

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2025.06.010

基于 β 2-MG、IL-6 和 FLC 的联合检测对多发性骨髓瘤相关肾损伤的早期预警价值

房金梅, 田冬华, 闫春艳

(郑州大学附属郑州中心医院血液内科 河南郑州 450000)

【摘要】目的 探讨血清 β 2-微球蛋白 (β 2-MG)、白细胞介素-6 (IL-6) 和游离轻链 (FLC) 的联合检测对多发性骨髓瘤 (MM) 相关肾损伤的早期预警价值。**方法** 选取 2021 年 1 月至 2024 年 12 月郑州大学附属郑州中心医院血液内科收治的 60 例 MM 患者为研究对象, 根据肾功能状态将他们分为肾功能正常组和肾功能异常组, 每组 30 例。检测并比较两组患者血清 β 2-MG、IL-6 水平及 FLC-iFLC/uFLC 比值, 采用多因素 Logistic 回归分析筛选肾功能异常的独立危险因素, 通过受试者工作特征 (ROC) 曲线评价各指标单独及联合检测的诊断效能。**结果** 肾功能异常组患者的血清 β 2-MG、IL-6 水平及 FLC-iFLC/uFLC 比值均显著高于肾功能正常组 ($P < 0.001$)。多因素 Logistic 回归分析显示, β 2-MG (OR=2.527)、IL-6 (OR=1.790) 及 FLC-iFLC/uFLC 比值 (OR=3.472) 均为 MM 患者肾功能异常发生的独立危险因素 ($P < 0.01$)。ROC 曲线分析显示, β 2-MG、IL-6 及 FLC-iFLC/uFLC 比值单项检测的曲线下面积 (AUC) 分别为 0.876、0.842 和 0.897, 敏感度分别为 83.3%、80.0% 和 86.7%, 特异度分别为 76.7%、73.3% 和 80.0%; 三项指标联合检测的 AUC 达 0.945, 敏感度和特异度分别提高至 93.3% 和 90.0%。**结论** 血清 β 2-MG、IL-6 及 FLC-iFLC/uFLC 比值是 MM 相关肾损伤的独立危险因素, 三项指标联合检测较单项检测具有更高的诊断效能, 可为 MM 相关肾损伤的早期预警提供有价值的临床参考。

【关键词】 多发性骨髓瘤; 肾损伤; β 2-微球蛋白; 白细胞介素-6; 受累轻链; 联合检测

【中图分类号】 R318.08

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2025) 06-0900-07

Early Warning Value of Combined Detection of β 2-MG, IL-6, and FLC for Multiple Myeloma-Associated Renal Injury

FANG Jinmei, TIAN Donghua, YAN Chunyan

(Department of Hematology, Zhengzhou Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University,
Zhengzhou, Henan 450000, China)

【Abstract】Objective To explore the early warning value of combined detection of serum β 2-microglobulin (β 2-MG), interleukin-6 (IL-6), and free light chain (FLC) in identifying renal injury associated with multiple myeloma (MM). **Methods** A total of 60 patients with MM admitted to the Department of Hematology at Zhengzhou Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University between January 2021 and December 2024 were enrolled. Patients were divided into two groups based on renal function status: a normal renal function group and an abnormal renal function group, with 30

收稿日期: 2025-07-11。

作者简介: 房金梅 (1988—), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 主治医师职称, 从事多发性骨髓瘤研究。通信地址: 河南省郑州市桐柏北路 16 号。邮箱: fangzi66@126.com。

cases in each group. Serum levels of $\beta 2$ -MG, IL-6, and the FLC-iFLC/uFLC ratio were measured and compared between the two groups. Multivariate Logistic regression analysis was used to identify independent risk factors for renal dysfunction. The diagnostic performance of individual and combined indicators was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results** The levels of serum $\beta 2$ -MG, IL-6, and FLC-iFLC/uFLC ratio were significantly higher in the abnormal renal function group than those in the normal group ($P < 0.001$). Multivariate Logistic regression analysis revealed that $\beta 2$ -MG (OR=2.527), IL-6 (OR=1.790), and the FLC-iFLC/uFLC ratio (OR=3.472) were independent risk factors for renal dysfunction in MM patients ($P < 0.01$). ROC curve analysis showed that the area under the curve (AUC) for $\beta 2$ -MG, IL-6, and FLC-iFLC/uFLC ratio were 0.876, 0.842, and 0.897, respectively, with sensitivities of 83.3%, 80.0%, and 86.7%, and specificities of 76.7%, 73.3%, and 80.0%. The combined detection of the three indicators yielded an AUC of 0.945, with sensitivity and specificity improved to 93.3% and 90.0%, respectively. **Conclusion** Serum $\beta 2$ -MG, IL-6, and FLC-iFLC/uFLC ratio are independent risk factors for renal injury in patients with MM. Combined detection of these indicators demonstrates superior diagnostic performance compared to individual testing and can serve as a valuable clinical tool for early warning of MM-associated renal injury.

