

## · 综述 ·

## 引导生长技术矫正儿童骨骼成角畸形的研究进展



全文二维码

周小玉 朱光辉 梅海波

南华大学儿科学院 湖南省儿童医院骨科 儿童骨科学湖南省重点实验室,长沙 410007

通信作者:梅海波,Email:meihaibo@sohu.com

**【摘要】** 儿童骨骼成角畸形(angular deformity of bone, ADB)是由于各种因素导致的骨骼发育不平衡,临床表现为肢体力线异常。引导生长技术(guided growth technique, GGT)是一种通过固定部分骺板,阻止固定侧骨骼生长,保留同一骨骼对侧生长,从而逐渐矫正肢体成角畸形的外科技术。GGT 治疗 ADB 具有操作简单、微创、并发症少、可有效减少或避免截骨等特点。近年来,GGT 已逐渐应用于各种成角畸形的治疗中,最常用于膝关节,其次为踝关节、髋关节和脊柱,用于矫正旋转畸形的研究也有了一定进展,而植入物的不断改进进一步促进了 GGT 的发展。本文就 GGT 矫正儿童 ADB 的研究进展进行综述。

**【关键词】** 骨骼成角畸形; 引导生长技术; 儿童

**基金项目:**2022 年湖南省卫生适宜技术推广项目(202218015912);儿童骨科学湖南省重点实验室专项经费(2023TP1019);湖南省儿童肢体畸形临床医学研究中心(2019SK4006)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202311027-016

### Research advances of guided growth technique in the correction of bone angular deformities in children

Zhou Xiaoyu, Zhu Guanghui, Mei Haibo

Hunan Provincial Key Laboratory of Pediatric Orthopedics, Hunan Children's Hospital, Academy of Pediatrics, University of South China, Changsha 410007, China

Corresponding author: Mei Haibo, Email: meihaibo@sohu.com

**【Abstract】** Pediatric bone angular deformity (ADB) is caused by a variety of factors due to uneven bone development. A major clinical manifestation is an abnormality of extremity physical line. Guided growth technique (GGT) is a surgical technique of fixing part of epiphyseal plate for preventing the growth of fixed side bone and retaining the contralateral growth of the same bone so as to gradually correct the angular deformity of extremities. GGT offers the advantages of simple operation, mini-invasiveness, fewer complications, effective reduction and an avoidance of osteotomy. In recent years, GGT has been gradually applied for a variety of angular deformities. The most common target sites include around knee joint, followed by ankle, hip joint and spine. Some progress has been achieved for correcting rotational deformity. Continuous improvement of implants has also further contributed to the development of GGT. This review summarized the latest advances and future perspectives of applying GGT for ADB in children.

**【Key words】** Angular Deformity of Bone; Guided Growth Technique; Child

**Fund program:** Hunan Provincial Health Project of Appropriate Technology Popularization in 2022 (202218015912); Special Grant of Hunan Provincial Key Laboratory of Pediatric Orthopedics (2023TP1019); Clinical Research Center for Extremity Deformity of Children in Hunan Province (2019SK4006)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202311027-016

骨骼成角畸形(angular deformity of bone, ADB)是儿童生长发育过程中的常见畸形,包括生理性畸形和病理性畸形,主要表现为肢体力线异常,多由于各种因素造成骺板(生长板)不对称性生长所致,常见情况包括膝内外翻、踝外翻等。生理性畸形可以在生长发育过程中得到自发矫正,而病理性畸形则需要及时干预,否则可能导致步态异常、影

响外观,甚至出现肢体疼痛、关节不稳、活动功能障碍、关节负荷异常以及增加过早患骨关节炎的风险<sup>[1-2]</sup>。导致儿童 ADB 的常见疾病包括低血磷性佝偻病、Blount 病、特发性膝内外翻、创伤和感染所致骺板损伤、股骨或胫骨发育不良以及其他代谢性疾病<sup>[3-4]</sup>。既往用于治疗儿童 ADB 的手术方式有截骨术和外固定逐渐矫正术,截骨术可以快速显著地矫

正畸形,但创伤大、出血多、住院时间长;外固定逐渐矫正术后护理难度大、费用高且显著影响患儿日常生活。

引导生长技术(guided growth technique,GGT)在儿童骨科中也称半骨骺阻滞术。根据 Hueter-Volkman 原理,过大和持续的外力可对软骨细胞产生压力,导致骨骼生长迟缓甚至停止。GGT 通过内植物锁定骺板,对骺板两端施加压力,阻止固定侧骨骼的生长,保留同一骨骼对侧生长,用骺板近端畸形逐渐抵消原有畸形,从而达到引导骨骼自然生长以矫正肢体畸形的目的。该手术具有操作简单、微创、可控的优点,最重要是具有替代截骨矫正术或外固定逐渐矫正术的可能,从而避免相关术后并发症<sup>[5]</sup>。进一步探索和发展 GGT 可能会明显减少患儿截骨手术及术后并发症,改变预后,且尽可能不影响患儿日常生活与学习。本文就 GGT 矫正儿童 ADB 的研究历史和进展进行综述,以促进临床医师对 GGT 的认识和启发性应用。

### 一、历史回顾

自 1933 年 Phemister 第一次在骺板上直接行畸形矫正手术以来,研究人员通过对包含干骺端、骺板和骨骺的骨进行矩形切除,将切除骨块两端颠倒,重新插入,以阻止较长侧肢体的生长,保留对侧骺板的生长,使畸形骨骼依靠自身生长逐渐得到矫正<sup>[6]</sup>。

Haas 于 1945 年提出骺板两端压缩力会抑制骨的生长,之后通过动物实验发现一旦取出对骺板有压缩力的植入物,骨的生长会恢复<sup>[7]</sup>。1949 年 Blount 和 Clarke 引入“暂时性骨骺固定术”。文献报道该技术将植入钉跨越并固定于骺板两侧,骺板保持完好无损,而取出植入物后,原受固定侧骨骼可以继续生长<sup>[8]</sup>。1998 年,Metaizeau 等<sup>[9]</sup>首先描述了在胫骨近端和股骨远端使用螺钉来矫正膝关节周围的成角畸形,取得了良好的效果。2007 年,Stevens 等<sup>[10]</sup>首次提出“引导生长”的概念,引入了 8 字形钢板系统。该研究者的一项前瞻性研究纳入了各种病因导致的 34 例(65 侧肢体)下肢成角畸形患者,在应用该技术的 65 侧肢体中,有 63 侧(97%)避免了截骨术。

