

# 外固定架辅助髓内钉治疗膝外翻或膝内翻畸形

杨胜松, 黄 雷<sup>△</sup>, 滕 星, 王 陶, 王满宜

(北京积水潭医院创伤骨科, 北京 100035)

**[摘要]** **目的:**探讨股骨远端截骨(distal femur osteotomy, DFO)和外固定架辅助髓内钉(fixator assist nailing, FAN)技术治疗股骨侧膝外翻或膝内翻畸形的效果。**方法:**回顾性分析 2008 年 1 月至 2013 年 12 月间采用 FAN 技术治疗的 14 例 17 侧下肢畸形患者,包括 12 例膝外翻和 5 例膝内翻畸形。手术方法采用单边外固定架固定股骨,股骨髁上部位微创截骨,矫正畸形后逆行髓内钉固定,所有患者均未植骨。测量患术前和术后的股骨远端外侧角(lateral distal femur angle, LDFA)、机械轴偏离度(mechanical axis deviation, MAD)、膝关节活动范围(range of motion, ROM),并进行分析。**结果:**14 例患者均得到完整随访,随访时间 12~72 个月,平均 34 个月。患者截骨端在术后 3~5 个月(平均 3.5 个月)愈合。根据 Paley 功能评分标准,12 例为优,2 例为良;12 例患者的 15 侧肢体术后 MAD 在膝关节中心内侧 15 mm 至外侧 10 mm 之间,患肢力线得到满意矫正;17 侧肢体有 11 侧 LDFA 达到正常范围(84°~90°)。没有患者发生感染和神经血管损伤,术后膝关节活动范围同术前无显著差异。**结论:**FAN 技术结合了外固定架安全、微创、便于调节、可准确矫正畸形的优点,以及髓内钉固定时患者依从性高的特点,可有效地治疗年轻患者的股骨侧膝外翻或膝内翻畸形。

**[关键词]** 外固定架;骨钉;关节畸形,获得性;截骨术

**[中图分类号]** R682.6 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1671-167X(2016)02-0244-06

**doi:**10.3969/j.issn.1671-167X.2016.02.012

## Management of valgus or varus knee deformity with fixator assist nailing technique and distal femur osteotomy

YANG Sheng-song, HUANG Lei<sup>△</sup>, TENG Xing, WANG Tao, WANG Man-yi

(Department of Orthopaedic Traumatology, Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China)

**ABSTRACT Objective:** To discuss the result of treating valgus or varus knee deformity with fixator assist nailing (FAN) technique and distal femur osteotomy (DFO). **Methods:** In this retrospective study, 14 patients with 17 limbs, 12 valgus and 5 varus knee deformity were treated with DFO and FAN. The average age of the patients was 23 (17–44) years. The unilateral external fixator was mounted on the lateral side of femur, the minimal invasive distal femoral osteotomy was performed. After the deformity was corrected, the intramedullary nail was inserted to fix the femur. None of the patients need bone autograft. The preoperation and postoperation lateral distal femur angle (LDFA), mechanical axis deviation (MAD) and range of motion (ROM) were measured and analyzed. **Results:** All the 14 patients were followed-up for 12–72 months (average 34 months). The osteotomy site united in 3–5 months (average 3.5 months) post-operatively. According to Paley's functional scores, 12 patients were excellent, 2 patients were good. We achieved desired postoperative MAD (from medial 15 mm to lateral 10 mm) in 15 limbs of 12 patients. The LDFA in 11 limbs was corrected to normal (84°–90°). The ROM was not significantly changed before and after operation in the both groups. No infection or neuro-vascular injury occurred. **Conclusion:** The FAN technique is an effective method to treat valgus knee or varus knee deformity in young patients with DFO.

