

· 临床论著 ·

弹性与锁定髓内钉固定儿童青少年股骨干骨折比较

肖雅, 顾胜利*, 邱杰, 陈轶嘉

[遵义市第一人民医院(遵义医科大学第三附属医院), 贵州遵义 563000]

摘要: [目的] 比较弹性髓内钉 (elastic stable intramedullary nailing, ESIN) 和锁定髓内钉 (locked intramedullary nail, LIN) 固定治疗儿童和青少年股骨干骨折的临床疗效。[方法] 回顾性分析 2017 年 1 月—2023 年 7 月手术治疗的 38 例股骨干移位骨折患者的临床资料, 根据术前医患沟通结果, 29 例采用 ESIN (弹性组), 9 例采用 LIN (锁定组)。比较两组围手术期、随访和影像学结果。[结果] 弹性组手术时间 [(103.8±37.4) min vs (188.3±28.5) min, $P<0.001$]、切口总长度 [(3.0±0.6) cm vs (6.4±0.7) cm, $P<0.001$]、术中失血量 [(33.6±26.7) ml vs (145.6±45.3) ml, $P<0.001$]、术中透视次数 [(6.5±1.2) 次 vs (12.9±1.3) 次, $P<0.001$]、住院时间 [(7.3±2.3) d vs (11.9±1.3) d, $P<0.001$] 均显著优于锁定组。随访时间均>12 个月, 弹性组的下地行走时间 [(44.1±5.7) d vs (67.7±10.2) d, $P<0.001$]、完全负重活动时间 [(84.8±10.3) d vs (102.8±21.5) d, $P=0.038$] 均显著早于锁定组。与术后 3 个月相比, 末次随访两组 Harris 评分、髋伸-屈 ROM、HSS 评分、膝伸-屈 ROM 均显著增加 ($P<0.05$), 术后 3 个月弹性组的髋伸-屈 ROM [(110.5±4.2)° vs (100.6±3.0)°, $P<0.001$] 显著优于锁定组, 术后 3 个月及末次随访时, 锁定组的 HSS 评分 [(84.1±1.7) vs (74.4±4.2), $P<0.001$; (94.4±0.9) vs (92.5±1.8), $P=0.005$]、膝伸-屈 ROM [(114.4±3.9)° vs (71.4±4.6)°, $P<0.001$; (125.0±3.5)° vs (106.2±3.4)°, $P<0.001$] 显著优于弹性组。影像方面。两组术后股骨力线、股骨长度差、股骨颈干角均显著改善 ($P<0.05$), 术前及末次随访时, 弹性组的股骨颈干角均大于锁定组 ($P<0.05$)。[结论] 对相对稳定性股骨干骨折采用 ESIN 治疗简单、安全, 功能恢复好。然而, 对于相对不稳定骨折, 可以考虑采用 LIN 固定。

关键词: 儿童青少年, 股骨干骨折, 弹性髓内钉, 锁定髓内钉

中图分类号: R683.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 22-2048-06

Elastic and locking intramedullary nail fixations for femoral shaft fractures in children and adolescents // XIAO Ya, GU Sheng-li, QIU Jie, CHEN Yi-jia. The First People's Hospital of Zunyi City, Zunyi Medical University, Zunyi 563000, China

