

· 综 述 ·

开放获取

膝骨性关节炎软骨下骨髓水肿样变的研究进展[△]

赵志虎, 骆巍, 马剑雄, 马信龙*

(天津市天津医院数字骨科技术与临床应用中心, 天津 300000)

摘要: 膝骨性关节炎软骨下骨髓水肿样变是一种常见的 MRI 影像学特征, 主要表现为股骨、胫骨和(或)髌骨的软骨下骨区域 T2 加权像上的高信号。研究表明, 软骨下骨髓水肿样变不仅与膝骨性关节炎的疼痛和功能障碍密切相关, 而且被认为是疾病进展的潜在驱动因素。近年来, 众多研究对软骨下骨髓水肿样变术语的演变、发病机制、组织病理学、流行病学、自然史以及治疗方法进行了深入探讨。本文将对这些文献进行综述, 旨在为临床医生和研究人员提供一个关于软骨下骨髓水肿样变在膝骨性关节炎中作用的全面概述。

关键词: 膝骨性关节炎, 软骨下骨髓水肿样变, 治疗方法, 研究进展

中图分类号: R684.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2025) 21-1942-05

Research progress of subchondral bone marrow edema-like lesions in knee osteoarthritis // ZHAO Zhi-hu, LUO Wei, MA Jian-xiong, MA Xin-long. Digital Orthopaedic Technology and Clinical Application Center, Tianjin Hospital, Tianjin 300000, China

Abstract: Bone marrow edema-like lesions are a prevalent MRI imaging characteristic in knee osteoarthritis. They are typically observed as areas of increased signal intensity on T2-weighted images within the subchondral bone region of the femur, tibia, and/or patella. Research indicates that subchondral bone marrow lesions changes are not only closely associated with pain and functional impairment in knee osteoarthritis but also are considered a potential driving factor in the progression of the OA. In recent years, a multitude of studies have conducted in-depth explorations into the evolution of the terminology, pathogenesis, histopathology, epidemiology, natural history, and treatment methods related to subchondral bone marrow edema-like changes. This article aims to provide a comprehensive review of these literatures, with the goal of offering clinicians and researchers a thorough overview of the role of subchondral bone marrow edema-like lesions changes in knee osteoarthritis.

Key words: osteoarthritis, bone marrow lesions, treatment, recent advances

骨关节炎 (osteoarthritis, OA) 是老年患者致残的主要原因^[1, 2]。目前普遍认为, OA 是一种全关节疾病, 涉及所有的关节组织, 包括肌肉、软骨下骨、滑膜、韧带以及半月板等^[3, 4]。MRI 可以同时显现膝关节周围骨和软组织的改变。软骨下骨髓样病变 (bone marrow lesions, BMLs) 是一种常见的 MRI 影像学特征, 在 OA 的发生发展中起着重要作用。BMLs 在 MRI 上主要表现为股骨、胫骨和(或)髌骨的软骨下骨区域 T2 加权像上的高信号, 伴或不伴有 T1 加权像上的低信号, 脂肪抑制序列是软骨下骨不规则、边界欠清楚的异常高信号区^[5, 6]。但是 MRI 上这种信号改变不具有特异性, 其他一些疾病, 比如自

发性骨坏死、缺血性坏死、创伤以及造血系统或骨髓等相关疾病都可以出现 BMLs^[7]。本综述主要讨论 OA 相关的 BMLs。本文从 BMLs 术语的演变、发病机制、流行病学、自然史、组织病理学以及治疗研究进行综述, 为 BMLs 的治疗提供借鉴。

1 BMLs 术语的演变

骨髓水肿 (bone marrow edema, BME) 最早由 Wilson 等^[8]提出, 在对 10 例膝和髌关节疼痛患者进行 MRI 检查时发现, X 线片无异常表现, 7 例患者有不同程度的骨量减少, 而在 MRIT2 上呈现高信号。

