



对先天性桡偏手患儿进行撑开的连骨术延长尺骨

LENGTHENING OF THE ULNA BY EXTERNAL FIXATION IN CHILDREN WITH CONGENITAL RADIAL CLUB HAND

© N.V. Avdeychik, S.I. Golyana, D.Yu. Grankin, A.V. Safonov

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

■ For citation: Avdeychik NV, Golyana SI, Grankin DYU, Safonov AV. Lengthening of the ulna by external fixation in children with congenital radial club hand. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2019;7(4):57-66. <https://doi.org/10.17816/PTORS7457-66>

Received: 19.06.2019

Revised: 15.11.2019

Accepted: 09.12.2019

论证: 先天性桡偏手的特点是手臂的辐射偏差、前臂缩短和上肢功能受限。尺骨缩短发生在所有类型的桡偏手。手术治疗前, 尺骨较完整肢体尺骨平均缩短33.3%。

目的是根据III型、IV型先天性桡偏手患者的截骨水平, 评价牵张接骨法治疗肘骨延长的效果。

材料与方法: 回顾性分析1998-2018年36位先天性IV型桡偏手患者的治疗结果。平均年龄 7.4 ± 3.5 岁。根据尺骨切骨术水平将患者分为三组。分析了主要指标: 尺骨变形角度的缩短和矫正百分率, 手的径向偏差, 矫正时间, 获得的伸长率, 固定和连骨术指数, 并发症。

结果: 患者观察期平均5.8年。手术前, 尺骨对于正常的一肢缩短百分比33.3%, 手术后为16%。术前尺骨变形角度为 20.5 ± 14.8 度, 术后为 7.4 ± 5.6 度, 得到的变形角矫正矫正率为63.9%。尺骨延长了 3.2 ± 1.1 厘米。尺骨近端部切骨术的患者中伸长率比中、下三分之二切骨术的患者相关高32%及18.4%。第一组的矫正期比第二、第三组相关长24.4%和28.9%。第一组固定指数比第二、三组分别低53.6、45.7%。最常见的并发症是假关节的形成(15%)、炎症过程(10%)和前臂的继发性畸形(7.5%)。

结论: 研究表明, 对于III型、IV型先天性桡偏手患者, 尺骨延长的最佳切骨术区是其近段。但是, 当手的偏斜超过20时, 建议在尺远端切骨术同时矫正畸形。

关键词: 先天性桡偏手; 尺骨的伸长; 压缩撑开骨缝术。

Background. Congenital radial club hand is characterized by the radial deviation of the hand, the longitudinal underdevelopment of the forearm, and the dysfunction of the upper limb. The shortening of the ulna is observed in all types of congenital radial club hand. The average shortening of the ulna surgical treatment was 33.3% compared to the intact contralateral side.

Aim. This study aimed to evaluate the results of ulna elongation by the method of external fixation, depending on the level of osteotomy, in patients with congenital radial club hand type III-IV.

Materials and methods. The treatment results of 36 patients with congenital radial club hand type III-IV from 1998 to 2018 were analyzed. The average age of the patients was 7.4 years \pm 3.5 years. The patients were divided into three groups, depending on the level of ulnar osteotomy. Shortening of the ulna, correction of the angle of deformity of the ulna, radial deviation of the hand, period of correction, elongation obtained, index of fixation and osteosynthesis, and associated complications were analyzed.

Results. The observation period was an average of 5.8 years. Before surgical treatment, the ulna was 33.3% shorter, while after surgery, it was 16%. Before surgery, the angle of deformation was $20.5^\circ \pm 14.8^\circ$, while after surgery, it was $7.4^\circ \pm 5.6^\circ$; this gives an angle of deformity correction of 63.9%. The elongation of the ulna was 3.2 ± 1.1 cm. In patients who underwent proximal osteotomy, the resulting elongation was 32% and 18.4% more, respectively, than in patients who underwent an osteotomy in the middle and distal sections of the ulna. In group 1, the correction period was 24.4% and 28.9% more than in groups 2 and 3, respectively. The index of fixation in group 1 was 53.6%, which was 45.7% less than in groups 1 and 3. Postoperative complications included a false joint (15%), inflammation (10%), and forearm deformities (7.5%).

Conclusions. In patients with congenital radial club hand type III-IV, the optimal part of an ulna osteotomy is the proximal section. With a hand deviation of more than 20°, osteotomy is performed in the distal section with simultaneous correction of the deformity.

Keywords: congenital radial club hand; external fixation; lengthening.