Abstract: [Objective] To compare the clinical efficacy of elastic stable intramedullary nailing (ESIN) and locking intramedullary nail (LIN) for femoral shaft fractures in children and adolescents. [Methods] A retrospective study was conducted on 38 patients who received surgical treatment for femoral shaft fractures from January 2017 to July 2023. According to preoperative doctor-patient communication, 29 cases were treated with ESIN, while 9 cases were treated with LIN. The perioperative, follow-up and imaging results were compared between the two groups. [Results] The ESIN proved significantly superior to the LIN in terms of operating time [(103.8±37.4) min vs (188.3±28.5) min, $P<0.001$], total incision length [(3.0±0.6) cm vs (6.4±0.7) cm, $P<0.001$], intraoperative blood loss [(33.6±26.7) ml vs (145.6±45.3) ml, $P<0.001$], intraoperative fluoroscopy times [(6.5±1.2) times vs (12.9±1.3) times, $P<0.001$] and hospital stay [(7.3±2.3) days vs (11.9±1.3) days, $P<0.001$]. The follow-up time was >12 months, and the ESIN cohort resumed walking [(44.1±5.7) days vs (67.7±10.2) days, $P<0.001$] and full weight-bearing activity time [(84.8±10.3) days vs (102.8±21.5) days, $P=0.038$] significantly earlier than the LIN cohort. Compared with those 3 months after surgery, Harris score, hip extension-flexion ROM, HSS score and knee extension-flexion ROM were significantly increased in both groups at the last follow-up ($P<0.05$). The ESIN proved significantly better than the LIN regarding to hip extension-flexion ROM [(110.5±4.2)° vs (100.6±3.0)°, $P<0.001$] 3 months postoperatively, as well as HSS score [(84.1±1.7) vs (74.4±4.2), $P<0.001$; (94.4±0.9) vs (92.5±1.8), $P=0.005$], knee extension-flexion ROM [(114.4±3.9)° vs (71.4±4.6)°, $P<0.001$; (125.0±3.5)° vs (106.2±3.4)°, $P<0.001$] 3 months after operation and at the latest follow-up. As for images, the femoral alignment, femoral bilateral length discrepancy and femoral neck-shaft angle (NSA) significantly improved in both groups postoperatively ($P<0.05$). However, the ESIN cohort had greater NSA than the LIN cohort ($P<0.05$). [Conclusion] ESIN used for relatively stable femoral fractures is simple, safe and has good functional recovery. However, for relatively unstable fractures, LIN fixation may be considered.

DOI:10.20184/j.cnki.issn1005-8478.100705

作者简介: 肖雅, 副主任医师, 研究方向: 小儿骨科, (电子信箱)23893282@qq.com

* 通信作者: 顾胜利, (电子信箱)1927177575@qq.com

Key words: children and adolescents, femoral shaft fractures, elastic stable intramedullary nail (ESIN), locking intramedullary nail (LIN)

股骨是下肢最重要的承重骨，股骨干骨折占儿童骨折总数的 1.4%~1.7%^[1]，需长时间的固定或手术干预，给家庭及儿童带来了巨大的心理负担。股骨干骨折最常见的原因是高空坠落和道路交通事故^[2]。超过 50% 的儿童股骨骨折表现为简单的非粉碎性骨干横行骨折^[3, 4]。儿童股骨骨折由于存在厚厚的骨膜层，具有很高的重塑能力，导致了一种不同于成人的生物力学反应，与成人的治疗选择不同^[5]。股骨干的固定取决于骨折的位置和类型、短缩和角度、患儿的年龄和体重等多个因素^[6]。理想的固定技术应不损伤骨骺，保持足够的稳定性，优化骨折生物力学，避免严重并发症。常用的固定方法包括弹性髓内钉、接骨板、外固定架、锁定髓内钉^[5]。近年来有报道对各种内固定进行对比研究^[7, 8]。笔者比较 2017 年 1 月—2023 年 7 月采用两种内固定方法治疗的股骨干移位骨折患者临床疗效，报道如下。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准：(1) 经影像学证实的股骨干移位骨折；(2) 新鲜闭合骨折；(3) 患儿年龄 7~14 岁；(4) 接受 ESIN 或 LIN 治疗者；(5) 陈旧性骨折。

排除标准：(1) 开放性骨折、病理骨折或合并多处伤；(2) 患有其他影响骨愈合的疾病；(3) 合并先天性疾病，无法耐受手术；(4) 骨折前无髌关节脱位、髌内、外翻畸形及股骨头坏死。

