·诊治分析·

Pilon 骨折术后发生创伤性关节炎的影响因素及列线图模型构建

邓怀明，汪磊，方瑜，戴昊狄，唐朝，舒帆

【关键词】 Pilon 骨折；创伤性关节炎；列线图预测模型
doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.10.013
【中图分类号】 R683.42　【文献标志码】 A　【文章编号】 1671-0800(2025)10-1043-04

Pilon骨折常由外力所致，大多数为高能量损伤，可出现踝关节剧烈疼痛、肿胀、畸形、开放性骨折等症状[1-2]。由于其损伤机制的特殊性，术后远期并发症如创伤性关节炎（traumatic arthritis，TA）、关节僵硬等发生率较高[3]。TA 临床表现以关节疼痛、活动受限为主，严重影响患者日常生活[4-5]。目前，影响 Pilon 骨折术后发生 TA 的因素尚未完全明确。因此，本研究通过分析 Pilon 骨折术后发生 TA 的影响因素，构建一个可准确预测的列线图模型，为临床提供相关参考，现报道如下。

1　资料与方法

1.1　一般资料　收集 2022 年 4 月至 2024 年 3 月于宁波市海曙区人民医院行手术治疗的 339 例 Pilon 骨折患者的临床资料。纳入标准：（1）单侧 Pilon 骨折，（2）合并腓骨骨折，（3）符合手术指征，（4）术后 X 片显示骨折均已得到解剖复位且力线正常，（5）临床资料完整。排除标准：（1）合并足部骨折，（2）陈旧性 Pilon 骨折，（3）合并神经、血管损伤，（4）合并重要脏器功能受损，（5）合并恶性或传染性疾病，（6）切口愈合不良。本研究获得宁波市海曙区人民医院医学伦理委员会批准（伦审 2025 新第 01 号），所有研究者均同意参加本研究并签署书面知情同意书。

1.2　方法　收集入组患者的年龄、体质量指数（BMI）、性别、吸烟史、饮酒史、骨折分型、美国麻醉医师协会分级（ASA）、致伤原因、软组织损伤程度、受伤至手术时间、钢板类型、植骨类型、手术时间、术中出血量，以及术前牵引、骨质疏松、术后康复训练（实际训练时长/频率/强度低于处方要求的 80%为不遵循术后康复训练）及术后感染情况等。将 339 例患者按照 7∶3 比例随机分为建模组（n=237）和验模组（n=102）；依据术后是否发生 TA[6]，分为 TA 组和非 TA 组。

1.3　统计方法　采用 SPSS 24.0 统计软件处理数据，计量资料以均数±标准差表示，采用 t 检验；计数资料采用 χ^2 检验；采用 Logistic 多元回归模型分析独立危险因素。在 R 4.2.1 版软件中，使用 rms 包构建列线图相关模型并进行可视化；采用受试者工作特征（ROC）曲线检验模型的预测区分度，采用校准曲线检验模型的预测校准度，采用决策曲线检验模型的临床获益情况。P ＜ 0.05 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　建模组发生 TA 的单因素分析　建模组中，TA 组患者 B/C 型骨折分型比例、骨质疏松比例、受伤至手术时间＞ 1 周比例、不遵循术后康复训练及术后感染比例均高于非 TA 组（均 P ＜ 0.05），见表 1。

2.2　影响 Pilon 骨折术后发生 TA 的多因素分析　Logistic 回归模型结果显示，骨折分型、骨质疏松、受伤至手术时间、术后康复训练及术后感染是 Pilon 骨折术后发生 TA 的独立影响因素（均 P ＜ 0.05），见表 2。

2.3　构建预测 Pilon 骨折术后发生 TA 的列线图模型　将骨折分型、骨质疏松、受伤至手术时间、术后康复训练、术后感染作为构建列线图预测模型的预测因子构建列线图，见图 1。