先天性桡偏手的特点是手的辐射偏移，前臂明显缩短，整个上肢功能明显受限[1-3]。在80%的病例中，这种病理是与食指形成不全合并，50%与第一排[4]发育不全合并。先天性桡偏手臂的发生率为1:30 000到1:100 000新生的。双侧损坏占38-58%[5, 6]。

在临床实践中，我们使用Bayne和Klug分类来描述先天性桡偏手，并将其分为四种类型:[7]。对于所有类型的畸形手，尺骨缩短与完整的肢体相比，后者在儿童的成长过程中仍然发育不全。

这些患者前臂的缩短和变形会导致严重的肢体[8]功能和外观缺陷。

先天性桡偏手[9]病例中21%平均分为I型和II型桡偏手。在这些病人中，为了消除上肢长度的差异，可以同时拉长前臂的两根骨头。

II型和IV型的桡偏手最常见，约占79%。在第一阶段，手术治疗的目的是消除辐射偏差，恢复双侧握力的可能性[6, 7, 10-12]。随后，大多数患者的父母抱怨前臂缩短。3-4种畸形手患者的尺骨长度平均为完整肢体尺骨长度的51.4-75.3%[13, 14]，这导致了严重的美容缺陷，尤其是单侧病变患者。在双侧病变患者中，由于前臂明显缩短，自我护理存在局限性。

为了消除前臂长度的差异，我们采用了压缩撑开骨缝术[15-18]。

根据文献，为了恢复下肢长度，常采用伊里扎洛夫法。很少有文献致力于使用

这种技术来加长上肢的骨骼。这些研究描述了不同诊断的儿童撑开骨缝术方法：马德隆氏畸形，多发性胞外软骨发育不良，前臂骨骺区损伤，先天性畸形手尺侧倾角[17]。

世界文献中关于先天性桡偏手患者肘关节伸长的研究结果仅针对小组患者（最多4-15人），年龄范围为1~17岁[19-23]。在固定指数、连骨术和观察到的并发症方面的数据大致相同[19, 22, 24]。然而，作者在不同程度上实施了截骨术：一些位于尺骨近端三分之一处[17, 24]，另一些位于中[20]或远端三分之一处[19, 22, 25]。

由于缺乏共识和治疗这些类型的桡偏手倾斜儿童的方法，导致了对牵张接骨术的肘伸长结果的回顾性评估，这取决于截骨术的水平。

目的是根据切骨术水平来评估加长骨内固定法在3-4种先天性桡偏手（按照Bayne和Klug分级）患者中尺侧伸的效果。

材料与方法

1998年至2018年，在俄罗斯联邦卫生部的联邦预算机构The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics检查并治疗了285位先天性桡偏手患儿。对36位(40只前臂)3、4型（按照Bayne和Klug分级）先天性桡偏手患者收到了做了撑开的连骨术延长尺骨，3-4种先天性桡偏手(按照Bayne和Klug分级)，其中23位男性，13位女性，平均年

龄为 7.4 ± 3.5 岁(3~15岁)。3位患者存在III型先天性桡偏手。单侧病变占91.7%，双侧病变占8.3%。15位患者的先天性桡偏手是遗传综合征的一部分。Holt-Oram综合征有10位，TAR综合征有3位，VATER综合征有2位。对于3位患者进行了患侧两期肘关节伸长术。TAR综合征患者有2位，双臂有2位。

在尺骨伸长前，所有患者均以尺骨为中心。此外，许多患者在患侧的手部第一束接受了不同类型的重建手术。

所有患者被分为三组。第一组在尺骨近端三分之一处切骨术，第二组在前臂中部三分之一处变形处切骨术，第三组在下三分之一处切骨术。研究组的观察期为从1到12年(平均观察期为 5.8 ± 0.4 年)。

