

## 临床研究

## 论著

## 同种异体腓骨植骨术后股骨头早期塌陷进展的影响因素及其预测价值

黄艺轩, 郭铭滨, 麦健斌, 袁鑫玮, 席洪钟, 宋伟, 杜斌, 刘铎\*

南京中医药大学附属医院骨伤科, 江苏南京 210029

[中图分类号] R681.8 [文献标志码] A [DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.0534.2023.1130

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 黄艺轩, 郭铭滨, 麦健斌, 等. 同种异体腓骨植骨术后股骨头早期塌陷进展的影响因素及其预测价值[J]. 解放军医学杂志, 2024, 49(11): 1272-1280.

[收稿日期] 2023-04-12 [录用日期] 2023-07-10 [上线日期] 2023-11-30

**[摘要]** **目的** 探讨同种异体腓骨植骨术(AFG)后早期股骨头发生塌陷进展的影响因素及其预测价值。**方法** 回顾性分析2008年1月—2022年12月在南京中医药大学附属医院接受AFG治疗的68例(75髋)股骨头坏死(ONFH)患者的临床和影像学资料。根据术后股骨头是否发生塌陷进展将75髋分为稳定组( $n=40$ )与进展组( $n=35$ )。收集患者的年龄、性别、病因、发病部位、国际骨循环协会(ARCO)分期、日本骨坏死调查委员会(JIC)分型、中日友好医院(CJFH)分型、前外侧柱硬化带HU值(I SHU)等资料。采用单因素和多因素logistic回归分析AFG术后早期股骨头发生塌陷进展的影响因素, 采用受试者工作特征(ROC)曲线分析各影响因素预测AFG术后早期股骨头塌陷进展的价值。**结果** 75髋中, 术后股骨头发生塌陷进展35髋(46.7%)。单因素logistic回归分析结果显示, 年龄、ARCO分期、JIC分型和I SHU是AFG术后股骨头塌陷进展的影响因素( $P<0.05$ )。多因素logistic回归分析结果显示, ARCO III A分期、JIC C2分型是AFG术后早期股骨头塌陷进展的独立危险因素, I SHU是AFG术后早期股骨头塌陷进展的独立保护因素( $P<0.05$ )。ROC曲线分析结果显示, ARCO分期、JIC分型、I SHU单项及联合预测AFG术后早期股骨头塌陷进展的敏感度为0.850、0.725、0.800、0.775, 特异度为0.486、0.657、0.743、0.914, 曲线下面积(AUC)为0.668、0.725、0.811、0.896。**结论** I SHU与术后早期股骨头塌陷进展存在相关性, ARCO III A分期、JIC C2分型和I SHU是AFG术后早期股骨头塌陷进展的独立影响因素并具有一定的预测价值。

**[关键词]** 股骨头坏死; 硬化带; 异体腓骨植骨术; 影响因素**Factors influencing early collapse progression of the femoral head after allogenic fibula grafting and their predictive value**

Huang Yi-Xuan, Guo Ming-Bin, Mai Jian-Bin, Yuan Xin-Wei, Xi Hong-Zhong, Song Wei, Du Bin, Liu Xin\*

Orthopedics and Traumatology Department, Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing, Jiangsu 210029, China

\*Corresponding author, E-mail: liuxinsurg@163.com

This work was supported by the General Program of National Natural Science Foundation of China (82074471), and the Youth Fund of National Natural Science Foundation of China (81804117)

**[Abstract]** **Objective** To explore the influential factors and predictive value of early femoral head collapse progression following allogeneic fibula grafting (AFG) surgery. **Methods** Clinical and radiological data of 68 patients (75 hips) with osteonecrosis of the femoral head (ONFH) who underwent AFG between January 2008 and December 2022 at the Orthopedics and Traumatology Department, Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine were retrospectively analyzed. Seventy-five hips were divided into stable ( $n=40$ ) and progressive ( $n=35$ ) groups based on the presence or absence of postoperative collapse

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(82074471); 国家自然科学基金青年基金(81804117)

[作者简介] 黄艺轩, 硕士研究生, 主要从事骨与关节的临床研究

[通信作者] 刘铎, E-mail: liuxinsurg@163.com

progression. Age, gender, etiology, location of the lesion, Association Research Circulation Osseous (ARCO) stage, Japanese Committee of Osteonecrosis Investigation (JIC) classification, China-Japan Friendship Hospital (CJFH) classification, and Hounsfield units (HU) value of anterolateral sclerosis rim (I SHU) were collected. Univariate and multivariate logistic regression analyses were used to identify the factors influencing early collapse progression after AFG. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to analyze the predictive value of the identified factors influencing postoperative early collapse progression. **Results** Of the 75 hips, 35(46.7%) had postoperative collapse progression. Univariate logistic regression analysis showed that age, ARCO stage, JIC classification, and I SHU were influencing factors for early femoral head collapse progression after AFG ( $P<0.05$ ). Multivariate logistic regression analysis showed that ARCO stage III A and JIC classification C2 were independent risk factors for early femoral head collapse progression after AFG, while I SHU was identified as an independent protective factor ( $P<0.05$ ). The ROC curve analysis showed that the sensitivities of ARCO stage, JIC classification, I SHU, and the combined predictive model were 0.850, 0.725, 0.800, and 0.775, the specificities were 0.486, 0.657, 0.743, and 0.914, and the area under the ROC curve (AUC) were 0.668, 0.725, 0.811, and 0.896, respectively. **Conclusions** I SHU is associated with early collapse progression after AFG in patients with ONFH. ARCO stage III A, JIC classification C2, and I SHU are independent factors influencing postoperative early collapse progression and have a certain predictive value.

