

## 三角肌结节指数联合术前因素构建老年肱骨近端骨折锁定钢板内固定失效的风险预测模型

徐大星<sup>1,2</sup>, 纪木强<sup>2</sup>, 涂泽松<sup>2,3</sup>, 许伟鹏<sup>3</sup>, 徐伟龙<sup>4</sup>, 牛维<sup>5</sup><https://doi.org/10.12307/2024.614>

投稿日期: 2023-06-12

采用日期: 2023-08-07

修回日期: 2023-08-25

在线日期: 2023-08-30

中图分类号:

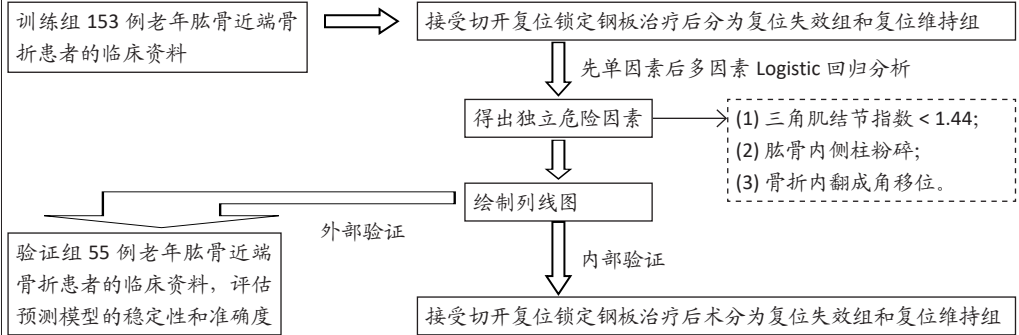
R459.9; R318; R683.41

文章编号:

2095-4344(2024)21-03299-07

文献标识码: A

## 文章快速阅读: 老年肱骨近端骨折复位失效术前独立风险因素的鉴别及临床预测模型构建



## 文题释义:

**三角肌结节指数:** 三角肌粗隆平面上, 骨皮质外侧横径与骨皮质内侧横径的比值。测量三角肌结节指数是评估肱骨头骨密度的简便和有效方法。文献报道三角肌结节指数 $< 1.44$ 考虑肱骨近端骨质疏松或骨质不良。

**临床预测模型:** 其原理是基于模型中纳入的风险因素对因变量的影响程度量化并赋值, 得到各个因素的总分后换算成结局变量的风险概率。此文采用列线图作为预测模型, 将预测风险可视化, 便于临床筛选高风险患者和采取个性化治疗。

## 摘要

**背景:** 老年肱骨近端骨折是三大骨质疏松性骨折之一, 解剖锁定钢板内固定是国内大部分医生治疗难以复位和复杂骨折类型的首选, 但术后发生复位失效的概率较高, 严重影响患者生活质量。

**目的:** 探讨三角肌结节指数与老年肱骨近端骨折术后复位失效的相关性, 分析筛选出老年肱骨近端骨折术后复位失效的术前独立风险因素, 并构建和验证临床预测模型的有效性。

**方法:** 收集2012年6月至2021年6月佛山市中医院符合标准的接受切开复位锁定钢板治疗的153例老年肱骨近端骨折患者的临床资料, 根据其是否发生后复位失效分为复位失效亚组和复位维持亚组。采用先单因素后多因素Logistic回归分析筛选独立风险因素, 通过R语言构建列线图, 内部验证采用Bootstrap法重抽样1 000次后, 通过Hosmer-Lemeshow拟合优度关联检验、绘制受试者工作特征曲线、校准曲线、临床决策和影响曲线评价其拟合优度、区分度、校准能力和临床应用价值。选择2013年6月至2021年8月收治的55例老年肱骨近端骨折患者作为模型外部验证组, 评价预测模型的稳定性和准确度。

**结果与结论:** ①训练组153例患者中, 44例患者出现钢板内固定术后复位失效, 失效率为28.8%; 多因素Logistic回归分析结果显示, 三角肌结节指数 $[OR=9.782, 95\%CI(3.798, 25.194)]$ 、骨折端内翻成角移位 $[OR=4.209, 95\%CI(1.472, 12.031)]$ 、肱骨内侧柱粉碎 $[OR=4.278, 95\%CI(1.670, 10.959)]$ 是老年肱骨近端骨折术后复位失效的独立风险因素 $(P < 0.05)$ ; ②基于独立风险因素构建预测模型并绘制列线图, 训练组Hosmer-Lemeshow检验结果显示,  $\chi^2=0.812(P=0.976)$ , 曲线下面积 $=0.830[95\%CI(0.762, 0.898)]$ ; 校准图结果表明模型预测风险和实际发生风险有较好的一致性; 决策曲线和临床影响曲线结果表明列线图具有较好的临床适用性; ③预测模型在验证组预测术后复位失效总正确率86%, 曲线下面积 $=0.902[95\%CI(0.819, 0.985)]$ ; ④提示三角肌结节指数 $< 1.44$ 、肱骨内侧柱粉碎、骨折端内翻成角移位是老年肱骨近端骨折术后复位失效的独立风险因素; ⑤此次研究构建的风险预测模型内、外部验证表明该模型区分度、准确度和临床适用度较高, 可用于个性化预测和筛选老年肱骨近端骨折术后复位失效的高危人群, 模型的阈值风险概率高于65%时的预测高风险人数和实际发生人数高度匹配, 临床医生应采用针对性治疗。

**关键词:** 肱骨近端骨折; 老年人; 骨折内固定; 三角肌结节指数; 风险预测模型; 列线图

**缩略语:** 三角肌结节指数: deltoid tuberosity index, DTI; 受试者工作特征: receiver operating characteristic, ROC; 曲线下面积: area under the curve, AUC

## Constructing a risk prediction model for failure after locking plate fixation for proximal humeral fractures in the elderly by combining the deltoid tuberosity index with preoperative factors

Xu Daxing<sup>1,2</sup>, Ji Muqiang<sup>2</sup>, Tu Zesong<sup>2,3</sup>, Xu Weipeng<sup>3</sup>, Xu Weilong<sup>4</sup>, Niu Wei<sup>5</sup>

<sup>1</sup>广州中医药大学同等学力申请博士学位人员, 广东省广州市 510006; <sup>2</sup>佛山市中医院三水医院骨科, 广东省佛山市 528100; <sup>3</sup>佛山市中医院骨科, 广东省佛山市 528000; <sup>4</sup>深圳平乐骨科医院骨科, 广东省深圳市 518122; <sup>5</sup>广东省中医院关节外科, 广东省广州市 510120

第一作者: 徐大星, 男, 1984年生, 山西省晋中市人, 汉族, 广州中医药大学在职博士, 副主任中医师, 主要从事骨折创伤的流行病学及中医药治疗骨折、关节疾病研究。

通讯作者: 牛维, 博士, 主任中医师, 博士生导师, 广东省中医院关节外科, 广东省广州市 510120

<https://orcid.org/0000-0001-7021-2752> (徐大星)

基金资助: 广东省医学科学技术研究基金 (B2023493), 项目负责人: 徐大星; 佛山市自筹经费类科技创新入库项目 (2220001004493), 项目负责人: 徐大星

引用本文: 徐大星, 纪木强, 涂泽松, 许伟鹏, 徐伟龙, 牛维. 三角肌结节指数联合术前因素构建老年肱骨近端骨折锁定钢板内固定失效的风险预测模型 [J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(21):3299-3305.



