

· 临床论著 ·

弹性髓内钉固定儿童长度不稳与稳定胫骨干骨折[△]

高志鹏, 郭海滨*, 路真, 壮华, 尹龙, 邹晶莹, 曹秉, 贺早, 许丽玲, 李怀亮, 杨港

(南通大学附属常州儿童医院骨科, 江苏常州 213000)

摘要: [目的] 比较弹性髓内钉 (elastic stable intramedullary nail, ESIN) 固定儿童长度不稳定与稳定胫骨干骨折的临床效果。[方法] 回顾性分析 2016 年 1 月—2021 年 11 月收治于本院采用弹性髓内钉治疗的 84 例胫骨干骨折患儿资料, 其中, 不稳定骨折 32 例, 稳定骨折 52 例。比较两组围手术期、随访及影像结果。[结果] 两组患儿手术时间、切口总长度、术中失血量、切口愈合等级、住院时间的差异均无统计学意义 ($P>0.05$), 不稳定组术中透视次数显著多于稳定组 [(12.4±1.5) 次 vs (10.3±1.7) 次, $P<0.05$]。随访时间平均 (13.3±2.3) 个月, 两组患者恢复术后完全负重时间的差异无统计学意义 ($P>0.05$)。随术后时间推移, 两组 AOFAS 评分、踝背伸-跖屈 ROM 均显著增加 ($P<0.05$)。相应时间点, 两组 AOFAS 评分和踝背伸-跖屈 ROM 的差异均无统计学意义 ($P>0.05$), 末次随访时, 两组 Johner-Wruh 评级的差异无统计学意义 ($P>0.05$), 两组患者步态和下蹲活动均正常。影像方面, 与术前相比, 术后两组胫骨对位对线、双侧胫骨长度差 (leg length discrepancy, LLD) 和胫骨成角均显著改善 ($P<0.05$)。术后即刻不稳定组胫骨对位对线 [优/良/差, (9/18/5) vs (33/18/1), $P<0.05$]、双胫骨长度差 [(2.1±2.2) mm vs (0.7±1.3) mm, $P<0.05$] 均显著不及稳定组, 两组胫骨成角的差异无统计学意义 ($P>0.05$); 末次随访时, 两组上述指标的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。两组影像骨折愈合时间的差异无统计学意义 ($P>0.05$)。[结论] ESIN 是治疗学龄期长度稳定胫骨干骨折患儿安全有效的方法, 同样适用于长度不稳定型骨折, 虽然术后长度不稳定型骨折短缩的可能性较大, 但过度生长会代偿最终的下肢长度差异。

关键词: 胫骨干骨折, 弹性髓内钉, 儿童, 长度不稳定

中图分类号: R683.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2023) 16-1464-06

Elastic stable intramedullary nails for length unstable and stable tibial shaft fractures in children // GAO Zhi-peng, GUO Hai-bin, LU Zhen, ZHUANG Hua, YIN Long, ZOU Jing-ying, CAO Bing, HE Zao, XU Li-ling, LI Huai-liang, YANG Gang. Department of Orthopedics, Changzhou Children's Hospital, Nantong University, Changzhou 213000, China