【Key words】Multiple Myeloma (MM); Renal Injury; $\beta 2$ -Microglobulin ($\beta 2$ -MG); Interleukin-6 (IL-6); Free Light Chain (FLC); Combined Detection

0 引言

多发性骨髓瘤 (Multiple Myeloma, MM) 是一种起源于浆细胞的恶性血液系统肿瘤, 以单克隆浆细胞在骨髓中异常增殖为特征, 临床表现为高钙血症、贫血、骨质破坏和肾功能损害^[1]。流行病学数据显示, MM 约占所有恶性肿瘤的 1% 和血液系统恶性肿瘤的 10%, 近年来其发病率呈现逐年上升趋势^[2]。肾脏损伤是 MM 患者常见的并发症之一, 约有 30%~50% 的 MM 患者在确诊时即存在不同程度的肾功能损害, 其中约 10% 患者需要肾脏替代治疗^[3]。MM 相关肾损伤严重影响患者的预后和生存质量, 是导致 MM 患者早期死亡的重要原因之一^[4]。MM 相关肾损伤的病理生理机制复杂, 目前研究认为其主要与单克隆免疫球蛋白及其片段 (尤其是轻链) 沉积、高钙血症、高尿酸血症以及相关炎症因子等多种因素有关^[5]。传统的肾功能评估指标如血清肌酐和尿素氮升高常为肾损伤的晚期表现, 当这些指标异常时, 肾脏往往已经发生不可逆的损害^[6]。因此, 寻找能够早期预警 MM 相关肾损伤的生物标志物对于临床早期干预、延缓肾功能恶化和改善预后具有重要意义。 $\beta 2$ -微球蛋白 ($\beta 2$ -

Microglobulin, $\beta 2$ -MG) 是一种低分子量蛋白, 主要通过肾小球滤过清除, 是评估肾小球滤过功能的敏感指标, 同时也是 MM 肿瘤负荷的反映^[7]。白细胞介素-6 (Interleukin-6, IL-6) 作为重要的炎症因子, 不仅参与 MM 的发病过程, 还与肾脏炎症反应密切相关^[8]。血清中的游离轻链 (Free Light Chain, FLC) 是 MM 患者产生的重要单克隆免疫球蛋白组分, 其中受累轻链 (involved FLC, iFLC) 与未受累轻链 (uninvolved FLC, uFLC) 比值异常不仅是 MM 诊断的重要依据, 也是导致肾脏损害的直接病理因素^[9-10]。根据患者克隆性浆细胞分泌的轻链类型, MM 分为 κ 型和 λ 型, 其中受累轻链的过度产生和异常沉积是引起肾小管损伤、间质性肾炎和肾功能衰竭的核心机制。国际骨髓瘤工作组 (International Myeloma Working Group, IMWG) 推荐使用 iFLC/uFLC 比值作为 MM 诊断、分期和疗效监测的标准指标, 当比值 >100 或 <0.01 时提示存在显著的轻链失衡, 与肾脏轻链沉积性疾病的发生密切相关。本研究探讨了血清 $\beta 2$ -MG、IL-6 和 FLC 联合检测对 MM 相关肾损伤的早期预警价值,