<sup>1</sup>Applicant with Equivalent Academic Qualifications for Doctoral Degree, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510006, Guangdong Province, China; <sup>2</sup>Department of Orthopedics, Sanshui Branch of Foshan Hospital of TCM, Foshan 528100, Guangdong Province, China; <sup>3</sup>Department of Orthopedics, Foshan Hospital of TCM, Foshan 528000, Guangdong Province, China; <sup>4</sup>Department of Orthopedics, Shenzhen Pingle Orthopedics Hospital, Shenzhen 518122, Guangdong Province, China; <sup>5</sup>Department of Articular Surgery, Guangdong Provincial Hospital of Chinese Medicine, Guangzhou 510120, Guangdong Province, China  
Xu Daxing, MD, Associate chief physician, Applicant with Equivalent Academic Qualifications for Doctoral Degree, Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510006, Guangdong Province, China; Department of Orthopedics, Sanshui Branch of Foshan Hospital of TCM, Foshan 528100, Guangdong Province, China  
**Corresponding author:** Niu Wei, MD, Chief physician, Doctoral supervisor, Department of Articular Surgery, Guangdong Provincial Hospital of Chinese Medicine, Guangzhou 510120, Guangdong Province, China

## Abstract

**BACKGROUND:** Proximal humeral fracture in older adults is one of the three major osteoporotic fractures. Anatomic locking plate fixation is the first choice for most scholars to treat difficult-to-reduce and complex fracture types. However, the probability of reduction failure after the operation is high, which seriously affects patients' quality of life.

**OBJECTIVE:** To investigate the correlation between deltoid tuberosity index and postoperative reduction failure of proximal humeral fractures in the elderly, analyze and filter preoperative independent risk factors for reduction failure of proximal humeral fractures in the elderly, and construct and verify the effectiveness of a clinical prediction model.

**METHODS:** The clinical data of 153 elderly patients with proximal humeral fractures who met the diagnosis and inclusion criteria and received open reduction and locking plate surgery in Foshan Hospital of TCM from June 2012 to June 2021 were collected. The patients were divided into the reduction failure subgroup and the reduction maintenance subgroup. The independent risk factors were selected by multivariate Logistic regression analysis, and the nomogram was constructed by R language. After 1000 times of resampling by Bootstrap method, the Hosmer-Lemeshow goodness of fit correlation test, receiver operating characteristic curve, calibration curve, clinical decision, and influence curve were plotted to evaluate its goodness of fit, discrimination, calibration ability, and clinical application value. Fifty-five elderly patients with proximal humeral fractures from June 2013 to August 2021 were selected as the model's external validation group to evaluate the prediction model's stability and accuracy.

**RESULTS AND CONCLUSION:** (1) Of the 153 patients in the training group, 44 patients met reduction failure after internal plate fixation. The prevalence of postoperative reduction failure was 28.8%. Multivariate Logistic regression analysis identified that deltoid tuberosity index [ $OR=9.782$ , 95% $CI$  (3.798, 25.194)], varus displacement [ $OR=4.209$ , 95% $CI$  (1.472, 12.031)], and medial metaphyseal comminution [ $OR=4.278$ , 95% $CI$  (1.670, 10.959)] were independent risk factors for postoperative reduction failure of proximal humeral fractures in older adults ( $P < 0.05$ ). (2) A nomogram based on independent risk factors was then constructed. The Hosmer-Lemeshow test results for the model of the training group showed that  $\chi^2=0.812$  ( $P=0.976$ ) and area under curve=0.830[95% $CI$  (0.762, 0.898)]. The calibration plot results showed that the model's predicted risk was in good agreement with the actual risk. The decision and clinical influence curves showed good clinical applicability. (3) In the validation group, the accuracy rate in practical applications was 86%, area under curve=0.902[95% $CI$  (0.819, 0.985)]. (4) It is concluded that deltoid tuberosity index  $< 1.44$ , medial metaphyseal comminution, and varus displacement were independent risk factors for reduction failure. (5) The internal and external validation of the risk prediction model demonstrated high discrimination, accuracy, and clinical applicability could be used to individually predict and screen the high-risk population of postoperative reduction failure of proximal humeral fractures in the elderly. The predicted number of patients at high risk is highly matched to the actual number of patients who occur when the model's threshold risk probability is above 65%, and clinicians should use targeted treatment.

**Key words:** proximal humeral fracture; elderly; fracture internal fixation; deltoid tuberosity index; risk prediction model; nomogram

**Funding:** Medical Science and Technology Research Foundation in Guangdong Province, No. B2023493 (to XDX); Self-Financed Science and Technology Innovation Project in Foshan, No. 2220001004493 (to XDX)

**How to cite this article:** XU DX, JI MQ, TU ZS, XU WP, XU WL, NIU W. Constructing a risk prediction model for failure after locking plate fixation for proximal humeral fractures in the elderly by combining the deltoid tuberosity index with preoperative factors. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2024;28(21):3299-3305.

## 0 引言 Introduction

肱骨近端骨折是继腕部骨折和桡骨远端骨折后发病率较高的老年骨质疏松性骨折之一<sup>[1]</sup>, 在60岁以上的患者中, 80%的肩部损伤是肱骨近端骨折<sup>[2]</sup>。对于轻度移位、简单的Neer二部分骨折, 保守治疗可取得满意的临床效果<sup>[3-4]</sup>。但肱骨近端是骨质疏松好发部位, 高龄患者骨折往往呈现出粉碎性和移位明显的特点, 因此对于复杂的和不稳定的骨折类型, 手术是更加合适的治疗方法<sup>[5]</sup>。解剖锁定钢板因螺钉和钢板铆合形成钉-板固定系统具有良好的生物力学稳定性, 成为治疗骨质疏松肱骨近端骨折的首选<sup>[6-7]</sup>。但据文献报道, 其术后失效带来的并发症高达49%, 包括肱骨头内翻畸形、高度丢失、内固定松动或断裂、螺钉切出关节面及肱骨头缺血性坏死<sup>[1, 8-9]</sup>。BARLOW等<sup>[10]</sup>报告大于60岁患者锁定钢板治疗肱骨近端骨折术后并发症发生率为44%, 内固定失效率为34%。这些并发症中肱骨头内翻引起肩峰下撞击、螺钉切出关节面磨损关节盂及肱骨头坏死往往需要二次内固定移除或关节置换翻修手术, 因此对老年肱骨近端骨折术后复位失效风险准确预测并预防, 对提升老年健康服务有积极的社会意义, 但目前尚未见到相关风险预测模型报道。

