

儿童先天性脊柱畸形矫正过程中金属结构失稳的原因分析

ANALYSIS OF CAUSES OF METAL STRUCTURE DESTABILIZATION IN CORRECTION OF CONGENITAL SPINAL DEFORMATION IN CHILDREN OF A YOUNGER AGE GROUP

© D.N. Kokushin, S.V. Vissarionov, M.A. Khardikov, N.O. Khusainov, A.N. Filippova, V.V. Ilin

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia

■ For citation: Kokushin DN, Vissarionov SV, Khardikov MA, et al. Analysis of causes of metal structure destabilization in correction of congenital spinal deformation in children of a younger age group. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2020;8(1):15-24. <https://doi.org/10.17816/PTORS18544>

Received: 05.12.2019

Revised: 23.01.2020

Accepted: 10.03.2020

论证: 脊椎形成障碍是导致先天性脊柱侧凸发生和发展的最常见的脊柱畸形之一。大多数专家更推荐在儿童早期进行脊柱畸形的手术矫正。

目的是用于儿童先天性脊柱畸形的外科治疗评估经椎弓根金属结构的方案和原因，其与紊乱其完整性无关。

材料与方法。在研究过程中进行了以2014年至2019年在H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery对286例6岁以下患一根紊乱椎体为背景先天性脊柱畸形儿童的病史分析。根据手术治疗结果将患者分为两组：研究组 ($n = 7$) 为金属结构失稳患者，对照组 ($n = 12$) 为无金属结构失稳患者。在研究过程中确定了与异常相邻的椎弓根基底的大小，评估了变形的脊柱侧凸和脊柱后凸分量的大小，以及根据Gertzbein分类对金属结构的支撑元素的正确位置。

结果。患者在年龄、脊柱侧凸和脊柱后凸的大小等方面无差异，但在椎弓根基底平均直径等指标上存在差异 ($p < 0.05$)。所有患者术后均获得先天性脊柱畸形完全矫正。在术后的长期时间内，研究组患者经放射检查后发现，椎弓根的支撑元素相对于基底的位置不正，并脊柱畸形矫正平均损失 25° 。为此，反复进行了手术干预以恢复金属结构的稳定性，并矫正畸形。

结论。在矫正先天性脊柱畸形时，金属结构不稳定的原因既有脊柱畸形区的解剖与人体测量参数的特点，以及手术干预的战术方面。金属结构失稳而又不破坏其完整性的主要原因是相邻椎体的椎弓基底相对于异常椎体较小。比较小的椎弓根基底和大量的先天性脊柱畸形矫正，其由于对脊柱畸形进行了彻底的矫正，使得有必要安装一个更扩展脊柱系统为了恢复区畸形的生理过程。

关键词: 先天性脊柱侧凸；单节段脊柱的缺陷；半椎体；半椎体切除术；金属结构不稳定性；螺钉位置不正。

Background. One of the most common vertebral malformations that lead to the occurrence and progression of congenital scoliosis is disorders of vertebral formation. Most specialists adhere to the active tactics of surgical correction of spinal deformity in early childhood.

The aim. To evaluate the variants and causes of the transpedicular spinal system destabilization, which is not related to the violation of its integrity, in the surgical treatment of children with congenital spinal deformities.

Materials and methods. The case histories of 286 children under the age of 6 years undergoing surgical treatment in H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery between 2014 and 2019 were analyzed. Depending on the outcome of the surgical treatment, the patients were divided into groups: the main group ($n = 7$) included those with spinal system destabilization and the control group ($n = 12$) consisted of those

without spinal system destabilization. During the study, the sizes of the bases of the arcs adjacent to the abnormal vertebra, the magnitude of the scoliotic and kyphotic components of the deformation, and the correct position of the supporting elements of the spinal system on the Gertzbein scale were determined.