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.110063

△基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 82302701); 天津市自然科学基金项目 (编号: 22JCQNJC01060; 22ZYJDSY00110); 天津市卫生健康科技项目 (编号: TJWJ2022QN051; TJWJ2022MS025); 天津市青年医学新锐人才项目 (编号: TJSQNYXXR-D2-131; TJSQNYXXR-D2-136)

作者简介: 赵志虎, 主治医师, 研究方向: 数字骨科技术, (电话) 022-60910337, (电子信箱) zhaozhihu@tmu.edu.cn

***通信作者:** 马信龙, (电话) 022-60910337, (电子信箱) gukezzh@126.com

Wilson 认为这种异常的 T2 高信号是由于骨髓中的水分大量增加,同时因缺少更合适的术语并且为了强调一致的 MRI 特征,因此,命名为骨髓水肿。在文章中分析骨髓水肿原因是一过性的骨质疏松以及反射性交感神经营养不良。后来,Plenk 等^[9]对髌关节疼痛患者髓芯减压的组织进行组织学染色发现,在骨小梁之间的间质水肿,同时也发现了一定数量的坏死脂肪细胞碎片。另外其余的造血骨髓区域存在一定的坏死表现。但是随后 Zanetti 等^[10]对 16 例接受全膝关节置换的患者,术前 1~4 d 进行 MRI 相关检测,并在术后进行组织染色。结果发现,BME 的病理学表现主要是骨髓坏死(11%)、骨髓纤维化(4%)、骨小梁异常(8%)以及骨髓出血(2%)。而仅有少量的骨髓水肿。因此,Zanetti 等建议用“水肿样 MRI 信号异常”来代替“骨髓水肿”这一术语。

2 BMLs 的发病机制

BMLs 的发病机制尚不完全清楚,和骨坏死一样是由多种因素共同导致的。一种学说认为积累性微骨折导致骨髓水肿,下肢力线的异常,包括膝外翻和膝内翻,都可以导致膝关节面上载荷的异常分布。既往研究表明,机械载荷异常会导致 BMLs 的发生^[11]。长期的关节负荷增加会导致软骨下骨微骨折,刺激次生骨化中心及软骨下骨骨板增厚,随着时间的推移,

软骨下骨骨板厚度会逐渐减小^[12]。Beckwée 等^[13]进行了一项系统综述和荟萃分析,评价关节载荷对 BMLs 的影响,结果提示,关节间室负荷的增加和结构损伤加速了 BML 的发生和发展。

3 BMLs 的组织病理学

对于 OA 患者行全膝关节置换术,术后标本为研究 BMLs 的组织病理变化提供了帮助。但是因为行全膝关节置换的患者只能是来自晚期 OA 的患者,所以相关的组织病理学研究有限。Muratovic 等^[14]收集全膝关节置换患者术后的胫骨平台标本,通过术前 MRI 确定这些标本有无 BMLs。MRI 上确定 BMLs 的面积主要通过观察 BMLs 的特征,即较薄的软骨下骨板、骨小梁体积增加以及更多的板状骨小梁。BMLs 区域同时存在弥漫性的线性裂纹损伤,推测 BMLs 存在病理性的超负荷,这种表现和应力性骨折的表现一致。在老年 OA 患者中,由于骨质疏松的原因会额外增加骨微损伤的风险。BMLs 区域的骨小梁存在可见的骨细胞活跃,密度增高,同时类骨质的体积以及密度明显增加。这些结果提示在 BMLs 区域发生修复、反应以及重建。在 OA 的 BMLs 区域可见纤维血管囊性结构以及小动脉平滑肌层增厚。同时血管壁与血管腔的比例也增加,见表 1。

表 1. BMLs 的组织学变化 Table 1. Histological changes of bone marrow lesions (BMLs)			
骨髓	骨结构	血管	软骨
坏死	骨小梁异常	小动脉平滑肌增厚	软骨损伤级别增加
纤维化	骨小梁体积增加	血管壁/血管腔比率	软骨体积丢失增加
水肿	板状小梁增加	纤维血管囊肿	
骨细胞活跃	低骨密度	血管密度增加	
	两种不同类型的微损伤		
	线性裂隙		
	弥漫性损伤		
	软骨下板增厚		