通过比较这三项指标在肾功能正常和异常 MM 患者中的表达水平差异,分析其作为肾损伤独立危险因素的权重,并评估单项及联合检测的诊断效能,为 MM 相关肾损伤的早期识别和干预提供新的临床思路和实验依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究选取郑州大学附属郑州中心医院血液内科近 4 年(2021 年 1 月至 2024 年 12 月)收治的 60 例 MM 患者作为研究对象,采用回顾性病例对照研究设计。为确保统计学检验效力和组间比较的有效性,从符合纳入标准的 MM 患者中,按照肾功能状态分别抽取肾功能正常组和肾功能异常组各 30 例进行配对比较。肾功能正常组定义为血清肌酐 $\leq 111\mu\text{mol/L}$ (男性)或 $\leq 81\mu\text{mol/L}$ (女性),估算肾小球滤过率(Estimated Glomerular Filtration Rate, eGFR) $\leq 90\text{mL/min/1.73m}^2$;肾功能异常组定义为血清肌酐 $>111\mu\text{mol/L}$ (男性)或 $>81\mu\text{mol/L}$ (女性),eGFR $<90\text{mL/min/1.73m}^2$ 。两组患者基线资料比较如表 1 所示,差异无统计学意义。

表 1 两组患者基线资料比较

Tab.1 Comparison of baseline characteristics between the two groups of patients

项目	肾功能正常组 (n=30)	肾功能异常组 (n=30)	t/χ^2	P 值
年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	58.3 \pm 7.2	60.1 \pm 8.4	0.891	0.377
性别(男/女)	16/14	17/13	0.067	0.795
病程(月, $\bar{x}\pm s$)	14.2 \pm 5.8	19.3 \pm 7.6	2.917	0.005

1.2 纳入及排除标准

所有入选患者均符合以下标准:①均经临床症状、实验室检查及骨髓检查确诊为 MM;②符合 IMWG 制定的诊断标准;③年龄 18~75 岁;④患者或家属知情并签署知情同意书。

排除标准:①合并有其他恶性肿瘤者;②合并严重心、肝等重要脏器功能不全者;③既往有慢性肾脏疾病病史者;④有糖尿病、高血压等可能影响肾功能的基础疾病者;⑤近期使用过可能影响肾功能的药物者;⑥妊娠或哺乳期妇女。

1.3 方法

1.3.1 临床资料收集

对所有入选患者进行详细的病例信息收集,记录患者的基本信息,包括年龄、性别、疾病诊断时间、症状出现时间,MM 相关临床表现如骨痛、贫血、高钙血症、肾功能损害等。同时记录相关辅助检查结果,包括血常规、血生化、免疫球蛋白、FLC、 β_2 -MG、IL-6、骨髓穿刺及病理活检报告等。

1.3.2 标本采集与检测方法

所有患者均在入院后次日清晨空腹状态下采集肘静脉血 10mL,分别置于无抗凝剂和 EDTA 抗凝的真空采血管中,室温静置 30 分钟后,以 3000r/min 离心 10min,分离血清, -80°C 冰箱保存,集中检测。

(1) β_2 -MG 测定:采用免疫比浊法测定血清 β_2 -MG 水平,使用日本日立 7600 型全自动生化分析仪和配套试剂盒(罗氏诊断有限公司)进行检测,正常参考值为 0~3mg/L。

(2) IL-6 测定:采用酶联免疫吸附法(ELISA)测定血清 IL-6 浓度,使用美国 Bio-Rad 公司生产的酶标仪和人 IL-6 ELISA 试剂盒(上海恒远生物科技有限公司),严格按照说明书操作,正常参考值为 0~7.0pg/L。

(3) FLC 测定:使用免疫散射比浊法检测血清 κ 型和 λ 型游离轻链浓度,采用 Binding Site 公司的 SPAPLUS 特种蛋白分析仪和配套试剂盒。根据患者的单克隆免疫球蛋白类型确定 iFLC 和 uFLC,计算 iFLC/uFLC 比值。对于 κ 型 MM 患者,iFLC 为 κ -FLC, uFLC 为 λ -FLC;对于 λ 型 MM 患者,iFLC 为 λ -FLC, uFLC 为 κ -FLC。异常 iFLC/uFLC 比值定义为 >100 。

1.4 观察指标

1.4.1 血清 β_2 -MG、IL-6 和 FLC 水平比较

对肾功能正常组和肾功能异常组患者的血清 β_2 -MG 浓度、IL-6 水平以及 FLC-iFLC/uFLC 比值进行检测和比较。记录各组患者上述三项指标的均值和标准差,分析两组间差异的统计学意义。通过这些指标的比较,初步评估它们与肾功能状态的关联性,为后续多因素分析和诊断效能评估提供基础