Results. Patients of the studied groups were identified according to their age and the magnitude of scoliotic and kyphotic components of spinal deformity. The average diameter of the arc base in the studied groups varied ($p < 0.05$). In all patients, the complete correction of the congenital curvature of the spine was achieved after surgery. In the long-term postoperative period in patients of the study group after radiation analysis, the malposition of supporting elements relative to the base of the vertebral arch and a loss of correction of spinal deformity by an average of 25° were revealed, which required the repeated surgery in order to restore the stability of the spinal system and to correct deformation.

Conclusions. The reasons for the spinal system destabilization during the correction of the spinal congenital deformations are the peculiarities of vertebral anatomical-anthropometric parameters in the curvature zone, as well as tactical aspects during surgery. The main reason for the spinal system destabilization without violating its integrity is the small size of bases of adjacent vertebral arches relative to the abnormal one. The small size of the bases of the vertebral arches and the significant amount of necessary correction of congenital spinal deformity necessitate the installation of a longer spinal system in order to restore physiological profiles in the curvature zone.

Keywords: congenital scoliosis; monosegmental spinal malformations; hemivertebra; hemivertebra excision; destabilization of metal structure; screw malposition.

导致先天性畸形进展过程的椎体发育结构最常见的异常是椎体形成障碍[1, 2]。对于先天性脊柱畸形其早年椎体变形紊乱的患者, 多数研究者坚持手术治疗的主动策略[3-5]。手术的主要任务是排除紊乱的椎体, 先天性金属结构畸形的彻底的矫正, 并通过固定只涉及主椎弓畸形最小数的腰柱运动节段[6-8]。近年来, 为了实现这一目标, 在手术期间来使用经椎弓根支持元素的脊柱植入。后者的优点是能够同时影响脊柱的三根柱, 其缩短了金属固定的长度, 并在长期的观察中保持所获得结果的稳定性[9-11]。

应该指出的是, 现有的文献中没有关于分析在矫正儿童先天性脊柱畸形中存在经椎弓根支持元素的脊柱系统失稳的原因的数据。

目的是用于儿童先天性脊柱畸形的外科治疗评估经椎弓根金属结构的方案和原因, 其与紊乱其完整性无关。

材料与方法

在研究过程中进行了以2014年至2019年在H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics

and Trauma Surgery对286例患一根紊乱椎体为背景先天性脊柱畸形儿童的病史分析。研究组包括学龄前儿童患者, 其手术治疗因金属结构的不稳定而复杂化, 与金属结构的完整性无关。

遵从准则。本研究的患者纳入标准为1岁2个月至6岁, 胸椎或腰椎的孤立畸形的存在, 缺乏椎管和脊髓的异常, 从Th₆定位至L₄的异常椎体, 从结合通道(前后和后背)的手术, 只使用经椎弓根的金属结构来矫正畸形, 脊椎系统的四种支持元素的存在, 脊椎系统的四种支持元素的存在, 金属内固定的长度为两个相邻椎体相对于异常椎体的长度。

排除标准是脊柱先天畸形背景下的多种脊椎畸形, 在Th₁-Th₅和L₅水平上异常椎体的定位, 仅从背部通道进行手术, 层流和/或混合脊髓系统的应用, 金属固定长度为三椎或三椎以上。

研究材料是19例为孤立的胸腰椎半椎体的先天性脊柱侧凸患者的病史。性别分布如下: 男生10名, 女生9名。患者平均年龄为3岁7个月(从1岁2个月至6岁)。根据异常椎体定位观察到了以下的分布: 11例患者半椎体定位于胸段(Th₆-Th₁₂), 8例为腰段(L₁-L₄)。

根据手术治疗结果将患者分为两组：研究组包括术后早期（6个月以下）出现金属结构不稳定的患者（ $n = 7$ ）；对照组包括无脊髓系统不稳定的患者（ $n = 12$ ）。对照组是通过有针对性地选择在特征上与研究组相似的患者组成的，在进行手术病人的总数中，这与倾向评分匹配相对应。

