

## 学龄前儿童先天性半椎体畸形的背侧入路手术治疗的比较分析

## A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SURGICAL TREATMENT OF PRESCHOOL CHILDREN WITH CONGENITAL SPINAL DEFORMATION AND ISOLATED HEMIVERTEBRA FROM THE COMBINED AND DORSAL APPROACHES

© S.V. Vissarionov<sup>1</sup>, A.R. Syundyukov<sup>2</sup>, D.N. Kokushin<sup>1</sup>, N.O. Khusainov<sup>1</sup>, M.A. Khardikov<sup>1</sup><sup>1</sup> The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia;<sup>2</sup> Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthetics, Cheboksary, Russia

■ For citation: Vissarionov SV, Syundyukov AR, Kokushin DN, et al. A comparative analysis of the surgical treatment of preschool children with congenital spinal deformation and isolated hemivertebra from the combined and dorsal approaches. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2019;7(4):5-14. <https://doi.org/10.17816/PTORS745-14>

Received: 12.07.2019

Revised: 01.12.2019

Accepted: 09.12.2019

**论证:** 目前, 已有足够多的研究对手术干预结果进行评价, 并对治疗儿童先天性脊柱畸形的各种手术技术进行了比较分析。然而, 没有共识关于手术的选择访问异常椎, 考虑到操作的持续时间, 术中失血, 修正的大小在干预, 实现金属的长度固定的保护导致长期观测时期。

本研究的目的是针对孤立性椎体形成障碍, 找出有先天性胸椎和腰椎畸形的学龄前儿童的手术治疗的背部入路和联合入路的优缺点。

**材料与方**法: 回顾性分析56例5岁以下胸椎、腰椎孤立半椎体背景下先天性脊柱畸形患者的治疗情况(第1组;  $n = 30$ )或两者结合(第2组;  $n = 26$ )访问。

**结果:** 所有患者的矢状位和前位脊柱外形均有改善。但在远期, 第一组患者的腰椎畸形后凸部分从 $19^\circ$ 例发展到 $8^\circ$ 例, 而脊柱侧弯部分的矫正值保持稳定。第一组患者术中出血量较少(234毫升, 第二组为319毫升), 手术时间较长(310和185分钟)。平均而言, 与第二组相比, 第一组采用了更长的金属结构来矫正脊柱畸形。

**结论:** 单侧半椎体联合入路的先天性脊柱畸形矫正可以通过固定少量的椎体来实现先天性弯曲的完全矫正。然而, 在长期的随访中, 与背部入路相比, 结果稳定。与联合手术相比, 孤立的半椎体背侧通路术中失血量较低, 但孤立的背侧通路的手术干预时间较长。

**关键词:** 先天性脊柱侧弯; 脊柱的单阴性缺陷; 半脊椎摘出术; 背侧入路; 联合入路; 形变校正; 手术的侵入性。

**Background.** Currently, there are many studies on the evaluation of the results of surgical intervention and the comparative analysis of various surgical techniques for treating children with congenital spinal deformities. However, there is no consensus regarding the choice of surgical access to the abnormal vertebra that considers the duration of surgery, the volume of intraoperative blood loss, the degree of correction achieved during the intervention, the length of metal fixation, and the preservation of the result in the long-term observation period.

**Aim.** The goal is to identify the advantages and disadvantages of the dorsal and combined approaches to the surgical treatment of preschool children with congenital deformities of the thoracic and lumbar spine against the background of an isolated violation of the vertebral formation.

**Materials and methods.** A retrospective analysis of 56 patients under the age of five with congenital spinal deformities and a history of an isolated hemivertebra in the thoracic and lumbar regions who underwent one-stage hemivertebral extrusion from a dorsal approach (1<sup>st</sup> group:  $n = 30$ ) or from a combined approach (2<sup>nd</sup> group:  $n = 26$ ) was conducted.

**Results.** All patients showed improvement in the sagittal and frontal profiles of the spine. However, during separation in the first group of patients, a progression of the kyphotic component of the deformity in the lumbar spine from  $-19^\circ$  to  $-8^\circ$  was noted, while the correction value of the curvature of the scoliotic component remained stable. Intraoperative blood loss in the first group of patients was less (234 mL) compared with that in the second group (319 mL), while the duration of surgery was longer (310 min and 185 min, respectively). On average, in the first group, a longer metal structure was used to correct the spinal deformity compared with the second group.

