

基线¹⁸F-FDG PET/CT 代谢参数联合临床指标预测弥漫性大 B 细胞淋巴瘤预后

段润泽 张新超 郑璐 田丛娜 刘家乐 边艳珠 胡玉敬

河北省人民医院核医学科, 石家庄 050051

通信作者: 胡玉敬, Email: huyujing2110348@sina.com

【摘要】 目的 探讨基线¹⁸F-FDG PET/CT 代谢参数联合临床指标在预测弥漫性大 B 细胞淋巴瘤 (DLBCL) 患者预后中的价值, 并将各参数在预测中的重要性可视化。**方法** 对 2012 年 7 月至 2023 年 1 月间在河北省人民医院行基线¹⁸F-FDG PET/CT 检查并经病理证实且有随访结果的 134 例 DLBCL 患者 [男 63 例、女 71 例, 年龄 (57.2±15.9) 岁] 进行回顾性队列研究。根据随访后是否出现进展分为进展组和非进展组。收集患者临床资料, 包括乳酸脱氢酶 (LDH)、 β_2 微球蛋白、结外累及部位、有/无 B 症状等; 收集 PET/CT 参数, 包括 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 、最小 SUV (SUV_{min})、SUV 峰值 (SUV_{peak})、肿瘤代谢体积 (MTV)、病灶糖酵解总量 (TLG) 及肿瘤病灶之间的最大距离 (D_{max})。通过 Mann-Whitney *U* 检验、 χ^2 检验比较 2 组间各参数差异, 采用多因素 logistic 回归分析 DLBCL 患者疾病进展的独立预测因子。构建预测 DLBCL 疾病进展模型, 根据 ROC AUC 评价模型预测效能, 不同 AUC 比较采用 DeLong 检验。采用适形加法解释 (SHAP) 评估纳入模型的每个变量对预测的重要性及价值。**结果** 134 例患者中, 进展组 71 例, 非进展组 63 例, 2 组间结外累及、 D_{max} 、MTV、TLG、 β_2 微球蛋白水平差异有统计学意义 ($\chi^2=7.94$, *Z* 值: -2.47~-2.00, 均 $P<0.05$), 多因素 logistic 回归分析显示其均为独立预测因子 [比值比 (*OR*): 1.016~1.332, 均 $P<0.05$]。纳入结外累及、 β_2 微球蛋白构建临床模型, D_{max} 、MTV、TLG 构建 PET 模型, 5 个参数共同构建联合模型。临床、PET 及联合模型 AUC 分别为 0.664、0.774、0.801, PET 模型 AUC 高于临床模型 ($Z=2.09$, $P=0.036$), 联合模型 AUC 均高于 PET 及临床模型 (Z 值: 2.29、2.65, P 值: 0.021、0.008)。联合模型中 TLG、 β_2 微球蛋白、 D_{max} 、MTV、结外累及的 SHAP 值分别为 0.15、0.13、0.07、0.04、0.03, TLG 的影响最突出。**结论** 结外累及、 β_2 微球蛋白联合 D_{max} 、MTV、TLG 能早期无创有效预测 DLBCL 预后, 且 TLG 预测价值最高, 有助于改善预后风险分层并指导个体化治疗。

【关键词】 淋巴瘤, 大 B 细胞, 弥漫性; 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; 预后

基金项目: 国家自然科学基金 (82302252); 河北省自然科学基金 (H2022307068); 河北省政府资助临床医学优秀人才培养项目 (2022180-25)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20250317-00078

Prognosis prediction of baseline ¹⁸F-FDG PET/CT metabolic parameters combined with clinical indicators in patients with diffuse large B-cell lymphoma

Duan Runze, Zhang Xinchao, Zheng Lu, Tian Congna, Liu Jiale, Bian Yanzhu, Hu Yujing

Department of Nuclear Medicine, Hebei General Hospital, Shijiazhuang 050051, China

