

· 论著 ·

儿童肱骨外髁骨折手术后外髁缺血性坏死的危险因素分析



全文二维码

林基 潘源城 林然 黄鸿哲 林伟凡 陈顺有

福州市第二总医院小儿骨科,福州 350007

通信作者:陈顺有,Email:csy508@163.com

【摘要】 目的 探讨儿童肱骨外髁骨折手术后肱骨外髁缺血性坏死的危险因素。**方法** 回顾性分析 2018 年 1 月至 2021 年 12 月在福州市第二总医院采用手术治疗的 337 例儿童肱骨外髁骨折患者临床资料。随访过程中通过 X 线片评估是否发生肱骨外髁缺血性坏死 (avascular necrosis, AVN), 并以其作为因变量, 以年龄、性别、侧别、BMI、Weiss 分型、初始位移、骨折块是否翻转、术后移位程度、受伤至手术时间、手术时长、术中造影以及复位方式作为自变量, 进行单因素 Logistic 回归分析。针对单因素 Logistic 回归分析中 $P \leq 0.1$ 的自变量, 再采用多因素 Logistic 回归分析进一步筛选 AVN 的危险因素, 绘制受试者操作特征 (receiver operator characteristic, ROC) 曲线评价模型, 并得出最佳截断值。**结果** 337 例患儿中, 7 例 (2.1%, 7/337) 术后发生 AVN。单因素分析结果提示, AVN 组与无 AVN 组患儿的年龄 [2 (1, 4) 岁比 4 (3, 6) 岁]、初始移位距离 [14.8 (11.3, 15.8) mm 比 6.1 (3.7, 12.1) mm]、AVN 患儿骨折块翻转率 (6/7 比 76/330) 比较, 差异有统计学意义 ($P \leq 0.1$); 两组性别、侧别、BMI、Weiss 分型、术后移位程度、受伤至手术时间、手术时长、术中关节腔造影以及复位方式比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。多因素 Logistic 回归分析结果提示, AVN 的独立危险因素包括: 年龄偏小 ($OR = 1.953, 95\% CI: 1.065 \sim 3.571$)、骨折块翻转 ($OR = 29.413, 95\% CI: 1.138 \sim 760.015$)。ROC 曲线下面积为 0.7766, 年龄 2.5 岁是该预测模型的最佳截断值; 年龄 < 2.5 岁组和年龄 ≥ 2.5 岁组患儿的 AVN 发生率 (7.0% 比 1.1%) 差异有统计学意义 ($P = 0.017$)。**结论** 年龄偏小、骨折块翻转是儿童肱骨外髁骨折术后肱骨外髁缺血性坏死的独立危险因素。年龄 2.5 岁可以作为最佳截断值用于预测 AVN 的发生。

【关键词】 肱骨外髁骨折; 缺血性坏死; 危险因素; 外科手术; 儿童

基金项目: 福建省创伤骨科急救与康复临床医学研究中心 (2020Y2014); 福建省福州市临床重点专科 (20220104)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202405048-006

Risk factors for avascular necrosis after lateral humeral condyle fracture

Lin Ji, Pan Yuancheng, Lin Ran, Huang Hongzhe, Lin Weifan, Chen Shunyou

Department of Pediatric Orthopedics, Fuzhou Second General Hospital, Fuzhou 350007, China

Corresponding author: Chen Shunyou, Email: csy508@163.com

【Abstract】 Objective To explore the risk factors for avascular necrosis (AVN) after surgery for lateral humeral condyle fracture in children. **Methods** From January 2018 to December 2021, retrospective analysis was conducted for the relevant clinical data of 337 children with lateral humeral condyle fractures. Follow-up radiography was performed for assessing the occurrence of AVN of lateral humeral condyle. Univariate Logistic analysis was performed for age, gender, sidedness of fracture, body mass index (BMI), Weiss classification, initial displacement, fracture fragment rotation, degree of postoperative displacement, time from injury to surgery, duration of surgery, intraoperative arthrography and reduction mode. Variables with $P \leq 0.1$ in univariate analysis were further examined. And multivariate Logistic regression was utilized for identifying independent risk factors for AVN. Receiver operator characteristic (ROC) curve analysis was employed for validating the model and determining the optimal predictive cutoff value. **Results** AVN occurred postoperatively in 2.1% (7/337). Univariate analysis indicated that statistically significant inter-group differences ($P \leq 0.1$) existed in age [2 (1, 4) vs. 4 (3, 6) year], initial displacement distance [14.8 (11.3, 15.8) vs. 6.1 (3.7, 12.1) mm] and fracture frag-