在计划手术干预时，我们使用了临床的、放射学的，包括计算机断层扫描的研究方法。

在术前和术后远期的临床检查中，评估以下指标：肘关节、手指的运动幅度。我们没有考虑肘-腕关节的活动范围，因为所有患者的活动范围都很小，这是由于之前的手定心。

前臂骨与肘关节和手的捕获进行了两个标准的投影。前臂x线片评估了患肢和完整肢体尺骨的长度，计算了尺骨缩短与健康者的比例，尺骨变形的角度，以及手部偏离的角度。

在术前的计划过程中，为了选择切骨术的水平和类型，需要考虑以下因素：尺骨顶部的变形和手部的角度偏差。

- 如果变形顶点位于尺骨近端，且手的偏角不超过20度，则在尺骨上三分之一处进行切骨术。

- 如果尺骨的变形角度超过20，且在骨干的中间1/3处，则在中间1/3处进行切骨术。

- 当尺骨远端畸形，手偏斜大于20时，在前臂下三分之一处进行切骨术。

切骨术方法取决于手偏斜的类型：若手的径向偏离(矢状面)，则行Minervini切骨术[26]，若掌束(矢状面和额面)关节切骨术。

一共进行了40位患者的切骨术，其中切骨术3位，Minervini 2位。在其他病例中，倾向于矢状面斜切骨术。

为了评价尺骨延伸率的结果，研究了以下指标：牵张时间、矫正时间、固定时间、连骨术和固定指数、再生长度。根据J. Caton[27]的分类进行术后并发症分析。

我们没有评估功能能力，以及前臂的美容状况，之前和之后的尺骨加长。

根据标准技术，通过压缩撑开骨缝术进行肘部伸长。在尺骨近端和远端进行辐条或棒，随后将其固定在两个跨骨支架上，以及一个通过2-5掌骨与手固定在外伸臂上的辐条或棒。然后进行尺骨切骨术。

术后第5-7天开始撑开，每天3次，每次0.25毫米。整段时间内保守治疗(物理治疗、运动治疗、按摩)。牵张成熟后再生，压缩撑开装置，用石膏或圆形石膏石膏固定上肢。

患者的综合检查和治疗结果在Windows系统的Statistica 7.0中进行统计处理，使用参数和非参数统计方法。确定均值和标准差，进行相关分析，计算相关系数。

结果

研究结果见表1。

各组患者术前与术后的肘关节运动幅度无有明显差异。

在先天性桡偏手的患者中出现了肘关节屈伸挛缩：屈曲度平均为 131.5 ± 16.1 度，伸展度平均为 9.9 ± 6.2 度。

各组术前、术后平均手偏角无统计学差异。然而，在第1组和第2组患者接受

手术治疗之前，其范围为2至20度人，而第3组患者的范围为10至40度人。第三组5位患者同时进行手部辐射偏差矫正，术前平均角度 31 ± 11.4 度，术后平均角度 -5.7 ± 2.4 度。

手术前尺骨相对于完整肢体的缩短平均为 $33.3 \pm 12.3\%$ ，手术后为 $-16 \pm 10.5\%$ 。尺骨较原始长度平均延长36%。

4型先天性桡偏手患者术前尺骨变形角度平均为 20.5 ± 14.8 度(最小 -5 ，最大 -40 度)。第1组1位，第2组4型桡

表1

3-4型先天性桡偏手患者的手术治疗效果

指标	第一组		p	第二组		p	第三组		p
	之前	之后		之前	之后		之前	之后	
临床检查									
屈肘, 分级	131.3 ± 15.9	129.4 ± 5.3	≥ 0.05	126.7 ± 17.8	128.3 ± 19.7	≥ 0.05	133 ± 16.4	133.6 ± 16.7	≥ 0.05
肘关节伸展, 分级	12.5 ± 8.2	13.1 ± 9.3	≥ 0.05	8.3 ± 4.1	7.5 ± 2.7	≥ 0.05	8 ± 3.8	7.8 ± 3.9	≥ 0.05
刷偏差角, 分级	13.7 ± 5.8	11.2 ± 9.1	≥ 0.05	11.8 ± 7.2	12.8 ± 8.5	≥ 0.05	17.9 ± 10.9	9.3 ± 5.8	≥ 0.05
X射线检查									
与健康有关的尺骨缩短, %	35.6 ± 13.9	15.9 ± 10.7	≤ 0.05	34.3 ± 18.2	17.5 ± 12.4	≤ 0.05	31.1 ± 10.6	15.6 ± 10.4	≤ 0.05
尺骨的变形角, 分级	15.1 ± 11.8	3.5 ± 0.9	≤ 0.05	22.5 ± 16.0	1.8 ± 1.2	≤ 0.05	24.6 ± 16	1.6 ± 1.0	≤ 0.05
术后期									
校正期, 天	46.7 ± 11.6			35.3 ± 14.0			33.2 ± 16.2		≤ 0.05
所得伸长率, mm	37.6 ± 10.2			24 ± 9.7			28.8 ± 8.6		≤ 0.05
由此产生的加长率是尺骨原始尺寸的一个百分比	38.7 ± 12.1			35.4 ± 14.7			33.7 ± 13.8		≤ 0.05
固定指数, 天/厘米	22 ± 9.9			47.4 ± 21.5			40.5 ± 21.2		≤ 0.05
连骨术指数, 天/厘米	35.4 ± 10.5			75.5 ± 45.6			54.3 ± 20.8		≤ 0.05

