

坏死及支撑区三维空间分布对腓骨支撑保髋结局的影响

袁鑫玮, 黄艺轩, 席洪钟, 郭铭滨, 麦健斌, 孙光权, 刘 铨, 杜 斌

<https://doi.org/10.12307/2024.074>

投稿日期: 2023-04-17

采用日期: 2023-05-27

修回日期: 2023-06-22

在线日期: 2023-07-13

中图分类号:

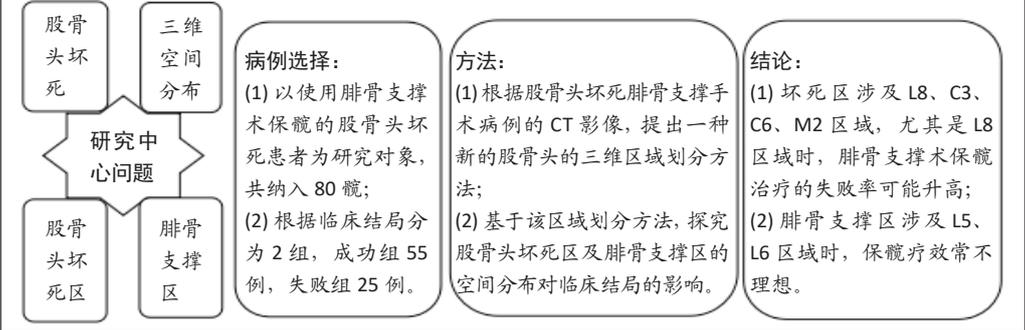
R459.9; R318; R445.9

文章编号:

2095-4344(2024)18-02789-06

文献标识码: A

文章快速阅读: 股骨头坏死区及腓骨支撑区三维空间分布对临床结局的影响



文题释义:

股骨头坏死: 是一种可造成髋关节功能障碍或功能丧失的常见疾病, 青壮年为该病的高危人群。

腓骨支撑保髋手术: 对于早中期股骨头坏死, 为延迟或避免行全髋关节置换, 而采用的一种保留髋关节手术。通常选择股骨大转子顶点下方为通道入口, 打入坏死区中心, 主要目的是重建其应力传递路径, 恢复股骨头内部生物力学支撑, 从而改善局部坏死区的应力集中。

摘要

背景: 坏死区分布在保髋治疗中有重要影响, 目前探讨股骨头坏死在三维空间分布上的差异对腓骨支撑术的临床结局是否存在影响的研究较少。

目的: 利用CT三维重建探究股骨头坏死区和腓骨支撑区的空间分布与临床结局的关系, 为优化腓骨支撑术的适用条件、提高腓骨支撑术的保髋疗效提供一定依据。

方法: 以2010年1月至2021年1月收治并符合纳入标准的80例使用腓骨支撑术保髋的股骨头坏死患者为研究对象, 至少随访2年。根据临床结局分为2组, 保髋成功组55例, 保髋失败组25例。根据患者术前和术后CT影像进行三维重建, 参照三柱理论, 将股骨头划分为外九区、中九区、内九区共27个区域(L1-9, C1-9, M1-9), 探究患者股骨头坏死区、腓骨支撑区的空间分布情况及其与临床结局的关系。

结果与结论: ①术前股骨头坏死区分布主要集中在股骨头前外侧的L1、L2、L4、L5、C1、C2、C4、C5(外九区和中九区的前中部上中段)区域, 术后腓骨支撑区分布主要集中于L5、L6、C5、C6(外九区和中九区的中部中下段)区域; ②保髋成功组与保髋失败组在L8(外九区的后部中段)、C3(中九区的前部下段)、C6(中九区的中部下段)、M2(内九区的前部中段)区域的股骨头坏死分布差异有显著性意义($P < 0.05$), 在L5、L6区域(外九区的中部中下段)的腓骨支撑分布差异有显著性意义($P < 0.05$); 其中L8区域可作为腓骨支撑术保髋失败的独立预测因素, L8单一因素预测模型曲线下面积为0.698[95%CI(0.575, 0.822)], 敏感度为76%, 特异性为63.6%; ③结果提示, 当坏死区涉及L8、C3、C6、M2区域, 尤其是L8区域时, 腓骨支撑术保髋治疗的失败率可能升高; 当腓骨支撑区涉及L5、L6区域时, 保髋疗效不理想。

关键词: 股骨头坏死; 腓骨; 腓骨支撑术; 保髋; 三维重建

Effect of three-dimensional spatial distribution of necrotic and support areas on outcomes of fibular support for hip preservation

Yuan Xinwei, Huang Yixuan, Xi Hongzhong, Guo Mingbin, Mai Jianbin, Sun Guangquan, Liu Xin, Du Bin

Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China

Yuan Xinwei, Master candidate, Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China

Corresponding author: Du Bin, MD, Professor, Chief physician, Doctoral supervisor, Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China**Corresponding author:** Liu Xin, Doctoral candidate, Attending physician, Affiliated Hospital of Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China

Abstract

BACKGROUND: The distribution of the necrotic area plays an important role in hip preservation treatment. At present, there are few studies on whether the difference in the three-dimensional spatial distribution of osteonecrosis of the femoral head affects the clinical outcome of fibular support.