ment rotation rate (6/7 vs. 76/330). No statistically significant differences existed in gender, sidedness of fracture, BMI, Weiss classification, degree of postoperative displacement, time from injury to surgery, operative duration, intraoperative imaging or reduction mode ($P > 0.05$). Multivariate Logistic regression analysis revealed that younger age ($OR = 1.953, 95\% CI: 1.065 - 3.571$) and fracture fragment rotation ($OR = 29.413, 95\% CI: 1.138 - 760.015$) were independent risk factors for the occurrence of AVN. The area under the ROC curve (AUC) was 0.7766 and 2.5 years of age was an optimal cutoff value for this predictive model. Chi-square test showed a statistically significant difference ($P = 0.017$) in the incidence of AVN between children aged < 2.5 year and those aged 2.5 year or above (7.0% vs. 1.1%). **Conclusions** Younger age and fragment rotation are independent risk factors for AVN after surgery for lateral humeral condyle fracture. An age of 2.5 year may be used as an optimal cutoff for predicting the occurrence of AVN.

【Key words】 Lateral Humeral Condyle Fracture; Avascular Necrosis; Risk Factors; Surgical Procedures, Operative; Child

Fund program: Fujian Provincial Clinical Medical Research Center for First Aid and Rehabilitation in Orthopedic Trauma (2020Y2014); Key Clinical Specialty Discipline Construction Program of Fuzhou Municipality (20220104)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202405048-006

儿童肱骨外髁骨折是第二常见的儿童肘关节骨折,发病率仅次于肱骨髁上骨折,占有儿童上肢骨折的12%~20%^[1]。此类骨折通常发生在4~10岁儿童中,其中以6岁儿童发病率最高^[2]。肱骨外髁骨折最常见损伤机制是在肘部伸直、前臂旋后时内翻,伸肌总腱的牵拉致外髁骨折(拉脱机制),也有少数肘部外翻直接撞击导致外髁骨折(推离机制)^[3]。由于骨折累及关节面,因此对于复位要求较高,治疗的目的是恢复关节面平整,以最大限度减少对关节功能的影响。儿童肱骨外髁骨折有多种分型方式,包括Milch分型、Jakob分型、Song分型以及Weiss分型^[4-7]。Weiss按照骨折块移位的情况和软骨铰链损伤的情况对骨折进行分型:I型骨折移位小于2 mm;II型骨折移位大于2 mm,但软骨铰链完整;III型骨折移位大于2 mm,且软骨铰链不完整。现有文献中报道的肱骨外髁骨折后常见并发症包括骨折不愈合、畸形愈合、生长停滞、过度生长和迟发性尺神经麻痹^[1,8-10]。这些并发症大多与移位程度、治疗方式、手术入路、切开复位及固定时间有关^[11-12]。肱骨外髁缺血性坏死(avascular necrosis, AVN)是儿童肱骨外髁骨折手术后较为罕见的并发症,具体发生机制尚不明确。目前相关文献报道很少,缺乏有关其预防、治疗及长期随访的数据。肱骨外髁的缺血性坏死可能会导致肘关节疼痛、肿胀、活动度下降及肘外翻畸形^[13]。骨坏死最终可能导致骨折不愈合,如果骨折愈合,那么外侧髁坏死部分再骨化的过程需要多年,类似Legg-Calve-Perthes病的病理变化。本研究旨在明确肱骨外髁

骨折手术后发生肱骨外髁坏死的危险因素,指导规范治疗儿童肱骨外髁骨折,减少并发症的发生。

资料与方法

一、研究对象及基本情况

回顾性分析2018年1月至2021年12月期间在福州市第二总医院住院并采取手术治疗的337例儿童肱骨外髁骨折患者临床及影像资料。其中男234例,女103例;左侧194例,右侧143例;年龄(4.6 ± 1.8)岁(范围1~12岁);根据Weiss分型,II型103例,III型234例;受伤至手术时间(3.9 ± 3.9)d(范围1~21 d);复位方式:闭合复位74例,切开复位263例;骨折初始移位距离(8.3 ± 6.0)mm(范围2.0~33.2 mm);其中82例骨折块翻转。本研究符合福州市第二总医院制定的伦理学标准(2024198),患儿家属均知情同意。

