

# $^{18}\text{F}$ -FDG 全身 PET/CT 动态采集对肝脏恶性肿瘤诊断的增益价值

迪丽比热·阿迪力 蔡丹杰 曹炎焱 石洪成

复旦大学附属中山医院核医学科、复旦大学核医学研究所、上海市影像医学研究所、  
复旦中山医院肿瘤中心, 上海 200032

通信作者: 石洪成, Email: shi.hongcheng@zs-hospital.sh.cn

**【摘要】** 目的 探讨 $^{18}\text{F}$ -FDG 全身 PET/CT 动态采集获得的时间-活度曲线(TAC)及靶本比(TBR)对肝脏恶性肿瘤诊断的增益价值。方法 回顾性分析 2019 年 12 月至 2021 年 10 月间在复旦大学附属中山医院行 60 min 全身 PET/CT 动态采集的 109 例肝细胞癌(HCC; 27 例)、肝内胆管癌(ICC; 61 例)和肠癌肝转移(CRLM; 21 例)患者[男 65 例, 女 44 例, 年龄(59.3±9.3)岁]的影像学资料。将动态采集获得的 TAC 分为灌注相和代谢相。动脉期定义为灌注相腹主动脉活度峰值后 15 s。将代谢相肿瘤 TAC 形态分为 A、B、C 型。采用单因素方差分析比较不同组 TBR<sub>30/60</sub> 差异; 采用 ROC 曲线评估 TBR<sub>30/60</sub> 的诊断效能。结果 以快进作为 HCC 的诊断标准, 其灵敏度、特异性、阳性预测值和阴性预测值分别为 66.7% (18/27)、75.6% (59/78)、48.6% (18/37) 和 86.8% (59/68); 以 B 型曲线作为 HCC 的诊断标准, 其灵敏度、特异性、阳性预测值和阴性预测值分别为 44.4% (12/27)、85.4% (70/82)、50.0% (12/24) 和 82.4% (70/85)。HCC、ICC 和 CRLM 的 TBR<sub>30/60</sub> 分别为 0.38±0.19、0.49±0.18 和 0.64±0.20 ( $F=10.89, P<0.001$ )。当 TBR<sub>30/60</sub> 截断值取 0.43 时, 鉴别 HCC 与 ICC 和 CRLM 的 AUC 为 0.72, 灵敏度和特异性分别为 70.5% (55/78) 和 65.2% (15/23); 当 TBR<sub>30/60</sub> 截断值取 0.64 时, 鉴别 ICC 和 CRLM 的 AUC 为 0.71, 灵敏度和特异性分别为 61.9% (13/21) 和 82.5% (47/57)。结论 全身 PET/CT 动态显像获得的 TAC 结合 TBR<sub>30/60</sub> 可以为肝肿瘤诊断提供增益价值。

**【关键词】** 肝肿瘤; 图像解释, 计算机辅助; 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:** 上海市临床重点专科项目 (shslczdk03401); 促进市级医院临床技能与临床创新能力三年行动计划 (SHDC2020CR3079B)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220930-00298

## Added value of $^{18}\text{F}$ -FDG total-body PET/CT dynamic imaging in the diagnosis of liver malignant tumors

Dilibire Adili, Cai Danjie, Cao Yanyan, Shi Hongcheng

Department of Nuclear Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University; Nuclear Medicine Institute of Fudan University; Shanghai Institution of Medical Imaging; Cancer Center, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China

