

对患有先天性胫骨假关节的患者愈合畸形的治疗

TREATMENT OF DEFORMITIES IN PATIENTS WITH HEALED CONGENITAL PSEUDARTHROSIS OF THE TIBIA

© E.A. Zakharyan, A.P. Pozdeev, V.A. Vilensky

The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia

Received: 10.10.2018

Revised: 09.11.2018

Accepted: 10.12.2018

背景:对患有先天性胫骨假关节(cCPT)的患者的下肢畸形和延长的矫正有一定的特点、难度、和并发症。但是即使胫骨长度和解剖学得以恢复也不能解决将来畸形复发的问题。

目的:本次研究旨在评估为患有先天性胫骨假关节的病人使用外固定和引导性生长矫正胫骨畸形的疗效。

材料与方法:对来自特纳科学研究院2013至2018年间治疗的 19 位 4-15岁患有cCPT的位患者的治疗结果进行分析。我们在分析了畸形矫正阶段前的畸形类型，并利用ortho-SUv被动计算机导引来评估在胫骨两极截骨术后对于畸形矫正的准确度。同时测定了外固定指数和并发症的数量。分析了畸形复发的种类及数量和被发现的时间。

结果:根据临床分型，cCPT病人的患病下肢有复杂的畸形。在矫正阶段的末期对于畸形矫正的准确度为84%。延长量是 4.5 ± 1.5 厘米。IEF是 64.3 ± 40.6 天/厘米。在外固定阶段结束后，100%的病例都有畸形的复发。对其中的17位患者进行了第二期的暂时性胫骨半骺骨干固定术。矫正的准确度为100%。矫正期为12至14个月。

讨论:在文献方面，我们发现没有任何关于畸形矫正的准确性以及在cCPT病人中进行截骨术水平选择的相关研究。考虑到这些数据和资深作者的经验，我们对假关节的固定区进行两次胫骨截骨术。结合ortho-SUv架的使用，对畸形的矫正达到了较高的准确度。

结论:分析结果表明，在达到CPT愈合的儿童中，无论畸形矫正的准确度多高，随着儿童的成长，都有100%的畸形复发率。对于这种综合征来说，半骺骨干固定术是一种比较有效的治疗方法。

关键词: 畸形矫正；外固定；引导生长；半骺骨干固定术；先天性胫骨假关节。

Background. Correction of deformities and lengthening of the lower extremities in patients with healed congenital pseudarthrosis of tibia (cCPT) is associated with certain characteristics, difficulties, and complications. But even the restoration of the anatomy and length of the tibia does not solve the problem of further recurrence of the deformity.

Aim. This study aimed to evaluate the results of the correction of deformities of the tibia in patients with congenital pseudarthrosis of the tibia after achieving union by using external fixation and guided growth.

Materials and methods. The results of treatment of 19 patients with cCPT, aged 4–15 years, which were observed in the Department of the Turner Scientific Research Institute from 2013 to 2018 years, were analyzed. We analyzed the types of deformities before the stage of correction deformities, evaluated the accuracy of the correction deformities after two-level osteotomies of the tibia, and used ortho-SUv passive computer navigation. External fixation index and number of complications were also determined. The type and number of recurrence of deformities and the timing of their detection were analyzed.

Results. On the basis of clinical classification, patients with cCPT had complex deformities of the affected lower limb. The accuracy of the correction of deformities was 84% at the end of the correction period. The amount of elongation was 4.5 ± 1.5 cm. The IEF was 64.3 ± 40.6 days/cm. After the end of the external fixation period, deformities recurred in 100% of cases. In 17 patients, temporary hemiepiphiodesis of the tibial bones, the second stage, was performed. The accuracy of the correction was 100%. The period of correction ranged from 12 to 14 months.

Discussion. In the literature, we found no studies investigating the accuracy of the deformity correction, the choice of the level of osteotomies in patients with cCPT. Considering these data and the experience of the senior author of the publication, we performed two osteotomies of the tibia, outside the consolidation zone of the pseudarthrosis. High accuracy of the correction deformities was achieved in conjunction with the use of the ortho-SUv frame.

Conclusion. The analysis showed that the deformity relapsed in 100% of children as the child grows, regardless of the accuracy of the deformity correction in children after achieving union CPT. Hemiepiphiodesis is an effective treatment for this complication.

Keywords: deformity correction; external fixation; guided growth; hemiepiphiodesis; congenital pseudarthrosis of tibia.

