

随机森林模型和 Logistic 回归模型预测髌部骨折患者住院时间延长的效能比较

于健^{1,2}, 周冰倩², 王朝², 李月², 常雅茹², 曹虹^{1,2}<https://doi.org/10.12307/2023.744>

投稿日期: 2022-10-19

采用日期: 2022-12-09

修回日期: 2023-01-06

在线日期: 2023-02-01

中图分类号:

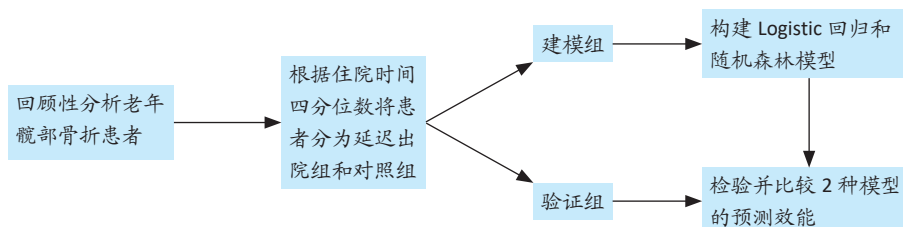
R452; R318; R648

文章编号:

2095-4344(2023)34-05413-08

文献标识码: B

文章快速阅读: 两种预测模型预测髌部骨折患者住院时间延长的效能比较



文题释义:

髌部骨折: 指股骨头边缘和小转子远端5 cm之内的骨折。该研究指病案首页中经骨科医师确诊的股骨颈骨折、转子间骨折和转子下骨折患者。**风险预测模型:** 利用多因素模型估算患有某病的概率或者将来某结局发生的概率, 包括预后模型和诊断模型, 在该研究中主要指随机森林模型和Logistic回归模型。

摘要

背景: 髌部骨折发生率与日俱增, 由于此类人群身体状况较差, 常需要长时间住院, 而住院时间延长导致床位流通率下降和经济负担增加。目前针对髌部骨折延迟出院的预测模型较少, 此次研究旨在寻找针对髌部骨折延迟出院的最佳模型, 指导临床决策。**目的:** 探究髌部骨折患者住院时间延长的危险因素, 建立两种不同的风险预测模型, 获得最佳风险预测工具, 为临床干预及管理提供参考。**方法:** 回顾性分析2019年1月至2021年12月天津市天津医院收治的老年髌部骨折患者683例, 将全部患者按7:3比例随机分成建模组(479例)和验证组(204例), 以住院时间的第75百分位数为分界点(> 28 d), 分为住院时间延长组和正常组。基于建模组采用SPSS和R软件进行单因素分析和多因素Logistic回归分析和变量重要性排序筛选最佳预测变量, 构建列线图及随机森林模型。基于验证组通过ROC曲线下面积、准确度、灵敏度、特异度、阳性预测值和阴性预测值评价并比较两种模型的预测效能。**结果与结论:** ①Logistic回归分析显示, 骨牵引、肺炎、再骨折、多发性创伤、静脉血栓、肺感染和年龄校正Charlson合并症指数(age-adjusted Charlson Comorbidity Index, ACCI)是髌部骨折患者住院时间延迟的危险因素。②随机森林模型根据基尼指数减少平均值排序显示, 年龄、骨牵引、手术类型、ACCI、肺炎是前5个指标, 对延迟出院的预测有重要影响。③Logistic回归模型和随机森林预测模型的ROC曲线下面积、准确度、灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为0.774(95%CI: 0.696–0.853)和0.708(95%CI: 0.627–0.789)、60.78%和90.85%、80.39%和23.53%、50.82%和78.09%、86.01%和46.15%, 结果显示Logistic模型具有较好的预测效能。④上述结果证实, Logistics回归模型和随机森林模型对髌部骨折患者住院时间延长均具有较高的预测价值, 这对临床医护人员及时识别高危患者并采取有效干预措施降低髌部骨折患者住院时间具有重要意义。**关键词:** 髌部骨折; 住院时间; 延迟出院; 随机森林模型; Logistic回归; ACCI; 危险因素; 风险预测; 预测模型; 列线图

Comparison of random forest model and logistic regression model in predicting the prolonged length of stay of hip fracture patients

Yu Jian^{1,2}, Zhou Bingqian², Wang Zhao², Li Yue², Chang Yaru², Cao Hong^{1,2}¹Department of Trauma Orthopedics, Tianjin Hospital, Tianjin 300202, China; ²Graduate School of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300061, China

Yu Jian, Master candidate, Senior nurse, Department of Trauma Orthopedics, Tianjin Hospital, Tianjin 300202, China; Graduate School of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300061, China

Corresponding author: Cao Hong, Master, Associate chief senior nurse, Department of Trauma Orthopedics, Tianjin Hospital, Tianjin 300202, China; Graduate School of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 300061, China

Abstract

BACKGROUND: The incidence of hip fracture patients is increasing day by day. Because of their poor physical condition, these people often need to stay in hospital for a long time. However, the prolonged length of stay leads to a decrease in bed circulation rate and an increase in economic burden. At present, there are few prediction models for delayed discharge of hip fractures. This study aims to find the best model for delayed discharge of hip fractures and guide clinical decision-making.**OBJECTIVE:** To explore the risk factors of prolonged length of stay in patients with hip fractures, establish two different risk prediction models, obtain the best risk prediction tools, and provide a reference for clinical intervention and management.¹天津市天津医院创伤骨科, 天津市 300202; ²天津中医药大学研究生院, 天津市 300061**第一作者:** 于健, 男, 1997年生, 山东省平阴县人, 汉族, 天津中医药大学在读硕士, 护师, 主要从事老年骨科疾病的研究。**通讯作者:** 曹虹, 硕士, 副主任护师, 天津中医药大学研究生院, 天津市 300061; 天津市天津医院创伤骨科, 天津市 300202<https://orcid.org/0000-0001-8681-0589> (于健)**引用本文:** 于健, 周冰倩, 王朝, 李月, 常雅茹, 曹虹. 随机森林模型和 Logistic 回归模型预测髌部骨折患者住院时间延长的效能比较 [J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(34):5413-5420.

METHODS: Data from 683 elderly patients with hip fractures in Tianjin Hospital from January 2019 to December 2021 were retrospectively analyzed. All patients were randomly divided into a modeling group (479 cases) and a verification group (204 cases) according to the ratio of 7:3. The 75th percentile of length of stay was taken as the cut-off point (> 28 days), and they were divided into extended hospitalization group and normal group. Single-factor and multifactor Logistic regression analysis and variable importance ranking were used to screen the best prediction model; the nomogram and random forest models were constructed. The prediction efficiency of the two models was evaluated by the receiver operating characteristic curve area, accuracy, sensitivity, specificity, positive prediction value and negative prediction value.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Logistic regression analysis showed that bone traction, pneumonia, refolding, multiple trauma, venous thrombosis, lung infection and age-adjusted Charlson Comorbidity Index were the risk factors of prolonged length of stay of hip fracture patients. (2) The random forest model showed that age, bone traction, surgical type, age-adjusted Charlson Comorbidity Index and pneumonia were the first five indexes according to the average reduction of the Gini index, which had an important influence on the prediction of delayed discharge. (3) The area under the receiver operating characteristic curve, accuracy, sensitivity, specificity, positive prediction value and negative prediction value of the Logistic regression model and random forest prediction model were 0.774(95%CI: 0.696–0.853) and 0.708(95%CI: 0.627–0.789), 60.78% and 90.85%, 80.39% and 23.53%, 50.82% and 78.09%, 86.01% and 46.15%, respectively. The results exhibited that the Logistic model had good prediction efficiency. (4) Above findings confirm that the Logistics regression model and random forest model have high predictive value for a prolonged length of stay in patients with hip fractures, which is of great significance for clinical medical staff to identify high-risk patients in time and take effective intervention measures to reduce the length of stay of patients with hip fractures.