偏手2位，第2组3型偏手1位，尺骨明显变形(35-40)。这些患者在6-7岁时因伴随病理的存在而接受手术治疗，其失代偿是骨科病理手术治疗的禁忌症。尺骨的明显的二次变形是由于长期存在的张力不发达的软组织和肌肉沿前臂的径向表面，并没有保守和外科治疗。在儿童生长的第一阶段治疗(手定心)后，尺骨的变形角度保持在35-40度。在这些患者中，在尺骨中部三分之一处的变形顶点处进行了切骨术。在儿童生长过程中，我们观察到尺骨中间三分之一处的变形减少，这使得他们可以在随后的近端或远端切骨术。

治疗后尺骨变形角度减小，但持续不变，平均为 7.4 ± 5.6 度。修正平均为63.9%。

第一组患者的矫正时间比第二组和第三组分别长24.4和28.9%。这是因为该组获得的伸长率比第二组和第三组分别高出32和18.4%。

第一组固定指数比第二、三组分别低53.6、45.7%。

表2列出了先天性桡偏手畸形手患者尺侧骨伸长率的主要并发症。

随着尺骨的加长，所有组的病人都出现了并发症。在第一组(56.3%)和第二组(56.7%)中，我们最常遇到并发症。

所有组均发现I级并发症(按Caton分级)。第1组和第2组中分别有12.5%和11.1%的病例中发现了软组织炎症。为了阻止炎症过程，使用口服抗生素治疗和表面抗菌敷料。所有病例均无深部感染迹象。有两位患者的针织针或杆螺钉断裂，但这一并发症并不影响治疗的最终结果。在第三组的一个病人，手指挛缩增加在撑开期间。经过一个疗程的康复治疗，有可能消除它，并达到一个令人满意的(术前)活动范围的掌指关节和指间关节的手。

2级并发症最常见，所有组均出现。第一组及第二组的患者中出现了撑开再生水平上假关节形成的并发症，比例相关为18.7%和50%。另外，第三组患者中5.6%拆除压缩撑开装置后出现了骨折再生和假关节的形成。所有病例中，为了恢复尺骨的完整性，均采用从髂骨

表2

3-4型先天性桡偏手患者尺骨延长的并发症

并发症	第一组	第二组	第三组
软组织炎症，发生于骨间成分出口部位	2 (12.5%)	0 (0%)	2 (11.1%)
跨骨元素骨折	1 (6.3%)	1 (16.7%)	0 (0%)
关节挛缩	0 (0%)	0 (0%)	1 (5.6%)
假关节的形成或萎缩的再生	3 (18.7%)	3 (50%)	0 (0%)
再生骨折	0 (0%)	0 (0%)	1 (5.6%)
肘关节脱位	2 (12.5%)	0 (0%)	0 (0%)
手偏差复发	1 (6.3%)	0 (0%)	0 (0%)
一共	9 (56.3%)	4 (56.7%)	4 (22.3%)

形成的游离海绵-皮质自体骨移植来修复缺损。

患者中18.8%(3位)仅在第一组患者中发现3级并发症。在两次病例中,我们观察到一个新关节形成后近端尺骨脱位。这些病人随后进行了尺骨突短切骨术和三头肌移位术。此外,在一个病人复发的手偏差发生。

第1组患者手术治疗的临床例子(图1)

P患者,5岁,因先天性桡偏手视、手食指发育不全入院。以前施行手术了:右手定心完成。

临床检查发现右前臂缩短4厘米,桡骨发育不全,右手桡骨偏差15,手被动不能带至中间位置,右手第一指发育不全(图1, a)。考虑到手的轻微偏斜和近端尺侧畸形的顶点,决定在上三分之一处进行切骨术。术后无明显变化。尺骨加长3.7厘米,尺骨变形矫正25位。随后,第二道手一线在受影响的一侧被擦亮。

临床检查3年后,发现右手辐射偏差达20次,为右手食指屈曲后的状态。肘关节

和手指的活动范围足够大。孩子自己服事自己,他不主动抱怨。家长对结果很满意。

第三组患者手术治疗的临床应用(图2)

L患者,6岁,由于TAR综合征、先天性双侧桡偏手、第一指发育不全入院了。之前做了手术:右、左手的置中。临床检查显示双前臂短缩,桡骨发育不全,右手掌束偏移40度,手被动不可能带至中间位置,第一指发育不全(图2, a)。考虑到手的明显偏斜,决定对右下三分之一尺骨进行铰链切骨术。术后无明显变化。尺骨加长3.5厘米。手掌束偏斜矫正35度。