1.2 一般资料

2017 年 1 月—2023 年 7 月，38 例儿童患者符合上述标准，纳入本研究。根据术前医患沟通结果，将患者分为两组：29 例采用弹性髓内钉 (elastic stable intramedullary nailing, ESIN) 固定 (弹性组)，9 例采用锁定髓内钉 (locking intramedullary nail, LIN) 固定 (锁定组)。两组术前一般资料比较见表 1，弹性组的年龄、BMI 均显著小于锁定组 ($P<0.05$)，两组性别、损伤至手术时间、损伤侧别、AO 分型的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。本研究经医院伦理委员会批准 [编号：伦审 (2017) -1-01 号]，患者术前均签署手术同意书及知情告知书。

1.3 手术方法

手术在全麻下进行。

表 1. 两组患者一般资料比较

Table 1. Comparison of general data between the two groups

指标	弹性组 (n=29)	锁定组 (n=9)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	9.1 \pm 1.7	12.4 \pm 1.1	<0.001
性别 (例, 男/女)	25/4	9/0	0.554
BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	18.5 \pm 2.6	20.5 \pm 1.9	0.039
损伤至手术时间 (h, $\bar{x} \pm s$)	55.0 \pm 39.7	66.9 \pm 36.3	0.343
侧别 (例, 左/右)	20/9	7/2	1.000
AO 分型 (例, A/B/C)	29/0/0	9/0/0	-

弹性组：术前 X 线片测量股骨髓腔的最小直径，所选弹性髓内钉直径为髓腔最小直径的 40%。平卧位，透视定位髓内钉入针点，内、外侧入针点选择股骨远端距骨骺板 2 cm 处，分离皮下组织至骨膜，开口器先垂直再倾斜 45° 开口。选择 2 枚同样直径的髓内钉并预弯，预弯处弧顶位于骨折端水平。内、外侧逆行推进置入弹性钉达骨折端，闭合复位断端，有侧方、成角移位不好纠正时予克氏针撬拨复位或有限的切开复位，在 C 形臂 X 线机监测下调整复位位置及旋转钉头方向，然后将弹性钉穿过骨折端并向近端推进，直到松质骨内和内侧的股骨矩区域，形成对称的双“C”形支撑固定。旋转患肢，纠正旋转。将钉尾在入钉点 1.5 cm 处用断钉器截断埋于肌层。闭合切口后髌人字石膏固定。

锁定组：术前 X 线片了解双侧髌关节情况及患侧股骨全长、髓径及骨骺发育情况。采用健侧卧位，断端外侧切开复位，切口长 5~7 cm，解剖复位骨折断端，骨三爪固定器固定断端。以大转子为中心避开梨状窝^[9]，纵行切开臀大肌表面的皮下组织和筋膜，分离臀中肌，显露股骨大转子，以大转子中心点穿入导针，以软性扩髓器逐步扩髓，置入合适的锁定钉，在 C 形臂 X 线机监测下了解复位情况、锁定钉长度及髓腔内走行情况，位于髓腔正中，无偏心，近端锁定 2 枚螺钉，远端锁定 2 枚螺钉。固定结束后关闭切口，不予石膏外固定。

术后 3 d 内，给予消肿、止痛治疗，因有置入物，术前 30 min 及术后 2 h 内分别给予 1 剂抗生素预防感染。早期进行踝关节主动跖屈、背屈锻炼，预防肌肉萎缩与关节僵硬。术后 1 d、4 周、8 周左右复查 X 线片，再根据复查情况制定下次复查时间。弹性组术后 8 周拆除石膏不完全负重行走。锁定组 8~10 周

后不完全负重行走。

1.4 评价指标

记录围手术期指标，包括手术时间、切口长度、术中失血量、术中透视次数、一次置钉成功率、切口愈合等级、住院时间。记录随访资料，包括下地行走时间、完全负重活动时间、Harris 评分、髌关节屈伸活动度 (range of motion, ROM)、HSS 评分、膝关节屈伸活动度 (range of motion, ROM)。行影像学检查，记录股骨力线、股骨长度差、股骨颈干角及骨折愈合时间。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 27.0 软件进行数据分析，计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示，符合正态分布的组间比较采用独立样本 t 检验，组内比较采用配对样本 T 检验；不符合正态分布的组间比较采用 Wilcoxon 秩和 (Z) 检验，组内比较采用相关样本间 Wilcoxon 秩和检验；重复测量资料各时间点间比较采用广义线性模型分析，事后两两比较采用 Bonferroni 法校正显著性水平成对比较；计数资料用 n (%) 表示，组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 围手术期情况