所有患者均在术前、术后及动态随访期间接受了全面的临床及射线检验。

根据脊椎的放射学检查在标准投影中，术前确定了椎体畸形的变异及其定位，并根

据Cobb生产函数估计脊柱畸形的脊柱侧凸和脊柱后凸的分量值（见表1）。

根据术前对椎弓根基底大小的计算，确定了脊柱系统所安装的支持元素的直径。术后评估了畸形区脊柱畸形度及金属结构的正确安装。

根据术前多层螺旋CT（MSCT）检查，确定了骨病理的性质，并详细测量了缺损区椎弓根基底参数。手术后，通过由Gertzbein等人提出的方法根据Grade方法评估了安装的金属支撑元件相对于椎弓上的正确性，相对于骨骼结构，并使用确定

表1

研究对象的特征

组类型		手术时的年龄，月	异常椎体的定位	相邻椎体椎弓基底的平均直径，毫米	脊柱侧凸畸形， $^{\circ}$ 根据Cobb	脊柱后凸的畸形，根据Cobb
1	1	57	L ₂	3.8	39	6
	2	25	Th ₇	3.9	42	30
	3	36	Th ₆	4.1	33	23
	4	36	Th ₁₀	4.1	26	45
	5	21	L ₂	3.8	39	26
	6	84	Th ₇	3.6	35	24
	7	36	Th ₁₁	3.6	40	48
<i>M</i> ± <i>m</i> 分组		42.14 ± 8.86	-	3.84 ± 0.08	36 ± 2.23	29 ± 5.81
2	1	38	Th ₁₁	4.3	34	10
	2	40	L ₂	5.0	40	26
	3	46	Th ₁₃	5.1	42	40
	4	60	L ₁	4.9	58	40
	5	24	L ₁	4.5	62	40
	6	48	Th ₆	4.4	38	24
	7	48	L ₂	5.7	42	23
	8	2	Th ₆	4.5	32	41
	9	48	Th ₁₁	5.2	40	19
	10	35	L ₁	5.0	32	15
	11	36	L ₁	5.1	24	15
	12	70	Th ₇	4.7	36	10
<i>M</i> ± <i>m</i> 分组		42.75 ± 4.01	-	4.87 ± 0.12	40 ± 3.22	29 ± 3.23

安装的螺钉相对于骨结构SLIM + V的正确性方案*[12, 13]。另外, 在控制检查时观察到了干预区骨块形成的动态。

所有患者均根据胸椎或腰椎异常椎体的位置, 在现有方法的基础上, 采用联合入路进行手术[3, 14]。从前外侧通路取出了异常椎体的上、下椎间盘, 而从后背取出了紊乱椎骨的后骨结构, 用多支撑经椎弓根金属结构来矫正先天畸形。脊柱系统的支撑元件仅安装在相对于异常的相邻椎体上。通过在腰椎运动节段的正确位置进行后局部脊椎融合术和椎体融合术来完成干预。

所有观察到的金属结构的长度为两个椎骨(一个腰椎运动节段)。所有患者均采用徒手法来安装金属结构的支撑元件。手术后, 进行了计算机断层扫描, 以评估脊柱系统的支持元素的正确位置。

使用Statistica 13 (StartSoftInk, 美国)和Microsoft Excel 2010进行统计分析。计算了算术平均值(M)和平均值偏差($\pm M$)。用变异系数、相对线性偏差、皮尔逊一致准则、不对称和峰度指标来检验样本分布的正态性。为了确定配对测量的差异的统计学意义, 使用了配对 t 检验和Mann-Whitney检验, 显著性水平为 $p < 0.05$ 。用Spearman相关系数(ρ)来确定线性关系。

结果

研究组患者在年龄、脊柱畸形的脊柱侧凸和脊柱后凸组成方面具有可比性。而在进行椎弓根基底的平均直径比较, 差异

*缩略语的第一部分表示螺钉相对于椎弓根外壁的位置, 其按一定的顺序来计算: S (superior) — 椎弓根的上部(颅), L (lateral) — 椎弓根的侧部(外), I (inferior) — 椎弓根的下部(尾), M (medial) — 椎弓根的内部(内)。缩略语的第二部分(V — vertebral body)是经椎弓根螺钉相对于椎体前外侧面的位置评估的指定。