Phemister 技术是有效的,但由于其骨损伤大,多年来在很大程度上已被损伤较小的技术所取代。Blount 钉是第一个被广泛使用的植入物,但钉断裂和移位导致矫正失败和重复植入率高,因而该方法有着非常高的不可预测性。8 字钢板的矫正率高,既克服了 Blount 钉易脱出和移位的缺点,又显著降低了骺板破坏融合的风险,因而引导生长的 8 字钢板技术被更多地投入使用。

### 二、研究进展

近年来,GGT 在儿童骨科已被应用于各种骨骼成角畸形中。以下按解剖部位分别进行综述。

#### (一)膝关节

儿童 ADB 最常见于膝关节周围,包括冠状面畸形(如膝内、外翻),主要病因包括佝偻病、创伤性膝内外翻、特发性膝内外翻等;矢状面畸形(如多发关节挛缩的膝关节屈曲畸形、关节松弛症的膝反屈畸形)。

1. 冠状面畸形 2009 年,Sánchez Mesa 等<sup>[11]</sup>开展了一项前瞻性研究,以期评估在股骨远端使用 GGT 治疗特发性膝外翻的疗效。研究纳入 52 例(100 膝)特发性膝外翻患者,平均随访 3.2 年(2.3~5.3 年),股股角从  $14.17^{\circ}\sim 35.3^{\circ}$  矫正至  $6.2^{\circ}\sim 15.8^{\circ}$ ,无一例体育活动受影响。2022 年,肖汉等<sup>[12]</sup>回顾性分析了采用 8 字钢板 GGT 治疗儿童先天性胫骨假关节愈合后胫骨近端外翻畸形的临床疗效,18 例矫正效果均满意,平均矫正速率为每月  $1.26^{\circ}$ ,无一例骺板损伤发生。

有学者回顾了 GGT 矫正膝关节周围冠状面成角畸形疗效的影响因素,2019 年 Danino 等<sup>[13]</sup>对 206 例患者的 372 个肢体进行多中心回顾性研究,计算平均矫正率,结果发现影响疗效和矫正率的显著因素是年龄、畸形方向和畸形严重程度。股骨畸形的平均矫正率明显快于胫骨,分别为每月  $0.85^{\circ}$  和  $0.78^{\circ}$  ( $P=0.05$ );股骨外翻畸形的矫正率快于内翻,前者为每月  $0.90^{\circ}$ ,后者为每月  $0.77^{\circ}$  ( $P=0.04$ );此研究可能对术后植入物的取出时机选择有指导作用。

2022 年,Walker 等<sup>[14]</sup>开展了一项 GGT 治疗婴儿胫骨截骨术后内翻畸形的多中心研究,6 个中心共对 15 例(16 膝)截骨术后内翻畸形患儿行胫骨外侧张力带钢板治疗,患儿诊断年龄 $\leq 4$  岁,结果显示该技术可以改善大多数患儿的异常肢体力线,最终效果与年龄较小、体重较轻、畸形较轻和骨骼成熟度较低有关,因此建议早期干预。但是关于体重和畸形程度是否影响疗效的问题,Daniel 研究了 2017—2020 年应用引导生长张力带板治疗的 33 例(60 膝关节)膝内翻、外翻患者,矫正成功率达 90%,未发现矫正效果与体重和畸形程度有明显关系,这与 2018 年 Park 等<sup>[15]</sup>的研究结论一致。

2. 矢状面畸形 2012 年,Al-Aubaidi 等<sup>[16]</sup>分析了 21 例神经肌肉疾病导致的膝关节屈曲挛缩患者资料,患者均接受了股骨远端前侧引导生长技术治疗,未接受任何其他手术,当达到预期的膝关节伸展效果或患者骨骼成熟时,取出植入物,结果显示膝关节屈曲挛缩从平均  $20^{\circ}$  ( $10^{\circ}\sim 40^{\circ}$ ) 纠正为平均  $10^{\circ}$  ( $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ),仅 2 例出现了并发症,分别为感染和股骨髁上骨折各 1 例。2022 年,有学者调查了 27 位外科专家的意见,得到的共识是:股骨远端前侧引导生长技术适用于至少还有 2 年生长潜力、膝关节屈曲挛缩较小( $<30^{\circ}$ ) 的脑性瘫痪儿童<sup>[17]</sup>。

2021 年,Stevens 等<sup>[18]</sup>随访了 5 例膝反屈畸形患者,其中男 3 例(双侧 1 例),女 1 例。患者均采用张力带钢板螺钉固定胫骨近端后侧的引导生长方法治疗,随访时间 18~24 个月(平均 20 个月),5 例患者的膝关节过度伸展和相关的假性松弛都得到缓解,且肢体长度保持不变。

目前,GGT 最常用于治疗膝关节周围的成角畸形,整体疗效满意。多数学者支持对于年幼患儿的膝关节周围成角畸形进行引导生长,以便有足够时间进行矫正,而生长潜力超过 2 年的患者更有实现完全矫正的机会。

#### (二)踝关节

踝关节成角畸形一般是指冠状面的踝内、外翻,矢状面

的踝背屈范围减小。踝内翻少见且少有学者报道。踝外翻畸形常见于患有神经肌肉疾病的儿童,如脊髓灰质炎、脑性瘫痪,还常见于先天性胫骨假关节截骨术后、骨髓增生异常等疾病;踝关节背屈范围减小见于平顶距骨(flat-top talus, FTT)<sup>[19]</sup>。越来越多的证据表明,对于骨骼未成熟的踝关节成角畸形患者,GGT 治疗效果良好<sup>[20-21]</sup>。踝关节 GGT 植入物主要包括经骺板螺钉、张力带板、8 字钢板、Blonut 钉和新型“U”形钉等。

