

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.04.006

全膝关节置换术后发生并发症的列线图 预测模型构建

贾东辉, 杨振辉*, 路媛媛
(郑州市中心医院 手术室, 河南郑州 450000)

【摘要】目的 探究全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)后发生并发症的危险因素, 并构建列线图预测模型。**方法** 纳入郑州市中心医院2022年6月至2025年6月收治的184例TKA患者开展回顾性研究, 按术后是否发生并发症分为发生组和未发生组。比较两组临床资料, 采取Logistic回归分析TKA患者术后发生并发症的影响因素, 构建列线图, 同时通过受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线、校准曲线及决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)完成模型验证。**结果** 本研究共纳入184例TKA患者, 依据术后并发症发生情况分为发生组(41例, 22.28%)与未发生组(143例, 77.72%)。两组体重指数(body mass index, BMI)、手术时间、住院时间、是否接受专业功能训练、视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)评分比较差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。多因素Logistic回归分析显示, 体重指数(body mass index, BMI)、手术时间、住院时间、术后VAS评分为TKA患者术后并发症的独立危险因素(均 $P<0.05$)。ROC曲线显示, 列线图模型的曲线下面积(area under the curve, AUC)为0.958(95%CI: 0.926~0.990); 校准曲线显示, 模型预测概率与实际概率一致性较好, 模型校准效能佳; DCA结果显示, 在多数阈值范围内模型曲线高于两条极端曲线, 临床净获益较高。**结论** BMI、手术时间、住院时间、术后VAS评分是TKA患者术后发生并发症的影响因素, 基于上述因素构建的列线图模型可用于临床预测TKA患者术后并发症的发生风险, 辅助制订针对性干预对策。

【关键词】 全膝关节置换术; 并发症; 列线图预测模型; 视觉模拟评分法

【中图分类号】 R684.1

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2026) 04-0032-05

Construction of a Nomogram prediction model for complications after total knee arthroplasty

JIA Donghui, YANG Zhenhui*, LU Yuanyuan

(Department of Operating Room, Zhengzhou Central Hospital, Zhengzhou 450000, Henan, China)

【Abstract】Objective To explore the risk factors for complications after total knee arthroplasty (TKA) and to construct a nomogram prediction model. **Methods** A retrospective study was conducted on 184 patients with TKA admitted to Zhengzhou Central Hospital from June 2022 to June 2025. They were divided into occurrence group and non-occurrence group according to whether postoperative complications occurred. The clinical data of the two groups were compared. Logistic regression analysis was used to analyze the factors affecting postoperative complications in TKA patients, and the nomogram and receiver operator characteristic (ROC) curve, calibration curve and decision curve analysis (DCA) were constructed for verification. **Results** A total of 184 patients with TKA were included in this study. According to the postoperative complications, they were divided into the occurrence group (41 cases, 22.28%) and the non-occurrence group (143 cases, 77.72%). There were significant differences in body mass index (BMI), operation time, hospitalization time, whether receiving professional functional training, and visual analogue scale (VAS) score between the two groups (all $P<0.05$). After multivariate Logistic regression analysis, BMI, operation time, hospitalization time and postoperative VAS score were finally determined as risk factors for postoperative complications in TKA patients (all $P<0.05$). The ROC curve showed that the area under the curve (AUC) of the the nomogram model was 0.958 (95%CI: 0.926~0.990). The calibration curve showed that the model's predicted probabilities align well with the actual probabilities, indicating that the model has good calibration performance. The DCA

收稿日期: 2025-08-22。

作者简介: 贾东辉, 本科, 主管护师, 研究方向: 全膝关节置换术。E-mail: jiadong.hui@163.com。

通信作者: 杨振辉, 本科, 护师, 研究方向: 全膝关节置换术。E-mail: h24191011@163.com。

results indicated that within most threshold ranges, the model curve was higher than the two extreme curves, and the clinical net benefit was relatively high. **Conclusion** BMI, operation time, hospitalization time and postoperative VAS score are the factors affecting postoperative complications in TKA patients. The constructed nomogram model based on these factors can be used for clinical prediction of the occurrence of postoperative complications in TKA patients, and can assist in formulating targeted intervention strategies.