**KEY WORDS** External fixators; Bone nails; Deformities, acquired joint; Osteotomy

长骨畸形造成的下肢对线不良和机械轴偏离度(mechanical axis deviation, MAD)异常会导致膝、髌及踝关节的继发性骨性关节炎<sup>[1-2]</sup>,及早进行股骨远端截骨来矫正畸形一方面可以改善外观,防止关节出现退行性改变,另一方面还可通过恢复下肢力线来减轻骨关节炎患者的疼痛,改善关节功能,延缓

关节退行性改变的进程,即使症状没有完全缓解,仍需要进行关节置换,也会因截骨使得解剖关系有所改善而容易进行关节成形术。

对于下肢畸形,很多医生提出过多种治疗方法,但多数会导致患者耐受性差或准确度欠佳<sup>[3-5]</sup>。外固定架辅助髓内钉(fixator assist nailing, FAN)技术

结合了外固定架的可精确矫正畸形和微创的特点,并充分发挥了内固定时患者耐受性好的优点<sup>[6-8]</sup>,其通过扩髓及髓内钉的植入产生骨折端自动植骨的效果,可以避免对自体髂骨的需求,此外,内固定还可以防止畸形的复发,使患者能够早期活动关节,进行功能练习。本文对北京积水潭医院创伤骨科2008年至2013年采用FAN技术治疗下肢畸形的14例患者进行了回顾性研究,并分析这种治疗方法的疗效和并发症。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

2008年1月至2013年12月采用FAN技术治疗14例共17侧下肢畸形,包括12侧膝外翻、5侧膝内翻,其中6例为创伤后股骨远端骺损伤导致发育畸形,5例为维生素D抵抗性佝偻病,3例为股骨远端骨折畸形愈合。患者年龄17~43岁(平均23岁),包括女性11例、男性3例;4例为左侧畸形,7例为右侧畸形,3例为双侧畸形。

### 1.2 术前评估

患者术前均拍摄双侧膝关节前后位片和侧位片,双下肢全长前后位片和侧位片(图1)。采用股骨远端外侧角(lateral distal femur angle, LDFA)对畸形进行评估,其含义为股骨头中心和膝关节中心的连线与股骨内外侧髁远端关节面切线的外侧夹角,正常值为 $87^\circ \pm 3^\circ$ 。MAD为股骨头中心和踝关节中心的连线距离膝关节中心(胫骨髁间棘的中心)的距离,正常值为膝关节内侧( $8 \pm 7$ ) mm。按照Paley等<sup>[9-10]</sup>提出的方法进行畸形分析,测量出成角旋转中心(center of rotation and angulation, CORA)的畸形成角,规划截骨术的部位,根据测量髓腔的宽度选择髓内钉。

### 1.3 手术方法

采用肢体重建单边外固定架(limb reconstruction system, LRS, Orthofix公司,美国)和股骨逆行髓内钉(Trigen股骨髓内钉,施乐辉公司,美国)。手术在可透视X线手术床上进行,患者仰卧位,在股骨髁平行于关节面打入1枚克氏针作为参照,在股骨髁偏后方和参照针成 $10^\circ$ 角处以及股骨近端髓腔偏后方垂直于股骨解剖轴处各打入2枚外固定针,安装LRS外固定架、2组夹钳及延长杆(图2A)。