Corresponding author: Shi Hongcheng, Email: shi.hongcheng@zs-hospital.sh.cn

**【Abstract】 Objective** To explore the added value of time-activity curve (TAC) and target-to-background ratio (TBR) obtained by  $^{18}\text{F}$ -FDG total-body PET/CT dynamic imaging in the diagnosis of liver malignant tumors. **Methods** From December 2019 to October 2021, 109 patients (65 males, 44 females; age (59.3±9.3) years) with hepatocellular carcinoma (HCC;  $n=27$ ), intrahepatic cholangiocarcinoma (ICC;  $n=61$ ) and colorectal cancer with liver metastasis (CRLM;  $n=21$ ) who underwent 60 min  $^{18}\text{F}$ -FDG total-body PET/CT dynamic imaging in Zhongshan Hospital, Fudan University were retrospectively enrolled. Dynamic PET/CT images were divided into perfusion-weighted (PW) phase and metabolism-weighted (MW) phase. The arterial phase was defined as the 15 s after the abdominal aorta peak frame at PW. TACs at MW were divided into three types as Graph A, Graph B and Graph C. One-way analysis of variance was used to compare difference of TBR<sub>30/60</sub> among groups. ROC curve analysis was used to evaluate diagnostic effectiveness. **Results** With hypervascularity as the diagnostic standard of HCC, the sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV) and negative predictive value (NPV) were 66.7% (18/27), 75.6% (59/78), 48.6% (18/37) and 86.8% (59/68), respectively. With Graph B as the diagnostic standard of HCC, the sensitivity, specificity, PPV and NPV were 44.4% (12/27), 85.4% (70/82), 50.0% (12/24) and 82.4% (70/85), respectively. The TBR<sub>30/60</sub> of HCC, ICC and CRLM was 0.38±0.19, 0.49±0.18 and 0.64±0.20 respectively ( $F=10.89, P<0.001$ ). When the cut-off value of TBR<sub>30/60</sub> was 0.43, the AUC of distin-

guishing HCC from ICC and CRLM was 0.72, with the sensitivity and specificity of 70.5% (55/78) and 65.2% (15/23). When the cut-off value of  $TBR_{30/60}$  was 0.64, the AUC of distinguishing ICC from CRLM was 0.71, with the sensitivity and specificity of 61.9% (13/21) and 82.5% (47/57). **Conclusion** TAC graph types and  $TBR_{30/60}$  obtained by total-body PET/CT dynamic imaging display potential value for differentiation between hepatic tumor types.

**【Key words】** Liver neoplasms; Image interpretation, computer-assisted; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18

**Fund program:** Shanghai Municipal Key Clinical Specialty (shslczdzk03401); Clinical Research Plan of SHDC (SHDC2020CR3079B)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20220930-00298

$^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 显像在肿瘤诊疗中发挥着重要作用,其中在肝内胆管癌(intrahepatic cholangiocarcinoma, ICC)和结直肠癌(colorectal cancer, CRC)的分期和再分期中的应用已经写入指南<sup>[1-3]</sup>。部分中、高分化肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)的葡萄糖代谢率较低, $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 常规显像方法对病变检出率有限,不推荐用于 HCC 诊断<sup>[4]</sup>。增强 CT 和增强 MR 可反映肝肿瘤的生物学特征,广泛应用于肝脏肿瘤的诊断与鉴别诊断<sup>[5]</sup>。典型的 HCC 增强 CT 特征性的表现为动脉期快进,门静脉期或延迟期廓清<sup>[6]</sup>。研究表明,在 $^{18}\text{F}$ -FDG 注射后 2 min 内,PET/CT 动态采集可观察到 HCC 的典型快进现象<sup>[7]</sup>,与增强 CT 和增强 MR 影像表现相似,对 HCC 诊断具有价值<sup>[8]</sup>。

轴向视野为 15~30 cm 的常规 PET/CT,制约了动态 PET 采集的范围及其时间分辨率。具有 194 cm 的长轴视野 PET/CT,其有效计数率比常规 PET/CT 高约 40 倍<sup>[9]</sup>;其 1/10 剂量与常规剂量的 $^{18}\text{F}$ -FDG 具有等效的药代动力学和体内分布<sup>[10-11]</sup>。本研究拟探讨 $^{18}\text{F}$ -FDG 全身 PET/CT 动态采集图像获得时间-活度曲线(time-activity curve, TAC)及代谢信息在鉴别富血供肿瘤 HCC 与乏血供肿瘤 ICC 或肠癌肝转移(colorectal cancer with liver metastasis, CRLM)方面的增益价值。