【Key words】 Total knee arthroplasty; Complications; Nomogram prediction model; Visual analog scale

全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)是治疗终末期膝关节骨关节炎、类风湿性关节炎等疾病的有效手段,可显著缓解疼痛、重建关节功能^[1]。然而,TKA作为创伤较大的骨科手术,存在手术时间长、术中体位固定的特点,加之患者多为高龄且常合并基础疾病,术后并发症发生风险较高^[2]。研究显示,TKA术后并发症发生率约为18.3%,会明显延缓患者术后康复进程^[3]。因此,及时预测TKA术后并发症的相关危险因素,对保障患者术后安全、改善预后具有重要临床价值。然而,现阶段针对TKA术后并发症的相关研究多局限于单一因素分析,尚未充分结合系统性预防性干预方向开展探索。基于此,本研究旨在筛选TKA术后发生并发症的独立影响因素,构建并验证列线图预测模型,为临床构建更精准的风险预测工具提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

连续纳入郑州市中心医院2022年6月至2025年6月收治的184例TKA患者开展回顾性研究,收集其人口学资料及临床特征,按术后是否发生并发症分为发生组和未发生组。本研究经郑州市中心医院伦理委员会批准通过。纳入标准:①符合《骨关节炎诊治指南》^[4]中重度膝关节骨性关节炎诊断标准,存在持续性关节疼痛、伴关节畸形的严重功能障碍表现;②首次接受单侧TKA手术治疗;③术前全身皮肤状态良好;④年龄 ≥ 18 岁。排除标准:①合并类风湿关节炎、代谢性关节病等其他特异性关节疾病;②既往有慢性腰腿疼病史或膝关节周围骨折、截骨手术史;③合并恶性肿瘤、凝血功能异常及血液系统疾病;④存在精神类疾病,无法正常沟通。本研究已通过郑州市中心医院伦理委员会审批(批件号:ZXYY202189)。

1.2 收集资料

根据医院病案管理系统筛选符合纳排标准的患者,提取完整临床资料,涵盖患者性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)、致病原因、手术时间、术中

出血量、住院时间、术后视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)^[5](满分0~10分,得分情况与患者疼痛严重程度成正比)评分、术前职业类型、是否接受专业功能训练(术前开展肌力与关节活动度练习,术后分阶段进行屈伸、肌力训练,训练强度循序渐进)、术前焦虑自评量表(self-rating anxiety scale, SAS)^[6]评分(共20个条目,采用1~4级评分,满分100分,得分情况与患者焦虑严重程度成正比)、术前血常规血红蛋白(hemoglobin, HB)、术前肝功能白蛋白(albumin, ALB)水平、术前凝血功能D-二聚体(D-dimer, D-D)水平及术后24 h引流量。

1.3 分组方式

TKA患者术后发生并发症判定标准:对所有纳入患者完成术后3个月持续随访,参照《中国全膝关节置换术围手术期疼痛管理指南(2022)》^[7]中TKA术后并发症的相关诊断标准,并发症类型具体包括切口感染、深部假体周围感染、假体周围骨折等,符合上述任意一项即可判定为术后发生并发症。

1.4 统计学方法

采用SPSS 25.0统计学软件完成数据处理。计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验;计量资料用Shapiro-Wilk法检验是否符合正态分布,符合正态分布以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用独立样本 t 检验,不符合正态分布用 $[M(P_{25}, P_{75})]$ 表示,采取非参数的MannWhitney U 检验,检验水准 $\alpha=0.05$, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。将两组比较中差异有统计学意义的变量纳入多因素Logistic回归分析,筛选TKA患者术后并发症的独立危险因素,计算优势比(odds ratio, OR)及95%置信区间(95% confidence interval, 95% CI);基于独立预测因子构建列线图模型,绘制受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线、校准曲线及决策曲线分析(decision curve analysis, DCA),以曲线下面积(area under the curve, AUC)评估模型的预测效能,综合验证模型的区分度、校准度及临床净获益。