### 1.4 截骨方法

在计划截骨部位做2 cm前外侧切口,用4.8 mm钻头在同一水平多处钻孔后,用骨刀截断股骨,透视证实截骨成功后,调整外固定架,矫正成

角畸形,并进行相应的平移。术中透视或拍摄X线片,测量LDFA,位置满意后(图2B),调整延长杆进行截骨端加压。

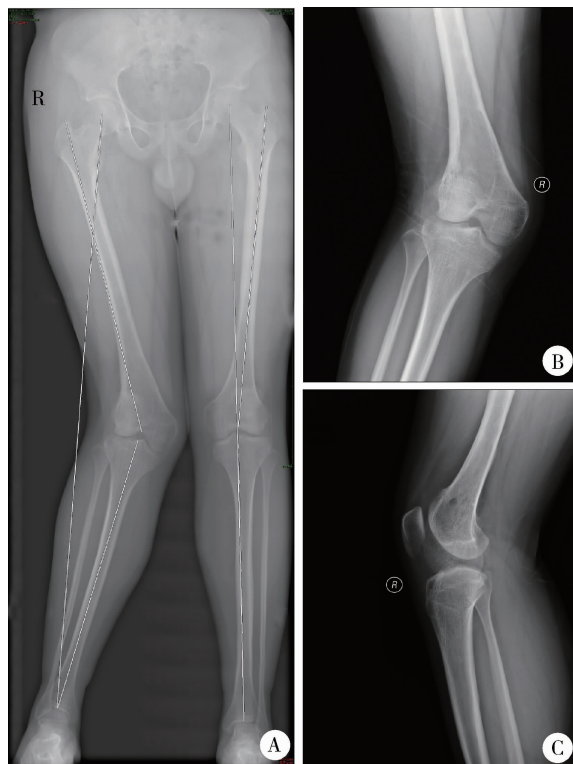


图1 男性患者,19岁,8岁时创伤导致股骨髁外侧骺板损伤,膝外翻畸形(A);膝关节前后位片示膝外翻畸形,股骨外侧髁发育不良(B);膝关节侧位片示股骨向后成角畸形(C)

Figure 1 A 19-year-old man, valgus knee deformity caused by growth plate injury when he was injured 11 years ago (A); Anterior-posterior view shows valgus deformity, dysplasia of lateral femoral condyle (B); Lateral view of knee joint shows recurvatum of distal femur (C)

膝关节髌腱前内侧切开约2 cm切口,向外侧牵开髌腱,在股骨内髁的外侧缘或髁间窝前内方1 cm处插入导针。用扩髓钻将髓腔逐渐扩大(图2C),扩髓超过所选髓内钉直径1.5 mm,如果准备进行外固定架辅助髓内钉进行延长,则扩髓应超过髓内钉直径2 mm。插入髓内钉,从内侧采用瞄准器完成远端锁定,固定3枚锁钉,近端透视下徒手锁定2枚螺钉(图3)。

代谢性骨病引起的畸形为多个顶点成角畸形,需要在多个CORA处截骨,因此需增加一组夹钳,并注意在插入导针和扩髓时将中央骨段的固定针退出髓腔,仅固定外侧单层骨皮质即可。由于股骨的远端髓腔较宽,常需要垂直于髓内钉的方向固定1~2枚阻挡螺钉。完成髓内钉固定后,去除外固定架。所有患者均未植骨。

### 1.5 术后复查及评估

术后第2天即开始在连续被动膝关节运动机帮助下进行功能锻炼,患者拄双拐行走,患肢可部分负

重,直到复查时影像学检查证实骨折愈合后开始完 全负重。

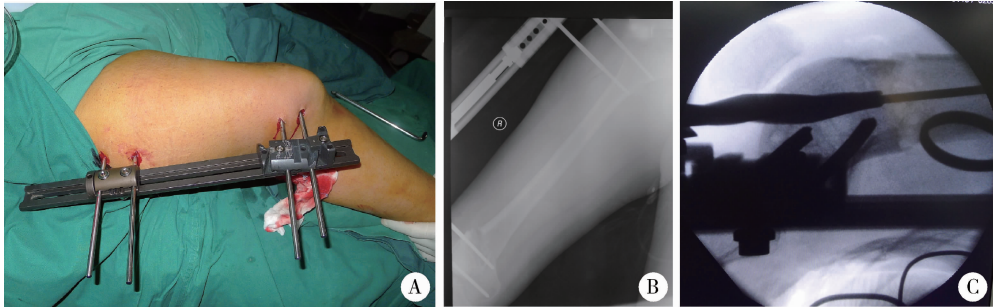


图 2 术中 LRS 重建外固定架固定在股骨外侧 (A);截骨后调整外固定架,矫正畸形(B);插入导针和扩髓钻,外固定架半针位于股骨髁后方,不影响扩髓和髓内钉的插入(C)

Figure 2 The LRS fixator is mounted on the lateral side of femur (A); After performing osteotomy, adjust the fixator to correct the deformity (B); The guide wire and reamer are inserted, the half pins are fixed at posterior side of femur, make room for the intramedullary nail (C)

