

· 临床研究 ·

^{18}F -FDG PET/CT 多参数联合模型在肺部病变良恶性鉴别中的价值

来瑞鹤¹ 耿羽智² 何健¹ 盛丹丹²¹南京大学医学院附属鼓楼医院核医学科, 南京 210008; ²南京医科大学第二附属医院核医学科, 南京 210011

通信作者: 盛丹丹, Email: shengdandan2@163.com

【摘要】 目的 建立 ^{18}F -FDG PET/CT 肿瘤代谢异质性多参数联合模型, 探讨其对肺部病变良恶性的鉴别价值。**方法** 回顾性分析 2017 年 2 月至 2024 年 2 月间于南京大学医学院附属鼓楼医院经 ^{18}F -FDG PET/CT 诊断为肺恶性病变且明确病理的 251 例患者(男 157 例、女 94 例, 年龄 15~88 岁), 分析其临床资料、原发灶 ^{18}F -FDG PET/CT 传统特征[SUV_{max}、肿瘤代谢体积(MTV)、病灶糖酵解总量(TLG)]及原发灶 PET 肿瘤内代谢异质性指数[HI; 如累积 SUV 体积直方图 AUC(AUC-CSH)、线性回归斜率、CV]。分别采用 SUV 2.5 和 40% SUV_{max} 计算 AUC-CSH、CV。采用 logistic 单因素及多因素回归分析提取临床特征、PET/CT 参数在肺部病变良恶性鉴别诊断中的独立预测因子, 并建立多参数联合模型, 采用 ROC 曲线验证模型的诊断效能。**结果** 251 例患者中, 良性 101 例、恶性 150 例。单因素分析中, 性别、年龄、肿瘤标志物、毛刺征、分叶征、血管集束征、空泡征、长径、短径、SUV_{max}、AUC-CSH_{2.5}、AUC-CSH_{40%}、CV_{2.5}、CV_{40%} [比值比(OR): 0.57~17.39, 均 $P < 0.05$] 为恶性肿瘤诊断的预测因子。多因素分析中, 性别、年龄、肿瘤标志物、分叶征、血管集束征、SUV_{max}、AUC-CSH_{40%}、CV_{40%} 为恶性肿瘤诊断的独立预测因子(OR: 2.30~13.18, 均 $P < 0.05$)。联合上述独立预测因子建立的多参数联合模型的 AUC、灵敏度、特异性和准确性分别为 0.89, 77.33% (116/150), 84.16% (85/101) 和 80.08% (201/251)。**结论** ^{18}F -FDG PET/CT 多参数联合模型在肺部病变良恶性鉴别中具有较高的价值。

【关键词】 肺肿瘤; 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; 诊断, 鉴别

基金项目: 南京市卫生科技发展专项资金(YKK24090)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240726-00275

Value of a multimodal ^{18}F -FDG PET/CT model in the differentiation of benign and malignant pulmonary lesions

Lai Ruihe¹, Geng Yuzhi², He Jian¹, Sheng Dandan²¹Department of Nuclear Medicine, Nanjing Drum Tower Hospital, the Affiliated Hospital of Nanjing University Medical School, Nanjing 210008, China; ²Department of Nuclear Medicine, the Second Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210011, China