Key words: hip fracture; length of stay; delayed discharge; random forest model; Logistic regression; age-adjusted Charlson Comorbidity Index; risk factor; risk prediction; prediction model; nomograms

How to cite this article: YU J, ZHOU BQ, WANG Z, LI Y, CHANG YR, CAO H. Comparison of random forest model and logistic regression model in predicting the prolonged length of stay of hip fracture patients. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2023;27(34):5413-5420.

0 引言 Introduction

髋部骨折是对老年人影响最严重的骨折类型，具有发病率高、死亡率高、并发症发生率高等特点^[1-2]。此类患者往往需要较长的恢复和康复时间，住院时间的延长增加了长期卧床并发症发生率，并且对个人和社会医疗成本有直接影响，造成高额的医疗费用^[3]。考虑到有限的医疗资源和不断增加的老年人口，髋部骨折患者早期出院尤为重要，应对患者延迟出院的预测展开研究，但目前未发现相关的评估工具。由于各国医疗保健系统的不同，每个患者的合并症、手术结果和出院情况差异很大^[4]。因此，该研究旨在探讨髋部骨折患者住院时间延迟的风险因素，开发两个基于相关人口统计学特征和患者共病的模型，以期获得最佳预测效果，通过精准识别延迟出院的髋部骨折患者，给予其预防性干预，达到减轻社会医疗负担的目的。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 非匹配病例对照研究，组间比较采用独立样本 t 检验或 χ^2 检验。

1.2 时间及地点 于 2019 年 1 月至 2021 年 12 月在天津医院骨科创伤科完成。

1.3 对象 选取 2019 年 1 月至 2021 年 12 月在天津市天津医院创伤骨科住院诊疗的 683 例髋部骨折患者资料，女性 505 例，男性 178 例；年龄 45–102 岁；股骨颈骨折 301 例，转子间骨折 366 例，转子下骨折 16 例。符合纳入条件的髋部骨折患者住院时间为 4–202 d。使用 R 语言中 caret 包根据随机分组标记将全部患者按 7 : 3 分成建模组和验证组。建模组 479 例，以住院时间的第 75 百分位数为分界点 (> 28 d)，其中住院时间延长组 120 例，正常组 359 例；验证组 204 例，其中住院时间延长组 51 例，正常组 153 例。该研究遵守观察性研究报告规范《STROBE》的要求，研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和天津医院的相关伦理要求，伦理批准号：2022 医伦审 136。

1.3.1 诊断标准

(1) 髋部骨折：参考《骨质疏松性骨折诊疗指南》^[5]，髋

部骨折为因低能量损伤导致髋关节周围的骨折。根据骨折的具体部位可分为股骨颈骨折、股骨转子间骨折和股骨转子下骨折。结合患者病史和临床表现，且经影像学检查可见骨皮质不连续、骨小梁中断，髋关节影像形态不对称，可明确诊断。

(2) 肺部感染：肺部查体新出现啰音或 X 射线片发现实变或浸润性改变且至少符合下面一项：体温高于 38.5℃，痰培养发现致病菌^[6]。

(3) 谵妄：患者符合①和②并满足③或④其中一条^[7]。

①精神状态剧烈变化；②注意力涣散；③思维紊乱；④意识水平急性变化。

(4) 静脉血栓：根据中华医学会《深静脉血栓形成的诊断和治疗指南(第 3 版)》^[8]，彩色多普勒超声检查发现双下肢静脉血栓即可诊断，包括下肢深静脉血栓和肌间静脉血栓。

(5) 尿路感染：①清洁离心中段尿沉渣每高倍镜视野白细胞数 ≥ 10 个，或有尿路感染症状；②正规清洁中段尿细菌定量培养，菌落数 $\geq 10^8$ cfu L⁻¹^[9]。

1.3.2 纳入标准 ①经体格检查和影像学检查诊断为股骨颈骨折、股骨转子间骨折和股骨转子下骨折；②低能量损伤，即从站立的高度坠落造成的损伤；③患者有完整的临床和影像学资料。

1.3.3 排除标准 ①病理性骨折；②由于非疾病原因快速离院患者；③院内死亡患者。

1.4 研究方法

1.4.1 数据收集方法 使用天津医院信息管理系统进行电子病历调阅，由 2 名团队成员收集患者的一般资料、临床资料及并发症资料，具体指标包括性别、年龄、住院时间、手术类型、骨折类型、骨牵引、并发症、高血压、冠心病、糖尿病、脑血管病、脑后遗症、心功能不全、心律失常、房颤、慢阻肺、支气管肺炎、肾功能不全、肝功能不全、贫血、低蛋白血症、电解质紊乱、恶性肿瘤、脑萎缩、老年痴呆、帕金森病、再骨折、多发性创伤、年龄校正 Charlson 合并症指数 (age-adjusted Charlson Comorbidity Index, ACCI)、谵妄、静脉血栓、肺部感染和尿路感染，并完成录入、建立数据库和统计分析等工作。

1.4.2 数据评估方法 该研究中所有诊断均由骨科医师会诊后根据影像检查或实验室检查结果给出诊断。ACCI 通过年龄和既往基础疾病的权重得分总和计算, ACCI 分值计算方法如表 1, 根据 ACCI 总评分归类为低风险 (< 8 分) 和高风险 (≥ 9 分)。

表 1 | 年龄校正 Charlson 合并症指数 (ACCI) 评分计算方法

Table 1 | Age-adjusted Charlson Comorbidity Index (ACCI) score calculation method

评分 (分)	共病
1	心肌梗死; 充血性心力衰竭; 慢性肺部疾病; 消化性溃疡疾病; 周围性血管疾病; 年龄 50-59 岁 轻微的肝脏疾病; 脑血管疾病; 结缔组织疾病; 糖尿病 (无终末器官损害); 痴呆;
2	偏瘫; 中度到重度肾脏疾病; 糖尿病 (伴终末器官损害); 白血病; 无转移实体肿瘤; 淋巴瘤; 年龄 60-69 岁
3	中度到严重的肝脏疾病 年龄 70-79 岁
4	年龄 ≥ 80 岁
6	转移性实体肿瘤 艾滋病

1.4.3 研究偏倚控制 在不了解住院时间的情况下 2 名成员盲法收集患者资料、采用 Excel 软件进行数据的双编码录入, 核对数据并建立数据库, 并采用共线性诊断和敏感性分析对数据进行校正避免偏倚的出现。

1.4.4 研究质量控制 该研究团队研究设计前阅读了大量相关文献、并向相关方向专家询问请教, 逐步修改资料收集表。对数据录入的硕士研究生进行统一培训。若出现意见分歧, 则由第三方解决, 保证数据的准确性。