## 资料与方法

1.研究对象。回顾性分析 2019 年 12 月至 2021 年 10 月间在复旦大学附属中山医院行 60 min 全身 PET/CT 动态显像评估肝脏恶性肿瘤的 109 例 HCC (27 例)、ICC(61 例)和 CRLM(21 例)患者的影像学资料,其中男 65 例,女 44 例,年龄(59.3±9.3)岁。纳入标准:(1)肝脏原发肿瘤均有病理诊断;(2)CRLM 原发灶有病理诊断,肝脏转移灶有病理诊断或 2 种以上影像学诊断。排除标准:(1)肝脏肿瘤接受过治疗者;(2)患多种原发性肿瘤者。本研究通过复旦大学附属中山医院伦理委员会批准(批准

号:B2019-160R)。

2. PET/CT 显像。 $^{18}\text{F}$ -FDG 由本中心生产,放化纯 $\geq 95\%$ 。全身 PET/CT 显像仪(uEXPLORER)及后处理工作站(uWS-MI)均为上海联影医疗科技股份有限公司产品。检查前 24 h 内患者避免剧烈运动,禁食 6 h 以上,血糖 $\leq 11.0$  mmol/L。按体质量静脉注射 $^{18}\text{F}$ -FDG(全剂量 3.7 MBq/kg、半剂量 1.85 MBq/kg 或超低剂量 0.37 MBq/kg)<sup>[12]</sup>,注射后即刻进行 60 min 全身 PET/CT 动态图像采集。CT 采集条件:管电压 120 kV,管电流 140 mA,层厚 0.5 mm;PET 采集选择三维方式,范围自头顶到足底;图像采用有序子集最大期望值迭代法、飞行时间和点扩散函数重建,3 次迭代、20 个子集,矩阵 192×192,层厚 1.443 mm,高斯滤波 3 mm。动态数据重建为 55 帧图像:前 3 min 每 5 s 重建 1 帧(定义为灌注相),之后每 3 min 重建 1 帧(定义为代谢相)。扫描参数和数据重建的详细信息参照文献[10-11]。

3.病灶勾画。在病灶及本底 60 min 重建图像上进行勾画,在重建的第 55 帧图像上,使用软件自适应阈值法(50%)勾画感兴趣体积(volumes of interesting, VOI),多病灶者只勾画最大病灶。当病灶 SUV 接近肝脏本底时,手动勾画病灶轮廓,再复制到其他各帧重建图像,提取肿瘤的 TAC。选择腹主动脉肝门水平勾画 VOI,直径略小于血管腔内径,用于生成腹主动脉 TAC。分别在肝脏右上叶、下叶和后叶,避开肝内病变和大血管,勾画直径为 20 mm 的 ROI,取平均值计算肝脏本底 TAC。

4.灌注相与代谢相分析。代谢相肿瘤 TAC 可分为 3 种类型(图 1):A 型为持续上升;B 型为前 30 min 逐渐下降(接近于肝脏本底),后 30 min 逐渐上升;C 型为逐渐下降,可高于或低于本底 TAC。主动脉 TAC 表现为高耸单峰(图 1D)者定义为合格。动脉期腹主动脉峰值后 15 s 内信息定义为等同于增强 CT 和增强 MR 的动脉期。动态显像中的快进定义为动脉期 15 s 所在帧图像的肿瘤靶本比(target-to-background ratio, TBR)均大于 1.5。TBR 通过将肿

瘤活度除以肝脏本底活度来计算。30 min TBR (TBR<sub>30</sub>)与 60 min TBR(TBR<sub>60</sub>)分别为注射后 27~30 min 和 57~60 min 的数据重建图像的 TBR: TBR<sub>30/60</sub> = (TBR<sub>60</sub>-TBR<sub>30</sub>)/TBR<sub>30</sub>。C 型图像不纳入 TBR<sub>30/60</sub> 计算。

5. 统计学处理。使用 IBM SPSS 26.0 软件进行统计分析。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。多组间比较采用单因素方差分析或 Kruskal-Wallis 秩和检验。定性资料比较采用  $\chi^2$  检验和 Fisher 确切概率法。采用 ROC 曲线评估诊断效能。P<0.05 为差异有统计学意义。

### 结 果

1. 临床资料分析 (表 1)。HCC 组、ICC 组和

CRLM 组的血糖水平、体质指数和年龄差异均无统计学意义 (F 值: 0.19~2.46, 均 P>0.05)。HCC 组、ICC 组均有病理检查诊断, CRLM 组中 7 例患者肝脏转移灶有病理诊断, 14 例患者有 2 种影像学诊断。