南京中医药大学附属医院, 江苏省南京市 210029

第一作者: 袁鑫玮, 男, 1998年生, 四川省绵阳市人, 汉族, 南京中医药大学附属医院在读硕士, 主要从事骨与关节病研究。

通讯作者: 杜斌, 博士, 教授, 主任医师, 博士生导师, 南京中医药大学附属医院骨伤科, 江苏省南京市 210029

通讯作者: 刘铨, 在读博士, 主治医师, 南京中医药大学附属医院骨伤科, 江苏省南京市 210029

<https://orcid.org/0009-0001-4545-4976> (袁鑫玮)

基金资助: 国家自然科学基金面上项目(82074471), 项目负责人: 杜斌; 江苏高校优势学科建设工程资助项目(035062005001),

项目负责人: 杜斌

引用本文: 袁鑫玮, 黄艺轩, 席洪钟, 郭铭滨, 麦健斌, 孙光权, 刘铨, 杜斌. 坏死及支撑区三维空间分布对腓骨支撑保髋结局的影响[J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(18):2789-2794.



OBJECTIVE: To explore the relationship between the spatial distribution and clinical outcome at the sites of osteonecrosis of the femoral head and fibular support using CT three-dimensional reconstruction so as to provide a basis for optimizing the applicable conditions of fibular support and improving the hip preservation effect of fibular support.

METHODS: Eighty patients with osteonecrosis of the femoral head who were treated with fibular support for hip preservation from January 2010 to January 2021 were selected as the study subjects according to the inclusion criteria. They were followed up for at least 2 years. According to the clinical outcome, the patients were divided into the successful hip preservation group ($n=55$) and the failure hip preservation group ($n=25$). 3D reconstruction was performed according to the preoperative and postoperative CT images of the patients. According to the three-column theory, the femoral head was divided into outer nine areas, middle nine areas and inner nine areas (L1-9, C1-9, and M1-9) to explore the spatial distribution of necrotic area of the femoral head and fibular support area and its relationship with clinical outcome.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Before operation, the necrotic area of the femoral head was mainly distributed in L1, L2, L4, L5, C1, C2, C4, and C5 (the upper and middle part of the anterior part of the outer ninth area and the middle part of the middle ninth area). After operation, the fibular support area was mainly distributed in L5, L6, C5, and C6 (the middle and lower part of the outer ninth area and the middle and lower part of the middle ninth area). (2) There were significant differences in the distribution of osteonecrosis of the femoral head between the successful hip preservation group and the failure hip preservation group in L8 (the posterior middle part of the outer ninth area), C3 (the anterior lower part of the middle ninth area), C6 (the lower middle part of the middle part of the inner ninth area) and M2 (the anterior middle part of the inner ninth area) ($P < 0.05$). There was a significant difference in the distribution of fibular support in L5 and L6 (middle and lower part of outer nine) ($P < 0.05$). Among them, the L8 region could be used as an independent predictor of hip preservation failure in fibular support surgery. The area under the curve of the L8 single factor prediction model was 0.698 [95%CI (0.575, 0.822)]; the sensitivity was 76%, and the specificity was 63.6%. (3) It turns out, when the necrotic area involves L8, C3, C6, and M2, especially L8, the failure of fibular support may increase, and when the fibular support involves L5 and L6, the effect of hip preservation is often not ideal.

Key words: osteonecrosis of femoral head; fibula; fibular support; hip preservation; three-dimensional reconstruction

Funding: National Natural Science Foundation of China (General Program), No. 82074471 (to DB); Jiangsu University Advantage Discipline Construction Engineering Fund Project, No. 035062005001 (to DB)

How to cite this article: YUAN XW, HUANG YX, XI HZ, GUO MB, MAI JB, SUN GQ, LIU X, DU B. Effect of three-dimensional spatial distribution of necrotic and support areas on outcomes of fibular support for hip preservation. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2024;28(18):2789-2794.

