

基线¹⁸F-FDG PET/CT 代谢参数及相关临床因素对套细胞淋巴瘤预后的预测价值

张雨¹ 丁重阳² 刘雨露¹ 滕月³ 许景艳¹

¹南京大学医学院附属鼓楼医院血液内科, 南京 210008; ²南京医科大学第一附属医院核医学科, 南京 210029; ³南京大学医学院附属鼓楼医院核医学科, 南京 210008

通信作者: 许景艳, Email: xjy1967@sina.com

【摘要】 目的 探讨基线¹⁸F-FDG PET/CT 肿瘤代谢参数及临床因素构建的联合模型对套细胞淋巴瘤(MCL)患者的预后价值。方法 回顾性队列研究。收集 2015 年 12 月至 2024 年 12 月间 71 例治疗前行¹⁸F-FDG PET/CT 检查且经病理确诊的 MCL 患者(男 52 例、女 19 例, 中位年龄 63 岁)资料, 其中南京大学医学院附属鼓楼医院 42 例、南京医科大学第一附属医院 29 例。通过多因素 Cox 比例风险回归模型筛选与无进展生存(PFS)和总生存(OS)相关的临床因素及 PET 半定量参数, 分别构建独立因素模型和联合模型, 行 DeLong 检验比较各模型 AUC 差异。使用联合模型对患者评分, 根据 ROC 曲线确定风险评分的最佳阈值, 将患者分为高风险组和低风险组, 行 Kaplan-Meier 生存分析和 log-rank 检验比较高、低风险组患者生存曲线的差异。结果 多因素 Cox 回归分析显示, WBC 计数[风险比(HR)=5.11, 95% CI: 2.17~12.04, P<0.001]和病灶糖酵解总量(TLG; HR=6.85, 95% CI: 2.32~20.19, P<0.001)是预测 PFS 的独立因素; WBC 计数(HR=11.61, 95% CI: 2.01~67.15, P=0.006)和 TLG(HR=17.57, 95% CI: 1.75~175.90, P=0.015)是预测 OS 的独立因素。据此构建的联合模型的预测效能优于各独立因素模型(Z 值: 1.96~2.55, P 值: 0.011~0.049)。Kaplan-Meier 生存分析显示, 高风险组[PFS 风险评分 \geq 3.21 分(44 例), OS 风险评分 \geq 14.77 分(35 例)]患者的疾病进展/复发率与死亡率明显高于低风险组[PFS 风险评分<3.21 分(27 例), OS 风险评分<14.77 分(36 例)]; χ^2 值: 18.33、6.75, P 值: <0.001、0.009。结论 结合肿瘤代谢参数和临床因素的联合模型可更准确地预测 MCL 患者预后。

【关键词】 淋巴瘤, 膜细胞; 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: 南京大学医学院附属鼓楼医院临床研究基金(2024-LCYJ-MS-25)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20250415-00109

Prognostic value of baseline ¹⁸F-FDG PET/CT metabolic parameters and related clinical factors in mantle cell lymphoma

Zhang Yu¹, Ding Chongyang², Liu Yulu¹, Teng Yue³, Xu Jingyan¹

¹Department of Hematology, Nanjing Drum Tower Hospital, Affiliated Hospital of Medical School, Nanjing University, Nanjing 210008, China; ²Department of Nuclear Medicine, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China; ³Department of Nuclear Medicine, Nanjing Drum Tower Hospital, Affiliated Hospital of Medical School, Nanjing University, Nanjing 210008, China

Corresponding author: Xu Jingyan, Email: xjy1967@sina.com

【Abstract】 **Objective** To evaluate the prognostic value of a combined model incorporating tumor metabolic parameters derived from baseline ¹⁸F-FDG PET/CT and clinical factors in patients with mantle cell lymphoma (MCL). **Methods** This was a retrospective cohort study. A total of 71 MCL patients (52 males and 19 females; median age of 63 years) who underwent ¹⁸F-FDG PET/CT before treatment between December 2015 and December 2024 were enrolled. Patients were with confirmed histological diagnosis and enrolled from two centers: 42 from Nanjing Drum Tower Hospital, Affiliated Hospital of Medical School, Nanjing University, and 29 from the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University. Multivariate Cox regression analysis was performed to identify clinical factors and PET-semi-quantitative parameters associated with progression-free survival (PFS) and overall survival (OS), and independent factor models as well as combined model were constructed respectively. DeLong test was used to compare the differences in AUCs among the models. Patients were scored using combined model. The optimal cut-off value for risk stratification was determined by ROC curve analysis, dividing patients into high- and low-risk groups, with survival analysis conducted using Kaplan-Meier method. The differences in the Kaplan-Meier survival curves between the high-