2. 灌注相分析。4 例患者因主动脉 TAC 不合格剔除, 其余 105 例患者的主动脉 TAC 纳入灌注相分析。HCC 组、ICC 组和 CRLM 组的快进例数为 18、18 和 1 例, 以快进为标准诊断 HCC 的灵敏度、特异性、阳性预测值和阴性预测值分别为 66.7% (18/27)、75.6% (59/78)、48.6% (18/37) 和 86.8% (59/68), 典型图像见图 2。

3. 代谢相分析 (表 2)。不同病理类型肝脏肿瘤代谢相曲线类型分布差异有统计学意义 (P=0.003)。

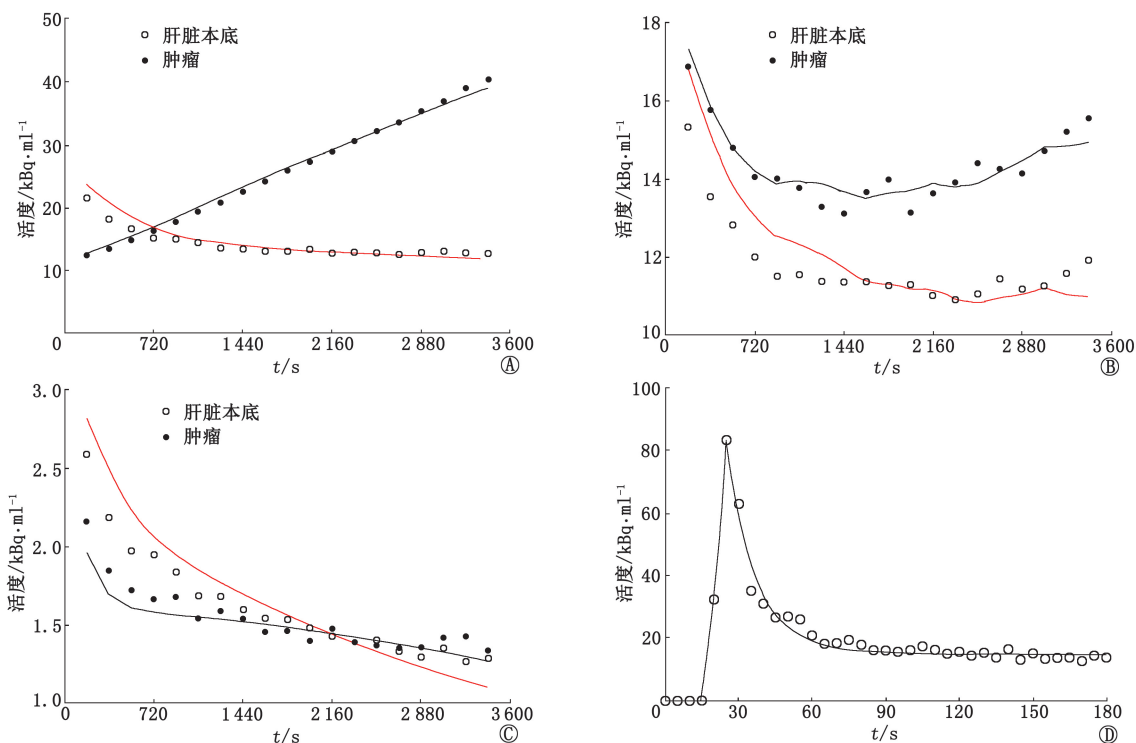


图 1 代谢相肿瘤时间-活度曲线 (TAC) 类型及正常主动脉 TAC。A. A 型曲线, 肿瘤 TAC 从 3 min 到 60 min 持续上升; B. B 型曲线, 肿瘤 TAC 从 3 min 到 30 min 逐渐下降 (类似于肝脏本底趋势), 在 30 min 后逐渐上升; C. C 型曲线, 肿瘤 TAC 从开始到结束均呈逐渐下降趋势; D. 正常主动脉 TAC, 呈高耸单峰