**[Key words]** femoral head osteonecrosis; sclerosis rim; allogeneic fibula grafting; influential factors

股骨头坏死 (osteonecrosis of the femoral head, ONFH) 是一种难治性、高致残性疾病, 好发于中青年, 给家庭和社会带来了巨大的经济负担<sup>[1]</sup>。在 ONFH 晚期进行全髋关节置换术是一种有效的干预<sup>[2]</sup>, 但对于青年患者应尽可能避免过早进行全髋关节置换手术, 否则在他们一生中可能进行多次翻修手术, 因此早期进行保髋手术干预非常必要。保髋手术的目的是通过提供足够的机械支撑以避免股骨头过早塌陷, 同时恢复坏死区域内的血运。既往研究发现, 同种异体腓骨植入术 (allogeneic fibula grafting, AFG) 治疗 ONFH 取得了令人满意的疗效<sup>[3]</sup>, 但存在术后股骨头过早塌陷的可能。因此, 术前应分析不同影响因素以预测预后, 从而指导临床决策。硬化带是 ONFH 患者在 X 线平片或 CT 检查中于坏死区与正常组织之间出现的不规则或条带状高密度影<sup>[4]</sup>。既往研究表明, 软骨下骨硬化带在股骨头塌陷过程中可起到保护作用<sup>[5-8]</sup>。然而目前关于硬化带的特征与 AFG 术后股骨头塌陷关系的报道较少。为此, 本研究探讨硬化带 HU 值 (Hounsfield units, HU) 与 AFG 术后早期股骨头塌陷的关系, 并分析 AFG 术后早期股骨头塌陷进展的影响因素及其预测价值。

## 1 资料与方法

**1.1 研究对象** 回顾性纳入 2008 年 1 月—2022 年 12 月南京中医药大学附属医院收治的 68 例 ONFH 患者。纳入标准: (1) 符合《成人股骨头坏死临床诊断与治疗指南(2019 年版)》<sup>[9]</sup> 中成人非创伤性 ONFH 诊断标准; (2) 2019 年国际骨循环协会 (Association Research Circulation Osseous, ARCO) 分期<sup>[10]</sup> II、III A 期; (3) 年龄 18~60 岁; (4) 采用 AFG 行保髋手术。排除标准: (1) 病程短或随访时间 < 1 年; (2) 缺乏术前髋关节正位或蛙位 X 线平片, 或缺乏术后随访影像

学资料; (3) 因成像体位不符合或其他原因导致成像不规范, 影响相关数据的测量。本研究获南京中医药大学附属医院伦理委员会审批 (2023NL-001-01), 免除患者知情同意。

**1.2 临床资料收集** 从电子病历和医院数据库获得临床和影像学资料, 其中临床资料包括患者年龄、性别、发病部位、病因 (酒精性、激素性或特发性) 等; 影像学资料包括术前双髋关节正位和蛙位 X 线平片、术前最近一次双髋关节 CT 图像、术后末次随访 (术后第 12 个月) 的双髋关节蛙位 X 线平片。由 1 名骨科医师 A 对术前正位 X 线平片进行评估, 并根据 ARCO 分期<sup>[10]</sup>、日本骨坏死调查委员会 (Japanese Committee of Osteonecrosis Investigation, JIC) 分型<sup>[11]</sup>、中日友好医院 (China-Japan Friendship Hospital, CJFH) 分型<sup>[12]</sup> 进行分类。所有双髋关节 CT 图像采集参数: 管电压 120~140 kV, 管电流 220~680 mA, 层厚 1~3 mm, 重建矩阵 512×512。

**1.3 手术方法** 患者取仰卧位, 术侧抬高 20°。股骨大转子下方做 6~8 cm 纵向切口暴露, 于大转子下方 1.5 cm 处向坏死区中心钻入 1 枚直径 2 mm 克氏针至股骨头下 0.5 cm 进行定位。沿克氏针用动力髋的扩孔器钻出骨隧道至软骨下 3~5 mm, 根据干燥异体腓骨直径用定制型扩髓器扩大骨隧道, 清除坏死灶, 同时收集隧道内健康骨泥备用。用一长柄角度刮匙深入骨隧道到达坏死区内搔刮, 以尽量清除死骨, 注意保护前外侧柱骨质和硬化带, 操作过程应避免穿破关节面。病灶清理完毕, 充分冲洗骨隧道, 经隧道填充松质骨粒, 用不同直径及角度自制植骨棒适当改善或纠正股骨头轮廓, 松质骨厚度 5~10 mm, 测量骨隧道深度, 植入相应直径及长度的干燥异体腓骨。裁剪多余的皮质骨条紧贴腓骨打压在隧道口。

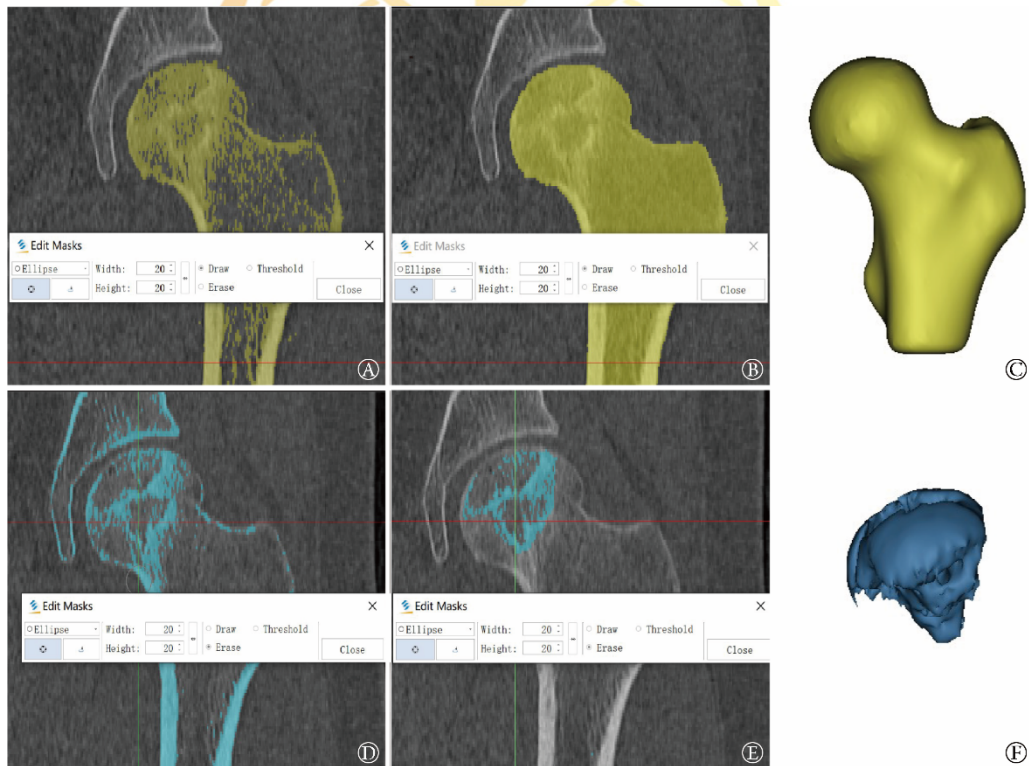
**1.4 术后康复** 术后 3 个月内所有患者禁止患肢负

重, 卧床进行下肢关节的主被动锻炼; 术后3个月复查, 根据X线平片复查情况, 可拄双拐部分负重; 术后6个月如骨植入物整合良好, 可脱拐行走。

**1.5 股骨头三维模型重建与分割** 由1名骨科医师A完成以下步骤: (1)CT图像导入。打开Mimics软件(21.0版, Materialise, Leuven, Belgium), 将CT图像以DICOM格式导入。(2)重建三维图像。点击Segment栏目, 选择New Mask指令, 股骨Threshold选择在226~2566 HU; 硬化带为520~2566 HU(图1A、D)。利用Edit Mask指令, 在每个层面勾画股骨近端与硬化带的蒙版, 其中硬化带定义为坏死区周围不规则或条带状高密度影, 皮质骨和压力性骨小梁的高密度影应被去除(图1B、E)。利用Calculate Part指令重建股骨近端与硬化带的三维模型(图1C、F)。(3)三