risk and low-risk groups were compared by using log-rank test. **Results** Multivariate Cox regression analysis revealed that WBC count (hazard ratio (HR)= 5.11, 95% CI : 2.17–12.04, P <0.001) and total lesion glycolysis (TLG; HR =6.85, 95% CI : 2.32–20.19, P <0.001) were independent prognostic factors for PFS, while WBC count (HR =11.61, 95% CI : 2.01–67.15, P =0.006) and TLG (HR =17.57, 95% CI : 1.75–175.90, P =0.015) were independent prognostic factors for OS. Accordingly, the combined model demonstrated superior predictive performance compared to models based on individual predictors (Z values: 1.96–2.55, P values: 0.011–0.049). Kaplan-Meier analysis showed higher rates of disease progression recurrence or mortality in high-risk group (risk score of PFS \geq 3.21(n =44), risk score of OS \geq 14.77(n =35)) compared to low-risk group (risk score of PFS<3.21(n =27), risk score of OS<14.77(n =36)); χ^2 values: 18.33, 6.75, P values: <0.001, 0.009). **Conclusion** The combined model integrating tumor metabolic parameters and clinical factors provides more accurate prediction of prognosis in patients with MCL.

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

Fund program: Clinical Research Fund of Nanjing Drum Tower Hospital, Affiliated Hospital of Medical School, Nanjing University (2024-LCYJ-MS-25)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20250415-00109

套细胞淋巴瘤(mantle cell lymphoma, MCL)是一种侵袭性 B 细胞非霍奇金淋巴瘤(B-cell non-Hodgkin lymphoma, B-NHL),具有高度异质性^[1],约占淋巴瘤的 5%~7%,好发于中老年男性^[2-3]。多数 MCL 患者在确诊时已处于晚期阶段,复发或进展风险较高,且常伴结外部位受累。高龄、体能状态差及严重合并症均为不良预后因素。早期预后评估有助于指导治疗决策,使患者从强化治疗中获益。

MCL 国际预后指数(MCL International Prognostic Index, MIPI)是首个针对 MCL 的特异性预后评估系统,该指数通过年龄、美国东部肿瘤协作组行为状态(Eastern Cooperative Oncology Group Performance Status, ECOG PS)评分、乳酸脱氢酶(lactic dehydrogenase, LDH)水平和 WBC 计数将患者分为低风险、中风险和高风险^[4]。多项研究表明,基线¹⁸F-PET/CT 代谢参数对未经治疗的 MCL 患者的无进展生存(progression-free survival, PFS)具有显著预测价值^[5-6]。然而,目前关于临床因素联合代谢参数评估 MCL 预后和分期的研究有限。本研究旨在基于¹⁸F-FDG PET/CT 提取半定量代谢参数,联合相关临床因素构建预后模型,并评估其在 MCL 中的预测价值。

资料与方法

1.研究对象。本研究为回顾性队列研究。分析 2015 年 12 月至 2024 年 12 月间于南京大学医学院附属鼓楼医院(42 例)及南京医科大学第一附属医院(29 例)经组织病理学检查确诊的 71 例 MCL 患者临床资料及¹⁸F-FDG PET/CT 影像数据。入组患者中,男 52 例、女 19 例,中位年龄 63(范围 31~82)岁。

纳入标准:(1)经组织病理学检查证实为 MCL;(2)行¹⁸F-FDG PET/CT 基线检查;(3)基线 PET/CT 存在阳性病灶;(4)一线治疗方案均为利妥昔单抗

隆抗体+环磷酰胺+多柔比星+长春新碱+泼尼松(rituximab+cyclophosphamide+doxorubicin+vincristine+prednisone, R-CHOP)类方案。排除标准:(1)既往有其他肿瘤病史;(2)基线检查前曾接受化疗或放疗;(3)失访;(4)临床资料不完整;(5)合并其他严重疾病。

收集患者临床资料及实验室检查结果,包括年龄、性别、LDH 水平、B 症状、ECOG PS 评分(0~5 分)、MIPI 评分、Ann Arbor 分期、结外累及、骨髓累及等。本研究经南京大学医学院附属鼓楼医院和南京医科大学第一附属医院伦理委员会批准(伦理编号:2025-0298-01 和 2015-NT-001),研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