两组患者均顺利完成手术，未发生血管、神经损

伤等严重并发症。两组患者围手术期资料见表 2，弹性组的手术时间、切口总长度、术中失血量、术中透视次数、住院时间均显著少于锁定组 ($P < 0.05$)。两组初次置钉成功率的差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。切口均甲级愈合。

指标	弹性组 (n=29)	锁定组 (n=9)	P 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	103.8 \pm 37.4	188.3 \pm 28.5	<0.001
切口总长度 (cm, $\bar{x} \pm s$)	3.0 \pm 0.6	6.4 \pm 0.7	<0.001
术中失血量 (ml, $\bar{x} \pm s$)	33.6 \pm 26.7	145.6 \pm 45.3	<0.001
术中透视次数(次, $\bar{x} \pm s$)	6.5 \pm 1.2	12.9 \pm 1.3	<0.001
初次置钉成功率 [例 (%)]	13 (44.8)	6 (66.7)	0.447
切口愈合 (例, 甲/乙/丙)	29/0/0	9/0/0	-
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	7.3 \pm 2.3	11.9 \pm 1.3	<0.001

2.2 随访结果

两组患者均获得随访，随访时间 > 12 个月，随访过程中，弹性组有 5 例发生针尾激惹，影响了膝关节功能，HSS 评分差，皮肤红肿流液，经换药稍有好转，骨折愈合后拔出弹性髓内钉，经 2 次换药，伤口愈合。膝关节功能逐渐恢复。此外弹性组 1 例骨折部位骨坏死、骨不连，行 LIN 翻修，临床结果良好 (图 1)。



图 1. 患儿男性，13 岁。1a, 1b: 第 1 次 ESIN 术后即刻正位、侧位 X 线片示预弯处弧顶位于骨折端水平，ESIN 直径为 3.5 mm；1c: ESIN 术后 3 个月 X 线片示骨折断端有骨坏死发生、无骨痂生成；1d: 翻修内固定选用 LIN，术后 9 个月 X 线片示骨折处已愈合；1e: LIN 术后 14 个月 X 线片示内固定物已取出，无骨坏死，无髋内、外翻，髓腔通畅。

Figure 1. A 13-year-old male. 1a, 1b: Immediately after the first ESIN, anteroposterior (AP) and lateral radiographs showed that the prebend top was at the level of the fracture, and the diameter of ESIN was 3.5 mm; 1c: X-ray 3 months after ESIN showed osteonecrosis at the fracture site without callus formation; 1d: LIN was replaced in the revision internal fixation, and X-ray showed that the fracture healed 9 months after surgery; 1e: LIN X-ray images 14 months after surgery showed that the internal fixator had been removed, without osteonecrosis, hip varus or valgus deformity, with a patent intramedullary canal.

两组患者随访结果见表 3。弹性组的下地行走时间、完全负重时间均显著早于锁定组 ($P < 0.05$)。与术后 3 个月相比, 末次随访两组 Harris 评分、髌伸-屈 ROM、HSS 评分、膝伸-屈 ROM 均显著增加 ($P < 0.05$), 相应时间点, 两组间 Harris 评分的差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 术后 3 个月弹性组的髌伸-屈 ROM 显著优于锁定组 ($P < 0.05$), 但末次随访时, 两组髌伸-屈 ROM 的差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。相应时间点, 锁定组的 HSS 评分、膝伸-屈 ROM 显著优于弹性组 ($P < 0.05$)。

表 3. 两组患者随访资料 ($\bar{x} \pm s$) 与比较

Table 3. Comparison of the two groups in term of follow-up documents ($\bar{x} \pm s$)