维图像的分区与分割。在已经提出的三维三柱体系<sup>[13]</sup>上进一步细化, 建立两个平行于参考平面(reference plane, RP)的面: 前平面(anterior plane, AP)和后平面(posterior plane, PP), 使用3D TOOLS栏目中With Plane指令将股骨头与硬化带在水平位平均分割为三部分; 结合Liu等<sup>[13]</sup>提出的外侧面(lateral plane, LP)与内侧面(medial plane, MP), 构建一个新的四面九柱体系(图2A、B、C)。本研究将前外侧区域内的3个负重柱定义为感兴趣区(region of interest, ROI), 即前外侧柱(I)、中外侧柱(II)和前中侧柱(III)(图2D、E、F); 3个感兴趣区域的硬化带分别命名为前外侧柱硬化带(I S)、中外侧柱硬化带(II S)和前中侧柱硬化带(III S, 图2G、H、I)。

**1.6 不同三维分区HU值测量** 在Segment栏目下选



A. 初始股骨蒙版; B. 人工勾画后股骨蒙版; C. 股骨三维重建模型; D. 初始硬化带蒙版; E. 人工勾画后硬化带蒙版; F. 硬化带三维重建模型

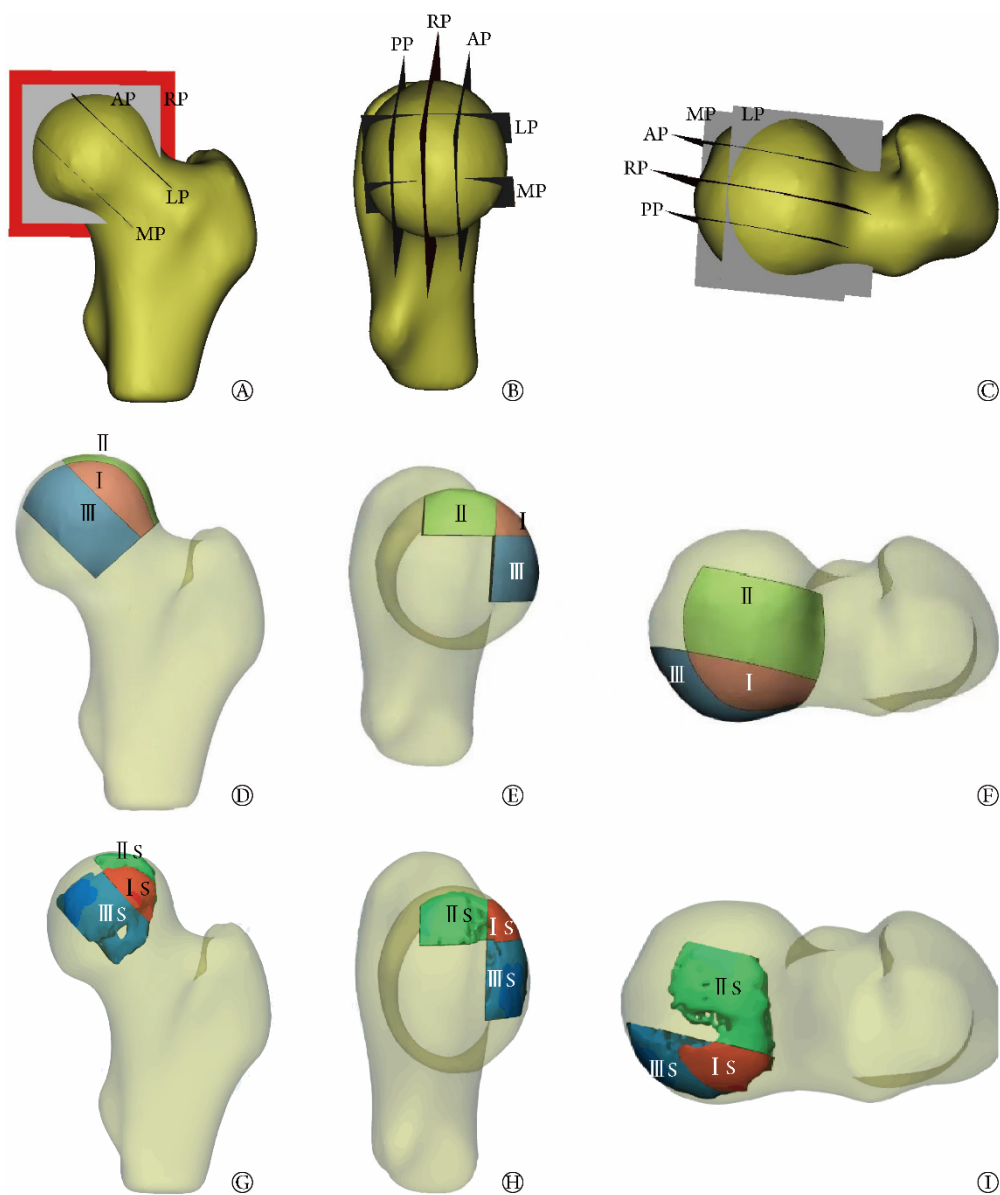
图1 股骨近端及硬化带的三维模型重建

Fig.1 Three-dimensional reconstruction of the proximal femur and sclerosis rim

择Split Mask指令, 按照不同三维分区在冠状面、矢状面、水平面上的显示位置, 将硬化带蒙版分割, 分别命名为I S蒙版、II S蒙版、III S蒙版(图3A、B)。使用Mask Properties计算平均HU值并记录, 分别为I SHU、II SHU和III SHU(图3C)。