背景

由于达到假关节的固定是非常有挑战性的，所以对于现代骨科来说，对有先天性胫骨假关节的患者的治疗仍然是一个急迫的问题 [1 - 6]。理想的结果是达到胫骨完整性的重建，并且一旦成功，就可以开始新的治疗 [7]。

通过进行手术干预治疗，例如畸形矫正和下肢延长来消除下肢长度差异，防止病理性骨折的复发。这些是合并性先天性胫骨假关节(cCPASB)患者治疗的特殊阶段，并且与某些方面、难度和并发症有关。

Ilizarov 法被认为是下肢缩短和畸形长骨患者的标准治疗方法 [8, 9]。众所周知，使用基于计算机导引的现代化穿骨设备和零件可以达到高度精确的畸形矫正，发表过的准确度在80%到96%之间 [1 - 6]。cCPASB 儿科患者的下肢骨畸形也并不例外 [5]。然而，在全球的文献中，对cCPASB病例利用经骨骨缝合术来达到胫骨延长的畸形矫正的数据非常少 [8 - 10]。治疗儿童 cCPASB 的主要挑战是畸形顶点的截骨术是不可能的，因为这一区域通常被病变所影响，而且通过截骨术来延长有假关节复发的风险 [6]。在畸形顶点外侧对胫骨进行单极截骨术(在相对健康的骨质区域)，同时结合经骨骨缝合术可以消除肢体长度偏差，但是并不能解决畸形矫正的问题。在这种情况下，需要采用两级截骨术 [7]。然而，胫骨完整性和和长度的重建仍然不能防止之后的畸形复发。

目前使用的控制生长的方法，比如半骺骨干固定术，可以达到有效地矫正生长中儿童不同病理引起的的长骨畸形 [11 - 16]。考虑到cCPASB病人畸形复发的可能性，我们建议在胫骨畸形矫正和延长后持续使用半骺骨干固定术，这将提高儿科患者的治疗质量。

本次研究的目的是评估cCPASB儿科患者的下肢缩短和畸形胫骨的治疗结果。对所有儿科患者进行经骨骨缝合术和半骺骨干固定术治疗。

本次研究的材料和方法

我们分析了来自特纳科学研究院儿童整形外科的骨骼病理部门从 2013 年到 2018 年间观察并治疗的19位cCPASB患者的治疗结果。只有年龄在 4-15 岁间，在下肢仍有功能性发育空间的儿童被纳入此次研究。患者的平均年龄为 8.3 ± 3.1岁。

在畸形矫正的设计中，所有患者都要拍摄两种标准试图的下肢全景X光片和下肢的断层扫描。

使用专业软件对畸形矫正进行初步规划 (Trauma Cad, Bonneninja) [7]。

在此规划中采用了标准算法，即确定了 2 个视图中胫骨近端和远端骨片段的解剖轴和力学轴以及畸形顶点。在所有的病例中，畸形顶点都在假关节合并处。从这方面来说，考虑到假关节复发的风险，我们有义务采用两极截骨术(在相对健康的骨质区域)，这样就可以减少骨片段的横向异位，这在远离畸形顶点的部位进行截骨术时通常会发生。在所有的病例中，在进行了肢体延长和畸形矫正后进行了经骨骨缝合术。使用配备 Ortho-SUV 计算机导引特性的装置作为定位单元 [19 - 21]。

在我们研究的第一部分，我们分析了 cCPASB 患者术前的畸形种类，以评估儿科患者畸形矫正的准确度、外固定指数(EFI)和并发症的数量。考虑到我们之前的研究发现， 我们假设对于大多数的病患，不论畸形矫正的准确度如何，在去除压力建伸装置之后都会有畸形复发。因此，我们分析了畸形复发的数量、复发的时间和二次畸形的类型。

我们利用放射学检查和胫骨角度的确定参考值，也就是胫骨内侧近端机械性角度(mMPTA)、胫骨远端机械侧角(mLDTA)、胫骨后近端解剖角(aPPTA) 和胫骨前远端解剖角(aADTA)来评估畸形矫正的准确度 [22, 23]。当胫骨角度的参考值落在可接受的范围内，则认为畸形矫正是准确的(正常的)。我们在畸形矫正和外固定之后定义了这个指标。

在本次研究的第二部分，我们分析了利用半骺骨干固定术来治疗儿科患者在接受延长和畸形矫正后的畸形复发的结果。包括半骺骨干固定术的准确性和介入时间以及并发症的性质在内的参数均被纳入研究。