2. PET/CT 显像。所有患者在 PET/CT 检查前至少禁食 6 h,空腹血糖<11.1 mmol/L。根据患者体质量经前臂浅静脉注射¹⁸F-FDG(南京江原安迪科正电子发展有限公司,放化纯>95%)3.70~5.55 MBq/kg,注射后患者安静休息 50~60 min。PET/CT 图像采集取仰卧位,设备为德国 Siemens Biograph 16 HR PET/CT 仪和荷兰 Philips GXL-16 PET/CT 仪,扫描颅底至大腿中部,必要时至双足水平。PET 扫描条件:采集 7~10 个床位,每个床位 1.5 min(Philips GXL-16);采集 6~7 个床位,每个床位 2.0 min(Siemens Biograph 16)。CT 扫描条件:管电压 120 kV、管电流 100 mA、层厚 2 mm(Philips GXL-16);管电压 120 kV、管电流 150~200 mA、层厚 5 mm(Siemens Biograph 16)。先行 CT 扫描,随后行 PET 数据采集,PET 图像采用 CT 数据进行衰减校正,通过迭代法重建图像。

3.图像分析。采用肿瘤代谢评估软件 Lifex 7.3.0(<https://www.lifexsoft.org>)对 PET 图像进行勾画。PET/CT 图像均由 2 名具有 10 年工作经验的核医学科主治医师分别完成 1 次勾画,勾画结果差异较

大时由核医学科主任医师参与讨论后决定。沿淋巴瘤病灶边缘勾画 ROI, 根据欧洲核医学协会推荐^[7], 采用相对阈值法, 以 41% SUV_{max} 作为阈值, 由软件自动进行容积分割, 计算病灶 SUV_{max} 、总肿瘤代谢体积 (total metabolic tumor volume, TMTV)、病灶糖酵解总量 (total lesion glycolysis, TLG) 和肿瘤病灶之间的最大距离 (maximum distance between tumors, D_{max})。

4. 随访。通过门诊/住院病历系统回顾结合电话随访, 评估患者治疗后状况。研究终点为 PFS 和总生存 (overall survival, OS)。PFS 定义为从确诊日期至首次出现疾病进展和 (或) 复发、任何原因导致死亡或未次随访的时间。OS 定义为从确诊到任何原因导致死亡的时间或随访截止的时间。记录患者 PFS、OS、生存状态 (患者是否出现疾病进展、复发或死亡)。

5. 统计学处理。采用 IBM SPSS Statistics 27.0.1 软件和 R 4.2.2 软件进行统计分析。不符合正态分布的定量资料用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。分别以 PFS、OS 作为结局变量, 通过 ROC 曲线分析确定 SUV_{max} 、TMTV、TLG 和 D_{max} 的最佳阈值。采用单因素 Cox 比例风险回归模型筛选出 $P < 0.05$ 的变量, 将其纳入多因素模型 (向前法), 以确定影响 PFS 和 OS 的独立因素。基于独立预后因素, 分别构建单因素模型和联合预测模型。通过时间依赖性 ROC 曲线评估模型性能, 采用 Delong 检验比较各模型 AUC 差异。构建列线图对模型进行可视化, 绘制校准曲线评估模型的拟合优度。使用联合模型对患者进行评分, 根据 ROC 曲线确定风险评分的最佳阈值, 将患者分为高风险组和低风险组, 利用 Kaplan-Meier 曲线进行生存分析, 行 log-rank 检验比较高、低风险组患者生存曲线的差异。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义 (双侧检验)。

结 果

1. 一般资料。随访 1~98 个月, 中位随访时间为 54 个月。至随访结束, 71 例 MCL 患者中 25 例 (35.21%) 出现疾病进展或复发, 10 例 (14.08%) 死亡, PFS 率为 64.79% (46/71), OS 率为 85.92% (61/71)。诊断 PFS、OS 的 SUV_{max} 最佳阈值为 18.01、18.01, TMTV 最佳阈值为 332.19 cm^3 、478.50 cm^3 , TLG 最佳阈值为 1 380.22 g、1 447.33 g, D_{max} 最佳阈值为 44.30 cm、20.00 cm。

2. 单因素和多因素 Cox 回归分析。单因素分析显示 (表 1), SUV_{max} 、TMTV、TLG、 D_{max} 、B 症状、脾肿

大、大包块、MIPI 评分、血清 $\beta 2$ -微球蛋白、Hb、WBC 计数是与 MCL 患者 PFS 有关的独立因素 (均 $P < 0.05$); SUV_{max} 、TMTV、TLG、B 症状、脾肿大、MIPI 评分、LDH、血清 $\beta 2$ -微球蛋白、WBC 计数是与 MCL 患者 OS 有关的独立因素 (均 $P < 0.05$)。多因素 Cox 回归分析显示, WBC 计数 [风险比 (hazard ratio, HR) = 5.11, 95% CI: 2.17~12.04, $P < 0.001$] 和 TLG (HR = 6.85, 95% CI: 2.32~20.19, $P < 0.001$) 是预测 PFS 的独立因素; WBC 计数 (HR = 11.61, 95% CI: 2.01~67.15, $P = 0.006$) 和 TLG (HR = 17.57, 95% CI: 1.75~175.90, $P = 0.015$) 是预测 OS 的独立因素。