**Conclusions.** The correction of the patients' congenital spinal deformities with a single hemivertebra from a combined access approach allows a complete correction of the congenital curvature, the fixation of a smaller number of vertebrae, and the maintenance of a stable result in the long-term observation period compared with the dorsal approach. Isolated dorsal access to the hemivertebral body is characterized by less intraoperative blood loss compared with the combined approach, although the length of surgical intervention is increased.

**Keywords:** congenital scoliosis; congenital kyphosis; monosegmental spinal malformations; hemivertebrae; hemivertebrae excision; posterior approach; combined approach; correction of the deformity; invasiveness of surgery.

脊柱发育异常常导致儿童在生长发育过程中脊柱先天畸形的发生和发展。脊椎畸形的患病率为千分之一[1]。脊椎最常见的畸形之一是破坏了椎体的形成,这种畸形已在学龄前阶段导致严重而僵硬的弯曲[2]。

随着儿科脊椎学的发展,各种各样的手术干预和战术方法被开发出来,目的是通过多支持脊柱系统来矫正先天性弯曲。近年来,国内外学者研究了各种方法对先天性畸形矫正效果的评估,并对其有效性进行了比较分析[3-6]。

分析先天性脊柱畸形患者的手术治疗工作,我们不能不注意到,在儿童先天性脊柱畸形的手术治疗中,对异常椎体的最佳手术入路缺乏共识。一些作者仅从脊柱背侧通道证明了对先天性脊柱畸形进行最佳矫正的可能性[7-10],而另一些作者则认为最佳矫正结果是通过联合通道(前外侧和背部)获得的[4, 11-14]。与此同时,金属内固定范围的问题仍然为治疗先天性脊柱弯曲儿童的外科手术方法提供各种选择。一些作者认为,先天性畸形的矫正应该通过固定最小数量的椎体-运动节段,并相对于异常仅稳定邻近

椎体来进行[5, 15, 16]。也有人认为先天性畸形的矫正必须采用多支架金属加工,将位于恶性椎体上下几个椎体运动节段的椎体进行固定[11]。然而,在儿童先天性畸形矫正的各种手术入路中,使用脊柱系统的稳定的脊椎运动节段的数量并没有进行比较分析。

先天性脊柱畸形患儿手术治疗过程中失血量是不可避免的不良现象,尽管干预方法有所改进,术中使用现代特殊手段止血。在术中失血的主要原因在手术矫正先天性脊柱的弯曲,软组织损伤,违反后脊柱的骨结构的完整性,椎管的出血血管,增加压力在下腔静脉的血管系统由于病人的无生理的位置以及持续时间的干预[17-19]。

因此,选择最合理的手术方式及其在纠正儿童先天性脊柱畸形中的有效性的问题仍然没有得到解决。

本研究的目的是在孤立的违反椎体形成的背景下,找出有先天性胸椎和腰椎畸形的学龄前儿童的手术治疗的背部和联合方法的优缺点。

## 材料与方法

**研究设计：**比较组间回顾性研究与两中心设置在组。

本研究的材料为56例1~5岁儿童（男26例，女30例），以胸腰椎孤立节段半椎体为背景，进行先天性脊柱畸形的病史、检查及手术治疗。患者平均年龄4岁8个月。34例患者的半椎体位于胸段（Th<sub>5</sub>-Th<sub>12</sub>），而22例一椎体位于腰段（L<sub>1</sub>-L<sub>4</sub>）。根据手术方法，可以区分两组：第1组患者（ $n=30$ ）采用背侧通路手术，第2组患者（ $n=26$ ）采用联合手术。长期随访的平均随访时间为5年10个月（从2年3个月至7年）。

**检验。选标准：**存在一个缺陷在胸或腰部，没有神经异常的临床征象，同时单分节消灭半脊椎和纠正先天性变形的金属结构，病人手术治疗时的年龄从1年到5年。患者有中系膜躯体类型与和谐或不和谐的发展。获得患者代表参与研究的知情同意。**排除标准：**多期手术治疗，脊柱多发畸形，临床表现存在神经功能紊乱，磁共振成像显示脊髓的病理改变，躯体疾病失代偿期。