1.4.5 样本量估算 根据 Logistic 回归的样本量粗略估算方法^[10]: 结局变量中例数较少的一类, 样本量应该为自变量个数的 5-10 倍。根据既往出院延迟相关危险因素的研究, 研究结果一般不超过 10 个危险因素, 由此推测该研究风险预测模型最终纳入不超过 10 个预测变量。结合文献资料, 髌骨骨折患者出院延迟发生率为 28.4%-55.0%^[11-12], 取最小值 28.4%, 同时考虑 10% 的脱落样本, 则该研究进行建模所需最小样本量为 $N = (\text{自变量个数} \times 10 / \text{发生率}) \times (1 + 10\%) = (10 \times 10 / 28.4\%) \times (1 + 10\%) = 352$ 例。建模组样本量为全部样本量 2/3, 验证组样本量为全部样本量 1/3, 验证组样本量至少为 $N = 528 \times 1/3 = 158$ 例, 全部样本量至少为 $N = 158 \times 3/2 = 528$ 例。

1.4.6 敏感性分析 基于基线分析, 划分出年龄 ≥ 60 岁、手术治疗和髌骨骨折置换患者 3 个亚组, 进行敏感性分析以保证模型的稳定性。

1.5 主要观察指标 主要观察影响延迟出院的影响因素。延迟出院标准: 髌骨骨折患者住院时间 > 28 d (第 75 百分位数)。

1.6 统计学分析 双人录入数据后, 运用 SPSS (Version 22.0, IBM 公司, 芝加哥, 美国) 和 R-Studio 软件 (Version 4.1.1, R Foundation for Statistics Computing, 维也纳, 奥地利) 进行分析, 并应用多个 R 软件包, 包括 rms, ROCR, Hmisc, randomForest 和 caret 等。对患者的一般资料表、得分进行描述, 正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用 t 检验和卡方检验组间与组内比较。非正态分布的资料以中位数和四分位

数间距表示, 采用曼-惠特尼 U 检验分析。计数资料采用率、构成比或频数表示, 采用卡方检验进行组间与组内比较。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。若患者资料中出现缺失值, 采取该变量的均值或中位数替换填补。

Logistic 模型的构建: 基于 SPSS 进行单因素分析和共线性诊断, 然后采用多因素 Logistic 回归分析, 通过筛选出来的危险因素使用 R 绘制列线图建立预测模型。随机森林模型的构建: 利用随机森林算法计算出各变量的基尼指数平均值, 根据此数值排序筛选出对老年髌骨骨折患者住院时间延长影响较大的变量, 依据计算袋外错误率选择最优的随机森林模型特征个数, 建立随机森林分类预测模型。通过受试者工作特征 (Receiver Operating Characteristic, ROC) 及其曲线下面积、准确度、特异度、灵敏度、阳性预测值和阴性预测值来进行预测模型性能的评价比较。该文章统计学方法已经天津医院生物统计学专家审核。

2 结果 Results

2.1 患者数量分析 通过检阅医院病历系统, 选取 2019 年 1 月至 2021 年 12 月在天津市天津医院骨科住院的髌骨骨折患者, 最终符合纳入标准患者共 683 例。将全部患者按 7 : 3 比例随机分成训练集和校验集。训练集作为建模组, 共 479 例; 校验集作为验证组, 共 204 例。研究流程图, 见图 1。



图 1 | 两组患者分组流程图

Figure 1 | Flow chart of group assignment

2.2 建模组和验证组基线资料评估结果 除骨折类型外, 两组在基线特征未发现显著性差异 ($P > 0.05$), 说明两组不会由于因变量分布不均而产生偏倚, 见表 2。

2.3 建模组患者住院时间延长的单因素分析结果 将建模组 479 例髌骨骨折患者分为出院延迟组和正常组, 其中 120 例住院时间延长。单因素分析结果显示有统计学意义 ($P < 0.05$) 的因素共 14 个, 包括骨折类型、手术类型、骨牵引、并发症、肺炎、肝功能不全、贫血、恶性肿瘤、是否再骨折、多发性创伤、ACCI、静脉血栓、肺感染及尿路感染, 见表 3。

2.4 髌骨骨折患者住院时间延长相关因素的共线性分析结果 膨胀因子检测以上 14 个协变量的多重共线性, 经分析, 所有纳入多因素 Logistic 回归分析中的指标方差膨胀因子均小于 5, 容差均大于 0.1, 提示各协变量之间不存在多重共线性, 可以将他们作为预测因子纳入模型, 见表 4。

2.5 建模组患者住院时间延长的多因素分析结果 将单因素分析有意义及不存在多重共线性的危险因素进行多因素 Logistic 回归分析, 采用向前逐步法及似然比检验剔除了无统计学意义的混杂因素, 获得纳入模型变量。自变量赋值方法如下: 骨折类型: 股骨颈

表 2 | 两组基线资料比较

Table 2 | Comparison of baseline data between the two groups

项目	建模组	验证组	统计值	P 值	项目	建模组	验证组	统计值	P 值
年龄 [中位数 (四分位数间距), 岁]	81(13)	81(13)	Z=-0.205	0.838	肝功能不全 [n(%)]			$\chi^2=0.812$	0.368
性别 [n(%)]			$\chi^2=1.694$	0.193	是	7(1.5)	5(2.5)		
男	118(24.6)	60(29.4)			否	472(98.5)	199(97.5)		
女	361(75.4)	144(70.6)			贫血 [n(%)]			$\chi^2=0.624$	0.429
骨折类型 [n(%)]			$\chi^2=6.409$	0.041	是	321(67)	143(70.1)		
股骨颈骨折	226(47.2)	75(36.8)			否	158(33)	61(29.9)		
转子间骨折	243(50.7)	123(60.3)			低蛋白血症 [n(%)]			$\chi^2=0.363$	0.547
转子下骨折	10(2.1)	6(2.9)			是	385(80.4)	168(82.4)		
手术类型 [n(%)]			$\chi^2=3.046$	0.385	否	94(19.6)	36(17.6)		
未手术	187(39)	84(41.2)			电解质紊乱 [n(%)]			$\chi^2=2.718$	0.099
髋关节置换	172(36)	60(29.4)			是	223(46.6)	81(39.7)		
闭合复位内固定	96(20)	47(23)			否	256(53.4)	123(60.3)		
切开复位内固定	24(5)	13(6.4)			恶性肿瘤 [n(%)]			$\chi^2=0.686$	0.407
骨牵引 [n(%)]			$\chi^2=3.370$	0.066	是	26(5.4)	8(3.9)		
是	107(22.3)	59(28.9)			否	453(94.6)	196(96.1)		
否	372(77.7)	145(71.1)			住院时间 [中位数 (四分位数间距), d]	19(17)	20(17)	Z=-0.462	0.644
合并症 [n(%)]			$\chi^2=1.359$	0.244	糖尿病 [n(%)]			$\chi^2=0.833$	0.361
是	286(59.7)	112(54.9)			是	182(38)	70(34.3)		
否	193(40.3)	92(45.1)			否	297(62)	134(65.7)		
冠心病 [n(%)]			$\chi^2=3.684$	0.055	脑血管疾病 [n(%)]			$\chi^2=0.092$	0.762
是	373(77.9)	172(84.3)			是	70(14.6)	28(13.7)		
否	106(22.1)	32(15.7)			否	409(85.4)	176(86.3)		
脑梗死后遗症 [n(%)]			$\chi^2=1.984$	0.159	心功能不全 [n(%)]			$\chi^2=0.006$	0.937
是	52(10.9)	15(7.4)			是	67(14)	29(14.2)		
否	427(89.1)	189(92.6)			否	412(86)	175(85.8)		
心律失常 [n(%)]			$\chi^2=0.001$	0.974	COPD [n(%)]			$\chi^2=0.043$	0.835
是	77(16.1)	33(16.2)			是	18(3.8)	7(3.4)		
否	402(83.9)	171(83.8)			否	461(96.2)	197(96.6)		
心房颤动 [n(%)]			$\chi^2=0.200$	0.654	肺炎 [n(%)]			$\chi^2=0.504$	0.478
是	53(11.1)	25(12.3)			是	110(23)	52(25.5)		
否	426(88.9)	179(87.7)			否	369(77)	152(74.5)		
肾功能不全 [n(%)]			$\chi^2=0.151$	0.697	痴呆 [n(%)]			$\chi^2=0.112$	0.738
是	32(6.7)	12(5.9)			是	19(4)	7(3.4)		
否	447(93.3)	192(94.1)			否	460(96)	197(96.6)		
帕金森病 [n(%)]			校正 $\chi^2=0.000$	1	再次骨折 [n(%)]			$\chi^2=3.041$	0.081
是	10(2.1)	4(2)			是	42(8.8)	10(4.9)		
否	469(97.9)	200(98)			否	437(91.2)	194(95.1)		
多发性损伤 [n(%)]			$\chi^2=0.243$	0.622	谵妄 [n(%)]			$\chi^2=2.020$	0.155
是	58(12.1)	22(10.8)			是	28(5.8)	18(8.8)		
否	421(87.9)	182(89.2)			否	451(94.2)	186(91.2)		
静脉血栓 [n(%)]			$\chi^2=3.367$	0.545	消化道出血 [n(%)]			校正 $\chi^2=2.254$	0.133
是	211(44.1)	95(46.6)			是	16(3.3)	2(1)		
否	268(55.9)	109(53.4)			否	463(96.7)	202(99)		
压疮 [n(%)]			校正 $\chi^2=0.000$	1	肺部感染 [n(%)]			$\chi^2=0.799$	0.371
是	5(1)	2(1)			是	48(10)	16(7.8)		
否	474(99)	202(99)			否	431(90)	188(92.2)		
ACCI [n(%)]			$\chi^2=0.001$	0.972	泌尿道感染 [n(%)]			$\chi^2=1.879$	0.170
高危	78(16.3)	33(16.2)			是	81(16.9)	26(12.7)		
低危	401(83.7)	171(83.8)			否	398(83.1)	178(87.3)		