二、治疗方式

所有患儿采用全身麻醉+神经阻滞麻醉,取平卧位。治疗方法根据闭合复位后骨折移位程度决定。尝试手法整复后采用1枚1.6 mm克氏针经皮穿入骨折块跨骺板固定至对侧皮质,C臂机术中透视复查肘关节正位、侧位及斜位片,若骨折移位 < 2 mm则继续采用2枚1.6 mm克氏针跨骺板固定,3枚克氏针呈扇形展开分布;若复位后骨折移位仍 > 2 mm,则行切开复位内固定术。取肘关节外侧弧形切口(5~6 cm),分离皮下组织,在肱桡肌和肱三头肌间隙进入,分离至肱骨外髁。分离伸肌总腱纤

维,显露肘关节前方部分。冲洗关节,清理关节内的血肿。复位骨块,以巾钳维持复位,取3枚光滑克氏针,自皮肤外侧穿入骨块进入内侧干骺端直至对侧皮质固定。冲洗并缝合切口。术后患肢长臂石膏托固定。

三、随访方式

分别于术后1天、2周、4周、6周、3个月、6个月、9个月、1年及末次随访时拍摄肘关节正、侧、斜位X线片。一般术后4~6周观察到骨折线模糊后拆除石膏并去除克氏针,指导患儿家属开始功能锻炼,直至恢复正常活动。

四、影像学评估方法

在正位及斜位X线片上测量肱骨远端外侧干骺端皮质到骨折端外侧皮质的距离作为移位距离。骨折块轴向旋转移位超过 90° 定义为骨块翻转。AVN的诊断依据是X线片表现为进行性透明或初始硬化,随后受累区域出现进行性透明,伴或不伴软骨下骨折或塌陷。由两名中级职称以上小儿骨科医师判读AVN,若存在分歧,则由另一名副高级职称以上医师负责判读。

五、统计学处理

采用SPSS 26.0进行统计学分析。计量资料首先采用Shapiro-Wilk检验进行正态分布检验,服从正态分布和方差齐性的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,不服从正态分布、不满足方差齐性的计量资料采用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。定性资料采用频数、构成比描述,

组间比较采用 χ^2 检验,不符合 χ^2 检验使用条件时采用Fisher确切概率法。将性别、年龄、侧别、BMI是否翻转、术前移位、Weiss分型、是否切开复位、受伤至手术时间、手术时长、是否关节腔造影等变量分别进行单因素Logistic回归分析。将单因素分析中 $P \leq 0.1$ 的自变量纳入多因素Logistic回归方程,分析确认AVN的危险因素。将得到的连续性变量绘制受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线计算曲线下面积,并获得最佳截断值。检验水准 α 值取双侧0.05。

结 果

337例均获得随访,随访时间(45.6 ± 14.5)个月(范围21~70个月),骨折均骨性愈合。7例发生AVN(为AVN组),余330例为无AVN组。7例AVN中2例疼痛伴伸直活动受限,经过6个月康复锻炼后恢复正常;1例关节活动弹响;其余4例无任何症状及体征。典型病例见图1。

单因素Logistic回归分析结果提示,年龄、初始移位距离、骨折块是否翻转是肱骨外髁坏死的相关因素($P \leq 0.1$);而AVN组和无AVN组之间性别、侧别、BMI、Weiss分型、术后移位程度、受伤至手术时间、手术时长、是否术中关节腔造影以及复位方式比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表1。



注 A、B:分别为术前肘关节正、斜位,肱骨外髁 Weiss III型伴尺骨鹰嘴骨折; C、D:为术后1天肘关节正侧位,见骨折复位良好; E、F:为术后6周骨折愈合良好,拔除克氏针; G、H:术后6个月肱骨小头密度减低,局部出现塌陷; I、J:术后6年随访见肱骨外髁形态不规则,肱骨小头密度稍不均