表 1 不同病理类型肝脏肿瘤患者的临床资料比较

病理类型	例数	年龄 (岁; $\bar{x} \pm s$ )	男/女 (例)	血糖 (mmol/L; $\bar{x} \pm s$ )	BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ; $\bar{x} \pm s$ )	不同剂量 (例)			病灶长径 [mm; $M(Q_1, Q_3)$ ]	不同病灶长径 (例)			
						全剂量	半剂量	超低剂量		A	B	C	D
HCC	27	59.4±6.9	19/8	5.6±1.5	24.1±3.7	6	7	14	56.8 (33.2, 113.9)	1	9	9	8
ICC	61	59.6±9.0	32/29	6.0±1.1	23.3±3.1	9	6	46	59.6 (44.3, 82.1)	1	20	34	6
CRLM	21	58.1±12.7	14/7	5.6±1.5	22.1±2.4	0	2	20	36.4 (25.8, 61.8)	2	11	9	1
检验值		0.19	3.03 <sup>a</sup>	2.46	1.39	-	-	-	7.58 <sup>b</sup>	-	-	-	-
P 值		0.831	0.257	0.254	0.091	0.113			0.023				0.044

注: <sup>a</sup>为  $\chi^2$  值, <sup>b</sup>为 H 值, 余为 F 值, -为 Fisher 确切概率法, 仅有 P 值; BMI 为体质指数, CRLM 为肠癌肝转移, HCC 为肝细胞癌, ICC 为肝内胆管癌; 全剂量为 3.7 MBq/kg, 半剂量为 1.85 MBq/kg, 超低剂量为 0.37 MBq/kg; A 为 <20 mm, B 为 ≥20 mm 且 <50 mm, C 为 ≥50 mm 且 ≤100 mm, D 为 >100 mm

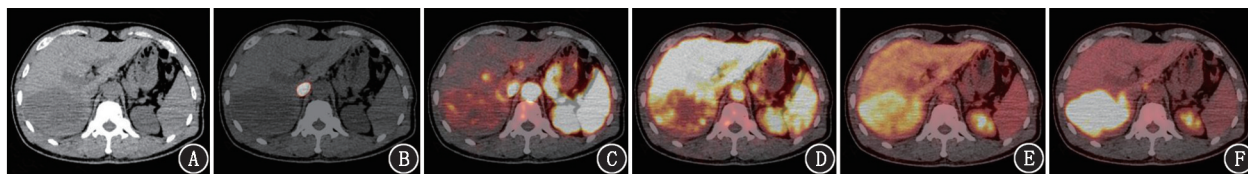


图2 肝细胞癌患者(男,60岁,诊断为肝右后叶肝细胞癌伴门静脉右后支癌栓形成) $^{18}\text{F}$ -FDG 全身 PET/CT 动态显像图(按体质量静脉注射  $3.7\text{ MBq/kg}$  的 $^{18}\text{F}$ -FDG 后,行 60 min 动态显像)。A.病灶最大横截面 CT 图像示肝脏表面欠光整,右后叶见低密度灶,大小为  $95.0\text{ mm}\times 8.8\text{ mm}$ ,平均 CT 值为  $30.8\text{ HU}$ ;B.注射显像剂后 30 s,下腔静脉出现显像剂浓聚;C.注射显像剂后 50 s,肿瘤区域的显像剂浓聚程度高于正常肝组织(快进);D.注射显像剂后 120 s,肿瘤区域显像剂浓聚程度低于正常肝组织;E、F.注射显像剂后 15 min 及 60 min,肿瘤区域的显像剂浓聚程度高于正常肝组织

以 B 型曲线为标准诊断 HCC 的灵敏度、特异性、阳性预测值和阴性预测值分别为  $44.4\%$  ( $12/27$ )、 $85.4\%$  ( $70/82$ )、 $50.0\%$  ( $12/24$ ) 和  $82.4\%$  ( $70/85$ )。

表 2 不同病理类型肝脏肿瘤的代谢相时间-活度曲线类型分布

病理类型	A 型曲线(例)	B 型曲线(例)	C 型曲线(例)
HCC ( $n=27$ )	11	12	4
ICC ( $n=61$ )	47	9	5
CRLM ( $n=21$ )	18	3	0
ICC+CRLM ( $n=82$ )	65	12	5