数据。

1.4.2 肾功能异常的危险因素分析

以肾功能是否异常为因变量（正常 = 0，异常 = 1），以患者的基线特征（年龄、性别、病程等）和各项检测指标（ $\beta 2$ -MG、IL-6、FLC-iFLC/uFLC 比值）为自变量，进行单因素分析和多因素 Logistic 回归分析，筛选出影响 MM 患者肾功能异常发生的独立危险因素。计算各危险因素的回归系数（ β 值）、优势比（OR 值）及其 95% 置信区间（95%CI），评估各因素对肾功能异常发生的影响程度。

1.4.3 各指标诊断效能评价

1.4.3.1 ROC 曲线分析

通过受试者工作特征（Receiver Operating Characteristic, ROC）曲线分析 $\beta 2$ -MG、IL-6、FLC-iFLC/uFLC 比值单项检测以及三项指标联合检测对 MM 相关肾损伤的诊断价值。计算各指标的 ROC 曲线下面积（Area Under the Curve, AUC）及其 95% 置信区间，评估各指标的总体诊断效能。AUC 值越接近 1，表明诊断效能越高。同时，比较各指标 AUC 值的差异，分析联合检测是否优于单项检测。

1.4.3.2 敏感度和特异度分析

根据 ROC 曲线确定各指标的最佳诊断临界值，计算在此临界值下各指标的敏感度、特异度、阳性预测值和阴性预测值。通过这些参数综合评估各指标的诊断准确性，重点关注联合预测因子的诊断效能是否显著提高。

1.5 统计学分析

本研究数据处理使用 SPSS 25.0 统计软件完成。正态分布计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 呈现，两组间差异通过独立样本 t 检验评估；计数资料以 $n(\%)$ 形式展示，采用 χ^2 检验比较差异；采用二元 Logistic 回归分析筛选肾功能异常的独立危险因素；通过 ROC 曲线评价各项指标的诊断效能并计算 AUC 值；以 $P < 0.05$ 作为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组血清 $\beta 2$ -MG、IL-6 和 FLC 检测结果比较

如表 2 所示，肾功能异常组患者的血清 $\beta 2$ -

表 2 两组血清 $\beta 2$ -MG、IL-6 水平和 FLC-iFLC/uFLC 比值比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Comparison of serum $\beta 2$ -MG, IL-6 levels, and FLC-iFLC/uFLC ratio between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

分组	$\beta 2$ -MG/(mg/L)	IL-6/(pg/L)	FLC-iFLC/uFLC 比值
肾功能正常组 ($n=30$)	3.12 ± 1.05	8.42 ± 3.27	45.6 ± 28.4
肾功能异常组 ($n=30$)	9.87 ± 3.24	23.86 ± 7.93	156.8 ± 89.2
t 值	10.854	9.837	6.506
P 值	0.001	0.001	0.00

MG、IL-6 水平及 FLC-iFLC/uFLC 比值均显著高于肾功能正常组（ $P < 0.001$ ）。

2.2 肾功能异常发生的多因素分析

为进一步明确各项指标与肾功能异常发生的关系，本研究进行了多因素 Logistic 回归分析。如表 3 所示， $\beta 2$ -MG、IL-6 及 FLC-iFLC/uFLC 比值均为 MM 患者肾功能异常发生的独立危险因素（ $P < 0.01$ ）。其中，FLC-iFLC/uFLC 比值的风险比（OR = 3.472）最高，表明当 FLC-iFLC/uFLC 比值增高时，患者发生肾功能异常的风险增加 3.472 倍；其次为 $\beta 2$ -MG（OR = 2.527）和 IL-6（OR = 1.790）。这些结果提示三种指标在肾损伤发生中可能存在协同作用。

表 3 肾功能异常发生的多因素分析

Tab.3 Multivariate analysis of risk factors for renal dysfunction

变量	β	标准错误	Wald	P	OR	OR 的 95%CI	
						下限	上限
$\beta 2$ -MG	0.927	0.325	8.134	0.004	2.527	1.336	4.778
IL-6	0.582	0.188	9.578	0.002	1.790	1.238	2.587
FLC-iFLC/uFLC 比值	1.245	0.398	9.781	0.002	3.472	1.594	7.559
常量	-6.842	1.458	22.015	0.001	0.001		