**1.7 术后早期股骨头塌陷程度的随访及评估** 术后3、6、9、12个月及以后1年1次进行门诊随访, 随访截至2023年2月, 每次随访均拍摄髋关节正位和蛙位X线平片。Kubo等<sup>[14]</sup>提出了同心圆垂直测量方

法测量股骨头塌陷程度, 髋关节蛙位X线平片能反映前外侧区的股骨头塌陷情况<sup>[15]</sup>, 在此基础上本研究使用Auto CAD 2019(美国国立卫生研究院, Bethesda, MD, USA)测量术后第12个月的髋关节蛙位X线平片的股骨头塌陷程度(图4A), 测量方法和术后蛙位与I柱和I S的对应位置关系如图4B、C所示。具体方法: 根据蛙位X线平片测量股骨头塌陷的程度, 即股骨头中心拟合圆与股骨头实际边界在正中垂线上的差值。参考2019年ARCO分期<sup>[10]</sup>, 根



RP. 参考面; AP. 前侧面; RP. 后侧面; LP. 外侧面; MP. 内侧面; I. 前外侧柱; II. 中外侧柱; III. 前中侧柱; I S. 前外侧柱硬化带; II S. 中外侧柱硬化带; III S. 前中侧柱硬化带; A、B、C. 四面九柱体系冠状位、矢状位、水平位视图; D、E、F. 前外侧区三柱冠状位、矢状位、水平位视图; G、H、I. 前外侧区硬化带冠状位、矢状位、水平位视图

图2 四面九柱体系与股骨头、硬化带分割

Fig.2 Segmentation of the femoral head and sclerosis rim using a four-plane and nine-column system

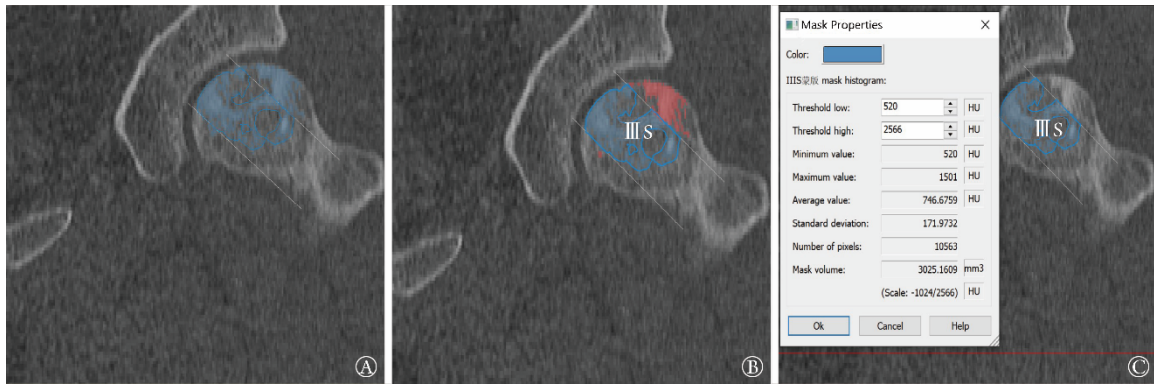
据术后股骨头塌陷程度分为塌陷 $\leq 2$  mm组(稳定组,  $n=40$ )与塌陷 $> 2$  mm组(进展组,  $n=35$ )。

**1.8 AGF术后股骨头发生塌陷进展的影响因素及其预测价值分析** 采用单因素和多因素 logistic 回归分析 AGF 术后股骨头发生塌陷进展的影响因素。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic curve, ROC)曲线分析相关影响因素预测术后股骨头塌陷进展的价值。

**1.9 硬化带HU值提取的一致性分析** 为验证硬化带HU值提取的可重复性及再现性, 采用SPSS 25.0软件进行分析。随机选取20例患者, 由另一名骨科医师B进行一次图像分割并进行硬化带HU值提取,

以计算组内相关系数(interclass correlation coefficient, ICC)。ICC $> 0.75$ 表示一致性良好, ICC $< 0.4$ 表示一致性较差。

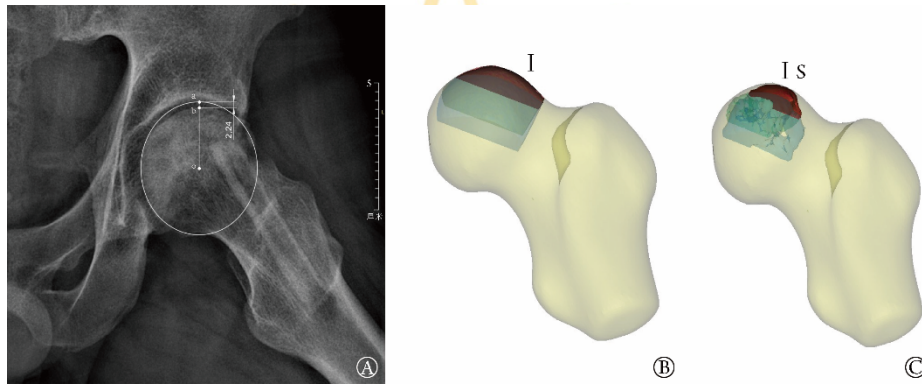
**1.10 统计学处理** 使用SPSS 25.0软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组间比较采用两独立样本  $t$  检验; 非正态分布的计量资料以  $M(Q_1, Q_3)$  表示, 组间比较采用两独立样本秩和检验; 计数资料以例(%)表示, 组间比较采用 $\chi^2$ 检验。不同病因 ONFH 的 I SHU 的差异分析采用 Kruskal-Wallis 检验。采用 R 4.2.1 构建 ROC 曲线, 计算曲线下面积(area under curve, AUC), 量化预测价值。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。



III S. 前中侧柱硬化带; A. 硬化带蒙版; B. 分割III S蒙版; C. 计算III S蒙版平均HU值

图3 前中侧柱硬化带HU值测量

Fig.3 Measurement of HU value of anteromedial sclerosis rim



A. 同心圆测量法, o为圆心, ab间距离为股骨头塌陷程度; B. 前外侧柱(I)在蛙位的对应位置(红色区域); C. 前外侧柱硬化带(I S)在蛙位的对应位置(红色区域)

图4 同心圆垂直测量法测量股骨头塌陷程度及对应关系

Fig.4 The concentric circular vertical measurement method and correspondence

## 2 结果

**2.1 两组临床和影像学资料比较** 共纳入68例ONFH患者(75髌), 其中男51例(55髌), 女17例(20髌), 年龄(40.1±1.4)岁。75髌中, 17髌由酒精引起, 26髌由皮质激素引起, 32髌无明确诱因。ARCO II期52髌, III A期23髌; JIC分型B型8髌, C1型33髌, C2型34髌; CJFH分型C型2髌, L1型16髌, L2型45髌, L3型12髌。AFG术后股骨头塌陷稳定40髌(股骨头塌陷≤2 mm, 稳定组), 股骨头塌陷进展35髌(股骨头塌陷>2 mm, 进展组), 股骨头塌陷进展发生率为46.7%(35/75)。两组年龄、ARCO分期、JIC分型和I SHU比较差异有统计学意义( $P<0.05$ ), ONFH病因、位置、CJFH分型等其余变量差异无统计学意义( $P>0.05$ , 表1)。