2.4　列线图预测模型的内部验证　对列线图模型进

作者单位：315010 宁波，宁波市海曙区人民医院
通信作者：邓怀明，Email：ddenghuaiming@163.com

Modern Practical Medicine, October 2025, Vol. 37, No. 10

表 1　建模组发生 TA 的单因素分析

指标		TA 组（n=45）	非 TA 组（n=192）	χ^2（t）值	P 值
年龄（岁）		49.1±10.3	47.6±11.3	（0.82）	＞ 0.05
体质量指数（kg/m^2）		24.77±3.69	24.98±3.49	（0.36）	＞ 0.05
性别[例（%）]	男	29（64.44）	108（56.25）	1.00	＞ 0.05
	女	16（35.56）	84（43.75）		
吸烟史[例（%）]	有	8（17.78）	25（13.02）	0.69	＞ 0.05
	无	37（82.22）	167（86.98）		
饮酒史[例（%）]	有	5（11.11）	9（4.69）	2.71	＞ 0.05
	无	40（88.89）	183（95.31）		
骨折分型[例（%）]	A 型	14（31.11）	132（68.75）	21.83	＜ 0.05
	B/C 型	31（68.89）	60（31.25）		
致伤原因[例（%）]	交通事故伤	21（46.67）	125（65.10）	5.52	＞ 0.05
	跌倒伤	13（28.89）	40（20.84）		
	坠落伤	11（24.44）	27（14.06）		
软组织损伤程度[例（%）]	轻度	14（31.11）	33（17.19）	5.45	＞ 0.05
	中度	13（28.89）	51（26.56）		
	重度	18（40.00）	108（56.25）		
术前牵引[例（%）]	有	41（91.11）	169（88.02）	0.35	＞ 0.05
	无	4（8.89）	23（11.98）		
骨质疏松[例（%）]	有	28（62.22）	38（19.79）	32.67	＜ 0.05
	无	17（37.78）	154（80.21）		
ASA 分级[例（%）]	Ⅰ	13（28.89）	35（18.23）	2.57	＞ 0.05
	Ⅱ	22（48.89）	109（56.77）		
	Ⅲ	10（22.22）	48（25.00）		
受伤至手术时间[例（%）]	≤1 周	31（68.89）	176（91.67）	17.11	＜ 0.05
	＞ 1 周	14（31.11）	16（8.33）		
钢板类型[例（%）]	解剖钢板	35（77.78）	165（85.94）	1.84	＞ 0.05
	联合钢板	10（22.22）	27（14.06）		
植骨类型[例（%）]	无植骨	36（80.00）	150（78.13）	1.23	＞ 0.05
	自体骨	4（8.89）	27（14.06）		
	异体骨	5（11.11）	15（7.81）		
手术时间（min）		151.47±29.18	143.61±24.88	（1.84）	＞ 0.05
术中出血量（ml）		62.73±8.90	61.04±9.13	（1.12）	＞ 0.05
术后康复训练[例（%）]	遵循	30（66.67）	180（93.75）	26.49	＜ 0.05
	不遵循	15（33.33）	12（6.25）		
术后感染[例（%）]	有	12（26.67）	11（5.73）	18.24	＜ 0.05
	无	33（73.33）	181（94.27）		

表 2　Pilon 骨折术后发生 TA 的 Logistic 回归分析

指标	β值	SE 值	$Wald$ 值	OR 值（95%CI）	P 值
骨折分型	2.145	0.479	20.01	8.539（3.337 ～ 21.582）	＜ 0.05
骨质疏松	1.873	0.438	18.33	6.511（2.761 ～ 15.350）	＜ 0.05
受伤至手术时间	1.754	0.577	9.24	5.780（1.865 ～ 17.912）	＜ 0.05
术后康复训练	1.974	0.593	11.08	7.197（2.251 ～ 23.012）	＜ 0.05
术后感染	1.887	0.625	9.11	6.599（1.937 ～ 22.478）	＜ 0.05