骨质疏松是老年肱骨近端骨折术后复位失效的高风险因素已达到临床统一共识<sup>[11-12]</sup>。双能X射线骨密度测量仪是评估骨密度最常用的诊断手段<sup>[13]</sup>, 可用于全身骨质量的评

价, 肱骨近端因肱骨头形状较复杂、各部位皮质厚度及骨密度分布不均匀, 使用双能骨密度测量仪评估肱骨近端骨密度结果准确率及可靠性较低, 因此临床中较少应用。越来越多学者报道使用骨皮质厚度评估骨质量。张玺等<sup>[14]</sup>应用CT扫描和软件测量肱骨近端骨皮质厚度, 证明其是评价骨密度较便捷和准确度较高的可靠方法。KIM等<sup>[15]</sup>报道三角肌结节指数(deltoid tuberosity index, DTI)与肱骨近端骨密度高度相关( $r=0.555$ ,  $P < 0.001$ ), 利用DTI有助于筛查肱骨近端骨折中的骨质疏松症患者。SPROSS等<sup>[16]</sup>报道DTI是一个可靠、简单的评估肱骨近端局部骨质的工具。DTI  $< 1.44$ 是评价肱骨近端骨质疏松的截断值。测量DTI是评估肱骨头骨密度的简便和有效方法, 在临床上易于实现, 但是否作为独立风险因素影响老年肱骨近端骨折术后复位失效尚未见到相关报道。

此文旨在通过回顾性研究评价DTI是否为老年肱骨近端骨折术后复位失效的独立风险因素; 并且联合其他术前独立风险因素构建风险预测模型, 甄别高风险患者, 便于临床早期采用干预措施, 预防术后并发症的发生。

## 1 对象和方法 Subjects and methods

**1.1 设计** 回顾性病例分析, 训练组采用先单因素后多因素Logistic回归分析筛选得到老年肱骨近端骨折术后复位失效的独立风险因素, 通过R语言构建列线图预测模型, 并对模型

进行内、外部验证。

1.2 时间及地点 试验于2013年6月至2022年6月在佛山市中医院和佛山市中医院三水医院骨科完成。

1.3 材料 植入物介绍见表1。

表1 | 植入物的材料学特征

Table 1 | Material characteristics of implants

指标	肱骨近端金属锁定接骨板及螺钉
生产厂家	大博医疗科技股份有限公司
型号	SCLP 02 肱骨近端 I 型
批准号	国械注准 20163132504
性能结构	肱骨近端金属锁定接骨板系统
材质	TA3G 纯钛或 TC4 钛合金
适应证	肱骨近端骨折
生物相容性	产品已经过生物相容性评价,符合相关标准
产品标注的不良反应	①金属过敏反应或异物排斥反应;②压迫导致局部骨坏死,应力遮挡导致局部骨质疏松;③过早不恰当负重导致金属疲劳断裂;④由于内植物存在产生疼痛,不适及感觉异常;⑤植入物松动、弯曲、断裂、感染或骨延迟愈合

1.4 对象 此次研究为回顾性研究,通过电子病历及电话随访进行资料收集,初步选择2012年6月至2021年6月在佛山市中医院就诊的肱骨近端骨折患者188例作为训练组,其中35例不符合纳入标准被排除,包括5例同侧上肢多发性骨折、3例病理性骨折、4例开放性骨折、3例不配合治疗、20例失访,最后153例符合标准的患者入选。所有患者接受了切开复位肱骨近端锁定钢板手术治疗。

纳入标准:①60岁及以上的新鲜肱骨近端骨折患者;②肱骨近端骨折的诊断和分型参照欧洲创伤和急诊手术协会(ESTES)制定的《2021版老年肱骨近端骨折治疗指南》<sup>[17]</sup>;③明显移位骨折(骨块移位>1cm,或成角移位>45°)合并肩关节脱位及肱骨头关节面塌陷或劈裂;④手术入路为经胸三角肌入路或三角肌劈开入路;⑤配合术后康复及随访,临床资料完整连续;⑥随访至少6个月。

排除标准:①年龄<60岁;②开放性、陈旧性或病理性骨折;③不合作患者和治疗后未随访的患者;④合并严重心脑血管等内科基础疾病,不能耐受手术的患者;⑤多发性骨折或外伤;⑥合并肩部神经损伤或巨大肩袖撕裂;⑦排除孤立性大结节骨折。

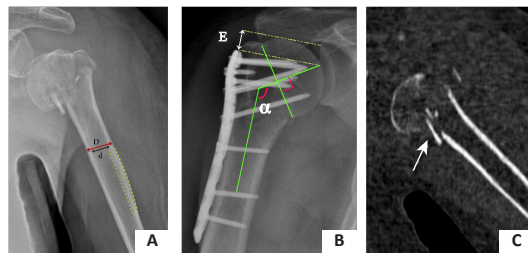
初步选择2013年6月至2021年8月在佛山市中医院三水医院治疗的肱骨近端骨折患者72例作为模型外部验证组,其中17例患者被排除,包括3例同侧上肢多发性骨折、1例病理骨折、2例开放性骨折、11例患者失访,最后55例患者符合纳入标准。研究对象选择标准及诊断标准同训练组。佛山市中医院和佛山市中医院三水医院机构伦理委员会批准了该研究(编号:KY[2023]078,SSZY-2022-048)。试验方案符合1964年《赫尔辛基宣言》及其后来的修订案或类似的伦理标准。所有患者对治疗方案均知情同意。

## 1.5 方法

1.5.1 一般资料 根据查阅文献和临床经验确定需要收集的术前风险因素,通过电子病历系统、电话随访及影像系统收集纳入患者的年龄、性别、三角肌结节指数、损伤机制(低

能量或高能量损伤)、骨折类型(Neer分型系统)、受伤到手术时间、术前骨折端成角移位类型(内翻、正常、外翻)、肱骨头下干骺端碎片的长度、肱骨内侧柱是否粉碎、内侧柱铰链移位距离、肱骨大结节移位距离。

1.5.2 术前风险因素的分类及定义 ①DTI测量方法(评估肱骨近端骨密度):三角肌结节平面上,骨皮质外侧横径与骨皮质内侧横径的比值(图1A),据文献报道DTI<1.44为肱骨头骨质不良或骨质疏松<sup>[17]</sup>。②损伤机制分为低能量损伤(从站立高度或以下跌落)和高能量损伤(从高处跌落或交通事故)。③骨折类型按照Neer分型<sup>[18]</sup>,将肱骨近端分为4部分,肱骨头、肱骨大小结节、肱骨干。判断标准骨折移位>1cm或者成角>45°,在此基础上患者被分为两部分、三部分和四部分骨折组。④骨折端成角移位类型以颈干角为标准分为3组:内翻组(<120°)、正常组(120°≤颈干角<140°)和外翻组(颈干角>150°),颈干角定义为沿肱骨轴线的一条线与垂直于解剖颈部的一条线之间的角<sup>[19]</sup>(图1B)。⑤肱骨头下干骺端碎片的长度由术后肱骨头坏死和复位失效的风险分层为临界点<sup>[20]</sup>;患者被分为长度<8mm和长度≥8mm。⑥内侧柱为肱骨头内下方一段骨皮质,内侧柱粉碎定义为X射线片任意一角度观察到内侧柱断裂并移位超过2mm<sup>[20]</sup>(图1C)。每位患者在术前均接受常规的前后位及腋位X射线片和损伤肩关节的三维CT检查;术后第1天及随访期间拍摄X射线平片,评价骨折复位质量。2位经过专业培训的研究者独立回顾性分析了术前和术后的临床和影像学数据,由第3位资深研究者解决不一致的参数。