表注：ACCI 为年龄校正 Charlson 合并症指数；COPD 为慢性阻塞性肺疾病

骨折 =0, 转子间骨折 =1, 转子下骨折 =2; 手术类型: 未手术 =0, 髋关节置换术 =1, 闭合内固定术 =2, 切开内固定术 =3; ACCI: 低危 =0, 高危 =1; 骨牵引、并发症、肺炎、贫血、再次骨折、多发性创伤、静脉血栓、肺感染、泌尿道感染、恶性肿瘤: 是 =1, 否 =0。结果显示, 骨牵引、ACCI、肺部感染、再次骨折、肺炎、多发性创伤、贫血、静脉血栓是髋部骨折患者住院时间延长的独立影响因素, 见表 5。

该研究分别将年龄 < 60 岁、未手术、髋关节置换以外的研究对象排除, 筛选出年龄 ≥ 60 岁患者 465 例, 手术患者 292 例, 髋关节置换患者 172 例的研究对象进行敏感性分析结果显示, 肺部感染、再次骨折和多发性损伤差异较大, 见表 6。

2.6 Logistic 风险预测模型的构建 根据上述回归分析纳入的 7 个独立危险因素以及各因素对应的回归系数, 构建髋部骨折患者住院时间延迟的预测模型。Z=-3.188+1.729×(骨牵引)+1.178×(ACCI)+1.089×(肺感染)+1.058×(再次骨折)+0.848×(肺炎)+0.669×(多发性损伤)+0.667×(贫血)+0.664×(静脉血栓), 并绘制髋部骨折患者住院时间延迟的列线图, 见图 2。根据 Nomogram 图中的危险因素可得知对应的分值, 各项分值相加后, 总分对应的预测概率就是老年髋部骨折患者住院时间延长的概率。

2.7 随机森林预测模型的构建 建模组共有 479 个样本用于建立随机森林模型。首先固定随机树数量, 确定最佳特征选择量, 当 mtry=5 时, 袋外误差率最小, 见图 3。基于 mtry 取值为 5, 当

表 3 | 建模组髋部骨折患者住院时间延长的单因素分析结果

Table 3 | Univariate analysis of prolonged length of stay of hip fracture patients in model group

项目	住院时间延长组	正常组	统计值	P 值	项目	住院时间延长组	正常组	统计值	P 值
年龄 [中位数 (四分位数间距), 岁]	81(13)	81(13)	$Z=-0.388$	0.698	肝功能不全 [n(%)]			校正 $\chi^2=2.355$	0.125
性别 [n(%)]			$\chi^2=0.124$	0.725	是	4(3.3)	3(0.8)		
男	31(25.8)	87(24.2)			否	116(96.7)	356(99.2)		
女	89(74.2)	272(75.8)			贫血 [n(%)]			$\chi^2=13.831$	0
骨折类型 [n(%)]			$\chi^2=20.532$	0	是	97(80.8)	224(62.4)		
股骨颈骨折	36(30.0)	190(52.9)			否	23(19.2)	135(37.6)		
转子间骨折	79(65.8)	164(45.7)			低蛋白血症 [n(%)]			$\chi^2=0.169$	0.681
转子下骨折	5(4.2)	5(1.4)			是	98(81.7)	287(79.9)		
手术类型 [n(%)]			$\chi^2=19.254$	0	否	22(18.3)	72(20.1)		
未手术	67(55.8)	121(33.7)			电解质紊乱 [n(%)]			$\chi^2=2.274$	0.132
髋关节置换术	29(24.2)	143(39.8)			是	63(52.5)	160(44.6)		
闭合复位内固定术	18(15.0)	77(21.4)			否	57(47.5)	199(55.4)		
切开复位内固定术	6(5.0)	18(5.0)			恶性肿瘤 [n(%)]			$\chi^2=6.520$	0.011
骨牵引 [n(%)]			$\chi^2=58.432$	0	是	12(10.0)	14(3.9)		
是	57(47.5)	50(13.9)			否	108(90.0)	345(96.1)		
否	63(52.5)	309(86.1)			脑萎缩 [n(%)]			$\chi^2=0.541$	0.462
并发症 [n(%)]			$\chi^2=4.952$	0.026	是	20(16.7)	50(13.9)		
是	82(68.3)	204(56.8)			否	100(83.3)	309(86.1)		
否	38(31.7)	155(43.2)			老年痴呆 [n(%)]			校正 $\chi^2=0.463$	0.496
高血压 [n(%)]			$\chi^2=0.529$	0.467	是	3(2.5)	16(4.5)		
是	78(65.0)	220(61.3)			否	117(97.5)	343(95.5)		
否	42(35.0)	139(38.7)			帕金森病 [n(%)]			校正 $\chi^2=0.538$	0.463
冠心病 [n(%)]			$\chi^2=0.156$	0.693	是	4(3.3)	6(1.7)		
是	95(79.2)	278(77.4)			否	116(96.7)	353(98.3)		
否	25(20.8)	81(22.6)			再骨折 [n(%)]			$\chi^2=7.773$	0.005
脑血管病 [n(%)]			$\chi^2=0.009$	0.925	是	18(15.0)	24(6.7)		
是	40(33.3)	118(32.9)			否	102(85.0)	335(93.3)		
否	80(66.7)	241(67.1)			多发性创伤 [n(%)]			$\chi^2=7.495$	0.006
脑后遗症 [n(%)]			$\chi^2=0.109$	0.742	是	23(19.2)	35(9.7)		
是	14(11.7)	38(10.6)			否	97(80.8)	324(90.3)		
否	106(88.3)	321(89.4)			ACCI [n(%)]			$\chi^2=27.792$	0
心功能不全 [n(%)]			$\chi^2=1.642$	0.200	< 9	38(31.7)	40(11.1)		
是	21(17.5)	46(12.8)			≥ 9	82(68.3)	319(88.9)		
否	99(82.5)	313(87.2)			谵妄 [n(%)]			$\chi^2=0.00$	0.995
心律失常 [n(%)]			$\chi^2=1.134$	0.287	是	7(5.8)	21(5.8)		
是	23(19.2)	54(15.0)			否	113(94.2)	338(94.2)		
否	97(80.8)	305(85.0)			静脉血栓 [n(%)]			$\chi^2=10.341$	0.001
房颤 [n(%)]			$\chi^2=0.335$	0.563	是	68(56.7)	143(39.8)		
是	15(12.5)	38(10.6)			否	52(43.3)	216(60.2)		
否	105(87.5)	321(89.4)			消化道出血 [n(%)]			$\chi^2=3.082$	0.079
慢阻肺 [n(%)]			$\chi^2=0.313$	0.576	是	7(5.8)	9(2.5)		
是	3(2.5)	15(4.2)			否	113(94.2)	350(97.5)		
否	117(97.5)	344(95.8)			压疮 [n(%)]			校正 $\chi^2=0.066$	0.797
肺炎 [n(%)]			$\chi^2=16.992$	0	是	2(1.7)	3(0.8)		
是	44(36.7)	66(18.4)			否	118(98.3)	356(99.2)		
否	76(63.3)	293(81.6)			肺感染 [n(%)]			$\chi^2=14.853$	0
肾功能不全 [n(%)]			$\chi^2=0.172$	0.678	是	23(19.2)	25(7.0)		
是	9(7.5)	23(6.4)			否	97(80.8)	334(93.0)		
否	111(92.5)	336(93.6)			泌尿道感染 [n(%)]			$\chi^2=6.000$	0.014
					是	29(24.2)	52(14.5)		
					否	91(75.8)	307(85.5)		