行内部验证，ROC 曲线显示曲线下面积（AUC）为 0.875（95%CI：0.826 ～ 0.914），见图 2；校正曲线拟合优度检验显示χ^2=7.43，P＞ 0.05，提示预测模型具有较好的区分度和一致性，见图 3；决策曲线分析显示，模型的阈值＞ 0.03 时，所提供的临床净收益均高于各单一因素，见图 4。

2.5　列线图预测模型的外部验证　将验模组各变量带入通过建模组数据建立的预测 Pilon 骨折术后发生 TA 的列线图模型，ROC 曲线显示 AUC 为 0.860（95%CI：0.777 ～ 0.921），见图 5；校正曲线拟合优度检验显

示χ^2=3.16，P ＞ 0.05，提示预测模型具有较好的区分度和一致性，见图 6；决策曲线分析显示，模型的阈值＞ 0.02 时，所提供的临床净收益均高于各单一因素，见图 7。

3　讨论

踝关节承重最大且适配要求高，Pilon 骨折手术易对周围组织造成二次创伤，诱发 TA[7]。相关研究表明，原发性踝关节炎较少见，创伤性踝关节炎中，约有 80%由踝关节骨折和踝关节周围韧带损伤所致[8]。目前，减少或预防踝关节骨折术后 TA 是临床研究的重点课题，Pilon 骨折治疗的主要目的是修复踝关节，防止 TA 的发生。

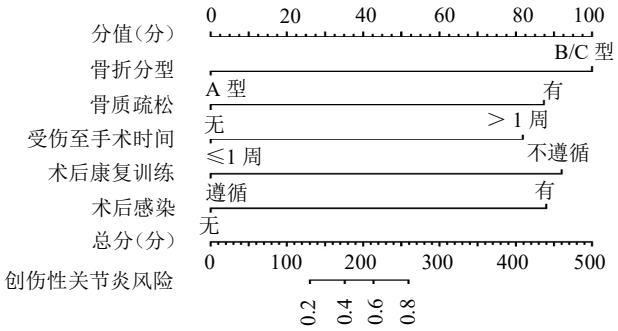


图 1　预测 Pilon 骨折术后发生 TA 的列线图模型

本研究结果显示，骨折分型、骨质疏松、受伤至手术时间、术后康复训练及术后感染是 Pilon 骨折术后发生 TA 的独立影响因素（均 P ＜ 0.05）。Pilon 骨折主要依据关节面、干骺端移位和粉碎程度分型，可一定程度上反映骨折复杂性[9]。B/C 型患者多伴软组织损伤且骨碎块多，临床难以解剖复位，加之手术操作易损伤周围软组织，影响踝关节功能[10]，促使术后 TA 的发生。这提示术中应注意避免对周围软组织的二次损伤，保证踝关节功能复位的情况下，尽量使踝关节达到解剖复位。骨质疏松患者关节周围结构常伴退变、稳定性较差，且易发生关节面塌陷、骨质流失[11]，复位、植骨时易发生复位丢失，内固定难，进而增加 TA 风险。提示对于此类患者，术中应注意加强关节稳定性，并根据患者情况适当进行抗骨质疏松治疗。Pilon 骨折发生后，骨折断端、碎块可持续损伤周围软组织，久则形成较多机化组织[12]，加大手术难度，降低解剖复位可能，诱发 TA。受伤至手术时间＞ 1 周时，关节面软骨可在异常应力下受损，即便复位良好，亦可增加 TA 风险。提示 Pilon 骨折