0 引言 Introduction

股骨头坏死具有较高的致残率，青壮年为该病的高危人群^[1-3]，因此，股骨头坏死不仅严重影响患者的生活质量，也为社会生产带来沉重负担。对于中青年股骨头坏死患者进行保髋手术治疗具有较高的临床价值，研究表明合适的保髋手术可以显著延缓关节置换时间，甚至避免关节置换^[4]。

腓骨支撑术作为一种常用保髋术式，目前研究认为年龄小于40岁、术前髋关节疼痛少于12个月、股骨头塌陷小于2 mm、股骨头外侧壁完整的患者常可获得较佳的手术效果^[5-6]。股骨头的外侧壁、前外侧壁是主要负重区，其完整性在保髋决策和预后方面意义重大。关于股骨头坏死分布的三柱分类，强调了外侧壁存留对维持股骨头不塌陷的重要性，李子荣等^[7]根据三柱分类提出中日友好医院分型，现已被广泛认可并用于股骨头坏死研究^[8]。腓骨支撑术的三维有限元研究表明，腓骨植入后支撑了股骨头软骨下骨质，腓骨分担了部分应力，使股骨头抗压能力增强，坏死区越靠近外侧柱，术后应力的改善越不明显，越容易塌陷，修复越困难，外侧壁的累及程度与腓骨支撑术疗效密切相关^[9]。

除了外侧柱与中、内侧柱的应力分布具有显著差异外，外侧柱内部的应力分布同样具有显著差异^[10]。不同患者髋关节解剖位置以及负重环境不同，可能造成股骨头坏死分布异质性。临床中，在X射线片上显示相似范围累及外侧柱的坏死区，在三维空间的分布可能不尽相同，而探讨股骨头坏死在三维空间分布上的差异对腓骨支撑术的临床结局是否存在影响的研究还较少。坏死区分布在保髋治疗中有重要影响^[11-12]，对股骨头进行更加细致的三维区域划分，有助于明确股骨头坏死区在外侧、前外侧以及其他区域内的分布差异对腓骨支撑术保髋成功率的影响。此次研究根据股骨头坏死腓骨支撑手术病例的CT影像，提出一种新的股骨头的三维区域划分方法；基于该区域划分方法，探究股骨头坏死区及

腓骨支撑区的空间分布规律，并将空间分布与临床预后进行了关联分析。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 回顾性分析，对纳入病例进行随访，按临床结局分组。根据患者术前术后CT影像进行三维重建，将股骨头进行三维区域划分，探究股骨头坏死及腓骨支撑的空间分布与临床结局的关系。

1.2 时间及地点 试验于2022年10月至2023年4月在南京中医药大学附属医院骨伤科完成。

1.3 对象 所使用样本为2010年1月至2021年1月在南京中医药大学附属医院骨伤科确诊为股骨头坏死的病例资料，均为国际骨循环研究会 (Association Research Circulation Osseous, ARCO) 分期II期、III A期^[13]，所有患者均接受腓骨支撑保髋手术治疗，术后均获得随访，至少随访2年。

纳入标准: ①符合成人股骨头坏死诊疗标准专家共识(2012年版)的诊断标准，按照ARCO分期标准为II期、III A期；②术前术后CT检查资料完整。

排除标准: 存在感染、类风湿关节炎、骨关节炎、肿瘤等疾病累及髋关节，影响坏死区判断的患者。

保髋成功标准: ①髋关节Harris评分 > 90 分；②无痛(疼痛评分 > 40 分)；③关节活动度满意(屈曲 $> 90^\circ$ ，有一定内外旋及外展活动度)；④X射线片示股骨头外形维持，即使轻度变形但关节面光滑，有等宽的关节间隙，髋臼包容好^[14]。

共64例80髋符合标准纳入研究，保髋成功55例，失败25例。其中男51例63髋，女13例17髋；年龄16-63岁，平均(40.6±12.1)岁；右髋坏死19例，左髋坏死29例，双髋同时坏死16例；致病因素方面，激素性38髋，特发性24髋，酒精性15髋，创伤性3髋；术后随访时间24-146个月。

此次研究为回顾性研究，研究方案的实施符合《赫尔辛基宣言》和南京中医药大学附属医院(江苏省中医院)伦理

委员会对研究的相关伦理要求 (批准号: 2023NL-001-01)。患者对治疗方案均知情同意。

1.4 方法

1.4.1 术前、术后模型构建 将患者术前术后 CT 影像数据以 Dicom 格式保存, 导入 Mimics Research 21.0 软件 (Materialise 公司, 比利时), 对术前股骨头、股骨头坏死区、术后股骨头、腓骨棒进行三维重建, 股骨头坏死组织范围由一名保髋专业主任医师划定, 再经由另一名保髋专业主任医师评定, 若二者意见一致, 则采用该范围, 若二者意见不一致, 则由第三名经验丰富的保髋专业主任医师进行评定后决策。划定坏死区域范围的具体方法: 通过冠状位、水平位、矢状位 3 个视窗对股骨头、股骨头坏死区、腓骨棒进行逐层编辑。然后在系统识别下, 获得术前股骨头、股骨头坏死区、术后股骨头、腓骨棒三维图像。运用 Calculate 3D 和 Smoothing 功能分别进行重建和光滑处理, 最后获得术前股骨头、股骨头坏死区、术后股骨头、腓骨棒的三维模型, 见图 1, 2。