**执行条件。**所有儿童接受外科治疗计划的方式的脊髓病理和神经外科部门俄罗斯卫生部联邦国家预算机构以The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics和儿童创伤学和骨科创伤学中心部门的联邦、骨科和关节置换俄罗斯卫生部（切博克萨雷）从2011年1月至2017年1月在内地的框架协议科学务实合作，这为专家提供了在另一个机构中执行一个机构的操作的机会。

**研究方法。**临床和实验室检查包括骨科和神经系统状态的评估。此外，手术

会话持续时间（分钟），术中失血的体积（毫升绝对和相对的血液循环量的百分比），纠正先天性畸形的数量在操作期间，金属的长度固定和稳定的治疗导致长期随访也考虑在内。在所有儿童中，术前评估了解剖学和人体测量参数、生长和体重指标。

所有患者术前、术后及术后长期动态观察期间均接受脊柱的辐射检查（两次站立位投影x线、多螺旋CT扫描、磁共振成像），频率为6个月1次，每年1次。x线片根据术前Cobb方法、术后纠正量、儿童进一步发育过程中所获得的结果的稳定性，确定脊柱畸形的局部侧凸和后凸的组成。

手术治疗方法是将单个半椎体与上下椎间盘摘除，纠正先天性多支撑物经椎弓根金属结构畸形，然后进行后路局部融合术和椎体融合术。所有的手术都由一个外科团队完成。这种将患者纳入研究组的方法提供了更可靠的数据。此外，每个机构的专家，不管彼此如何，每年都对患有先天性脊柱畸形的儿童进行几十次这样的手术干预。根据研究期间对异常椎体的手术入路进行回顾性分析。术后1.5~2年，在手术区明显骨块形成的背景下，取出金属结构。此后，患者继续每年1次x线控制动态监测。

术中失血量的评估采用重量法，并通过确定血吸进分级容量。循环血容量由公式确定：循环血容量=儿童的体重（kg）×系数 $X$ （对于6岁以下的儿童 $X=80\text{ ml/kg}$ ）[20]。为了减少术中出血量，采用了生物技术和技术血液保存技术[1, 5, 21, 22]。

使用Statistica 13程序（StartSoftInk, USA）进行统计分析。计算算术平均（ $M$ ）和平均偏差（ $\pm m$ ）。利用变异系数、

平均绝对偏差、变异范围、非对称性和峰度检验参数分布的正态性。为了确定配对测量的差异的统计学意义,采用配对  $t$  检验 (Student's  $t$  test),  $p < 0.05$  为显著性。为了确定线性关系,使用 Pearson 相关准则 ( $r$ )。通过比较方差来评估均值之间的差异的显著性。

## 结果

根据对异常椎体的手术入路的不同将患者分为两组,两组患者半椎体的年龄和定位无差异(见表1)。

在两组患者中,胸或腰段的局部弯曲既是脊柱侧弯的一部分,也是脊柱畸形的后凸部分(见表2)。

手术矫正脊柱弯曲的适应证是先天性脊柱畸形,局部病理性脊柱侧凸超过  $20^\circ$  例,并伴有腰椎区曲率大于  $8^\circ$ ,胸部曲率大于  $18^\circ$  的后凸性成分[15, 16]。

应该注意,变形脊椎侧弯的组件的值在两组患者几乎是相同的,而当地的价值水

平的驼背脊椎异常患者的第二组显著高于1组的患者 ( $p = 0.02$ ,  $p = 0.05$ )。然而,方差分析显示,比较组的平均值之间没有显著差异。

本研究揭示了手术干预时间对异常椎体通路的依赖关系。背侧入路平均手术时间 310 min (min 185; max 460), 并与联合方法是 185 分钟 (min 155; max 230) (显著增加,  $p = 0.001$ )。第一组患者术后出血量 234 ml (min 50; max 600), 相当于循环血容量的 16.7%, 第二组为 319 ml (min 150; max 650), 即循环血容量的 20.2%。此外,与对照组相比,第一组患者术中绝对失血量和相对失血量均有显著下降 ( $p = 0.04$  和  $p = 0.01$ )。第二组术中出血量随错误的椎体在胸部的定位明显高于半椎体在腰脊 ( $p = 0.007$ )。手术时间与高结合强度失血量呈显著负相关 ( $r = 0.871$ )。手术时间和干预期间出血量的结果如表所示3。