Corresponding author: Sheng Dandan, Email: shengdandan2@163.com

【Abstract】 Objective To establish a combined model of tumor heterogeneity metabolic parameters using ^{18}F -FDG PET/CT and explore its value in differentiating benign from malignant pulmonary lesions. **Methods** A total of 251 patients (157 males, 94 females; age 15–88 years) who were diagnosed with malignant lung lesions by ^{18}F -FDG PET/CT and with definitive pathological results at Nanjing Drum Tower Hospital, the Affiliated Hospital of Nanjing University Medical School from February 2017 to February 2024 were retrospectively enrolled. Analysis was conducted on clinical data, traditional parameters (SUV_{max}, metabolic tumor volume (MTV), total lesion glycolysis (TLG)) of primary lesions on ^{18}F -FDG PET/CT, and intra-tumoral metabolic heterogeneity index (HI; such as cumulative SUV volume histogram AUC (AUC-CSH), linear regression slope, CV). AUC-CSH and CV were calculated using SUV thresholds of 2.5 and 40% SUV_{max}. Logistic univariate and multivariate regression analyses were used to extract independent predictors in clinical features and PET/CT parameters for the differential diagnosis of pulmonary lesions. A multi-parameter combined model was established through logistic regression and validated for diagnostic efficacy using ROC curve analysis. **Results** Among 251 patients, 101 were benign and 150 were malignant. In univariate analysis, gender, age, tumor markers, spiculation sign, lobulation sign, vessel convergence sign, air bronchogram, long diameter, short diameter, SUV_{max}, AUC-CSH_{2.5}, AUC-CSH_{40%}, CV_{2.5}, and CV_{40%} were predictive factors for the diagnosis of benign and malignant tumors (odds ratio (OR): 0.57–17.39,

all $P < 0.05$). In multivariate analysis, gender, age, tumor markers, lobulation sign, vessel convergence sign, SUV_{max} , $AUC-CSH_{40\%}$, and $CV_{40\%}$ were independent predictors for the diagnosis of benign and malignant tumors (OR : 2.30–13.18, all $P < 0.05$). The AUC, sensitivity, specificity, and accuracy of the multi-parameter combined model established with the above independent predictors were 0.89, 77.33% (116/150), 84.16% (85/101), 80.08% (201/251), respectively. **Conclusion** ^{18}F -FDG PET/CT multi-parameter combined model has high value in the differentiation of benign and malignant pulmonary lesions.

【Key words】 Lung neoplasms; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18; Diagnosis, differential

Fund program: Nanjing Health Science and Technology Development Special Fund (YKK24090)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240726-00275

据 2022 年 WHO 发布的数据显示,全球肺癌死亡率居恶性肿瘤首位^[1]。肺部病变良恶性的鉴别是决定治疗方式的重要环节。目前常用的检查方法包括胸部 CT、 ^{18}F -FDG PET/CT、支气管镜或经胸穿刺活检组织检查等^[2]。 ^{18}F -FDG PET/CT 显像是肺癌检测、识别和分期的重要工具。但一些良性病变存在高 ^{18}F -FDG 摄取,导致假阳性诊断^[3];而部分肺恶性肿瘤变(如黏液腺癌、类癌等)呈 ^{18}F -FDG 低摄取,又会增加假阴性结果^[4]。近年来,基于 ^{18}F -FDG PET/CT 获得的异质性指数(heterogeneity index, HI)可以反映肿瘤内代谢异质性,在结直肠癌、肺癌等疾病的基因突变预测、预后中具有一定价值^[5-6],但在肺部病变良恶性鉴别中的研究较少。本研究拟探索 HI 及其联合临床特征、传统 PET/CT 特征的多参数联合模型在肺部病变良恶性鉴别诊断中的价值。

资料与方法

1. 研究对象。本研究为横断面研究。回顾性收集 2017 年 2 月至 2024 年 2 月于南京大学医学院附属鼓楼医院行 ^{18}F -FDG PET/CT 显像并诊断为恶性肺占位患者的资料。纳入标准:(1)肺部病变获得明确病理诊断;(2) ^{18}F -FDG PET/CT 显像时间与病理确诊时间间隔小于 1 个月,且显像前未行任何治疗;(3)确诊的恶性肿瘤 T 分期为 1~3, N 分期为 N0。排除标准:(1)病变具有典型的良性钙化和(或)脂肪成分;(2) PET/CT 图像质量不佳;(3) SUV_{max} 小于 2.5 的病灶。