研究结果

根据长骨畸形的分类，cCPASB患者都发生了复杂性下肢畸形，放射学和检查和断层扫描都证实了这一点 [24]。可以明显看到冠状面和矢状面畸形、扭转构件、及受影响部分的缩短畸形组合。另外，近端部分的外翻反屈畸形和胫骨远端的外翻前屈扭转畸形也很典型。患者同时拥有胫骨的内外部扭转。畸形矫正前的胫骨参考角度数值如表格1所示。

在所有的患者中平均的畸形矫正面准确度为 84% (其中 95% 是冠状面的畸形矫正，80% 是矢状面

表格1. cCPASB 患者畸形矫正前的胫骨参考角度值

指数	正常数值, 程度	获得的数值, 程度	发生率, 病人的数量
冠状面			
内翻畸形			
mMPTA	85-90	82	1
mLDTA	85-90	101-111	2
外翻畸形			
mMPTA	85-90	95 ± 4	8
mLDTA	85-90	68 ± 13	9
矢状面			
前屈			
aPPTA	77-84	75-76	2
aADTA	78-82	103 ± 16	7
Recurvatum			
aPPTA	77-84	98 ± 23	7
aADTA	78-82	70 ± 9	3
横切面			
外部扭转		18 ± 4	11
外部扭转		10 ± 3	8

附注: mMPTA: 胫骨内侧近端机械性角; mLDTA: 胫骨外侧远端机械性角; aPPTA: 胫骨近端后侧解剖性角; aADTA: 胫骨远端前侧解剖型角。

的畸形矫正), 下肢延长程度为 4.5 ± 1.5 厘米。畸形矫正的复杂性在与大量的手术硬件阻碍了骨关节面的视野, 以及将钢丝和金属杆穿过胫骨远端的骨组织以达到合适的位置。

cCPASB 患者的EFI达到 64.3 ± 40.6 天/厘米。收集到的数据与一些关于cCPASB患者的小型研究结果类似。

在畸形矫正的过程中, 根据公认的J. Caton分类法对并发症进行进一步的鉴别和评估 [25]:

- 第一类并发症(不需要额外干预治疗的并发症)包括在牵引时相邻关节挛缩的形成(在7例病例中观察到)。在所有病例中, 通过暂时性的停止牵引和进行一次强化的机械治疗从而得到控制。

- 仅在一例患者中发现腓神经的神经病变并伴随敏感度降低, 并且在降低牵引的速率和加入药物的治疗后, 被影响的下肢敏感度得以恢复。

- 第二类并发症(需要额外干预治疗的并发症, 但不影响治疗的结果)在本次研究中没有发现;

- 第三类并发症(需要额外手术干预并且会影响治疗结果的并发症)包括在追踪阶段再生骨或者胫骨骨干的骨折。因此, 我们在3例病例中检查出胫骨骨干的骨折并伴随继发性的假关节复发。2位患者在去除外固定装置的第一年发生胫骨下三分之一处骨折。1位患者在初次治疗三年后发生骨折。所有患者都接受了反复性手术来重建胫骨的完整性。

在外固定阶段的末期, 我们反复测定了畸形矫正的准确度。在所有的病例中都发生了畸形复发。12例病例胫骨近端和6例病例的胫骨远端发生了外翻畸形复发, 5例病例在胫骨远端有内翻畸形。在评估矢状面时, 在4例病例中发现了反向弯曲畸形。在16例病例中发现了胫骨的前屈畸形并伴随着显著的胫骨远端顶点畸形。因此, 畸形矫正的准确性分析, 矫正和固定期后的参考角度值比较, 以及随后发现的胫骨的二次畸形均说明了 cCPASB 患者的胫骨生长区功能障碍, 但本研究并未确立造成这个现象的原因。

所有患者都接受了暂时性的胫骨半骺骨干固定术来达到畸形矫正。我们在胫骨的近端和远端的冠状面分单独或联合得采用半骺骨干固定术以达到畸形矫正。我们对 17 位患者采取了这些干预治疗(8 位男孩和9位女孩)。3 为患者在胫骨近端, 6 位患者在胫骨远端接受了生长区的中段的暂时性半骺骨干固定术, 而 8 位患者的胫骨在两个部位都进行了手术。为了评估畸形矫正的准确度, 在手术后的6个月对胫骨进行对照X光片检测, 然后每三月进一次直至畸形矫正成功。