指标	弹性组 (n=29)	锁定组 (n=9)	P 值
下地行走时间 (d)	44.1±5.7	67.7±10.2	<0.001
完全负重活动时间 (d)	84.8±10.3	102.8±21.5	0.038
Harris 评分 (分)			
术后 3 个月	90.5±1.3	89.3±2.5	0.216
末次随访	95.2±0.6	95.2±0.7	0.950
P 值	<0.001	<0.001	
髌伸-屈 ROM (°)			
术后 3 个月	110.5±4.2	100.6±3.0	<0.001
末次随访	127.4±2.5	127.2±2.6	0.900
P 值	<0.001	<0.001	
HSS 评分 (分)			
术后 3 个月	74.4±4.2	84.1±1.7	<0.001
末次随访	92.5±1.8	94.4±0.9	0.005
P 值	<0.001	<0.001	
膝伸-屈 ROM (°)			
术后 3 个月	71.4±4.6	114.4±3.9	<0.001
末次随访	106.2±3.4	125.0±3.5	<0.001
P 值	<0.001	<0.001	

2.3 影像评估

两组患者影像评估结果见表 4。两组术后股骨力线、股骨长度差、股骨颈干角均显著改善 ($P < 0.05$), 相应时间点, 两组股骨力线、股骨长度差的差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 锁定组的股骨颈干角显著优于弹性组 ($P < 0.05$)。两组骨折愈合时间的差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。弹性组典型病例见图 2。

3 讨论

在 29 例使用 ESIN 固定治疗的儿童及青少年股

骨干骨折中, 大部分患者取得了良好的治疗效果。然而, 其中 1 例出现了骨不连、骨坏死的情况, 这可能是由多种因素导致的, 如骨折端的稳定性不足、血供受损、局部感染等。在本例中, 可能是由于 ESIN 固定未能提供足够的稳定性, 导致骨折端微动过大, 且第 1 次手术为闭合复位, 积血仍然存在, 给细菌生长带来了条件, 这是局部感染的原因, 从而影响了骨折的愈合。

表 4. 两组患者影像资料与比较

Table 4. Comparison of the two groups in imaging measurements

指标	弹性组 (n=29)	锁定组 (n=9)	P 值
股骨力线 (例, 优/良/差)			
术前	0/0/29	0/1/8	0.636
术后即刻	29/0/0	9/0/0	1.000
末次随访	29/0/0	9/0/0	1.000
P 值	<0.001	<0.001	
股骨长度差 (mm, $\bar{x} \pm s$)			
术前	-30.0±5.8	-27.1±12.5	0.512
术后即刻	0 (0, 0)	0 (0, 0)	-
末次随访	5.0±3.0	7.0±3.3	0.103
P 值	<0.001	<0.001	
股骨颈干角 (°, $\bar{x} \pm s$)			
术前	145.1±3.5	139.3±4.7	<0.001
末次随访	140.7±3.6	134.0±3.9	<0.001
P 值	<0.001	<0.001	

ESIN 导致骨折端血供受损的可能原因中, 弹性钉对骨折端的压力以及手术过程中的剥离和牵拉外, 还有一些其他因素需要考虑。首先, 弹性钉的直径和插入深度可能会影响骨折端的血供。如果弹性钉的直径过大或插入过深, 可能会对髓腔内的血管造成压迫, 导致血供受损。因此, 在选择髓内钉的直径和插入深度时, 需要根据患者的具体情况进行个体化的选择。其次, 弹性钉的材料和弹性模量也可能对骨折端的血供产生影响。不同材料的髓内钉具有不同的弹性模量, 对骨折端的压力也不同。如果髓内钉的材料过硬或弹性模量过高, 可能会对骨折端产生过大的压力, 导致血供受损。因此, 在选择髓内钉时, 需要考虑材料的生物相容性和弹性模量等因素^[10]。此外, 患者的年龄、健康状况和骨折类型等因素也可能影响弹性钉对骨折端血供的影响。例如, 患有血管疾病的患者可能更容易出现血供受损的情况。不同类型的骨折也可能对血供产生不同的影响, 例如粉碎性骨折可能比简单骨折更容易导致血供受损。最后, 需要指出