Abstract: [Objective] To compare the clinical outcomes of the elastic stable intramedullary nail (ESIN) for fixation of length unstable tibial shaft fractures versus stable counterparts in children. **[Methods]** A retrospective study was conducted on 84 children who received ESIN for tibial shaft fractures in our hospital from January 2016 to November 2021. Among them, 32 children suffered from unstable fracture, while the remaining 52 children were of stable fracture. The perioperative, follow-up and imaging data were compared between the two groups. **[Results]** Although there were no significant differences in operation time, total incision length, intraoperative blood loss, incision healing and hospital stay between the two groups ($P<0.05$), the unstable group had significantly more intraoperative fluoroscopy than the stable group [(12.4±1.5) times vs (10.3±1.7) times, $P<0.05$]. All patients in both groups were followed up for (13.3±2.3) months on a mean, and there was no a significant difference in the time to return full weight-bearing activity between the two groups ($P>0.05$). The AOFAS scores and ankle dorsal extension-plantar flexion ROM significantly increased in both groups over time postoperatively ($P<0.05$), which proved not statistically significant between the two groups at any time points accordingly ($P>0.05$). In addition, there was no a significant difference in Johner-Wruh scale between the two groups at the latest follow-up ($P>0.05$), with normal gait and squat activity in all children in both groups. Radiographically, there were significant improvements in tibial alignment, leg length discrepancy (LLD) and tibial angulation in both groups postoperatively compared with those preoperatively ($P<0.05$). The unstable group proved significantly inferior to the stable group in terms of tibial alignment [excellent/good/poor, (9/18/5) vs (33/18/1), $P<0.05$], and LLD [(2.1±2.2) mm vs (0.7±1.3) mm, $P<0.05$], despite that there was no statistical significance in tibia angulation between the two groups immediately postoperatively ($P>0.05$).

DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.16.05

△基金项目:南通大学临床研究项目青年项目(编号:2022LQ006)

作者简介:高志鹏, 医师, 研究方向: 儿童骨科, (电话)18351976512, (电子信箱)1368886018@qq.com

***通信作者:**郭海滨, (电话)13961192569, (电子信箱)13961192569@163.com

However, all differences in the above indexes became not statistically significant between the two groups at the latest follow-up ($P>0.05$). There was no significant difference in fracture healing time on images between the two groups ($P>0.05$). [Conclusion] ESIN, a safe and effective for the length stable tibial shaft fractures in school-age children, is also suitable for the length unstable fractures. Although there is a greater possibility of postoperative shortening in length unstable fractures, the overgrowth can compensate for the final difference in lower limb length.

Key words: tibial shaft fracture, elastic stable intramedullary nail, children, length instability

胫骨干骨折是儿童第二常见的长骨骨折，占儿童骨折的 15%^[1]。尽管大部分患儿采取手法复位及石膏外固定治疗可取得较好疗效，但是部分患儿存在成角畸形、旋转畸形、短缩畸形或者开放性骨折等问题，需要进行手术干预^[2]。肌下桥接钢板、外固定架、空心螺钉及弹性髓内钉（elastic stable intramedullary nail, ESIN）等固定物均为手术复位儿童胫骨干骨折的选择^[3]，其中 ESIN 具备对胫骨近端骨骺及软组织损伤小、稳定性与弹性兼备、手术费用低以及住院时间短等优势^[4]，已逐渐成为儿童胫骨干骨折的治疗首选，但是其对于长度不稳定的胫骨干骨折是否适用仍然存在一些争议。

所谓的长度不稳定骨折即有肢体短缩风险的骨折类型，陆继鹏等^[5]应用桥接系统外固定治疗儿童不稳定胫骨干骨折，具有操作灵活、多维固定的优点，但存在外形不美观、术后护理繁琐等缺点，在学龄期患儿中存在一定应用局限；肌下桥接钢板被认为是治疗长度不稳定骨折的可靠选择，可以实现解剖复位、避免骨折短缩且固定牢靠，但其存在的应力遮挡不利于骨折的愈合^[6]；Sahu 等^[7]推荐克氏针髓内固定儿童不稳定胫骨干骨折，具备微创、经济及住院时间短的优势，但其非刚性设计需要术后较长时间的石膏固定以及承重限制。虽然有研究认为 ESIN 对于腓骨相对完整的胫骨干骨折，控制其向外成角的能力弱，有移位倾向^[8]，但最新研究表明，ESIN 治疗儿童长度不稳定胫骨干骨折是一种安全有效的方法^[1]。本研究通过对比 ESIN 治疗稳定型及不稳定型胫骨干骨折的疗效，探讨 ESIN 治疗儿童长度不稳定胫骨干骨折的疗效。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准：（1）年龄 3~14 岁；（2）体重 <50 kg；（3）闭合性胫骨干骨折。