利用经骨装置和半骺骨干固定术来达到延长和畸形矫正后, 消除冠面畸形复发的准确率为 100%。畸形矫正的时间为 12 至 14 个月。

在这些手术干预治疗过程中患者没有任何并发症。

临床病例

患者T., 9 岁, 在特纳儿童孤僻科学研究院门诊被诊断为右侧胫骨合并先天性假关节。病史显示, 患者右侧胫骨出生时就有骨骼畸形。在大约1岁刚开始学步时发生病理性胫骨骨折并伴随形成了假关节。这位患者在初级卫生保健机构接受了多次手术治疗, 但胫骨片段顶点仍不能固定。我们在患者的 2.5 岁时对他进行了开放性侧向加压内固定, 并且成功达到了胫骨骨片的固定。术后建议使用矫正器行走。随访 3 年后,

X光片显示在手术部位形成了 Looser 区域。因此决定实施开放性侧向加压内固定来消除 Looser 区域对胫骨完整性的破坏。在三个月内, 假关节范围内的骨片达到固定。

治疗的第二阶段是推荐对患病下肢的多面性畸形进行矫正 (mMPTA 是 94° , mLDTA 是 71° , aPPTA 是 90° , aADTA 是 59° , 使患病下肢缩短 8.0 厘米)。为延长右下肢并矫正畸形, 患者在 9 岁时在合并假关节区域不进行截骨术的情况下接受了术前畸形矫正的方案设计。根据方案, 我们对胫骨进行了两极截骨术, 同时利用 Ilizarov 方法将患肢延长 5 厘米。我们利用载有 Ortho-SUV 计算机导引特性的复位设备对畸形进行了矫正。畸形矫正的时间为 58 天, 而外固定的时间为 247 天。在固定阶段的末期, 胫骨畸形复发, 并在胫骨近端和远端生长带水平形成了畸形尖端 (mMPTA 是 94° , mLDTA 是 82° , aPPTA 是 86° , aADTA 是 80°) (图片 1-4)。我们采用了半骺骨干固定术来矫正胫骨外翻畸形的复发。畸形矫正的时长为 269 天。胫骨的参考角度值在可接受的范围内。