的是, ESIN 技术仍然是一种有效的治疗儿童及青少年股骨干骨折的方法。然而, 在应用该技术时, 需要充分考虑患者的具体情况, 选择合适的弹性钉和操作方式, 以最大程度地减少对骨折端血供的破坏。同

时, 在手术过程中需要谨慎操作, 避免过度剥离和牵拉软组织, 以保护骨折端的血供。术后石膏可靠固定, 最大限度防止患肢旋转及微动也是必要的。

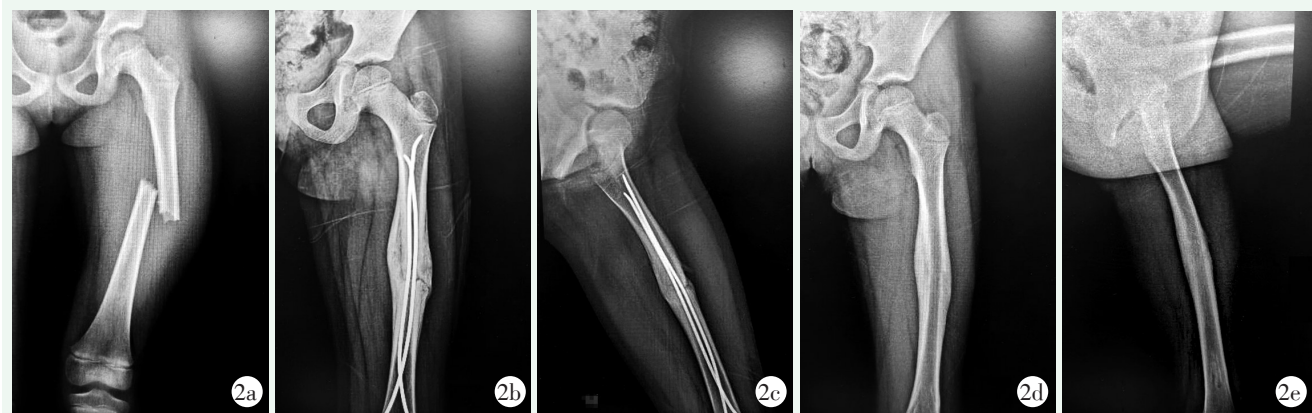


图 2. 患儿男性, 7 岁, 股骨干骨折, 采用 ESIN 固定。2a: 术前正位 X 线片示股骨干骨折; 2b, 2c: 术后 3 个月正侧位 X 线片示骨折复位良好, 无成角; 2d, 2e: 术后 12 个月正侧位 X 线片示骨折愈合良好。

Figure 2. A 7-year-old male received ESIN for the femoral shaft fracture. 2a: Preoperative anteroposterior (AP) radiographs showed fracture of the left femoral shaft; 2b, 2c: AP X ray 3 months after surgery showed good fracture reduction without angulation; 2d, 2e: AP and lateral radiographs 12 months after surgery showed good fracture healing.

弹性组出现 5 例软组织激惹, 均影响了膝关节功能, 作者认为, 带上尾帽是一种较好的方式, 可防止软组织激惹, 且有防止轴向位移的作用^[11]。近年来有报道 ESIN 固定治疗青少年股骨干骨折, 尤其是体重 >40 kg 的青少年, 存在骨折端不稳、骨折再移位、骨不愈合等风险^[12, 13]。ESIN 的并发症其实还是多见, 但在了解骨折矫形原理和稳定性的前提下, 选择合适的弹性钉及术后可靠的石膏固定, 是安全、常用的治疗股骨干骨折的策略, 疗效令人满意^[14, 15]。