有统计学意义($p < 0.05$)。如对照组患者椎弓根基底直径较大(最小4.3 mm; 最大5.7 mm)与研究组患者比较(最小3.6 mm; 最大4.1 mm)。

所有患者术后均观察到局部先天性畸形的完全矫正及脊柱的正、矢状位生理参数的恢复。术后根据MSCT数据(在正面)评估了金属结构的支撑元素相对于内固定椎弓根皮质板的正确位置(见表2)。

本研究还根据MSCT数据(轴位和矢状位)分析了椎弓根外壁和内固定椎体前外侧面经椎弓根螺钉位置的正确性(见表3)。

当评估对照组患者安装的支撑元件的正确性时, 在7例(28颗螺钉)中注意到经椎螺钉的中心位置(0级), 而在1级内经椎螺钉位置的位移为5例(20颗螺钉)。在我们的研究中, 对照组患者在2-3级范围内支架元件的位移和同时对椎弓根基底的几面墙的损伤未被记录(见表2, 3)。

研究小组的病人在4例观察中, 支持元素(16颗螺钉)位于椎弓根基底的中心(0级), 2例(8颗螺钉)经椎弓根螺钉的位置在1级范围内发生了移位, 而在1例(4颗螺钉)中, 支撑构件的位移程度对应于2级。

研究发现, 金属结构安装支撑元件的正确性与异常相邻的椎弓基底直径呈负相关(Spearman相关系数为-0.06)。

在研究组的6例观察中, 经椎弓根螺钉穿透了椎体前皮质板, 但是, 考虑到文献资料, 这种并发症更多的是由于选择支撑元件长度的技术错误, 而不是安装的并发症[15]。

在研究组的大多数病例中, 经椎弓根螺钉的移位伴随着至少一处椎弓根基底壁的

损伤，然而，尽管椎弓根基底的尺寸较小，其几乎与经椎弓根螺钉的直径一致，支撑元件的安装是正确的（见表2）。我们认为，这种椎体骨结构的临界尺寸已经成为金属结构失稳的原因之一。

在手术后3到6个月，研究组的所有儿童的父母都注意到干预区脊柱畸形的形式恶化。腰部三角形不对称，肩胛骨的站立角度不同，肌肉压路机的存在。这就是申请医

院并进行对照检查的原因。进行放射学检查后，检测到了脊柱系统的支撑元件相对于椎弓根基底的位移，椎弓基底部骨结构和椎弓根支撑物区骨结构萌出，在经椎弓根支撑元件区的椎弓根基底和椎体基础上的骨结构的爆发，根据Cobb ($M = 25 \pm 5.7^\circ$) 脊柱畸形的矫形损失从15°到44°。

根据计算机断层扫描的结果，在4例中发现一颗螺钉的位置不正，在2例中发现两颗螺

表2

使用Gertzbein等人的方法评估对金属结构安装支撑元件的正确性

组类型		金属结构螺钉相对于椎弓根基底中心的位置，级
1	1	2
	2	2
	3	1
	4	0
	5	2
	6	2
	7	3
2	1	1
	2	0
	3	0
	4	0
	5	1
	6	0
	7	1
	8	0
	9	1
	10	0
	11	0
	12	1