讨论

先天性胫骨假关节的治疗仍然是当代儿童矫形外科的严峻问题之一 [1]。过去30年发展出来的技术使假关节固定有相当高的成功率, 从 75% 到



图1. cCPASB 患者在接受畸形矫正前的照片:
a – 正面照; b – 侧面照

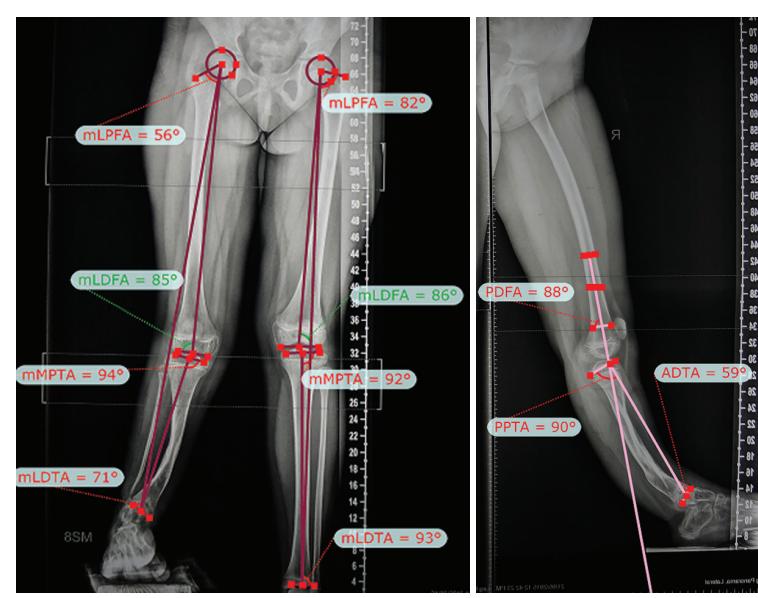


图2. cCPASB患者在接受畸形矫正前的照片:
a – 前后侧照; b – 侧面照

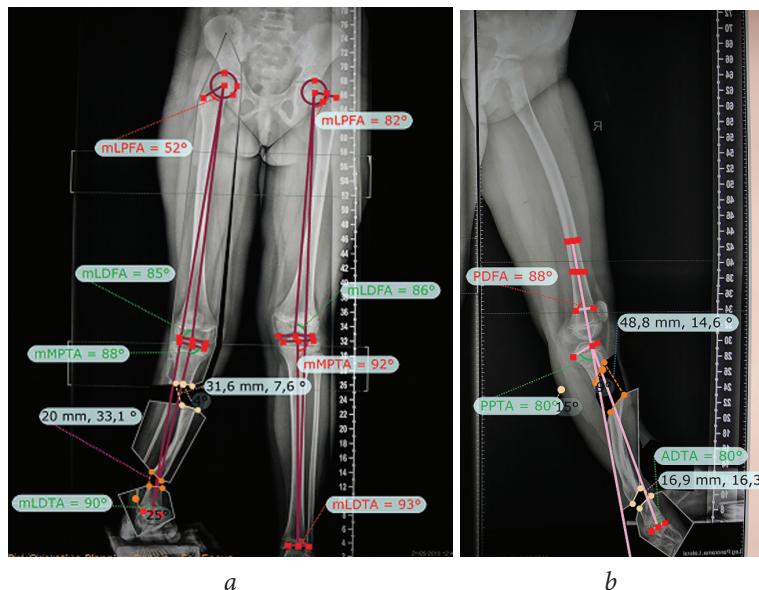


图3. 利用专业软件对cCPASB患者畸形矫正的术前设计方案:
a – 前后侧照; b – 侧面照

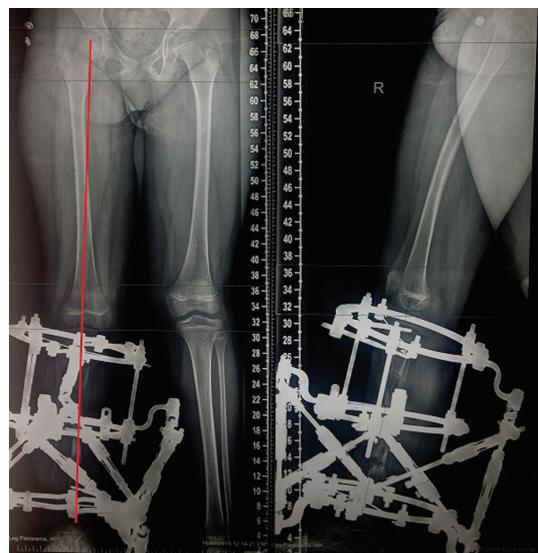


图4. 接受了右侧胫骨畸形矫正的cCPASB患者
的X光片: a – 前后侧照; b – 侧面照。

85% [1–3, 6]。因此,可以认为这个问题并不是最迫切的。然而,对患有先天性假关节患者来说假关节固定并不意味着治疗的结束。众所周知,胫骨的生长会有滞后性,并在将来有可能发生复杂的多平面畸形。合并性假关节病例的畸形治疗和小腿缩短是非常严重的问题,因为除了假关节和畸形复发之外,还有再骨折的潜在风险。我们只发现了3篇发表的文献来讨论这个问题。

Inan等人[26]分析并报告了关于16例患有小腿缩短畸形并伴随合并性假关节的病例。在这项研究中,只有三例病例延长了胫骨长度;而其他的病例的健康下肢接受了暂时性骺骨干固定术以缩短长度。值得注意的是,3例病例中的2例发生了假关节并发症。

Cho等人[10]报告了22位患有合并性假关节患者的27例胫骨延长病例的结果,他们都在近端三分之一处进行了单极截骨术来延长胫骨。延长的长度为3.7厘米(1.0–9.1厘米)。平均EFI是89天/厘米,这个数字是儿童外伤患者的两倍以上。

G.Zhu等人[9]报道了11例患有合并性假关节患者的下肢延长的病例。在所有的病例中,都在胫骨上三分之一处进行了截骨术和延长术。文章中并没有说明是否只进行了缩短术或者也矫正了个畸形。另外,报告并未明确说明截骨术水平的选择的决定性因素。根据提供的X光片,外科医生没有以消除所有畸形部分为目的,而只是为了延长这一段。此外,这篇文章最令人注意的是其中

非常高的EFI,达到了63.1天/厘米,只是与我们获取的EFI有些许的不同(64.3±40.6天/厘米)。如此高的EFI表明牵引再生部分的成熟化缓慢,这完全可以由这个疾病的病理过程来解释。

在文献方面,我们找不到一篇有关畸形矫正准确度和截骨术水平选择的出版物。仅仅提到通常在位于假关节的融合水平上在畸形尖端部位进行的截骨术可以导致手术部位和假关节部分骨片末端的溶解。