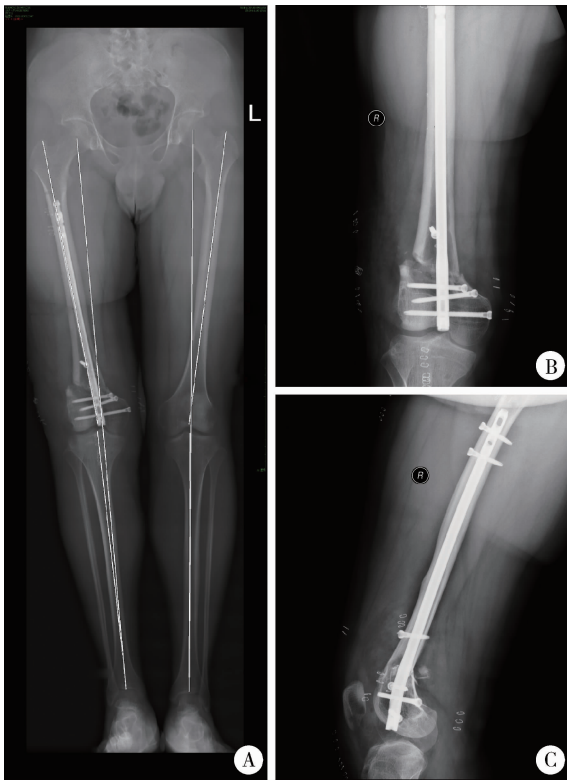


图 3 术后双下肢全长片显示下肢力线恢复(A);股骨前后位片显示畸形已经矫正,固定稳定(B);股骨侧位片显示股骨向后成角畸形已经矫正(C)

Figure 3 After operation, the alignment of the leg is good (A); Anterior-posterior view of femur shows deformity is corrected, fixation of osteotomy by IM nail is stable (B); Lateral view of femur shows good correction of the recurvatum deformity of femur (C)

每个月复查 1 次,拍摄双侧膝关节前后位片和侧位片,双下肢全长前后位片和侧位片,直到截骨部位愈合后开始完全负重;以后每 6 个月复查 1 次;术后满 1 年开始采用 Paley 功能评分每年进行 1 次功能评估<sup>[11-12]</sup>。Paley 功能评分分为以下 4 个方面:(1)是否疼痛;(2)步态情况,有无明显的跛行;(3)能否恢复日常活动和工作;(4)行走距离。评分优:患者无疼痛,步态正常或轻微跛行,能够恢复日常活

动,可以继续以前的工作,可以行走 6 个街区以上;评分良:患者有轻度疼痛,偶尔服止痛药,轻度步态异常,把原来的工作改为比较静态的工作,可以行走 3 至 6 个街区;评分中:患者经常疼痛,需要服用止痛药,步态明显异常,不能参加日常活动,行走距离小于 3 个街区;评分差:患者持续疼痛,不能行走。

测量患肢术前和术后 LDFA、MAD 及膝关节活动范围(range of motion, ROM)。如果术后 MAD 在膝关节中心内侧 15 mm 到外侧 10 mm 之间,则认为患肢力线得到满意矫正。如果术后 LDFA 在正常范围(84°~90°)内,则认为患者的 LDFA 得到满意矫正。

### 1.6 统计学方法

采用 SPSS 13.0 统计分析软件,计算膝外翻组和膝内翻组手术前后的 LDFA、MAD、ROM,数据为非正态分布,以中位数(最小值,最大值)表示。

## 2 结果

14 例患者均得到完整随访,随访时间 12 ~ 72 个月,平均 34 个月。患者截骨端在术后 3 ~ 5 个月(平均 3.5 个月)愈合(图 4),无感染和神经血管损伤出现。根据 Paley 功能评分标准,优 12 例,良 2 例。17 侧下肢畸形中有 15 侧肢体力线得到满意矫正(表 1)。膝外翻组术前 MAD 中位数为外侧 48.5 mm(外侧 30 ~ 117 mm),术后为外侧 1.5 mm(内侧 5 mm 至外侧 44 mm);膝内翻组术前 MAD 中位数为内侧 83 mm(内侧 46 ~ 98 mm),术后为内侧 12 mm(内侧 1 ~ 34 mm)。17 侧肢体中 11 侧 LDFA 达到正常范围(84°~90°):膝外翻组术前 LDFA 中位数为 79.5°(68°~85°),术后为 87.0°(83°~92°);膝内翻组术前 LDFA 中位数为 103°(98°~115°),术后为 88°(85°~94°)。膝外翻组术前 ROM 中位数为 125°(85°~140°),术后为 120°(90°~135°);膝内翻组术前 ROM 中位数为 120°(85°~130°),术后为