**2.2 影像学图像分割及特征提取一致性评价** 骨科医师A与骨科医师B对图像分割并进行硬化带HU值提取的ICC为0.853, 表明硬化带HU值提取具有良好的一致性, 其重复性和再现性满足研究需要。

**2.3 AFG术后股骨头塌陷进展影响因素的单因素**

**logistic回归分析** 单因素logistic回归分析结果显示, 年龄、ARCO分期、JIC分型、I SHU是AFG术后股骨头塌陷进展的影响因素( $P<0.05$ )。年龄每增加1岁, 术后股骨头塌陷进展的风险可增加0.079倍; ARCO分期每进展1期, 术后股骨头塌陷进展的风险可增加4.252倍( $P=0.003$ ); JIC分型每增加1个等级, 术后股骨头塌陷进展的风险较上一分型增加3.876倍( $P<0.001$ ); I SHU每增加1单位, 术后股骨头塌陷进展的风险降低2.2%( $P<0.001$ ) (表2)。

**2.4 AFG术后股骨头塌陷进展影响因素的多因素logistic回归分析** 以年龄、ARCO分期(II期和III A期分别赋值为0、1)、JIC分型(B型、C1型和C2型分别赋值为1、2、3)和I SHU(股骨头塌陷稳定和塌陷进展分别赋值为0、1)为自变量, 以术后早期股骨头是否发生塌陷进展为因变量进行多因素logistic回归分析, 结果显示, ARCO III A分期、JIC C2分型是AFG术后早期股骨头塌陷进展的独立危险因素, I SHU是AFG术后早期股骨头塌陷进展的独立保护因素( $P<0.05$ , 表3)。

**2.5 不同病因ONFH的I SHU差异分析结果** Kruskal-

表1 稳定组与进展组临床和影像学资料比较

Tab.1 Comparison of clinical and radiographic data between stable and progressive groups

项目	稳定组(n=40)	进展组(n=35)	P
年龄[岁, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	32.5(29.3, 43.0)	50(37.0, 54.0)	<0.001
性别[例(%)]			0.861
女	11(27.5)	9(25.7)	
男	29(72.5)	26(74.3)	
ONFH病因[例(%)]			0.518
AONFH	7(17.5)	10(28.6)	
SANFH	15(37.5)	11(31.4)	
IONFH	18(45.0)	14(40.0)	
位置[髌(%)]			0.078
右侧	17(42.5)	22(62.9)	
左侧	23(57.5)	13(37.1)	
ARCO分期[髌(%)]			0.002
II期	34(85.0)	18(51.4)	
III A期	6(15.0)	17(48.6)	
JIC分型[髌(%)]			0.001
B型	8(20.0)	0	
C1型	21(52.5)	12(34.3)	
C2型	11(27.5)	23(65.7)	
CJFH分型[髌(%)]			0.583
C型	1(2.5)	1(2.9)	
L1型	11(27.5)	5(14.3)	
L2型	22(55.0)	23(65.7)	
L3型	6(15.0)	6(17.1)	
HU值(HU, $\bar{x}\pm s$ )	685.94±64.10	642.53±50.47	0.223
I SHU(HU, $\bar{x}\pm s$ )	683.77±78.28	606.55±47.08	<0.001
II SHU(HU, $\bar{x}\pm s$ )	684.68±75.19	629.08±54.69	0.111
III SHU(HU, $\bar{x}\pm s$ )	681.19±64.19	638.72±54.91	0.435

AONFH. 酒精性股骨头坏死; SANFH. 皮质激素性股骨头坏死; IONFH. 特发性股骨头坏死; ARCO分期. 国际骨循环协会分期; JIC分型. 日本股骨头坏死调查协会分型; CJFH分型. 中日友好医院分型; I SHU. 前外侧柱硬化带HU值; II SHU. 中外侧柱硬化带HU值; III SHU. 前中侧柱硬化带HU值

Wallis 检验结果显示, 酒精性 ONFH、皮质激素性 ONFH 和特发性 ONFH 之间的 I SHU 差异无统计学意义( $H=3.910, P=0.142$ )。

表2 AFG 术后股骨头塌陷进展影响因素的单因素 logistic 回归分析

Tab.2 Univariate logistic regression analysis of factors affecting collapse progression after AFG

变量	$\beta$	SE	Wald $\chi^2$	P	OR	95%CI
年龄	0.076	0.023	10.710	0.001	1.079	1.031~1.130
ARCO分期(II期 vs. III A期)	1.677	0.291	9.063	0.003	5.252	1.796~15.951
JIC分型(B型 vs. C1型 vs. C2型)	1.584	0.448	12.208	<0.001	4.876	2.026~11.737
I SHU	-0.022	0.006	14.695	<0.001	0.978	0.967~0.989

AFG. 同种异体腓骨植骨术; ARCO分期. 国际骨循环协会分期; JIC分型. 日本股骨头坏死调查协会分型; I SHU. 前外侧柱硬化带HU值

2.6 各影响因素预测 AFG 术后早期股骨头塌陷进展的价值 ROC 曲线分析结果显示, ARCO 分期、JIC 分型、I SHU 的截断值依次为 0.500 期、2.500 型、579.050 HU, ARCO 分期、JIC 分型、I SHU 单项及联合预测 AFG 术后早期股骨头塌陷进展的敏感度为 0.850、0.725、0.800、0.775, 特异度为 0.486、0.657、0.743、0.914, 曲线下面积(AUC)为 0.668、0.725、0.811、0.896(图5、表4)。截至2023年2月, 对75髌术后12个月的临床随访结果显示, 术前 I SHU 较高的髌 AFG 术后效果较好, 股骨头发生塌陷较少(图6A-D); 术前 I SHU 较低的患者术后股骨头塌陷容易进展(图6E-H)。