图注:图A为三角肌指数(DTI)的计算方法,三角肌结节平面上,骨皮质外侧横径与骨皮质内侧横径的比值(D/d);图B中,颈干角的测量方法为平行肱骨轴线的一条线与垂直于肱骨解剖颈部的一条线之间的夹角( $\alpha$ ),肱骨头高度(E)的测量方法为肱骨头最近端的平面与平行于钢板平面之间的距离;图C示肱骨内侧柱粉碎(白色箭头)。

图1 | 各参数的测量方法和图示

Figure 1 | Measurement method and graphical representation of statistical parameters

1.5.3 样本量计算 按照临床预测模型推荐的经验准则10EVP,即样本量至少是协变量个数的10倍<sup>[21]</sup>,其中有序多分类变量需应用(分类数目-1)×10个样本<sup>[22]</sup>,此次研究纳入10个变量,其中有序多分类变量为骨折类型、骨折端成角移位类型共2个,故需 $8 \times 10 + (3-1) \times 10 + (3-1) \times 10 = 120$ 个样本。训练集共有样本153个,满足样本量要求。

1.5.4 术后复位失效标准 将患者分为复位失效组和复位维持组。复位失效定义为至少满足以下一项标准(术后第1次

平片至末次随访): ①颈干角内翻移位 $\geq 10^\circ$ ; ②肱骨头高度以钢板为参照丢失 $\geq 5\text{ mm}$ (图 1A); ③内固定失败(松动或断裂); ④继发性螺钉穿透关节面。当全部条件不满足时, 归为复位维持组。

1.5.5 术后随访 术后 2 周、6 周、3 个月、6 个月定期随访, 评价影像学参数以及术后随访并发症, 患者出现复位失效标准即停止随访, 资料通过门诊随访系统进行记录。

1.6 主要观察指标 ①根据老年肱骨近端骨折术后复位失效的单因素和多因素 Logistic 分析结果得到独立风险因素; ②根据独立风险因素构建临床预测模型(列线图); ③预测模型的内部验证结果; ④模型的外部验证结果。

### 1.7 统计学分析

1.7.1 确定风险因素 使用 SPSS 23.0 软件进行统计学分析, 计数资料以相对数表示, 组间比较采用  $\chi^2$  检验; 符合正态分布的计量资料以  $\bar{x}\pm s$  表示, 两组间比较采用独立样本  $t$  检验; 非正态分布的计量资料以  $M(P_{25}, P_{75})$  表示, 两组间比较采用 Mann-Whitney  $U$  检验, 连续变量报告为  $\bar{x}\pm s$ , 将单因素分析  $P < 0.05$  的变量纳入多因素 Logistic 回归分析, 采用向后 -LR 法明确最终纳入预测模型的独立风险因素 ( $P < 0.05$ )。并且用 Hosmer-Lemeshow 关联检验分析模型变量的拟合优度。

1.7.2 构建和验证预测模型(Nomogram 图) 将多因素 Logistic 回归分析筛选出来的独立风险因素通过 R 软件(3.6.1 版本)构建预测模型, 绘制列线图。训练组内部检验采用 Bootstrap 法重抽样 1 000 次, 绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线, 利用 ROC 曲线下面积(area under the curve, AUC)、校准曲线、临床决策曲线和临床影响曲线评价其拟合优度、区分度、校准能力和临床应用价值。模型外部验证组利用 AUC 和校准曲线, 评价预测模型的稳定性和准确度。统计检验采用双尾检验,  $P < 0.05$  为差异有显著性意义。文章中统计学方法已经广州中医药大学医院生物统计学专家审核。

## 2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 训练组 153 例患者和外部验证组 55 例患者全部进入结果分析, 样本无脱落。

2.2 试验流程图 见图 2。

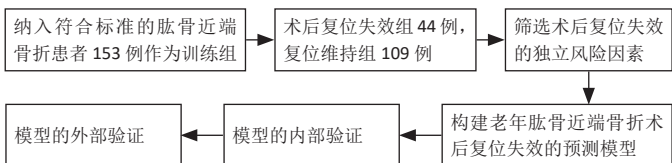


图 2 | 试验流程图

Figure 2 | Trial flow chart

2.3 训练组基线特征和单因素风险因素分析 最后 153 例符合标准患者入选训练组, 随访时间 6-12 个月, 平均(8.44 $\pm$ 2.21)个月, 44 例患者出现钢板内固定术后复位失效, 其中 23 例

发生二次螺钉切出关节面、14 例发生肱骨头高度丢失、5 例发生肱骨头内翻、2 例发生内固定松动。此外, 出现其他并发症 19 例, 其中关节粘连 9 例、肱骨头坏死 7 例、骨不连 2 例、表浅软组织感染 1 例。4 例患者因肱骨头坏死行二期关节置换治疗, 5 例患者因肩峰撞行内固定翻修手术, 1 例软组织感染患者门诊换药后痊愈。复位失效组和复位维持组在性别、损伤机制、内侧柱铰链移位距离、肱骨大结节移位距离方面比较, 差异均无显著性意义 ( $P > 0.05$ )。两组患者的年龄、DTI、骨折类型(Neer 分型)、骨折端成角移位类型、肱骨头下干骺端碎片的长度、肱骨内侧柱粉碎等风险因素比较, 差异均有显著性意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 2。

表 2 | 老年肱骨近端骨折锁定钢板内固定术后复位维持组和复位失效组患者术前风险因素对比

Table 2 | Comparison of preoperative risk factors between the reduction maintenance group and reduction failure group after locking plate fixation for proximal humeral fractures in the elderly