Corresponding author: Hu Yujing, Email: huyujing2110348@sina.com

【Abstract】 Objective To develop the prognostic value of baseline ¹⁸F-FDG PET/CT metabolic parameters combining clinical factors in patients with diffuse large B-cell lymphoma (DLBCL), and to perform and visualize the importance of each parameter. **Methods** This study was a retrospective cohort study. A total of 134 DLBCL patients (63 males, 71 females; age (57.2±15.9) years) who underwent ¹⁸F-FDG PET/CT imaging at Hebei General Hospital between July 2012 and January 2023 and confirmed with pathology and follow-up results were enrolled. According to the follow-up results, patients were divided into progression group and non-progression group. Clinical parameters including lactate dehydrogenase (LDH), β_2 -microglobulin, extranodal involvement sites, and presence of B symptoms, and PET/CT metabolic parameters including SUV_{max} , SUV_{mean} , minimum SUV (SUV_{min}), peak of SUV (SUV_{peak}), metabolic tumor volume (MTV), total lesion glycolysis (TLG) and the maximum distance between tumors (D_{max}) were obtained. Mann-Whitney *U* test and χ^2 test were used to analyze the data. Multiple logistic regression analysis was used to find independent predictors of disease progression in DLBCL patients. Significant parameters were used to construct models for predicting disease progression in DLBCL, and the predictive efficacy of

each model was evaluated by the ROC AUC, and differences of AUCs were compared by DeLong test. Shapley-additive explanation (SHAP) was used to evaluate the importance and value of each variable in the prediction model. **Results** Of 134 patients, 71 were in progression group and 63 were in non-progression group. There were significant differences in extranodal involvement, D_{max} , MTV, TLG, and $\beta 2$ -microglobulin between the progression group and the non-progression group ($\chi^2 = 7.94$, Z values: from -2.47 to -2.00 , all $P < 0.05$). Multiple logistic regression analysis revealed extranodal involvement, D_{max} , MTV, TLG, and $\beta 2$ -microglobulin were independent predictors (odds ratio (OR): 1.016–1.332, all $P < 0.05$). Clinical model was conducted based on extranodal involvement and $\beta 2$ -microglobulin, PET model was formed by D_{max} , MTV, and TLG, and the combined model of above 5 parameters was developed. The AUCs of the clinical, PET, and combined models were 0.664, 0.774, and 0.801, respectively. The predictive efficacy of PET model was higher than that of clinical model ($Z = 2.09$, $P = 0.036$), and the combined model was superior to both PET and clinical models (Z values: 2.29, 2.65, P values: 0.021, 0.008). The SHAP values of TLG, $\beta 2$ -microglobulin, D_{max} , MTV and extranodal involvement were 0.15, 0.13, 0.07, 0.04 and 0.03, respectively, and the SHAP value of TLG was the highest. **Conclusion** Combining $\beta 2$ -microglobulin, extranodal involvement with D_{max} , MTV, and TLG can effectively predict the prognosis of DLBCL patients, and TLG demonstrates the highest predictive value, which can improve prognostic risk stratification and guide personalized treatment for DLBCL patients.

【Key words】 Lymphoma, large B-cell, diffuse; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18; Prognosis

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82302252); Hebei Natural Science Foundation (H2022307068); Hebei Provincial Subsidizes the Training Program for Outstanding Talents in Clinical Medicine (2022180-25)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20250317-00078

弥漫性大 B 细胞淋巴瘤 (diffuse large B-cell lymphoma, DLBCL) 是最常见的非霍奇金淋巴瘤, 其侵袭性高、异质性强, 预后差异大^[1]。一线方案利妥昔单抗+环磷酰胺+多柔比星+长春新碱+泼尼松 (rituximab + cyclophosphamide + doxorubicin + vincristine + prednisone, R-CHOP) 可显著提高患者的完全缓解率, 但仍有约 1/3 的高危患者在初治后进展为复发或难治性淋巴瘤^[2]。靶向治疗、免疫治疗能明显改善高危患者的无进展生存 (progression-free survival, PFS) 率^[3-4], 如何识别这类高危患者而更改初治化疗方案是亟需解决的临床问题。