1. 冠状面畸形 多位学者报道使用经骺板螺钉矫正踝关节外翻在不同疾病中均有效。2014 年,Driscoll 等<sup>[22]</sup>比较了经骺板螺钉与张力带板治疗踝外翻的疗效,两种方法矫正畸形的效果相似。然而,经骺板螺钉与张力带板相比,矫正速度约快 50%,优于张力带板结构,但其植入物相关并发症(螺钉弯曲、螺钉断裂或移位、螺钉取出困难、螺钉头突出、发生骺板骨桥)的发生率更高,约 17.1%,而张力带板的并发症发生率仅 4.0%左右。

2020 年,Westberry 等<sup>[19]</sup>回顾性研究了 119 例踝外翻患儿的 189 侧肢体,其中 69 侧(约 37%)肢体螺钉取出困难,进一步研究表明,螺钉放置时间越长且患儿年龄越小时,取出螺钉困难的概率越高。因此术中尽量使用专门的螺钉拔除装置,使取出过程更加顺利,并且告知患儿家属定期随访的重要性,以更好地判定取出螺钉的最佳时机。发生骺板骨桥是由于经骺板螺钉穿过了骺板,这可能导致骺板部分或全部提前闭合,阻止骨骼的生长。因此经骺板螺钉在胫骨远端的临床应用正逐渐减少。

GGT 治疗踝外翻的常用植入物还有 8 字钢板和 Blonut 钉。由于踝关节内侧软组织较少,缺乏肌肉组织覆盖,较厚的钢板和螺钉的尾部容易刺激皮肤产生疼痛、皮肤破溃等,尤其是严重踝外翻时,内踝突出明显,植入 8 字钢板甚至会导致切口皮肤闭合困难<sup>[23]</sup>。

2022 年,Hu 等<sup>[23]</sup>报道了一种适应胫骨远端内侧皮质骨形态的新型“U”形钉,厚度为 1~1.5 mm,增加了钉的宽度和头部的齿线,由此降低了固定失败的风险,且植入物与胫骨皮质更加贴合,减少或消除了局部皮肤并发症。该研究者回顾了 2013 年 5 月至 2019 年 9 月采用新型“U”形钉治疗的 33 例先天性胫骨假关节术后踝外翻患儿资料(随访时间至少 14 个月,平均 35 个月),结果显示胫距角由术前( $74.2 \pm 4.6^\circ$ )增加到术后的( $86.8 \pm 4.9^\circ$ ),平均矫正速率为每月  $0.68^\circ$ ,随访期间无一例出现局部皮肤并发症,患儿均踝关节运动良好,无关节僵硬,拆除内固定后无骺板损伤。

2. 矢状面畸形 FTT 是先天性马蹄内翻足治疗后的常见并发症,可导致患儿踝关节背屈活动范围减小,下蹲困难。2020 年,有学者报道在胫骨远端前侧使用 GGT 治疗平顶距骨,以期纠正胫骨远端矢状面的踝背屈范围减小,研究纳入 8 例患者(9 足),随访 12~18 个月,胫骨远端前侧角均明显改善,由平均  $86.3^\circ$  下降至  $69^\circ$  ( $P < 0.0001$ )<sup>[24]</sup>。

踝关节周围成角畸形在小儿骨科临床很常见,GGT 治疗儿童踝外翻畸形疗效确切。经骺板螺钉见效快,但易导致拔

钉困难、螺钉头突出、发生骺板骨桥等并发症;8 字钢板降低了拔钉困难和伤害骺板的风险,螺钉角度灵活,但不能满足踝关节内侧的特殊解剖;专为内踝设计的新型“U”形钉植入简单、低切迹、能防止螺钉退出和紧密贴合皮质骨的特点,让内踝的骨骺阻滞选择有了进一步的发展。

### (三) 髋关节

在髋部,GGT 主要用于防止或减少股骨大粗隆过度生长和髋外翻畸形。如股骨头缺血性坏死(perthes 病)、脑性瘫痪、发育性髋关节发育不良(developmental dysplasia of the hip, DDH)等导致的髋关节畸形<sup>[25]</sup>。

2014 年,Stevens 等<sup>[26]</sup>用软组织松解术联合 GGT 治疗了 12 例平均年龄 7.3 岁的 Perthes 病患者,随访发现有 11 例疼痛得到改善,12 例跛行和 Trendelenburg 症状均减轻,大多数患儿的活动范围得到改善或维持。联合 GGT 成功保持了外展肌的力量,避免了大粗隆过度生长或转子间截骨。

2022 年,Sheu 等<sup>[27]</sup>采用软组织松解术联合 GGT 治疗髋关节移位的痉挛性脑性瘫痪。从术后 1 年开始,引导生长技术显著降低了头干角(head-shaft angle, HSA),并更大幅度降低了股骨头偏移百分比(migration percentage, MP),2 年内将 MP 控制在  $<40\%$  的患儿比例从单纯软组织松解术的 41% 提高到联合 GGT 的 73%,较单独使用软组织松解术更能改善髋关节移位。GGT 是治疗儿童髋关节移位的较好辅助手段。

对于 DDH 后遗症的治疗,2011 年,McGillion 等<sup>[28]</sup>首次报道了 GGT 治疗 DDH 术后股骨近端外侧缺血坏死的髋外翻患儿,10 例中有 7 例髋外翻完全矫正,无一例发生严重并发症。

Hsu 等<sup>[29]</sup>分析了髋部螺钉位置对引导生长结果的影响。该研究者回顾性分析了 2012 年 7 月至 2017 年 9 月期间接受股骨近端半骨骺固定术的 32 例脑性瘫痪患儿的 61 个髋关节。根据螺钉在冠状面上的位置分为两组,即穿过内侧四分之一为第 1 组(37 个髋部),穿过中四分之一为第 2 组(24 个髋部)。两组髋臼指数和股骨前倾角都有显著和相似的改善。第 1 组螺钉从骺板滑脱的发生率较第 2 组高( $P = 0.038$ )。因此建议螺钉放置于更居中的位置,至少在内侧骺板的中间四分之一处,以避免过早翻修手术。