排除标准：（1）病理性骨折；（2）血管神经肌肉疾患；（3）脊髓损伤并影响患肢功能；（4）代谢性骨

病；（5）随访时间不足 12 个月；（6）多部位骨折。

1.2 一般资料

回顾性分析 2016 年 1 月~2021 年 11 月收治于本院骨科进行 ESIN 固定治疗的胫骨干骨折患者的临床资料，其中 84 例符合上述标准，纳入本研究。根据 Sink 等^[9]的定义，其中，32 例为粉碎性或长斜形、长螺旋形骨折（不稳定组）；另外 52 例为横行骨折或短斜形骨折（稳定组）。两组患者一般资料见表 1，两组术前年龄、性别、BMI、伤因、损伤至手术时间、侧别、骨折分型等一般资料比较差异均无统计学意义 ($P>0.05$)，具有可比性。本研究得到医院伦理委员会批准，所有患者均知情同意。

表 1 两组患者术前一般资料与比较

指标	不稳定组 (n=32)	稳定组 (n=52)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	7.6 \pm 3.0	6.8 \pm 2.7	0.224
性别 (例, 男/女)	22/10	36/16	>0.999
BMI (kg/m^2 , $\bar{x} \pm s$)	18.2 \pm 2.8	17.3 \pm 2.4	0.092
伤因 (例, 高能/低能)	19/13	35/17	0.490
损伤至手术时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	5.6 \pm 5.6	4.2 \pm 4.2	0.214
侧别 (例, 左/右)	15/17	32/20	0.258
OTA 骨折分型 (例, A/B/C)	24/7/1	48/4/0	0.062

1.3 手术方法

全身麻醉，根据胫骨髓腔最窄处直径确定 ESIN 直径，选择 2 根 ESIN（大博医疗科技股份有限公司，中国）。将 ESIN 斜面钝头端预弯至 45°左右，使弧度位于或靠近骨折断端处，弧高约为髓腔直径的 3 倍。透视确定进钉点，位于胫骨近端前外侧面，避开骨骺。选择从进钉点至骨折端的皮质较长的一侧先进钉，ESIN 开路器于胫骨骨皮质开孔，将预弯后的 ESIN 置入插入器，顺行插入，透视下沿后侧皮质顺行划入到骨折处。复位骨折，继续插入 ESIN，通过骨折线，嵌入胫骨远端干骺端。使用同样的方法打入第 2 根 ESIN，形成结构对称的双“C”形弹性支撑。断钉器在距入钉点 1.5 cm 处断钉。

所有患者术后均采用患肢长腿管型石膏进行固

定, 抬高患肢, 预防感染及消肿对症, 对所有患者进行密切随访和定期放射学检查, 术后 6~8 周 X 线片提示骨痂形成、骨折线模糊后予以拆除外固定, 开始进行逐步负重并恢复活动范围直至完全下地负重, 术后半年至 1 年如果骨折愈合情况满意, 则予以移除内固定装置。

1.4 评价指标

记录围手术期资料, 包括手术时间、切口长度、术中失血量、早期并发症、切口愈合情况及住院时间。采用术后完全负重时间、美国足踝骨科协会 (American Orthopaedic Foot and Ankle Society, AOFAS) 踝与后足评分^[10]、Johner-Wruh 评级^[11]及踝背伸-跖屈活动度 (range of motion, ROM) 评价临床效果。远期并发症包括双下肢不等长畸形 (leg length discrepancy, LLD), 即 LLD 超过 10 mm; 残余成角畸形, 即骨折在冠状面或矢状面成角超过 10°^[12]; 骨不连, 即骨折在术后至少 6 个月的随访时仍未愈合, 最终需要进一步的手术干预以达到愈合^[13]。行影像学检查, 记录双侧胫骨长度差 (健侧-患侧), 评估骨折对位, 优为骨折解剖复位; 良为骨折块移位 < 3 mm, 无成角; 差为骨折块移位 ≥ 3 mm, 伴成角畸形。观察骨折愈合情况。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 23.0 统计学软件进行数据处理, 计量资料数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 符合正态分布时两组间比较用独立样本 *t* 检验; 组内时间点比较采用单因素方差分析; 资料呈非正态分布时, 采用秩和检验。计数资料用卡方检验或 Fisher 精确检验; 等级资料两组比较采用 Mann-whitney *U* 检验, 组内比较采用多个相关资料的 Friedman 检验。P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 围手术期情况