### 3 讨论

既往研究中硬化带在 ONFH 病程中的作用一直存在争议。一方面, 硬化带的形成可能阻碍血管向坏死区的生长, 从而阻碍骨修复进程; 此外, 股骨头塌陷多发生在硬化带周围, 可能与剪切应力有关<sup>[16-17]</sup>。另一方面, 硬化带在 ONFH 塌陷的进程中能起到力学支撑作用, 延缓股骨头塌陷的进展<sup>[5,7,18]</sup>。对于股骨头塌陷的不同报道结果, 可能与硬化带的形态特征有关, 因为形态特征上的差异会影响股骨头内的稳定性, 从而不同程度影响塌陷的进程<sup>[6,19-20]</sup>。

然而目前研究发现, 硬化带的特征多聚焦于主观的分型或仅在单一层面或部分层面对硬化带的特征进行定性描述, 因此导致不同研究者提出的形态分型纷繁多样, 致使研究结论之间存在差异, 在临床上难以广泛推广应用。面对目前存在的问题, 本研究基于 Mimics 软件利用髌关节 CT 数据中阈值的不同, 完成对股骨头、硬化带等不同密度组织的三维重建, 通过软件指令完成对不同区域特征的测量, 得到能够定量的、客观反映硬化带特征的硬化带 HU 值, 较好地解决了上述问题。此外, 本研究一方面在 Liu 等<sup>[13]</sup>三维模型的基础上进行了优化, 进一步细化了分区, 并对前外侧区域的三柱进行研究, 方便直接关注负重区的硬化带特征; 另一方面为了更好地

表3 AFG术后股骨头塌陷进展影响因素的多因素logistic回归分析

Tab.3 Multivariate logistic regression analysis of factors influencing collapse progression after AFG

变量	$\beta$	SE	Wald $\chi^2$	P	OR	95%CI
年龄	0.038	0.030	1.646	0.199	1.039	0.980~1.100
ARCO分期(Ⅱ期 vs. ⅢA期)	1.716	0.747	5.278	0.022	5.565	1.287~24.064
JIC分型(B型 vs. C1型 vs. C2型)	1.357	0.596	5.195	0.023	3.886	1.209~12.488
I SHU	-0.021	0.007	10.221	0.001	0.979	0.966~0.992

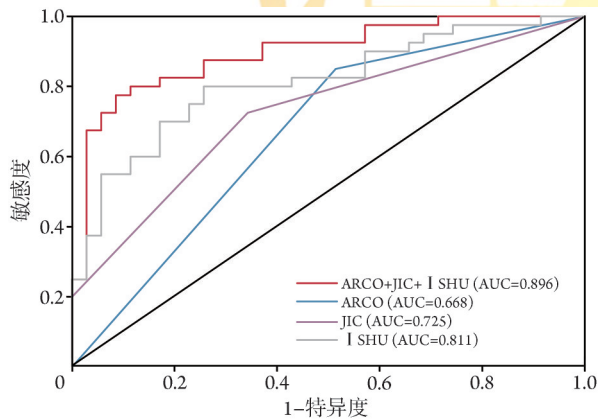
AFG. 同种异体腓骨植骨术; ARCO分期. 国际骨循环协会分期; JIC分型. 日本股骨头坏死调查协会分型; I SHU. 前外侧柱硬化带HU值

表4 ROC曲线分析各影响因素对AFG术后股骨头发生塌陷进展的预测价值

Tab.4 Predictive value of factors influencing collapse progression after AFG based on ROC curve analysis

变量	截断值	敏感度	特异度	约登指数	AUC(95%CI)	P
ARCO分期	0.500期*	0.850	0.486	0.336	0.668(0.543~0.793)	0.013
JIC分型	2.500型*	0.725	0.657	0.382	0.725(0.611~0.840)	<0.001
I SHU	579.050 HU	0.800	0.743	0.543	0.811(0.713~0.908)	<0.001
ARCO+JIC+ I SHU		0.775	0.914	0.689	0.896(0.823~0.968)	<0.001

\*临床中ARCO Ⅱ期与ⅢA期和JIC C1型与C2型之间再无细化。考虑临床实际, 上述两个变量截断值分别为1期、2型, 即ARCO ⅢA期、JIC C2型; AFG. 同种异体腓骨植骨术; ARCO分期. 国际骨循环协会分期; JIC分型. 日本股骨头坏死调查协会分型; I SHU. 前外侧柱硬化带HU值



ROC. 受试者工作特征; AUC. 曲线下面积; ARCO. 国际骨循环协会分期; JIC. 日本股骨头坏死调查协会分型; I SHU. 前外侧柱硬化带HU值; AFG. 同种异体腓骨植骨术

图5 ROC曲线分析ARCO分期、JIC分型、I SHU单项及联合预测AFG术后早期股骨头塌陷进展的价值

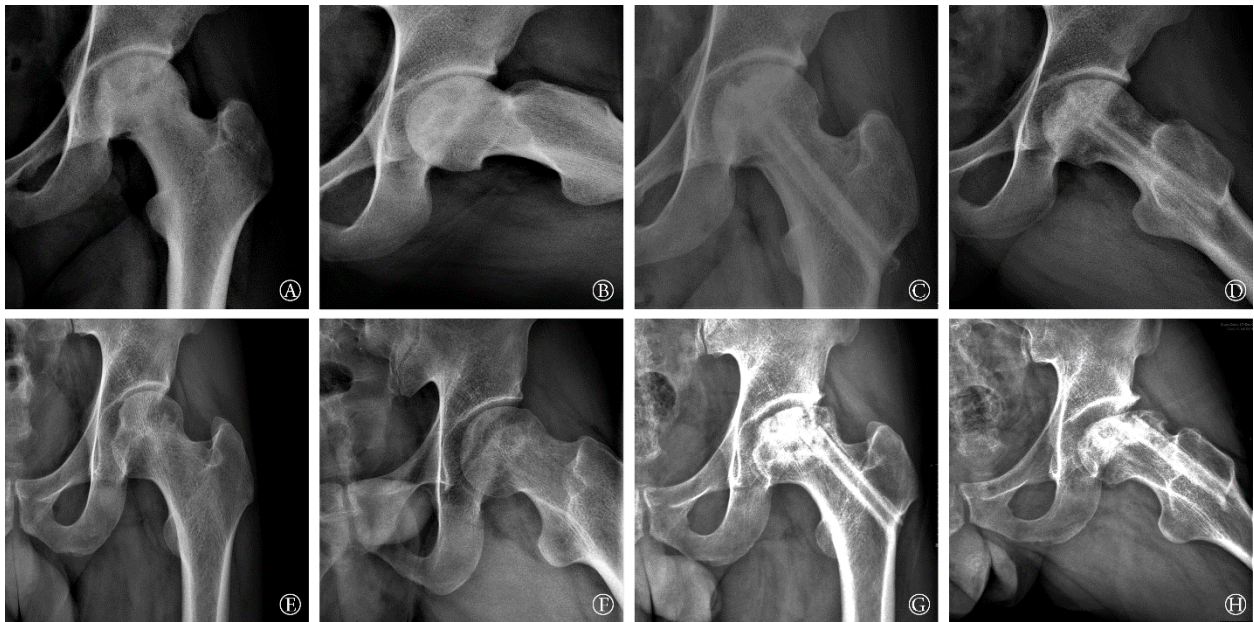
Fig.5 ROC curve analysis the predictive value of ARCO staging, JIC classification, I SHU, and the combined early collapse progression after AFG