¹⁸F-FDG PET/CT 是 DLBCL 分期、疗效评估和预后评价的重要手段^[5]。肿瘤代谢体积 (metabolic tumor volume, MTV)、病灶糖酵解总量 (total lesion glycolysis, TLG) 等参数有助于评估 DLBCL 预后^[5-7], 但有关各参数在预测中贡献价值的研究较少。适形加法解释 (shapely-additive explanation, SHAP) 方法是一种基于博弈论的技术, 其计算每个参数对预测结果的贡献并按重要性排序, 增强各参数在预测模型中的可解释性^[8]。本研究基于临床参数及基线 PET/CT 代谢参数构建预测模型, 并可视化各参数的重要性, 有助于临床早期识别高危 DLBCL 患者, 为制定个体化治疗方法提供依据。

资料与方法

1. 研究对象。收集河北省人民医院 2012 年 7 月至 2023 年 1 月间行基线¹⁸F-FDG PET/CT 检查的

DLBCL 患者资料, 进行回顾性队列研究。纳入标准: (1) 经组织病理学检查确诊为 DLBCL; (2) 均接受基线¹⁸F-FDG PET/CT 检查并有阳性病灶 (病灶 SUV_{max} 高于肝血池摄取), 且可测量病灶长径 ≥ 1 cm; (3) 应用 R-CHOP 或类 R-CHOP 化疗方案。排除标准: (1) 既往有其他肿瘤病史; (2) 曾接受过治疗, 包括化疗、放疗或手术治疗等; (3) 失访; (4) 临床资料不完整。最终纳入 134 例患者, 其中男 63 例、女 71 例, 年龄 (57.2 ± 15.9) 岁。收集 DLBCL 患者的临床信息和实验室检查, 包括性别、年龄、 $\beta 2$ 微球蛋白、乳酸脱氢酶 (lactate dehydrogenase, LDH)、有/无 B 症状、美国东部肿瘤协作组功能状态 (Eastern Cooperative Oncology Group Performance Status, ECOG PS) 评分、Ann Arbor 分期、国际预后指数 (international prognostic index, IPI) 评分、结外累及部位。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则, 并经河北省人民医院医学伦理委员会批准 [伦理审查编号: (2023) 科研伦审第 (20) 号]。

2. PET/CT 显像方法。所有患者行¹⁸F-FDG PET/CT 显像前禁食 ≥ 6 h, 空腹血糖 ≤ 11.1 mmol/L。根据体质量, 在患者安静状态下经肘静脉注射¹⁸F-FDG (由河北安迪科正电子技术有限公司提供, 放化纯 $\geq 95\%$) 3.70~5.55 MBq/kg。注射后患者静卧 50~60 min, 再应用美国 GE Discovery Elite PET/CT 设备进行图像采集: 扫描范围从颅底到股骨中段, CT 采集参数: 管电压 120 kV, 管电流 100 mA, 层厚 3.3 mm; PET 采集采用三维-飞行时间模式, PET 数据经过

CT 数据进行衰减校正,并使用有序子集最大期望值迭代法进行重建,层厚 3.3 mm,最终获得 PET、CT 及其融合图像。

3.图像处理及参数获得。将数据导入 LIFE_x 软件(7.6.0 版;http://www.lifexsoft.org),由 2 名核医学医师采用 40%相对阈值法逐层优化 ROI。如意见不一致,由第 3 名高年资医师确定。选择代谢活性最高且长径>1 cm 病灶提取代谢参数,如所有病灶代谢参数一致则优选近体表且体积最大者,获得参数如下: SUV_{max}、SUV_{mean}、最小 SUV (minimum SUV, SUV_{min})、SUV 峰值 (peak of SUV, SUV_{peak})、MTV、TLG 及肿瘤病灶之间的最大距离 (maximum distance between tumors, D_{max}),仅有单一病灶则 D_{max} 为 0。