考虑到这些数据以及我们多年来的经验,我们对胫骨进行了两次的截骨术,由放射学结果将位置选在假关节融合处和病变区域外,尽可能高和低的位置。联合使用配备计算机导引特性的Ortho-SUV穿骨设备,达到了非常高的畸形矫正准确度,其中冠状面畸形95%,矢状面畸形80%。我们假设,为了消除下肢长度偏差,不论畸形矫正多准确,随着儿童的成长,畸形都会复发,这个假设在100%的病例中得到了验证。很遗憾,我们并没有关于这些畸形矫正的有效数据。所以,提出了畸形何时复发这个问题。在我们分析的儿科患者中,所有病例在去除穿骨装置时都发现了畸形复发。同时,在所有的病例中,都保留了通过经骨骨缝合术达到的延长效果。

我们还要再特别地讨论一下半骺骨干固定术的方法。尽管这是一种在治疗不同疾病造成生长儿童下肢畸形中非常流行的方法[11–15],然而在由合并性先天性假关节引起的下肢畸形病例中,我们没有发现任何关于半骺骨干固定术对



图5. 患者在去除外固定装置和接受了半骺骨干固定术矫正畸形复发后的照片: *a* – 正面照; *b* – 侧面照



图6. 患者在去除外固定装置和接受了半骺骨干固定术来矫正复发畸形后的照片: *a* – 前后侧照; *b* – 侧面照

患者的系统性评估。在P. Stevens 发表的出版物中 [12], 作者描述了这种方法, 提供了一位患有合并性假关节的儿童的X光片, 并且描述了如何利用半骺骨干固定术来矫正二次畸形。然而, 第一阶段后半骺骨干固定术的低损伤率, 功能性生长带的存活和下肢长度偏差的消失都是我们进行第二部分研究的必要条件。我们的结果肯定了半骺骨干固定术可以有效得治疗畸形复发。

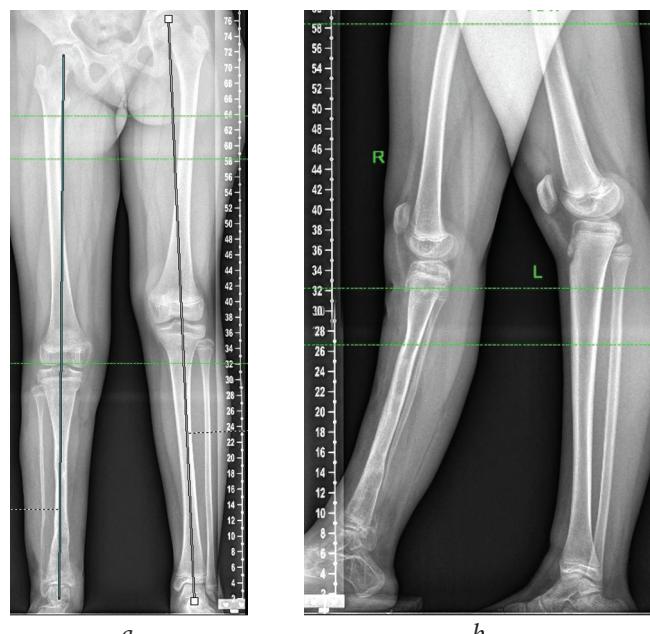


图7. 患者在移除半骺骨干固定术中骨板和骨钉后的照片
a – 前后侧照; *b* – 侧面照

结论

本次分析表明, 在儿童成长的过程中, 胫骨一旦发生合并性假关节, 不论畸形矫正的准确度有多高, 100% 的病例都发生畸形复发。所以, 对于这种综合征来说, 半骺骨干固定术可以是一种比较有效的治疗方法。