注:CRLM 为肠癌肝转移,HCC 为肝细胞癌,ICC 为肝内胆管癌

HCC 组、ICC 组和 CRLM 组的  $\text{TBR}_{30/60}$  分别为  $0.38\pm 0.19$ 、 $0.49\pm 0.18$  和  $0.64\pm 0.20$  ( $F=10.89$ ,  $P<0.001$ )。当  $\text{TBR}_{30/60}$  截断值取 0.43 时,鉴别 HCC 与 ICC 和 CRLM 的 AUC 为 0.72,灵敏度和特异性分别为  $70.5\%$  ( $55/78$ ) 和  $65.2\%$  ( $15/23$ );当  $\text{TBR}_{30/60}$  截断值取 0.64 时,鉴别 ICC 和 CRLM 的 AUC 为 0.71,灵敏度和特异性分别为  $61.9\%$  ( $13/21$ ) 和  $82.5\%$  ( $47/57$ )。

## 讨 论

多数肝脏肿瘤在增强 CT 或增强 MR 上具有典型的增强特征,具有重要的诊断价值<sup>[13-14]</sup>。动态 PET/CT 显像的前 4 min TAC 对 HCC 诊断具有潜在价值<sup>[8]</sup>。然而,短轴向视野导致的采集范围小及伴存的边缘效应,制约了常规 PET 动态图像采集的临床应用。长轴视野 PET/CT 较常规 PET/CT 具有 40 倍的高灵敏度,使得 PET/CT 动态采集得以充分发挥其潜在价值<sup>[15-16]</sup>。基于全身 PET 动态采集数据进行参数分析,是目前研究的热点。参数分析最为重要的环节是选择房室模型,肝脏为双重血供器官,尚无适宜的参数模型<sup>[17]</sup>。有文献报道,参数分析(如 Patlak 分析)时,注射后 30 min,可逆房室与血浆处于动态平衡, $^{18}\text{F}$ -FDG 的 TAC 接近于线性<sup>[18]</sup>。TAC 无需软件及房室模型选择,获取方法简便,结果更加直观。基于此,本研究从 TAC 的角度阐述了 $^{18}\text{F}$ -FDG 在人体内的生物分布。注射到体内的 $^{18}\text{F}$ -FDG 短时间

内其分布与 CT 或 MR 造影增强剂类似,以血池内分布为主,随着时间推移, $^{18}\text{F}$ -FDG 逐渐为细胞摄取。因此,选择 3 min 分割图像为灌注相及代谢相。本研究中分别使用了常规剂量、半剂量和超低剂量进行动态采集,本团队前期研究结果已经证实不同剂量并不影响 $^{18}\text{F}$ -FDG 的体内分布<sup>[10-11]</sup>;而且本研究只是关注 TAC 的形态和不同时间点 TBR 的比值,不受注射剂量的影响。在灌注相,血流灌注占主导地位,但肝细胞及肿瘤细胞仍能或多或少地摄取 $^{18}\text{F}$ -FDG,因此廓清现象不像增强 CT 或增强 MR 那样明显。HCC 动脉期快进的 PET 诊断标准具有较高的特异性 ( $75.6\%$ ) 和阴性预测值 ( $86.8\%$ )。此外,在部分最常见的肝内表现为肿块型的 ICC 中也可以观察到快进现象<sup>[19]</sup>,可能与 ICC 的组织学特征有关,如 ICC 和 HCC 混合型等。肿瘤的外周比中心区域血供更丰富,导致大多数增强 CT 观察到 ICC 具有早期边缘增强的特征<sup>[20]</sup>。在本研究中,肿瘤作为一个整体被勾画,纤维化程度比较高的病灶中心区域仍然可以摄取 $^{18}\text{F}$ -FDG,这可能会高估 ICC 的快进比例并降低诊断效能。