4.随访。使用病例系统或电话进行随访。第 1 年每 3 个月随访 1 次,后续每半年随访 1 次。2 年无事件生存 (event-free survival, EFS) 结局定义为 2 年随访期内任何原因导致的疾病进展、复发或死亡。参考 Lugano 标准^[6],并根据是否发生 2 年 EFS 结局,将患者分为进展组和非进展组。

5.统计学处理。采用 IBM SPSS Statistics 26.0 软件对数据进行统计学分析,符合正态分布的定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的定量资料采用

$M(Q_1, Q_3)$ 表示,2 组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验;定性资料用频数(百分比)表示,2 组间比较采用 Wilcoxon 秩检验或 χ^2 检验。采用多因素 logistic 回归分析 DLBCL 患者疾病进展的独立预测因子。采用二元 logistic 回归构建预测模型。应用 Hosmer-Lemeshow 检验模型拟合优度, $P>0.05$ 为拟合度好。采用 ROC 曲线测定各因素最佳阈值,采用 Delong 检验比较不同模型 AUC 的差异。采用 Python 软件(3.9.10 版)的 SHAP 包评估纳入模型的每个变量对预测的重要性及价值。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义(双侧检验)。

结 果

1.一般资料。134 例 DLBCL 患者中,进展组 71 例,非进展组 63 例,进展组出现进展的时间 3~23 个月,2 组患者特征比较见表 1。D_{max}、MTV、TLG、 $\beta 2$ 微球蛋白、结外累及在 2 组间差异有统计学意义($\chi^2 = 7.94$, *Z* 值: -2.47 ~ -2.00, 均 $P<0.05$);多因素 logistic 回归分析显示上述特征均为 DLBCL 患者疾病进展的独立预测因子[比值比(odds ratio, OR)分别为 1.016 (95% CI:1.011~1.036)、1.069(95% CI:1.042~1.123)、1.332(95% CI:1.112~1.476)、1.285(95% CI:1.121~2.032)和 1.214(95% CI:1.013~1.435),均 $P<0.05$]。

表 1 进展组与非进展组 DLBCL 患者的临床特征和 PET/CT 特征比较

组别	例数	年龄 [岁;M(Q ₁ ,Q ₃)]	性别(例)		$\beta 2$ 微球蛋白 [mg/L;M(Q ₁ ,Q ₃)]	LDH [U/L;M(Q ₁ ,Q ₃)]	B 症状(例) ^a		Ann Arbor 分期(例)	
			男	女			有	无	I~II 期	III~IV 期
进展组	71	62.9(48.0,72.0)	32	39	2.36(1.88,3.54)	229.9(180.6,305.9)	29	42	26	45
非进展组	63	58.3(46.5,66.0)	31	32	1.87(1.65,2.60)	179.9(155.9,308.3)	16	47	34	29
检验值		-1.20	0.51 ^d		-2.10	-1.32	2.98 ^d		3.95 ^d	
<i>P</i> 值		0.230	0.473		0.036	0.186	0.081		0.267	

组别	累及结外器官(例)					ECOG PS 评分(例)			IPI 评分(例) ^c			
	骨	胃肠道	肝	肺	其他 ^b	总计	0~1 分	≥2 分	0~1 分	2 分	3 分	4~5 分
进展组	19	17	4	3	23	66	35	36	19	19	18	15
非进展组	10	10	3	7	16	46	39	24	24	14	14	11
检验值	1.87 ^d	0.99 ^d	0.63 ^d	2.19 ^d	0.26 ^d	7.94 ^d	1.59 ^d		-0.98			
<i>P</i> 值	0.145	0.285	1.000	0.192	0.584	0.003	0.207		0.327			