最终纳入患者 251 例,男 157 例、女 94 例,年龄 15~88 (62.3 ± 10.3) 岁。收集患者的临床资料:性别、年龄、吸烟史、饮酒史、血清肿瘤标志物水平(癌胚抗原、细胞角蛋白 19、神经特异性烯醇化酶和糖类抗原 125)等。血清肿瘤标志物的阳性结果定义为至少有 1 个血清肿瘤标志物的水平超过参考值上限,若血清肿瘤标志物水平均低于上限则视为阴性。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则,并经南京大学医学院附属鼓楼医院伦理委员会批准(编号 2023-

266-02)。

2. ^{18}F -FDG PET/CT 显像。采用荷兰 Philips GEMINI GXL PET/CT 仪进行全身显像。 ^{18}F -FDG 由江原安迪科正电子研究发展有限公司生产,放化纯 $> 95\%$ 。患者检查前禁食 6 h 以上,血糖浓度 ≤ 11.1 mmol/L,根据患者体质量静脉注射 ^{18}F -FDG 3.70~5.55 MBq/kg,患者安静休息 1 h 排尿后采集图像。患者取仰卧位,双臂向头部方向伸展,平稳呼吸减少呼吸运动伪影。CT 采集条件:管电压 120 kV,管电流 120 mA,层厚 5.0 mm;PET 采用三维采集模式,扫描范围自颅顶至大腿中段,PET 采集 7~9 个床位,每个床位采集 2 min,应用 CT 数据进行衰减校正,迭代法重组,最终获得 PET/CT 融合图像。

3. ^{18}F -FDG PET/CT 图像分析。由 2 位有 PET/CT 诊断经验的主治医师勾画图像。采用 LIFEX 软件勾画 ROI,以 40% SUV_{max} 为阈值,由软件自动得出 MTV。根据 2 种不同 SUV_{max} 阈值(点阈值法:2.5、3.5、4.5,百分比阈值法:40%、60%、80% SUV_{max})计算 MTV 的线性回归斜率,将斜率绝对值分别定义为线性回归斜率-1 和线性回归斜率-2^[6]。另外,通过 $SUV_{2.5}$ 和 40% SUV_{max} 阈值计算累积 SUV 体积直方图 AUC (cumulative SUV volume histogram AUC, AUC-CSH) 指数及 CV, AUC-CSH 指数由 LIFEX 软件自动得出。

4. 统计学处理。统计分析采用 IBM SPSS Statistics 27.0 软件,符合正态分布的定量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示;定性资料以频数(百分比)描述。采用 χ^2 检验、两独立样本 t 检验和 Mann-Whitney U 检验对良恶性病变特征进行组间比较。通过 ROC 曲线分析获得临床特征、PET/CT 传统特征 [SUV_{max} 、肿瘤代谢体积 (metabolic tumor volume, MTV)、病灶糖酵解总量 (total lesion glycolysis, TLG)] 和 PET 肿瘤内代谢 HI (AUC-CSH、线性回归斜率、CV) 的最佳阈值,并据其分别将患者分为 2 组。采用 logistic 回归单因素及多因素分析筛选具有诊断效能的临床特征、PET/CT 传

统特征、PET 肿瘤内代谢 HI 等。应用 logistic 回归建立多参数联合模型,采用 ROC 曲线分析评估模型的诊断效能(采用 GraphPad Prism 10.1.2 软件绘制 ROC 曲线图)。P<0.05 为差异有统计学意义(双侧检验)。

结 果

1.临床病理特征。251 例患者中,良性病变 101 例、恶性病变 150 例。良性病变中占比较高的主要为:肺炎,占 28.7%(29/101);肺结核,占 21.8%(22/101);慢性肉芽肿性炎,占 14.9%(15/101);机化性肺炎,占 12.9%(13/101)。恶性病变中占比较高的主要为:腺癌,占 63.3%(95/150);鳞状细胞癌,占 22.7%(34/150)。