两组患者术后均通过恢复脊柱的生理形态,彻底纠正脊柱侧凸和驼背的畸形。变形的残差值不显著,组间校正指标的测量与远观期的测量差异,符合测量误差值。由于

表1

研究小组的年龄和先天性畸形的定位特征

组类型	患者的数量	手术时的年龄, 几个月。	半脊椎本地化	
			胸段	腰脊
第一个	30	36.5 ± 11.6	19	11
第二个	26	44.2 ± 10.4	15	11

表2

两组患者术前脊柱侧凸及驼背的指标

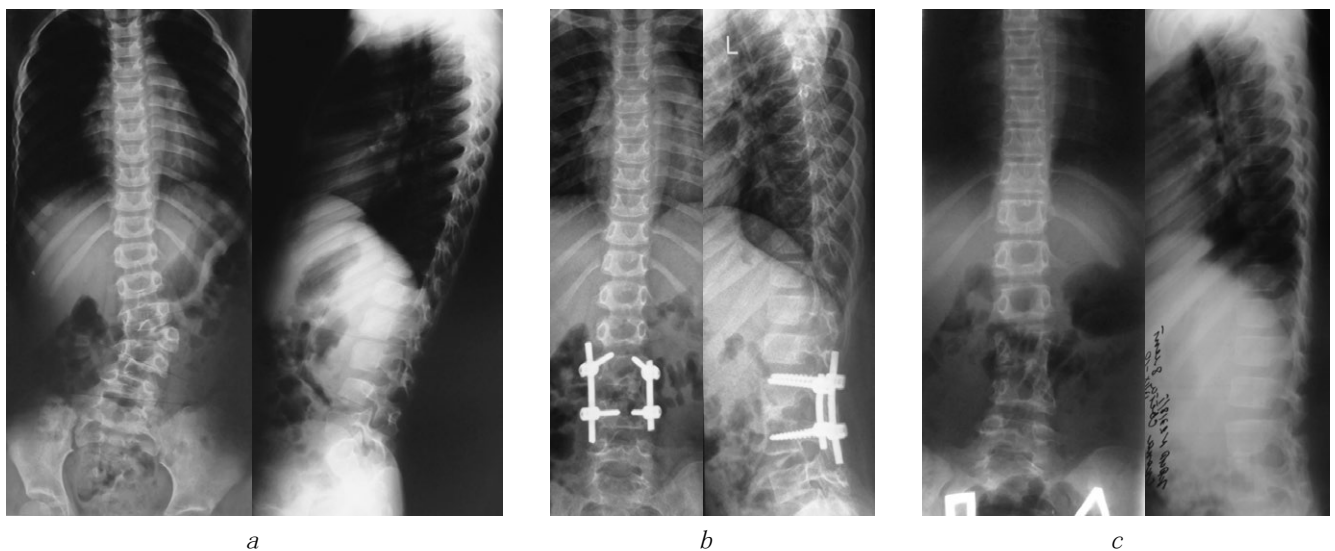
变形成分	组类型	初始脊柱畸形, 程度根据Cobb			
		胸段		腰脊	
局部脊柱侧弯分量, $M \pm m$	第一个	26.3 ± 2.8	$p = 0.04$	22.0 ± 2.1	$p = 0.05$
	第二个	23.4 ± 2.9		22.5 ± 3.1	
局部的驼背的组件, $M \pm m$	第一个	28.4 ± 1.9	$p = 0.02$	22.0 ± 3.1	$p = 0.05$
	第二个	35.2 ± 2.3		28.9 ± 2.7	

表3

手术时间和出血量的指标取决于手术途径

组类型	变形局部化	手术时间, 分钟		术中失血			
				绝对, ml		相对的, 血液循环容积的百分比	
第一个	胸段	310 ± 22* (min 185; max 460)	307 ± 21 (min 240; max 425)	234 ± 34* (min 50; max 600)	220 ± 41 (min 50; max 500)	16.7 ± 0.9* (min 3.5; max 52.5)	15.5 ± 1.1 (min 3.5; max 42.9)
	腰脊		313 ± 40 (min 185; max 460)		252 ± 61 (min 50; max 600)		17.9 ± 1.5 (min 5.7; max 52.5)
第二个	胸段	185 ± 13* (min 155; max 230)	192 ± 20 (min 165; max 230)	319 ± 25* (min 140; max 650)	327 ± 41 (min 150; max 650)	20.2 ± 1.0* (min 4.7; max 54.6)	23.2 ± 1.6** (min 7.4; max 54.6)
	腰脊		175 ± 20 (min 155; max 220)		293 ± 34 (min 140; max 550)		17.3 ± 1.2** (min 4.7; max 45.8)