2.3 各指标诊断效能分析

本研究通过 ROC 曲线分析评估了三项指标单独及联合检测对 MM 相关肾损伤的诊断价值。如表 4 和表 5 所示， $\beta 2$ -MG、IL-6 及 FLC-iFLC/uFLC 比值单项检测的 AUC 分别为 0.876、0.842 和 0.897，三项指标联合预测的 AUC 达 0.945，表明联合检测具有最高的诊断效能。在诊断敏感度和特异度方面， $\beta 2$ -MG 的敏感度和特异度分别为 83.3% 和 76.7%，

表 4 血清 $\beta 2$ -MG、IL-6 含量和 FLC-iFLC/uFLC 比值单项及联合检测的 AUC 统计结果Tab.4 AUC of individual and combined detection of serum $\beta 2$ -MG, IL-6, and FLC-iFLC/uFLC ratio

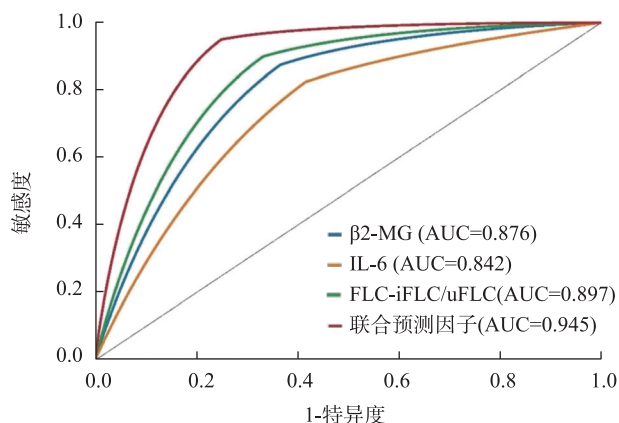
检验结果变量	AUC	标准错误	P 值	渐近 95% 置信区间	
				下限	上限
$\beta 2$ -MG	0.876	0.046	<0.001	0.786	0.966
IL-6	0.842	0.052	<0.001	0.740	0.944
FLC-iFLC/uFLC 比值	0.897	0.041	<0.001	0.816	0.978
联合预测因子	0.945	0.028	<0.001	0.890	1.000

表 5 血清 $\beta 2$ -MG、IL-6 含量和 FLC-iFLC/uFLC 比值单项及联合检测的诊断效能 (%)Tab.5 Diagnostic performance of individual and combined detection of serum $\beta 2$ -MG, IL-6 levels, and FLC-iFLC/uFLC ratio (%)

项目	敏感度	特异度
$\beta 2$ -MG	83.3	76.7
IL-6	80.0	73.3
FLC-iFLC/uFLC 比值	86.7	80.0
联合预测因子	93.3	90.0

IL-6 为 80.0% 和 73.3%，FLC-iFLC/uFLC 比值为 86.7% 和 80.0%，而三项指标联合检测的敏感度和特异度分别提高至 93.3% 和 90.0%。这进一步证实联合检测能显著提高对 MM 相关肾损伤的早期诊断效能。

如图 1 所示，联合预测因子的 ROC 曲线最接近坐标图左上角，AUC 最大，优于任何单一指标，证实了联合检测在 MM 相关肾损伤早期预警中的临床应用价值。

图 1 各指标单独及联合诊断肾功能异常的 ROC 曲线
Fig.1 ROC curves of individual and combined indicators for diagnosing renal dysfunction

3 讨论

$\beta 2$ -MG 作为一种低分子量蛋白，主要通过肾小

球滤过清除，当肾小球滤过率下降时，血清 $\beta 2$ -MG 水平会迅速升高^[11]。在本研究中，肾功能异常组患者的 $\beta 2$ -MG 水平 $[(9.87 \pm 3.24) \text{ mg/L}]$ 显著高于肾功能正常组 $[(3.12 \pm 1.05) \text{ mg/L}]$ ， $\beta 2$ -MG 升高不仅反映肾小球滤过功能下降，还与 MM 患者的肿瘤负荷密切相关。然而，单纯依靠 $\beta 2$ -MG 进行评估具有一定局限性，因为 $\beta 2$ -MG 水平受多种因素影响，包括肿瘤负荷、炎症状态及肾小管功能等，导致其特异性不够理想，这也解释了本研究中 $\beta 2$ -MG 单项检测的特异度仅为 76.7% 的原因。