组别	MTV	TLG	D _{max}	SUV _{max}	SUV _{min}	SUV _{peak}	SUV _{mean}
	[ml;M(Q ₁ ,Q ₃)]	[g;M(Q ₁ ,Q ₃)]	[cm;M(Q ₁ ,Q ₃)]	[M(Q ₁ ,Q ₃)]	[M(Q ₁ ,Q ₃)]	[M(Q ₁ ,Q ₃)]	[M(Q ₁ ,Q ₃)]
进展组	85.5(16.2,349.3)	449.4(116.0,2 295.5)	32.0(8.1,50.0)	16.9(11.9,23.9)	5.3(2.6,8.0)	15.8(10.3,21.2)	9.6(6.3,14.4)
非进展组	51.3(16.8,229.6)	508.4(161.9,2 746.7)	12.3(6.5,41.7)	19.1(14.8,28.4)	5.6(2.5,7.6)	18.8(13.1,27.4)	11.3(8.7,16.7)
检验值	-2.47	-2.13	-2.00	-0.03	-0.65	-0.62	-0.13
<i>P</i> 值	0.013	0.033	0.042	0.973	0.519	0.539	0.898

注:^a(1)不明原因发热>38℃,连续 3 d 以上,排除感染原因;(2)夜间盗汗(可浸透衣物);(3)体质量于诊断前半年内下降>10%;^b包括心包、甲状腺、肾、输尿管、睾丸、肌肉;^c国际预后指数(IPI)评分包含 5 个危险因素:年龄>60 岁、Ann Arbor 分期 III~IV 期,结外侵犯>1 个部位、乳酸脱氢酶(LDH)水平>250 U/L、美国东部肿瘤协作组功能状态(ECOG PS)评分≥2 分,每个危险因素均为 1 分;^d为 χ^2 值,余检验值为 *Z* 值;DLBCL 为弥漫性大 B 细胞淋巴瘤,MTV 为肿瘤代谢体积,TLG 为病灶糖酵解总量,D_{max} 为肿瘤病灶之间的最大距离,SUV_{min} 为最小 SUV,SUV_{peak} 为 SUV 峰值

2. 模型构建及性能评估。将 $\beta 2$ 微球蛋白、结外累及构建临床模型, D_{max} 、MTV 及 TLG 构建 PET 模型, 5 个参数构建联合模型, 各模型拟合良好 (均 $P > 0.05$)。临床模型、PET 模型和联合模型的 AUC (图 1) 分别为 0.664 (95% CI: 0.558~0.743)、0.774 (95% CI: 0.684~0.848) 和 0.801 (95% CI: 0.714~0.872), 其中 PET 模型 AUC 高于临床模型 ($Z=2.09, P=0.036$), 联合模型 AUC 均高于 PET 模型和临床模型 (Z 值: 2.29、2.65, P 值: 0.021、0.008)。

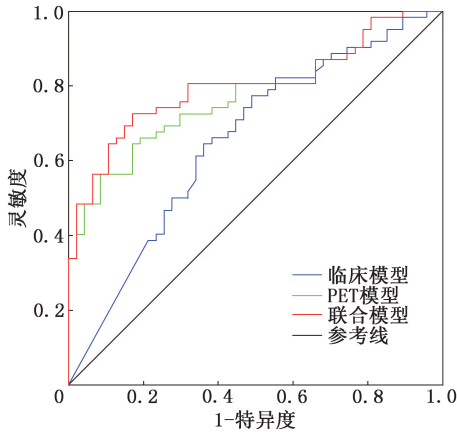


图 1 临床模型、PET 模型及联合模型预测 134 例弥漫性大 B 细胞淋巴瘤患者预后的 ROC 曲线 结外累及、 $\beta 2$ 微球蛋白构建临床模型, 肿瘤病灶之间的最大距离 (D_{max})、肿瘤代谢体积 (MTV)、病灶糖酵解总量 (TLG) 构建 PET 模型, 临床参数及 PET 代谢参数构建联合模型