1.4.2 区域划分与占区

(1) 分区方法: 将三维重建模型导入 3-matic Research 13.0 软件 (Materialise 公司, 比利时), 股骨头在冠状剖面为正位。在冠状面投影方向上, 沿头颈交界线将股骨头切分为一个近似球形, 随后以冠状面为基准面, 头颈交界线为基准线, 做头颈交界线在冠状面上的垂线。随后建立垂直于冠状面且分别经过上述 2 条线的 2 个平面, 使用这 3 个平面对股骨头进行切割, 进一步将股骨头划分为 27 个区域 (根据中日友好分型, 可将股骨头分为外、中、内 3 层, 再按从前至后、从上至下的顺序依次命名为 L1-9, C1-9, M1-9 区), 见图 3, 4。

(2) 占区判定: 按上述分区方法对股骨头、坏死区、腓骨棒进行切割, 3-matic Research 13.0 软件可自动测量各分区股骨头、坏死区、腓骨棒体积, 计算各分区内坏死区、腓骨棒占股骨头体积百分比, 设定三维空间内至少一条边线超过 1/2 为阳性区, 占比大于 1/8 为占区, 小于 1/8 为未占区。

1.5 主要观察指标 统计股骨头坏死区、腓骨支撑区的分布, 并分析股骨头坏死区、腓骨支撑区的分布差异与保髋失败是否具有相关性。

1.6 统计学分析 采用 SPSS Statistics 软件应用程序 (版本 25.0, IBM, 美国, 10504) 进行统计分析, 分类变量资料采用卡方检验。用 $P < 0.05$ 进行评估, 用于表示统计差异性。将筛选得到的差异组使用 Logistics 回归模型及受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线评估与临床结局相关的风险度。文章统计学方法已经南京中医药大学生物统计学专家审核。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 纳入行腓骨支撑术保髋的患者 64 例 80 髋, 其中成功组 55 髋, 失败组 25 髋, 全部进入结果分析, 无脱落。

2.2 试验流程图 见图 5。

2.3 基线资料比较 保髋成功组 55 髋, 保髋失败组 25 髋, 两组患者的基线资料对比如表 1 所示, 在年龄、性别、部位、病因方面, 两组之间差异均无显著性意义 ($P > 0.05$)。

表 1 | 两组患者基线资料对比

指标	保髋成功组 (55 髋)	保髋失败组 (25 髋)	t/x^2 值	P 值
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	39.0 \pm 12.8	41.7 \pm 8.0	0.965	0.338
男/女 (n)	43/12	20/5	0.034	0.854
部位 (左/右, n)	32/23	13/12	0.267	0.605
病因 (n)			3.475	0.310
激素性	29	9		
特发性	16	8		
酒精性	9	6		
创伤性	1	2		

2.4 总体分布统计 术前股骨头坏死区分布主要集中在 L1、L2、L4、L5、C1、C2、C4、C5 区域, 见图 6。术后腓骨支撑区分布主要集中于 L5、L6、C5、C6 区域, 见图 7。

2.5 术前坏死区分布差异分析

2.5.1 单因素分析 统计术前坏死区分布按临床结局分组, 采用卡方检验进行分析, 结果显示 L8、C3、C6、M2 区域的分布差异有显著性意义, 见表 2。

表 2 | 术前坏死区差异组比较

术前坏死区	保髋成功组 (55 髋)	保髋失败组 (25 髋)	P 值
L8	20	19	0.001
C3	24	20	0.002
C6	17	18	0.001
M2	22	17	0.020

2.5.2 多因素分析 不同临床结局下, 术前 L8、C3、C6、M2 区域坏死分布的差异有显著性意义 ($P < 0.05$), 以上述因素为自变量, 临床结局为因变量 (赋值: 成功组 =1, 失败组 =2), 进行二元多因素 Logistic 回归分析, 结果显示, 术前 L8 区域的坏死分布是股骨头坏死患者腓骨支撑术保髋失败的独立预测因素 ($P < 0.05$), 见表 3。

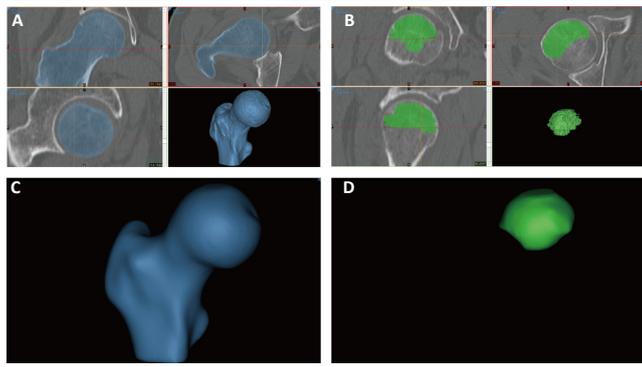
表 3 | 术前坏死区分布差异预测股骨头坏死患者腓骨支撑保髋失败的二元多因素 Logistic 回归分析

术前坏死区	B	标准误差	瓦尔德	自由度	P 值	Exp(B)
L8	1.196	0.599	3.990	1	0.046	3.306
C3	0.617	0.881	0.490	1	0.484	1.853
C6	0.837	0.709	1.392	1	0.238	2.310
M2	0.297	0.699	0.180	1	0.671	1.346

