

复合炎症指标在鉴别单纯骨质疏松与椎体压缩性骨折中的价值

范远哲^{1,2*}, 吕云帆^{1,2}, 周鑫鹏^{1,2}

¹青岛大学青岛医学院, 山东 青岛

²康复大学青岛医院(青岛市市立医院), 山东 青岛

收稿日期: 2026年6月17日; 录用日期: 2026年7月11日; 发布日期: 2026年7月21日

摘要

目的: 探究复合炎症指标在鉴别单纯骨质疏松与椎体压缩性骨折(OVCF)患者中的应用价值, 为临床早期识别高危人群提供参考。方法: 回顾性分析2025年3月至2026年3月青岛市市立医院东院骨质疏松以及OVCF患者的临床资料, 共纳入170例患者, 其中单纯骨质疏松组(OP组) 80例, 骨质疏松性椎体压缩性骨折组(OVCF组) 90例。计算NLR、LMR、SII、SIRI及PIV, 结合年龄、性别及BMI进行多因素Logistic回归分析, 评估各指标与OVCF的独立关联, 并通过校正曲线评估模型稳定性。采用受试者工作特征(ROC)曲线分析其鉴别能力, 并通过Bootstrap检验评估诊断准确性。结果: OVCF组患者年龄较大。NLR、SII、SIRI、PIV显著升高, LMR显著降低。多因素分析显示, NLR、SII、SIRI、PIV为OVCF独立正相关因素, LMR为负相关因素。ROC分析显示LMR敏感度最高, PIV和SIRI特异性相对较高, NLR和SII鉴别能力可接受。年龄在所有模型中均为独立正相关因素, 性别和BMI无显著关联。结论: NLR、LMR、SII、SIRI及PIV均与单纯骨质疏松患者OVCF发生密切相关, 并为独立相关因素。LMR适合作为筛查指标, SIRI和PIV适合作为提示性指标, NLR和SII可作为参考指标。结合年龄、性别及BMI构建的模型拟合度好, 稳定性高, 可为临床早期识别高危患者和制定干预措施提供参考。

关键词

骨质疏松, 椎体压缩性骨折, NLR, LMR, SII, SIRI, PIV

Value of Composite Inflammatory Indices in Differentiating Simple Osteoporosis from Osteoporotic Vertebral Compression Fractures

Yuanzhe Fan^{1,2*}, Yunfan Lyu^{1,2}, Xinpeng Zhou^{1,2}

*通讯作者。

文章引用: 范远哲, 吕云帆, 周鑫鹏. 复合炎症指标在鉴别单纯骨质疏松与椎体压缩性骨折中的价值[J]. 临床医学进展, 2026, 16(7): 1750-1762. DOI: 10.12677/acm.2026.1672698

¹Qingdao Medical College of Qingdao University, Qingdao Shandong²Qingdao Hospital of University of Health and Rehabilitation Sciences (Qingdao Municipal Hospital), Qingdao Shandong

Received: June 17, 2026; accepted: July 11, 2026; published: July 21, 2026

Abstract

Objective: To investigate the value of composite inflammatory indices in differentiating patients with simple osteoporosis from those with osteoporotic vertebral compression fractures (OVCF), and to provide evidence for the early identification of high-risk populations in clinical practice. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of patients with osteoporosis and OVCF treated at the East Campus of Qingdao Municipal Hospital between March 2025 and March 2026. A total of 170 patients were included, comprising 80 patients with simple osteoporosis (OP group) and 90 patients with osteoporotic vertebral compression fractures (OVCF group). Composite inflammatory indices, including the NLR, LMR, SII, SIRI, and PIV, were calculated. Multivariate logistic regression analyses adjusted for age, sex, and body mass index (BMI) were performed to evaluate the independent associations between these indices and OVCF. Model stability was assessed using calibration curves. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was conducted to evaluate discriminative performance, and bootstrap validation was used to assess diagnostic accuracy. **Results:** Patients in the OVCF group were older. NLR, SII, SIRI, and PIV were significantly elevated, whereas LMR was significantly reduced in the OVCF group. Multivariate analysis demonstrated that NLR, SII, SIRI, and PIV were independent positive predictors of OVCF, while LMR was an independent negative predictor. ROC analysis showed that LMR had the highest sensitivity, whereas PIV and SIRI exhibited relatively high specificity. NLR and SII showed acceptable discriminative ability. Age was an independent positive predictor in all models, whereas sex and BMI were not significantly associated with OVCF. **Conclusion:** NLR, LMR, SII, SIRI, and PIV are closely associated with the occurrence of OVCF in patients with osteoporosis and serve as independent predictive factors. LMR may be useful as a screening marker, whereas SIRI and PIV may function as warning indicators. NLR and SII can be considered supplementary reference markers. The predictive model incorporating age, sex, and BMI demonstrated good calibration and stability, providing a useful tool for the early identification of high-risk patients and the development of preventive strategies.

Keywords

Osteoporosis, Osteoporotic Vertebral Compression Fracture, NLR, LMR, SII, SIRI, PIV

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

骨质疏松是一种全身代谢性骨病，其特点为骨量低下，骨密度降低以及骨微结构破坏，严重者可发生骨折[1][2]。随着人口老龄化和生活方式改变，骨质疏松的患病率不断增加，已经成为重要的公共卫生问题[3]。椎体压缩性骨折(OVCF)是骨质疏松最常见的严重并发症，不仅降低患者生活质量，而且增加医疗系统负担[4]。因此，早期识别高危人群并及时采取干预措施至关重要。

全身性炎症在骨质疏松发病机制中发挥着重要作用[5]。炎症因子可刺激破骨细胞，抑制成骨细胞，导致骨稳态破坏，加速骨量流失[6]。近年来，复合炎症指标在肿瘤、心血管疾病及感染性疾病风险评估

中应用广泛[7]-[9]。部分研究显示这些指标与骨密度下降及骨折风险存在关联,但直接比较单纯骨质疏松与 OVCF 两组患者之间炎症指标差异的研究较少[10] [11]。本研究目的在于通过血常规这种容易获得的检查,探索复合炎症指标在区分单纯骨质疏松与 OVCF 患者中的价值,为临床提供简便,快捷的风险评估方法。