4 BMLs 的流行病学和自然转归

在一组 31~41 岁的年轻成年人中,BMLs 的发病率为 17%,并且 BMLs 的发生和年龄以及外伤史相关^[15]。目前,没有放射学证据的 OA 患者,BMLs 的发病率为 52%,其中 BMLs 在不同年龄以及性别中的

发病率差异并无统计学意义^[16]。在有症状的 KOA 患者中,BMLs 的发病率为 70%~77.5%^[17]。BMLs 的发病部位可以在股骨、胫骨以及髌骨。BMLs 在不同部位的发病率存在争议。Kim 等^[18]统计了 136 例 OA 患者,BMLs 在股骨的发病率为 64.7%,而在胫骨的发病率为 65.4%。

对于 BMLs 的自然史已有诸多文献进行报道,但

是关于 BMLs 的自然史结果差异较大（表 2）。一般来说，对于没有临床症状或者影像学表现的 OA 患者，其 BMLs 的发病率明显较 OA 患者低^[19]。而且，

对于 OA 患者，长期随访发现，其 BMLs 的尺寸会增加，不像没有临床症状或者影像学表现的 OA 患者那样会自然消失^[20]。

表 2. 文献报道的 BMLs 的自然演变过程

Table 2. Natural evolutionary process of bone marrow lesions (BMLs)

文献	患者数量（例）	是否存在膝关节疼痛/OA	发生率（%）	骨髓水肿消失时间	骨髓水肿新增比率（%）
Davies-Tuck et al 2009 ^[19]	271	No	13.7	2 年 46%	14.0
Tanamas et al 2010 ^[21]	109	Yes	66.0	2 年 91%	NA
Hunter et al 2006 ^[22]	217	Yes	57.0	2.5 年 1%	NA
Dore et al 2010 ^[20]	157	No	41.0	2.7 年 31%	6.5
	220	Yes	43.0	2.7 年 25%	7.2
Zhu et al 2016 ^[23]	406	No	25.0	2.6 年 21%	20.0
Kornaat et al 2007 ^[24]	182	Yes	75.0	2 年 10%	8.0

5 BMLs 的治疗方法

目前关于 BMLs 的治疗尚无统一的专家共识和指南。对于早期 OA 患者而言，由于 BMLs 可以部分自愈，所以大部分文献建议先行保守治疗^[25]。保守治疗的方法主要包括药物治疗、电磁疗法、物理疗法以及减轻患肢负荷等^[26]。在药物治疗中，除了常规的非甾体消炎止痛药之外，双膦酸盐以及前列腺素类药物均可用于治疗 BMLs^[27]。

在 BMLs 代表区域，其骨代谢是活跃状态，因此作为破骨细胞骨吸收的抑制剂，双膦酸盐可以用于治疗 BMLs。Laslett 等^[28]进行了一项随机对照试验研究，将 BMLs 患者随机分为静脉注射唑来膦酸组和生理盐水组。结果提示在随访 6 个月时，应用唑来膦酸可以降低患者疼痛以及减少 BMLs 的体积。但是在随访 1 年时，唑来膦酸和对照组的疼痛评分并无差异。Seefried 等^[29]将 BMLs 患者随机分为唑来膦酸组以及对照组，对所有患者随访 6 周，结果发现，与对照组相比，唑来膦酸明显降低 BMLs 的体积和患者的疼痛评分。Varenna 等^[30]将 64 例具有急性膝关节疼痛并伴有 BMLs 的患者随机分为两组：奈膦酸钠组以及对照组。结果显示，术后 4 个月随访时奈膦酸钠组 BMLs 的体积减小，并且继续口服止痛药物的比例明显降低（12.9% vs 72.0%）。随后有研究者采用唑来膦酸联合甲泼尼龙治疗伴有 BMLs 的 OA 患者，发现其并不能有效减少 BMLs 的体积，但可以减轻 OA 患者的疼痛^[31]。Müller 等^[32]对比唑来膦酸、伊班膦酸、阿仑膦酸以及地诺单抗（RANKL 抑制剂）治疗 OA 伴有 BMLs 的效果，唑来膦酸明显优于其他 3 个破骨