附加信息

经费来源: 本次研究由特纳儿童整形外科科学研究院的研究框架内赞助。

利益冲突: 作者 V. A. Vilensky 声明他是 Ortho-SUV 公司的一名员工。其他作者声明针对这一文章的发表没有明显或者潜在的利益冲突。

伦理审查: 患者和他们的代理人都同意由我们处理并发表他们的个人数据。

作者的贡献

E.A. Zakharyn 研发了研究的方法, 起草了本篇文章中的所有章节, 收集和加工了文献, 并为 19 位患者进行了手术。

A.P. Pozdeev 管理并参与了研究方法的发展。

V.A. Vilensky 参与了数据分析, 在手稿的基础上参与讨论部分的编辑, 并且更新了材料与方法一节。

References

- Shah H, Doddabasappa SN, Joseph B. Congenital pseudarthrosis of the tibia treated with intramedullary rodding and cortical bone grafting: a follow-up study at skeletal maturity. *J Pediatr Orthop.* 2011;31(1):79-88. doi: 10.1097/BPO.0b013e318202c45d doi: 10.1097/BPO.0b013e318202c45.
- Pannier S, Pejin Z, Dana C, et al. Induced membrane technique for the treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia: preliminary results of five cases. *J Child Orthop.* 2013;7(6):477-485. doi: 10.1007/s11832-013-0535-2.
- Thabet AM, Paley D, Kocaoglu M, et al. Perosteal grafting for congenital pseudarthrosis of the tibia: a preliminary report. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(12):2981-2994. doi: 10.1007/s11999-008-0556-1.
- Borzunov DY, Chevardin AY, Mitrofanov AI. Management of congenital pseudarthrosis of the tibia with the Ilizarov method in a paediatric population: influence of aetiological factors. *Int Orthop.* 2016;40(2):331-339. doi: 10.1007/s00264-015-3029-7.
- Кутиков С.А., Борзунов Д.Ю., Дьячкова Г.В., и др. Лечение врожденного ложного сустава костей голени // Вестник хирургии имени И.И. Грекова. – 2016. – Т. 175. – № 4. – С. 53–58. [Kutikov SA, Borzunov DY, D'yachkova GV, Chevardin AY. Treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia. *Vestn Khir im I.I. Grek.* 2016;175(4):53-58. (In Russ.)]
- Поздеев А.П. Ложные суставы и дефекты костей у детей (Этиология, клиника, лечение): Дис. ... д-ра мед. наук. – СПб., 1998. [Pozdeev AP. Lozhnye sustavy i defekty kostey u detey (Etiologiya, klinika, lechenie). [dissertation] Saint Petersburg; 1998. (In Russ.)]
- Захарьян Е.А. Комплексное лечение деформаций нижней конечности у пациентов с врожденным ложным суставом костей голени: Дис. ... канд. мед. наук. – СПб., 2017. [Zakhar'yan EA. Kompleksnoe lechenie deformatsiy nizhney konechnosti u patsientov s vrozhdennym lozhnym sostavom kostey goleni. [dissertation] Saint Peterburg; 2017. (In Russ.)]
- Cho TJ, Choi IH, Lee KS, et al. Proximal tibial lengthening by distraction osteogenesis in congenital pseudarthrosis of the tibia. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(8):915-920. doi: 10.1097/bpo.0b013e31815a6058.
- Zhu GH, Mei HB, He RG, et al. Effect of distraction osteogenesis in patient with tibial shortening after initial union of Congenital Pseudarthrosis of the Tibia (CPT): a preliminary study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2015;16:216. doi: 10.1186/s12891-015-0680-5.
- Choi IH, Cho TJ, Moon HJ. Ilizarov treatment of congenital pseudarthrosis of the tibia: a multi-targeted approach using the Ilizarov technique. *Clin Orthop Surg.* 2011;3(1):1-8. doi: 10.4055/cios.2011.3.1.1.
- Stevens PM. The role of guided growth as it relates to limb lengthening. *J Child Orthop.* 2016;10(6):479-486. doi: 10.1007/s11832-016-0779-8.
- Stevens PM. Guided growth for angular correction: a preliminary series using a tension band plate. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(3):253-259. doi: 10.1097/BPO.0b013e31803433a1.
- van Oosterbos M, van der Zwan AL, van der Woude HJ, Ham SJ. Correction of ankle valgus by hemiepiphiodesis using the tension band principle in patients with multiple hereditary exostosis. *J Child Orthop.* 2016;10(3):267-273. doi: 10.1007/s11832-016-0742-8.
- Burghardt RD, Herzenberg JE. Temporary hemiepiphiodesis with the eight-plate for angular deformities: mid-term results. *J Orthop Sci.* 2010;15(5):699-704. doi: 10.1007/s00776-010-1514-9.
- Danino B, Rodl R, Herzenberg JE, et al. Guided growth: preliminary results of a multinational study of 967 physes in 537 patients. *J Child Orthop.* 2018;12(1):91-96. doi: 10.1302/1863-2548.12.170050.
- Виленский В.А., Захарьян Е.А., Поздеев А.А., и др. Лечение детей с врожденными деформациями длинных костей нижних конечностей путем последовательного использования управляемого роста и чрескостного остеосинтеза (предварительное сообщение) // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2018. – Т. 6. – № 3. – С. 12–24. [Vilensky VA, Zakharyan EA, Pozdeev AA, et al. Treatment of congenital long-bone deformities in children using the consecutive application of guided growth and external fixation: preliminary report. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery.* 2018;6(3):12-24. (In Russ.)]. doi: 10.17816/PTORS6312-24.
- Paley D. Principles of deformity correction. Exercise Workbook. New York: Springer-Verlag; 2002.
- Normal lower limb alignment and joint orientation. Ed. by D. Paley. Principles of Deformity Correction. Berlin, Germany: Springer-Verlag; 2005. P. 1-18.
- Виленский В.А., Поздеев А.А., Зубаиров Т.Ф., и др. Лечение детей с деформациями длинных трубчатых костей нижних конечностей методом чрескостного остеосинтеза с использованием аппарата Орто-СУВ: анализ 213 случаев // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2016. – Т. 4. – № 4. – С. 21–32. [Vilensky VA, Pozdeev AA, Zubairov TF, et al. Treatment of pediatric patients with lower extremity deformities using software-assisted Ortho-SUV Frame: analysis of 213 cases. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery.* 2016;4(4):21-32. (In Russ.)]. doi: 10.17816/PTORS4421-32.
- Соломин Л.Н., Щепкина Е.А., Виленский В.А., и др. Коррекция деформаций бедренной кости по Илизарову и основанным на компьютерной навигации аппаратом «Орто-СУВ» // Травматология и ортопедия России. – 2011. – № 3. – С. 32–39. [Solomin LN, Schepkina EA, Vilensky VA, et al. Correction of femur deformities by Ilizarov method and by apparatus Ortho-SUV based on computer navigation. *Travmatologija i ortopedija Rossii.* 2011;(3):32-39. (In Russ.)]