针对骨不连、骨坏死的病例, 采用 LIN 重新固定治疗, 并最终实现了骨折愈合。这说明 LIN 具有更好的稳定性和固定效果, 可以提供更强的支撑力, 减少骨折端的微动, 从而有利于骨折的愈合。此外, LIN 还可以更好地保护骨折端的血供, 增加骨外循环, 这对骨折端愈合很重要^[16]。Bhatt 等^[21]提出体重 >45 kg、年龄 >12 岁的青少年股骨干骨折患者采用 ESIN 治疗后, 即使是稳定骨折也容易出现畸形愈合, 建议选择 LIN 治疗。

9 例使用 LIN 治疗的青少年股骨干骨折中, 未出现并发症。进一步证实 LIN 在治疗儿童及青少年股骨干骨折中的可靠性和安全性。与 ESIN 相比, LIN 具有更好的稳定性和固定效果。LIN 通过远端和近端的螺钉锁定, 加强了钉-骨固定, 保证骨折纵轴力线的同时, 防止旋转。这种稳定性有助于减少骨折端的

微动, 从而减少对骨折端血供的进一步破坏。LIN 的静力型固定防止了骨折的旋转、重叠, 使得骨折稳定得到保证, 早期功能锻炼未受到影响, 有助于促进骨折愈合^[16]。由于血供得到保护, 骨折愈合过程中的营养供应也得以保障。但需注意由于青少年患者大粗隆骨骺尚未闭合, 具有生长潜力, LIN 固定后可能损伤骨骺致大粗隆发育障碍及髌内外翻畸形, 损伤血管导致骨坏死、股骨头坏死风险^[17-20]。

综上所述, ESIN 固定和 LIN 治疗都是治疗儿童及青少年股骨干骨折的有效方法。在了解骨折矫形原理和稳定性的前提下, 选择合适的弹性钉及术后可靠的石膏固定。ESIN 是安全、常用的治疗策略, 疗效令人满意。然而, 对于骨折端稳定性不足或存在其他愈合风险的患者, 可以考虑采用 LIN 治疗。此外, 在手术过程中需要谨慎操作, 避免对骨折端血供造成破坏。

参考文献

- [1] Sahlin Y. Occurrence of fractures in a defined population: a 1-year study [J]. *Injury*, 1990, 21 (3): 158-160. DOI: 10.1016/0020-1383(90)90085-9.
- [2] Loder RT, Feinberg JR. Epidemiology and mechanisms of femur fractures in children [J]. *J Pediatr Orthop*, 2006, 26 (5): 561-566. DOI: 10.1097/01.bpo.0000230335.19029.ab.

