

股骨颈骨折患者术后股骨头坏死的危险因素分析及列线图预测模型的构建

陈先伟

深圳出入境边防检查总站医院骨外科 广东 深圳 518000

【摘要】目的：构建并验证股骨颈骨折术后股骨头坏死的列线图预测模型。方法：选择2022年12月-2023年11月深圳出入境边防检查总站医院收治的100例行手术治疗的股骨颈骨折患者作为建模组，根据术后是否发生股骨头坏死分为A组（股骨头坏死组）和B组（非股骨头坏死组），比较两组基线资料，采用Logistic回归分析股骨头坏死的危险因素，并构建列线图预测模型，通过内部及外部验证评估模型的准确性、区分度和校准度。结果：本研究100例股骨颈骨折术后患者，随访1年共28例发生股骨头坏死，发生率为28%（28/100）。经Logistic回归分析，结果显示GardenIII/IV型骨折、复位不良、血红蛋白降低、CRP升高为股骨颈骨折术后股骨头坏死的影响因素（ $P < 0.05$ ）。基于上述因素构建的列线图模型内部验证显示C-index为0.75，校准曲线显示预测概率与实际观测概率拟合良好。ROC曲线分析显示该模型预测股骨头坏死的AUC为0.753（95%CI：0.644-0.862），具有较高的预测价值。外部验证模型C-index为0.744，提示模型具有较好的泛化能力。结论：本研究构建的列线图模型证实，GardenIII/IV型骨折、复位不良、血红蛋白降低和CRP升高是股骨颈骨折术后股骨头坏死的危险因素，模型具有良好的预测效能和临床适用性。

【关键词】：股骨颈骨折；股骨头坏死；危险因素；列线图；预测模型

DOI:10.12417/2705-098X.26.10.006

股骨颈骨折是临床常见的创伤性疾病，多由交通事故、高处坠落等损伤引起，其术后并发症中股骨头坏死的发生率较高，严重影响患者的生活质量及髋关节功能^[1]。由于股骨头坏死的进展具有隐匿性，早期预测和干预对改善预后至关重要。股骨头坏死的发生机制复杂，与多种因素相关^[2]。研究表明，股骨颈骨折术后股骨头坏死的发生受多重因素共同影响，与骨折位移情况、合并糖尿病、术前制动牵引等多种危险因素密切相关^[3]。

近年来，列线图（Nomogram）预测模型在骨科临床研究中得到广泛应用，它通过整合多因素回归分析结果，以可视化方式量化个体患者的风险，为临床决策提供依据^[4]。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择2022年12月-2023年11月深圳出入境边防检查总站医院收治的100例行手术治疗的股骨颈骨折患者作为建模组，根据术后是否发生股骨头坏死分为A组（股骨头坏死组）和B组（非股骨头坏死组），另于2023年12月-2024年5月纳入50例患者作为验证组，用于对预测模型的验证。

1.2 入选标准

纳入标准：①年龄 ≥ 18 岁；②经X线、CT等影像学检查

证实为股骨颈骨折；③凝血功能正常；④自主意识正常；⑤接受闭合复位或切开复位内固定手术治疗；⑥临床资料完整；⑦患者知情并同意参与本研究；⑧术后规范随访时间 ≥ 12 个月。

排除标准：①陈旧性、病理性或其它部位骨折者；②全身存在多处骨折者；③骨肿瘤畸形者；④术后骨不连者；⑤长期饮酒或服用激素类药物者；⑥不明原因发热或感染、急性心力衰竭或器官衰竭；⑦合并脊髓损伤者；⑧股骨颈骨折前已有股骨头坏死者。

1.3 方法

（1）资料收集方法：年龄、性别、体重指数、是否合并糖尿病、高血压、患侧、手术方式、受伤原因、骨折至手术时间、骨折分型（Garden分型）、负重时间、复位质量和血红蛋白、白蛋白、白细胞计数、C反应蛋白。