风险因素	复位维持组 (n=109)	复位失效组 (n=44)	$\chi^2/t$ 值	P 值
年龄 ( $\bar{x}\pm s$ , 岁)	64.94 $\pm$ 4.1	66.75 $\pm$ 5.0	2.293	0.023
性别 (n/%)			0.521 <sup>a</sup>	0.470
男	44/40.4	15/34.1		
女	65/59.6	29/65.9		
三角肌结节指数 ( $\bar{x}\pm s$ )	1.49 $\pm$ 0.15	1.31 $\pm$ 0.11	-7.413	<0.001
损伤机制 (n/%)			1.533 <sup>a</sup>	0.216
高能量损伤	45/41.3	23/52.3		
低能量损伤	64/58.7	21/47.7		
骨折类型 (Neer 分型, n/%)			6.176 <sup>a</sup>	0.046
两部分	51/46.8	11/25.0		
三部分	42/38.5	24/54.5		
四部分	16/14.7	9/20.5		
骨折端成角移位类型 (n/%)			10.764 <sup>a</sup>	0.005
正常	59/54.1	14/31.8		
内翻型	17/15.6	17/38.6		
外翻型	33/30.3	13/29.6		
肱骨头下干骺端碎片的长度 (n/%)			4.104 <sup>a</sup>	0.043
$\geq 8\text{ mm}$	69/63.3	20/45.5		
$< 8\text{ mm}$	40/36.7	24/54.5		
肱骨内侧柱粉碎 (n/%)			13.257 <sup>a</sup>	<0.001
否	92/84.4	25/56.8		
是	17/15.6	19/43.2		
内侧柱铰链移位距离 ( $\bar{x}\pm s$ , mm)	6.7 $\pm$ 8.9	8.5 $\pm$ 9.6	1.107	0.270
肱骨大结节移位距离 ( $\bar{x}\pm s$ , mm)	3.8 $\pm$ 5.7	5.3 $\pm$ 6.9	1.276	0.204

表注: a 代表  $\chi^2$  值。

2.4 肱骨近端骨折术后复位失效独立风险因素筛选 以肱骨近端骨折术后复位是否失效为因变量(是=1, 否=0), 将单因素分析中  $P < 0.05$  的 6 个变量作为自变量(赋值见表 3)纳入多因素 Logistic 回归分析, 采用向后 -LR 法进行影响因素的进一步筛选, 结果显示, DTI[OR=9.782, 95%CI(3.798, 25.194),  $P < 0.001$ ]、骨折端成角移位类型(内翻型)[OR=4.209, 95%CI(1.472, 12.031),  $P=0.007$ ]、肱骨内侧柱粉碎[OR=4.278, 95%CI(1.670, 10.959),  $P=0.002$ ]是肱骨近端骨折术后复位失效的独立风险因素 ( $P < 0.05$ ), 见表 4。

### 2.5 模型的构建和验证

2.5.1 预测模型的构建 将训练组中多因素 Logistic 回归分析筛选的 DTI、肱骨内侧柱粉碎、骨折端成角移位类型的 3 个独立风险因素在 Rstudio 软件中构建逻辑回归方程, 建立列线

表 3 | 老年肱骨近端骨折内固定术后复位失效影响因素的多因素 Logistic 回归分析变量赋值

Table 3 | Assignments of influencing factors in the multivariate Logistic regression analysis with influencing factors of reduction failure after internal fixation of proximal humeral fractures in the elderly

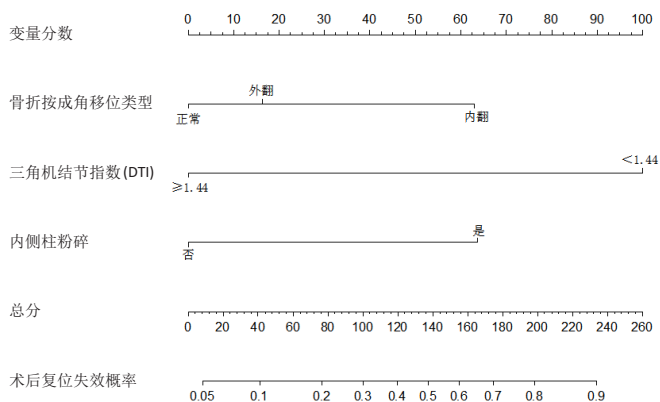
变量	赋值
内固定术后是否失效	是 =1, 否 =0
三角肌结节指数	< 1.44=1, ≥ 1.44=0
骨折端成角移位	正常 =1, 内翻 =2, 外翻 =3
肱骨内侧柱粉碎	是 =1, 否 =0

表 4 | 老年肱骨近端骨折内固定术后复位失效影响因素的多因素 Logistic 回归分析

Table 4 | Multivariate logistic regression analysis of factors influencing reduction failure after internal fixation of proximal humerus fractures in the elderly

变量	B	SE	Wald $\chi^2$ 值	P 值	OR 值 (95%CI)
三角肌结节指数	2.281	0.483	22.320	< 0.001	9.782(3.798, 25.194)
骨折端成角移位 (以正常为参照)		7.351	0.025		
内翻	1.437	0.536	7.192	0.007	4.209(1.472, 12.031)
外翻	0.372	0.507	0.537	0.464	1.450(0.537, 3.919)
肱骨内侧柱粉碎	1.453	0.480	9.168	0.002	4.278(1.670, 10.959)

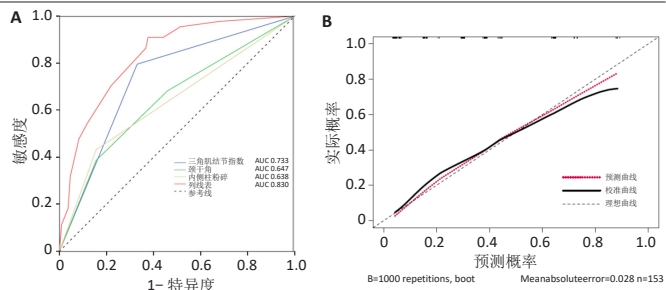
图 (nomogram), 见图 2。在患者术前临床基线资料中根据列线表中每个风险因素的情况, “投射”到顶部对应分数表中的分值, 将总分相加, 得到对应的术后内固定失效的风险概率。得到的分数越高, 风险越大。Hosmer-Lemeshow 检验结果显示,  $\chi^2=0.812(P=0.976)$ , 证明模型具有良好的拟合优度。



图注: 模型中 3 个变量为三角肌结节指数、肱骨内侧柱粉碎、骨折端成角移位类型, 3 个变量对应分数相加得到总分, 相应的总分对应下方的复位失效概率。

图 2 | 老年肱骨近端骨折内固定术后发生复位失效的列线图  
Figure 2 | Nomogram of reduction failure after internal fixation of proximal humeral fractures in the elderly

2.5.2 预测模型的内部验证 用 Bootstrap 法重抽样 1 000 次后, ROC 曲线中的 AUC 为 0.830[95%CI(0.762, 0.898)], 证明模型有较好的区分度。图 3A 显示和单独风险因素比较, 模型预测风险能力最佳。单因素中 DTI 的预测风险准确度较其他两个因素好 (AUC=0.733 > 0.647 > 0.638)。模型的校准曲线证实模型预测风险和实际发生风险有较好的一致性 (图 3B)。

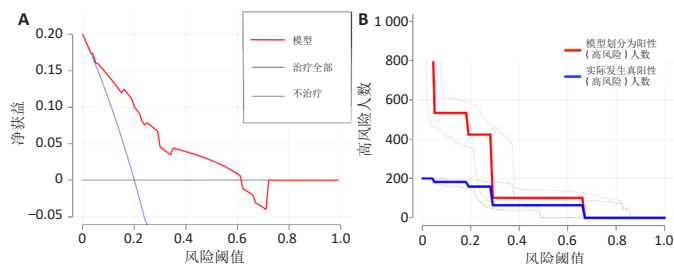


图注: 图 A 为训练组模型和各个风险因素 ROC 曲线, B 为训练组校准曲线。ROC 曲线下面积 (AUC) 表示模型的区分度最高, AUC=0.830。单风险因素中三角肌结节指数的区分度最高, AUC=0.733。校准曲线显示模型预测风险和实际发生风险有较好的一致性。