3. 预后模型的比较。基于多因素 Cox 分析确定的独立预后因素, 本研究构建了 3 个预测模型: TLG 模型、WBC 模型、TLG-WBC 联合模型。时间依赖性 ROC 曲线分析显示, 预测 PFS 时, TLG-WBC 联合模型 AUC 为 0.77 (95% CI: 0.75~0.94), 明显高于 TLG 模型 0.67 (95% CI: 0.63~0.87) 和 WBC 模型 0.70 (95% CI: 0.65~0.87) (Z 值: 2.19、2.55, P 值: 0.028、0.011); 预测 OS 时, TLG-WBC 联合模型 AUC 为 0.88 (95% CI: 0.80~1.00), 明显高于 TLG 模型 0.74 (95% CI: 0.70~0.83) 和 WBC 模型 0.73 (95% CI: 0.58~0.99) (Z 值: 2.53、1.96, P 值: 0.011、0.049)。综上, TLG-WBC 联合模型预测 PFS 和 OS 的效能更优。

基于 TLG-WBC 联合模型构建的列线图 (图 1) 显示出良好的预测性能, 其校准曲线在 1 年、3 年和 5 年时间点的预测值与实际观察值高度一致, 表明该模型对 MCL 预后具有可靠的预测能力。

4. Kaplan-Meier 生存曲线分析 (图 2)。通过 ROC 曲线分析确定联合模型风险评分的最佳阈值: PFS 为 3.21 分, OS 为 14.77 分, 据此将患者划分为高风险组和低风险组。对于 PFS, 高风险 (≥ 3.21 分) 组 44 例, 低风险 (< 3.21 分) 组 27 例; 对于 OS, 高风险 (≥ 14.77 分) 组 35 例, 低风险 (< 14.77 分) 组 36 例。Kaplan-Meier 分析表明, 高风险组患者的疾病进展/复发率和死亡率均高于低风险组 (χ^2 值: 18.33、6.75, P 值: < 0.001 、0.009)。截止末次随访, 71 例 MCL 患者的实际 1 年、3 年、5 年 PFS 率分别为 85.92% (61/71)、74.65% (53/71)、67.61% (48/71), 实际 1 年、3 年、5 年 OS 率分别为 94.37% (67/71)、92.96% (66/71)、91.55% (65/71)。

讨 论

MCL 是一种侵袭性 B-NHL, 预后较差。准确的临床分期和可靠的预后评估对指导治疗决策至关重要

表 1 71 例 MCL 患者预后的单因素 Cox 回归分析结果

因素	PFS			OS		
	例数	风险比(95% CI)	P 值	例数	风险比(95% CI)	P 值
性别(男/女)	52/19	1.19(0.49~2.87)	0.706	52/19	7.12(0.80~63.23)	0.078
年龄(<60/≥60岁)	27/44	1.02(0.97~1.06)	0.457	27/44	0.99(0.93~1.06)	0.773
Ann Arbor 分期(I~II/III~IV期)	7/64	1.59(0.83~3.04)	0.162	7/64	1.70(0.63~4.56)	0.294
ECOG PS 评分(0~1分/≥2分)	68/3	0.85(0.35~2.07)	0.726	68/3	1.17(0.36~3.84)	0.795
B 症状(否/是)	48/23	2.30(1.01~5.23)	0.046	48/23	4.83(1.08~21.64)	0.039
脾肿大(否/是)	45/26	3.97(1.75~9.00)	<0.001	45/26	4.33(1.11~16.86)	0.034
大包块(否/是)	56/15	2.47(1.01~6.05)	0.048	56/15	2.72(0.67~11.03)	0.161
MIPI 评分(0~5分/≥6分)	58/13	1.38(1.12~1.69)	0.003	58/13	1.51(1.05~2.18)	0.026
乳酸脱氢酶(正常/异常)	52/19	2.11(0.91~4.90)	0.083	52/19	6.40(1.15~35.59)	0.034
血清 β2-微球蛋白(正常/异常)	39/32	3.75(1.57~9.00)	0.003	39/32	5.83(1.23~27.79)	0.027
Hb(正常/异常)	30/41	2.53(1.01~6.36)	0.048	30/41	2.91(0.61~13.76)	0.178
RBC 分布宽度 CV(正常/异常)	57/14	1.95(0.84~4.52)	0.121	57/14	1.35(0.28~6.57)	0.709
WBC 计数(正常/异常)	52/19	4.19(1.84~9.54)	<0.001	52/19	5.58(1.33~23.40)	0.019
胃肠道累及(否/是)	51/20	0.75(0.31~1.82)	0.529	51/20	0.98(0.27~3.62)	0.975
骨髓侵犯(否/是)	40/31	1.62(0.71~3.71)	0.254	40/31	1.98(0.48~8.16)	0.345
结外侵犯(否/是)	46/25	0.77(0.32~1.87)	0.568	46/25	0.42(0.09~2.01)	0.275
SUV _{max} (≤18.01/>18.01)	59/12	2.42(1.00~5.84)	0.049	59/12	5.87(1.57~22.02)	0.009
TMTV(≤332.19 cm ³ />332.19 cm ³) ^a	34/37	5.36(1.84~15.62)	0.002	36/35	9.27(1.17~73.43)	0.035
TLG(≤1 380.22 g/>1 380.22 g) ^b	35/36	5.97(2.04~17.44)	0.001	36/35	9.78(1.24~77.47)	0.031
D _{max} (≤44.30 cm/>44.30 cm) ^c	23/48	3.22(1.10~9.41)	0.033	14/57	0.50(0.14~1.81)	0.289