2.5.3 ROC 曲线评价预测模型的价值 将 L8 区域的坏死分布代入预测模型中并绘制 ROC 曲线, 曲线下面积为 0.698[95%CI(0.575, 0.822)], 最佳截断值为 0.5, 敏感度为 76%, 特异性为 63.6%, 详见图 8。

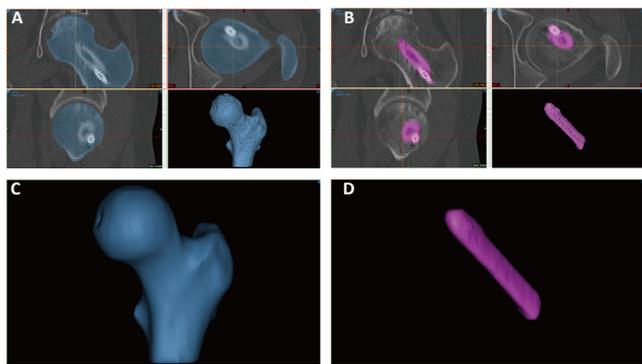
2.6 腓骨支撑区分布差异分析

2.6.1 单因素分析 统计腓骨支撑区分布按临床结局分组, 采用卡方检验进行分析, 结果显示 L5、L6 区域的分布差异有显著性意义 ($P < 0.05$), 见表 4。



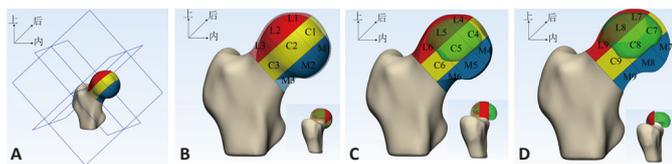
图注：图 A, B 为股骨头和坏死区通过软件的半自动工具和手动加减法获得，蓝色区域为股骨头，绿色区域为坏死区；图 C, D 中对对象被三维重建并平滑，C 为股骨头，D 为坏死区

图 1 | Preoperative three-dimensional reconstruction of the right femoral head and necrotic area
Figure 1 | Preoperative three-dimensional reconstruction of the right femoral head and necrotic area



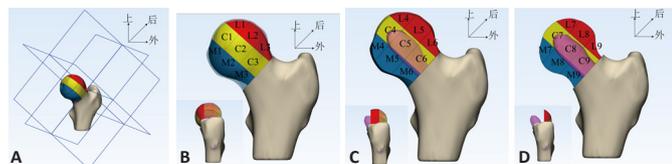
图注：图 A、B 为股骨头和腓骨棒通过软件的半自动工具和手动加减法获得，蓝色区域为股骨头，紫色为腓骨棒；图 C, D 中对对象被三维重建并平滑，C 为股骨头，D 为腓骨棒

图 2 | 术后左侧股骨头和腓骨棒的三维重建
Figure 2 | Three-dimensional reconstruction of the left femoral head and fibular rod after surgery



图注：图 A 示术前右侧股骨头的 3 个切剖面；B 为右侧股骨头前部正侧位；C 为右侧股骨头中部正侧位；D 为右侧股骨头后部正侧位

图 3 | 术前右侧股骨头和坏死区的分区
Figure 3 | Preoperative zoning of the right femoral head and necrotic area



图注：图 A 示术后左侧股骨头的 3 个切剖面；B 为左侧股骨头前部正侧位；C 为左侧股骨头中部正侧位；D 为左侧股骨头后部正侧位

图 4 | 术后左侧股骨头和腓骨棒的分区
Figure 4 | Postoperative zoning of the left femoral head and fibular rod

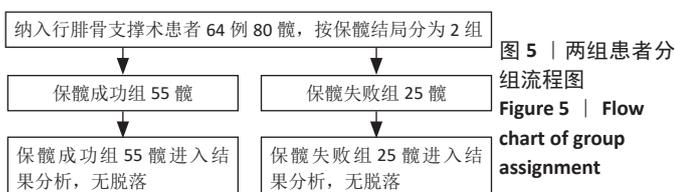


图 5 | 两组患者分组流程图
Figure 5 | Flow chart of group assignment

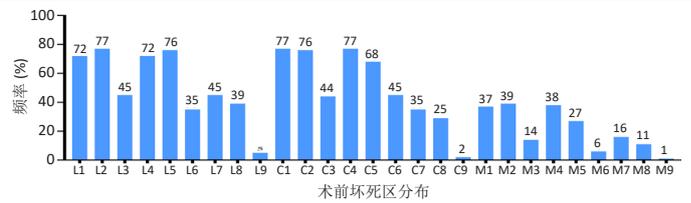


图 6 | 术前股骨头坏死区分布
Figure 6 | Distribution of preoperative necrotic area of the femoral head