2.临床特征及 PET/CT 特征在良恶性病变中的比较(表 1)。临床特征中,性别、年龄、肿瘤标志物、影像学特征中的长径、毛刺征、分叶征、血管集束征、空泡征、SUV_{max},代谢 HI 中的 AUC-CSH_{40%}、CV_{2.5}在良恶性病变中的差异有统计学意义(χ^2 值:4.33~59.34, $t=2.38$, Z 值:2.16~4.95,均 $P<0.05$);病灶位置、钙化、短径、MTV、AUC-CSH_{2.5}、CV_{40%}、线性回归斜率-1、线性回归斜率-2 在良恶性病变中的差异均无统计学意义(χ^2 值:0.42、0.20, Z 值:-1.15~1.81,均 $P>0.05$)。

3.独立预测因子的筛选(表 2)。单因素 logistic 回归筛选出 14 个肺部病变良恶性的预测因子:临床

特征(性别、年龄和肿瘤标志物),PET/CT 传统特征(毛刺征、分叶征、血管集束征、空泡征、长径、短径、SUV_{max})和 PET 肿瘤内代谢 HI(AUC-CSH_{2.5}、AUC-CSH_{40%}、CV_{2.5}和 CV_{40%})[比值比(odds ratio, OR):0.57~17.39,均 $P<0.05$]。多因素 logistic 分析示,性别、年龄、肿瘤标志物、分叶征、血管集束征、SUV_{max}、AUC-CSH_{40%}、CV_{40%}(OR:2.30~13.18,均 $P<0.05$)是预测肺病变良恶性的独立预测因子;据此建立多参数联合模型。多个预测因子与多参数联合模型对肺部病变良恶性的诊断效能见表 3;ROC 曲线图见图 1。

多参数联合模型的 AUC 为 0.89(95% CI:0.85~0.93),灵敏度为 77.33%(116/150),特异性为 84.16%(85/101),准确性为 80.08%(201/251)、阳性预测值为 87.88%(116/132)、阴性预测值为 71.43%(85/119)。

讨 论

¹⁸F-FDG PET/CT 显像在肺部病变良恶性鉴别中发挥着重要作用,但许多良性病变也表现为¹⁸F-FDG 代谢活跃^[3],导致影像诊断可能出现假阳性。本研究在分析¹⁸F-FDG PET/CT 诊断为肺恶性病变的影像学特征的基础上,构建多参数联合模型,并评估模型在肺部病变良恶性鉴别中的价值。

SUV_{max}反映病灶中 FDG 代谢最活跃部分,¹⁸F-FDG 的高聚集不仅存在于肿瘤中,还与炎症反应活动程度有关。本研究结果显示,以 SUV_{max} 15.83 为阈

表 1 251 例肺部良恶性病变患者临床特征及 PET/CT 特征的比较

组别	例数	性别(例)		年龄	肿瘤标志物(例)		毛刺征(例)		分叶征(例)		血管集束征(例)		空泡征(例)	
		男	女	[岁; $M(Q_1, Q_3)$]	正常	升高	无	有	无	有	无	有	无	有
良性病变	101	71	30	58.5(52.0,67.0)	76	25	59	42	83	18	99	2	97	4
恶性病变	150	86	64	66.0(59.0,71.0)	74	76	42	108	49	101	111	39	125	25
检验值		4.33 ^a		4.95 ^b	16.86 ^a		23.22 ^a		59.34 ^a		25.48 ^a		9.54 ^a	
P 值		0.037		<0.001	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		0.002	

组别	病灶位置(例)		钙化(例)		长径	短径	SUV _{max}	MTV
	周围型	中央型	无	有	[cm; $M(Q_1, Q_3)$]	[cm; $M(Q_1, Q_3)$]	[$M(Q_1, Q_3)$]	[cm ³ ; $M(Q_1, Q_3)$]
良性病变	89	12	95	6	2.30(1.70,3.38)	1.90(1.30,2.88)	7.88(4.96,11.04)	7.00(3.00,15.00)
恶性病变	136	14	143	7	2.75(2.00,3.80)	2.10(1.50,3.00)	8.94(5.60,15.91)	6.00(3.00,16.25)
检验值	0.42 ^a		0.20 ^a		2.16 ^b	1.53 ^b	2.40 ^b	-0.45 ^b
P 值	0.516		0.655		0.031	0.126	0.016	0.655