图 3 | 训练组预测老年肱骨骨折内固定术后复位失效的受试者工作特征 (ROC) 曲线和校准曲线

Figure 3 | Receiver operating characteristic curve and calibration curve of training group predicting reduction failure after internal fixation of humeral fractures in the elderly

2.5.3 预测模型的临床效益 决策曲线分析表明, 当阈值概率在 0.05-0.65 范围内时, 该模型可获得比“不治疗”或“治疗全部”方案更大的净收益 (图 4A)。临床影响曲线显示了预测模型划分为阳性的 (高风险数) 人数和实际发生术后内固定失效人数在较广的风险阈值下分布一致, 当阈值风险概率高于 65% 时的模型预测高风险人数和实际发生人数高度匹配 (图 4B), 意味着模型有较好的临床适用性。

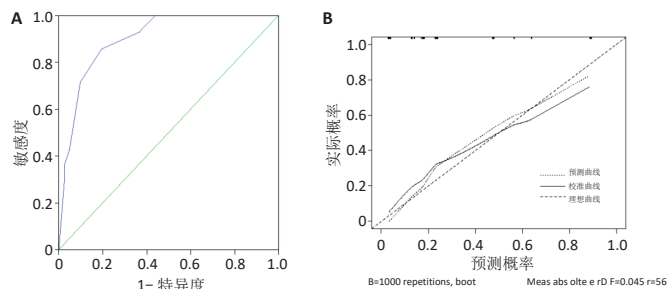


图注: 图 A 为训练组临床决策曲线, 结果表明, 当阈值概率在 0.05-0.65 范围内时, 该模型可获得比“不治疗”或“治疗全部”方案更大的净收益; 图 B 为训练组临床影响曲线, 当阈值风险概率高于 65% 时的模型预测高风险人数和实际发生人数高度匹配, 模型临床适用性较好。

图 4 | 训练组术后发生复位失效决策曲线和临床影响曲线  
Figure 4 | Decision curve and clinical impact curve for postoperative occurrence of reduction failure in the training group

2.5.4 预测模型的外部验证 外部验证由佛山市中医院三水医院 2013 年 6 月至 2021 年 8 月符合纳入和诊断标准的 55 例老年肱骨近端骨折患者组成。14 例患者出现钢板内固定术后复位失效, 其中 7 例发生二次螺钉切出关节面、5 例发生肱骨头高度丢失、2 例发生肱骨头内翻; 此外出现其他并发症 9 例, 其中肱骨头坏死 5 例、关节粘连 2 例、骨不连 2 例; 3 例患者因肱骨头坏死行二期关节置换, 4 例患者因肩峰撞击行内固定翻修手术。Hosmer-Lemeshow 检验结果显示,  $\chi^2=1.836, P=0.871$ , 模型的拟合优度佳。将验证组数据和模型预测概率对比, 模型预测术后复位失效 10 例, 实际发生术后复位失效 14 例, 误判 4 例, 分类正确率为 71%(10/14)。模型预测术后复位维持患者 37 例, 实际复位维持 41 例, 分类正确率为 90%(37/41), 总正确率为 86%(47/55)。ROC 曲线的 AUC 为 0.902[95%CI(0.819, 0.985)], 见图 5A。校准曲线显示

预测风险和实际风险一致性较好，证明模型外部验证的准确性和校准度良好 (图 5B)。



图注：图 A 为验证组 ROC 曲线，ROC 曲线的 AUC=0.902；图 B 为验证组校准曲线，显示预测风险和实际风险一致性较好，证明模型外部验证的准确性和校准度良好。

图 5 | 验证组预测老年肱骨骨折内固定术后复位失败的受试者工作特征 (ROC) 曲线和校准曲线

Figure 5 | Receiver operating characteristic and calibration curves for the validation group to predict reduction failure after internal fixation of humeral fractures in the elderly

### 3 讨论 Discussion

锁定钢板内固定技术广泛应用于骨质疏松肱骨近端骨折，并取得了满意的效果<sup>[6]</sup>，但较高的术后并发症和手术翻修率仍然困扰着临床医生<sup>[23]</sup>。此文与之前的研究一致，训练组复位失败率为 28.8%，验证组失败率为 25.5%。因此根据患者术前临床特征准确预测术后复位失败的风险概率，对预防术后并发症有积极的临床意义及社会价值。目前关于老年肱骨近端骨折钢板内固定术后并发症相关的风险因素研究较多，但尚未见到关于临床预测模型报道。此文通过先单因素后多因素 Logistic 回归分析后发现 DTI < 1.44、肱骨近端内侧柱粉碎、骨折术前内翻移位是老年患者术后发生复位失败的独立风险因素，并且通过列线图的形式构建了风险预测模型，术前识别高风险患者，便于临床医生个性化制定相应的治疗方案。

此次研究构建的风险预测模型结果显示，在训练组和验证组中的 AUC 分别为 0.830 和 0.902，校准曲线显示模型预测风险和实际发生风险有较好的一致性，且模型在外部验证组预测风险总正确率为 85.5%，证明该模型区分度强、准确度高、外延性良好，利于早期甄别高风险患者。构建模型的 3 个独立风险因素，在临床易于获得，列表便于外科医生临床应用。

肱骨近端骨质疏松是锁定钢板内固定术后失效的高危因素。骨质疏松患者，螺钉不能获得足够的把持力容易出现螺钉的松动、关节面切出、骨折的内翻移位<sup>[24]</sup>，因此对老年患者术前肱骨近端骨质量优劣评估非常关键。由于 DXA 的准确性和临床适用性较低，骨皮质厚度已经被证实是评估肱骨近端骨质量的可靠预测指标，临床实用度高。目前骨皮质厚度测量方法主要有 NEWTON 等<sup>[25]</sup>报道的内侧皮质比率 (测量肱骨近端内侧皮质厚度与骨干直径之比)、TINGART 等<sup>[26]</sup>报道的 Tingart 指数 (肱骨近端 2 个平面的平均骨皮质厚度) 和 DTI 指数。因 Tingart 指数需要确定 2 个平面骨皮质厚度的平

均值，测量过程繁琐，内侧皮质比率的测量平面经常受到骨折线影响。而 DTI 指数测量解剖标志易于确定，骨皮质比率可以减少测量误差，测量平面不受骨折线影响，因而此次研究采用 DTI 作为评估肱骨近端骨密度的预测指标。结果显示复位失败组患者的 DTI 明显低于复位维持组，差异有显著性意义 ( $1.31 \pm 0.114 < 1.49 \pm 0.152$ ,  $P < 0.001$ )，DTI < 1.44 是术后内固定复位失败的独立风险因素，DTI < 1.44 患者术后发生复位失败概率是 DTI  $\geq 1.44$  患者的 9.782 倍 ( $OR=9.782$ )。针对骨质疏松高危患者，术前需做好术前规划，选择适合的手术方式。术后需要适度延长患肢主动活动时间，配合抗骨质疏松治疗，预防并发症的发生。