2 结果

2.1 临床资料对比

本研究共纳入 184 例 TKA 患者,根据术后并发症发生情况分组:发生组 41 例(22.28%)与未发生组

143 例(77.72%)。两组患者 BMI、手术时间、住院时间、是否接受专业功能训练、术后 VAS 评分比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)(表 1)。

表 1 两组临床资料对比

临床资料		发生组 (n=41)	未发生组 (n=143)	χ^2/t	P
性别 (例)	男	26	93	0.037	0.848
	女	15	50		
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)		66.24 $\pm$ 7.52	65.95 $\pm$ 6.73	0.237	0.813
BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)		24.74 $\pm$ 2.67	22.16 $\pm$ 2.35	6.008	<0.001
致病原因 (例)	慢性劳损	14	34	5.270	0.072
	跌倒致伤	16	42		
	其他	11	67		
手术时间 ($\bar{x} \pm s$, min)		97.51 $\pm$ 10.15	90.21 $\pm$ 9.37	4.316	<0.001
术中出血量 ($\bar{x} \pm s$, ml)		155.23 $\pm$ 30.12	148.65 $\pm$ 28.76	1.278	0.203
住院时间 ($\bar{x} \pm s$, d)		6.71 $\pm$ 1.15	5.09 $\pm$ 0.82	10.128	<0.001
职业类型 (例)	体力劳动	17	62	0.047	0.829
	非体力劳动	24	81		
专业功能训练 (例)	是	13	20	6.799	0.009
	否	28	123		
术后 VAS 评分 ($\bar{x} \pm s$, 分)		3.57 $\pm$ 0.47	3.15 $\pm$ 0.37	6.015	<0.001
术前 SAS 评分 ($\bar{x} \pm s$, 分)		48.25 $\pm$ 6.32	47.86 $\pm$ 5.98	0.363	0.717
术前 HB ($\bar{x} \pm s$, g/L)		125.36 $\pm$ 10.25	126.89 $\pm$ 9.87	0.868	0.387
术前 ALB ($\bar{x} \pm s$, g/L)		38.65 $\pm$ 3.21	39.12 $\pm$ 3.05	0.860	0.391
术前 D-D ($\bar{x} \pm s$, μ g/L)		0.48 $\pm$ 0.12	0.45 $\pm$ 0.10	1.617	0.108
术后 24 h 引流量 ($\bar{x} \pm s$, ml)		285.63 $\pm$ 50.21	278.95 $\pm$ 48.65	0.770	0.443

注: BMI: 体重指数; VAS: 视觉模拟评分法; SAS: 焦虑自评量表; HB: 血红蛋白; ALB: 白蛋白; D-D: D-二聚体。

2.2 多因素 Logistic 回归分析

以 TKA 患者术后是否发生并发症作为因变量(发生并发症=1,未发生并发症=0);将专业功能训练(无=1,有=0)、BMI(实测值)、手术时间(实测值)、住院时间(实测值)、术后 VAS 评分(实测值)作

为自变量并进行赋值(实测值)。采用 Logistic 多因素回归模型对差异项目进行量化分析,结果显示, BMI、手术时间、住院时间、术后 VAS 评分均为 TKA 患者术后发生并发症的独立危险因素(均 $P < 0.05$)(表 2)。