3. 可视化各参数对模型的重要性。预测模型中各参数 SHAP 分析见图 2。5 个参数的重要性排序 (从高到低) 依次为 TLG、 $\beta 2$ 微球蛋白、 D_{max} 、MTV、结外累及, SHAP 值分别为 0.15、0.13、0.07、0.04、0.03 (图 2A); ROC 曲线示 D_{max} 、MTV、TLG、 $\beta 2$ 微球蛋白最佳界值分别为 7.7 cm、173 ml、6 773.21 g、2.08 mg/L, 低 TLG (<6 773.21 g)、低 $\beta 2$ 微球蛋白 (<2.08 mg/L)、低 D_{max} (<7.7 cm)、低 MTV (<173 ml)、无结外累及患者不易出现进展, 预后更佳 (图 2B)。

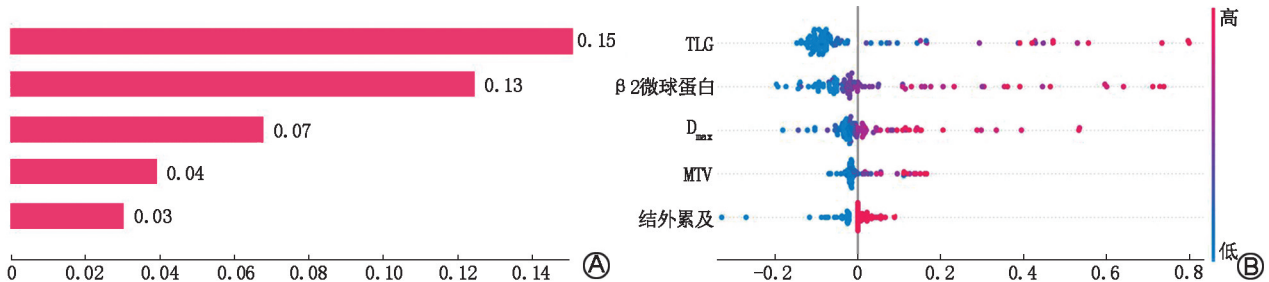


图 2 基于 134 例弥漫性大 B 细胞淋巴瘤患者预后预测参数的迺形加法解释 (SHAP) 分析图 A. 不同参数在预测模型中的重要性排序及 SHAP 值, 在纵坐标上的位置决定了特征的降序排列 (重要性从高到低), 每个特征的重要性由横坐标 SHAP 值决定; B. TLG、 $\beta 2$ 微球蛋白、 D_{max} 、MTV、结外累及数值越低, 越不易出现进展, 疾病预后越佳

讨论

DLBCL 是最常见的侵袭性强、异质性高的非霍奇金淋巴瘤, 经标准 R-CHOP 化疗方案后, 仍有部分患者治疗效果不佳。因此, 治疗前早期识别 R-CHOP 方案疗效不佳的高危人群, 并给予个体化的治疗方案尤为重要。本研究表明 $\beta 2$ 微球蛋白、结外累及联合 TLG、 D_{max} 、MTV 可早期无创识别 DLBCL 治疗后疾病进展的高危患者。

IPI 评分是在利妥昔单抗克隆抗体使用前提出的评估淋巴瘤预后的指标, 基于临床参数和实验室检查结果评分, 评分高低与 PFS、总生存 (overall survival, OS) 明显相关, 但其他临床因素如淋巴瘤的分子分型、基因突变、循环肿瘤 DNA 等均影响预后, 且 IPI 评分在早期识别一线化疗后易出现复发 (难治) 的患者时, 存在一定的局限性^[8-10]。PET 代谢参数较 IPI 评分能更好地预测及识别高危的 DLBCL 患者^[11], 与该研究结果一致。

MTV 和 TLG 可量化肿瘤的整体代谢活性体积和负荷。TLG 能够对 DLBCL 患者进行风险分层, 高 TLG 提示更高的肿瘤代谢负荷, 与较差的预后相关, 研究发现高 TLG 组复发率显著高于低 TLG 组^[12-13]。原发胃肠道 DLBCL 预测预后的研究显示, MTV 和 TLG 均为 PFS 和 OS 的独立风险因子^[14]。本研究结果与既往研究一致, 且显示 TLG 的预测重要性优于 MTV。