虽然使用 GGT 不会像股骨近端截骨术那样瞬间产生大的内翻,但它确实稳定了髋关节,对髋关节成角畸形的儿童有益。若出现脱钉或随着股骨生长、骺板从螺钉顶端长出时,替换螺钉也是一个创伤很小的手术<sup>[30]</sup>。

### (四) 脊柱

引导生长技术通过压缩作用而减慢骨的生长速度的规律已被证明适用于脊柱<sup>[31]</sup>。目前脊柱 GGT 植入物主要包括 U 形钉、椎体栓系系统和 Shilla 系统。

2009 年,Stücker<sup>[32]</sup>随访了使用 U 形钉技术的 6 例脊柱侧弯患者,随访时间均为 2 年以上,发现 Cobb  $>35^\circ$  的患者畸形仍持续进展,而  $<35^\circ$  者无明显进展。可见该技术适合侧弯度数较小的患者,但由于 U 形钉跨越了活动的椎间盘,承受力较大,因而有易松动、脱出甚至断裂的风险。



为了降低承受力,减少脱钉率,有学者将 U 形钉固定改进为椎体螺钉栓系系统,限制纵向生长但仍允许固定节段有一定程度的椎间活动。2019 年,新加坡学者通过前瞻性研究观察了 5 例 9~12 岁女性胸椎侧弯患者,她们均接受了椎体前路栓系引导生长技术,结果显示矫正了脊柱侧弯畸形的同时保留了脊柱侧弯的柔韧性<sup>[33]</sup>。但是这项技术存在因过度矫正而需要多次手术的风险。

2014 年,McCarthy 等<sup>[34]</sup>首次报道了 Shilla 技术,该技术依靠生长棒在钢丝或滑动螺钉上自动滑移来允许脊柱沿棒的两端生长,避免了多次开放手术。2017 年,Luhmann 等<sup>[35]</sup>的研究也支持 Shilla 技术矫正畸形是有效的,且 Shilla 手术创伤小,可以明显减少手术次数,但 Shilla 系统对于置钉要求较高,存在钉棒易出现无法滑动的缺点。

总之,U 形钉与椎体栓系系统用于脊柱侧弯的临床长期随访资料尚少,多为小样本研究,临床指征尚未明确,也未被广泛接受,仍需要长期随访及大样本临床研究来证实。目前认为 U 形钉与椎体栓系系统适用于侧凸度数不大的早发性脊柱侧弯患者(Cobb < 35°)。Shilla 技术适用于早发性脊柱侧弯(Cobb > 50°)、脊柱柔韧性好的患儿。

#### (五)足部(青少年拇趾外翻)

青少年拇趾外翻(juvenile hallux valgus deformity, JHVD)是儿童和青少年中最常见的前足病变之一,其特征是第一跖骨内翻和第一近节趾骨外翻。文献报告其发病率为 2%~4%,女童发生概率约为男童的 15 倍<sup>[36-37]</sup>。在中度和重度病例中,JHVD 会引起功能不适和穿鞋问题,主要症状为第一跖骨关节压痛、压疮、休息和行走时由于鞋子摩擦而导致的第一跖骨头部疼痛<sup>[38]</sup>。通过对第一跖骨近端骺板进行引导生长可以有效纠正 JHVD<sup>[39-40]</sup>。2018 年,Schlickewei 等<sup>[41]</sup>的一项研究纳入 22 例接受第一跖骨骺板螺钉固定术患者,平均年龄 4.8 岁,随访时间平均 27.8 个月。拇外翻角从术前的(26.5 ± 6.6)°变为(20.2 ± 6.2)°,跖骨间角从(14.1 ± 5.4)°变为(10.5 ± 2.9)°,认为第一跖骨引导生长术是早期 JHVD 的一种有效、安全、技术上简单且微创的治疗方式。对于有持续症状的患者,行第一跖骨近端骺板螺钉固定引导生长是一个很好的选择,该方式不仅创伤小,复发率较低,且术后肢体可立即负重。

#### (六)上肢

腕关节尺偏和肘内外翻是上肢常见的成角畸形。桡骨和尺骨之间的生长不平衡可导致前臂弯曲、桡骨或尺骨相对缩短、腕关节不稳和桡骨头脱位,从而限制前臂旋转等。

2016 年,Kelly 等<sup>[42]</sup>的一项研究纳入 18 例诊断为前臂多发性骨软骨瘤(multiple hereditary exostoses, MHE),桡骨远端关节面角(RAA)大于 30°,且接受了桡骨远端桡侧 GGT 治疗的患者,发现 GGT 是矫正桡骨远端放射学畸形的一种简单而有效的方法。2022 年,Soldado 等<sup>[43]</sup>报道在 5 例患儿中使用经肘关节交叉空心螺钉 GGT 来矫正肘内翻畸形。5 例平均年龄 3 岁 7 个月,平均随访 3 年 10 个月,无一例获得矫正。无效的原因可能是肱骨远端快速生长多发生在青春期,

该组患儿年龄尚小且病例数较少。引导生长技术治疗患儿肘内外翻的疗效还有待进一步研究。

上肢的生长速率较低,对整个肢体生长的贡献占比较小,因而引导生长效果无下肢明显,但 GGT 仍是上肢成角畸形且骨骼未成熟患儿值得一试的选择,但其效果还有待进一步探究<sup>[44]</sup>。

#### 三、问题与展望

##### (一)GGT 治疗儿童 ADB 有过度矫正和畸形反弹的风险

GGT 治疗儿童 ADB 过度矫正相对较少发生,多由于随访和植入物取出延迟所致<sup>[45-46]</sup>。文献报道畸形反弹是引导生长后的常见并发症<sup>[47]</sup>。2018 年,Farr 等<sup>[48]</sup>研究发现,女童、男童首次植入时年龄至少达到 12.5 岁、13 岁,畸形反弹的风险可降至最低。2019 年,Leveille 等<sup>[49]</sup>研究发现引导生长期间年龄越小(女童小于 10 岁,男童小于 12 岁),初始畸形较大的患者(机械轴偏离 > 20°),畸形反弹的风险越大。但并非所有畸形反弹风险大的患者都会发生反弹,因此该研究者建议无需常规人为过度矫正。2023 年,Aksoy 等<sup>[50]</sup>则建议对膝外翻畸形患者进行平均 5°的过度矫正,以克服反弹现象。