两组均顺利完成手术, 术中无神经、血管损伤等严重并发症。两组患者围手术期资料比较见表 2。两组患者手术时间、切口总长度、术中失血量、切口愈合情况以及住院时间的差异均无统计学意义 (P > 0.05), 但是, 不稳定组术中透视次数显著多于稳定组 (P < 0.05)。两组均无切口感染者, 不稳定组有 1 例患儿出现骨筋膜室综合征, 经相应处理后症状缓解。

表 2 两组患者围手术期资料与比较

指标	不稳定组 (n=32)	稳定组 (n=52)	P 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	48.7±16.5	54.3±21.0	0.202
切口总长度 (cm, $\bar{x} \pm s$)	2.5±0.7	3.0±1.8	0.060
术中失血量 (ml, $\bar{x} \pm s$)	32.0±5.9	34.2±9.9	0.250
术中透视次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	12.4±1.5	10.3±1.7	<0.001
切口愈合 (例, 甲/乙/丙)	30/2/0	50/2/0	0.633
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	10.0±3.0	10.8±2.3	0.208

2.2 随访结果

所有患者均获随访 12~24 月, 平均 (13.3±2.3) 个月。两组各有 2 例患者出现皮肤激惹, 均经换药后好转。两组患者随访结果见表 3。两组患者术后恢复完全负重时间的差异无统计学意义 (P > 0.05)。随术后时间推移, 两组 AOFAS 评分、踝背伸-跖屈 ROM 均显著增加 (P < 0.05)。相应时间点, 两组 AOFAS 评分和踝背伸-跖屈 ROM 的差异均无统计学意义 (P > 0.05)。末次随访时两组 Johner-Wruh 评级的差异无统计学意义 (P > 0.05)。末次随访时, 两组患者步态和下蹲活动均正常。

表 3 两组患者随访结果与比较

指标	时间点	不稳定组 (n=32)	稳定组 (n=52)	P 值
术后完全负重活动时间 (d, $\bar{x} \pm s$)		56.4±8.7	56.0±8.7	0.837
AOFAS 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)	术后 1 个月	78.5±6.2	76.6±6.1	0.169
	术后 6 个月	91.3±4.8	91.7±4.6	0.418
	末次随访	98.8±1.7	98.9±1.6	0.995
	P 值	<0.001	<0.001	
踝背伸-跖屈 ROM (°, $\bar{x} \pm s$)	术后 1 个月	60.9±4.1	62.3±4.1	0.142
	术后 6 个月	63.5±11.8	67.1±4.2	0.051
	末次随访	66.8±4.1	68.2±4.2	0.150
	P 值	<0.001	<0.001	
Johner-Wruh 评级 (例, 优/良/可/差)		26/5/1/0	47/4/1/0	0.459
跛行 (例, 无/轻度/中度/重度)		32/0/0/0	52/0/0/0	ns
下蹲 (例, 完全/部分受限/明显受限)		32/0/0	52/0/0	ns

2.3 影像评估

两组影像评估结果见表 4, 与术前相比, 术后两组胫骨对位对线、LLD 和胫骨成角均显著改善 ($P < 0.05$)。术前两组胫骨对位对线、LLD 和胫骨成角的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$); 术后即刻不稳定组的胫骨对位对线、LLD 显著不及稳定组 ($P < 0.05$),

两组胫骨成角的差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 末次随访时, 两组上述所有指标的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组影像骨折愈合时间的差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。至末次随访时, 两组患者均未见 LLD 及骨不连, 各有 1 例患者出现残余成角畸形, 给予定期复查, 未予处理。两组典型病例影像见图 1、2。