图1 1例2岁摔伤导致左肘损伤的男性患儿图片

Fig. 1 Radiographic films of a 2-year-old male child with left elbow injury caused by a fall

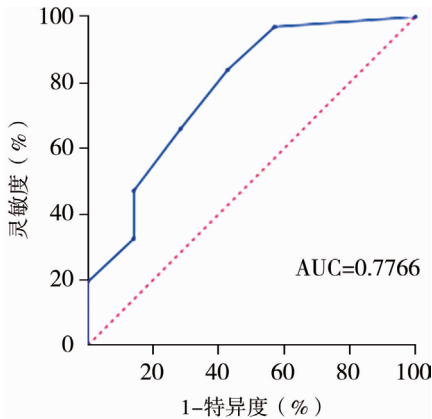
表 1 两组肱骨外髁骨折患儿一般资料比较

Table 1 Comparison of general profiles between two groups of children with or without AVN

相关因素	年龄	性别(例)		侧别(例)		BMI	Weiss 分型(例)		初始移位距离
	[<i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃),岁]	男	女	左	右	[<i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃),kg/m ²]	Ⅱ型	Ⅲ型	[<i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃),mm]
AVN 组(<i>n</i> = 7)	2(1,4)	5	2	4	3	16.6(15.4,18.7)	0	7	14.8(11.3,15.8)
无 AVN 组(<i>n</i> = 330)	4(3,6)	229	101	190	140	16.4(15.5,17.3)	103	227	6.1(3.7,12.1)
统计量	<i>Z</i> = 5.747	χ^2 = 0.013		χ^2 = 0.001		<i>Z</i> = 0.067	χ^2 = 0.000		<i>Z</i> = 5.315
<i>P</i> 值	0.017	0.908		0.982		0.796	0.996		0.021
相关因素	骨折块是否翻转		术后移位程度		受伤至手术时间	手术时长	术中关节腔造影		复位方式(例)
	无翻转	有翻转	[<i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃),mm]		[<i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃),d]	[<i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃),h]	无造影	有造影	闭合复位 切开复位
AVN 组(<i>n</i> = 7)	1	6	1.8(0.9,2.4)		4(2,6)	0.58(0.50,0.75)	6	1	0 7
无 AVN 组(<i>n</i> = 330)	254	76	1.6(1.2,2.2)		2(2,4)	0.50(0.42,0.67)	270	60	74 256
统计量	χ^2 = 7.595		<i>Z</i> = 0.541		<i>Z</i> = 0.199	<i>Z</i> = 0.481	χ^2 = 0.070		χ^2 = 0.000
<i>P</i> 值	0.006		0.462		0.656	0.488	0.792		0.997

注 BMI: 身体质量指数; AVN: 缺血性坏死

将单因素分析结果中 $P \leq 0.1$ 的结果(年龄、初始移位距离、骨折块是否翻转)进行多因素 Logistic 回归分析,结果提示年龄偏大($OR = 0.512, 95\% CI: 0.28 \sim 0.939$)是 AVN 的独立保护因素,骨折块翻转($OR = 29.413, 95\% CI: 1.138 \sim 760.015$)是 AVN 的独立危险因素。换言之,年龄偏小是 AVN 的独立危险因素($OR = 1.953, 95\% CI: 1.065 \sim 3.571$)。见表 2。



注 AVN: 缺血性坏死; ROC: 受试者操作特征
图 2 年龄预测 AVN 的 ROC 曲线
Fig. 2 ROC curve for age prediction of AVN

将 Logistic 回归分析结果的连续变量(年龄)纳入 ROC 曲线分析。ROC 曲线分析结果提示,曲线下面积为 0.7766 ($95\% CI: 0.5840 \sim 0.9693, P = 0.0122$),提示该模型预测价值中等(图 2)。当年龄为 2.5 岁时约登指数最大,提示年龄 2.5 岁可作为该模型的最佳截断值(表 3)。年龄 < 2.5 岁时 AVN 发生率为 7.0% (4/57),明显高于年龄 ≥ 2.5 岁的 1.1% (3/280),差异有统计学意义($P = 0.017$)。