地反映负重区的股骨头塌陷程度, 本研究在术后蛙位X线平片上测量股骨头塌陷程度, 采用这一影像学指标来客观评价术后临床疗效。

本研究结果表明, I SHU是术后股骨头塌陷进展的独立保护因素, 当I SHU每增加1单位, 术后股骨头塌陷进展风险降低2.2%。I SHU与术后股骨头塌陷进展的关系可能通过以下机制解释: (1)有限元分析表明, 股骨头应力集中在前外侧柱, 前外侧柱是主要的支撑区域<sup>[21-22]</sup>, 因此该区域的力学强度

对于股骨头塌陷起到至关重要的作用。前外侧柱硬化带可能有助于提升该区域的力学强度。(2)HU值与骨密度呈线性相关<sup>[23]</sup>; 骨密度高低能够反映硬化带在生物力学弹性模量的大小<sup>[24]</sup>。因此, 随着HU值提高, 骨质密度提高, 弹性模量相应增加, 可能增强了硬化带结构的力学强度, 起到力学支撑的作用, 对于预防术后骨修复初期过早塌陷、维持股骨头形态完整有重要意义<sup>[25]</sup>。该结果与Huang等<sup>[26]</sup>的研究结果一致, 他们认为硬化带骨密度是ONFH塌陷的保护因素。但与之不同的是, 他们的研究对象为未接受手术治疗的ONFH患者, 其股骨头内部的力学稳定性不但没有恢复且可能随坏死范围的扩大进一步恶化; 而通过AFG术式可重建股骨头的载荷传导路径, 恢复股骨头内部的生物力学稳定性<sup>[27]</sup>。

除I SHU外, 传统的危险因素也在本研究结果中得到验证。既往研究表明, 在出现软骨下骨塌陷时, 保髋手术并不成功。Urbaniak等<sup>[28]</sup>报道了带血管腓骨移植术治疗ONFH, 发现Steinberg Ⅲ期患者7年失败率为23%(5/22), Steinberg Ⅳ期患者则高达43%(17/40)。Feng等<sup>[3]</sup>认为, ARCO Ⅱ期是同种异体腓骨移植术的适应证, 当发生股骨头塌陷即进展为ARCO Ⅲ期时更适合带血管蒂大转子自体移植。与本研究结果一致: ARCO分期每向后退展1期, 术后股骨头塌陷进展的风险可提升4.565倍( $P=0.003$ )。JIC分型或病变的位置常被认为是影响治疗效果的重要因素, 坏死区域范围累积到外侧柱时预后较差。Chen等<sup>[29]</sup>发现, B型和C1型患者行AFG的失败率低于6.9%(2/29), 而



病例1: 男, 18岁, 左髋疼痛6个月, 诊断为激素性股骨头坏死, ARCO III A期, JIC C1型, 前外侧柱硬化带HU值(I SHU)为771.3 HU, 术后12个月股骨头塌陷进展1.5 mm。A、B. 术前左髋关节正位、蛙位X线平片; C、D. 术后12个月正位、蛙位X线平片。病例2, 男, 32岁, 左髋疼痛1个月, 诊断为特发性股骨头坏死, ARCO III A期, JIC C2型, I SHU为583.0 HU, 术后12个月股骨头塌陷进展8.9 mm。E、F. 术前左髋关节正位、蛙位X线平片; G、H. 术后12个月正位、蛙位X线平片

图6 同种异体腓骨植骨术典型病例的术前影响因素及术后股骨头塌陷进展情况

Fig.6 Preoperative influencing factors and postoperative femoral head collapse progression in typical cases of allogeneic fibular grafting surgery

C2型患者的失败率为28.6%(10/35)。与本研究结果一致: JIC分型每增加1个等级, 术后股骨头塌陷进展的风险较上一分型增加2.886倍( $P<0.001$ )。

在临床实践中, AFG术中打通股骨头远端硬化带是必须的, 主要作用: 一方面能释放股骨头内的压力, 重新恢复坏死区血供; 另一方面为死骨清理、松质骨植骨和腓骨棒置入提供了通道。Zhou等<sup>[30]</sup>认为, AFG术中对于死骨的清理应该谨慎, 清创范围在3/8~1/2坏死区域内相较彻底清创更能避免股骨头塌陷的进一步发生。但目前关于股骨头近端硬化带, 尤其是前外侧负重区硬化带在术中如何处理尚未见报道。笔者认为, AFG术中应尽可能地保护前外侧柱和前外侧柱硬化带的完整性。

本研究存在以下局限性: (1)为单中心回顾性研究, 引入了各种偏倚, 包括选择偏倚、失访和数据缺失等; (2)保髋手术需要严格把握手术适应证, 入选患者数量有限; (3)股骨头塌陷进展定义为在随访1年内发生塌陷或塌陷进展。因此, 综合指标的预测性能应严格限制在术后早期。未来可通过构建有限元模型, 从生物力学的角度进行大样本多中心的长期随访研究来验证该结果。