图 1 患者, 男, 4 岁, 长度不稳定骨折。1a: 术前胫骨正位 X 线片示左侧胫腓骨中下段骨折, 胫骨游离骨块外侧移位; 1b: 术前胫骨侧位 X 线片示左侧胫骨游离骨块背侧移位; 1c: 术后即刻胫骨正位 X 线片示左侧胫骨骨折对位可, 内固定在位; 1d: 术后即刻胫骨侧位 X 线片示左侧胫骨骨折对位可, 内固定在位; 1e: 术后 22 个月随访双下肢全长 X 线片示左侧胫骨骨折线消失, 左下肢较对侧长约 9 mm。



图 2 患者, 男, 6 岁, 长度稳定骨折。2a: 术前胫骨正位 X 线片示右侧胫腓骨中下段骨折, 远端骨折块外侧移位; 2b: 术前胫骨侧位 X 线片示右侧胫骨骨折远端骨折块背侧移位; 2c: 术后即刻胫骨正位 X 线片示右侧胫骨骨折对位可, 内固定在位; 2d: 术后即刻胫骨侧位 X 线片示右侧胫骨断端对位可, 内固定在位; 2e: 术后 12 个月随访双下肢全长 X 线片示右侧胫骨骨折线消失, 右侧下肢较对侧长约 6 mm。

3 讨论

尽管在过去的十年中, ESIN 技术已成为学龄期

儿童移位性胫骨干骨折的治疗首选^[12], 但其对于长度不稳定胫骨干骨折的适用性仍缺乏有力论证, 特别是 Stenroos 等^[14] 研究发现 ESIN 治疗长度不稳定胫骨干骨折存在较高的二次手术翻修率。然而 Uludağ

等^[1]最新研究并没有得出长度不稳定骨折与 ESIN 治疗后并发症发生率之间的必然联系。本研究术后并发症总体发生率为 8.3%，未出现骨不连及再次骨折病例，也未有截骨矫形或骨骺阻滞矫正 LLD 的需要，两组的并发症发生率及各项随访评估差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。表明无论是对于长度不稳定还是稳定型的胫骨干骨折，ESIN 都是一种安全有效的治疗方法。

表 4 两组患者影像评估结果与比较

指标	不稳定组 (n=32)	稳定组 (n=52)	P 值
胫骨对位对线 (例, 优/良/差)			
术前	0/2/30	0/5/47	0.704
术后即刻	9/18/5	33/18/1	0.002
末次随访	19/11/2	39/12/1	0.217
P 值	<0.001	<0.001	
LLD (mm, $\bar{x} \pm s$)			
术前	6.7±6.0	6.4±4.9	0.795
术后即刻	2.1±2.2	0.7±1.3	0.002
末次随访	-2.6±2.3	-2.0±1.7	0.193
P 值	<0.001	<0.001	
胫骨成角 (°, $\bar{x} \pm s$)			
术前	7.2±5.0	7.0±5.3	0.836
术后即刻	1.7±3.4	1.0±2.4	0.326
末次随访	1.0±2.4	0.6±2.1	0.437
P 值	<0.001	<0.001	
骨折愈合 [例 (%)]			
			0.933
<10 周	0 (0.0)	1 (1.2)	
10~16 周	11 (13.1)	17 (20.2)	
≥16 周	21 (25.0)	34 (40.5)	

Choi 等^[15]研究 ESIN 治疗胫骨干骨折，发现长度稳定组 (23.3%) 与不稳定组 (76.7%) LLD 发生率无统计学差异。本研究结果与之相似，虽然术后不稳定组短缩倾向明显超过稳定组，但最终两组患儿下肢长度差异无统计学意义。Halanski 等^[16]进行动物模型研究发现，骨骼未成熟的兔子胫骨骨膜发生断裂后，两端的生长板都会出现生长加速，考虑到长度不稳定骨折骨膜断裂可能性大于稳定型骨折，其过度生长程度可能超过稳定组，那么在治疗长度不稳定骨折时观察到的轻微骨折短缩可能会刺激骨折过度生长，并代偿最终的下肢长度差异。本研究中两组胫骨对位对线及成角情况在术前、术后即刻至末次随访 3 个时