对于过度矫正的问题,最重要的解决办法是加强随访,提升患儿依从性,以帮助更好地判定取出植入物的最佳时机,尤其是年龄较大、骺板接近闭合的患者。通过拍摄患儿腕部 X 线片或肘关节侧位片测定骨龄,以及运用下肢长度的生长预测方法来判断患儿剩余生长潜力,从而指导手术时机和植入物取出时间,这有可能避免畸形反弹,减少手术次数,为患者带来更大的获益。

##### (二)GGT 治疗儿童 ADB 的效果与患儿伴发疾病种类相关

对于由软骨发育不良、佝偻病、MHE 等疾病引起的病理性骺板 ADB,矫正速度往往较慢且容易失败,因而建议更早进行手术干预<sup>[51]</sup>。2012 年,Stevens<sup>[52]</sup>使用 GGT 矫正软骨发育不良继发的髁内翻和膝内翻。3 例均在股骨近端、股骨远端、胫骨近端植入 8 字钢板,手术年龄 19~33 个月,平均随访 48 个月,髁内翻的影像学参数均有所改善,Trendelenburg 征阴性,髋关节疼痛减轻,膝内翻完全矫正,患儿均步态正常,无一例并发症。2017 年,Horn 等<sup>[53]</sup>报告 8 字钢板治疗低血磷性佝偻病所致膝内、外翻的矫正满意率为 70% (16/23),23 例中 16 例完全矫正,6 例得到改善。生长潜力超过 3 年的患者效果更好。2021 年,Trisolino 等<sup>[54]</sup>回顾了采用 GGT 治疗的 97 例患者(184 膝),其中特发性膝外翻 77 例,MHE 导致的膝外翻 20 例,最终特发性畸形患儿矫正成功率为 88%,MHE 患儿的成功率为 55%。随着时间的推移,潜在的疾病可能在发展,进而降低 8 字钢板的矫正效果,故建议更早干预病理性畸形。进一步扩大病例、进行病例对照研究可能会更有针对性地在病理性骺板 ADB 中提升运用 GGT 的治疗效果。

##### (三)8 字钢板螺钉的长度和植入角度是否会影响矫正速率

根据压力会导致骨骼生长迟缓或停止以及杠杆臂原理,



螺钉越长,施加在钢板附近的压缩力越大。2012 年,西班牙学者试图通过两种不同长度的螺钉行动物(兔子)实验来证明这一观点,但结果显示不同长度的 8 字钢板螺钉矫正效果差异无统计学意义,分析有可能是差距太小而被忽视,也有可能是需要更长时间才能有明显的效果<sup>[55]</sup>。

2011 年 Burghardt 等<sup>[56]</sup>在使用 8 字钢板时发现矫正速度较慢的原因可能是螺钉随着生长而发散,直到完全与钢板接合后才开始起矫正作用。2018 年,Stevens<sup>[57]</sup>提出平行螺钉植入 3~6 个月后会逐渐发散,发散式螺钉一开始就能抑制骨骼生长,建议在行 8 字钢板手术时用发散式螺钉,但并未指出两螺钉间最适宜的角度。2019 年,Eltayeb 等<sup>[58]</sup>在研究中发现初始螺钉角度范围为 0°~30°的张力带板具有相似的角度校正速率,认为没有必要使螺钉平行或发散。目前该问题仍存在争议,普遍建议螺钉放置在解剖学位置上,即不破坏骺板,而不是偏向于任何特定的角度。

#### (四) GGT 对肢体旋转畸形的矫正

尽管从技术层面而言,GGT 在任何平面上矫正畸形都是可行的,但这种方法还没有被用于矫正轴向旋转畸形(即多平面成角畸形),比如先天性胫骨假关节前外侧合并内侧弯曲。旋转畸形的引导生长还处于动物实验阶段。Arami 等<sup>[59]</sup>运用 GGT 成功矫正了兔股骨远端的轴向旋转畸形;Co-banoglu 等<sup>[60]</sup>使用该技术实现了兔胫骨的旋转变化;Lazarus 等<sup>[61]</sup>认为旋转程度与钢板的初始角度有关,放置在骨髓两侧钢板之间的角度越大,诱导出的旋转量越大。在兔子模型中,引导生长已被证明可以改变轴向旋转生长,但在这项技术投入临床实践之前,还需要进一步研究,包括开发新技术、更大型的动物模型、根据所需矫正程度准确计划钢板的初始放置位置和角度,以及如何防止其他平面的伴随畸形等。

#### (五) 年龄对 GGT 治疗儿童 ADB 的影响

有研究表明,年龄是影响疗效和畸形矫正速率的显著因素之一<sup>[13]</sup>。2010 年,Ballal 等<sup>[62]</sup>研究认为 10 岁以下的患儿成角畸形校正速率更快,患者总体矫正速率随年龄增加而减小。2011 年,Guzman 等<sup>[63]</sup>回顾了 25 例(47 侧)采用 GGT 治疗的特发性膝外翻患者,平均随访 12.7 个月,发现 11 岁以下的女童和 13 岁以下的男童以每年 4.5°的速率矫正,而年龄较大的儿童以每年 3.4°的速率矫正。

由于不同年龄段儿童生长速率不同,治疗策略可能也应不同。2014 年,Driscoll 等<sup>[22]</sup>研究发现在矫正踝外翻时,经骺板螺钉与张力带钢板相比,虽然植入物相关并发症较多,但其矫正速率快 50%。因此作者提议对于接近骨骼成熟的成角畸形患者使用经骺板螺钉,从而实现最大程度的畸形矫正,对于仍有足够生长潜力的患者,采用张力带钢板更好。但更具体年龄段的矫正速率还有待进一步探究,以期对不同年龄段儿童制定更合适的治疗策略,实现 GGT 治疗标准化。