组别	AUC-CSH _{2.5}	AUC-CSH _{40%}	CV _{2.5}	CV _{40%}	线性回归斜率-1	线性回归斜率-2
	[$M(Q_1, Q_3)$]	[$M(Q_1, Q_3)$]	($\bar{x}\pm s$)	[$M(Q_1, Q_3)$]	[$M(Q_1, Q_3)$]	[$M(Q_1, Q_3)$]
良性病变	0.52(0.44,0.68)	0.60(0.57,0.62)	0.31±0.15	0.25(0.23,0.26)	1.75(1.00,4.88)	15.00(7.50,34.38)
恶性病变	0.51(0.43,0.64)	0.61(0.59,0.63)	0.36±0.17	0.25(0.24,0.26)	1.50(0.88,4.00)	12.50(5.00,35.63)
检验值	-1.11 ^b	2.72 ^b	2.38	1.81 ^b	-1.15 ^b	-0.60 ^b
P 值	0.268	0.007	0.018	0.070	0.250	0.546

注:^a为 χ^2 值,^b为 Z 值,余检验值为 t 值;MTV 为肿瘤代谢体积,AUC-CSH 为累积 SUV 体积直方图 AUC;角标 2.5 和 40%分别指该指标根据 SUV 阈值 2.5 和 40% SUV_{max} 计算获得

表 2 251 例肺部良恶性病变患者临床特征及 PET/CT 特征的 logistic 单因素与多因素回归分析结果

特征	例数	单因素分析					多因素分析				
		b 值	标准误	Wald 值	比值比(95% CI)	P 值	b 值	标准误	Wald 值	比值比(95% CI)	P 值
性别(男/女)	157/94	0.57	0.27	4.29	1.76(1.03~3.01)	0.038	0.97	0.39	6.35	2.64(1.24~5.64)	0.012
年龄(≤60/>60 岁)	109/142	1.25	0.27	21.41	3.48(2.05~5.91)	<0.001	1.07	0.37	8.38	2.91(1.41~6.02)	0.004
肿瘤标志物(正常/升高)	150/101	1.14	0.28	16.34	3.12(1.80~5.43)	<0.001	0.98	0.38	6.31	2.67(1.24~5.69)	0.012
毛刺征(无/有)	101/150	1.28	0.27	22.34	3.61(2.12~6.15)	<0.001	0.58	0.42	1.89	1.78(0.78~4.03)	0.170
分叶征(无/有)	132/119	2.25	0.31	51.79	9.51(5.15~17.55)	<0.001	1.74	0.45	15.29	5.70(2.38~13.63)	<0.001
血管集束征(无/有)	210/41	2.86	0.74	14.97	17.39(4.09~73.89)	<0.001	2.21	0.84	6.84	9.09(1.74~47.56)	0.009
空泡征(无/有)	222/29	1.58	0.56	8.09	4.85(1.63~14.40)	0.004	1.23	0.79	2.41	3.42(0.72~16.18)	0.120
长径(≤2.05/>2.05 cm)	84/167	0.75	0.27	7.62	2.12(1.24~3.62)	0.006	0.76	0.52	2.15	2.14(0.78~5.92)	0.140
短径(≤1.35/>1.35 cm)	54/197	0.70	0.31	5.09	2.01(1.10~3.70)	0.024	0.63	0.58	1.15	1.87(0.60~5.87)	0.283
SUV _{max} (≤15.83/>15.83)	209/42	2.11	0.54	15.03	8.23(2.84~23.88)	<0.001	2.58	0.84	9.38	13.18(2.53~68.60)	0.002
AUC-CSH _{2.5} (≤0.58/>0.58)	161/90	-0.56	0.27	4.33	0.57(0.34~0.97)	0.037	0.19	0.44	0.19	1.21(0.52~2.78)	0.661
AUC-CSH _{40%} (≤0.62/>0.62)	150/101	0.76	0.27	7.68	2.13(1.25~3.63)	0.006	0.88	0.37	5.64	2.42(1.17~5.02)	0.018
CV _{2.5} (≤0.44/>0.44)	181/70	1.10	0.32	11.61	2.99(1.59~5.61)	<0.001	-0.13	0.61	0.04	0.88(0.27~2.89)	0.837
CV _{40%} (≤0.25/>0.25)	135/116	0.66	0.26	6.18	1.93(1.15~3.33)	0.013	0.83	0.39	4.54	2.30(1.07~4.97)	0.033