2年后的临床检查(图2, c)显示手的辐射偏差高达10。孩子自己服事自己,他不主动抱怨。家长对结果很满意。随后,肘部骨向左侧加长。

讨论

先天性桡偏手的外科治疗一直是儿科学科的一个复杂问题。手术治疗后,外观改善,上肢功能能力增强,自助服务能力

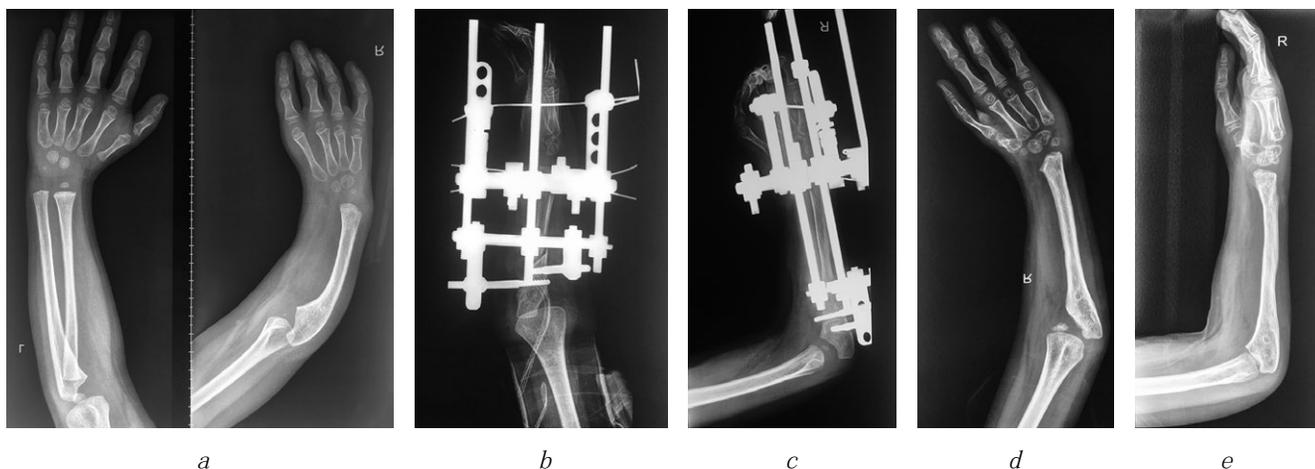


图1。P患者上肢x线片,5岁,尺骨加长前(a),切骨术后(b),固定期结束时(c),3年后(d, e)

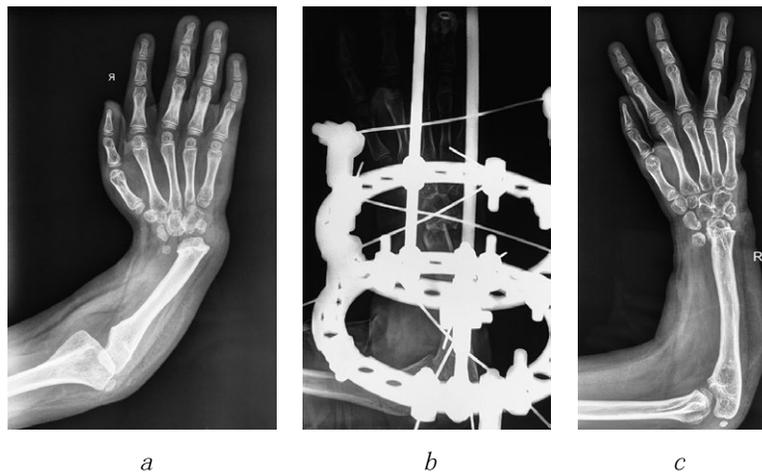


图2。病人L上肢x线片，6岁，尺骨加长前(a)，切骨术后(b)，2年后(c)

提高。患者在生命过程中开始更多地使用这一肢体。这些因素影响患者的社会适应和生活质量[19, 22, 28]。加长最好在青春期开始时进行，因为治疗不会干扰心理社会发展。在我们的研究中，患者的平均年龄为 7.4 ± 3.5 岁，这与世界文献[19-23]的数据相符。

肘关节活动范围的限制在先天性桡偏手患者中很常见。在肘关节严重挛缩的情况下，不能进行尺骨的加长。平均而言，肘关节的活动范围为99度[30]。在我们的研究中，患者还发现肘关节挛缩，平均活动范围为120度。

有学者认为尺骨可延长46厘米[17, 21, 22, 25]。在我们的病人中，伸长率平均为 3.2 ± 1.1 厘米。完全恢复前臂的长度不是[26]的要求。第一组和第三组患者的固定和连骨术指数与文献[17, 20, 25, 31]比较。第二组患者的高连骨术指数(75.5 ± 45.6 天/厘米)与并发症(尺骨假关节)和保守治疗形成再生的尝试有关。

文献描述了大量的并发症时，使用伊利扎罗夫方法延长上肢的骨头，高达100%的病例。最常见的炎症过程，关节挛缩，再生骨折[13, 19, 21, 22, 25]。然而，在我们的研究中，只有10%的病例中发现了