2. 资料与方法

2.1. 研究人群

本回顾性研究纳入了 2025 年 3 月至 2026 年 3 月期间,青岛市市立医院东院 201 名骨质疏松患者,并已获得患者知情同意。所有患者均在此次或既往住院期间完成了双能 X 线吸收测量(DXA),然后根据骨密度 T 值和既往是否发生过椎体压缩性骨折分为单纯骨质疏松组(OP 组)和骨质疏松性椎体压缩性骨折组(OVCF 组)。

2.2. 选择标准

纳入标准

1. 符合《原发性骨质疏松症诊疗指南》诊断标准: 1) 髋部或椎体脆性骨折; 2) DXA 测定中轴骨骨密度或桡骨远端 1/3 骨密度 T 值 ≤ -2.5 ; 3) 骨密度测量符合骨量减少($-2.5 < T \text{ 值} < -1.0$) + 肱骨近端、骨盆或前臂远端脆性骨折[12]。

2. 临床资料完整,包含血常规,肝肾功结果。

排除标准

1. 急性或慢性感染: 病历中记录入组前 2 周内明确感染诊断(如肺炎、尿路感染、败血症)或使用抗生素治疗者; 或患有活动性结核、HIV 感染。

2. 自身免疫性疾病: 病历诊断为类风湿关节炎、系统性红斑狼疮、炎症性肠病、强直性脊柱炎等。

3. 血液系统疾病: 病历诊断为白血病、淋巴瘤、多发性骨髓瘤、骨髓增殖性肿瘤; 或血常规提示严重贫血($Hb < 80 \text{ g/L}$)、血小板异常(<50 或 $>600 \times 10^9/L$)。

4. 恶性肿瘤: 病历中记录有活动性恶性肿瘤,或过去 5 年内诊断的实体肿瘤。

5. 严重肝肾功能不全: 谷丙转氨酶或谷草转氨酶 > 3 倍正常上限,或估算肾小球滤过率 $< 30 \text{ ml/min}$ 。

6. 近期使用影响炎症指标的药物: 病历中记录入组前 1 个月内使用糖皮质激素(连续超过 7 天)、免疫抑制剂、化疗药物; 或长期使用非甾体抗炎药(连续超过 7 天)。

7. 近期手术或创伤: 病历中记录入组前 3 个月内有重大手术史; 对于 OVCF 组,骨折由高能量创伤导致者排除。

8. 其他: 病历中记录有妊娠、哺乳期、严重营养不良或恶病质。

2.3. 病史与数据收集

所有临床资料及实验室检查结果均从青岛市市立医院病案管理系统中提取,包括姓名、性别、年龄、高血压史,糖尿病史、冠心病史、骨折史或既往骨科相关手术史、吸烟史、饮酒史,以及身高和体重。收集纳入后次日清晨采集的空腹血液检测的结果,包括白细胞总数、中性粒细胞数、淋巴细胞数、单核细胞数、血红蛋白、血小板以及白蛋白。

2.4. 复合炎症指标

中性粒细胞与淋巴细胞比值(NLR)、血小板与淋巴细胞比值(PLR)、淋巴细胞与单核细胞比值(LMR)、

全身免疫炎症指数(SII, 即血小板 × 中性粒细胞/淋巴细胞)、全身炎症反应指数(SIRI, 即单核细胞 × 中性粒细胞/淋巴细胞)以及泛免疫炎症值(PIV, 即中性粒细胞 × 血小板 × 单核细胞/淋巴细胞)。

2.5. 统计分析

本研究使用 R 语言进行统计分析。连续变量先进行正态性检验和方差齐性检验：近似正态分布者以均值±标准差表示，组间比较采用独立样本 t 检验；非正态分布者以中位数(四分位数间距)表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。分类变量以例数(百分比)表示，组间比较采用 χ^2 检验；当理论频数较小(如任一单元格期望频数 < 5)时，采用 Fisher 确切概率法。考虑到需同时比较 6 个复合炎症指标，组间差异分析采用 Bonferroni 校正后的显著性水平($\alpha = 0.05/6 = 0.0083$)。为便于后续回归分析，对连续变量进行标准化处理。以是否合并 OVCF 为因变量进行 Logistic 回归分析：先进行单因素分析，单因素 $P < 0.05$ 的变量以及临床上重要的协变量(年龄、性别、BMI)纳入多因素分析。由于各复合炎症指标共享血细胞组成成分、存在潜在共线性，不将其同时纳入同一多因素模型，而分别构建独立的二元 Logistic 回归模型，并绘制校正曲线评估回归模型的稳定性。采用受试者工作特征(ROC)曲线评价指标的鉴别效能，计算曲线下面积(AUC)及 95%CI，并以约登指数最大值确定探索性截断值，同时进行 bootstrap 检验评估诊断的准确性。所有检验均为双侧检验，除 Bonferroni 校正外，以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 基线资料

本研究初筛纳入骨质疏松患者 201 例，经排除标准筛选后最终 170 例，其中单纯骨质疏松组(OP 组) 80 例，骨质疏松性椎体压缩性骨折组(OVCF 组) 90 例。两组患者的临床基线资料及血常规指标比较见表 1。与 OP 组相比，OVCF 组的年龄较大，外周血白细胞总数、中性粒细胞数、单核细胞数更高，而淋巴细胞数及白蛋白水平更低，差异有统计学意义($P < 0.05$)；而两组患者在性别、高血压史、糖尿病史、冠心病史、吸烟史、饮酒史、血小板数、血红蛋白方面差异无统计学意义($P > 0.05$)。

Table 1. Comparison of baseline characteristics and clinical parameters between the two groups
表 1. 两组患者基线资料及临床指标比较

		OP 组(n = 80)	OVCF 组(n = 90)	统计值	P 值
年龄(岁)		66.24 ± 10.94	74.38 ± 10.53	-4.941	<0.001
性别(n, %)	男	14 (17.5%)	14 (15.6%)	0.116	0.733
	女	66 (82.5%)	76 (84.4%)		
BMI (kg/m ²)		24.1 (21.3, 26.4)	24.5 (21.5, 26.5)	3550.500	0.877
高血压(n, %)	无	48 (60.0%)	42 (46.7%)	3.022	0.082
	有	32 (40.0%)	48 (53.3%)		
糖尿病(n, %)	无	68 (85.0%)	69 (76.7%)	1.880	0.170
	有	12 (15.0%)	21 (23.3%)		
冠心病(n, %)	无	58 (72.5%)	68 (75.6%)	0.206	0.650
	有	22 (27.5%)	22 (24.4%)		