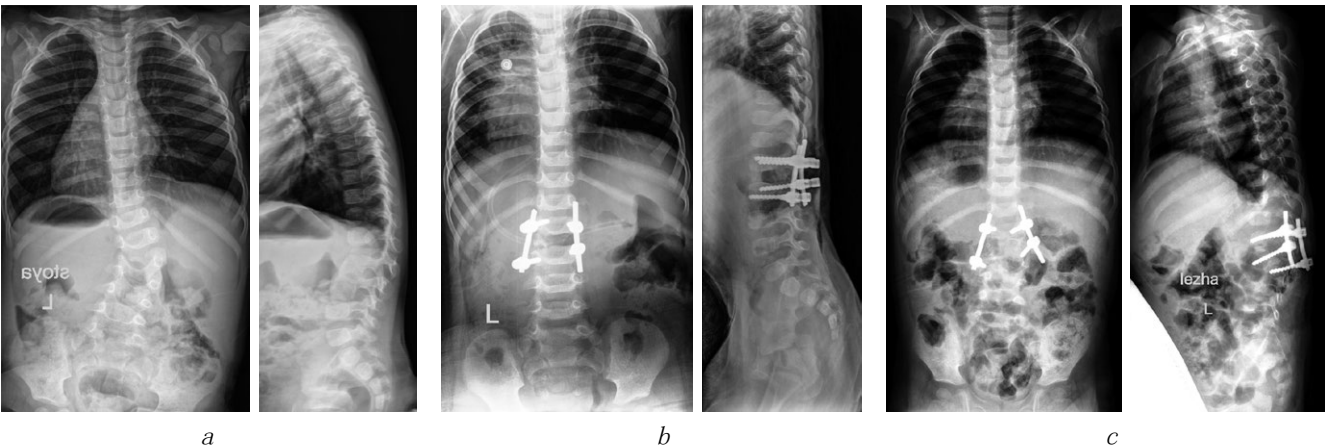
注：0级（full correct）— 椎弓根螺钉完全位于椎弓根部；1级 — 经椎弓根支撑元件相对于椎弓根基底皮质层的位移可达2毫米；II级—螺钉的位移范围为2至4毫米；III级—位移大于4毫米。

表3

评估金属结构的支撑元素相对于椎体骨结构的位置

组类型		偏置螺钉数	椎弓根基底的内壁受损， 根据SLIM + V*				
			S	L	I	M	V
1	1	3	+	+		+	
	2	2		+	+		
	3	1					+
	4	1					+
	5	1	+	+	+		+
	6	2	+		+	+	
	7	1					+
2	1	2			+		
	2	1					
	3	2					
	4	2					
	5	2			+		
	6	1					
	7	1					+
	8	1		+			
	9	1			+		
	10	2					
	11	2					
	12	1	+				+

注：S — 椎弓根基底的上壁；L — 椎弓根基底的侧壁；I — 椎弓根基底的下壁；M — 椎弓根基底的内侧壁；V — 椎体。*见第17页的脚注。



S. 病人的X线照片，1岁9个月，以L₂后外侧半椎体为背景的先天性腰椎后凸畸形：
a — 术前脊柱侧凸角度为39°，后凸角度为26°；b — 从联合入路摘除半椎体后先天性畸形的矫正；
c — 金属结构的失稳

表4

金属结构恢复稳定性的脊柱畸形矫正动力学的研究

患者	金属结构不稳定时脊柱的畸形， ° 根据Cobb		恢复金属结构稳定后，脊柱的 残余畸形，° 根据Cobb	
	脊椎侧弯的组件	脊柱后凸的组件	脊椎侧弯的组件	脊柱后凸的组件
1	41	30	1	0
2	39	30	1	0
3	29	44	0	0
4	39	40	0	0
5	22	18	0	0
6	15	0	0	0
7	0	40	0	0

钉位置不正，在1例中发现3颗或更多螺钉位置不正。无出现棒和经椎弓根螺钉的断裂。

需要注意的是，在所有先天性脊柱畸形患者中，在缺损区记录了明显的脊柱侧凸和/或后凸的畸形的分量（见表1）。在矫正操作过程中，椎体的骨结构会受到明显的经椎弓根螺钉的压力。尽管一些支持元素被正确安装了，相当短的金属长度和椎弓根基底的小尺寸导致了椎弓根基底的切穿及椎体骨质的破碎，从而导致脊柱系统的不稳定（见图）。