注:AUC-CSH 为累积 SUV 体积直方图 AUC,角标 2.5 和 40%分别指该指标根据 SUV 阈值 2.5 和 40%SUV_{max} 计算获得

表 3 不同独立预测因子对 251 例肺部良恶性病变患者的诊断效能

独立预测因子	AUC	灵敏度	特异性	准确性	阳性预测值	阴性预测值
年龄	0.68	64.00%(96/150)	67.33%(68/101)	65.34%(164/251)	74.42%(96/129)	55.74%(68/122)
性别	0.57	42.67%(64/150)	70.30%(71/101)	53.78%(135/251)	68.09%(64/94)	45.22%(71/157)
肿瘤标志物	0.63	50.67%(76/150)	75.25%(76/101)	60.56%(152/251)	75.25%(76/101)	50.67%(76/150)
分叶征	0.75	67.33%(101/150)	82.18%(83/101)	73.31%(184/251)	84.87%(101/119)	62.88%(83/132)
血管集束征	0.62	26.00%(39/150)	98.02%(99/101)	54.98%(138/251)	95.12%(39/41)	47.14%(99/210)
SUV _{max}	0.59	25.33%(38/150)	96.04%(97/101)	53.78%(135/251)	90.48%(38/42)	46.41%(97/209)
AUC-CSH _{40%}	0.60	47.33%(71/150)	70.30%(71/101)	56.57%(142/251)	70.30%(71/101)	47.33%(71/150)
CV _{40%}	0.57	52.67%(79/150)	63.37%(64/101)	56.97%(143/251)	68.10%(79/116)	47.41%(64/135)
多参数联合模型	0.89	77.33%(116/150)	84.16%(85/101)	80.08%(201/251)	87.88%(116/132)	71.43%(85/119)

注:多参数联合模型是指由年龄、性别、肿瘤标志物、分叶征、血管集束征、SUV_{max}、AUC-CSH_{40%}和 CV_{40%}构成的模型;括号中为对应的例数比

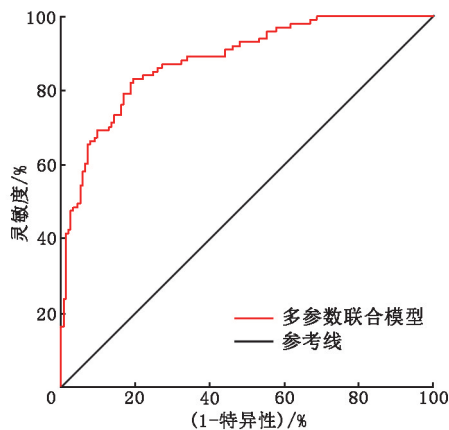


图 1 多参数联合模型预测 251 例肺部良恶性病变患者的 ROC 曲线。多参数联合模型是指由年龄、性别、肿瘤标志物、分叶征、血管集束征、SUV_{max}、累积 SUV 体积直方图 AUC (AUC-CSH)_{40%}和 CV_{40%}构成的模型,角标 40%指该指标根据 40%SUV_{max} 计算获得

值诊断良恶性肺占位的灵敏度、特异性和准确性分别为 25.33%(38/150)、96.04%(97/101)和 53.78%(135/251)。邢军等^[7]以 SUV_{max} 2.5 为阈值诊断