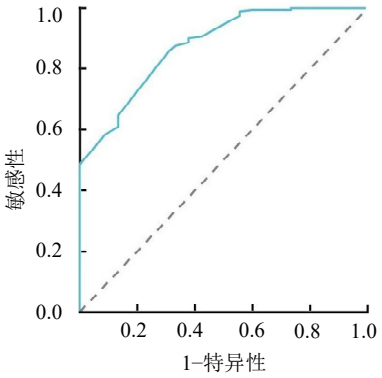


图 2　列线图模型内部验证 ROC 曲线

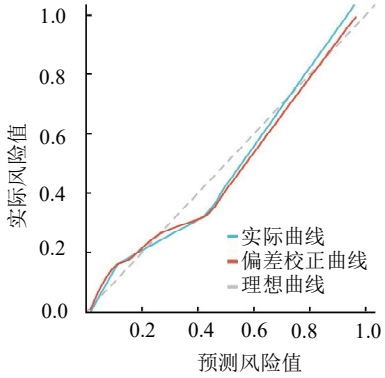


图 3　列线图模型内部验证校正曲线

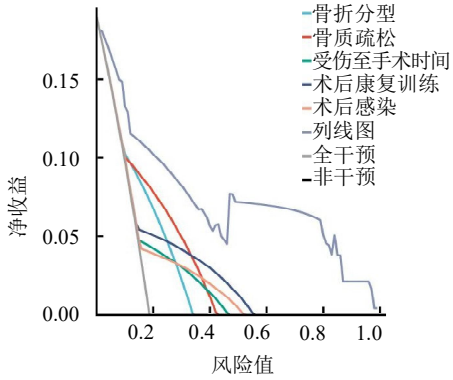


图 4　列线图模型内部验证决策曲线

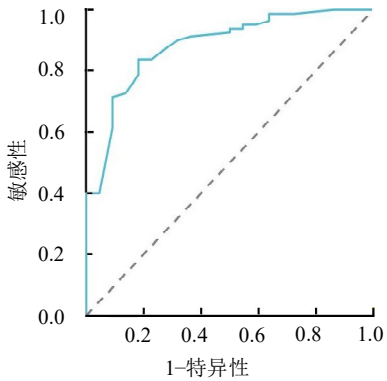


图 5　列线图模型外部验证 ROC 曲线

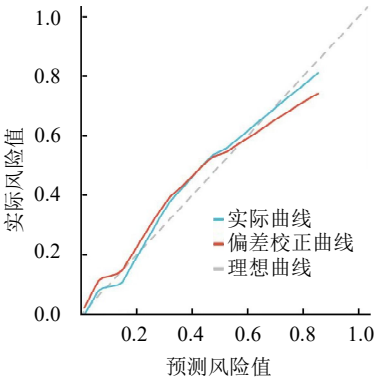


图 6　列线图模型外部验证校正曲线

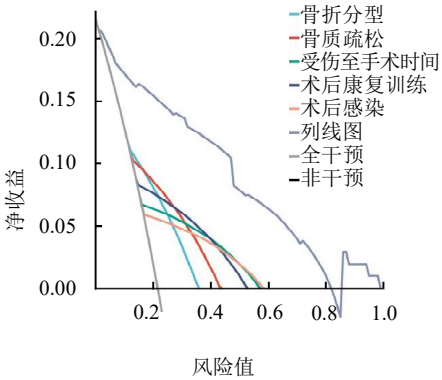


图 7　列线图模型外部验证决策曲线

患者符合手术指征时，应尽早手术，以降低 TA 发生可能。若胫骨中下段局部血运不良，即使关节面早期获得解剖复位，后期已骨折的软骨下骨仍会发生缺血坏死致塌陷和破裂，最终发生 TA[13]。不遵循术后康复训练不利于改善局部血运，导致TA风险增加[14]。提示术中不仅要观察患处血运，术后还应叮嘱患者康复训练的重要性，进而降低 TA 风险。术后感染可导致内固定失效、骨吸收或骨坏死，造成关节面塌陷或错位，增加关节面的不匹配和局部应力集中，还可能延迟骨折愈合，影响关节稳定性[15]，继而增加 TA 风险。提示术中应注意清创彻底、术后需及时换药、清除引流液，避免逆行感染，并根据患者情况适当给与抗生素干预控制感染，以降低 TA 风险。