细胞抑制剂。然而，Cai 等^[33]在 JAMA 杂志上发表了一篇关于唑来膦酸对于 OA 并伴有 BMLs 患者影响的多中心研究，结果显示：对于伴有 BMLs 的 OA 疼痛患者，静脉注射唑来膦酸并不能减少软骨丢失的面积，因此，作者不推荐常规应用唑来膦酸治疗伴有 BMLs 的 OA 疼痛患者。最近有学者对双膦酸盐对于 OA 患者 BMLs 的影响进行了一项系统综述和荟萃分析，结果显示，双膦酸盐对于膝关节疼痛并无效果，可以在短期内减小 BMLs 的大小，但是有较高的并发症发生率^[34]。

目前关于胫骨高位截骨术（high tibial osteotomy, HTO）已经用于治疗轻中度的 OA^[35]。HTO 用于治疗 BMLs 的研究较少，但均表现出良好的疗效。Kesemenli 等^[36]报道了 21 例伴有 BMLs 的 OA 患者，所有患者均行 HTO，术后西安大略和麦克马斯特大学骨关节炎指数（Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, WOMAC）显著下降，而术后 12 个月随访，81.0% 的患者 BMLs 消失，19.0% 的患者 BMLs 严重程度降低 I 度。Kröner 等^[37]探讨了外侧胫骨闭合高位截骨术对骨髓水肿的影响，所有患者均获随访 7 年，无论胫骨侧还是股骨侧的骨髓水肿体积均明显减少，股骨骨髓水肿面积大小与机械轴明显相关。Yang 等^[38]对 105 例行 HTO 的患者进行了平均 6.2 年的随访，结果发现，骨髓水肿的程度与临床结局并不相关，不论患者是否存在骨髓水肿以及水肿严重程度，HTO 展现了良好的临床结局，具有低并发症发生率以及较好的生存率。Kim 等^[18]发现伴有严重 BMLs 的 OA 患者行 HTO 术后 1 年临床结局较不伴有严重 BMLs 临床结局要差，但在术后 2 年随访时，有无 BMLs，患者 HTO 术后均有明显的临床

结局提高。Kim等^[39]统计HTO治疗OA的患者中,术前是否存在骨髓水肿并不影响术后的临床改善情况。Zhu等^[40]对HTO患者随访1年,取出内固定装置后行MRI检查,发现内侧胫股关节BMLs的改善情况与术后临床结局明显相关。Yabe等^[41]分析了40例行HTO患者,发现胫骨侧的BMLs体积与术后功能明显相关,同时发现术前较大体积的BMLs和恰当的力线纠正会获得较好的术后功能评分。术前较大的BMLs不会对HTO术后结局产生不利影响,因此,术者不应在发现内侧髁有较大BMLs时而停止行HTO术。

6 总结与展望

关于BMLs的发病机制、发生率、自然转归以及治疗方法等研究尚处在初步研究阶段,并且BMLs的发生、发展是动态变化的,关于BMLs治疗方法的随机对照试验仍处于初步探索阶段,所以未来仍需要更多的高质量随机对照试验进一步验证治疗效果。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 赵志虎:起草文章;骆巍、马剑雄、马信龙:文章审阅