表注: ACCI 为年龄校正 Charlson 合并症指数

表 4 | 髋部骨折患者住院时间延长的预测变量多重共线性分析结果

Table 4 | Multi-collinearity analysis results of predictive variables of prolonged length of stay of hip fracture patients

因素	容差	方差膨胀因子	因素	容差	方差膨胀因子
骨折类型	0.657	1.522	再次骨折	0.977	1.024
手术类型	0.666	1.502	多发性损伤	0.967	1.034
骨牵引	0.577	1.734	静脉血栓	0.550	1.817
并发症	0.487	2.052	肺部感染	0.958	1.044
肺炎	0.957	1.045	尿路感染	0.822	1.217
贫血	0.933	1.072	ACCI	0.657	1.522
恶性肿瘤	0.974	1.027			

表注: ACCI 为年龄校正 Charlson 合并症指数

ntree=500 时, 误差基本趋于稳定, 随机森林预测误差与随机树

数量的动态变化关系见图 4。因此, 当 mtry=5, mtree=500 时为最优模型。根据基尼指数减少平均值对 34 个变量进行变量重要性排序, 年龄、骨牵引、手术类型、ACCI 及肺炎为预测髋部骨折患者住院时间延长的重要性前 5 位指标, 见表 7。

2.8 两种预测模型效能比较结果 采用测试集数据比较两种模型对髋部骨折患者住院时间延长的预测效果。Logistic 预测模型的灵敏度、阳性预测值低于随机森林预测模型, 而准确度、特异度、阴性预测值和受试者工作曲线下面积高于随机森林预测模型, 见表 8。两种模型均有较好的预测准确性, 但 Logistic 预测模型预测效能较好。ROC 曲线见图 5。

表 5 | 建模组髋部骨折患者住院时间延长的多因素 Logistic 分析结果

Table 5 | Multivariate Logistic analysis of prolonged length of stay in hip fracture patients of the model group

变量	偏回归系数	标准误差	Wald χ^2	P 值	OR 值	95% 置信区间 (95%CI)
骨牵引	1.729	0.268	41.559	< 0.001	5.634	3.331-9.530
ACCI > 8 分	1.178	0.298	15.564	< 0.001	3.247	1.809-5.828
肺部感染	1.089	0.374	8.469	0.004	2.971	1.427-6.184
再次骨折	1.058	0.390	7.375	0.007	2.882	1.342-6.186
肺炎	0.848	0.276	9.415	0.002	2.335	1.358-4.012
多发性损伤	0.669	0.337	3.934	0.047	1.953	1.008-3.784
贫血	0.667	0.288	5.366	0.021	1.949	1.108-3.428
静脉血栓	0.664	0.250	7.061	0.008	1.943	1.19-3.172
常量	-3.188	0.319	100.009	< 0.001	0.041	

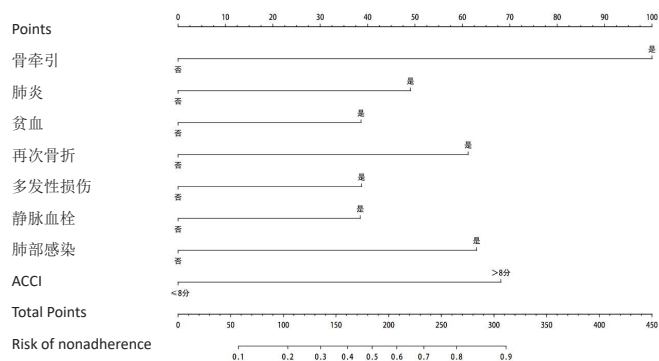
表注：ACCI 为年龄校正 Charlson 合并症指数

表 6 | 髋部骨折患者住院时间延长相关因素的敏感性分析结果

Table 6 | Sensitivity analysis results of factors related to prolonged length of stay in patients with hip fractures

变量	亚组	OR 值	95% 置信区间 (95%CI)	P 值
骨牵引	60 岁以上患者	5.444	(2.487-11.916)	< 0.001
	手术患者	-	-	-
	置换术患者	-	-	-
ACCI > 8 分	60 岁以上患者	3.518	(1.863-6.645)	< 0.001
	手术患者	5.156	(2.191-12.134)	< 0.001
	置换术患者	9.339	(2.762-31.582)	< 0.001
肺部感染	60 岁以上患者	3.298	(1.549-7.022)	0.002
	手术患者	2.715	(0.981-7.514)	0.055
	置换术患者	0.724	(0.124-4.141)	0.072
再次骨折	60 岁以上患者	2.629	(1.185-5.833)	0.017
	手术患者	2.928	(1.003-8.546)	0.049
	置换术患者	2.148	(0.524-8.811)	0.288
肺炎	60 岁以上患者	2.416	(1.365-4.276)	0.002
	手术患者	2.69	(1.187-6.097)	0.018
	置换术患者	3.385	(1.096-10.453)	0.003
多发性损伤	60 岁以上患者	1.818	(0.897-3.682)	0.097
	手术患者	2.496	(0.986-6.316)	0.054
	置换术患者	3.445	(0.973-12.199)	0.055
贫血	60 岁以上患者	2.475	(1.330-4.608)	0.004
	手术患者	4.719	(1.830-12.173)	0.001
	置换术患者	3.563	(1.233-10.299)	0.019
静脉血栓	60 岁以上患者	2.606	(1.320-5.147)	0.006
	手术患者	2.823	(1.071-7.437)	0.036
	置换术患者	3.81	(1.100-13.201)	0.035