由于这种情况，所有的患者都进行了重复的手术干预（第一次手术后3至6个

月内），仅从背部通道，旨在稳定金属结构和额外的矫正所造成的畸形。通过在先前安装的脊柱系统上下的一个椎体上安装额外的经椎弓根支撑元件，恢复金属结构的稳定性，同时完成对变形的脊柱侧凸和后凸构件的完全矫正（见表4）。

讨论

经椎弓根脊柱系统可以在排除异常椎体后完全矫正先天性畸形，仅依靠相对于紊乱椎体的相邻完整椎体[3, 14, 16]。然而，在安装经椎弓根金属结构时，存在许多技术

困难和问题,以及各种并发症的风险,主要是神经方面的[17, 18]。

许多研究已经描述了在使用经椎弓根金属结构矫正先天性脊柱畸形后可能出现的并发症。例如, Ruf和Harms报告了28%的病例因安装经椎弓根脊柱系统而引起的并发症,包括3例椎弓根基底骨折、3例椎棒骨折和2例应变矫正丢失[19]。Zhang等人在10.8%的病例中记录了并发症(2例椎弓根骨折,2例椎棒骨折,1例应变矫正丢失,1例长期不愈合的手术伤口),并对其进行了反复的手术干预[20]。

这个问题的多因素性质既在于先天缺陷本身的特点,也在于外科的方面[21]。从我们的观点来看,有几个因素导致了脊柱系统的不稳定性。首先,这就是小椎弓根基底的大小(几乎相当于经椎弓根螺钉的直径),对脊柱侧凸和/或后凸畸形进行大量必要的矫正,以彻底矫正先天性的畸形,以及一个异常的脊椎在脊柱过渡区的定位(脊柱后凸顶部、胸腰椎交界处)。金属固定的小长度(一个腰椎运动节段)有助于在手术区域产生大量的负荷。这些因素的结合导致了脊柱系统的不稳定,因此,在手术后失去了实现的矫正。总的来说,在误差范围内(I-II级),所安装的支撑元件的正确性不会影响脊柱系统的稳定性。在我们的研究中,金属结构的失稳发生在正确安装支撑元件的患者身上。

同时,需要注意的是,两组异常椎骨的定位(胸部后凸顶点、胸腰椎交界处)、脊柱侧凸和后凸的畸形分量大小是相同的。两组中唯一的区别是椎弓根基底的大小。在脊柱系统不稳定组中,完整椎弓根相对于异常椎弓根的平均大小为 3.84 ± 0.08 毫米,与经椎弓根螺钉直径基本一致。在骨块形成的整个过程中,金属结构保持稳定的患者,与异常骨块相邻的椎弓根基底平均大小为 4.87 ± 0.12 毫米。我们认为,在缺损区对

腰椎运动节段的短时间固定(只有两块椎骨位于异常椎体的两侧)对金属结构本身和椎体骨结构产生了显著的应变,导致脊柱系统的不稳定。基于上述,在胸部后凸顶点和胸腰椎过渡区域,先天性畸形的矫正及腰椎运动节段的固定在相邻椎体的椎弓基底相对于异常椎体较小情况下,需要更长金属固定,不仅要恢复这些区域的生理过程,而且要在整个骨块形成期间保持该区域的稳定。

结论

在矫正先天性脊柱畸形时,金属结构不稳定的原因既有脊柱畸形区的解剖与人体测量参数的特点,也有手术干预的战术方面。金属结构失稳而又不破坏其完整性的主要原因是相邻椎体的椎弓基底相对于异常椎体较小。在择金属固定长度时,首先要考虑相邻完整椎体的相对紊乱椎弓根基底的大小、先天性畸形的脊柱侧凸和后凸成分的大小以及异常发育的脊椎的定位。由于较小椎弓根基底的尺寸,并先天性脊柱畸形的大量必要矫正,需要安装一个较长的脊柱系统,以恢复脊柱畸形区的生理过程。