274 例孤立性肺结节的良恶性,其灵敏度、特异性和准确性分别为 93.09%(175/188)、36.05%(31/86)和 75.18%(206/274),其灵敏度、准确性均高于本研究,但特异性明显低于本研究。这可能是由于本研究肺炎(包括机化性肺炎)、结核和慢性肉芽肿性炎等占有良性病变的 78.2%(79/101),其内的炎性反应细胞对葡萄糖的需求和葡萄糖转运体的表达急剧增加,导致了更多的¹⁸F-FDG 摄取。

肺部病变在 CT 中表现出明显的支气管充气征、分叶征、血管集束征等侵袭影像学表现,常倾向于恶性病变^[8]。本研究显示,分叶征、血管集束征是肺恶性病变的独立预后危险因素。此外,女性、年龄较大、肿瘤标志物升高同样是恶性病变的预测因素。

AUC-CSH 是一种表征肿瘤内示踪剂摄取异质性的新方法,其值越小,肿瘤异质性越大。本研究表明,AUC-CSH_{40%}是鉴别肺部良恶性病变的独立因素。而肺良性病变的 AUC-CSH_{2.5}有高于恶性病变的趋势,这可能与勾画阈值有关,百分比阈值法依赖

SUV_{max}大小,对高 SUV_{max} 肿瘤的异质性判断有限^[6]。本研究患者均为 PET/CT 诊断的高 SUV_{max} 恶性病变,这可能是 AUC-CSH 结果相反的原因。Nakajo 等^[9]发现 AUC-CSH 诊断恶性肿瘤的 AUC、灵敏度、特异性和准确性分别为 0.71、61%、86%和 75%,高于本研究,这可能与不同肿瘤异质性差异以及采用整体病灶 AUC-CSH 勾画方法(包括更多坏死组织)有关。

作为¹⁸F-FDG 肿瘤代谢 HI, CV 在胃癌、结直肠癌中的预后和基因突变预测中的作用已被证实^[5-6]。本研究显示, CV_{40%} 能够较好地鉴别诊断肺部病变的良恶性,恶性病变的 CV_{40%} 大于良性病变,表明与恶性肿瘤相关的异质性更大。但 2 种勾画方法获得的线性回归斜率在肺部病变鉴别诊断中的价值有限,可能与病种有关,未来需进一步验证。

本研究将¹⁸F-FDG PET 肿瘤内代谢 HI 与临床特征、传统 PET/CT 影像学特征相结合,生成多参数联合模型,其在肺部病变良恶性鉴别中的诊断效能有明显提高,准确性由依靠传统 PET/CT SUV_{max} 视觉分析的 53.78% (135/251) 提高至 80.08% (201/251)。传统的 PET/CT 视觉分析主要依赖于影像学表现,往往难以有效区分良恶性病变,可能导致假阳性诊断。张雪等^[8]建立长期吸烟者肺间质纤维化背景下的孤立性肺结节恶性风险预测模型,测试组预测准确性为 84.70%;邱钱赛等^[10]研究表明,¹⁸F-FDG PET/CT 影像组学在鉴别良、恶性高代谢孤立性肺结节的准确性为 82.00% (测试组);上述研究同本研究结果相似。而本研究的多参数联合模型可综合评估病变的异质性特征、代谢特征和临床信息,且不需要复杂运算,容易获得。该多参数模型也为肺部病变的个体化诊疗提供了更为科学的依据。

本研究存在局限性。首先,纳入者均为被 PET/CT 诊断为恶性病变的病例,受不同医师诊断水平影响,可能会产生选择偏倚;其次,目前关于肿瘤代谢 HI 在良恶性鉴别诊断中的研究很少,研究结果未能进行多方位解释和比较。