D_{max} 代表肿瘤的播散能力, D_{max} 越大播散能力越强。 $\beta 2$ -微球蛋白水平与肿瘤细胞的增殖活跃有关。有研究显示治疗前较高 D_{max} 和 $\beta 2$ -微球蛋白的患者 PFS 和 OS 明显缩短^[15-16], 这与本研究一致, 且本研究显示 $\beta 2$ -微球蛋白预测价值优于 D_{max} 。

SHAP 是一类解释预测模型的方法, 其核心思想是通过公平分配量化每个参数对模型预测的贡献度, 通过 SHAP 值可视化每个参数对模型的贡献度,

对预测模型进行全局和局部的解释^[17]。在本研究构建的预测模型中,TLG 的 SHAP 值最高,在临床及影像特征基础上进一步提升预后评估价值,有助于针对预后结果较差的高危患者进行个体分层处理。

本研究存在一定的局限性:(1)本研究为单中心、回顾性研究,纳入病例总数偏少,可能存在选择偏倚,需进一步多中心研究;(2)纳入病例中 Ann Arbor 分期 I ~ II 期患者数量较少,失访者中 I ~ II 期患者居多,导致进展组数量高于非进展组,可能会影响研究结果,需大样本研究验证;(3)DLBCL 病灶较多,病灶的分割尚无共识,不同的分割方法可能对结果产生影响。

综上,基线 PET/CT 的参数 TLG、MTV 具有预测 DLBCL 预后的价值,联合 D_{max} 及临床参数 $\beta 2$ 微球蛋白、结外累及的联合模型有助于改善预后风险分层并指导个体化治疗。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 段润泽:研究设计和实施、论文撰写;张新超、郑璐:数据采集和分析;田丛娜、刘家乐:统计学分析、数据解释;边艳珠:研究指导、论文修改;胡玉敬:研究设计和实施、论文修改