参考文献

- [1] Liew JW, King LK, Mahmoudian A, et al. A scoping review of how early-stage knee osteoarthritis has been defined [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2023, 31 (9): 1234–1241. DOI: 10.1016/j.joca.2023.04.015.
- [2] Duong V, Oo WM, Ding C, et al. Evaluation and treatment of knee pain: a review [J]. *JAMA*, 2023, 330 (16): 1568–1580. DOI: 10.1001/jama.2023.19675.
- [3] 张梓宁, 邓荣辉, 付江楠, 等. 骨关节炎氧化应激及其干预措施的研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31 (15): 1401–1405. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.15.11.
Zhang ZN, Deng RH, Fu JN, et al. Research progress on the role of oxidative stress and related interventions in osteoarthritis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 31(15): 1401–1405 DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.15.11.
- [4] 袁涛, 席刚, 韩鹏飞, 等. 关节腔内注射PRP与HA治疗膝关节炎性骨关节炎的荟萃分析 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27 (3): 235–242. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2019.03.09.
Yuan T, Xi G, Han PF, et al. Intra-articular injection of PRP versus HA for knee osteoarthritis: a meta-analysis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2019, 27 (3): 235–242 DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2019.03.09.
- [5] 邝敦财, 刘亦恒, 郭祥, 等. 镜下清理与髓芯减压治疗膝骨性关节炎骨髓水肿 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30 (18): 1700–1703. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.18.15.
Kuang DC, Liu YH, Guo X, et al. Arthroscopic debridement combined with core decompression for knee osteoarthritis accompanied with bone marrow edema [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2022, 30 (18): 1700–1703. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.18.15.
- [6] Jung Jung H, Kang MW, Lee JH, et al. Preoperative patellar bone marrow lesions with full thickness cartilage defects correlate with residual anterior knee pain in total knee arthroplasty without patellar resurfacing [J]. *Knee Surg Relat Res*, 2023, 31 (11): 5048–5056. DOI: 10.1007/s00167-023-07551-4.
- [7] Hansen RT, Chenu C, Sofat N. Bone marrow lesions: plugging the holes in our knowledge using animal models [J]. *Nat Rev Rheumatol*, 2023, 19 (7): 429–445. DOI: 10.1038/s41584-023-00971-z.
- [8] Wilson AJ, Murphy WA, Hardy DC, et al. Transient osteoporosis: transient bone marrow edema [J]. *Radiology*, 1988, 167 (3): 757–760. DOI: 10.1148/radiology.167.3.3363136.
- [9] Plenk H Jr., Hofmann S, Eschberger J, et al. Histomorphology and bone morphometry of the bone marrow edema syndrome of the hip [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1997, 334 (1): 73–84.
- [10] Zanetti M, Bruder E, Romero J, et al. Bone marrow edema pattern in osteoarthritic knees: correlation between MR imaging and histologic findings [J]. *Radiology*, 2000, 215 (3): 835–840. DOI: 10.1148/radiology.215.3.r00jn05835.
- [11] Chen L, Zheng JJY, Li G, et al. Pathogenesis and clinical management of obesity-related knee osteoarthritis: Impact of mechanical loading [J]. *J Orthop Translat*, 2020, 24: 66–75. DOI: 10.1016/j.jot.2020.05.001.
- [12] Selvarajah L, Curtis AM, Kennedy OD. Bone Microdamage in acute knee injury [J]. *Curr Rheumatol Rep*, 2018, 20 (12): 89. DOI: 10.1007/s11926-018-0791-8.
- [13] Beckwée D, Vaes P, Shahabpour M, et al. The influence of joint loading on bone marrow lesions in the knee: a systematic review with meta-analysis [J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43 (12): 3093–3107. DOI: 10.1177/0363546514565092.
- [14] Muratovic D, Findlay DM, Cicuttini FM, et al. Bone matrix microdamage and vascular changes characterize bone marrow lesions in the subchondral bone of knee osteoarthritis [J]. *Bone*, 2018, 108: 193–201. DOI: 10.1016/j.bone.2018.01.012.
- [15] Antony B, Venn A, Cicuttini F, et al. Correlates of knee bone marrow lesions in younger adults [J]. *Arthritis Res Ther*, 2016, 18: 31. DOI: 10.1186/s13075-016-0938-9.
- [16] Guermazi A, Niu J, Hayashi D, et al. Prevalence of abnormalities in knees detected by MRI in adults without knee osteoarthritis: population based observational study (Framingham Osteoarthritis Study) [J]. *BMJ*, 2012, 345: e5339. DOI: 10.1136/bmj.e5339.
- [17] Muratovic D, Findlay DM, Cicuttini FM, et al. Bone marrow lesions in knee osteoarthritis: regional differences in tibial subchondral bone microstructure and their association with cartilage degeneration [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2019, 27 (11): 1653–1662. DOI: 10.1016/j.joca.2019.07.004.
- [18] Kim MS, Koh IJ, Sohn S, et al. Degree of preoperative subchondral bone marrow lesion is associated with postoperative outcome after