本研究根据上述指标构建列线图模型，内部验证、外部验证显示该列线图模型具有较好的区分度和校准度。说明该模型能较准确地预测 Pilon 骨折术后发生 TA 风险。但本研究也存在一定局限性，使用单中心数据构建的列线图可能无法反映不同地区医疗水平或患者特征的差异，且影响Pilon骨折术后发生TA的相关因素较多，该列线图模型可能错过其他重要的相关变量，故而该列线图模型推广可能还需要进一步验证，未来将加强多中心外部验证。

综上所述，本研究基于影响Pilon骨折术后发生 TA 的相关因素所构建的列线图预测模型预测价值较好，可为临床实施干预措施提供依据。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

[1] PERUGINI A, HYLAND S, IANDOLI J, et al. The impact of fibular fixation method on pilon fracture healing[J]. J Clin Med, 2025, 14(2): 358.

[2] 王磊,张申申,黄其龙,等.章氏超减张缝合 Pilon 骨折高张力切口[J].中国矫形外科杂志,2024,32(13):1229-1232.

[3] CHALIDAPONG P, VASEENON T, CHATTIPAKORN N, et al. Potential roles of inflammation on post-traumatic osteoarthritis of the ankle[J]. Int J Mol Sci, 2024, 25(11): 5903.

[4] SHANE A M, REEVES C L, NGUYEN G B, et al. Soft tissue pathology[J]. Clin Podiatric Med Surg, 2023, 40(3): 381-395.

[5] LI J, WANG W Z, YANG H, et al. Management of elderly traumatic ankle arthritis with ilizarov external fixation[J]. Orthop Surg, 2022, 14(10): 2447-2454.

[6] 中华医学会风湿病学分会.骨关节炎诊断及治疗指南[J].中华风湿病学杂志,2010,14(6):416-419.

[7] MURAWSKI C D, MITTWEDE P N, WAWROSE R A, et al. Management of high-energy tibial pilon fractures[J]. J Bone Jt Surg, 2023, 105(14): 1123-1137.

[8] ADUKIA V, MANGWANI J, ISSAC R, et al. Current concepts in the management of ankle arthritis[J]. J Clin Orthop Trauma, 2020, 11(3): 388-398.

[9] LIU J C, PIAO C D, CUI G L, et al. Fracture line morphology and a novel classification of pilon fractures[J]. Orthop Surg, 2025, 17 (2): 540-550.

[10] HONG C C, TAN S H S, SAHA S, et al. Morbidities and prognostic factors after tibial pilon fracture: Impact on patients[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2023, 143(6): 2855-2862.

[11] MUÑOZ M, ROBINSON K, SHIBLI-RAHHAL A. Bone health and osteoporosis prevention and treatment[J]. Clin Obstet Gynecol, 2020, 63(4): 770-787.

[12] LIU J H, ZHANG Q, WEI G H, et al. Analysis of the ability of a distal tibial anatomical locking plate to capture the distal tibial fragments in patients with pilon fractures[J]. Orthop Surg, 2023, 15(10): 2674-2682.

[13] SALMAN L A, AHMED G, DAKIN S G, et al. Osteoarthritis: A narrative review of molecular approaches to disease management[J]. Arthritis Res Ther, 2023, 25(1): 27.

[14] BOLOVAN A D, ONOFREI R R, HOGEA G B, et al. Comparison between exercise program-foot orthoses treatment and exercise program alone after pilon fracture surgery: Study protocol for a randomized controlled trial[J]. Life, 2023, 13(11): 2187.

[15] PILSKOG K, HOVDING P, FENSTAD A M, et al. Risk factors for fracture-related infection after ankle fracture surgery[J]. Injury, 2023, 54(10): 111011.

收稿日期：2025-04-15
（本文编辑：吴迪汉）