续表

吸烟(n, %)	否	78 (97.5%)	88 (97.8%)	——	1.000
	是	2 (2.5%)	2 (2.2%)		
饮酒(n, %)	否	79 (98.8%)	89 (98.9%)	——	1.000
	是	1 (1.3%)	1 (1.1%)		
白细胞总数($10^9/L$)		5.42 ± 1.32	6.40 ± 1.86	-3.883	<0.001
中性粒细胞数($10^9/L$)		2.63 (2.26, 3.58)	4.08 (2.76, 5.01)	2001.000	<0.001
淋巴细胞数($10^9/L$)		1.87 (1.55, 2.35)	1.69 (1.34, 1.95)	2666.500	0.004
单核细胞数($10^9/L$)		0.39 (0.32, 0.49)	0.48 (0.41, 0.63)	2138.000	<0.001
血小板数($10^9/L$)		232 (194, 261)	226 (173, 268)	3564.500	0.912
血红蛋白(g/L)		128 (120, 136)	123 (115, 133)	2962.500	0.046
白蛋白(g/L)		41.53 ± 3.42	37.67 ± 2.91	7.958	<0.001

3.2. 复合炎症指标组间比较

采用 Mann-Whitney U 检验比较两组复合炎症指标, 结果见表 2。OVCF 组 NLR、SII、SIRI 及 PIV 水平显著高于 OP 组, 而 LMR 水平显著低于 OP 组, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。PLR 在两组间差异有统计学意义($P = 0.015 < 0.05$), 但经 Bonferroni 校正($\alpha = 0.05/6 \approx 0.0083$)后未达显著性水平。上述结果表明, 除 PLR 外, 其余复合炎症指标在两组间均存在显著差异。

Table 2. Comparison of composite inflammatory indices between the two groups
表 2. 两组患者复合炎症指标比较

	OP 组(n = 80)	OVCF 组(n = 90)	U 值	P 值
NLR	1.43 (1.09, 1.83)	2.29 (1.49, 3.09)	5460.500	<0.001
PLR	117.62 (86.87, 151.31)	135.89 (103.55, 181.88)	4382.500	0.015
LMR	4.85 (3.90, 5.87)	3.34 (2.39, 4.28)	1528.500	<0.001
SII	310.81 (218.48, 461.98)	510.43 (341.27, 758.97)	5237.000	<0.001
SIRI	0.56 (0.38, 0.83)	1.24 (0.66, 1.89)	5630.000	<0.001
PIV	129.26 (85.54, 183.68)	274.37 (142.50, 427.62)	5441.000	<0.001

3.3. 单因素 Logistic 回归分析

由于各炎症指标的量纲不同, 为方便比较, 对连续变量进行标准化处理。以是否合并 OVCF 为因变量, 对各临床指标及存在显著差异的复合炎症指标进行单因素 Logistic 回归分析, 结果见表 3。

年龄、白细胞总数、中性粒细胞数、淋巴细胞数、白蛋白、NLR、LMR、SII、SIRI、PIV 与 OVCF

的发生显著相关($P < 0.05$); 而性别、BMI、高血压、糖尿病、冠心病、吸烟、饮酒、单核细胞数、血小板数、血红蛋白与 OVCF 无显著关联($P > 0.05$)。

将上述单因素分析中 $P < 0.05$ 的变量(NLR、LMR、SII、SIRI、PIV)纳入后续多因素回归分析, 同时基于临床重要性强制纳入年龄、性别及 BMI。考虑到上述复合炎症指标共享中性粒细胞、淋巴细胞、单核细胞及血小板等组分, 为避免多重共线性对参数估计的影响, 本研究分别建立独立多因素模型, 共线性分析结果见表 4。

Table 3. Correlation analysis between baseline characteristics, clinical parameters, NLR, LMR, SII, SIRI, PIV and OVCF
表 3. 基线资料、临床指标及 NLR、LMR、SII、SIRI、PIV 与 OVCF 的相关性分析

	P 值	Exp (B)	EXP (B)的 95%置信区间		Hosmer-Lemeshow 检验 P 值
			下限	上限	
标准化年龄	<0.001	2.235	1.560	3.202	0.574
性别(男)	0.733	0.868	0.386	1.954	——
标准化 BMI	0.658	0.933	0.688	1.266	0.550
高血压(有)	0.083	1.714	0.932	3.154	——
糖尿病(有)	0.173	1.725	0.787	3.779	——
冠心病(有)	0.650	0.853	0.429	1.695	——
吸烟(是)	0.905	0.886	0.122	6.442	——
饮酒(是)	0.933	1.127	0.069	18.311	——
标准化白细胞总数	<0.001	1.893	1.337	2.681	0.149
标准化中性粒细胞数	<0.001	2.678	1.796	3.993	0.024
标准化淋巴细胞数	0.017	0.655	0.463	0.927	0.720
标准化单核细胞数	0.795	0.961	0.710	1.301	<0.001
标准化血小板	0.628	1.078	0.796	1.460	0.009
标准化血红蛋白	0.819	0.965	0.713	1.308	0.302
标准化白蛋白	<0.001	0.240	0.150	0.383	0.309
标准化 NLR	<0.001	4.462	2.466	8.074	0.514
标准化 LMR	<0.001	0.306	0.191	0.490	0.474
标准化 SII	<0.001	2.909	1.851	4.572	0.912
标准化 SIRI	0.008	2.524	1.276	4.994	0.017
标准化 PIV	0.006	2.435	1.289	4.599	0.039

Table 4. Collinearity analysis of continuous variables
表 4. 连续变量的共线性分析

	容差	VIF
年龄	0.917	1.091
BMI	0.831	1.204
白细胞总数	0.004	239.512
中性粒细胞数	0.006	170.794
淋巴细胞数	0.014	72.514
单核细胞数	0.081	12.342
NLR	0.044	22.758
LMR	0.125	8.000
SII	0.053	18.701
SIRI	0.010	98.627
PIV	0.013	75.528

