别为 50%~65%、20%~30%和 10%~15%。PET/CT 预约检查前,临床营养师提前介入,根据中国居民膳食指南和糖尿病膳食的配餐原则,结合检查者身高、体质量等精确计算其禁食前一餐膳食摄入需求,指导合理选择膳食性状和食物,保证一餐膳食同时有适量的主食、荤菜和蔬菜。多选择低血糖生成指数(glycemic index, GI)的食物,主食粗细搭配,蔬菜选择可以参考叶菜类+瓜茄类+菌菇的搭配模式。在禁食前做到均衡、多样、适量的膳食摄入,将对提高^{18}F-FDG PET 的图像质量具有积极的意义。

综上所述,禁食前膳食摄入因素对^{18}F-FDG 图像质量具有影响,通过个体化精准配餐和膳食指导规范禁食前膳食摄入,尽可能实现能量底物环境稳定和标准化是提高图像质量、正确分析影像的基础。本研究的局限性在于没有监测禁食后的血糖及胰岛素水平和能量底物环境。未来有必要通过更加严谨的前瞻性研究进一步证实和探讨相关机制。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 纪春艳、谭辉:研究实施、论文撰写;纪春艳:统计分析;石洪成、高键:研究指导、论文修改

参 考 文 献

[1] Tateishi U. PET/CT in malignant lymphoma: basic information, clinical application, and proposal[J]. Int J Hematol, 2013, 98(4): 398-405. DOI:10.1007/s12185-013-1444-3.

[2] Uslu L, Donig J, Link M, et al. Value of ^{18}F-FDG PET and PET/CT for evaluation of pediatric malignancies[J]. J Nucl Med, 2015, 56(2): 274-286. DOI:10.2967/jnumed.114.146290.

[3] Batallés SM, Villavicencio RL, Quaranta A, et al. Variations of the hepatic SUV in relation to the body mass index in whole body PET-CT studies[J]. Rev Esp Med Nucl Imagen Mol, 2013, 32(1): 26-32. DOI:10.1016/j.remn.2012.02.003.

[4] Kuruva M, Mittal BR, Abrar ML, et al. Multivariate analysis of various factors affecting background liver and mediastinal standardized uptake values[J]. Indian J Nucl Med, 2012, 27(1): 20-23. DOI:10.4103/0972-3919.108835.

[5] Büsing KA, Schönberg SO, Brade J, et al. Impact of blood glucose, diabetes, insulin, and obesity on standardized uptake values in tumors and healthy organs on ^{18}F-FDG PET/CT[J]. Nucl Med Biol, 2013, 40(2): 206-213. DOI:10.1016/j.nucmedbio.2012.10.014.

[6] Williams G, Kolodny GM. Suppression of myocardial ^{18}F-FDG uptake by preparing patients with a high-fat, low-carbohydrate diet[J]. AJR Am J Roentgenol, 2008, 190(2): W151-156. DOI:10.2214/AJR.07.2409.

[7] Lu Y, Grant C, Xie K, et al. Suppression of myocardial ^{18}F-FDG uptake through prolonged high-fat, high-protein, and very-low-carbohydrate diet before FDG-PET/CT for evaluation of patients with suspected cardiac sarcoidosis[J]. Clin Nucl Med, 2017, 42(2): 88-94. DOI:10.1097/RLU.0000000000001465.

[8] Coulden R, Chung P, Sonnex E, et al. Suppression of myocardial ^{18}F-FDG uptake with a preparatory "Atkins-style" low-carbohydrate diet[J]. Eur Radiol, 2012, 22(10): 2221-2228. DOI:10.1007/s00330-012-2478-2.

[9] Torsdottir I, Andersson H. Effect on the postprandial glycaemic level of the addition of water to a meal ingested by healthy subjects and type 2(non-insulin-dependent) diabetic patients[J]. Diabetologia, 1989, 32(4): 231-235. DOI:10.1007/BF00285289.

[10] 刘国兵,李艳丽,胡鹏程,等. PET/CT 显像中肝脏^{18}F-FDG 摄取的影响因素[J].中华核医学与分子影像杂志, 2015, 35(6): 506-508. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.06.022.
Liu GB, Li YL, Hu PC, et al. Factors affecting liver uptake of ^{18}F-FDG on PET/CT imaging[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 35(6): 506-508. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.06.022.

[11] Sun L, Ranawana DV, Leow MK, et al. Effect of chicken, fat and vegetable on glycaemia and insulinaemia to a white rice-based meal in healthy adults[J]. Eur J Nutr, 2014, 53(8): 1719-1726. DOI:10.1007/s00394-014-0678-z.

[12] Sun L, Goh HJ, Govindharajulu P, et al. Postprandial glucose, insulin and incretin responses differ by test meal macronutrient ingestion sequence (PATTERN study)[J]. Clin Nutr, 2020, 39(3): 950-957. DOI:10.1016/j.clnu.2019.04.001.

[13] Deng Y, Zhang Y, Zheng S, et al. Postprandial glucose, insulin and incretin responses to different carbohydrate tolerance tests[J]. J Diabetes, 2015, 7(6): 820-829. DOI: 10.1111/1753-0407.12245.

[14] Soong YY, Lim J, Sun L, et al. Effect of co-ingestion of amino acids with rice on glycaemic and insulinaemic response[J]. Br J Nutr, 2015, 114(11): 1845-1851. DOI: 10.1017/S0007114515003645.

(收稿日期:2021-04-14)