软组织炎症，2.5%的病例中发现了关节挛缩和骨折再生。

在我们诊所的病人中，尺骨加长最常见的并发症是萎缩再生和假关节的形成(15%的病例)。少数研究致力于尺骨延伸延迟固结的危险因素。因此，切骨术的位置、快速的牵张率、显著的加长、炎症以及患者营养都可能影响萎缩性再生的形成[32-35]。严重的瘢痕变化、肢体畸形引起的血管营养障碍、骨内腔的损伤、反复手术干预引起的骨内循环的紊乱，都对肢体的营养功能及成骨过程产生了负面影响[36, 37]。

根据Catagni[20]，在进行尺骨中段三分之一切骨术时，有20%的病例发生萎缩性再生。然而，作者注意到延长外固定装置的固定时间可以解决这个问题。在我们的观察中，无论是在骨干的中间三分之一处(50%的假关节形成的病例)还是在上部和中间三分之一处的边界处进行尺骨切骨术的患者都记录了这种并发症。前臂中部三分之一的循环系统紊乱是由于前臂发育明显不足，尺骨畸形的消除导致骨碎片的显著差异，标准的牵张率导致了萎缩再生的形成。压缩-牵张装置固定时间的延长并没有带来结果，这需要额外的手术干预。因此，在尺骨近端或远端进行切骨术或降低牵张率将降低假关节的风险。

此外, 在7.5%的病例中, 我们遇到了在治疗先天性桡偏手患者的文献中没有描述的并发症。5%的病人肘关节脱位。这是由于先天性桡偏手患者桡骨近端骨是不发达(平滑和喙突严重不足), 以及违反肘关节稳定和一致, 导致位错的尺骨近端在伸长后。这种并发症可以通过在撑开期间固定肱骨(在近端尺骨切骨术时)和在稳定期间拆除固定支架来避免。有1位(2.5%)出现手部偏移复发, 原因是压缩撑开装置中手部稳定性不足, 仅用安装在5掌骨上的轴固定手。手的固定必须用一根穿过四根掌骨的辐条来完成。

结论

按照Bayne和Klug分级, 当3型、4型先天性桡偏手患者的尺骨被拉伸长时, 截骨术最合适的部分是近端骨。

当手的偏斜超过20°时, 建议在尺远端切骨术同时矫正畸形。

附加信息

资金来源。本研究未提供经费。

利益冲突。作者声明本篇文章的发表方面不存在明显或潜在的利益冲突。

伦理审查。该研究是根据《世界医学会赫尔辛基宣言》经俄罗斯卫生部修订的伦理标准进行, 被俄罗斯联邦卫生部的联邦预算机构The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics道德委员会批准(2017年11月28日议定书编号2017/6)。

作者以书面形式获得患者(或其法定代表)自愿同意参与研究并发表医疗数据。

作者贡献

N. Avdeychik — 发展调查方法。写文章的所有部分。文献资料的收集与处理。给13位患者做了手术。

S. Golyana — 领导和参与研究方法的开发。逐步编辑文章文本。给10位患者做了手术。

D. Grankin — 参与数据处理, 撰写简历, 参考书目, 编辑文章。

A. Safonov — 参与本研究的开发, 给17位患者做了手术。

所有作者都对文章的研究和准备做出了重大贡献, 在发表前阅读并批准了最终版本。

References

1. Goldberg MJ, Meyn M. The radial clubhand. *Orthop Clin North Am.* 1976;7(2):341-359.
2. Tonkin MA. Radial longitudinal deficiency (radial dysplasia, radial clubhand). In: Green's Operative Hand Surgery. 4th ed. Ed. by D.P. Green, R.N. Hotchkiss, W.C. Pederson. Philadelphia: Churchill Livingstone; 1999. P. 345-358.
3. D'Arcangelo M, Gupta A, Scheker LR. Radial club hand. In: The Growing Hand: Diagnosis and Management of the Upper Extremity in Children. Ed. by A. Gupta, S.P.J. Kay, L.R. Scheker. London: Harcourt Publishers Ltd; 2000. P. 147-170.
4. Kozin SH. Upper-extremity congenital anomalies. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(8):1564-1576. <https://doi.org/10.2106/00004623-200308000-00021>.
5. Ekblom AG, Laurell T, Arner M. Epidemiology of congenital upper limb anomalies in 562 children born in 1997 to 2007: a total population study from stockholm, sweden. *J Hand Surg Am.* 2010;35(11):1742-1754. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2010.07.007>.
6. Авдейчик Н.В., Говоров А.В., Голяна С.И., Сафонов А.В. Врожденная лучевая косорукость у детей в структуре генетических синдромов // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2015. – Т. 3. – № 4. – С. 29-36. [Avdeychik NV, Govorov AV, Golyana SI, Safonov AV. Occurrence of radial club hand in children with dif-