附加信息

资金来源。这项研究是在联邦国家项目的《利用原型技术开发新的脊柱系统,用于外科治疗患有严重先天性畸形和脊柱损伤的儿童》框架内进行的。

利益冲突。无利益冲突申明说明。

伦理审查。本研究经俄罗斯卫生部联邦国家预算机构的伦理委员会Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics讨论并批准

(2019年10月25日/第2019/10号议定书)。患者及其代表同意参与研究并公布个人资料。

作者贡献

D. N. Kokushin — 负责病人的外科治疗, 写及逐级编辑文章的文本。

S. V. Vissarionov — 负责病人的手术治疗, 目的陈述, 逐步和最后编辑的文章文本。

M. A. Hardikov, V. V. Ilin — 负责收集和分析数据, 文献综述, 撰写文章正文, 设计文章。

N. O. Khusainov, A. N. Filippova — 负责病人的手术治疗, 收集和分析数据。

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. Feng Y, Hai Y, Zhao S, Zang L. Hemivertebra resection with posterior unilateral intervertebral fusion and transpedicular fixation for congenital scoliosis: results with at least 3 years of follow-up. *Eur Spine J*. 2016;25(10):3274-3281. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4556-7>.
2. McMaster MJ, David CV. Hemivertebra as a cause of scoliosis. A study of 104 patients. *J Bone Joint Surg Br*. 1986;68(4):588-595.
3. Виссарионов С.В., Картавенко К.А., Кокушин Д.Н., Ефремов А.М. Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией грудного отдела позвоночника на фоне нарушения формирования позвонков // Хирургия позвоночника. – 2013. – № 2. – С. 032–037. [Vissarionov SV, Kartavenko KA, Kokushin DN, Efremov AM. Surgical treatment of children with congenital thoracic spine deformity associated with vertebral malformation. *Spine surgery*. 2013;(2):032-037. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2013.2.32-37>.
4. Mladenov K, Kunkel P, Stuecker R. Hemivertebra resection in children, results after single posterior approach and after combined anterior and posterior approach: a comparative study. *Eur Spine J*. 2012;21(3):506-513. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-2010-4>.
5. Ruf M, Jensen R, Jeszenszky D, et al. Hemivertebra resection in congenital scoliosis — early correction in young children. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 2006;144(1):74-79. <https://doi.org/10.1055/s-2006-921417>.
6. Noordeen MH, Garrido E, Tucker SK, Elsebaie HB. The surgical treatment of congenital kyphosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(17):1808-1814. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181ab6307>.
7. Рябых С.О., Филатов Е.Ю., Савин Д.М. Результаты экстирпации полупозвонков комбинированным, дорсальным и педикулярным доступами: систематический обзор // Хирургия позвоночника. – 2017. – Т. 14. – № 1. – С. 14–23. [Ryabikh SO, Filatov EY, Savin DM. Results of hemivertebra excision through combined, posterior and transpedicular approaches: systematic review. *Spine surgery*. 2017;14(1):14-23. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2017.1.14-23>.
8. Мушкин А.Ю., Наумов Д.Г., Уменушкина Е.Ю. Экстирпация грудных и поясничных полупозвонков у детей: как техника операции влияет на ее травматичность? (Предварительные результаты и обзор литературы) // Травматология и ортопедия России. – 2018. – Т. 24. – № 3. – С. 83–90. [Mushkin AY, Naumov DG, Umenushkina EY. Thoracic and lumbar hemivertebra excision in pediatric patients: how does the operation technique influence on outcomes? (Cohort analysis and literature review). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2018;24(3):83-90. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-3-83-90>]
9. Davne SH, Myers DL. Complications of lumbar spinal fusion with transpedicular instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1992;17(6 Suppl):S184-189. <https://doi.org/10.1097/00007632-199206001-00021>.
10. Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating. *Clin Orthop Relat Res*. 1986(203):7-17.
11. Ruf M, Harms J. Posterior hemivertebra resection with transpedicular instrumentation: early correction in children aged 1 to 6 years. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(18):2132-2138. <https://doi.org/10.1097/01.BRS.0000084627.57308.4A>.
12. Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., и др. Сравнительный анализ корректности установки транспедикулярных винтов при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. – 2017. – Т. 14. – № 4. – С. 8–17. [Kokushin DN, Belyanchikov SM, Murashko VV, et al. Comparative analysis of the accuracy of pedicle screws insertion in surgical treatment of children with idiopathic scoliosis. *Spine surgery*. 2017;14(4):8-17. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2017.4.8-17>.