IL-6 作为重要的促炎因子，在 MM 的发病和肾损伤过程中扮演关键角色^[12]。本研究发现，肾功能异常组患者的 IL-6 水平 $[(23.86 \pm 7.93) \text{ pg/L}]$ 显著高于肾功能正常组 $[(8.42 \pm 3.27) \text{ pg/L}]$ 。IL-6 能够促进肾小管上皮细胞凋亡并激活炎症反应，加速肾间质纤维化进程。有研究表明^[13]，MM 患者的 IL-6 水平与肾功能损害程度呈正相关，且 IL-6 水平下降对肾功能恢复具有预测价值。这些研究结果与本研究发现相互印证，进一步确立了 IL-6 在 MM 相关肾损伤中的病理生理地位。不过，IL-6 作为非特异性炎症标志物，受多种因素影响，如感染、应激等^[14]，可能影响其在肾损伤诊断中的特异性，这也与本研究 IL-6 单项检测特异度较低 (73.3%) 的现象相符。

FLC 是 MM 患者产生的重要单克隆免疫球蛋白组分，大量研究证实 FLC 沉积是导致 MM 相关肾损伤的直接病理因素^[15-16]。本研究中，肾功能异常组患者的 FLC-iFLC/uFLC 比值显著高于肾功能正常组，多因素分析显示 FLC-iFLC/uFLC 比值是肾功能异常最强的独立危险因素。这一发现证实了 FLC 沉积是导致 MM 相关肾损伤的核心机制，而 FLC 清除率下降是评估 MM 患者早期肾功能损害的敏感指标。此外，其他学者的前瞻性研究^[17]表明，持续监测 FLC 水平对评估 MM 患者肾功能恢复和治疗反应具有重要价值。这些证据共同支持 FLC 在 MM 相关肾损伤病理生理和早期诊断中的关键作用。然而，FLC 水平受肿瘤本身特性和治疗状态影响较大，可能导致假阳性结果，这也解释了本研究中 FLC-iFLC/uFLC 比值单项检测特异度 (80.0%) 仍

有提升空间的现象。

本研究最具创新性的发现在于 $\beta 2$ -MG、IL-6 和 FLC 三项指标联合检测对 MM 相关肾损伤的优越诊断效能。联合检测的 AUC 达 0.945, 显著高于任何单项指标, 敏感度和特异度分别提高至 93.3% 和 90.0%。这一结果表明三种指标在反映 MM 相关肾损伤的不同病理生理方面具有互补作用: $\beta 2$ -MG 主要反映肾小球滤过功能, IL-6 反映肾脏炎症状态, 而 FLC 则直接反映致病物质的负荷。一项国外的研究也支持多指标联合检测在 MM 相关肾损伤诊断中的优势, 他们发现联合生物标志物能够提高诊断准确性和预测价值^[18]。

总之, 本研究结果对 MM 患者的临床管理具有重要意义。传统肾功能指标如血肌酐升高往往表明肾脏已经发生显著损害, 而 $\beta 2$ -MG、IL-6 和 FLC 联合检测能够在常规肾功能指标异常前识别高风险患者, 为早期干预提供时间窗口。本研究建立的联合预测模型敏感度高达 93.3%, 能够帮助临床医师更准确地筛选出需要密切监测肾功能的高风险患者。在治疗策略方面, 对于联合预测模型提示高风险的患者, 可考虑采用肾保护性方案, 如避免使用肾毒性药物、积极补液、适当调整来那度胺等主要经肾脏清除药物的剂量, 以及更频繁的肾功能监测。同时, 联合检测模型也为评估治疗反应和预后提供了新的参考指标。未来研究方向应着眼于建立包含更多生物标志物的综合评分系统, 结合临床特征、影像学及病理学等多维度信息, 构建更精准的 MM 相关肾损伤预测模型; 探索生物标志物动态监测对指导治疗和评估预后的价值, 特别是在新型治疗药物如 CD38 单抗、BCMA 靶向等背景下的应用意义。此外, 结合多组学技术寻找新的潜在标志物, 探索 MM 相关肾损伤的精准诊治路径也具有重要研究价值。从中医药角度出发, 探索中医证型与现代生物标志物的相关性, 以及中医药干预对 MM 相关肾损伤的保护作用, 将为 MM 相关肾损伤的防治提供新的思路和方法。