- ferent syndromes. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2015;3(4):29-36. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/PTORS3429-36>.
7. Гребенюк Е.Б., Попков Д.А. Интрамедуллярное армирование при удлинении предплечья у больных с врожденными аномалиями развития // Генный ортопедии. – 2006. – № 3. – С. 104–109. [Grebenyuk EB, Popkov DA. Intramedullary reinforcement for forearm lengthening in patients with congenital developmental anomalies. *Genij ortopedii*. 2006;(3):104-109. (In Russ)]
 8. Bayne LG, Klug MS. Long-term review of the surgical treatment of radial deficiencies. *J Hand Surg Am*. 1987;12(2):169-179. [https://doi.org/10.1016/s0363-5023\(87\)80267-8](https://doi.org/10.1016/s0363-5023(87)80267-8).
 9. Vergara-Amador E, Lopez Rincon L, Herrera Rodriguez S. Radial longitudinal deficiency. Analysis of clinical and radiological results. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2019;63(3):217-226. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2018.10.004>.
 10. Paley D. The Paley ulnarization of the carpus with ulnar shortening osteotomy for treatment of radial club hand. *SICOT J*. 2017;3:5. <https://doi.org/10.1051/sicotj/2016040>.
 11. Takagi T, Seki A, Takayama S, Watanabe M. Current concepts in radial club hand. *Open Orthop J*. 2017;11:369-377. <https://doi.org/10.2174/1874325001711010369>.
 12. Najd Mazhar F, Shariatzadeh H, Balvardi M, et al. Recurrence rate of radial deviation following the centralization surgery of radial club hand. *Med J Islam Repub Iran*. 2018;32:18. <https://doi.org/10.14196/mjiri.32.18>.
 13. Yoshida K, Kawabata H, Wada M. Growth of the ulna after repeated bone lengthening in radial longitudinal deficiency. *J Pediatr Orthop*. 2011;31(6):674-678. <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e318221ebe7>.
 14. Vuillermin C, Butler L, Ezaki M, Oishi S. Ulna growth patterns after soft tissue release with bilobed flap in radial longitudinal deficiency. *J Pediatr Orthop*. 2018;38(4):244-248. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000000807>.
 15. Peterson BM, McCarroll HR, Jr., James MA. Distraction lengthening of the ulna in children with radial longitudinal deficiency. *J Hand Surg Am*. 2007;32(9):1402-1407. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2007.07.024>.
 16. Бородин В.В. Лечение по Илизарову приобретенной лучевой косорукости: Автореф. дис... канд. мед. наук. – Курган, 1992. [Borodin VV. Lechenie po Ilizarovu priobretennoy luchevoj kosorukosti. Kurgan; 1992. (In Russ.)]
 17. Стариков О.В. Реконструктивно-восстановительное лечение врожденной косорукости по методу Г.А. Илизарова: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Курган, 2002. [Starikov OV. Rekonstruktivno-vosstanovitel'noe lechenie vrozhdennoy kosorukosti po metodu G.A. Ilizarova. Kurgan; 2002. (In Russ.)]
 18. Хмызов С.А., Гарбузняк И.Н. Эффективность комбинированного лечения детей с врожденной косорукостью в сочетании с аномалиями кисти // Травма. – 2014. – Т. 15. – № 4. – С. 95–100. [Khmyzov SA, Garbuznyak IN. The effectiveness of combined treatment of children with congenital clubhand combined with hand anomalies. *Travma*. 2014;15(4):95-100. (In Russ.)]
 19. Hill RA, Ibrahim T, Mann HA, Siapkara A. Forearm lengthening by distraction osteogenesis in children: a report of 22 cases. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93(11):1550-1555. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.93B11.27538>.
 20. Catagni MA, Szabo RM, Cattaneo R. Preliminary experience with Ilizarov method in late reconstruction of radial hemimelia. *J Hand Surg Am*. 1993;18(2):316-321. [https://doi.org/10.1016/0363-5023\(93\)90367-C](https://doi.org/10.1016/0363-5023(93)90367-C).
 21. Kawabata H, Shibata T, Masatomi T, Yasui N. Residual deformity in congenital radial club hands after previous centralisation of the wrist. Ulnar lengthening and correction by the Ilizarov method. *J Bone Joint Surg Br*. 1998;80(5):762-765. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.80b5.8839>.
 22. Pickford MA, Scheker LR. Distraction lengthening of the ulna in radial club hand using the Ilizarov technique. *J Hand Surg Br*. 1998;23(2):186-191. [https://doi.org/10.1016/s0266-7681\(98\)80172-1](https://doi.org/10.1016/s0266-7681(98)80172-1).
 23. Horii E, Nakamura R, Nakao E, et al. Distraction lengthening of the forearm for congenital and developmental problems. *J Hand Surg Br*. 2000;25(1):15-21. <https://doi.org/10.1054/jhsb.1999.0309>.
 24. Бойчев Б., Комфорти В., Чоканов К. Оперативная ортопедия и травматология – учебник. София: Медицина и физкультура, 1961. 794 с. [Boychev B, Komforti V, Chokanov K. Operativnaya ortopediya i travmatologiya – uchebnik. Sofiya: Meditsina i fizkul'tura; 1961. 794 p. (In Russ.)]
 25. Caton J. L'allongement bilatéral des membres inférieurs chez les sujets de petite taille en France. Résultats de l'enquête GEOP; notre expérience: Traitement des inegalites de longueur des membres inferieurs et des sujets de petite taille chez l'enfant et l'adolescent: Symposium sous la direction de J. Caton (Lyon). *Rev Chir Orthop*. 1991;77(1):74-77.
 26. Raimondo RA, Skaggs DL, Rosenwasser MP, Dick HM. Lengthening of pediatric forearm deformities using the Ilizarov technique: functional and cosmetic results. *J Hand Surg Am*. 1999;24(2):331-338. <https://doi.org/10.1053/jhsu.1999.0331>.
 27. Bhat SB, Kamath AF, Sehgal K, et al. Multi-axial correction system in the treatment of radial club