3.4. 多因素 Logistic 回归分析

为避免共线性干扰，准确评估各复合炎症指标与 OVCF 的独立关联，分别以每个炎症指标为核心自变量，建立独立的二元 Logistic 回归模型，每个模型均校正年龄、性别、BMI，结果见表 5、表 6。

年龄在所有模型中均为稳定的独立正相关因素，OR ≈ 2.12 (P < 0.001)，即年龄每增加 1 个标准差(约 10 岁)，合并 OVCF 的比值比增加约 112%。NLR 校正后 OR = 4.350 (95%CI 2.328~8.126, P < 0.001)，提示 NLR 升高与合并 OVCF 显著正相关；SII 校正后 OR = 3.131 (95%CI 1.902~5.154, P < 0.001)，SIRI 校正后 OR = 1.986 (95%CI 1.033~3.818, P = 0.040)，PIV 校正后 OR = 2.053 (95% CI 1.065~3.957, P = 0.032)，说明 SII、SIRI 以及 PIV 升高同样与合并 OVCF 独立正相关。而 LMR 校正后 OR = 0.334 (95% CI 0.204~0.546, P < 0.001)，说明 LMR 为独立负相关因素，其水平越高，合并 OVCF 的可能性越低。性别和 BMI 在所有模型中均无显著关联(P > 0.05)。

Table 5. Association between NLR, LMR, SII, SIRI, PIV and OVCF after adjustment for age, sex, and BMI
表 5. 校正年龄、性别及 BMI 后 NLR、LMR、SII、SIRI、PIV 与 OVCF 的相关性分析

	P 值	SE	Exp (B)	EXP (B)的 95%置信区间		模型系数的 Omnibus 检验 P 值	Cox-Snell R ²	Nagelkerke R ²	Hosmer-Lemeshow 检验 P 值
				下限	上限				
性别(男)	0.864	0.516	1.093	0.397	3.004	<0.001	0.284	0.379	0.155
标准化年龄	<0.001	0.199	2.076	1.407	3.065				
标准化 BMI	0.825	0.198	0.957	0.649	1.411				
标准化 NLR	<0.001	0.319	4.350	2.328	8.126				

续表

性别(男)	0.585	0.508	1.320	0.488	3.571				
标准化年龄	0.001	0.197	1.928	1.312	2.834	<0.001	0.254	0.339	0.807
标准化 BMI	0.954	0.189	1.011	0.698	1.464				
标准化 LMR	<0.001	0.252	0.334	0.204	0.546				
性别(男)	0.824	0.502	0.894	0.334	2.390				
标准化年龄	<0.001	0.200	2.280	1.539	3.378	<0.001	0.255	0.340	0.919
标准化 BMI	0.674	0.197	0.920	0.625	1.354				
标准化 SII	<0.001	0.254	3.131	1.902	5.154				
性别(男)	0.806	0.478	0.889	0.348	2.271				
标准化年龄	<0.001	0.190	2.132	1.468	3.095	<0.001	0.167	0.224	0.603
标准化 BMI	0.595	0.184	0.907	0.632	1.301				
标准化 SIRI	0.040	0.333	1.986	1.033	3.818				
性别(男)	0.712	0.474	0.839	0.332	2.124				
标准化年龄	<0.001	0.190	2.165	1.492	3.141	<0.001	0.170	0.227	0.392
标准化 BMI	0.586	0.190	0.902	0.622	1.308				
标准化 PIV	0.032	0.335	2.053	1.065	3.957				

Table 6. Calibration performance of regression models for NLR, LMR, SII, SIRI, and PIV
表 6. NLR、LMR、SII、SIRI、PIV 回归模型校准参数

	C 值	截距	斜率	R ²	平均绝对误差	Brier 分数	P 值
NLR	0.811	0.013	0.976	0.877	0.088	0.178	0.958
LMR	0.816	-0.031	1.059	0.856	0.096	0.176	0.575
SII	0.791	0.013	0.976	0.936	0.061	0.186	0.888
SIRI	0.766	-0.063	1.120	0.823	0.093	0.199	0.526
PIV	0.766	-0.054	1.103	0.845	0.095	0.199	0.543

为进一步评估预测概率与观测结果的一致性，绘制了校准曲线，见图 1。结果显示，各指标的校准曲线斜率均接近于 1 (0.9755~1.1195)，截距接近于 0 (-0.0632~0.013)，且决定系数(R²)均较高(>0.80)，说明将复合炎症指标分别与校准后的年龄，BMI 以及性别构建的预测模型拟合度良好。此外，Brier 分数均较低(<0.20)，说明回归模型的预测误差较小。