注:MCL 为套细胞淋巴瘤,ECOG PS 为美国东部肿瘤协作组行为状态,MIPI 评分为 MCL 国际预后指数,TMTV 为总肿瘤代谢体积,TLG 为病灶糖酵解总量,D_{max} 为肿瘤病灶之间的最大距离,PFS 为无进展生存,OS 为总生存;^a分析 OS 时,分组为≤478.50 cm³/>478.50 cm³,^b分析 OS 时,分组为≤1 447.33 g/>1 447.33 g,^c分析 OS 时,分组为≤20.00 cm/>20.00 cm

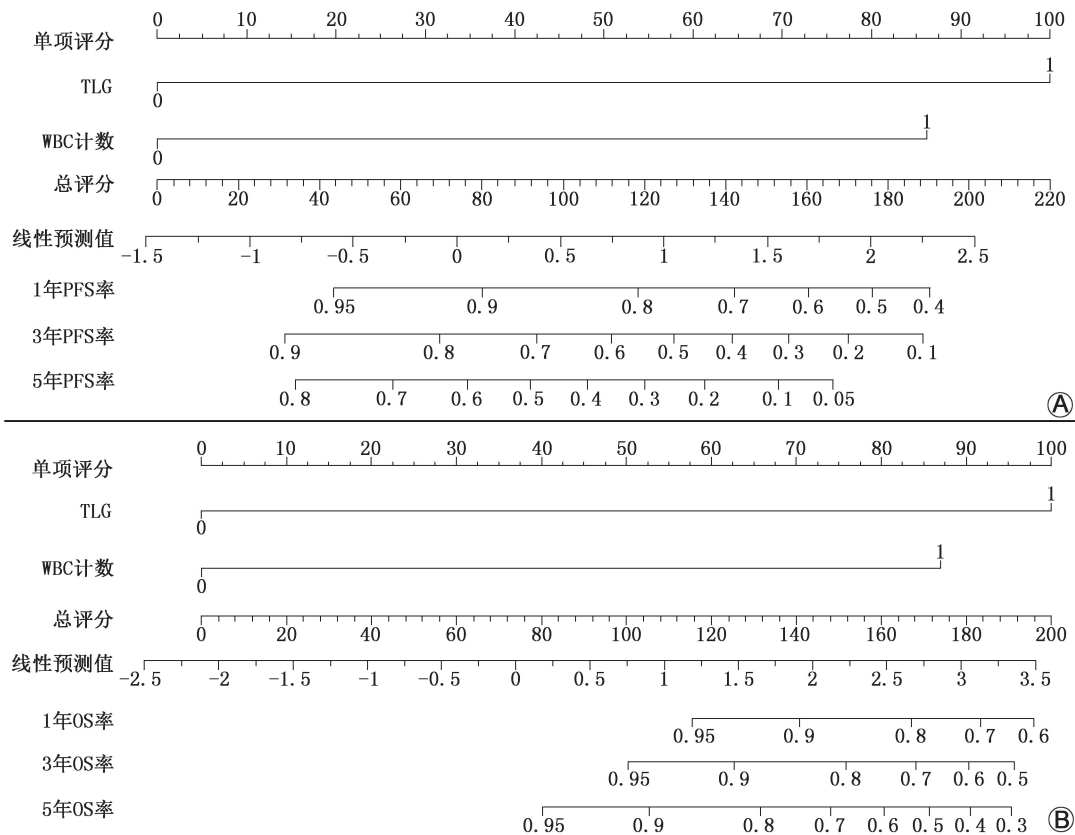


图 1 联合模型预测 71 例套细胞淋巴瘤(MCL)患者 1、3 和 5 年无进展生存(PFS)率(A)、总生存(OS)率(B)的列线图 TLG 为病灶糖酵解总量,分析 PFS 时 TLG≥1 380.22 g 赋值 1,<1 380.22 g 赋值 0;分析 OS 时 TLG≥1 447.33 g 赋值 1,<1 447.33 g 赋值 0;WBC 计数正常为 0,异常为 1