表 2 TKA 患者术后发生并发症的多因素 Logistic 回归分析

因素	回归系数	标准误	z	P	OR (95%CI)
专业功能训练	-0.769	0.721	-1.066	0.286	0.464 (0.113~1.905)
BMI	0.527	0.142	3.697	<0.001	1.693 (1.281~2.238)
手术时间	0.099	0.035	2.843	0.004	1.104 (1.031~1.183)
住院时间	1.848	0.401	4.610	<0.001	6.349 (2.894~13.930)
术后 VAS 评分	2.459	0.758	3.244	<0.001	11.690 (2.646~51.645)

注: TKA: 全膝关节置换术; OR: 优势比; 95%CI: 95%置信区间; BMI: 体重指数; VAS: 视觉模拟评分法。

2.3 列线图模型建立与验证

基于多因素 Logistic 回归分析结果,建立列线图模型(图 1)。ROC 曲线显示,该列线图模型的 AUC 为 0.958(95%CI: 0.926~0.990),提示模型区分度良好(图 2);采用 Bootstrap 法重复 1 000 次抽样进行内部验证,校准曲线显示,模型预测概率与实际概率一致性较好,模型校准效能佳(图 3A);DCA 显示,在多

数阈值范围内模型曲线高于两条极端曲线,临床净获益较高(图 3B)。

3 讨论

TKA 是治疗终末期膝关节疾病的有效外科手术,可快速缓解患者疼痛、重建关节功能^[1,8]。然而有研究表明,TKA 属于创伤较大的骨科手术,手术创面大,术后并发症发生率较高,严重影响患者术后康

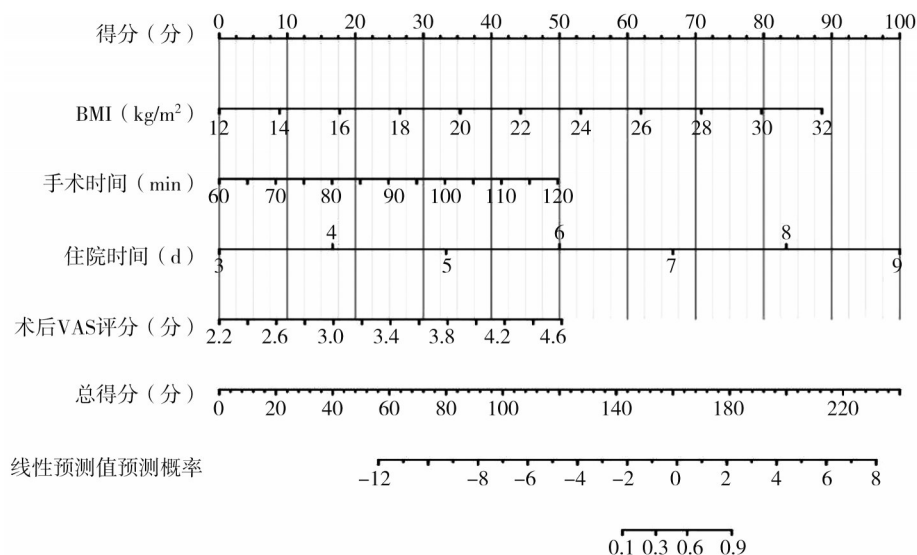


图1 TKA患者术后发生并发症的列线图模型

注: TKA: 全膝关节置换术; BMI: 体重指数; VAS: 视觉模拟评分法。

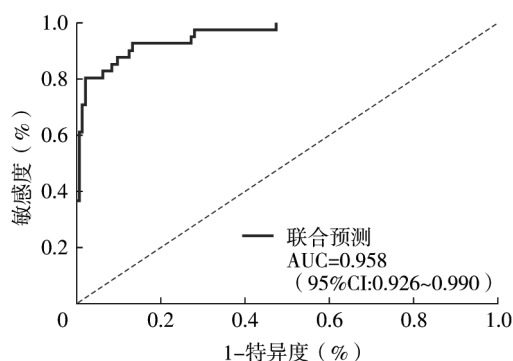


图2 TKA患者术后发生并发症预测模型的ROC曲线

注: TKA: 全膝关节置换术; ROC: 受试者操作特征; AUC: 曲线下面积。

复、活动能力与生活质量^[9]。此外,TKA术中止血带压迫解除后,受累肢体组织会发生缺血再灌注损伤,大量氧自由基释放,进一步升高并发症发生风险^[10]。本研究共纳入184例接受TKA治疗的患者,按术后并发症发生情况分为发生组41例(22.28%)和未发生组143例(77.72%)。因此,早期识别TKA患者并发症风险分层的相关影响因素,构建精准的风险评估工具,具有重要临床意义。