此外, 随着医学工程技术的发展, 基于多指标联合检测的生物标志物平台正逐步向智能化、便携

化方向演进。将血清 $\beta 2$ -MG、IL-6 与 FLC 的联合检测集成至多参数传感器平台或 POCT (Point-Of-Care Testing) 设备, 不仅可实现床旁快速检测、减少样本转运时间, 还能通过微流控、光学、电化学等手段实现高灵敏度、多通道并行检测, 为 MM 相关肾损伤的动态监测提供实时数据支持。这类检测平台通常具备模块化系统架构, 可与电子病历系统、临床决策支持系统进行无缝对接, 提升肾损伤风险预警的系统响应能力。未来构建融合生物传感器、POCT 设备、数据分析算法及远程医疗功能的系统化早筛网络, 有望推动 MM 肾损伤管理向“精准—实时—全周期”转型, 体现临床检验与工程技术协同融合的系统工程价值。

综上所述, 血清 $\beta 2$ -MG、IL-6 和 FLC-iFLC/uFLC 比值联合检测对 MM 相关肾损伤具有良好的早期预警价值, 能够帮助临床医师及早识别高风险患者, 指导个体化治疗决策, 改善患者预后。这一发现不仅丰富了 MM 相关肾损伤的诊断评估体系, 也为中西医结合防治 MM 相关肾损伤提供了新的理论基础和实践依据。

参考文献

- [1] 王国蓉, 杨光忠, 冷芸, 等. 新冠感染对多发性骨髓瘤患者自体外周血干细胞动员采集情况的影响分析 [J]. *中国实验血液学杂志*, 2025, 33 (2): 455-462.
WANG Guorong, YANG Guangzhong, LENG Yun, *et al.* Analysis of the impact of COVID-19 infection on autologous peripheral blood stem cell mobilization and collection in patients with multiple myeloma[J]. *Journal of Experimental Hematology*, 2025, 33(2): 455-462.
- [2] 张越, 陈婷婷, 周合冰, 等. miR-203a-5p 靶向调控 JAG1 对多发性骨髓瘤细胞增殖、周期调控的作用及机制研究 [J]. *中国实验血液学杂志*, 2023, 31 (3): 801-809.
ZHANG Yue, CHEN Tingting, ZHOU Hebing, *et al.* Study on the effect and mechanism of miR-203a-5p targeting JAG1 on proliferation and cycle regulation of multiple myeloma cells[J]. *Journal of Experimental Hematology*, 2023, 31(3): 801-809.
- [3] 张永前, 赵继胜, 魏小芳, 等. IgD 型多发性骨髓瘤患者的临床特征及预后分析 [J]. *中国实验血液学杂志*, 2025, 33 (2): 437-441.
ZHANG Yongqian, ZHAO Jisheng, WEI Xiaofang, *et al.* Clinical characteristics and prognosis analysis of IgD multiple myeloma patients[J]. *Journal of Experimental Hematology*, 2025, 33(2): 437-441.