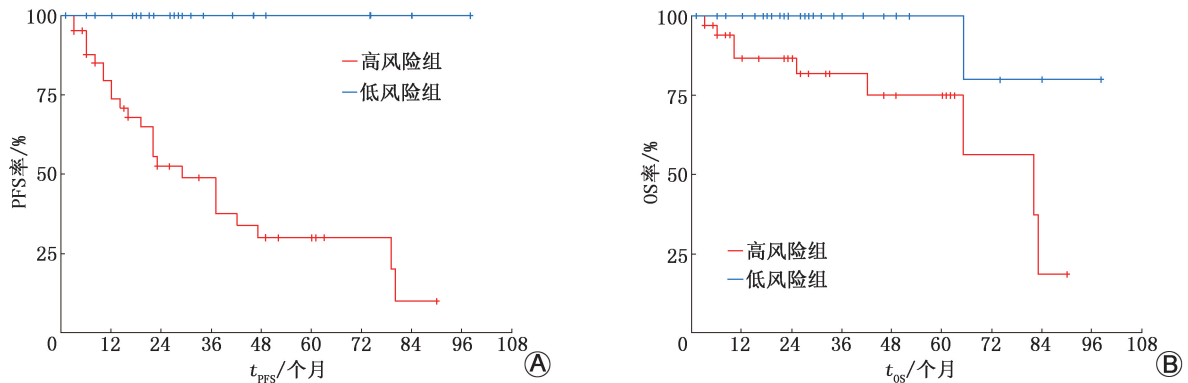


图 2 71 例套细胞淋巴瘤 (MCL) 患者不同风险评分组患者的生存曲线 A. 无进展生存 (PFS) 曲线, 高风险 (风险评分 ≥ 3.21 分) 组 44 例, 低风险 (风险评分 < 3.21 分) 组 27 例; B. 总生存 (OS) 曲线, 高风险 (风险评分 ≥ 14.77 分) 组 35 例, 低风险 (风险评分 < 14.77 分) 组 36 例; 低风险组 (蓝色曲线) 患者的预后均优于高风险组 (红色曲线); 竖线代表删失

要。本研究发现, 患者 PFS 和 OS 与 WBC 计数及 TLG 相关, 这些指标可能是重要的预后预测因子。

MCL 患者常出现外周血 WBC 增多, 这是因为循环肿瘤细胞释放入血^[8]。高 WBC 计数还与中枢神经系统浸润风险增加相关, 可能进一步降低 PFS 和 OS 率^[9]。本研究中, WBC 计数异常的 MCL 患者表现出较低的 PFS 和 OS 率, WBC 计数是多因素分析确认的独立预后因素。国内有研究表明, WBC 计数 $\geq 15 \times 10^9/L$ 的患者的死亡风险增加了 7.02^[10], 这与本研究结论相同。

多项研究已证实, ^{18}F -FDG PET/CT 在各种淋巴瘤亚型中具有预后价值, 其中 PET/CT 半定量参数可作为预后因素和治疗反应的预测因子^[5-6, 11-14]。既往研究中, SUV_{max} 被证明是结局的独立预测因子, 用于评估肿瘤细胞侵袭性, 特别是作为肿瘤细胞增殖的预后参数^[15]。然而在本研究中, SUV_{max} 未显示出有意义的预后预测价值, 可能是由于研究人群的差异以及不同类型扫描仪和图像采集技术差异所致。本研究中, 基线 TLG 是结局的独立预测因子, 与 PFS 及 OS 均相关。MCL 具有显著的肿瘤异质性, 表现为病灶内不同区域的细胞在生物学行为和代谢活性的差异。TLG 可同时评估肿瘤代谢活性和体积, 能更全面地反映肿瘤整体的葡萄糖代谢水平, 更好地体现异质性特征^[16]。高 TLG 提示更高的代谢活性和增殖潜能, 可提示预后不良。多项研究表明, TMTV 和 TLG 在不同淋巴瘤亚型中具有显著的预后价值, 但仅与 PFS 相关^[5-6, 12, 17-18]。而本研究多因素 Cox 回归分析证实, TLG 是影响 PFS 和 OS 的独立预后因素。这一差异可能源于本研究对入组患者的严格筛选: 与既往研究相比, 本研究排除了有严重并发症的患者, 而高龄、体能状态差及严重并发症