间点不断改善，一方面说明了手术复位取得了明显成效，另一方面说明了石膏外固定装置的优越性及儿童自身较强的塑形能力。

有研究报道股骨干骨折 ESIN 术后高达 26% 的皮肤激惹率，显著高于本研究的 4.8%^[17]，考虑为胫骨近端与股骨远端的解剖结构差异所致，尽管术者在术中已尽量剪短钉尾以减少皮肤的刺激，但术后关节的活动及下肢肿胀的消退仍会造成该症状的出现。Rapp 等^[18]认为手术时需避免留于骨皮质表面的钉尾过长，必要时可将钉尾插入空心螺纹尾帽内并将尾帽的螺纹拧入骨皮质，使尾帽与骨皮质相对固定，从而防止弹性钉自进钉点滑出，既增强其在骨折端的稳定性，又减轻了其对皮肤的刺激性。Vallamshetla 等^[19]报道 ESIN 治疗的 54 例不稳定胫骨干骨折患儿，术后有 2 例出现深部组织感染 (1 例为开放性骨折，1 例经过切开复位)，考虑本研究患儿均未有开放性伤口，术前术后预防性使用抗生素，故未出现深部组织感染。本研究骨折平均愈合时间为 3.8 个月，高于 Vallamshetla 的 10 周时间^[19]，未出现 Gordon 等研究中的骨不连病例^[20]。考虑负重时间不同，鼓励患儿尽早行部分负重训练，以促进愈合。Pennock 等^[21]研究 70 例胫骨干骨折患儿，其中 2 例经过 ESIN 治疗后出现骨筋膜室综合征，本研究 1.2% (1 例) 的发生率与之相似，均为高能量损伤造成的粉碎性骨折，术后错误使用管型石膏固定，及时发现并拆除石膏行消肿对症治疗，患儿恢复良好，未发展为缺血性肌挛缩。Pandya 等^[22]提出长度不稳定型骨折为 ESIN 治疗儿童胫骨干骨折后出现骨筋膜室综合征的危险因素，但本研究未发现骨筋膜室综合征在两组存在统计学差异。有研究表明，30% 的儿童胫骨骨折伴有腓骨骨折，此时由于小腿前部和外侧的收缩力，可能导致下肢外翻畸形^[23]。本研究共计出现 2 例残余成角畸形 (2.4%)，远低于 Pennock 等^[13]研究提出的 14%，然而本组中 12% 的腓骨骨折固定率远高于 Pennock 的 4%，或许可以解释此现象。

通过本研究，作者认为 ESIN 技术是针对学龄期胫骨干骨折患儿的一种安全有效的治疗方法，同样适用于长度不稳定型骨折患儿，虽然术后长度不稳定型骨折短缩的可能性较大，但过度生长会代偿最终的下肢长度差异。本研究的局限性：(1) 是非随机回顾性设计，且本院偏向于使用 ESIN 治疗长度不稳定型胫骨干骨折，所以无法评估其他固定物是否能产生更好的疗效；(2) 随访时间不足；(3) 样本量偏少，需要增加样本量来提高研究结论的可信度。