综上所述,GGT 在儿童 ADB 矫正方面发挥着重要的作用。同时,植入物材料的进一步创新和该技术的启发性应用将使患儿在 ADB 治疗过程中获益更大,值得引起广大临床医师的重视。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

## 参 考 文 献

- [1] Ding J, Wang F, Jin FC, et al. Finite element and biomechanical analysis of risk factors for implant failure during tension band plating[J]. J Int Med Res, 2020, 48(11): 300060520972075. DOI: 10.1177/0300060520972075.
- [2] Coppa V, Marinelli M, Procaccini R, et al. Coronal plane deformity around the knee in the skeletally immature population: a review of principles of evaluation and treatment[J]. World J Orthop, 2022, 13(5): 427-443. DOI: 10.5312/wjo.v13.i5.427.
- [3] Alkhatib N, Bouri F, Hegazy A, et al. Vitamin D and tibiofemoral joint orientation angles in children[J]. J Pediatr Orthop B, 2018, 27(5): 467-471. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000457.
- [4] Assan BR, Simon AL, Adjadohoun S, et al. Guided growth vs. tibial osteotomy at early stage of Blount disease in skeletally immature patients[J]. J Orthop, 2021, 25: 140-144. DOI: 10.1016/j.jor.2021.05.006.
- [5] Willegger M, Bouchard M, Windhager R, et al. Epiphysiodesis and hemiepiphysiodesis: physeal arrest and guided growth for the lower extremity[J]. Orthopade, 2022, 51(5): 415-432. DOI: 10.1007/s00132-022-04219-8.
- [6] Stevens PM. Guided growth: 1933 to the present[J]. Strategies Trauma Limb Reconstr, 2006, 1(1): 29-35. DOI: 10.1007/s11751-006-0003-3.
- [7] Gottlieb M, Shigueto-Medina JM, Rahbek O, et al. Guided growth: mechanism and reversibility of modulation[J]. J Child Orthop, 2016, 10(6): 471-477. DOI: 10.1007/s11832-016-0778-9.
- [8] Franzone JM, Wallace MJ, Rogers KJ, et al. Multicenter series of deformity correction using guided growth in the setting of osteogenesis imperfecta[J]. J Pediatr Orthop, 2022, 42(6): e656-e660. DOI: 10.1097/BPO.00000000000002140.
- [9] Métaizeau JP, Wong-Chung J, Bertrand H, et al. Percutaneous epiphysiodesis using transphyseal screws (PETS)[J]. J Pediatr Orthop, 1998, 18(3): 363-369.
- [10] Stevens PM. Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate[J]. J Pediatr Orthop, 2007, 27(3): 253-259. DOI: 10.1097/BPO.0b013e31803433a1.
- [11] Sánchez Mesa PA, Yamhure FH. Percutaneous hemi-epiphysiodesis using transphyseal cannulated screws for genu valgum in adolescents[J]. J Child Orthop, 2009, 3(5): 397-403. DOI: 10.1007/s11832-009-0203-8.
- [12] 肖汉, 朱光辉, 梅海波, 等. 半骨骺阻滞术治疗儿童先天性胫骨假关节愈合后胫骨近端外翻的疗效评价[J]. 临床小儿外科杂志, 2022, 21(12): 1141-1146. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202204026-008.
- [13] Xiao H, Zhu GH, Mei HB, et al. Evaluations of hemiepiphysiodesis for proximal tibial valgus after an initial union of congenital pseudarthrosis of the tibia in children[J]. J Clin Ped Sur, 2022, 21(12): 1141-1146. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202204026-008.
- [14] Danino B, Rödl R, Herzenberg JE, et al. Growth modulation in idiopathic angular knee deformities: is it predictable? [J]. J Child Orthop, 2019, 13(3): 318-323. DOI: 10.1302/1863-2548.13.190033.
- [15] Walker JL, Scott AC, Stephenson LP, et al. Guided growth for varus deformity following early tibial osteotomy in infantile tibia vara: a multi-center study[J]. J Pediatr Orthop, 2022, 42(9): 488-