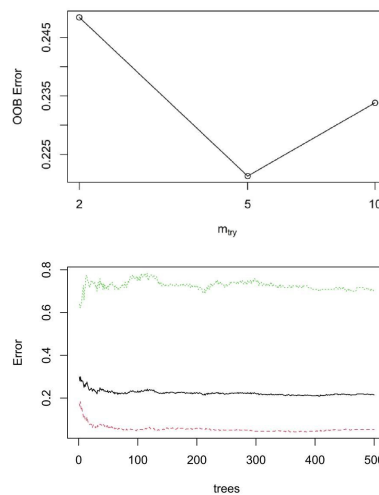
表注：“-”为无数据，由于手术患者基本不以骨牵引作为治疗方式，所以不纳入该数据。ACCI 为年龄校正 Charlson 合并症指数



图注：根据 Nomogram 图中的危险因素可得知每个变量对应的分值，各项分值相加后，总分对应的预测概率就是髋部骨折患者延迟出院的概率。Points 为单项得分，Total Points 为总分，Risk of nonadherence 为总分对应延迟出院发生率；ACCI 为年龄校正 Charlson 合并症指数

图 2 | 髋部骨折患者住院时间延长 Logistics 风险的列线图预测模型

Figure 2 | Nomogram prediction model of logistic risk of prolonged length of stay in patients with hip fractures



图注：OOB Error 为袋外误差率； m_{try} 为随机特征选取量

图 3 | 不同特征选取量下模型袋外误差率

图注：Error 为误差；trees 为树目（棵）

图 4 | 随机森林预测误差与随机树数量的动态变化关系

表 7 | 髋部骨折患者住院时间延长的随机森林预测模型的变量重要性排序

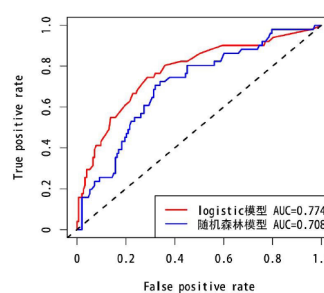
变量	基尼指数减少平均值	变量	基尼指数减少平均值
年龄	22.782	并发症	3.984
骨牵引	13.328	低蛋白血症	3.459
手术类型	9.073	恶性肿瘤	3.419
ACCI	8.559	冠心病	3.361
肺炎	6.382	心律失常	3.350
骨折类型	6.362	脑萎缩	3.160
贫血	5.903	心功能不全	3.114
静脉血栓	5.552	脑后遗症	2.550
肺感染	5.188	肾功能不全	2.397
泌尿道感染	4.899	房颤	2.330
高血压	4.859	消化道出血	1.652
电解质失衡	4.657	谵妄	1.489
脑血管疾病	4.585	帕金森	1.477
糖尿病	4.438	慢阻肺	0.961
多发性创伤	4.269	压疮	0.890
再骨折	4.113	肝功能不全	0.862
性别	4.008	痴呆	0.686

表注：ACCI 为年龄校正 Charlson 合并症指数

表 8 | 两种模型的预测性能比较

Table 8 | Comparison of prediction performance of two kinds of models

模型	准确度 (%)	灵敏度 (%)	特异度 (%)	阳性预测值 (%)	阴性预测值 (%)	ROC 曲线下面积 (95%CI)
Logistic 回归模型	75.49	60.78	80.39	50.82	86.01	0.774(0.696-0.853)
随机森林模型	74.02	90.85	23.53	78.09	46.15	0.708(0.627-0.789)



图注：True positive rate 为真阳性率（灵敏度）；False positive rate 为假阳性率（1-特异度）；AUC 为 ROC 曲线下面积

图 5 | Logistic 回归模型和随机森林模型的 ROC 曲线

Figure 5 | Receiver operating characteristic curves of Logistic regression model and random forest model

3 讨论 Discussion

3.1 国内外髋部骨折患者住院时间研究现状 该研究纳入的髋部骨折患者，患者中位住院时间平均为 20 d。杨锐敏^[13] 研究显示髋部骨折患者的平均住院时间不超过 20 d，与该研究结果类似。国外文献报道，该院髋部骨折患者中位住院时间为 10 d^[14]。国内外髋部骨折患者住院时间的不同可能源于出院居住地点和医疗保健系

统的差异有关。有文献表明,长期住院可导致患者后期出现不良健康后果^[15-16],此外患者住院时间延长造成医院床位利用率的下降,浪费医疗资源^[17]。随着加速康复外科的开展,国内髌部骨折患者住院时间逐渐缩短,该群体就可以获得更好的满意度,同时减少总体成本,改善病房床位的供应情况。因此作者基于2种方法建立预测模型并分析髌部骨折患者住院时间延长的危险因素。

3.2 预测模型影响因素分析

3.2.1 年龄和 ACCI 该研究发现,年龄是随机森林模型中首位重要性指标。国外研究报道,髌部骨折患者高龄与住院时间较长呈正相关^[18]。究其原因:随着髌部骨折患者年龄的增加,常伴随多种共病和身体功能与免疫能力的下降,导致发生各类并发症,并且老年人难以承受创伤与手术的打击,更容易发生不良结局,出现出院延迟^[19-20]。ACCI ≥ 8 分髌部骨折患者发生住院延迟增加3.326倍。ACCI评分反映的是患者入院时的总体健康状况。与该研究结论类似,中国研究认为共病指数与住院时间增加显著相关^[21]。国外学者WONG等^[14]研究同样表明术前合并症是髌部骨折患者住院时间延长的独立危险因素。究其原因:严重共病患者需要多重用药,并且易出现并发症,因此会延长患者的住院时间^[20, 22]。此外这类患者自理能力较差,也需要更长的恢复期来恢复到他们最初的自理水平。

3.2.2 多发性创伤和再骨折 多发性创伤髌部骨折患者的住院时间延长风险是非多发性创伤的2.043倍。该研究多发性创伤多为合并上肢骨折,与该研究结论相似,国外报道在伴有肱骨近端骨折的髌部骨折患者亚组中,功能恢复较差,住院时间延长^[23]。究其原因考虑,多发性骨折患者创伤范围大、伤势复杂,且并发症和失血量多,治疗难度大,需要更长的住院时间恢复其功能。再骨折与髌部骨折患者住院时间延长密切相关。与初次骨折相比,再骨折后具有更高的病死率和并发症发生率,往往存在着功能受限,术后生活自理能力也更差^[24]。有研究报道,再骨折的髌部骨折患者在入院时的功能和活动水平明显比初次骨折的患者差,两组间的巴塞利指数差异几乎有20分^[25]。与多发性骨折类似,再次骨折患者同样需要更长的住院时间恢复其自理能力与机体功能。