代谢相时间窗较长,血管内外的 $^{18}\text{F}$ -FDG 逐渐达到平衡。细胞外 $^{18}\text{F}$ -FDG 被转运到细胞中,最终达到动态平衡。代谢相的 TAC 形态类型联合  $\text{TBR}_{30/60}$  有助于鉴别肿瘤类型。本研究结果显示,B 型曲线作为 HCC 的特征性曲线,具有较高的特异性 ( $85.4\%$ ) 和阴性预测值 ( $82.4\%$ )。TAC 分析结果显示,不同组织学类型肝脏肿瘤的  $\text{TBR}_{30/60}$  差异有统计意义,与 ICC ( $0.49\pm 0.18$ ) 和 CRLM ( $0.64\pm 0.20$ ) 相比,HCC 有最低的  $\text{TBR}_{30/60}$  ( $0.38\pm 0.19$ )。

$^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 影像检查,通过全身影像获得的综合信息对于肝脏转移性肿瘤的诊断与评价,具有明显的优势和实用价值。但对于 ICC 和 HCC 的诊断,更多是要结合临床信息,如肿瘤标志物等对具有显像剂聚集或 CT 密度异常者给出倾向性的诊

断;对于部分没有明显显像剂聚集和(或)CT 密度异常者,很容易漏诊。长轴视野 PET 实现了高质量的动态采集,在没有额外增加放射性药物使用剂量和 CT 曝光剂量的情况下,仅通过增加采集时间可获得更多的诊断信息。动态采集信息尚不能作为独立的诊断指标,但是通过简便易行的方法获得 TAC 形态及其内涵,从血流和糖代谢变化过程的角度评价肿瘤的生物行为,为常规静态 FDG 显像的诊断和评价提供了额外获益,为<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 在肝脏肿瘤诊治中发挥更好的作用探索了新的路径。

本研究的局限性在于:首先,HCC 和 ICC 混合的病例无法确定,可能导致 TAC 不典型;其次,手动注射<sup>18</sup>F-FDG,“弹丸”注射质量不如使用高压注射器。因此,本研究剔除了“弹丸”注射质量不合格的病例,并根据主动脉活度峰值确定动脉期。

总之,全身 PET/CT 动态显像快进模式提升了<sup>18</sup>F-FDG PET 对肝癌诊断的准确性。代谢相 TAC 联合 TBR<sub>30/60</sub>对鉴别 HCC、ICC 和 CRLM 具有潜在的价值。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 迪丽比热·阿迪力、蔡丹杰:研究实施、统计分析、论文撰写;曹炎焱:数据采集;石洪成:研究指导、论文修改、经费支持