125°(90° ~ 125°)。

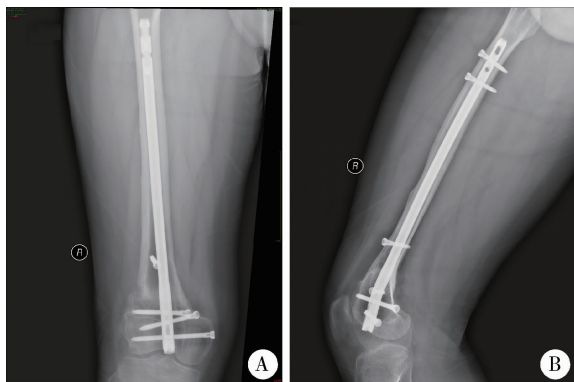


图4 术后6个月,股骨前后位片(A)及侧位片(B)示截骨处愈合良好

Figure 4 Anterior-posterior view and lateral view of femur show osteotomy united after 6 months after operation

1例患者在矫正膝外翻畸形后即进行股骨延长,没有锁定髓内钉近端的螺钉,保留外固定架,术后10 d开始调整外固定架进行股骨延长,在延长3 cm后,在髓内钉近端锁定2枚锁钉固定,然后去除外固定架。1名患者在股骨髁上截骨愈合1年后,进行带外固定架的髓内钉延长术:外固定架固定股骨的远端和近端,取出近端的锁钉,在股骨干中段用线锯进行截骨,术后10 d开始进行延长,延长约6 cm,达到术前计划的长度后再锁定近端锁定螺钉,去除外固定架。

3例患者由于股骨和胫骨都存在畸形,在进行股骨畸形校正6~12个月,又进行了胫骨畸形的截骨矫正手术,其中2例为低磷性佝偻病患者,1例为创伤后骨折畸形愈合患者。

表1 使用FAN技术治疗术前和术后的测量数值

Table 1 Preoperative and postoperative measurements of patients treated with fixator assisted nailing

Group	Patient No.	Age at surgery/years	Side	MAD/mm		LDFA/°	
				Preoperative	Postoperative	Preoperative	Postoperative
Valgus knee	1	17	L	83 lateral	8 lateral	78	90
	2	22	R	42 lateral	2 lateral	81	83
	3	19	R	97 lateral	4 medial	68	83
	4	43	R	46 lateral	5 medial	81	86
	4	43	L	31 lateral	2 medial	82	89
	5	23	R	67 lateral	2 lateral	78	86
	6	17	R	43 lateral	4 lateral	74	91
	6	17	L	45 lateral	2 medial	83	90
	7	19	L	31 lateral	5 medial	85	92
	8	20	R	56 lateral	1 lateral	80	88
Varus knee	9	32	R	58 lateral	3 lateral	78	87
	10*	20	R	117 lateral	44 lateral	79	85
	10*	20	L	98 medial	34 medial	115	94
	11	37	L	83 medial	11 medial	101	91
	12	31	R	46 medial	1 medial	98	86
	13	21	L	76 medial	12 medial	103	85
	14	35	L	85 medial	14 medial	106	88

MAD, mechanical axis deviation; LDFA, lateral distal femoral angle; L, Left; R, right. \* Patient No. 10 is wind-swept leg deformity, valgus knee on right leg, and varus knee on left leg.