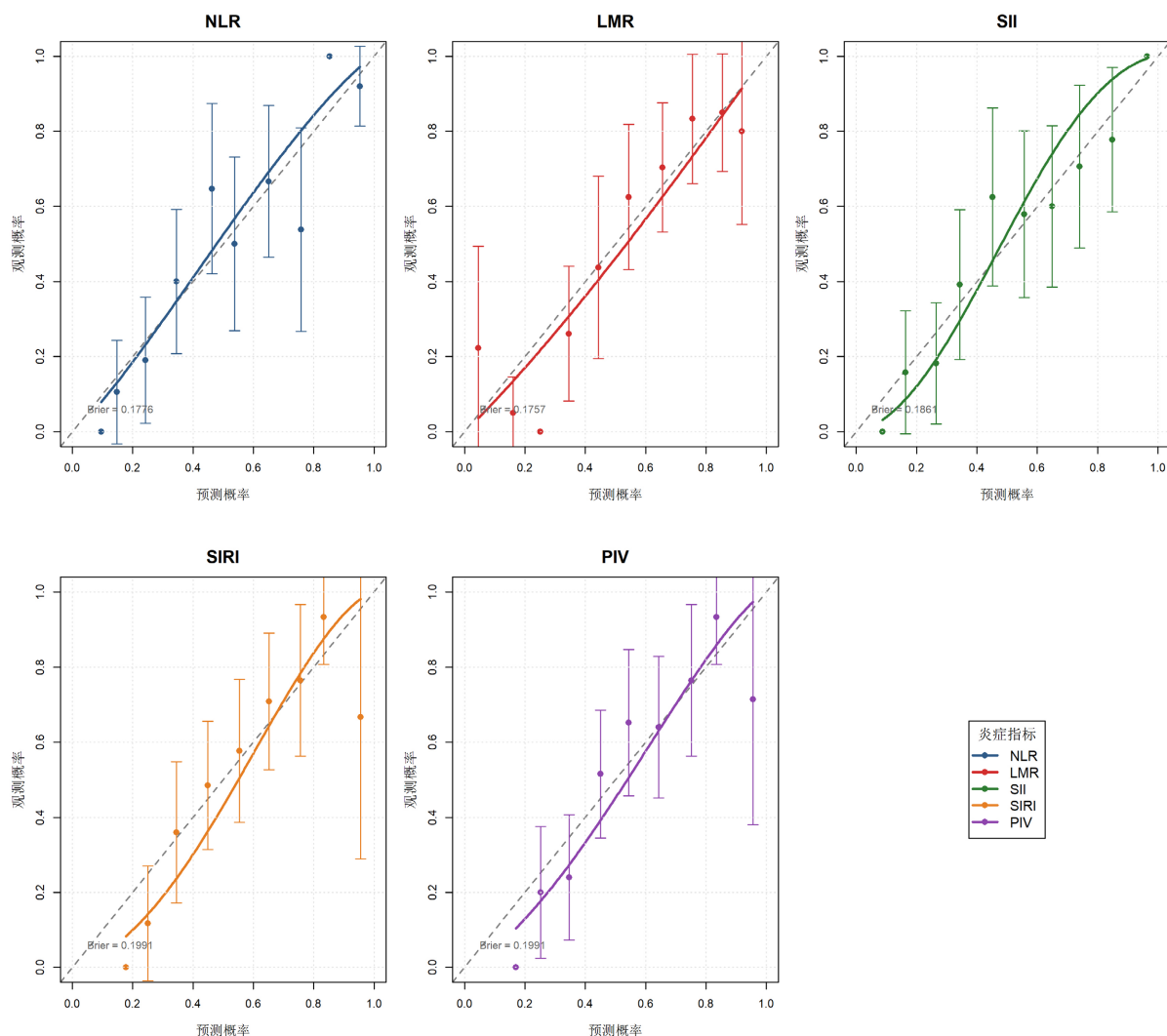


Figure 1. Calibration curves of regression models for NLR, LMR, SII, SIRI, and PIV

图 1. NLR、LMR、SII、SIRI、PIV 回归模型校正曲线

3.5. 复合炎症指标的鉴别效能(ROC 分析)

为评估 5 种复合炎症指标(NLR、LMR、SII、SIRI、PIV)对 OVCF 的鉴别效能,绘制受试者工作特征(ROC)曲线,并进行 Bootstrap 检验评估诊断的准确性,结果见图 2、表 7、表 8。

LMR 的鉴别效能最佳, AUC 为 0.788 (95%CI 0.719~0.857), 在最佳截断值 4.61 时, 敏感度为 85.6%, 特异度为 60.0%。SIRI 的鉴别效能仅次于 LMR, AUC 为 0.782 (95%CI 0.712~0.852)。PIV 的 AUC 为 0.756 (95%CI 0.683~0.829), 其特异度在 5 个指标中最高, 达到 92.5%。NLR 和 SII 的 AUC 分别为 0.758 (95%CI 0.687~0.830)和 0.727 (95%CI 0.652~0.803), 鉴别效能可接受($0.7 \leq \text{AUC} < 0.8$)。Bootstrap 检验结果显示, 各复合炎症指标的 AUC 校正值与原始 AUC 非常接近, 偏倚极小(<0.05), 说明模型具有良好的稳定性。

上述结果表明, 5 种复合炎症指标鉴别效能一般($\text{AUC} > 0.7$), 其中 LMR 的敏感度最高(85.6%), 适合作为初筛参考指标; PIV 的特异度最高(92.5%), 适合作为提示性指标。综合而言, 这 5 个指标均可作为单纯骨质疏松患者合并 OVCF 的辅助鉴别工具, 但尚不能替代影像学检查或前瞻性预测模型。