讨论

儿童肱骨外髁骨折后发生肱骨外髁 AVN 是一种罕见的并发症。本研究中肱骨外髁骨折损伤后 AVN 的总体发生率为 2.1% (7/337),肱骨外髁 AVN 的发生和年龄以及骨折翻转相关。年龄偏小是肱骨外髁 AVN 的危险因素,意味着年龄越小的患儿出现肱骨外髁坏死的概率越大。年龄每降低 1 岁则 AVN 的风险升高 1.953 倍($OR = 1.953, 95\% CI: 1.065 \sim 3.571$)。通过计算 ROC 曲线上不同年龄层的约登指数,选出最佳临界点为 2.5 岁。年龄小于 2.5 岁预测发生肱骨外髁骨折手术后 AVN 的灵敏度和特异度最高。需要重点关注此类患儿,加强随访。

对于骨折块出现翻转的患儿而言,发生 AVN 的风险显著增加($OR = 29.413, 95\% CI: 1.138 \sim 760.015$),提示骨折块出现翻转是 AVN 的危险因素。这可能是由于骨折块的翻转导致营养肱骨外髁的血管扭转,缺血及缺血再灌注的损伤导致了肱骨外髁坏死。Shabtai 等^[13]一项纳入了 500 例肱骨外髁骨折的研究中,1.4% 的患者出现了 AVN,与本研究结果接近(2.1%),区别在于该研究囊括了保守治疗的患者,而本研究只纳入了接受手术的患者。在 Shabtai 等^[13]的研究中,高能量损伤以及需要切开复位是肱骨外髁 AVN 的危险因素,这与本研究的结论不一致,但并不矛盾。高能量的损伤通常导致更为严重的骨折移位甚至出现骨折块的翻转,而切开复位也通常用于移位较大的骨折。

在单因素分析结果中,骨折初始移位距离与 AVN 的发生相关($P = 0.021$),但多因素 Logistic 回

表 2 肱骨外髁 AVN 影响因素的多因素 Logistic 回归分析结果

Table 2 Results of multivariate Logistic regression analysis of AVN influencing factors

指标	β 值	标准误	Wald χ^2 值	P 值	OR 值	OR 值 95% CI	
						下限	上限
年龄	-0.669	0.309	4.676	0.031	0.512	0.280	0.939
初始移位距离	-0.045	0.122	0.136	0.712	0.956	0.752	1.215
骨折块是否翻转	3.381	1.659	4.154	0.042	29.413	1.138	760.015

注 AVN:缺血性坏死

表 3 不同年龄预测 AVN 的 ROC 曲线最佳截断值分析

Table 3 Analysis of optimal cut-off value of ROC curve for age prediction of AVN

年龄(岁)	灵敏度(%)	特异度(%)	约登指数	年龄(岁)	灵敏度(%)	特异度(%)	约登指数
>1.5	96.97	42.86	0.3983	>7.5	11.52	100.00	0.1152
>2.5	83.94	57.14	0.4108	>8.5	4.848	100.00	0.0485
>3.5	66.06	71.43	0.3749	>9.5	2.424	100.00	0.0242
>4.5	47.27	85.71	0.3298	>10.5	1.212	100.00	0.0121
>5.5	32.73	85.71	0.1844	>11.5	0.303	100.00	0.0030
>6.5	19.39	100.00	0.1939				

注 AVN:缺血性坏死

归分析结果提示初始移位距离不是 AVN 的独立危险因素($P=0.956$)。这意味着初始移位距离在单因素分析中的显著性可能是由于骨块翻转这个因素的混杂偏倚所致。

本研究把是否切开复位同样纳入了分析,但单因素分析结果中,切开复位并不是 AVN 的危险因素。这可能与手术操作技术相关,本研究在术中有意识地保护肱骨外髁后侧的软组织。Yang 等^[14]在儿童尸体标本中分析了肱骨远端骨骺的微循环, Kimball 等^[15]分析了成人标本中的肱骨远端骨骺血供情况。两项研究均发现,肱骨远端外侧柱的血液供应来自后方血管。所以在对肱骨外髁骨折进行切开复位手术时,不要进行后方软组织剥离。Silva 等^[16]的一项纳入了 191 例肱骨外髁骨折患者的研究对比了切开复位和闭合复位两种复位方式的肱骨外髁坏死发生率,二者差异没有统计学意义。由此可见,在充分保护后侧软组织、减少血管损伤的前提下,切开复位并不会增加肱骨外髁坏死的风险。