495. DOI:10.1097/BPO.0000000000002238.
- [15] Park H, Park M, Kim SM, et al. Hemiepiphysiodesis for idiopathic genu valgum: percutaneous transphyseal screw versus tension-band plate[J]. *J Pediatr Orthop*, 2018, 38(6): 325-330. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000821.
  - [16] Al-Aubaidi Z, Lundgaard B, Pedersen NW. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis in the treatment of fixed knee flexion contracture in neuromuscular patients[J]. *J Child Orthop*, 2012, 6(4): 313-318. DOI: 10.1007/s11832-012-0415-1.
  - [17] Shore BJ, McCarthy J, Shrader MW, et al. Anterior distal femoral hemiepiphysiodesis in children with cerebral palsy: establishing surgical indications and techniques using the modified Delphi method and literature review[J]. *J Child Orthop*, 2022, 16(1): 65-74. DOI: 10.1177/18632521221087529.
  - [18] Stevens P, Stephens A, Rothberg D. Guided growth for tibial recurvatum[J]. *Strategies Trauma Limb Reconstr*, 2021, 16(3): 172-175. DOI: 10.5005/jp-journals-10080-1535.
  - [19] Westberry DE, Carpenter AM, Thomas JT, et al. Guided growth for ankle valgus deformity: the challenges of hardware removal[J]. *J Pediatr Orthop*, 2020, 40(9): e883-e888. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001583.
  - [20] van Oosterbos M, van der Zwan AL, van der Woude HJ, et al. Correction of ankle valgus by hemiepiphysiodesis using the tension band principle in patients with multiple hereditary exostosis[J]. *J Child Orthop*, 2016, 10(3): 267-273. DOI: 10.1007/s11832-016-0742-8.
  - [21] 李安平, 胡雄科, 赵卫华, 等. 半骺板阻滞术治疗儿童先天性胫骨假关节手术后踝外翻的临床研究[J]. *临床小儿外科杂志*, 2021, 20(12): 1149-1153. DOI: 10.12260/lxewkzz. 2021. 12. 009.
  - Li AP, Hu XK, Zhao WH, et al. Clinical study of hemiepiphyseal treatment for postoperative ankle valgus in children with congenital pseudarthrosis of the tibia[J]. *J Clin Ped Sur*, 2021, 20(12): 1149-1153. DOI: 10.12260/lxewkzz. 2021. 12. 009.
  - [22] Driscoll MD, Linton J, Sullivan E, et al. Medial malleolar screw versus tension-band plate hemiepiphysiodesis for ankle valgus in the skeletally immature[J]. *J Pediatr Orthop*, 2014, 34(4): 441-446. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000116.
  - [23] Hu XK, Li AP, Liu K, et al. Design of a new "U"-shaped staple and its clinical application in postoperative ankle valgus of congenital pseudarthrosis of the tibia in children[J]. *Orthop Surg*, 2022, 14(9): 1981-1988. DOI: 10.1111/os.13381.
  - [24] Zargarbashi R, Abdi R, Bozorgmanesh M, et al. Anterior distal hemiepiphysiodesis of tibia for treatment of recurrent equinus deformity due to flat-top talus in surgically treated clubfoot[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2020, 59(2): 418-422. DOI: 10.1053/j.jfas.2019.08.018.
  - [25] Portinaro N, Turati M, Cometto M, et al. Guided growth of the proximal femur for the management of hip dysplasia in children with cerebral palsy[J]. *J Pediatr Orthop*, 2019, 39(8): e622-e628. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001069.
  - [26] Stevens PM, Anderson LA, Gililand JM, et al. Guided growth of the trochanteric apophysis combined with soft tissue release for legg-calve-perthes disease[J]. *Strategies Trauma Limb Reconstr*, 2014, 9(1): 37-43. DOI: 10.1007/s11751-014-0186-y.
  - [27] Sheu H, Lee WC, Kao HK, et al. The effectiveness of adding guided growth to soft tissue release in treating spastic hip displacement[J]. *J Orthop Sci*, 2022, 27(5): 1082-1088. DOI: 10.1016/j.jos.2021.06.019.
  - [28] McGillion S, Clarke NMP. Lateral growth arrest of the proximal femoral physis: a new technique for serial radiological observation[J]. *J Child Orthop*, 2011, 5(3): 201-207. DOI: 10.1007/s11832-011-0339-1.
  - [29] Hsu PJ, Wu KW, Lee CC, et al. Does screw position matter for guided growth in cerebral palsy hips? [J]. *Bone Joint J*, 2020, 102-B(9): 1242-1247. DOI: 10.1302/0301-620X.102B9.2020-0340. R1.
  - [30] Hsieh HC, Wang TM, Kuo KN, et al. Guided growth improves coxa valga and hip subluxation in children with cerebral palsy[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2019, 477(11): 2568-2576. DOI: 10.1097/CORR.0000000000000903.
  - [31] Newton PO, Upasani VV, Farnsworth CL, et al. Spinal growth modulation with use of a tether in an immature porcine model[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2008, 90(12): 2695-2706. DOI: 10.2106/JBJS. G.01424.
  - [32] Stücker R. Results of treatment of progressive scoliosis with SMA staples[J]. *Orthopade*, 2009, 38(2): 176-180. DOI: 10.1007/s00132-008-1364-8.
  - [33] Wong HK, Ruiz JNM, Newton PO, et al. Non-fusion surgical correction of thoracic idiopathic scoliosis using a novel, braided vertebral body tethering device: minimum follow-up of 4 years[J]. *JB JS Open Access*, 2019, 4(4): e0026. DOI: 10.2106/JBJS. OA.19.00026.
  - [34] McCarthy RE, Luhmann S, Lenke L, et al. The shilla growth guidance technique for early-onset spinal deformities at 2-year follow-up: a preliminary report[J]. *J Pediatr Orthop*, 2014, 34(1): 1-7. DOI: 10.1097/BPO.0b013e31829f92de.
  - [35] Luhmann SJ, Smith JC, McClung A, et al. Radiographic outcomes of shilla growth guidance system and traditional growing rods through definitive treatment[J]. *Spine Deform*, 2017, 5(4): 277-282. DOI: 10.1016/j.jspd.2017.01.011.
  - [36] Kilmartin TE, Barrington RL, Wallace WA. Metatarsus primus varus. A statistical study[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1991, 73(6): 937-940. DOI: 10.1302/0301-620X.73B6.1955440.
  - [37] Hecht PJ, Lin TJ. Hallux valgus[J]. *Med Clin North Am*, 2014, 98(2): 227-232. DOI: 10.1016/j.mena.2013.10.007.
  - [38] Knörr J, Soldado F, Violas P, et al. Treatment of hallux valgus in children and adolescents[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2022, 108(1S): 103168. DOI: 10.1016/j.otsr.2021.103168.
  - [39] Davids JR, McBrayer D, Blackhurst DW. Juvenile hallux valgus deformity: surgical management by lateral hemiepiphysiodesis of the great toe metatarsal[J]. *J Pediatr Orthop*, 2007, 27(7): 826-830. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3181558a7c.
  - [40] Chiang MH, Wang TM, Kuo KN, et al. Management of juvenile hallux valgus deformity: the role of combined hemiepiphysiodesis[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2019, 20(1): 472. DOI: 10.1186/s12891-019-2867-7.
  - [41] Schlickewei C, Ridderbusch K, Breyer S, et al. Temporary screw epiphysiodesis of the first metatarsal for correction of juvenile hallux valgus[J]. *J Child Orthop*, 2018, 12(4): 375-382. DOI: 10.1302/1863-2548.12.170208.
  - [42] Kelly JP, James MA. Radiographic outcomes of hemiepiphysiodesis stapling for distal radius deformity due to multiple hereditary exostoses[J]. *J Pediatr Orthop*, 2016, 36(1): 42-47. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000394.
  - [43] Soldado F, Diaz-Gallardo P, Cherqaoui A, et al. Unsuccessful mid-term results for distal humeral hemiepiphysiodesis to treat cubitus varus deformity in young children[J]. *J Pediatr Orthop B*, 2022, 31(5): 431-433. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000950.
  - [44] Siemensma MF, van Bergen CJA, van Es EM, et al. Indications