- [4] 张宽顺, 吕殿亮, 石琳. HALP 评分作为初诊多发性骨髓瘤预后标志指标的意义[J]. *中国实验血液学杂志*, 2025, 33 (2): 442-446.
- ZHANG Kuanshun, LYU Dianliang, SHI Lin. Significance of HALP score as a prognostic indicator for newly diagnosed multiple myeloma[J]. *Journal of Experimental Hematology*, 2025, 33(2): 442-446.
- [5] 郎芯悦, 张秋荣, 徐金格. 外泌体在多发性骨髓瘤发病机制中的研究进展[J]. *中国实验血液学杂志*, 2024, 32 (5): 1614-1617.
- LANG Xinyue, ZHANG Qiurong, XU Jinge. Research progress on exosomes in the pathogenesis of multiple myeloma[J]. *Journal of Experimental Hematology*, 2024, 32(5): 1614-1617.
- [6] 曾茜敏, 赵洁珺, 席亚明. 多发性骨髓瘤凝血功能异常的研究进展[J]. *中国肿瘤临床*, 2025, 52 (1): 47-50.
- ZENG Qianmin, ZHAO Jiejun, XI Yaming. Research progress on coagulation dysfunction in multiple myeloma[J]. *Chinese Journal of Clinical Oncology*, 2025, 52(1): 47-50.
- [7] 陈万松, 付明威. 多发性骨髓瘤患者血清 β 2-MG、免疫球蛋白水平与预后的相关性分析[J]. *中国实用医药*, 2025, 20 (2): 51-54.
- CHEN Wansong, FU Mingwei. Correlation analysis of serum β 2-MG, immunoglobulin levels and prognosis in patients with multiple myeloma[J]. *China Practical Medicine*, 2025, 20(2): 51-54.
- [8] 石玉士, 许家威, 刘青青, 等. IL-6/IL-6R/JAK2/STAT3 通路调控骨髓微环境对多发性骨髓瘤生物学行为影响的研究进展[J]. *中国实验血液学杂志*, 2024, 32 (1): 318-321.
- SHI Yushi, XU Jiawei, LIU Qingqing, *et al.* Research progress on IL-6/IL-6R/JAK2/STAT3 pathway regulating the influence of bone marrow micro-environment on the biological behavior of multiple myeloma[J]. *Journal of Experimental Hematology*, 2024, 32(1): 318-321.
- [9] 李辉锋, 丁琪, 毛永炎. 血清 β 2-MG、IL-17、FLC 联合检测对多发性骨髓瘤早期肾损伤的诊断价值分析[J]. *实用癌症杂志*, 2024, 39 (5): 781-784.
- LI Huifeng, DING Qi, MAO Yongyan. Analysis of the diagnostic value of combined detection of serum β 2-MG, IL-17, FLC for early renal injury in multiple myeloma[J]. *The Practical Journal of Cancer*, 2024, 39(5): 781-784.
- [10] 刘晓鹏, 黄国强, 赵小莹, 等. 半胱氨酸蛋白酶抑制剂 C 血清游离轻链水平对多发性骨髓瘤肾损伤患者 BTD 治疗方案疗效的预估价值研究[J]. *山西医药杂志*, 2020, 49 (14): 1799-1802.
- LIU Xiaopeng, HUANG Guoqiang, ZHAO Xiaoying, *et al.* Study on the predictive value of cystatin C serum free light chain level for the efficacy of BTD treatment regimen in multiple myeloma patients with renal injury[J]. *Shanxi Medical Journal*, 2020, 49(14): 1799-1802.
- [11] SHANG Y, CHEN G, LIU L, *et al.* Clinical and immunological characteristics of high-risk double-hit multiple myeloma[J]. *BMC Cancer*, 2024, 24(1): 1373.
- [12] CHEN Y, ZHOU X, WU Y. The miR-26a-5p/IL-6 axis alleviates sepsis-induced acute kidney injury by inhibiting renal inflammation[J]. *Ren Fail*, 2022, 44(1): 551-561.
- [13] LUDWIG H, TERPOS E, VAN DE DONK N, *et al.* Prevention and management of adverse events during treatment with bispecific antibodies and CAR T cells in multiple myeloma: a consensus report of the European Myeloma Network[J]. *Lancet Oncol*, 2023, 24(6): e255-e269.
- [14] AKHMETZYANOVA I, AARON T, GALBO P, *et al.* Tissue-resident macrophages promote early dissemination of multiple myeloma via IL-6 and TNF- α [J]. *Blood Adv*, 2021, 5(18): 3592-3608.
- [15] SHERIDAN R, BRENNAN K, BAZOU D, *et al.* Multiple myeloma derived extracellular vesicles uptake by monocyte cells stimulates IL-6 and MMP-9 secretion and promotes cancer cell migration and proliferation[J]. *Cancers (Basel)*, 2024, 16(5): 1011.
- [16] 岑海燕, 黄红铭, 王信峰. 多发性骨髓瘤患者血清游离轻链水平及其临床意义[J]. *交通医学*, 2021, 35 (3): 254-255, 258.
- CEN Haiyan, HUANG Hongming, WANG Xinfeng. Serum free light chain levels and their clinical significance in patients with multiple myeloma[J]. *Medical Journal of Communications*, 2021, 35(3): 254-255, 258.
- [17] RAJKUMAR SV. Multiple myeloma: 2024 update on diagnosis, risk-stratification, and management[J]. *Am J Hematol*, 2024, 99(9): 1802-1824.
- [18] BRIDOUX F, LEUNG N, NASR SH, *et al.* Kidney disease in multiple myeloma[J]. *Presse Med*, 2025, 54(1): 104264.