本研究采用了 Weiss 分型进行骨折分类,因为这是一个同时将骨折移位程度和关节面平整度纳入考量的分型,具有更好的并发症预测能力^[7]。在总并发症风险上,Ⅲ型骨折的发生率是Ⅱ型骨折的 3 倍^[7]。本研究中也纳入了Ⅱ型和Ⅲ型的患者,虽然发生 AVN 的 7 例患者均为Ⅲ型骨折,但本研究 Logistic 回归分析结果提示,分型并不是发生肱骨外髁坏死的危险因素($P=0.996$)。

本研究将受伤至手术时间纳入单因素分析,评估延迟治疗是否会增加肱骨外髁 AVN 的发生率。尽管 AVN 组的受伤至手术时间为 4(2,6)d,无 AVN 组的受伤至手术时间为 2(2,4)d,但单因素 Logistic 回归分析结果提示受伤至手术时间不是肱骨外髁 AVN 的危险因素($P=0.656$)。Silva 等^[17]纳入了 181 例患者,对比了受伤后 7 d 内(4/133)和受伤后 7~14 d(1/48)进行切开复位克氏针内固定术治疗的肱骨外髁骨折的 AVN 发生率,提示延迟治疗并不会增加 AVN 的风险,与本研究结果一致。

袁悦等^[18]描述了一例严重的肱骨外髁坏死的病例,该患者出现了肘关节的活动受限和肘外翻畸形。值得庆幸的是,本研究中只有 2 例患儿出现了肘关节伸直活动受限伴有轻微的疼痛,在经过 6 个月的康复功能锻炼后均恢复了正常的活动度,其余患者都没有明显的症状。本研究的临床结果和 Shabtai 等^[13]的研究一致。即便 X 线片上出现了 AVN 的影像学表现,也不意味着最终的临床结果差。

本研究仍存在较多不足之处:第一,本研究为回顾性研究,病例数少,特别是 AVN 组病例数只有 7 例。第二,只纳入住院的手术患者,对于在门诊行保守治疗患者未予记录及分析,病例选择可能存在偏倚。第三,本研究为单中心研究。针对这些不足,希望今后通过完善的大样本多中心前瞻性研究来提供更加可靠的结果。

总而言之,年龄偏小和骨折块翻转是儿童肱骨外髁骨折手术后 AVN 的危险因素,特别是年龄低于

2.5 岁患者,对于此类患者要重点关注,术前强调风险,术后加强随访。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 林基负责研究设计、病例数据收集及分析、论文撰写;潘源城负责协助研究方案改进;林然负责手术指导;黄鸿哲、林伟凡负责病例数据收集;陈顺有负责研究设计与酝酿、论文修改