（2）股骨头坏死评估方法：查阅术后随访1年的资料，参考《中国成人股骨头坏死临床诊疗指南（2020）》^[5]，统计患者股骨头坏死发生情况，通过X线及MRI检查评估。符合以下任一标准即判定为股骨头坏死：①X线标准：股骨头出现新月征（软骨下透亮带）、囊性变或塌陷（股骨头轮廓不规则）；②MRI标准：T1WI显示股骨头负重区带状低信号，T2WI出现“双线征”（特异性表现）。所有影像学评估均由2名高年资骨科医师独立完成，意见不一致时由第三名主任医师仲裁。

作者简介：陈先伟，男，本科，主治医师，出生年月：1985-12-16，籍贯：广东梅州，研究方向：创伤骨科。

基金项目：罗湖区软科学研究计划项目（项目编号：LX202402032）。

基金项目：罗湖区软科学研究计划项目（项目编号：LX202402033）。

(3) 建立、验证模型方法: 采用 Logistic 回归分析股骨头坏死影响因素, 通过列线图构建预测模型, 采用 Bootstrap 法随机抽样 1000 次, 进行内部验证, 获得校准曲线, Hosmer-Lemeshow 拟合优度验证预测模型预测准确性, 受试者工作特征曲线 (ROC) 下面积 (AUC) 来评价列线图模型区分度。

1.4 统计学分析

采用 SPSS27.0 软件进行数据处理, 计量资料以均值±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 计数资料用百分比表示, 采用卡方 (χ^2) 检验, 采用 Logistic 回归分析检验影响因素, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。使用 R 语言绘制列线图, 采用 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验评价预测模型的拟合优度。

2 结果

2.1 术后股骨头坏死的发生情况

本研究 100 例股骨颈骨折术后患者, 随访 1 年共 28 例发生股骨头坏死, 发生率为 28% (28/100)。

2.2 股骨头坏死组与非股骨头坏死组患者资料比较

两组间 Garden 分型、复位质量、血红蛋白、CRP 比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 其余指标差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 1。

表 1 股骨头坏死组、无股骨头坏死组患者资料比较

变量名称	分类	股骨头坏死组(n=28)	无股骨头坏死组(n=72)	χ^2	P
年龄(岁)	≥60	18(64.29%)	38(52.78%)	1.084	0.298
	<60	10(35.71%)	34(47.22%)		
性别	男	17(60.71%)	30(41.67%)	2.936	0.087
	女	11(39.29%)	42(58.33%)		
体重指数(kg/m ²)	≥25	12(42.86%)	23(31.94%)	1.055a	0.304
	<25	16(57.14%)	49(68.06%)		
糖尿病	有	8(28.57%)	10(13.89%)	2.944	0.086
	无	20(71.43%)	62(86.11%)		
高血压	有	12(42.86%)	20(27.78%)	2.107	0.147
	无	16(57.14%)	52(72.22%)		
患侧	左	15(53.57%)	41(56.94%)	0.093	0.760
	右	13(46.43%)	31(43.06%)		
手术方式	闭合复位	18(64.29%)	50(69.44%)	0.247	0.620
	切开复位	10(35.71%)	22(30.56%)		

跌倒		16(57.14%)	52(72.22%)	2.143	0.342
受伤原因	交通事故	9(32.14%)	14(19.44%)		
	高处坠落	3(10.71%)	6(8.33%)		
骨折至手术时间(天)	≤3	14(50.00%)	46(63.89%)	1.620	0.203
	>3	14(50.00%)	26(36.11%)		
Garden 分型	III/IV型	22(78.57%)	32(44.44%)	9.452	0.002
	I/II型	6(21.43%)	40(55.56%)		
负重时间(月)	<3	13(46.43%)	20(27.78%)	3.172	0.075
	≥3	15(53.57%)	52(72.22%)		
复位质量	复位不良	10(35.71%)	2(2.78%)	20.710	<0.001
	解剖复位	18(64.29%)	70(97.22%)		
血红蛋白降低	是	18(64.29%)	20(27.78%)	11.405	<0.001
	否	10(35.71%)	52(72.22%)		
白蛋白降低	是	14(50.00%)	28(38.89%)	1.022	0.312
	否	14(50.00%)	44(61.11%)		
白细胞计数升高	是	16(57.14%)	27(37.50%)	3.174	0.075
	否	12(42.86%)	45(62.50%)		
C 反应蛋白升高	是	24(85.71%)	40(55.56%)	7.959	0.005
	否	4(14.29%)	32(44.44%)		