13. Gertzbein SD, Robbins SE. Accuracy of pedicular screw placement *in vivo*. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990;15(1):11-14. <https://doi.org/10.1097/00007632-199001000-00004>.
14. Виссарионов С.В., Картавенко К.А., Кокушин Д.Н., и др. Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией поясничной локализации: экстирпация или частичная резекция полупозвонка? // Травматология и ортопедия России. – 2017. – Т. 23. – № 4. – С. 18–28. [Vissarionov SV, Kartavenko KA, Kokushin DN, et al. Surgical treatment of children with congenital lumbar scoliosis: complete or partial resection of malformed vertebrae? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2017;23(4):18-28. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2017-23-4-18-28>.
15. Chang DG, Kim JH, Ha KY, et al. Posterior hemivertebra resection and short segment fusion with pedicle screw fixation for congenital scoliosis in children younger than 10 years: greater than 7-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(8):E484-491. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000000809>.
16. Li J, Lu GH, Wang B, et al. Pedicle screw implantation in the thoracic and lumbar spine of 1-4-year-old children: evaluating the safety and accuracy by a computer tomography follow-up. *J Spinal Disord Tech*. 2013;26(2):E46-52. <https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e31825d5c87>.
17. Hedequist D, Emans J, Proctor M. Three rod technique facilitates hemivertebra wedge excision in young children through a posterior only approach. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(6):E225-229. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181997029>.
18. Boachie-Adjei O, Yagi M, Sacramento-Dominguez C, et al. Surgical risk stratification based on preoperative risk factors in severe pediatric spinal deformity surgery. *Spine Deform*. 2014;2(5):340-349. <https://doi.org/10.1016/j.jsdpd.2014.05.004>.
19. Ruf M, Harms J. Hemivertebra resection by a posterior approach: innovative operative technique and first results. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27(10):1116-1123. <https://doi.org/10.1097/00007632-200205150-00020>.
20. Zhang J, Shengru W, Qiu G, et al. The efficacy and complications of posterior hemivertebra resection. *Eur Spine J*. 2011;20(10):1692-1702. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1710-0>.
21. Guo J, Zhang J, Wang S, et al. Risk factors for construct/implant related complications following primary posterior hemivertebra resection: Study on 116 cases with more than 2 years' follow-up in one medical center. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17(1):380. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1229-y>.

Information about the authors

Dmitry N. Kokushin — MD, PhD, Senior Research Associate, Department of Spinal Pathology and Neurosurgery, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-6112-3309>. E-mail: partgerm@yandex.ru.

Sergei V. Vissarionov — MD, PhD, D.Sc., Professor, Corresponding Member of RAS, Deputy Director for Research and Academic Affairs, Head of the Department of Spinal Pathology and Neurosurgery, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>. E-mail: vissarionovs@gmail.com.

Mikhail A. Khardikov* — MD, PhD student, Department of Spinal Pathology and Neurosurgery, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-8269-0900>. E-mail: denica1990@bk.ru.

Nikita O. Khusainov — MD, PhD, Research Associate, Department of Spinal Pathology and Neurosurgery, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-3036-3796>. E-mail: nikita_husainov@mail.ru.

Alexandra N. Filippova — MD, PhD student, Orthopedic and Trauma Surgeon of the Department of Spine Pathology and Neurosurgery, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-9586-0668>. E-mail: alexandrjonok@mail.ru.

Vladislav V. Ilin — MD, clinical resident of the Department of Spine Pathology and Neurosurgery, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-7444-7735>. E-mail.ru: 89990323261@mail.ru.