## 参 考 文 献

- [1] Jiang L, Tan H, Panje CM, et al. Role of <sup>18</sup>F-FDG PET/CT imaging in intrahepatic cholangiocarcinoma[J]. Clin Nucl Med, 2016, 41(1): 1-7. DOI:10.1097/RLU.0000000000000998.
- [2] 刘玉奇,章斌,邓胜明,等. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT 对结肠直肠癌术后患者临床再分期、治疗策略及预后评估的价值[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2017, 37(10): 613-617. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.10.003.  
Liu YQ, Zhang B, Deng SM, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET/CT for restaging, guiding therapeutic strategy and predicting prognosis in patients with postoperative colorectal cancer[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 37(10): 613-617. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.10.003.
- [3] Lu RC, She B, Gao WT, et al. Positron-emission tomography for hepatocellular carcinoma: current status and future prospects[J]. World J Gastroenterol, 2019, 25(32): 4682-4695. DOI:10.3748/wjg.v25.i32.4682.
- [4] Ayuso C, Rimola J, Vilana R, et al. Diagnosis and staging of hepatocellular carcinoma (HCC): current guidelines[J]. Eur J Radiol, 2018, 101: 72-81. DOI:10.1016/j.ejrad.2018.01.025.
- [5] Benson AB, D'Angelica MI, Abbott DE, et al. Hepatobiliary cancers, version 2.2021, NCCN clinical practice guidelines in oncology [J]. J Natl Compr Canc Netw, 2021, 19(5): 541-565. DOI:10.6004/jncn.2021.0022.
- [6] Kieler AZ, Chernyak V, Bashir MR, et al. LI-RADS 2017: an update[J]. J Magn Reson Imaging, 2018, 47(6): 1459-1474. DOI:10.1002/jmri.26027.
- [7] Schierz JH, Opfermann T, Steenbeck J, et al. Early dynamic <sup>18</sup>F-FDG PET to detect hyperperfusion in hepatocellular carcinoma liver lesions[J]. J Nucl Med, 2013, 54(6): 848-854. DOI:10.2967/jnumed.112.113936.
- [8] Wang SB, Wu HB, Wang QS, et al. Combined early dynamic <sup>18</sup>F-FDG PET/CT and conventional whole-body <sup>18</sup>F-FDG PET/CT provide one-stop imaging for detecting hepatocellular carcinoma[J]. Clin Res Hepatol Gastroenterol, 2015, 39(3): 324-330. DOI:10.1016/j.clinre.2014.10.010.
- [9] 蔡丹杰,石洪成.全身 PET/CT 临床研究的现状与展望[J].中华核医学与分子影像杂志, 2022, 42(1): 41-43. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210209-00031.  
Cai DJ, Shi HC. Total-body PET/CT current research and future perspectives[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2022, 42(1): 41-43. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210209-00031.
- [10] Liu G, Xu H, Hu P, et al. Kinetic metrics of <sup>18</sup>F-FDG in normal human organs identified by systematic dynamic total-body positron emission tomography[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(8): 2363-2372. DOI:10.1007/s00259-020-05124-y.
- [11] Liu G, Hu P, Yu H, et al. Ultra-low-activity total-body dynamic PET imaging allows equal performance to full-activity PET imaging for investigating kinetic metrics of <sup>18</sup>F-FDG in healthy volunteers [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(8): 2373-2383. DOI:10.1007/s00259-020-05173-3.
- [12] Sui X, Liu G, Hu P, et al. Total-Body PET/computed tomography highlights in clinical practice: experiences from Zhongshan Hospital, Fudan University[J]. PET Clin, 2021, 16(1): 9-14. DOI:10.1016/j.epet.2020.09.007.
- [13] Luca A, Caruso S, Milazzo M, et al. Multidetector-row computed tomography (MDCT) for the diagnosis of hepatocellular carcinoma in cirrhotic candidates for liver transplantation: prevalence of radiological vascular patterns and histological correlation with liver explants[J]. Eur Radiol, 2010, 20(4): 898-907. DOI:10.1007/s00330-009-1622-0.
- [14] Burrell M, Llovet JM, Ayuso C, et al. MRI angiography is superior to helical CT for detection of HCC prior to liver transplantation: an explant correlation [J]. Hepatology, 2003, 38(4): 1034-1042. DOI:10.1053/jhep.2003.50409.
- [15] Feng T, Zhao Y, Shi H, et al. Total-body quantitative parametric imaging of early kinetics of <sup>18</sup>F-FDG[J]. J Nucl Med, 2021, 62(5): 738-744. DOI:10.2967/jnumed.119.238113.
- [16] Zhang X, Xie Z, Berg E, et al. Total-body dynamic reconstruction and parametric imaging on the uEXPLORER [J]. J Nucl Med, 2020, 61(2): 285-291. DOI:10.2967/jnumed.119.230565.
- [17] Keiding S. Bringing physiology into PET of the liver[J]. J Nucl Med, 2012, 53(3): 425-433. DOI:10.2967/jnumed.111.100214.
- [18] Dimitrakopoulou-Strauss A, Pan L, Sachpekidis C. Kinetic modeling and parametric imaging with dynamic PET for oncological applications: general considerations, current clinical applications, and future perspectives[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(1): 21-39. DOI:10.1007/s00259-020-04843-6.
- [19] Aishima S, Oda Y. Pathogenesis and classification of intrahepatic cholangiocarcinoma: different characters of perihilar large duct type versus peripheral small duct type[J]. J Hepatobiliary Pancreat Sci, 2015, 22(2): 94-100. DOI:10.1002/jhbp.154.
- [20] Fujita N, Asayama Y, Nishie A, et al. Mass-forming intrahepatic cholangiocarcinoma: enhancement patterns in the arterial phase of dynamic hepatic CT-correlation with clinicopathological findings[J]. Eur Radiol, 2017, 27(2): 498-506. DOI:10.1007/s00330-016-4386-3.

(收稿日期:2022-09-30)