综上所述, 本研究结果表明, I SHU与AFG术后早期股骨头塌陷存在相关性。ARCO III A分期、JIC C2分型是AFG术后早期股骨头塌陷进展的独立

危险因素, I SHU是AFG术后早期股骨头塌陷进展的独立保护因素。ARCO+JIC+ I SHU联合可能预测术后早期股骨头塌陷进展。

#### 【参考文献】

- [1] Jin T, Zhang Y, Sun Y, *et al.* IL-4 gene polymorphisms and their relation to steroid-induced osteonecrosis of the femoral head in Chinese population[J]. *Mol Genet Genomic Med*, 2019, 7(3): e563.
- [2] 谭小龙, 佬伟, 梁柱天, 等. 直接前侧入路全髋关节置换术治疗老年股骨颈骨折的效果分析[J]. *解放军医学杂志*, 2022, 47(12): 1268-1270.
- [3] Feng W, Ye P, Ni S, *et al.* One-stage simultaneous hip-preserving surgeries for the management of bilateral femoral head osteonecrosis: a mean 7.0-year follow-up[J]. *J Orthop Surg Res*, 2019, 14(1): 455.
- [4] Lou P, Zhou G, Wei B, *et al.* Sclerotic zone in femoral head necrosis: from pathophysiology to therapeutic implications[J]. *EFORT Open Rev*, 2023, 8(6): 451-458.
- [5] Yu T, Xie L, Chu F. A sclerotic rim provides mechanical support for the femoral head in osteonecrosis[J]. *Orthopedics*, 2015, 38(5): e374-379.
- [6] Yu T, Xie L, Zhang Z, *et al.* Prediction of osteonecrosis collapse of the femoral head based on the proportion of the proximal sclerotic rim[J]. *Int Orthop*, 2015, 39(6): 1045-1050.
- [7] Chen Z, Xu Y, Qi Z, *et al.* The formation and function of the sclerotic rim in the femoral head: a biomechanical point of view[J]. *Med Eng Phys*, 2015, 37(12): 1125-1132.
- [8] Wu ZS, Hong G, Yang P, *et al.* The survival of non-traumatic

- osteonecrosis of femoral head at ARCO II with ring-shaped sclerotic zone: a mid-term follow-up retrospective study[J]. *J Hip Preserv Surg*, 2020, 7(4): 705-712.
- [9] Zhao D, Zhang F, Wang B, *et al*. Guidelines for clinical diagnosis and treatment of osteonecrosis of the femoral head in adults (2019 version)[J]. *J Orthop Translat*, 2020, 21: 100-110.
- [10] Yoon BH, Mont MA, Koo KH, *et al*. The 2019 revised version of association research circulation osseous staging system of osteonecrosis of the femoral head[J]. *J Arthroplasty*, 2020, 35(4): 933-940.
- [11] Ando W, Sakai T, Fukushima W, *et al*. Japanese Orthopaedic Association 2019 Guidelines for osteonecrosis of the femoral head [J]. *J Orthop Sci*, 2021, 26(1): 46-68.
- [12] Liu LH, Li ZR, Sun W, *et al*. Reliability and repeatability of the China-Japan Friendship Hospital typing classification for nontraumatic osteonecrosis of the femoral head[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2022, 104(Suppl 2): 40-46.
- [13] Liu GB, Lu Q, Meng HY, *et al*. Three-dimensional distribution of bone-resorption lesions in osteonecrosis of the femoral head based on the three-pillar classification[J]. *Orthop Surg*, 2021, 13(7): 2043-2050.
- [14] Kubo Y, Motomura G, Ikemura S, *et al*. Factors influencing progressive collapse of the transposed necrotic lesion after transtrochanteric anterior rotational osteotomy for osteonecrosis of the femoral head[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2017, 103(2): 217-222.
- [15] 蔡森鑫, 杨彬, 邓鹏, 等. 基于正蛙位双平片的股骨头坏死立体分型系统: 广中医生物力学实验室分型[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(24): 3786-3791.
- [16] Hamada H, Takao M, Sakai T, *et al*. Subchondral fracture begins from the bone resorption area in osteonecrosis of the femoral head: a micro-computerised tomography study[J]. *Int Orthop*, 2018, 42(7): 1479-1484.
- [17] Karasuyama K, Yamamoto T, Motomura G, *et al*. The role of sclerotic changes in the starting mechanisms of collapse: a histomorphometric and FEM study on the femoral head of osteonecrosis[J]. *Bone*, 2015, 81: 644-648.
- [18] 石少辉, 李子荣, 王佰亮, 等. 激素性股骨头坏死硬化带与骨形态蛋白关系的研究[J]. *中华外科杂志*, 2010, 48(17): 1305-1308.
- [19] Wu W, He W, Wei QS, *et al*. Prognostic analysis of different morphology of the necrotic-viable interface in osteonecrosis of the femoral head[J]. *Int Orthop*, 2018, 42(1): 133-139.
- [20] 袁强, 董一平, 张宁, 等. 不同SBTOCS分型的股骨头坏死患者保髋治疗后股骨头塌陷、头臼匹配度、髋关节稳定度对比观察[J]. *山东医药*, 2022, 62(15): 61-64.
- [21] Bahk JH, Jo WL, Kim SC, *et al*. Lateral pillar is the key in supporting pre-collapse osteonecrosis of the femoral head: a finite element model analysis of propensity-score matched cohorts[J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1): 728.
- [22] Wen PF, Guo WS, Zhang QD, *et al*. Significance of lateral pillar in osteonecrosis of femoral head: a finite element analysis[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2017, 130(21): 2569-2574.
- [23] Buenger F, Sakr Y, Eckardt N, *et al*. Correlation of quantitative computed tomography derived bone density values with Hounsfield units of a contrast medium computed tomography in 98 thoracolumbar vertebral bodies[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2022, 142(11): 3335-3340.
- [24] Öhman-Mägi C, Holub O, Wu D, *et al*. Density and mechanical properties of vertebral trabecular bone—a review[J]. *JOR Spine*, 2021, 4(4): e1176.
- [25] 王政春. 基于有限元分析探讨冠心宁注射液髋关节腔灌注治疗股骨头坏死的临床疗效[D]. 哈尔滨: 黑龙江中医药大学, 2021.
- [26] Huang Z, Tan B, Ye H, *et al*. Dynamic evolution of osseous structure in osteonecrosis of the femoral head and dynamic collapse risks: a preliminary CT image study[J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 539.
- [27] 葛辉. 同种异体腓骨移植术治疗股骨头坏死的生物力学与临床疗效研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2016.
- [28] Urbaniak JR, Coogan PG, Gunneson EB, *et al*. Treatment of osteonecrosis of the femoral head with free vascularized fibular grafting. A long-term follow-up study of one hundred and three hips [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1995, 77(5): 681-694.
- [29] Chen L, Hong G, Hong Z, *et al*. Optimizing indications of impacting bone allograft transplantation in osteonecrosis of the femoral head[J]. *Bone Joint J*, 2020, 102-B(7): 838-844.
- [30] Zhou G, Zhang Y, Zeng L, *et al*. Should thorough debridement be used in fibular allograft with impaction bone grafting to treat femoral head necrosis: a biomechanical evaluation[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2015, 16: 140.

(责任编辑: 纪方方)