参 考 文 献

- [1] Alaggio R, Amador C, Anagnostopoulos I, et al. The 5th edition of the World Health Organization classification of haematolymphoid tumours: lymphoid neoplasms [J]. *Leukemia*, 2022, 36(7): 1720-1748. DOI:10.1038/s41375-022-01620-2.
- [2] Rosenthal A, Munoz J, Jun M, et al. Comparisons of treatment outcomes of epcoritamab versus chemoimmunotherapy, polatuzumab-based regimens, tafasitamab-based regimens, or chimeric antigen receptor T-cell therapy, in third-line or later relapsed/refractory large B-cell lymphoma [J]. *J Hematol Oncol*, 2024, 17(1): 69. DOI:10.1186/s13045-024-01594-x.
- [3] Dabrowska-Iwanicka A, Nowakowski GS. DLBCL: who is high risk and how should treatment be optimized? [J]. *Blood*, 2024, 144(25): 2573-2582. DOI:10.1182/blood.2023020779.
- [4] Sarraf Yazdy M, Kasamon YL, Gu W, et al. FDA approval summary: polatuzumab vedotin in the first-line treatment of select large B-cell lymphomas [J]. *Clin Cancer Res*, 2024, 30(24): 5521-5526. DOI:10.1158/1078-0432.CCR-24-1729.
- [5] 中华医学会核医学分会.淋巴瘤 PET/CT 及 PET/MR 显像临床应用指南(2025 版) [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2025, 45(2): 94-104. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240924-00333. Chinese Society of Nuclear Medicine. Clinical practice guidelines for PET/CT and PET/MR imaging in lymphoma (2025 edition) [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 45(2): 94-104. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240924-00333.
- [6] Hubbeling H, Leithner D, Silverman EA, et al. Metabolic tumor volume response after bridging therapy determines chimeric antigen receptor T-cell outcomes in large B-cell lymphoma [J]. *Clin Cancer Res*, 2024, 30(22): 5083-5093. DOI:10.1158/1078-0432.CCR-24-0830.
- [7] Mouheb M, Pierre-Jean M, Devillers A, et al. Prognostic value of baseline tumor burden and tumor dissemination extracted from ¹⁸F-FDG PET/CT in a cohort of adult patients with early or advanced Hodgkin lymphoma [J]. *Clin Nucl Med*, 2024, 49(1): e1-e5. DOI:10.1097/RLU.0000000000004930.
- [8] 崔曹哲,马柠,王倩楠,等. ¹⁸F-FDG PET/CT 影像组学的可解释性机器学习模型对弥漫性大 B 细胞淋巴瘤的预后评估 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2025, 45(1): 1-6. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240131-00049. Cui CZ, Ma N, Wang QN, et al. Interpretable machine learning model based on ¹⁸F-FDG PET/CT radiomics for prognostic evaluation of diffuse large B-cell lymphoma [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 45(1): 1-6. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240131-00049.
- [9] Mendeveille MS, Janssen J, Los-de Vries GT, et al. Integrating genetic subtypes with PET scan monitoring to predict outcome in diffuse large B-cell lymphoma [J]. *Nat Commun*, 2025, 16(1): 109. DOI:10.1038/s41467-024-55614-y.
- [10] Warnissorn N, Kanitsap N, Niparuck P, et al. External validation and comparison of IPI, R-IPI, and NCCN-IPI in diffuse large B-cell lymphoma patients treated with R-CHOP to predict 2-year progression-free survival [J]. *Hematology*, 2022, 27(1): 1237-1245. DOI:10.1080/16078454.2022.2147916.
- [11] Eertink JJ, van de Brug T, Wieggers SE, et al. ¹⁸F-FDG PET baseline radiomics features improve the prediction of treatment outcome in diffuse large B-cell lymphoma [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 49(3): 932-942. DOI:10.1007/s00259-021-05480-3.
- [12] Zhou M, Chen Y, Huang H, et al. Prognostic value of total lesion glycolysis of baseline ¹⁸F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography in diffuse large B-cell lymphoma [J]. *Oncotarget*, 2016, 7(50): 83544-83553. DOI:10.18632/oncotarget.13180.
- [13] Jiang C, Teng Y, Zheng Z, et al. Value of total lesion glycolysis and cell-of-origin subtypes for prognostic stratification of diffuse large B-cell lymphoma patients [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2021, 11(6): 2509-2520. DOI:10.21037/qims-20-1166.
- [14] 蒋冲,来瑞鹤,孙一文,等.基线 PET 代谢参数联合 Bcl-2/c-Myc 蛋白双表达在预测原发胃肠道弥漫性大 B 细胞淋巴瘤患者危险度分层中的价值 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2023, 43(12): 730-735. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20220817-00266. Jiang C, Lai RH, Sun YW, et al. Prognostic stratification of baseline PET metabolic parameters combined with Bcl-2/c-Myc dual expression in patients with primary gastrointestinal diffuse large B-cell lymphoma [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2023, 43(12): 730-735. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20220817-00266.
- [15] Xu H, Ma J, Yang G, et al. Prognostic value of metabolic tumor volume and lesion dissemination from baseline PET/CT in patients with diffuse large B-cell lymphoma: further risk stratification of the group with low-risk and high-risk NCCN-IPI [J]. *Eur J Radiol*, 2023, 163: 110798. DOI:10.1016/j.ejrad.2023.110798.
- [16] Wan M, Zhang W, Huang H, et al. Development and validation of a novel prognostic nomogram for advanced diffuse large B cell lymphoma [J]. *Clin Exp Med*, 2024, 24(1): 64. DOI: 10.1007/s10238-024-01326-y.
- [17] Hu J, Xu J, Li M, et al. Identification and validation of an explainable prediction model of acute kidney injury with prognostic implications in critically ill children: a prospective multicenter cohort study [J]. *EclinicalMedicine*, 2024, 68: 102409. DOI: 10.1016/j.eclinm.2023.102409.

(收稿日期:2025-03-17)