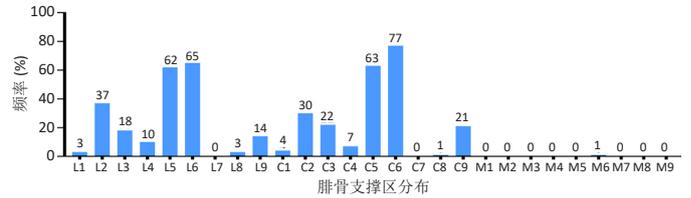


图 7 | 术后腓骨支撑区分布
Figure 7 | Distribution of fibular support area after surgery

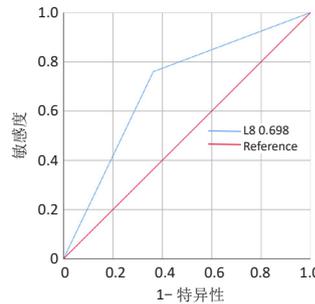


图 8 | L8 区域分布预测模型的受试者工作特征曲线
Figure 8 | Receiver operating characteristic curve of L8 regional distribution prediction model

表 4 | 术后支撑区差异组比较 (髓)
Table 4 | Comparison of the difference in postoperative support area between groups

腓骨支撑区	保髓成功组 (55 髓)	保髓失败组 (25 髓)	P 值
L5	38	24	0.008
L6	41	24	0.025

2.6.2 多因素分析 不同临床结局下，术后 L5、L6 区域腓骨支撑分布的差异有显著性意义 ($P < 0.05$)，以上述因素为自变量、临床结局为因变量 (赋值：成功组 =1，失败组 =2) 进行二元多因素 Logistic 回归分析，结果显示，术后 L5、L6 区域腓骨支撑分布不是股骨头坏死患者腓骨支撑术保髓失败的独立预测因素 ($P > 0.05$)，见表 5。

表 5 | 腓骨支撑区分布差异预测股骨头坏死患者腓骨支撑保髓失败的二元多因素 Logistic 回归分析

Table 5 | Bivariate multivariate logistic regression analysis of the difference of fibular support area distribution in predicting hip preservation failure in patients with osteonecrosis of femoral head

腓骨支撑区	B	标准误差	瓦尔德	自由度	P 值	Exp(B)
L5	2.046	1.079	3.595	1	0.058	7.739
L6	1.648	1.097	2.259	1	0.133	5.199

2.7 典型病例 典型病例 X 射线片影像表现见图 9。



图注：28 岁女性患者，左侧激素性股骨头坏死，该患者术前坏死区涉及 L8 区域，腓骨支撑区涉及 L5、L6 区域。图 A 为术后 1 周 X 射线正位片；B 为术后半年 X 射线正位片；C 为术后 1 年 X 射线正位片

图 9 | 典型病例术后坏死进展
Figure 9 | Progress of postoperative necrosis in typical cases

3 讨论 Discussion

3.1 国内外研究现状以及该研究的创新性 临床中判断股骨头坏死累及外侧柱程度通常依靠 X 射线的正蛙位片, 然而正蛙位片仅能显示股骨头坏死在冠状平面上的分布, 因此利用 CT 影像进行三维重建, 可更直观地观察空间分布情况^[15-16]。

近年来国内外对股骨头坏死的三维研究逐渐增多, HINDOYAN 等^[17]通过三维重建测量坏死区体积对股骨头坏死进行评估研究。一些关于股骨头坏死位置分布的研究发现, 坏死组织主要位于股骨头前外侧^[18-19], 三柱分类中, 坏死区主要分布在股骨头的外侧柱和中央柱^[20]。

股骨头的前上方区域为股骨头坏死高发区, 其保留程度也是影响腓骨支撑术疗效的重要因素。然而目前关于股骨头坏死三维研究中区域划分较为粗略, 结合腓骨支撑术的研究较少。股骨头坏死区在外侧、前外侧区域内的分布差异, 以及腓骨支撑区的分布差异对腓骨支撑术保髋成功率的影响尚不明确。因而此文根据腓骨支撑术病例的术前、术后 CT 资料, 进行逆向三维重建, 并采用新的分割方法来研究上述问题。

3.2 术前坏死区分布以及与临床结局的关系 此次研究显示, 术前坏死区主要分布于 L1、L2、L4、L5、C1、C2、C4、C5, 表明股骨头坏死最容易累及股骨头外九区和中九区的前中部上中段; 这些区域整体位于股骨头的前外侧, 股骨头外侧壁是股骨头的主要承重结构, 属于股骨头坏死塌陷的高危区域^[21-22]。而在这些高危区域内不同的股骨头坏死分布, 会导致应力传递路径不同^[23], 因此作者推测高危区域内股骨头坏死分布差异对于腓骨支撑术的临床预后也会存在影响。