综上,基于¹⁸F-FDG PET 肿瘤内代谢 HI 与 PET/CT 传统影像特征及临床特征相结合所建立的多参数联合模型,在肺部病变良恶性鉴别诊断中具有较高的临床应用价值。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 来瑞鹤:研究实施、论文撰写;耿羽智、何健:统计分析、研究实施;盛丹丹:研究指导、论文修改

参 考 文 献

- [1] Ferlay J, Ervik M, Lam F, et al. Global cancer observatory: cancer today [EB/OL]. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. (2022-09-23) [2024-12-08]. <https://gco.iarc.who.int/today/en>.
- [2] Mazzone PJ, Lam L. Evaluating the patient with a pulmonary nodule: a review [J]. JAMA, 2022, 327 (3): 264-273. DOI: 10.1001/jama.2021.24287.
- [3] Takamori S, Ishikawa S, Suzuki J, et al. Differential diagnosis of lung cancer and benign lung lesion using salivary metabolites: a preliminary study [J]. Thorac Cancer, 2022, 13 (3): 460-465. DOI: 10.1111/1759-7714.14282.
- [4] Susam S, Çinkooğlu A, Ceylan KC, et al. Diagnostic success of transthoracic needle biopsy and PET-CT for 1 to 2 cm solid indeterminate pulmonary nodules [J]. Clin Respir J, 2020, 14 (5): 453-461. DOI: 10.1111/crj.13152.
- [5] 程楠, 张谷青, 高明, 等. ¹⁸F-FDG PET/CT 肿瘤内代谢异质性参数预测肺腺癌 EGFR 基因突变的价值 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2024, 44 (1): 1-5. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220824-00269.
Cheng N, Zhang GQ, Gao M, et al. Predictive value of intratumoral heterogeneity measured by ¹⁸F-FDG PET/CT for EGFR mutation of adenocarcinoma [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2024, 44 (1): 1-5. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220824-00269.
- [6] Liu X, Wang SC, Ni M, et al. Correlation between ¹⁸F-FDG PET/CT intra-tumor metabolic heterogeneity parameters and KRAS mutation in colorectal cancer [J]. Abdom Radiol (NY), 2022, 47 (4): 1255-1264. DOI: 10.1007/s00261-022-03432-5.
- [7] 邢军, 原凌, 张红雨, 等. ¹⁸F-FDG PET/CT 代谢分布特征在孤立性肺病良恶性鉴别诊断中的价值 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2022, 42 (9): 518-523. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210121-00015.
Xing J, Yuan L, Zhang HY, et al. Value of ¹⁸F-FDG uptake features in differential diagnosis of benign and malignant solitary pulmonary lesions [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2022, 42 (9): 518-523. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210121-00015.
- [8] 张雪, 王振光, 杨光杰, 等. 长期吸烟者合并肺纤维化的孤立性肺结节¹⁸F-FDG PET/CT 恶性风险预测模型的建立 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2021, 41 (3): 140-144. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200331-00134.
Zhang X, Wang ZG, Yang GJ, et al. Prediction model for probability of malignancy in solitary pulmonary nodules on ¹⁸F-FDG PET/CT of smokers with pulmonary fibrosis [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 41 (3): 140-144. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200331-00134.
- [9] Nakajo M, Nakajo M, Jinguji M, et al. The value of intratumoral heterogeneity of ¹⁸F-FDG uptake to differentiate between primary benign and malignant musculoskeletal tumours on PET/CT [J]. Br J Radiol, 2015, 88 (1055): 20150552. DOI: 10.1259/bjr.20150552.
- [10] 邱钱赛, 冯峰, 石健, 等. ¹⁸F-FDG PET/CT 影像组学鉴别良、恶性高代谢孤立性肺结节 [J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30 (11): 1136-1142. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2022.11.010.
Qiu QS, Feng F, Shi J, et al. ¹⁸F-FDG PET/CT radiomics for differential diagnosis of benign and malignant hypermetabolism solitary pulmonary nodules [J]. Chin J Med Imaging, 2022, 30 (11): 1136-1142. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2022.11.010.

(收稿日期: 2024-07-26)