本研究单因素分析结果显示,两组患者BMI、手术时间、住院时间、是否接受专业功能训练、术后VAS评分比较差异均有统计学意义;经逐步法筛选变量后行多因素Logistic回归分析,最终确定BMI、手术时间、住院时间、术后VAS评分均为TKA患者术后并发症的独立危险因素。值得注意的是,是否接

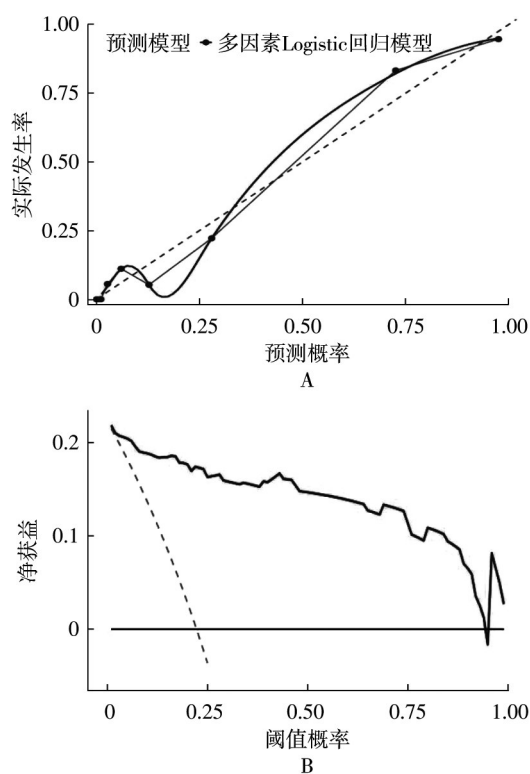


图3 TKA患者术后发生并发症预测模型的校准曲线与DCA

注: TKA: 全膝关节置换术; DCA: 决策曲线分析。A B

受专业功能训练在单因素分析中组间存在显著差异,但最终未进入回归方程,考虑与本研究样本量有限导致统计效力不足、潜在混杂因素干扰及不同患者的临床异质性等原因有关。

本研究结果显示,BMI是TKA患者术后并发症

的危险因素, OR 为 1.693, 提示 BMI 水平越高, 患者术后并发症的发生率越高。分析原因在于, 高 BMI 患者体内脂肪堆积程度更高, 术前膝关节长期承受额外的机械负荷; TKA 术后人工关节需承受同等压力, 进而增加假体松动等并发症发生风险^[11]。本研究结果显示, 手术时间是 TKA 患者术后并发症的危险因素, OR 为 1.104, 提示手术时间越长, 术后并发症发生率越高。分析原因在于, 手术时间延长往往对应术中操作复杂度提升、软组织创伤程度加重, 作为创伤较大的骨科手术, TKA 手术时间的进一步延长会加剧局部组织损伤、增加术中出血量, 最终提升各类并发症的发生风险^[12]。本研究结果显示, 住院时间是 TKA 患者术后发生并发症的危险因素, OR 为 6.349, 提示住院时间越长, 患者术后并发症发生率越高, 分析原因在于, 住院时间与术后恢复情况相关, 而住院时间延长则表示患者术后伤口愈合不佳、肢体功能恢复缓慢, 增加并发症风险。本研究结果显示, 术后 VAS 评分是 TKA 患者术后并发症的危险因素, OR 为 11.690, 表明术后 VAS 评分高会增加 TKA 患者术后并发症发生率。分析原因在于, VAS 较高表示患者疼痛程度高, 而 TKA 患者术后康复主要以肢体早期功能训练为主, 剧烈疼痛使患者无法坚持训练并导致关节周围组织粘连程度增加, 导致关节僵硬等并发症的发生^[13]。