- [3] Galano GJ, Vitale MA, Kessler MW, et al. The most frequent traumatic orthopaedic injuries from a national pediatric inpatient population [J]. *J Pediatr Orthop*, 2005, 25 (1): 39-44. DOI: 10.1097/01241398-200501000-00010.
- [4] Baldwin K, Pandya NK, Wolfgruber H, et al. Femur fractures in the pediatric population: abuse or accidental trauma [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2011, 469: 798-804. DOI: 10.1007/s11999-010-1339-z.
- [5] Flynn JM, Schwend RM. Management of pediatric femoral shaft fractures [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2004, 12 (5): 347-359. DOI: 10.5435/00124635-200409000-00009.
- [6] Jones CB, Walker JB. Diagnosis and management of ipsilateral femoral neck and shaft fractures [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2018, 26 (21): e448-e454. DOI: 10.5435/JAAOS-D-17-00497.
- [7] 柴明祥, 王本祯, 王珊珊, 等. 三种手术方法治疗闭合性儿童股骨干骨折的比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2018, 26 (8): 692-697. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.08.05.
Chai MX, Wang BZ, Wang SS, et al. Comparison of three surgical techniques for pediatric closed femoral shaft fractures [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2018, 26 (8): 692-697. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.08.05.
- [8] 李飞, 于铁强, 王月光, 等. 弹性髓内钉与钢板治疗大龄儿童股骨转子下骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30 (8): 683-688. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.08.03.
Li F, Yu TQ, Wang YG, et al. Elastic stable intramedullary nail versus proximal femoral locking compression plate for femoral subtrochanteric fracture in old children [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2022, 30 (8): 683-688. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.08.03.
- [9] Strait RT, Pankey C. Submuscular plating versus elastic intramedullary nailing in children with femoral shaft fracture; a systematic review and meta-analysis [J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2023, 42: 102203. DOI: 10.1016/j.jcot.2023.102203.
- [10] Khuntia S, Swaroop S, Patro BP, et al. Paediatric long bone fractures managed with elastic intramedullary nails: a retrospective study of 30 patients [J]. *Cureus*, 2020, 12 (4): e7847. DOI: 10.7759/cureus.7847.
- [11] 谭家昌, 姜铁斌, 黄文贤, 等. 闭合与切开复位弹力钉固定儿童不稳定型股骨干骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (6): 501-506. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.06.05.
Tan JC, Jiang TB, Huang WX, et al. Titanium elastic nail combined with closed reduction versus open reduction through small incision for unstable femoral shaft fractures in children [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (6): 501-506. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.06.05.
- [12] Makarewich CA, Talwar D, Baldwin KD, et al. Flexible intramedullary nailing of femoral shaft fractures in children weighing ≥ 40 kg: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Pediatr Orthop*, 2020, 40 (10): 562-568. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001574.
- [13] Ulici A, Odagiu E, Haram O, et al. Poor prognostic factors of femoral shaft fractures in children treated by elastic intramedullary nailing [J]. *SICOT J*, 2020, 6: 34. DOI: 10.1051/sicotj/2020031.
- [14] Kalbitz M, Fischer A, Weber B, et al. Diaphyseal femur fractures in children and adolescents—opportunities and limitations of the ESIN technique [J]. *J Clin Med*, 2022, 11 (24): 7345. DOI: 10.3390/jcm11247345.
- [15] Lascombes P, Haumont T, Journeau P. Use and abuse of flexible intramedullary nailing in children and adolescents [J]. *J Pediatr Orthop*, 2006, 26 (6): 827-834. DOI: 10.1097/01.bpo.0000235397.64783.d6.
- [16] Bong MR, Kummer FJ, Koval KJ, et al. Intramedullary nailing of the lower extremity: biomechanics and biology [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2007, 15 (2): 97-106. DOI: 10.5435/00124635-200702000-00004.
- [17] Mileski RA, Garvin KL, Huurman WW. Avascular necrosis of the femoral head after closed intramedullary shortening in an adolescent [J]. *J Pediatr Orthop*, 1995, 15 (1): 24-26. DOI: 10.1097/01241398-199501000-00006.
- [18] Mileski RA, Garvin KL, Crosby LA. Avascular necrosis of the femoral head in an adolescent following intramedullary nailing of the femur. A case report [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1994, 76 (11): 1706-1708. DOI: 10.1097/01241398-199505000-00031.
- [19] Graves RM, Sands KC. Avascular necrosis of the femoral head following intramedullary nailing of the femur in a skeletally mature young adult: a case report [J]. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*, 2008, 37 (6): 319-322. DOI: 10.1006/jsbi.1998.3964.
- [20] Angadi D, Shepherd D, Vadivelu R, et al. Rigid intramedullary nail fixation of femoral fractures in adolescents: What evidence is available [J]. *J Orthop Traumatol*, 2014, 15: 147-153. DOI: 10.1007/s10195-013-0270-y.
- [21] Bhatt T, Mehlman DO, Foad SL, et al. Weight greater than or equal to 99 pounds and age greater than or equal to 12 years predict malunion following elastic stable intramedullary nailing of femoral shaft fractures in children [C]// Cincinnati, Ohio, USA: OTA 20th Annual Meeting. Orthopaedic Trauma Association, 2004.
(收稿: 2023-10-09 修回: 2024-07-08)
(同行评议专家: 俞松, 刘凌)
(本文编辑: 郭秀婷)