术前骨折端内翻移位是术后复位失败的独立风险因素，JUNG 等<sup>[27]</sup>研究发现术前内翻移位比外翻移位影响内侧柱支撑和骨折端稳定，术后复位丢失的概率也更高。BAI 等<sup>[28]</sup>通过对术前影像学评估发现颈干角 < 125° 时 (内翻移位) 术后骨折内翻发生率最高 (11/20) ( $\chi^2 = 19.17$ ,  $P < 0.001$ )。建议术前颈干角小于 120° 作为骨折复位丢失的重要预测指标。此次研究发现与文献报道一致，术前骨折端内翻 (< 120°) 是其他骨折类型术后复位失败的 4.2 倍 ( $OR=4.209$ )，其原因是术前骨折内翻移位破坏了软组织铰链的稳定结构，严重骨质疏松内翻移位患者常常合并内侧柱骨皮质压缩，骨折难以解剖复位及内侧柱骨皮质较大缺损造成骨折端复位后不稳定，是复位失败的主要原因。

HERTEL 等<sup>[20]</sup>将影像学检查上任一角度内侧柱断裂并移位超过 2 mm 归为内侧柱粉碎。HAWS 等<sup>[29]</sup>研究发现 55 岁以上老年肱骨近端骨折患者钢板内固定术后内侧柱粉碎不仅是维持骨折复位，而且是肩关节功能恢复的重要预后因素。术前肱骨内侧柱的粉碎可能需要考虑钢板内固定替代方案的考虑，包括非手术治疗或关节置换术。汪秋柯等<sup>[30]</sup>指出粉碎的内侧柱与术后螺钉穿出关节面密切相关，术中应增强内侧支撑降低螺钉穿出风险。此次研究结果发现，发生术后复位失败组中患者内侧柱粉碎人数比例大于术后复位维持组，差异有显著性意义 ( $43.2\% > 15.6\%$ ,  $P < 0.001$ )，术前肱骨内侧柱粉碎是术后发生复位失败的独立风险因素 ( $OR=4.278$ )，其原因为术前内侧柱粉碎导致内侧柱骨皮质缺乏有效机械支撑，骨折端稳定性几乎完全依赖内固定，这增加了肱骨头内软骨质下螺钉的受力负荷，显著增加了继发性螺钉穿出和肱骨头内翻、塌陷的风险。目前临床采用增强或重建内侧柱手术方法增强内侧柱稳定性，如肱骨距螺钉、骨水泥填充，异体腓骨移植、髓内钉及双侧钢板固定等<sup>[11, 31-33]</sup>。术前内侧柱粉碎对临床医生采用不同的治疗策略有重要的指导意义，但是每种内侧柱增强策略都有适应证、手术风险和学习曲线，临床医生应根据患者、自身技术特点和预测模型的风险阈值采取个性化治疗。

此次研究临床决策曲线和临床影响曲线结果表明预测模型有较好的临床适用性。当阈值风险概率高于 65% 时的模型预测高风险人数和实际发生人数高度匹配，建议作为区分高低风险

患者的阈值, 预测风险高于 65% 时临床医生需高度警惕术后复位失效的发生。术前准备应联合患者临床特征和功能要求、手术医生的技术水平及独立风险因素选择合适的治疗方法。低风险患者建议常规单侧锁定钢板固定, 合并轻度内侧柱粉碎的, 建议首选单钢板联合肱骨距螺钉固定, 肱骨头短缩并嵌插复位, 保持内侧柱皮质的支撑; 严重内侧柱粉碎并伴有骨缺损, 联合自体皮质骨植骨。避免追求解剖复位过度剥离软组织或附加内固定装置, 增加肱骨头坏死风险和患者医疗费用负担。针对高风险患者, 高龄患者关节功能要求较低可选择保守治疗, 尽管丧失了部分功能, 但避免了手术痛苦或复位失效风险。文献报道保守治疗 12 个月后肩关节功能评分较 3 个月内有所提高, 大部分患者对生活质量满意<sup>[34]</sup>。DTI < 1.44, 复杂骨折如 Neer IV 型骨折对关节功能有较高期望值, 骨折难以复位或复位后内侧柱无法有效支撑, 建议采用内侧柱增强策略, 如自体骨髓内支撑、骨水泥填充、或双钢板固定等, 术中注意恢复颈干角和肩袖的缝合加强固定。复杂骨折合并肱骨头劈裂或肩关节脱位, 视大结节和肩袖损伤情况可考虑人工肱骨头置换或反肩关节置换。

此次研究结果显示, 患者年龄和骨折类型 (Neer 分型) 是骨折术后复位失效的风险因素, 但不是独立风险因素。主要因为尽管部分高龄患者已发生复位丢失造成关节功能不良, 但对关节功能要求低, 继续治疗意愿和随访率都较低, 造成一部分统计数据丢失。而复杂的骨折类型如 Neer IV 型骨折与肱骨头坏死相关性较大<sup>[35]</sup>, 但并不是复位失效的独立风险因素。何继业等<sup>[36]</sup>的研究发现 Neer 分型不是肱骨头内翻的独立风险因素, 与此次研究结果一致。但需要进一步加大样本量和延长随访期才能得出进一步的结论。

综上所述, 此次研究证实 DTI 是预测老年肱骨近端骨折术后复位失效的独立风险因素, DTI 评估患者肱骨头骨密度简单、方便获取, 可靠性强, 易于临床推广。基于 3 个术前独立风险因素构建的临床预测模型内外部验证证实模型有较高的区分度、准确度和临床适用性, 应用预测模型可术前甄别高风险患者, 采取个性化治疗方案, 预防并发症发生。但此次研究有一定的局限性: ①研究并没有纳入术中复位因素, 如内侧柱支撑复位、螺钉数目、长度及大结节复位情况等, 归因于研究的样本量相对不足, 纳入过多的风险因素可能造成模型过拟合, 降低模型的效能, 有待进一步的研究优化模型; ②肩关节功能评分未纳入此次研究, 因为患者随访配合度较低以及主观感觉影响结果准确性; ③模型的推广性可能受到不同医院、地区手术技术水平的影响。

**作者贡献** 徐大星负责论文的构思、数据汇总和撰写, 纪木强负责数据的收集和整理, 涂泽松负责论文的设计及可行性分析指导, 许伟鹏负责数据的收集及统计学分析, 徐伟龙负责论文数据的结果分析及解释, 绘制图表; 牛维负责文章的质量控制与审查, 监督管理。