### 3 讨论

#### 3.1 根据畸形的具体情况选择截骨的部位和数量

由青少年骨骺损伤所引起的股骨远端发育畸形,往往表现为股骨外侧髁发育不完全、股骨髁形态异常、鱼尾状畸形、双下肢不等长。股骨远端的CORA在关节线附近,由于考虑到需要有足够的空

间进行有效固定,截骨水平不能在CORA处,而需要在股骨髁上部位进行,这需要遵循Paley截骨原则第2条:成角矫形轴(angulation correction axis, ACA)通过同一个CORA,但截骨线未通过该点,位于截骨水平的骨端将出现相互成角和移位,当矫正度数和畸形成角度数相等时,远端和近端的轴线将完全恢复对线<sup>[13]</sup>。佝偻病等代谢性骨病所导致的

股骨畸形分为单独成角畸形和多顶点成角畸形,前者来自于骺板附近,通过一处截骨可以矫正,后者则在股骨干有多个 CORA,需要多处截骨<sup>[13]</sup>。Song 等<sup>[14]</sup>报告的 25 例患者中绝大多数采用的是两处截骨,只有 12% 的节段需要三处截骨。还有研究指出,股骨多处截骨和 FAN 技术能够有效地治疗代谢性骨病导致的畸形<sup>[14-17]</sup>。本研究中 4 例佝偻病患者的股骨均表现为多顶点成角畸形,全部采用两处截骨,截骨端都顺利愈合,3 例畸形矫正满意,另 1 例有轻度矫正不足;4 例截骨部位都位于股骨干的 CORA 处,遵循 Paley 提出的截骨原则第 1 条,即截骨线和 ACA 通过同一个 CORA,骨端将互相改变角度而不发生移位<sup>[9-10, 13]</sup>。纠正成角度数后,位于截骨水平远端和近端的骨骼轴线将处于一条直线上。

### 3.2 固定方式的选择:髓内钉、锁定接骨板或外固定架

股骨远端截骨后,外固定架、锁定接骨板和髓内钉都可以完成固定,但各有优点和不足。锁定接骨板是靠接骨板钉孔的螺纹和锁定螺钉、螺帽的螺纹之间的锁定来达到稳定的固定,相当于内置的外固定架<sup>[18]</sup>。Matthew 等<sup>[19]</sup>报道了采用外固定架和外固定架辅助锁定板 (fixator assist plating, FAP) 对股骨远端截骨后固定的比较,发现两种方法并发症率都较低,尽管锁定板在截骨部位固定的刚度更好,但其常见的不利之处是内固定失效或与内固定有关的疼痛不适,手术以后不能对残留的畸形继续矫正,该文献报道的 13 例 FAP 中有 7 例发生了与固定物有关的疼痛,在术后平均 10 个月时进行了内固定物取出。Ramseier 等<sup>[20]</sup>比较了 4 种股骨骨折的固定方法,其中采用外固定架作为最终治疗,结果不愈合率为 9% ~ 20%,针道深部感染率是 6% ~ 20%,膝关节僵硬的发生率是 0 ~ 45%。由 Zlowodzki 等<sup>[21]</sup>进行的对股骨远端骨折内固定治疗的文献回顾显示,平均不愈合率、固定失败率、深部感染率和再手术率分别为 5.5%、4.9%、2.1% 和 16.2%,固定失败的主要原因是:等待骨缺损愈合的时间过长、过早负重、接骨板位于股骨偏前的位置。与外固定架和锁钉接骨板相比,髓内钉的优点是微创和中心型固定,扩髓时还会产生截骨端自动植骨的效果<sup>[22]</sup>,患者耐受性和依从性好;缺点为进行外固定架固定时,固定针要固定在髓腔偏前或者偏后的位置,预留出髓内钉的通道,手术技术要求较高,放射线透视时间较长。

### 3.3 FAN 技术对畸形矫正的准确程度

Tetsworth 等<sup>[23]</sup>报告了采用 Ilizarov 方法矫正下

肢复杂畸形的准确性,术后平均肢体不等长为 6.1 mm,平均残留 5.4° 畸形, MAD 平均为 8.6 mm。Gugenheim 等<sup>[24]</sup>报告了一组采用 FAN 来进行股骨远端畸形矫正的病例,其膝内翻和膝外翻患者术后平均 LDFA 为 89°。而 Kocaoglu 等<sup>[7]</sup>报告的采用 FAN 进行股骨截骨畸形矫正同时延长的病例,术后 MAD 为 11.29 mm,膝外翻组和膝内翻组患者术后 LDFA 平均分别为 85.84° 和 91.73°。以上研究都认为 FAN 技术存在明显的学习曲线,术者需要同时掌握外固定技术和内固定技术,正确地进行畸形分析,并制定周密的术前计划。本研究中膝外翻组和膝内翻组患者术后平均 LDFA 分别为 87.5° 和 88.6°,术后平均 MAD 分别为外侧 3.9 mm 和内侧 14.4 mm,说明患者畸形矫正效果较为满意,与上述作者报告的结果相似或稍好。