数据分析结果表明, 保髋成功组与保髋失败组在 L8、C3、C6、M2 区域的股骨头坏死分布差异有显著性意义, 其中 L8 区域的股骨头坏死分布可作为腓骨支撑术保髋失败的独立预测因素。提示坏死区涉及上述区域, 尤其是 L8 区域时, 可能导致腓骨支撑术保髋失败。腓骨支撑的区域常为线性, 范围有限, 行腓骨支撑术后, C3、C6、M2 以及 L8 区域可能仍有坏死组织存在难以充分支撑, 坏死病变周围的修复反应区虽然提供了机械支撑, 但易产生局部应力集中, 坏死边界的应力集中可能促进塌陷的发生^[24-26]。L8 区域位于外九区的后部中段, 当坏死区累及 L8 区域, 腓骨植入后, L8 区域的坏死组织难以得到清理, 边界的应力集中导致应力传导路径改变, 从而造成外侧壁承重结构的破坏, 可能更容易引发股骨头塌陷。C3、C6、M2 属于股骨头边界区域, 涉及上述区域, 通常表明坏死范围较大, 周围区域也常有坏死区累及, 可能因而无法作为独立危险因素。在骨坏死的进展过程中, 骨结构发生变化, 宏观机械强度降低^[27]。因此当坏死范围过大时, 股骨头力学承载能力下降, 稳定性降低, 导致无法承担负重下产生的持续机械负荷, 从而易发生塌陷。

3.3 术后支撑区分布以及与临床结局的关系 腓骨支撑术通常选择股骨大转子顶点下方为通道入口, 打入坏死区中心, 主要目的是重建其应力传递路径, 恢复股骨头内部生物力学支撑, 从而改善局部坏死区的应力集中。此文腓骨支撑区主要分布于 L5、L6、C5、C6 区域。其中 L5、C5 是股骨头坏死高危区域, 表明腓骨通常经股骨大转子顶点下方, 穿过 L6、C6 区域, 打入 L5、C5 股骨头坏死区域进行支撑。

数据分析结果表明, 保髋成功组与保髋失败组在 L5、L6 区域的腓骨支撑分布差异有显著性意义, 提示腓骨支撑区涉及 L5、L6 区域时, 可能导致保髋失败。L5、L6 位于外九区的中部中下段, 属于股骨头外侧壁的主要支撑部位。腓骨打入 L5、L6 区域, 可能是由于坏死区中心靠近 L5、L6 区域, 即坏死区已经累及股骨头外侧壁, 使股骨头外侧壁原有的稳定结构受损。此外, 腓骨植入后虽然可改善坏死区局部的应力集中, 但重建后的应力传导与股骨头正常应力传导仍存在差异^[28-29], 可能无法避免股骨头外侧壁继续受损, 从而导致临床预后不良。

3.4 结论 此次研究使用患者真实 CT 影像对股骨头坏死区、腓骨以及股骨头进行三维重建, 参考三柱理论, 创新将股骨头坏死区及腓骨支撑区域进行细致划分, 分区方法可重复性强, 便于临床运用。在评估保髋手术方案和预测腓骨支撑术疗效方面具有潜在应用价值。根据此次研究, 当坏死区涉及 L8、C3、C6、M2 区域, 尤其是 L8 区域时, 腓骨支撑术保髋治疗的失败率可能升高; 当腓骨支撑区涉及 L5、L6 区域时, 保髋疗效常不理想。

3.5 不足与展望 此次研究存在一定的局限性: 首先, 研究借助三维软件建模, 在建模过程中可能存在人为误差; 其次, 此次研究纳入的病例数有限, 后续课题组拟开展多中心和前瞻性研究; 最后, 此次研究得到的结论还需要更多的临床中心资料和力学分析来验证。

作者贡献: 杜斌、刘铎负责研究设计, 袁鑫玮负责试验实施, 黄艺轩、郭铭滨、麦健斌负责影像资料收集, 席洪钟负责统计学分析, 孙光权负责研究评估, 刘铎负责文章审核。

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稿宗旨。

4 参考文献 References

- [1] CUI L, ZHUANG Q, LIN J, et al. Multicentric epidemiologic study on six thousand three hundred and ninety five cases of femoral head osteonecrosis in China. *Int Orthop*. 2016;40(2):267-276.