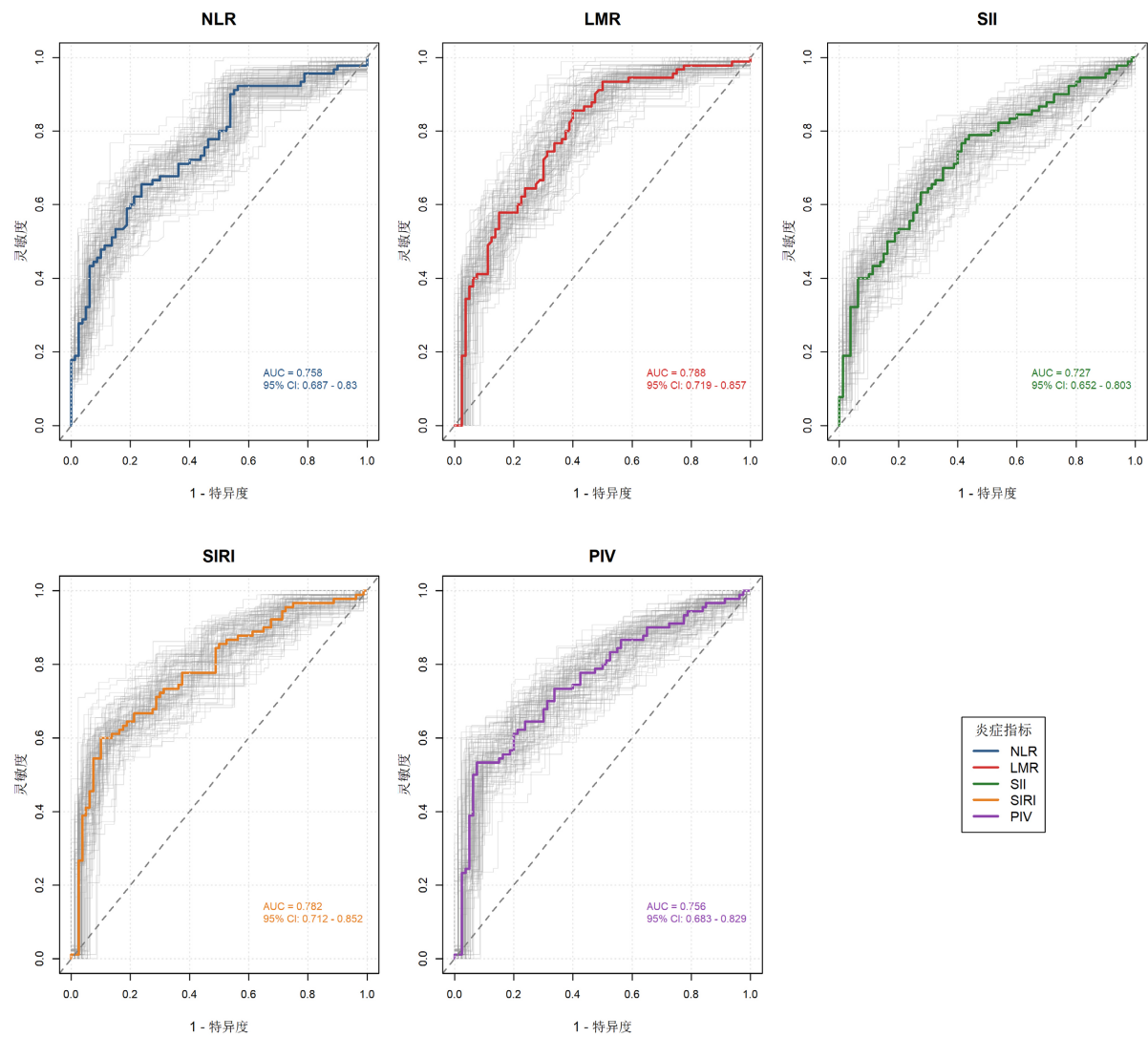


Figure 2. ROC curves and diagnostic performance of NLR, LMR, SII, SIRI, and PIV for OVCF
图 2. NLR、LMR、SII、SIRI、PIV 对 OVCF 的 ROC 曲线及鉴别效能

Table 7. Diagnostic performance of NLR, LMR, SII, SIRI, and PIV for differentiating OVCF
表 7. NLR、LMR、SII、SIRI、PIV 对 OVCF 的鉴别效能

	AUC	AUC 的 95%置信区间		约登指数 最大值	最佳截断值	灵敏度	特异度
		上限	下限				
NLR	0.758	0.687	0.830	1.418	1.843	0.656	0.763
LMR	0.788	0.719	0.857	1.456	4.614	0.856	0.600
SII	0.727	0.652	0.803	1.358	418.774	0.633	0.725
SIRI	0.782	0.712	0.852	1.500	1.029	0.600	0.900
PIV	0.756	0.683	0.829	1.458	268.258	0.533	0.925

Table 8. Bootstrap validation of the diagnostic performance of NLR, LMR, SII, SIRI, and PIV for OVCF
表 8. NLR、LMR、SII、SIRI、PIV 对 OVCF 鉴别效能的 Bootstrap 验证结果

	均值	标准差	标准误	上限	下限	偏倚
NLR	0.758	0.039	0.002	0.679	0.828	-0.001
LMR	0.788	0.036	0.002	0.714	0.850	0.000
SII	0.726	0.039	0.002	0.649	0.797	-0.002
SIRI	0.781	0.038	0.002	0.701	0.848	-0.001
PIV	0.754	0.039	0.002	0.684	0.825	-0.002

4. 讨论

OVCF 作为骨质疏松严重的并发症，不仅降低患者的生活质量，而且增加医疗负担[4]。因此，早期识别单纯骨质疏松患者中可能发生 OVCF 的高危人群，对于采取干预措施、防止发生骨折至关重要。与既往研究相比，本研究比较了单纯骨质疏松患者与已发生 OVCF 患者之间复合炎症指标的差异。既往研究主要关注炎症指标与骨密度下降或骨质疏松发生风险的关系。例如，Al Salmani 等发现 NLR 升高与绝经后骨质疏松存在显著关联；Nie 等报道 SII、SIRI 等复合炎症指标与老年人骨量减少密切相关[11][13]。然而，针对已经确诊骨质疏松患者中谁更容易发生骨折的研究仍相对有限。本研究结果显示，各复合炎症指标的 AUC 介于 0.727~0.788 之间，其中 LMR 的 AUC 最高，敏感度达到 85.6%，提示其具有较好的筛查价值；而 PIV 和 SIRI 特异度分别达到 92.5%和 90.0%，提示其适合作为高危患者的提示性指标。从诊断效能来看，本研究结果与既往关于炎症指标预测骨质疏松风险的研究总体一致，但进一步拓展至骨折风险分层，为临床应用提供了新的证据。

在这些指标中，NLR 表现出较强的相关能力。多因素分析显示 NLR 校正后 OR = 4.350 (95%CI 2.328~8.126, $P < 0.001$)，为独立正相关因素。机制上，中性粒细胞活化释放肿瘤坏死因子 α (TNF- α)、白细胞介素 6 (IL-6)等炎症因子，既可以刺激破骨前体细胞分化为成熟破骨细胞，增强骨吸收活性，又能够抑制成骨细胞功能，导致骨形成减少[14][15]。淋巴细胞则通过分泌转化生长因子 β (TGF- β)和白细胞介素 10 (IL-10)抑制破骨细胞活性[16][17]。ROC 分析显示，NLR 的 AUC 为 0.758，敏感度为 65.6%，特异度为 76.3%，说明其在初筛中有参考价值，但单独使用时敏感度有限。

LMR 在本研究中表现为独立负相关因素。多因素分析显示 LMR 校正后 OR = 0.334 (95%CI 0.204~0.546, $P < 0.001$)，即 LMR 水平越高，合并 OVCF 的可能性越低。LMR 降低通常由淋巴细胞减少或单核细胞增多引起。淋巴细胞减少可能反映免疫功能下降或营养不良，削弱对破骨细胞的抑制作用；而单核细胞增多为破骨细胞提供更多前体[15]。ROC 分析显示 LMR 的 AUC 为 0.788，在最佳截断值 4.614 时，敏感度高达 85.6%，特别适合作为初筛参考指标，但特异度仅 60.0%，需结合其他指标和临床因素综合考虑。