### 3.4 矫正畸形与骨延长

对于合并双下肢不等长的患者,能否在矫正畸形的同时进行肢体延长,取决于畸形的严重程度和截骨矫正畸形后截骨端的接触面积。本研究中 1 例轻度膝外翻合并短肢畸形的患者在进行了外固定架固定,截骨矫正畸形后,插入髓内钉,锁定远端 3 枚锁钉,近端不锁定;术后用外固定架延长了约 3 cm,然后锁定近端锁钉,去除外固定架,畸形矫正和肢体延长同时进行并获得成功。另 1 例患者是在 FAN 术后 1 年,截骨端愈合良好后,重新外固定架固定,取出近端锁钉进行延长,达到预定长度后,再固定 2 枚近端锁钉,去除外固定架,也获得满意疗效。本研究认为,如果膝外翻或内翻畸形较轻,截骨矫正畸形后,截骨端的接触面积超过 80%,可以进行骨延长;如果小于 80%,建议可以待截骨端愈合后,再行带髓内钉的骨延长 (lengthening on nail, LON)。也有医生建议术前在髓内钉中段预先钻 2 个定制钉孔,先行股骨远端截骨矫正畸形,髓内钉锁定远端和中段锁钉,然后在股骨的中上段另行截骨,外固定架辅助髓内钉延长<sup>[7]</sup>。

### 3.5 对于同时伴有胫骨畸形和韧带松弛的处理

膝外翻畸形可以由股骨侧畸形、胫骨侧畸形和韧带松弛共同造成,对于多因素导致的畸形,需要针对其原因分别进行治疗<sup>[9]</sup>。本研究有 3 例患者在矫正股骨侧畸形后进行了胫骨侧的畸形矫正术,其中 2 例使用了 FAN 技术,1 例用外固定架进行矫正。1 例双下肢顺风腿畸形患者右侧膝外翻畸形, MAD 术前为 117 mm,股骨远端截骨 FAN 术后为 44 mm,由于患肢过早负重,韧带松弛加重,在完成胫骨截骨矫正后, MAD 仍然为外侧 37 mm。因此,对于多因素

导致的畸形,在逐步矫正过程中,应避免患肢过早负重,最好在FAN一次性矫正股骨侧畸形后,对胫骨采用外固定架逐渐矫正,这样可以根据患者的个体情况精确调节力线。

本研究是一项回顾性研究,由于病例数较少,缺乏与其他方法的随机对照,而且对于评估指标,仅采用了属于客观标准的L DFA、MAD、ROM及Paley功能评分,缺乏患者主观评分,如疼痛评分、患者满意度等。如果能在下一步研究中,增加病例数,并与其他方法进行随机对照,同时增加患者的主观评分,则研究结果会更具说服力。