2.3 回归分析检验股骨颈骨折术后股骨头坏死的影响因素

经 Logistic 回归分析, 结果显示 GardenIII/IV型骨折、复位不良、血红蛋白降低、CRP 升高为股骨颈骨折术后股骨头坏死的影响因素 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 回归分析检验股骨颈骨折术后股骨头坏死的影响因素

因素	B	SE	Wald	P	OR	95%CI
GardenIII/IV型骨折	1.522	0.518	8.636	0.003	4.583	1.660-12.652
复位不良	2.968	0.818	13.147	<0.001	19.444	3.910-96.706
血红蛋白降低	1.543	0.474	10.596	0.001	4.680	1.848-11.853
CRP 升高	1.569	0.590	7.072	0.008	4.800	1.511-15.252

2.4 构建股骨头坏死预测模型并绘制列线图

基于上述危险因素 GardenIII/IV型骨折、复位不良、血红

蛋白降低、CRP 升高构建股骨头坏死预测模型，并绘制列线图（图1）。总分 0-180 分，股骨头坏死风险 0.1-0.8。

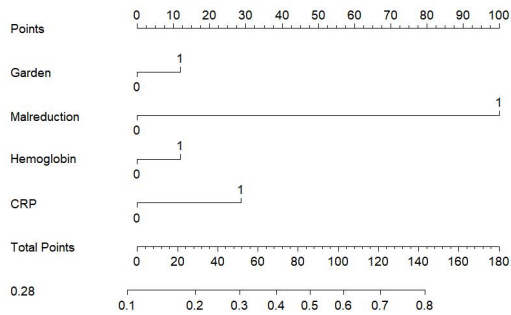


图1 股骨头坏死预测模型的列线图

2.5 预测模型内外部验证

内部验证：校准曲线显示（图2），预测概率与实际观测概率拟合良好。Bootstrap 法（1000 次重采样）验证显示 C-index 为 0.75，表明模型区分度良好。ROC 曲线分析显示（见图4），该模型预测股骨头坏死的 AUC 为 0.753（95%CI: 0.644-0.862），具有较高的预测价值。外部验证：在 50 例独立验证组中，模型 C-index 为 0.744（95%CI: 0.612-0.826），提示模型具有较好的泛化能力。

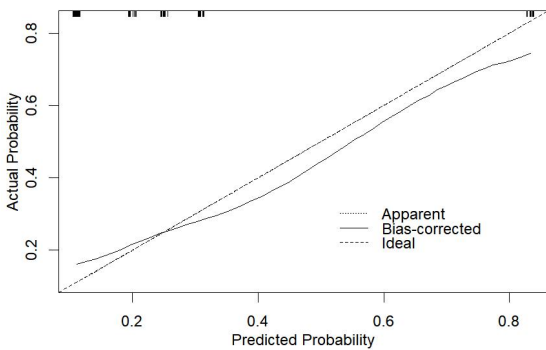


图2 股骨头坏死预测模型的校准曲线

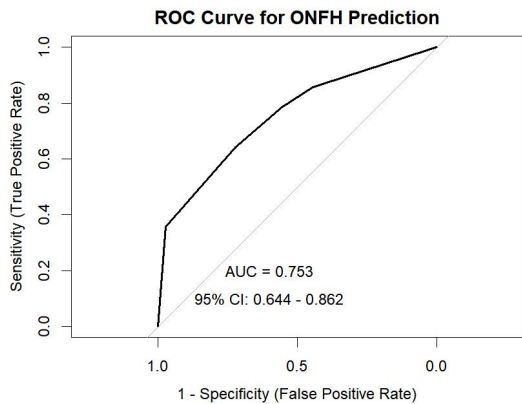


图3 股骨头坏死预测模型的 ROC 曲线

3 讨论

股骨颈骨折作为常见的髋部损伤，尤其在老年人群中发生率较高，其术后并发症尤其是股骨头坏死严重影响患者预后和生活质量^[6]。尽管手术治疗已成为主要干预手段，但术后股骨头坏死的发生率仍居高不下，给临床治疗带来巨大挑战。