本身就是 MCL 的不良预后因素, 这种研究设计使 TLG 对 OS 的预测价值更为凸显。此外, 本研究中未观察到 TMTV 与预后相关, 这可能是由于 MCL 中脾脏多受累, 增加了 TMTV, 但通常与预后不良无关^[15]。

目前, 对 MCL 患者进行分层的生物学、病理学和影像学标志物的研究结果存在争议。作为最常用的 MIPI 评分也存在争议^[19]。PET/CT 在 MCL 中的潜在预后作用的初步证据已出现, 特别是在关于应用 Lugano 标准治疗后的代谢肿瘤负荷特征和代谢反应方面^[6, 20-21]。建立更完善的预后预测模型具有重要临床意义。本研究多因素分析显示临床指标 (WBC 计数) 和代谢参数 (TLG) 有明显的预后价值, 根据其构建的联合模型在 MCL 患者 PFS 和 OS 中均体现出较强的预测价值, 相比传统的 MIPI 评分及其他预后模型更为全面。

本研究存在一定局限性。首先, 由于是回顾性研究设计, 难以避免选择偏倚。其次, 未设立验证组, 可能存在过拟合风险和泛化能力不足的问题。最后, 纳入患者数量相对有限, 可能影响研究结果的普遍性, 未来需要开展大规模、前瞻性的多中心研究。

综上所述, 本研究通过分析 PET 代谢参数, 证实 WBC 计数和 TLG 是 MCL 患者预后的重要预测指标, 基于两者构建的联合模型可更精准地预测 MCL 预后, 为临床制定个体化治疗方案提供了有力支持。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 张雨: 研究设计、论文撰写、统计学分析; 丁重阳: 研究指导、论文审阅; 刘雨露、滕月: 影像资料整理; 许景艳: 研究指导、论文审阅、经费支持