### 参考文献

- [ 1 ] Chao E, Neluheni E, Hsu WW, et al. Biomechanics of malalignment [J]. *Orthop Clin North Am*, 1994, 25(3): 379-386.
- [ 2 ] Tetsworth K, Paley D. Malalignment and degenerative arthropathy [J]. *Orthop Clin North Am*, 1994, 25(3): 367-378.
- [ 3 ] Matsubara H, Tsuchiya H, Kabata T, et al. Deformity correction for vitamin D-resistant hypophosphatemic rickets of adults [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2008, 128(10): 1137-1143.
- [ 4 ] Kucukkaya M, Karakoyun O, Armagan R, et al. Correction of complex lower extremity deformities with the use of the Ilizarov-Taylor spatial frame [J]. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2009, 43(1): 1-6.
- [ 5 ] Edgerton BC, Mariani EM, Morrey BF. Distal femoral varus osteotomy for painful genu valgum. A five-to-11-year follow-up study [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1993(288): 263-269.
- [ 6 ] Paley D, Herzenberg JE, Paremian G, et al. Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1997, 79(10): 1464-1480.
- [ 7 ] Kocaoglu M, Eralp L, Bilen FE, et al. Fixator-assisted acute femoral deformity correction and consecutive lengthening over an intramedullary nail [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2009, 91(1): 152-159.
- [ 8 ] Kim HJ, Fragomen AT, Reinhardt K, et al. Lengthening of the femur over an existing intramedullary nail [J]. *J Orthop Trauma*, 2011, 25(11): 681-684.
- [ 9 ] Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, et al. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies [J]. *Orthop Clin North Am*, 1994, 25(3): 425-465.
- [ 10 ] Paley D, Tetsworth K. Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of multiapical frontal plane angular and bowing deformities of the femur and tibia [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1992(280): 65-71.
- [ 11 ] Paley D, Catagni MA, Argmani F, et al. Ilizarov treatment of tibial nonunion with bone loss [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1989(241): 146-165.
- [ 12 ] Katsenis D, Bhave A, Paley D, et al. Treatment of malunion and nonunion at the site of an ankle fusion with the Ilizarov apparatus [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2005, 87(2): 302-309.
- [ 13 ] 佩利. 截骨术概念和恢复额状面对线[M]//佩利. 畸形外科原则. 北京:中国医药科技出版社, 2005: 99-154.
- [ 14 ] Song HR, Soma Raju VV, Kumar S, et al. Deformity correction by external fixation and/or intramedullary nailing in hypophosphatemic rickets [J]. *Acta Orthop*, 2006, 77(2): 307-314.
- [ 15 ] Kocaoglu M, Bilen FE, Sen C, et al. Combined technique for the correction of lower-limb deformities resulting from metabolic bone disease [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2011, 93(1): 52-56.
- [ 16 ] Eralp L, Kocaoglu M, Tokar B, et al. Comparison of fixator-assisted nailing versus circular external fixator for bone realignment of lower extremity angular deformities in rickets disease [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2011, 131(5): 581-589.
- [ 17 ] 杨胜松, 黄雷, 滕星, 等. 外固定架辅助髓内钉技术治疗股骨畸形和股骨干骨折不愈合[J]. *中华骨科杂志*, 2013, 33(5): 526-533.
- [ 18 ] Mark JJ, Allan FT, Michael JG. Biomechanics of fractures and fracture fixation [M]//Court-Brown CM, Heckman JD, McQueen MM, et al. *Rockwood and Green's fracture in adults. USA: Wolters Kluwer Health*, 2015. (洛克伍德-格林: 成人骨折. 北京: 北京大学医学出版社, 2016: 1-41.)
- [ 19 ] Matthew KT, Seah KT, Shafi R, et al. Distal femur osteotomy: is internal fixation better than external? [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2011, 469(7): 2003-2011.
- [ 20 ] Ramseier LE, Janicki JA, Weir S, et al. Femoral fracture in adolescents: a comparison of four methods of fixation [J]. *J Bone J Surg Am*, 2010, 92(5): 1122-1129.
- [ 21 ] Zlowodzki M, Bhandari M, Marek DJ, et al. Operative treatment of acute distal femur fractures: systematic review of 2 comparative studies and 45 cases series (1989 to 2005) [J]. *J Orthop Trauma*, 2006, 20(5): 366-371.
- [ 22 ] Hoegel FW, Abdulazim AN, Buehren V, et al. Quantification of reaming debris at the fracture gap of diaphyseal A3 femur fractures after reamed intramedullary nailing and using an intramedullary application system [J]. *J Trauma*, 2010, 69(6): 98-101.
- [ 23 ] Tetsworth KD, Paley D. Accuracy of correction of complex lower-extremity deformities by the Ilizarov method [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1994(301): 102-110.
- [ 24 ] Gugenheim JJ Jr, Brinker MR. Bone realignment with use of temporary external fixation for distal femoral valgus and varus deformities [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2003, 85(7): 1229-1237.

(2015-01-15 收稿)  
( 本文编辑:赵 波)