SIRI 也是 OVCF 的独立正相关因素(OR = 1.986 95%CI 1.033~3.818, $P = 0.040$)，其特点在于同时考虑中性粒细胞、单核细胞和淋巴细胞[13][18][19]。ROC 分析显示 SIRI 的 AUC 为 0.782，鉴别能力仅次于 LMR，在最佳截断值 1.029 时，特异度可达 90.0%，尤其适合作为提示性指标。SIRI 较 NLR 多纳入了单核细胞组分。单核细胞在骨质疏松发病中具有双重作用，一方面作为破骨细胞前体参与骨吸收，另一方面可分化为巨噬细胞，根据微环境极化为 M1 或 M2 表型[15][20][21]。在骨质疏松患者中，单核细胞倾向于 M1 极化，分泌大量促炎因子[22][23]。因此，SIRI 可能比 NLR 更加全面反映骨免疫微环境失衡。

SII 和 PIV 两个指标将血小板纳入计算公式,既能反映炎症状态,又考虑到血小板在骨代谢中的作用。血小板通过释放血小板衍生生长因子(PDEF),白介素 1β (IL- 1β)等细胞因子,调节破骨细胞活性,参与骨重建[24] [25]。OVCF 组 SII 和 PIV 均升高,多因素分析仍为独立负相关因素(SII OR = 3.131 95%CI 1.902~5.154, $P < 0.001$; PIV OR = 2.053 95%CI 1.065~3.957, $P = 0.032$)。ROC 分析显示 PIV 特异度在 5 个指标中最高,适合作为提示性指标;SII 的 AUC 为 0.727,鉴别能力可接受。结合 NLR、LMR、SIRI 使用, SII 和 PIV 可进一步提高 OVCF 鉴别的准确性。

年龄在所有模型中均为独立正相关因素($OR \approx 2.12$, $P < 0.001$),提示随着年龄增长,骨骼脆性增加。性别和 BMI 在多因素分析中未显示显著关联。首先,本研究样本中女性占比较高(约 83%),男性样本量相对有限,可能降低了检测性别差异的统计效能。其次,两组患者 BMI 中位数均约 24 kg/m^2 ,分布范围相对集中,组间差异较小,可能弱化了骨折风险的影响。此外,高龄骨质疏松患者中,骨密度、肌少症、跌倒风险及其他慢性疾病等因素对骨折发生的贡献可能超过 BMI 本身。未来应扩大样本量,并纳入更多男性患者及不同 BMI 分层人群进一步验证。

本研究存在以下局限性。首先,本研究为单中心回顾性研究,样本量相对有限,可能存在选择偏倚,研究结果的外推性受到一定限制。其次,由于 OVCF 患者是在骨折发生后入组,炎症指标可能受到骨折本身诱发炎症反应的影响,因此无法完全排除因果倒置的可能,即炎症指标升高究竟是骨折发生前的危险因素还是骨折后的反应仍难以明确。第三,虽然研究排除了感染、自身免疫疾病及恶性肿瘤等影响因素,但仍可能存在未被识别的潜在混杂因素,如营养状态、体力活动水平、维生素 D 水平、骨质疏松治疗史及其他慢性疾病状态。第四,本研究未能系统记录所有患者骨折发生至采血的时间差异,因此无法充分评估炎症指标随骨折时间变化的动态特征。未来研究应开展多中心、大样本前瞻性队列研究,在骨质疏松患者尚未发生骨折时动态监测复合炎症指标变化,进一步验证其对 OVCF 发生的预测价值。同时,可结合骨密度、骨代谢标志物及影像学参数构建综合预测模型,以提高骨折风险评估的准确性和临床实用性。

5. 结论

本研究表明,血常规衍生的复合炎症指标可以作为单纯骨质疏松患者 OVCF 风险的辅助评估工具。LMR 敏感度高,可用于初筛高危患者;SIRI 和 PIV 特异度高,可提示存在骨折;NLR 和 SII 作为参考指标可提高评估的准确性。年龄为稳定的独立正相关因素,而性别和 BMI 影响较小。结合血常规指标与临床基础资料构建的复合模型,可为临床早期识别高危骨质疏松患者和制定个性化干预措施提供参考价值。

参考文献

- [1] Lane, N.E. (2006) Epidemiology, Etiology, and Diagnosis of Osteoporosis. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, **194**, S3-S11. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2005.08.047>
- [2] Morin, S.N., Leslie, W.D. and Schousboe, J.T. (2025) Osteoporosis. *Journal of the American Medical Association*, **334**, 894-907. <https://doi.org/10.1001/jama.2025.6003>
- [3] Salari, N., Ghasemi, H., Mohammadi, L., Behzadi, M.H., Rabieenia, E., Shohaimi, S., et al. (2021) The Global Prevalence of Osteoporosis in the World: A Comprehensive Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **16**, Article No. 609. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02772-0>
- [4] Williams, S.A., Daigle, S.G., Weiss, R., Wang, Y., Arora, T. and Curtis, J.R. (2021) Economic Burden of Osteoporosis-Related Fractures in the US Medicare Population. *Annals of Pharmacotherapy*, **55**, 821-829. <https://doi.org/10.1177/1060028020970518>
- [5] Mundy, G.R. (2007) Osteoporosis and Inflammation. *Nutrition Reviews*, **65**, S147-S151. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2007.tb00353.x>
- [6] Fischer, V. and Haffner-Luntzer, M. (2022) Interaction between Bone and Immune Cells: Implications for Postmenopausal Osteoporosis. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, **123**, 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2021.05.014>