3.2.3 手术类型和骨牵引 该研究发现,手术类型是随机森林模型中第3位重要性指标。YOO等^[4]研究发现二级和初级外科医院的术后患者大部分可以早期出院,闭合复位和开放性复位内固定住院时间与髌关节置换相比较长,究其原因考虑:内固定后骨骼愈合需要时间较长,易出现感染、压疮和静脉血栓等并发症^[26]。而髌关节置换可将受损部位替换为人工髌关节,术后可尽快下地行走,降低长期卧床导致的并发症。NEWMAN等^[27]报道髌关节置换后患者住院时间仅有三四天。此外,髌关节置换后患者可早期进行康复锻炼,降低感染、静脉血栓和延迟愈合等风险,减少髌部骨折患者的住院时间^[28]。骨牵引是随机森林模型中第2位重要性指标,且是Logistic回归模型中的预测变量。骨牵引一般用于无法耐受手术而施行保守治疗的髌部骨折患者,行骨牵引患者活动受限,需要长时间卧床,易发生感染和褥疮等并发症,导致住院时间延长。

3.2.4 贫血 NISSENHOLTZ等^[29]发现,贫血对老年髌部骨折患者的住院时间有显著影响。而以往研究表明全膝关节置换患

者术前血红蛋白水平与住院时间延长无相关性^[30]。可能由于膝关节置换患者手术创伤和术中失血量较少,导致术前血红蛋白水平对住院时间延长的影响不明显。与NISSENHOLTZ等^[29]研究结果一致,该研究结果表明,伴有贫血的髌部骨折患者延迟出院的风险比未贫血患者高1.949倍。究其原因考虑:一方面,由于贫血患者术后需要补充血容量和给予异体输血,异体输血会影响患者的免疫系统和凝血系统^[31];另一方面,术前贫血患者术后贫血程度相对较重,影响骨折部位营养物质的转运,削弱机体防御屏障,阻碍自我修复能力,导致病原微生物的入侵,表现为切口感染和肺部感染等并发症发生率增加^[32]。以上原因可阻碍髌部骨折患者的功能恢复,导致并发症的发生并延长住院时间。

3.2.5 肺炎和肺部感染 髌部骨折患者因活动及呼吸肌能力减弱,肺炎及肺部感染普遍存在。与该研究类似,SALARBAKS等^[33]研究发现接受抗肺炎治疗的老年髌部骨折患者的住院时间要比髌部骨折患者平均住院时间延长1.6倍。究其原因考虑:一方面肺部感染会损害免疫系统,导致身体生理功能下降,需要进一步的临床治疗^[34];另一方面患者住院时间越久,暴露医院内部病原菌时间也随之延长,从而增加被感染的风险。

3.2.6 静脉血栓 该研究发现,下肢静脉血栓也是髌部骨折出院延迟的危险因素。国外文献报道静脉血栓与延长住院时间和增加住院费用有关^[35]。究其原因考虑:一方面静脉血栓会增加肺栓塞概率,为防止发生致命性肺栓塞,临床医师会给予一段时间的抗血栓预防措施,即使是最小剂量的抗血栓方案也需10-14d的疗程^[36];另一方面髌部骨折患者住院时间越久,制动时间越长,导致出现血流缓慢及高凝状态,从而增加静脉血栓风险。

3.3 预测模型的预测效果

3.3.1 研究偏倚讨论 由于样本涵盖骨内科全部髌部骨折患者,因此使用多重共线性分析和多因素Logistic回归排除混杂偏倚并确保研究过程中随机化原则的完全实施,尽可能的避免选择偏倚。信息偏倚方面,科室严格采用统一诊断标准并使用盲法进行患者分组,而由于有部分缺失值,仍存在一定的信息偏倚。

此外依据年龄及手术类型进行了敏感性分析,结果表明肺部感染在手术患者及置换患者中出现差异,可能手术患者可尽早下床负重而避免了坠积性肺炎的发生。多发性损伤在3组人群都出现差异,可能由于统计学方法不同,在3组人群中均使用直接输入法来确定自变量,而建模组多因素分析使用逐步回归及最大似然比确定变量。再骨折在髌关节骨折置换术患者中也出现差异,人工髌关节置换后并发骨折是较严重的,需要综合评估,如果假体有松动,需要做翻修等手术,如果无松动,会考虑做内固定手术而不再做关节置换。因此对于肺部感染、再次骨折和多发性损伤在模型中的稳定性仍需要仔细考量。

3.3.2 模型比较分析 在验证组数据中两种模型的ROC曲线均大于0.7,都表现出较好的预测准确性和稳定性。进一步分析,Logistic回归模型的ROC曲线下面积高于随机森林模型,表明Logistic回归模型较好。在准确度上两个模型类似,说明Logistic回归模型和随机森林模型的正确分类的能力相当。在特异度和阴性预测值上,Logistic模型明显优于随机森林模型,说明Logistic模型对未延迟出院的髌部骨折患者识别能力较强,且Logistic回

归模型识别出的全部未延迟出院患者中,真正未延迟出院患者在所有识别出的样本中所占的比例较高而在灵敏度和阳性预测值上,随机森林模型优于 Logistic 回归模型。总之, Logistic 回归模型比随机森林模型预测髌部骨折患者发生延迟出院风险的适用性更好,究其原因考虑:随机森林模型本身具有随机性,且会被训练次数、参数设置和网络规模影响。然而随机森林模型与传统逻辑回归方法不同,可以更好地拟合数据^[37]。两种模型可互补使用,为模型提供更好的预测效能。

3.4 预测模型对临床工作的启示 随机森林变量重要性评分结果显示,年龄、骨牵引、手术类型、ACCI 和肺炎重要性指标评分高。Logistic 回归模型结果显示,骨牵引、肺炎、再骨折、多发性创伤、静脉血栓、肺部感染和 ACCI 是独立影响因素。即以上指标对髌部骨折患者住院时间影响较大,尤其是骨牵引、ACCI 和肺炎 3 个交叉指标。该研究可对存在以上因素的髌部骨折患者进行出院延迟风险预警,为制定个性化的护理随访方案、采取针对性的风险预警干预措施、合理分配随访医疗资源提供参考。作者呼吁加快推广加速康复外科和多学科协作模式,以解决老年人在髌部骨折手术过程中的需求,并尽早处理已确定的延长住院时间的因素。此外,医护专业人员以及患者家属和护理人员参与的协调出院计划也可以减少住院时间。

3.5 研究局限性 该研究为单中心、回顾性研究,无法进行外部验证且有些指标无法获得;纳入疾病异质性较大,基础疾病和原发病病因各异,这些混杂因素建立预测模型造成影响。未来两种预测模型的效能比较仍需通过多中心、前瞻性研究进一步验证。

3.6 小结及展望 Logistic 回归模型相较于随机森林模型对髌部骨折出院延迟总体预测效果好,但随机森林模型不易产生过拟合现象,通过综合评价机制能从复杂的多因素中识别出重要影响因素,两种模型可互为补充,从各个方面描述影响住院时间因素及作用。在研究人群方面,该研究涵盖了各种骨折类型及术式的髌部骨折患者,对出院延迟的预测具有较好的普适性,对临床医护人员及时识别高危患者并采取有效干预措施降低髌部骨折患者住院时间具有重要意义。

致谢: 文章在天津医院曹虹导师的悉心指导、课题组众多同学以及科研处老师的帮助下得以完成,在此深表感谢。

作者贡献: 于健负责研究设计、实施、评估、资料收集及撰写论文。周冰倩、王朝、李月和常雅茹参与了研究设计、评估及资料整理。曹虹负责及参与研究设计,并负责文章评估及审阅。

利益冲突: 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让: 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范: 该文章撰写遵守该研究遵守观察性研究报告规范《STROBE》的要求。该研究遵守国际医学期刊编辑委员会《学术研究实验与报告和医学期刊编辑与发表的推荐规范》。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次文字和图表查重;文章经小同行外审专家双盲审稿,同行评议认为文章符合期刊发表宗旨。

4 参考文献 References

- [1] VERONESE N, MAGGI S. Epidemiology and social costs of hip fracture. *Injury*. 2018;49(8):1458-1460.
- [2] BHANDARI M, SWIONTKOWSKI M. Management of acute hip fracture. *N Engl J Med*. 2017;377(21):2053-2062.
- [3] LIM J. Big data-driven determinants of length of stay for patients with hip fracture. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(14):4949.
- [4] YOO J, LEE JS, KIM S, et al. Length of hospital stay after hip fracture surgery and 1-year mortality. *Osteoporos Int*. 2019;30(1):145-153.