- medial opening wedge high tibial osteotomy [J]. *Am J Sports Med*, 2019, 47 (10): 2454–2463. DOI: 10.1177/0363546519858996.
- [19] Davies-Tuck ML, Wluka AE, Wang Y, et al. The natural history of bone marrow lesions in community-based adults with no clinical knee osteoarthritis [J]. *Ann Rheum Dis*, 2009, 68 (6): 904–908. DOI: 10.1136/ard.2008.092973.
- [20] Dore D, Quinn S, Ding C, et al. Natural history and clinical significance of MRI-detected bone marrow lesions at the knee: a prospective study in community dwelling older adults [J]. *Arthritis Res Ther*, 2010, 12 (6): R223. DOI: 10.1186/ar3210.
- [21] Tanamas SK, Wluka AE, Pelletier JP, et al. Bone marrow lesions in people with knee osteoarthritis predict progression of disease and joint replacement: a longitudinal study [J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2010, 49 (12): 2413–2419. DOI: 10.1093/rheumatology/keq286.
- [22] Hunter DJ, Zhang Y, Niu J, et al. Increase in bone marrow lesions associated with cartilage loss: a longitudinal magnetic resonance imaging study of knee osteoarthritis [J]. *Arthritis Rheum*, 2006, 54 (5): 1529–1535. DOI: 10.1002/art.21789.
- [23] Zhu Z, Ding C, Jin X, et al. Patellofemoral bone marrow lesions: natural history and associations with pain and structure [J]. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 2016, 68 (11): 1647–1654. DOI: 10.1002/acr.22871.
- [24] Kornaat PR, Kloppenburg M, Sharma R, et al. Bone marrow edema-like lesions change in volume in the majority of patients with osteoarthritis; associations with clinical features [J]. *Eur Radiol*, 2007, 17 (12): 3073–3078. DOI: 10.1007/s00330-007-0711-1.
- [25] Banerjee S, Sahanand KS. Managing chondral lesions: a literature review and evidence-based clinical guidelines [J]. *Indian J Orthop*, 2021, 55 (2): 252–262. DOI: 10.1007/s43465-021-00355-z.
- [26] Walsh DA, Sofat N, Guermazi A, et al. Osteoarthritis bone marrow lesions [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2023, 31 (1): 11–17. DOI: 10.1016/j.joca.2022.09.007.
- [27] Compagnoni R, Lesman J, Minoli C. Bone marrow lesions in the knee are associated with meniscal lesions and cartilage pathologies according to the six-letter system [J]. *Knee Surg Relat Res*, 2023, 31 (1): 286–291. DOI: 10.1007/s00167-022-07089-x.
- [28] Laslett LL, Doré DA, Quinn SJ, et al. Zoledronic acid reduces knee pain and bone marrow lesions over 1 year: a randomised controlled trial [J]. *Ann Rheum Dis*, 2012, 71 (8): 1322–1328. DOI: 10.1136/annrheumdis-2011-200970.
- [29] Seefried L, Genest F. Efficacy of zoledronic acid in the treatment of nonmalignant painful bone marrow lesions: a triple-blind, randomized, placebo-controlled phase III clinical trial (ZoMARS) [J]. *J Bone Miner Res*, 2022, 37 (3): 420–427. DOI: 10.1002/jbmr.4493.
- [30] Varenna M, Zucchi F, Failoni S, et al. Intravenous neridronate in the treatment of acute painful knee osteoarthritis: a randomized controlled study [J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2015, 54 (10): 1826–1832. DOI: 10.1093/rheumatology/kev123.