- [7] Li, Y., Chen, D., Fan, Y., Zhu, Q., Deng, H. and Chai, X. (2025) Association between Neutrophil to Lymphocyte Ratio and All-Cause Mortality in Critical Patients with Coronary Artery Disease—A Study Based on the MIMIC-IV Database. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **12**, Article 1502964. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2025.1502964>
- [8] Chen, J., Fu, J., Liu, J., Lu, Y., Han, D., Zeng, J., *et al.* (2025) The Association of Systemic Immune Inflammation Index (SII) and Platelet-to-Lymphocyte Ratio (PLR) on Coagulopathy and Prognosis in Patients with Traumatic Brain Injury. *Journal of Inflammation Research*, **18**, 5637-5653. <https://doi.org/10.2147/jir.s512018>
- [9] Tamaki, S., Nagai, Y., Shutta, R., Masuda, D., Yamashita, S., Seo, M., *et al.* (2023) Combination of Neutrophil-to-Lymphocyte and Platelet-to-Lymphocyte Ratios as a Novel Predictor of Cardiac Death in Patients with Acute Decompensated Heart Failure with Preserved Left Ventricular Ejection Fraction: A Multicenter Study. *Journal of the American Heart Association*, **12**, e026326. <https://doi.org/10.1161/jaha.122.026326>
- [10] Mandaliya, H., Jones, M., Oldmeadow, C. and Nordman, I.I.C. (2019) Prognostic Biomarkers in Stage IV Non-Small Cell Lung Cancer (NSCLC): Neutrophil to Lymphocyte Ratio (NLR), Lymphocyte to Monocyte Ratio (LMR), Platelet to Lymphocyte Ratio (PLR) and Advanced Lung Cancer Inflammation Index (ALI). *Translational Lung Cancer Research*, **8**, 886-894. <https://doi.org/10.21037/tlcr.2019.11.16>
- [11] Salmani, A.A., Shidhani, A.A., Al-Alawi, N.M., Sulaimi, A.A.A. and Al-Hashemi, M.A. (2022) Inflammatory Markers as a Predictor of Postmenopausal Osteoporosis: Cross-Sectional Study from Sultan Qaboos University Hospital. *Sultan Qaboos University Medical Journal*, **22**, 508-514. <https://doi.org/10.18295/squmj.11.2021.145>
- [12] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 原发性骨质疏松症诊疗指南(2022) [J]. 中国全科医学杂志, 2023, 26(14): 1671-1691.
- [13] Nie, Y.Z., Yan, Z.Q., Yin, H., *et al.* (2022) Osteosarcopenic Obesity and Its Components—Osteoporosis, Sarcopenia, and Obesity—Are Associated with Blood Cell Count-Derived Inflammation Indices in Older Chinese People. *BMC Geriatrics*, **22**, Article No. 532. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03225-x>
- [14] Keshari, R.S., Jyoti, A., Dubey, M., Kothari, N., Kohli, M., Bogra, J., *et al.* (2012) Cytokines Induced Neutrophil Extracellular Traps Formation: Implication for the Inflammatory Disease Condition. *PLOS ONE*, **7**, e48111. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048111>
- [15] Wada, T., Nakashima, T., Hiroshi, N. and Penninger, J.M. (2006) RANKL-RANK Signaling in Osteoclastogenesis and Bone Disease. *Trends in Molecular Medicine*, **12**, 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2005.11.007>
- [16] Takayanagi, H. (2007) Osteoimmunology: Shared Mechanisms and Crosstalk between the Immune and Bone Systems. *Nature Reviews Immunology*, **7**, 292-304. <https://doi.org/10.1038/nri2062>
- [17] Guo, M., Liu, H., Yu, Y., Zhu, X., Xie, H., Wei, C., *et al.* (2023) *Lactobacillus rhamnosus* GG Ameliorates Osteoporosis in Ovariectomized Rats by Regulating the Th17/Treg Balance and Gut Microbiota Structure. *Gut Microbes*, **15**, Article 2190304. <https://doi.org/10.1080/19490976.2023.2190304>
- [18] Jomrich, G., Paireder, M., Kristo, I., Baierl, A., Ilhan-Mutlu, A., Preusser, M., *et al.* (2021) High Systemic Immune-Inflammation Index Is an Adverse Prognostic Factor for Patients with Gastroesophageal Adenocarcinoma. *Annals of Surgery*, **273**, 532-541. <https://doi.org/10.1097/sla.0000000000003370>
- [19] Qin, Z., Li, H., Wang, L., Geng, J., Yang, Q., Su, B., *et al.* (2022) Systemic Immune-Inflammation Index Is Associated with Increased Urinary Albumin Excretion: A Population-Based Study. *Frontiers in Immunology*, **13**, Article 863640. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.863640>
- [20] Murray, P.J., Allen, J.E., Biswas, S.K., Fisher, E.A., Gilroy, D.W., Goerdt, S., *et al.* (2014) Macrophage Activation and Polarization: Nomenclature and Experimental Guidelines. *Immunity*, **41**, 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2014.06.008>
- [21] Yang, J., Park, O., Kim, J., Kwon, Y., Yun, C. and Han, S.H. (2019) Modulation of Macrophage Subtypes by IRF5 Determines Osteoclastogenic Potential. *Journal of Cellular Physiology*, **234**, 23033-23042. <https://doi.org/10.1002/jcp.28863>
- [22] Yan, Q., Liu, H., Zhu, R. and Zhang, Z. (2024) Contribution of Macrophage Polarization in Bone Metabolism: A Literature Review. *Cytokine*, **184**, Article 156768. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2024.156768>
- [23] Dou, C., Ding, N., Zhao, C., Hou, T., Kang, F., Cao, Z., *et al.* (2018) Estrogen Deficiency-Mediated M2 Macrophage Osteoclastogenesis Contributes to M1/M2 Ratio Alteration in Ovariectomized Osteoporotic Mice. *Journal of Bone and Mineral Research*, **33**, 899-908. <https://doi.org/10.1002/jbmr.3364>
- [24] Salamanna, F., Giavaresi, G., Di Martino, A., Gaudio, A., Nucera, F., Faldini, C., *et al.* (2025) How Exosomal Platelet-Derived miRNAs Can Lead to Spontaneous Osteoclastogenesis in Osteoporosis: A New Mechanistic Viewpoint. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article 1720672. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1720672>
- [25] Salamanna, F., Di Martino, A., Contartese, D., Faldini, C., Giavaresi, G. and Fini, M. (2025) The Unexplored Relationship between Spontaneous Osteoclastogenesis and Platelets in Osteoporosis. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article 1584022. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1584022>