- and timing of guided growth techniques for pediatric upper extremity deformities: a literature review [J]. *Children (Basel)*, 2023, 10(2):195. DOI:10.3390/children10020195.
- [45] Schagemann J, Kudernatsch N, Russlies M, et al. Prediction of loss of correction after hemiepiphysiodesis for the alignment of lower limb angular deformities [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2022, 101(3):e28626. DOI:10.1097/MD.00000000000028626.
- [46] Quintero D, Galbán M, Gil C. Correction of pediatric angular deformities in lower limbs through guided growth using a novel flexible plate system [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2023, 109(3):103406. DOI:10.1016/j.otsr.2022.103406.
- [47] Park SS, Kang S, Kim JY. Prediction of rebound phenomenon after removal of hemiepiphysal staples in patients with idiopathic genu valgum deformity [J]. *Bone Joint J*, 2016, 98-B(9):1270-1275. DOI:10.1302/0301-620X.98B9.37260.
- [48] Farr S, Alrabai HM, Meizer E, et al. Rebound of frontal plane malalignment after tension band plating [J]. *J Pediatr Orthop*, 2018, 38(7):365-369. DOI:10.1097/BPO.0000000000000846.
- [49] Leveille LA, Razi O, Johnston CE. Rebound deformity after growth modulation in patients with coronal plane angular deformities about the knee: who gets it and how much? [J]. *J Pediatr Orthop*, 2019, 39(7):353-358. DOI:10.1097/BPO.0000000000000935.
- [50] Aksoy T, Bakircioglu S, Ozdemir E, et al. The fate of overcorrection after hemiepiphysiodesis in valgus deformities around the knee [J]. *J Pediatr Orthop*, 2023, 43(7):e567-e573. DOI:10.1097/BPO.0000000000002429.
- [51] Radtke K, Goede F, Schweidtmann K, et al. Temporary hemiepiphysiodesis for correcting idiopathic and pathologic deformities of the knee: a retrospective analysis of 355 cases [J]. *Knee*, 2020, 27(3):723-730. DOI:10.1016/j.knee.2020.04.024.
- [52] Stevens PM, Novais EN. Multilevel guided growth for hip and knee varus secondary to chondrodysplasia [J]. *J Pediatr Orthop*, 2012, 32(6):626-630. DOI:10.1097/BPO.0b013e3182567a79.
- [53] Horn A, Wright J, Bockenbauer D, et al. The orthopaedic management of lower limb deformity in hypophosphataemic rickets [J]. *J Child Orthop*, 2017, 11(4):298-305. DOI:10.1302/1863-2548.11.170003.
- [54] Trisolino G, Boarini M, Mordenti M, et al. Outcomes of temporary hemiepiphysal stapling for correcting genu valgum in children with multiple osteochondromas: a single institution study [J]. *Children (Basel)*, 2021, 8(4):287. DOI:10.3390/children8040287.
- [55] Raluy-Collado D, Sanpera IJr, Frontera-Juan G, et al. Screw length in the guided growth method [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2012, 132(12):1711-1715. DOI:10.1007/s00402-012-1615-3.
- [56] Burghardt RD, Kanellopoulos AD, Herzenberg JE. Hemiepiphysal arrest in a porcine model [J]. *J Pediatr Orthop*, 2011, 31(4):e25-e29. DOI:10.1097/BPO.0b013e31821a5d04.
- [57] Stevens PM. Invalid comparison between methods of epiphysiodesis [J]. *J Pediatr Orthop*, 2018, 38(1):e29-e30. DOI:10.1097/BPO.0000000000001020.
- [58] Eltayeb HH, Iobst CA, Herzenberg JE. Hemiepiphysiodesis using tension band plates: does the initial screw angle influence the rate of correction? [J]. *J Child Orthop*, 2019, 13(1):62-66. DOI:10.1302/1863-2548.13.180086.
- [59] Arami A, Bar-On E, Herman A, et al. Guiding femoral rotational growth in an animal model [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2013, 95(22):2022-2027. DOI:10.2106/JBJS.L.00819.
- [60] Cobanoglu M, Cullu E, Kilimci FS, et al. Rotational deformities of the long bones can be corrected with rotationally guided growth during the growth phase [J]. *Acta Orthop*, 2016, 87(3):301-305. DOI:10.3109/17453674.2016.1152450.
- [61] Lazarus DE, Farnsworth CL, Jeffords ME, et al. Torsional growth modulation of long bones by oblique plating in a rabbit model [J]. *J Pediatr Orthop*, 2018, 38(2):e97-e103. DOI:10.1097/BPO.0000000000001106.
- [62] Ballal MS, Bruce CE, Nayagam S. Correcting genu varum and genu valgum in children by guided growth: temporary hemiepiphysiodesis using tension band plates [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2010, 92(2):273-276. DOI:10.1302/0301-620X.92B2.22937.
- [63] Guzman H, Yaszay B, Scott VP, et al. Early experience with medial femoral tension band plating in idiopathic genu valgum [J]. *J Child Orthop*, 2011, 5(1):11-17. DOI:10.1007/s11832-010-0310-6.

(收稿日期:2023-11-06)

**本文引用格式:**周小玉,朱光辉,梅海波. 引导生长技术矫正儿童骨骼成角畸形的研究进展 [J]. 临床小儿外科杂志, 2024, 23(9):886-892. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202311027-016.

**Citing this article as:** Zhou XY, Zhu GH, Mei HB. Research advances of guided growth technique in the correction of bone angular deformities in children [J]. *J Clin Ped Sur*, 2024, 23(9):886-892. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202311027-016.

· 编者 · 作者 · 读者 ·

## 本刊征订启事

本刊邮发代号 42-261, 欢迎广大读者通过全国各地邮局、编辑部或微信公众号“菁医汇”(微信号 cmayouth)、中华医学网(<http://medline.org.cn/>)、中华医学期刊网(<http://medjournals.cn/>)订阅。另外, 本刊编辑部常年办理破季、破月征订及补订手续。编辑部联系地址: 410007, 长沙市梓园路 86 号(湖南省儿童医院内), 临床小儿外科杂志编辑部, 联系人: 贾佩君, Email: china\_jcps@sina.com