- [31] Cai G, Laslett LL, Aitken D, et al. Zoledronic acid plus methylprednisolone versus zoledronic acid or placebo in symptomatic knee osteoarthritis: a randomized controlled trial [J]. *Ther Adv Musculoskelet Dis*, 2019, 11: 1759720x19880054. DOI: 10.1177/1759720x19880054.
- [32] Müller F, Appelt KA, Meier C, et al. Zoledronic acid is more efficient than ibandronic acid in the treatment of symptomatic bone marrow lesions of the knee [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28 (2): 408–417. DOI: 10.1007/s00167-019-05598-w.
- [33] Cai G, Aitken D, Laslett LL, et al. Effect of intravenous zoledronic acid on tibiofemoral cartilage volume among patients with knee osteoarthritis with bone marrow lesions: a randomized clinical trial [J]. *Jama*, 2020, 323 (15): 1456–1466. DOI: 10.1001/jama.2020.2938.
- [34] Zhang X, Cai G. Intravenous bisphosphonates do not improve knee pain or bone marrow lesions in people with knee osteoarthritis: a meta-analysis [J]. *Rheumatology (Oxford)*, 2022, 61 (6): 2235–2242. DOI: 10.1093/rheumatology/keab786.
- [35] 熊正罡, 崔鹏举, 赵洋洋, 等. 胫骨高位截骨富血小板血浆治疗膝内侧骨性关节炎 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 32 (1): 11–17. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2024.01.02.
- Xiong ZG, Cui PJ, Zhao YY, et al. High tibial osteotomy combined with arthroscopic debridement and platelet rich plasma for medial knee osteoarthritis [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 32 (1): 11–17. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2024.01.02.
- [36] Kesemenli CC, Memisoglu K, Muezzinoglu US, et al. Treatment for painful bone marrow edema by open wedge tibial osteotomy [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2013, 23 (7): 825–829. DOI: 10.1007/s00590-012-1077-x.
- [37] Kröner AH, Berger CE, Kluger R, et al. Influence of high tibial osteotomy on bone marrow edema in the knee [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2007, 454: 155–162. DOI: 10.1097/01.blo.0000238806.87411.33.
- [38] Yang HY, Kang SJ. The influence of preoperative tibial bone marrow edema on outcomes after medial opening-wedge high tibial osteotomy [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2020, 102 (23): 2068–2076. DOI: 10.2106/jbjs.20.00037.
- [39] Kim HJ, Shin JY, Lee HJ, et al. Does preoperative bone marrow edema affect clinical outcomes after medial open-wedge high tibial osteotomy [J]. *Knee Surg Relat Res*, 2024, 36 (1): 9. DOI: 10.1186/s43019-023-00200-7.
- [40] Zhu B, Wang TF, Chen DS. Postoperative bone marrow lesions (BMLs) are associated with pain severity in patients undergoing open wedge high tibial osteotomy (OWHTO) [J]. *Biomed Res Int*, 2021, 2021: 9938037. DOI: 10.1155/2021/9938037.
- [41] Yabe T, Nishitani K. Larger bone marrow lesion volume before medial open-wedge high tibial osteotomy correlates with better improvement of clinical scores in patients with knee osteoarthritis [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2023, 31 (9): 3646–3654. DOI: 10.1007/s00167-022-07134-9.

(收稿:2024-01-10 修回:2025-04-21)

(同行评议专家:江水华,尹乐)

(本文编辑:宁桦)