参 考 文 献

- [1] Zhang SY, Tan SHS, Lim AKS, et al. Surgical outcomes in paediatric lateral condyle non-union: a systematic review and meta-analysis[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2022, 108(1): 102933. DOI: 10. 1016/j. otrs. 2021. 102933.
- [2] Abzug JM, Dua K, Kozin SH, et al. Current concepts in the treatment of lateral condyle fractures in children[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2020, 28(1): e9-e19. DOI: 10. 5435/jaaos-d-17-00815.
- [3] 林凤飞, 陈顺有. 儿童肘部损伤的诊治[J]. 中华创伤骨科杂志, 2023, 25(2): 104-107. DOI: 10. 3760/cma. j. cn115530-20230206-00069.
Lin FF, Chen SY. Diagnosis and treatment of elbow injury in children[J]. Chin J Orthop Trauma, 2023, 25(2): 104-107. DOI: 10. 3760/cma. j. cn115530-20230206-00069.
- [4] Milch H. Fractures and fracture dislocations of the humeral condyles[J]. J Trauma, 1964, 4: 592-607. DOI: 10. 1097/00005373-196409000-00004.
- [5] Jakob R, Fowles JV, Rang M, et al. Observations concerning fractures of the lateral humeral condyle in children[J]. J Bone Joint Surg Br, 1975, 57(4): 430-436.
- [6] Song KS, Waters PM. Lateral condylar humerus fractures: which ones should we fix? [J]. J Pediatr Orthop, 2012, 32(Suppl 1): S5-S9. DOI: 10. 1097/BPO. 0b013e318257642a.
- [7] Weiss JM, Graves S, Yang S, et al. A new classification system predictive of complications in surgically treated pediatric humeral lateral condyle fractures[J]. J Pediatr Orthop, 2009, 29(6): 602-605. DOI: 10. 1097/BPO. 0b013e3181b2842c.
- [8] Cates RA, Mehlman CT. Growth arrest of the capitellar physis after displaced lateral condyle fractures in children[J]. J Pediatr Orthop, 2012, 32(8): e57-e62. DOI: 10. 1097/BPO. 0b013e31826bb0d5.
- [9] Morgan SJ, Beaver WB. Nonunion of a pediatric lateral condyle fracture without ulnar nerve palsy: sixty-year follow-up[J]. J Orthop Trauma, 1999, 13(6): 456-458. DOI: 10. 1097/00005131-199908000-00011.
- [10] Sanders J, Goldstein RY. Open reduction and pin fixation of pediatric lateral humeral condylar fractures[J]. JBJS Essent Surg Tech, 2020, 10(4): e19. 00066. DOI: 10. 2106/JBJS. ST. 19. 00066.
- [11] Bridges CS, Taylor TN, Pang LK, et al. Infection and nonunion following operative treatment of lateral humeral condyle fractures[J]. J Pediatr Orthop, 2023, 43(7): e502-e507. DOI: 10. 1097/BPO. 0000000000002438.
- [12] Pace JL, Arkader A, Sousa T, et al. Incidence, risk factors, and definition for nonunion in pediatric lateral condyle fractures[J]. J Pediatr Orthop, 2018, 38(5): e257-e261. DOI: 10. 1097/BPO. 0000 000000001153.
- [13] Shabtai L, Lightdale-Miric N, Rounds A, et al. Incidence, risk factors and outcomes of avascular necrosis occurring after humeral lateral condyle fractures[J]. J Pediatr Orthop B, 2020, 29(2): 145-148. DOI: 10. 1097/BPB. 0000000000000698.
- [14] Yang Z, Wang Y, Gilula LA, et al. Microcirculation of the distal humeral epiphyseal cartilage: implications for post-traumatic growth deformities[J]. J Hand Surg Am, 1998, 23(1): 165-172. DOI: 10. 1016/S0363-5023(98)80107-X.
- [15] Kimball JP, Glowczewskie F, Wright TW. Intraosseous blood supply to the distal humerus[J]. J Hand Surg Am, 2007, 32(5): 642-646. DOI: 10. 1016/j. jhsa. 2007. 02. 019.
- [16] Silva M, Cooper SD. Closed reduction and percutaneous pinning of displaced pediatric lateral condyle fractures of the humerus: a cohort study[J]. J Pediatr Orthop, 2015, 35(7): 661-665. DOI: 10. 1097/BPO. 0000000000000376.
- [17] Silva M, Paredes A, Sadlik G. Outcomes of ORIF > 7 days after injury in displaced pediatric lateral condyle fractures[J]. J Pediatr Orthop, 2017, 37(4): 234-238. DOI: 10. 1097/BPO. 000000 00000000640.
- [18] 袁悦, 管之也, 孙军, 等. 切开复位与闭合复位经皮克氏针固定治疗儿童 Song III 型肱骨外髁骨折的对比研究[J]. 临床小儿外科杂志, 2022, 21(6): 540-545. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202108034-008.
Yuan Y, Guan ZY, Sun J, et al. A comparative study of open reduction versus closed reduction plus percutaneous Kirschner wire fixation for Song III lateral humeral condylar fractures in children[J]. J Clin Ped Sur, 2022, 21(6): 540-545. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202108034-008.

(收稿日期: 2024-05-23)

本文引用格式: 林基, 潘源城, 林然, 等. 儿童肱骨外髁骨折手术后外髁缺血性坏死的危险因素分析[J]. 临床小儿外科杂志, 2024, 23(11): 1029-1034. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202405048-006.

Citing this article as: Lin J, Pan YC, Lin R, et al. Risk factors for avascular necrosis after lateral humeral condyle fracture[J]. J Clin Ped Sur, 2024, 23(11): 1029-1034. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202405048-006.