参 考 文 献

[1] Kumar A, Eyre TA, Lewis KL, et al. New directions for mantle

- cell lymphoma in 2022[J]. *Am Soc Clin Oncol Educ Book*, 2022, 42: 1-15. DOI:10.1200/EDBK_349509.
- [2] Jain P, Wang ML. Mantle cell lymphoma in 2022—a comprehensive update on molecular pathogenesis, risk stratification, clinical approach, and current and novel treatments[J]. *Am J Hematol*, 2022, 97(5): 638-656. DOI:10.1002/ajh.26523.
- [3] Ryan CE, Armand P, LaCasce AS. Frontline management of mantle cell lymphoma[J]. *Blood*, 2025, 145(7): 663-672. DOI:10.1182/blood.2023022352.
- [4] Hoster E, Rosenwald A, Berger F, et al. Prognostic value of Ki-67 index, cytology, and growth pattern in mantle-cell lymphoma; results from randomized trials of the European mantle cell lymphoma network[J]. *J Clin Oncol*, 2016, 34(12): 1386-1394. DOI:10.1200/JCO.2015.63.8387.
- [5] Albano D, Bianchetti N, Talin A, et al. Prognostic role of pretreatment tumor burden and dissemination features from 2-[¹⁸F]FDG PET/CT in advanced mantle cell lymphoma[J]. *Hematol Oncol*, 2025, 43(1): e70009. DOI:10.1002/hon.70009.
- [6] Albano D, Bosio G, Bianchetti N, et al. Prognostic role of baseline ¹⁸F-FDG PET/CT metabolic parameters in mantle cell lymphoma[J]. *Ann Nucl Med*, 2019, 33(7): 449-458. DOI:10.1007/s12149-019-01354-9.
- [7] Boellaard R, Delgado-Bolton R, Oyen WJG, et al. FDG PET/CT; EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2015, 42(2): 328-354. DOI:10.1007/s00259-014-2961-x.
- [8] Alsaati AM, Alasiri MM, Alansari BA, et al. Unusual presentation of leukemic-phase mantle cell lymphoma: a case report[J]. *Cureus*, 2023, 15(1): e33239. DOI:10.7759/cureus.33239.
- [9] Ohanian M, Rozovski U, Ravandi F, et al. Very high levels of lactate dehydrogenase at diagnosis predict central nervous system relapse in acute promyelocytic leukaemia[J]. *Br J Haematol*, 2015, 169(4): 595-597. DOI:10.1111/bjh.13230.
- [10] 陈万紫, 刘庭波. 套细胞淋巴瘤患者的生物学特征及预后[J]. *中国实验血液学杂志*, 2023, 31(6): 1726-1732. DOI:10.19746/j.cnki.issn1009-2137.2023.06.019.
- Chen WZ, Liu TB. Biological characteristics and prognosis of mantle cell lymphoma patients[J]. *J Exp Hematol*, 2023, 31(6): 1726-1732. DOI:10.19746/j.cnki.issn1009-2137.2023.06.019.
- [11] 赵金城, 蒋冲, 滕月, 等. 基线 PET/CT 代谢参数对弥漫性大 B 细胞淋巴瘤双表达类型患者的预后预测价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(10): 583-587. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20231118-00113.
- Zhao JC, Jiang C, Teng Y, et al. Prognostic predictive value of metabolic parameters of baseline PET/CT in patients with double expression types of diffuse large B-cell lymphoma[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 44(10): 583-587. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20231118-00113.
- [12] 吕玉虎, 尹梁澜, 夏晓天, 等. ¹⁸F-FDG PET/CT 联合临床分期/评分系统对鼻型结外自然杀伤/T 细胞淋巴瘤的预后价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(3): 134-140. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230403-00090.
- Lyu YH, Yin LL, Xia XT, et al. Prognostic value of ¹⁸F-FDG PET/CT combined with clinical staging/scoring system in nasal extranodal natural killer/T-cell lymphoma[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 44(3): 134-140. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230403-00090.
- [13] 陈新源, 滕月, 张昊安, 等. 基线 ¹⁸F-FDG PET/CT 代谢参数及相关临床因素对血管免疫母细胞性 T 细胞淋巴瘤的预后价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2025, 45(11): 654-660. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20250210-00029.
- Chen XY, Teng Y, Zhang HA, et al. Prognostic value of baseline ¹⁸F-FDG PET/CT metabolic parameters and related clinical factors in angioimmunoblastic T-cell lymphoma[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 45(11): 654-660. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20250210-00029.
- [14] 张昊安, 滕月, 许景艳, 等. 基线 ¹⁸F-FDG PET/CT 代谢参数对霍奇金淋巴瘤预后的预测价值[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2025, 45(10): 589-594. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240816-00295.
- Zhang HA, Teng Y, Xu JY, et al. Prognostic predictive value of baseline ¹⁸F-FDG PET/CT metabolic parameters in Hodgkin's lymphoma[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 45(10): 589-594. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240816-00295.
- [15] Bailly C, Carlier T, Berriolo-Riedinger A, et al. Prognostic value of FDG-PET in patients with mantle cell lymphoma: results from the LyMa-PET Project[J]. *Haematologica*, 2020, 105(1): e33-e36. DOI:10.3324/haematol.2019.223016.
- [16] Ge F, Wu T, Yang X, et al. Feasibility analysis of metabolic parameters based on baseline ¹⁸F-FDG PET/CT to predict heterogeneity and recurrence of diffuse large B-cell lymphoma[J]. *Ann Hematol*, 2025, 104(7): 3803-3819. DOI:10.1007/s00277-025-06409-8.
- [17] Albano D, Bosio G, Camoni L, et al. Prognostic role of baseline ¹⁸F-FDG PET/CT parameters in MALT lymphoma[J]. *Hematol Oncol*, 2019, 37(1): 39-46. DOI:10.1002/hon.2563.
- [18] Albano D, Pasinetti N, Dondi F, et al. Prognostic role of pre-treatment metabolic parameters and sarcopenia derived by 2-[¹⁸F]-FDG PET/CT in elderly mantle cell lymphoma[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(5): 1210. DOI:10.3390/jcm11051210.
- [19] Shah JJ, Fayad L, Romaguera J. Mantle cell international prognostic index (MIPI) not prognostic after R-hyper-CVAD[J]. *Blood*, 2008, 112(6): 2583; author reply 2583-2584. DOI:10.1182/blood-2008-05-155507.
- [20] Albano D, Laudicella R, Ferro P, et al. The role of ¹⁸F-FDG PET/CT in staging and prognostication of mantle cell lymphoma: an Italian multicentric study[J]. *Cancers (Basel)*, 2019, 11(12): 1831. DOI:10.3390/cancers11121831.
- [21] Vergote VKJ, Verhoef G, Janssens A, et al. [¹⁸F]FDG-PET/CT volumetric parameters can predict outcome in untreated mantle cell lymphoma[J]. *Leuk Lymphoma*, 2023, 64(1): 161-170. DOI:10.1080/10428194.2022.2131415.

(收稿日期:2025-04-15)