本研究 100 例股骨颈骨折术后患者，随访 1 年共 28 例发生股骨头坏死，发生率为 28%（28/100）。经 Logistic 回归分析，结果显示 GardenIII/IV 型骨折、复位不良、血红蛋白降低、CRP 升高为股骨颈骨折术后股骨头坏死的影响因素（ $P < 0.05$ ）。具体分析如下：

（1）GardenIII/IV 型骨折：股骨头的血液供应主要依赖旋股内、外侧动脉的分支，尤其是外侧骨骺动脉（终末支），而 GardenIII/IV 型骨折的严重移位可导致这些血管的撕裂或受压，使股骨头血供中断。此外，骨折移位还会破坏关节囊内的血管网络，进一步加重缺血。即使手术复位固定后，受损的血管可能无法完全恢复血流，导致骨细胞缺血性死亡，最终引发股骨头塌陷和坏死。

（2）复位不良：解剖复位是股骨颈骨折手术的关键目标，精确复位对维持血供至关重要，而复位不良导致骨折端接触面积减少，影响骨愈合的生物力学稳定性，使固定失效风险增加。此外，复位不良可能造成关节内压力异常升高，压迫股骨头残存的血供，进一步加重缺血，增加股骨头坏死风险。

（3）血红蛋白降低：血红蛋白降低作为全身性因素，通过减少血液携氧能力直接影响股骨头的代谢需求。股骨头作为人体主要承重关节，其高能量消耗依赖于充足的氧供维持细胞功能，股骨颈骨折后，股骨头本就处于缺血状态，贫血状态下骨细胞因缺氧更易发生凋亡，同时低氧环境会激活缺氧诱导因子通路，虽然短期可促进血管生成，但长期缺氧会导致促炎因子释放增加，加剧局部炎症反应和组织损伤；此外，贫血常伴随营养不良状态，进一步削弱了骨修复所需的原料供应和细胞再生能力，血液携氧能力进一步降低，使缺血区域的骨细胞更易发生坏死。

（4）CRP 升高：CRP 升高则反映了全身炎症反应的激活程度，骨折后急性期 CRP 水平适度升高是正常的修复反应，但持续高水平的 CRP 提示炎症反应过度或迁延不愈。高浓度 CRP 可直接损伤血管内皮细胞，促进血小板聚集和微血栓形成，加重股骨头微循环障碍；同时 CRP 作为促炎介质，会诱导基质金属蛋白酶表达增加，加速软骨和骨基质降解，破坏骨结构完整性；慢性炎症状态会抑制成骨细胞分化并促进破骨细胞活性，使骨吸收超过骨形成，最终导致骨坏死区域扩大和修复能力下降。

综上所述，本研究构建的列线图模型证实，GardenIII/IV 型骨折、复位不良、血红蛋白降低和 CRP 升高是股骨颈骨折术

后股骨头坏死的危险因素，模型具有良好的预测效能和临床适用性。

参考文献:

- [1] 王焕,韩春霞,艾自胜.股骨颈骨折术后股骨头坏死率及相关危险因素的 Meta 分析[J].中国骨伤,2022,35(4):390-399.
- [2] 窦志刚,王功磊,庞寅田,等.股骨颈骨折内固定术后股骨头坏死与血清骨代谢及血管活性因子的关系及危险因素探究[J].中国骨伤,2021,34(3):215-219.
- [3] 付志强,王巍,何飞熊,等.股骨颈骨折术后早期股骨头坏死影响因素分析及列线图预测模型构建[J].中国骨伤,2024,37(7):694-699.
- [4] 郑美亮,李克鹏,帖小佳,等.股骨颈骨折患者空心螺钉内固定术后股骨头坏死的危险因素及其预测模型构建[J].创伤外科杂志,2023,25(5):354-360.
- [5] 中国医师协会骨科医师分会骨循环与骨坏死专业委员会,中华医学会骨科分会骨显微修复学组,国际骨循环学会中国区.中国成人股骨头坏死临床诊疗指南(2020)[J].中华骨科杂志,2020,40(20):1365-1376.
- [6] 冀家琛,陈豪杰,杨博,等.股骨颈动力交叉钉系统内固定治疗股骨颈骨折术后早期股骨头坏死的危险因素分析[J].中国修复重建外科杂志,2023,37(2):162-167.