**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** 该文章撰写遵守了《观察性临床研究报告指南》(STROBE 指南)。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] 司元龙, 冯康虎, 申建军, 等. 老年肱骨近端骨折的诊治现状与进展 [J]. 中国骨与关节杂志, 2021,10(12):904-908.
- [2] MIN KS, SHERIDAN B, WARYASZ GR, et al. Predicting reoperation after operative treatment of proximal humerus fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2021;31(6): 1105-1112.
- [3] MAIER D, JAEGER M, IZADPANAH K, et al. Proximal humeral fracture treatment in adults. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(3):251-261.
- [4] WANG M, WANG X, CAI P, et al. Locking plate fixation versus intramedullary nail fixation for the treatment of multifragmentary proximal humerus fractures (OTA/AO type 11C): a preliminary comparison of clinical efficacy. *BMC Musculoskelet Disord.* 2023;24(1):461.
- [5] 蒙敏峰, 陈茂峰, 王玉乐, 等. 老年肱骨近端骨折分型和治疗的研究进展 [J]. 中医正骨, 2020,32(11):33-36.
- [6] 梁玺乐, 王凯, 邢浩, 等. 老年肱骨近端骨折内固定强化措施的研究进展 [J]. 医学综述, 2020,26(21):4283-4287.
- [7] 陈冰, 罗金全. 肱骨近端锁定钢板治疗肱骨近端骨折术后继发性螺钉穿出 [J]. 临床骨科杂志, 2021,24(3):412.
- [8] LAUX CJ, GRUBHOFFER F, WERNER C, et al. Current concepts in locking plate fixation of proximal humerus fractures. *J Orthop Surg Res.* 2017;12(1):137.
- [9] CHEN H, YIN P, WANG S, et al. The Augment of the Stability in Locking Compression Plate with Intramedullary Fibular Allograft for Proximal Humerus Fractures in Elderly People. *Biomed Res Int.* 2018;2018:3130625.
- [10] BARLOW JD, LOGLI AL, STEINMANN SP, et al. Locking plate fixation of proximal humerus fractures in patients older than 60 years continues to be associated with a high complication rate. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(8):1689-1694.
- [11] 管宏, 胡钢锋, 李珍楠, 等. 骨水泥在老年骨质疏松性肱骨近端骨折治疗中的应用进展 [J]. 中医正骨, 2021,33(9):47-51.
- [12] 梁志军, 沈圣兵. 老年人肱骨近端骨折治疗的进展 [J]. 贵州医药, 2021,45(7): 1041-1043.
- [13] 黄淑纾, 林华, 朱秀芬, 等. 骨质量与骨质疏松性骨折 [J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2012,5(4):285-291.
- [14] 张玺, 胡永成, 耿欣, 等. 老年肱骨近端骨折患者皮质骨厚度与骨密度相关性分析 [J]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2015,1(1):16-21.
- [15] KIM DM, PARK D, KIM H, et al. Risk Factors for Severe Proximal Humerus Fracture and Correlation Between Deltoid Tuberosity Index and Bone Mineral Density. *Geriatr Orthop Surg Rehabil.* 2020;11:1864664671.
- [16] SPROSS C, KAESTLE N, BENNINGER E, et al. Deltoid Tuberosity Index: A Simple Radiographic Tool to Assess Local Bone Quality in Proximal Humerus Fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(9):3038-3045.
- [17] 林浩东, 傅慧超, 吴晓明. 《2021 版老年肱骨近端骨折治疗指南》解读 [J]. 中华创伤杂志, 2022,38(9):834-839.
- [18] 汪秋柯, 陈云丰. 浅谈肱骨近端骨折的分型 [J]. 国际外科学杂志, 2017,44(11):727-730.
- [19] WANG JQ, JIANG BJ, GUO WJ, et al. Serial changes in the head-shaft angle of proximal humeral fractures treated by placing locking plates: a retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018;19(1):420.
- [20] HERTEL R, HEMPFING A, STIEHLER M, et al. Predictors of humeral head ischemia after intracapsular fracture of the proximal humerus. *J Shoulder Elbow Surg.* 2004;13(4): 427-433.
- [21] 高永祥, 张晋昕. Logistic 回归分析的样本量确定 [J]. 循证医学, 2018,18(2):122-124.
- [22] VAN SMEDEN M, MOONS KG, DE GROOT JA, et al. Sample size for binary logistic prediction models: Beyond events per variable criteria. *Stat Methods Med Res.* 2019; 28(8):2455-2474.
- [23] HENKELMANN R, THEOPOLD J, KITSCHKE J, et al. Comorbidities, substance abuse, weight and age are independent risk factors for postoperative complications following operation for proximal humerus fractures: a retrospective analysis of 1109 patients. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2022;142(10):2701-2709.
- [24] 姜献, 周红云, 许超, 等. 肱骨近端骨折钢板内固定术后常见并发症的研究进展 [J]. 中医正骨, 2018,30(5):34-36.
- [25] NEWTON AW, SELVARATNAM V, PYDAH SK, et al. Simple radiographic assessment of bone quality is associated with loss of surgical fixation in patients with proximal humeral fractures. *Injury.* 2016;47(4):904-908.
- [26] TINGART MJ, APRELEVA M, VON STECHOW D, et al. The cortical thickness of the proximal humeral diaphysis predicts bone mineral density of the proximal humerus. *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85(4):611-617.
- [27] JUNG SW, SHIM SB, KIM HM, et al. Factors that Influence Reduction Loss in Proximal Humerus Fracture Surgery. *J Orthop Trauma.* 2015;29(6):276-282.
- [28] BAI L, FU ZG, WANG TB, et al. Radiological evaluation of reduction loss in unstable proximal humeral fractures treated with locking plates. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(3):271-274.
- [29] HAWS BE, SAMBORSKI SA, KARNYSKI S, et al. Risk factors for loss of reduction following locked plate fixation of proximal humerus fractures in older adults. *Injury.* 2023;54(2):567-572.
- [30] 汪秋柯, 张明, 陈云丰. 肱骨近端骨折锁定钢板内固定术后螺钉穿出的影响因素及处理研究进展 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2017,19(7):641-644.
- [31] 张玉富, 蒋协远. 肱骨近端骨折手术治疗的进展与思考 [J]. 中国骨伤, 2023,36(2): 99-102.
- [32] 常祖豪, 张伟, 唐福福, 等. 内侧支撑重建增强固定技术在肱骨近端骨折治疗中的研究进展 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2021,35(3):375-380.
- [33] 韦财. 成人肱骨近端骨折治疗进展 [J]. 中外医学研究, 2020,18(9):177-179.
- [34] 龚冠亦, 许苏梁, 骆川, 等. 老年肱骨近端骨折非手术治疗研究进展 [J]. 中国骨与关节杂志, 2022,37(11):1227-1229.
- [35] SOLBERG BD, MOON CN, FRANCO DP, et al. Locked plating of 3- and 4-part proximal humerus fractures in older patients: the effect of initial fracture pattern on outcome. *J Orthop Trauma.* 2009;23(2):113-119.
- [36] 何继业, 张家红, 蔡贵泉, 等. 锁定钢板治疗不稳定肱骨近端骨折术后内翻的危险因素分析 [J]. 中华创伤杂志, 2020,36(5):448-454.

(责任编辑: LJY, GD, ZN, QY)