- [5] 刘强,胡永成. 骨质疏松性骨折诊疗指南 [J]. 中华骨科杂志, 2017,37(1):1-10.
- [6] 施毅. 中国成人医院获得性肺炎与呼吸机相关性肺炎诊断和治疗指南 (2018 年版) [J]. 中华结核和呼吸杂志, 2018,41(4):255-280.
- [7] BATTLE DE. Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM). *Codas*. 2013;25(2):191-192.
- [8] 李晓强,张福先,王深明. 深静脉血栓形成的诊断和治疗指南 (第三版) [J]. 中国血管外科杂志 (电子版), 2017,9(4):250-257.
- [9] CHOE HS, LEE SJ, YANG SS, et al. Summary of the UAA-AAUS guidelines for urinary tract infections. *Int J Urol*. 2018;25(3):175-185.
- [10] RAO SJ. Regression modeling strategies: with applications to linear models, Logistic regression, and survival analysis. *J Am Stat Assoc*. 2003;98:461,257-258.
- [11] 胡登炯. 全膝关节置换治疗老年髌部骨折术后住院时间延长的相关因素分析 [D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- [12] 刘思源,唐晓宁,陈攀宇,等. 全膝关节置换患者延迟出院相关危险因素分析 [J]. 中华关节外科杂志 (电子版), 2021,15(5):521-527.
- [13] 杨锐敏. 影响老年髌部骨折住院时长的相关因素分析 [D]. 广州: 广州中医药大学, 2021.
- [14] WONG BLL, CHAN YH, O'NEILL GK, et al. Frailty, length of stay and cost in hip fracture patients. *Osteoporos Int*. 2022. doi: 10.1007/s00198-022-06553-1.
- [15] EK S, MEYER AC, HEDSTROM M, et al. Hospital length of stay after hip fracture and it's association with 4-month mortality-exploring the role of patient characteristics. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2022;77(7):1472-1477.
- [16] SHEIKH HQ, ALNAHAL A, AQIL A, et al. Length of hospital stay following hip fracture and risk of 30 and 90 day mortality in a United Kingdom cohort. *Acta Orthop Belg*. 2021;87(4):607-617.
- [17] NTULI M, FILMALTER CJ, WHITE Z, et al. Length of stay and contributing factors in elderly patients who have undergone hip fracture surgery in a tertiary hospital in South Africa. *Int J Orthop Trauma Nurs*. 2020;37:100748.
- [18] CASTELLI A, DAIDONE S, JACOBS R, et al. The determinants of costs and length of stay for hip fracture patients. *PLoS One*. 2015;10(7):e0133545.
- [19] GREENSTEIN AS, GORCZYCA JT. Orthopedic surgery and the geriatric Patient. *Clin Geriatr Med*. 2019;35(1):65-92.
- [20] WONG RMY, ZU Y, CHAU WW, et al. High Charlson Comorbidity Index Score is associated with early fracture-related complication for internal fixation of neck of femur fractures. *Sci Rep*. 2022;12(1):4749.
- [21] WEI J, ZENG L, LI S, et al. Relationship between comorbidities and treatment decision-making in elderly hip fracture patients. *Aging Clin Exp Res*. 2019;31(12):1735-1741.
- [22] SHEN J, YU Y, WANG C, et al. Association of preoperative medication with postoperative length of stay in elderly patients undergoing hip fracture surgery. *Aging Clin Exp Res*. 2021;33(3):641-649.
- [23] DI MONACO M, CASTIGLIONI C, VALLERO F, et al. Concomitant upper limb fractures and short-term functional recovery in hip fracture patients: does the site of upper limb injury matter? *Am J Phys Med Rehabil*. 2015;94(5):366-372.
- [24] JUHASZ K, BONCZ I, KANIZSAI P, et al. Ellenoldali csípőtáji törésekkel összefüggő halálozás és kockázati tényezőknek vizsgálata [Analysis of mortality and its predictors in patients with contralateral hip fracture after femoral neck fracture]. *Orv Hetil*. 2017;158(20):783-790.
- [25] TREVISAN C, BEDOGNI M, PAVAN S, et al. The impact of second hip fracture on rehospitalization and mortality in older adults. *Arch Gerontol Geriatr*. 2020;90:104175.
- [26] 李宇能,刘昊楠,蒋协远,等. 人工股骨头与全膝关节置换治疗老年移位型股骨颈骨折的成本效果分析 [J]. 中国医刊, 2019,54(10):1094-1098.
- [27] NEWMAN JM, SZUBSKI CR, BARSOU WK, et al. Day of surgery affects length of stay and charges in primary total hip and knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017;32(1):11-15.
- [28] SANTONI BG, DIAZ MA, STOOPS TK, et al. Biomechanical investigation of an integrated 2-screw cephalomedullary nail versus a sliding hip screw in unstable intertrochanteric fractures. *J Orthop Trauma*. 2019;33(2):82-87.
- [29] NISSENHOLTZ A, LEVY Y, COOPER L, et al. Anemia in patients after hip fracture repair surgery. *Harefuah*. 2020;159(9):689-693.
- [30] 全静, 谌昱欢, 董璐, 等. 髌关节置换术前血红蛋白水平与住院时间的相关性 [J]. 贵州医科大学学报, 2022,47(5):581-587.
- [31] 张丽, 张春雷. 围术期异体输血对骨科大手术患者凝血功能和免疫功能的影响 [J]. 中国现代医药杂志, 2020,22(12):49-52.
- [32] GUPTA S, FERNANDES RJ, RAO JS, et al. Perioperative risk factors for pulmonary complications after non-cardiac surgery. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*. 2020;36(1):88-93.
- [33] SALARBAKS AM, LINDEBOOM R, NIJMEIJER W. Pneumonia in hospitalized elderly hip fracture patients: the effects on length of hospital-stay, in-hospital and thirty-day mortality and a search for potential predictors. *Injury*. 2020;51(8):1846-1850.
- [34] BLASI F. Lung diseases: chronic respiratory infections. *Int J Mol Sci*. 2018;19(10):3051.
- [35] TRIVEDI NN, ABOLA MV, KIM CY, et al. The incremental cost of inpatient venous thromboembolism after hip fracture surgery. *J Orthop Trauma*. 2020;34(4):169-173.
- [36] FENG L, XU L, YUAN W, et al. Preoperative anemia and total hospitalization time are the independent factors of preoperative deep venous thromboembolism in Chinese elderly undergoing hip surgery. *BMC Anesthesiol*. 2020;20(1):72.
- [37] 李斐斐, 李萍, 白春花. 基于机器学习的肾移植受者术后抑郁的预测模型建立 [J]. 中国临床研究, 2022,35(8):1168-1172.

(责任编辑: WJ, ZN, ZH)