参考文献

- [1] Uludağ A, Tosun HB. Treatment of unstable pediatric tibial shaft fractures with titanium elastic nails [J]. *Medicina (Kaunas)*, 2019, 55 (6): 266.
- [2] Zheng W, Chen C, Tao Z, et al. Comparison of the outcomes of pediatric tibial shaft fractures treated by different types of orthopedists: A prospective cohort study [J]. *Int J Surg*, 2018, 51: 140-144.
- [3] Stenroos A, Jalkanen J, Sinikumpu JJ, et al. Treatment of unstable pediatric tibia shaft fractures in finland [J]. *Eur J Pediatr Surg*, 2019, 29 (3): 247-252.
- [4] 刘玉昌, 韩久卉, 王宣, 等. 自制复位器辅助儿童下肢长骨骨折经皮内固定 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (6): 544-547.
- [5] 陆继鹏, 杨慧勤, 吴中雄, 等. 桥接系统外固定治疗儿童胫骨骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (16): 1532-1534.
- [6] 宋建伟. 轴向应力可调节单臂外固定架治疗胫骨干骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (4): 357-360.
- [7] Sahu RL, Ranjan R. Fracture union in percutaneous Kirschner wire fixation in paediatric tibial shaft fractures [J]. *Chin J Traumatol*, 2016, 19 (6): 353-357.
- [8] Canavese F, Botnari A, Andreacchio A, et al. Displaced tibial shaft fractures with intact fibula in children: nonoperative management versus operative treatment with elastic stable intramedullary nailing [J]. *J Pediatr Orthop*, 2016, 36 (7): 667-672.
- [9] Sink EL, Gralla J, Repine M. Complications of pediatric femur fractures treated with titanium elastic nails: A comparison of fracture types [J]. *J Pediatr Orthop*, 2005, 25 (5): 577-580.
- [10] Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, et al. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes [J]. *Foot Ankle Int*, 1994, 15 (7): 349-353.
- [11] Johner R, Wrushs O. Classification of tibial shaft fractures and correlation with results after rigid internal fixation [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1983, 178 (178): 7-25.
- [12] Marengo L, Paonessa M, Andreacchio A, et al. Displaced tibia shaft fractures in children treated by elastic stable intramedullary nailing: results and complications in children weighing 50 kg (110 lb) or more [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2016, 26 (3): 311-317.
- [13] Pennock AT, Huang SG, Pedowitz JM, et al. Risk factors for adverse radiographic outcomes after elastic stable intramedullary nailing of unstable diaphyseal tibia fractures in children [J]. *J Pediatr Orthop*, 2020, 40 (9): 481-486.
- [14] Stenroos A, Laaksonen T, Nietosvaara N, et al. One in three of pediatric tibia shaft fractures is currently treated operatively: A 6-year epidemiological study in two university hospitals in finland treatment of pediatric tibia shaft fractures [J]. *Scand J Surg*, 2018, 107 (3): 269-274.
- [15] Choi WY, Park MS, Lee KM, et al. Leg length discrepancy, overgrowth, and associated risk factors after a pediatric tibial shaft fracture [J]. *J Orthop Traumatol*, 2021, 22 (1): 12.
- [16] Halanski MA, Yildirim T, Chaudhary R, et al. Periosteal fiber transection during periosteal procedures is crucial to accelerate growth in the rabbit model [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2016, 474 (4): 1028-1037.
- [17] Heo J, Oh CW, Park KH, et al. Elastic nailing of tibia shaft fractures in young children up to 10 years of age [J]. *Injury*, 2016, 47 (4): 832-836.
- [18] Rapp M, Gros N, Zachert G, et al. Improving stability of elastic stable intramedullary nailing in a transverse midshaft femur fracture model: biomechanical analysis of using end caps or a third nail [J]. *J Orthop Surg Res*, 2015, 10: 96.
- [19] Vallamshetla VR, De Silva U, Bache CE, et al. Flexible intramedullary nails for unstable fractures of the tibia in children. An eight-year experience [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2006, 88 (4): 536-540.
- [20] Gordon JE, Gregush RV, Schoenecker PL, et al. Complications after titanium elastic nailing of pediatric tibial fractures [J]. *J Pediatr Orthop*, 2007, 27 (4): 442-446.
- [21] Pennock AT, Bastrom TP, Upasani VV. Elastic Intramedullary nailing versus open reduction internal fixation of pediatric tibial shaft fractures [J]. *J Pediatr Orthop*, 2017, 37 (7): e403-e408.
- [22] Pandya NK, Edmonds EW, Mubarak SJ. The incidence of compartment syndrome after flexible nailing of pediatric tibial shaft fractures [J]. *J Child Orthop*, 2011, 5 (6): 439-447.
- [23] Hogue GD, Wilkins KE, Kim IS. Management of pediatric tibial shaft fractures [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2019, 27 (20): 769-778.

(收稿:2022-09-21 修回:2023-03-23)

(同行评议专家:林刚 鞠黎 杨璇)

(本文编辑:郭秀婷)