综上, BMI、手术时间、住院时间、术后 VAS 评分是影响 TKA 患者术后发生并发症的独立因素, 基于上述指标构建的列线图风险预测模型对 TKA 患者术后并发症的发生具有较好的预测价值。本研究局限性在于: 作为单中心回顾性研究, 样本量有限, 模型外部泛化能力受限。后续将开展多中心前瞻性研究, 扩充样本并纳入更多潜在危险因素, 优化模型预测效能, 为临床制订针对性干预策略提供依据。

参考文献

- [1] 王庆伟, 陶敏敏, 李帅. 基于 MRI 联合 CT 三维重建的多模态融合对膝关节结构性损伤的诊断价值[J]. 生物医学工程学进展, 2025, 46 (5): 629-635.
- [2] 幸定碧, 秦意, 朱捷, 等. 网络化认知行为干预对全膝关节置换术后患者运动恐惧及康复的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2025, 40 (3): 404-409.
- [3] 郭立发, 胡芳, 李金茹, 等. 收肌管阻滞与股神经阻滞对老年患者全膝关节置换术后恢复质量影响的比较[J]. 临床麻醉学杂志, 2025, 41 (5): 470-474.
- [4] 王斌, 邢丹, 林剑浩. 骨关节炎诊治指南的临床转化应用[J]. 中华关节外科杂志 (电子版), 2017, 11 (1): 97-100.
- [5] 王小平, 赫思佳, 曾朝强, 等. 脊柱骨折患者手术治疗中 Orem 自理模式的应用及对患者 VAS 评分的影响[J]. 川北医学院学报, 2022, 37 (3): 403-405.
- [6] 付雪梅, 罗晓辉, 杨鑫坤. 预见性护理对老年冠心病绞痛患者的应用效果及 SAS、SDS 评分影响评价[J]. 生命科学仪器, 2022, 20 (z1): 419-420.
- [7] 中华医学会骨科学分会关节外科学组, 北京医学会骨科专业委员会关节外科学组, 翁习生, 等. 中国全膝关节置换术围手术期疼痛管理指南 (2022) [J]. 协和医学杂志, 2022, 13 (6): 965-985.
- [8] 张印恩, 马铮, 倪国骅, 等. mFI-5 预测老年全膝关节置换术后早期并发症的应用[J]. 医学研究与战创伤救治, 2024, 37 (6): 593-597.
- [9] ZHANG M, ZHANG K, GONG H. Biomechanical Effects of Tibial Stems with Different Structures on Human Knee Joint after Total Knee Arthroplasty: A Finite Element Analysis[J]. J Bionic Eng, 2022, 19(1):197-208.
- [10] 黄易, 杨辉, 王锦文, 等. 术中残留一定程度屈曲畸形对 TKA 疗效的影响[J]. 南京医科大学学报 (自然科学版), 2025, 45 (4): 551-559.
- [11] 阿加阿沙, 王桦稀, 李炎伦, 等. 不同程度内翻畸形膝关节 TKA 术后短期疗效分析[J]. 川北医学院学报, 2025, 40 (7): 874-878, 913.
- [12] 廖远平, 曹国瑞, 史小涛, 等. 不同麻醉方式对全膝关节置换围术期失血量及术后并发症的影响[J]. 实用骨科杂志, 2024, 30 (4): 306-310, 316.
- [13] 卢文海, 孙少松, 史思峰. 全膝关节置换术与单髁置换术对膝关节前内侧骨关节炎肢体功能和并发症的早期疗效分析[J]. 川北医学院学报, 2023, 38 (2): 217-220.