- hand. *J Child Orthop*. 2009;3(6):493-498. <https://doi.org/10.1007/s11832-009-0196-3>.
28. Azar FM, Canale T, Beaty OP. *Campbell's Operative Orthopaedics*. Vol. 4. 11th ed. Mosby; 2007.
 29. Saini N, Patni P, Gupta S, et al. Management of radial clubhand with gradual distraction followed by centralization. *Indian J Orthop*. 2009;43(3):292-300. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.53461>.
 30. Masada K, Tsuyuguchi Y, Kawai H, et al. Operations for forearm deformity caused by multiple osteochondromas. *J Bone Joint Surg Br*. 1989;71(1):24-29. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.71B1.2914999>.
 31. Farr S, Mindler G, Ganger R, Girsch W. Bone lengthening in the pediatric upper extremity. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(17):1490-1503. <https://doi.org/10.2106/JBJS.16.00007>.
 32. Tjernstrom B, Olerud S, Rehnberg L. Limb lengthening by callus distraction. Complications in 53 cases operated 1980-1991. *Acta Orthop Scand*. 1994;65(4):447-455. <https://doi.org/10.3109/17453679408995491>.
 33. Mader K, Gausepohl T, Pennig D. Shortening and deformity of radius and ulna in children: correction of axis and length by callus distraction. *J Pediatr Orthop B*. 2003;12(3):183-191. <https://doi.org/10.1097/01.bpb.0000057485.91570.e9>.
 34. Paley D. Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;(250):81-104.
 35. Li Y, Han B, Tang J, et al. Identification of risk factors affecting bone formation in gradual ulnar lengthening in children with hereditary multiple exostoses: A retrospective study. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(5):e14280. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014280>.
 36. Борзунов Д.Ю., Шастова А.Л. «Ишемический» дистракционный регенерат: толкование, определение, проблемы, варианты решения // Травматология и ортопедия России. – 2019. – Т. 25. – № 1. – С. 68–76. [Borzunov DY, Shastova AL. “Ischemic” distraction regenerate: interpretation, definition, problems and solutions. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019;25(1):68-76. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2019-25-1-68-76>.
 37. Kojimoto H, Yasui N, Goto T, et al. Bone lengthening in rabbits by callus distraction. The role of periosteum and endosteum. *J Bone Joint Surg Br*. 1988;70(4):543-549. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.70B4.3403595>.

Information about the authors

Natalia V. Avdeychik* — MD, Orthopedic and Trauma Surgeon of the Department of Reconstructive Microsurgery and Hand Surgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-7837-4676>. E-mail: natali_avdeichik@mail.ru.

Sergey I. Golyana — MD, PhD, Scientific Supervisor of the Department of Reconstructive Microsurgery and Hand Surgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-1319-8979>. E-mail: ser.golyana@yandex.ru.

Denis Yu. Grankin — MD, Research Associate of the Department of Reconstructive Microsurgery and Hand Surgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-8948-9225>. E-mail: grankin.md@gmail.com.

Andrey V. Safonov — MD, PhD, Chief of the Department of Reconstructive Microsurgery and Hand Surgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-1923-7289>. E-mail: safo125@gmail.com.