- [2] 雷志强, 曾平, 陈卫衡, 等. 股骨头坏死流行病学特点分析 [J]. 中医正骨, 2020, 32(1): 4-6.
- [3] 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 Orthop Translat.* 2020; 21: 100-110.
- [4] Microsurgery Department of the Orthopedics Branch of the Chinese Medical Doctor Association; Group from the Osteonecrosis and Bone Defect Branch of the Chinese Association of Reparative and Reconstructive Surgery; Microsurgery and Reconstructive Surgery Group of the Orthopedics Branch of the Chinese Medical Association. Chinese Guideline for the Diagnosis and Treatment of Osteonecrosis of the Femoral Head in Adults. *Orthop Surg.* 2017; 9(1): 3-12.
- [5] CHEN L, HONG G, HONG Z, et al. Optimizing indications of impacting bone allograft transplantation in osteonecrosis of the femoral head. *Bone Joint J.* 2020; 102-B(7): 838-844.
- [6] YUE J, GAO H, GUO X, et al. Fibula allograft propping as an effective treatment for early-stage osteonecrosis of the femoral head: a systematic review. *J Orthop Surg Res.* 2020; 15(1): 206.
- [7] 李子荣, 刘朝晖, 孙伟, 等. 基于三柱结构的股骨头坏死分型——中日友好医院分型 [J]. 中华骨科杂志, 2012, 32(6): 515-520.
- [8] RAJAN R, CHANDRASENAN J, PRICE K, et al. Legg-Calvé-Perthes: interobserver and intraobserver reliability of the modified Herring lateral pillar classification. *J Pediatr Orthop.* 2013; 33(2): 120-123.
- [9] 凌观汉, 李永斌, 潘学文, 等. 中日友好医院分型股骨头坏死腓骨植入治疗的三维有限元分析 [J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(18): 2817-2822.
- [10] HU LB, HUANG ZG, WEI HY, et al. Osteonecrosis of the femoral head: using CT, MRI and gross specimen to characterize the location, shape and size of the lesion. *Br J Radiol.* 2015; 88(1046): 20140508.
- [11] ASADA R, ABE H, HAMADA H, et al. Femoral head collapse rate among Japanese patients with pre-collapse osteonecrosis of the femoral head. *J Int Med Res.* 2021; 49(6): 3000605211023336.
- [12] KUBO Y, MOTOMURA G, IKEMURA S, et al. The effect of the anterior boundary of necrotic lesion on the occurrence of collapse in osteonecrosis of the femoral head. *Int Orthop.* 2018; 42(7): 1449-1455.
- [13] 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 Arthroplasty.* 2020; 35(4): 933-940.
- [14] 李子荣. 股骨头坏死成功保髋新理念 [J]. 中医正骨, 2018, 30(10): 1-3.
- [15] 李鹏飞, 葛辉, 庞智晖, 等. 基于影像学表现的股骨头坏死塌陷预测的研究进展 [J]. 医学综述, 2016, 22(15): 3023-3026.
- [16] 彭小星, 赵刚, 吴琳琳. CT和X线诊断老年股骨头坏死的临床价值 [J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(13): 3183-3185.
- [17] HINDOYAN KN, LIEBERMAN JR, MATCUK GR JR, et al. A Precise and Reliable Method of Determining Lesion Size in Osteonecrosis of the Femoral Head Using Volumes. *J Arthroplasty.* 2020; 35(1): 285-290.
- [18] 刘光波, 马海洋, 卢强, 等. 股骨头骨坏死囊性变位置分布特征 [J]. 解放军医学院学报, 2019, 40(12): 1109-1113, 1137.
- [19] 梁学振, 刘光波, 刘金豹, 等. 基于CT三维重建的激素性股骨头坏死患者股骨头坏死组织分布研究 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34(1): 57-62.
- [20] 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. *Orthop Surg.* 2021; 13(7): 2043-2050.
- [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 Orthop Surg Res.* 2021; 16(1): 728.
- [22] ZHANG Z, YU T, XIE L, et al. Biomechanical bearing-based typing method for osteonecrosis of the femoral head: ABC typing. *Exp Ther Med.* 2018; 16(3): 2682-2688.
- [23] ZHANG Y, TIAN K, MA X, et al. Analysis of damage in relation to different classifications of pre-collapse osteonecrosis of the femoral head. *J Int Med Res.* 2018; 46(2): 693-698.
- [24] 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. *Bone.* 2015; 81: 644-648.
- [25] WEN PF, GUO WS, ZHANG QD, et al. Significance of Lateral Pillar in Osteonecrosis of Femoral Head: A Finite Element Analysis. *Chin Med J (Engl).* 2017; 130(21): 2569-2574.
- [26] WANG P, WANG C, MENG H, et al. The Role of Structural Deterioration and Biomechanical Changes of the Necrotic Lesion in Collapse Mechanism of Osteonecrosis of the Femoral Head. *Orthop Surg.* 2022; 14(5): 831-839.
- [27] WANG C, WANG X, XU XL, et al. Bone microstructure and regional distribution of osteoblast and osteoclast activity in the osteonecrotic femoral head. *PLoS One.* 2014; 9(5): e96361.
- [28] XU J, ZHAN S, LING M, et al. Biomechanical analysis of fibular graft techniques for nontraumatic osteonecrosis of the femoral head: a finite element analysis. *J Orthop Surg Res.* 2020; 15(1): 335.
- [29] HUANG L, CHEN F, WANG S, et al. Three-dimensional finite element analysis of silk protein rod implantation after core decompression for osteonecrosis of the femoral head. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019; 20(1): 544.

(责任编辑: GD, ZN, QY, ZLJ)