21. Скоромошко П.В. Оптимизация лечения больных с диафизарными деформациями бедренной кости на основе использования чрескостного аппарата со свойствами пассивной компьютерной навигации (экспериментально-клиническое исследование): Дис. канд. мед. наук. – СПб., 2014. [Skoromoshko PV. Optimizatsiya lecheniya bol'nykh s diafizarnymi deformatsiyami bedrennoy kosti na osnove ispol'zovaniya chreskostnogo apparata so svoystvami passivnoy komp'yuternoy navigatsii (eksperimental'nno-klinicheskoe issledovanie). [dissertation] Saint Petersburg; 2014. (In Russ.)]
22. Определение референтных линий и углов длинных трубчатых костей: пособие для врачей. – СПб.: РНИИТО им. Р.Р. Вредена, 2010. [Opredelenie referentnykh liniy i uglov dlinnnykh trubchatykh kostey: posobie dlya vrachey. Saint Petersburg: RNIIITO im. R.R. Vredena; 2010. (In Russ.)]
23. Соломин Л.Н., Виленский В.А. Практическая классификация деформаций длинных трубчатых костей // Травматология и ортопедия России. – 2008. – № 3. – С. 44. [Solomin LN, Vilenskiy VA. Prakticheskaya klassifikatsiya deformatsiy dlinnnykh trubchatykh kostey. *Travmatologiya i ortopediya Rossii.* 2008;(3):44. (In Russ.)]
24. Vargas Barreto B, Caton J, Merabet Z, et al. Complications of Ilizarov leg lengthening: a comparative study between patients with leg length discrepancy and short stature. *Int Orthop.* 2007;31(5):587-591. doi: 10.1007/s00264-006-0236-2.
25. Inan M, El Rassi G, Riddle EC, Kumar SJ. Residual deformities following successful initial bone union in congenital pseudoarthrosis of the tibia. *J Pediatr Orthop.* 2006;26(3):393-399. doi: 10.1097/01.bpo.0000217716.64986.f0.

Information about the authors

Ekaterina A. Zakharjan — MD, PhD, Researcher of the Department of Bone Pathology. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6544-1657>. E-mail: zax-2008@mail.ru.

Alexander P. Pozdeev — MD, PhD, Professor, Chief Researcher of the Department of Bone Pathology. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5665-6111>. E-mail: prof.pozdeev@mail.ru.

Victor A. Vilensky — MD, PhD, Senior Researcher of the Department of Bone Pathology. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2702-3021>. E-mail: vavilensky@mail.ru.