注: \*第一、二组比较,  $p < 0.05$ ; \*\*组内胸椎和腰椎的差异有统计学意义 ( $p < 0.05$ )。循环血量。



病人K.的x线照片, 1年3个月, 先天性后外侧半椎体后凸畸形: a — 术前脊柱侧凸角26°, 脊椎后凸角12°; b — 术后1.5年采用联合入路; c — 移除金属6年后

表4

脊柱畸形矫正的动力学

组类型	变形局部化	平均阻塞椎骨的数目	术后脊柱畸形程, 度		变形在长期观测期内, 度	
			本地脊椎侧弯的组件	本地驼背的组件	本地脊椎侧弯的组件	本地驼背的组件
第一个	胸段	3.3	5	7	0	7
	腰脊	3.1	5	-19	2	-8
第二个	胸段	3.0	5	5	2	5
	腰脊	2.8	8	-16	0	-16

手术的结果，有可能恢复变形的椎体-运动节段的矢状面轮廓（见图）。

然而，手术后在遥远的时期，在组患者只有背的访问操作，一个驼背的组件的发展畸形的腰椎从19到8° ( $p=0.04$ ) 指出，虽然曲率的修正脊椎侧弯的组件的值在整个时期保持稳定。同时需要注意的是，对于联合入路的患者，在长期的随访中，术后变形矫正的效果是稳定的。在手术过程中，第一组患者与对照组相比，通过稳定更多的椎骨来进行矫正。这一结果是由于背侧通道不允许提供良好的视觉概览，并在干预区实现充分的移动。结果见表4。

1组术后第5天平均行垂直化，2组术后第7天平均行垂直化 ( $p=0.02$ )；随着患儿病情的稳定和疼痛的缓解，对患儿的双腿进行了固定。

## 讨论

当前的脊椎学趋势意味着背侧通路在儿童单孔胸腰椎手术中的应用越来越广泛。这些变化与外科技术的发展和现代儿童脊柱经椎弓根固定系统的引入有关。国内外学者均认为背侧通路的主要优势在于减少手术时间、术中出血量及康复期[3, 7, 10]。

研究发现，如果仅使用背侧通路来纠正先天性脊柱畸形，而不是单独破坏胸腰椎椎体的形成，则手术时间比联合途径明显增加。我们解释了通过背侧入路与联合入路相比，增加手术干预时间的原因是需要额外动员硬脊膜囊及其内容物来优化异常椎体入路的可视化。头部和近端肋骨切断术（骨横切术）扩大了背侧通路，但并没有提供干预区完整的视觉概览，当然，这有助于延长手术时间。许多研究者也强调了背侧入路的

缺点，其中对椎管结构缺乏最优控制，无法切除畸形[8]凹侧部分椎间盘。从我们的观点来看，孤立的背侧入路的局限性导致了移除异常椎体对面的椎间盘装置的技术困难（这对于在缺损区域实现充分的活动是必要的），并影响了手术干预的时间。

值得注意的是，采用联合入路的患者失血量的绝对值和相对值明显高于背侧入路。这主要是由于第二组患者与第一组患者相比存在两通道。需要注意的是，当采用前外侧入路时，临近椎管的异常椎体的终板及从硬膜囊血管开始的弧形基底部位被切除时，同时发生大量出血。另外，第二组患者的出血量较第一组大，这是由于取走韧带和椎间盘装置元件时发生出血，可从前外侧通路彻底取出。以及本组患者经前外侧入路持续出血，采用已有的背侧入路，纠正先天性畸形。采用传统的技术手段从联合手术中摘除半椎体，定位胸椎缺损，与腰椎相比，手术时间更长，失血量更大。

将我们的研究结果与文献数据进行比较，分析的指标基本一致。因此，K. Mladenov 别名等认为，从减少术中失血量的角度来看，背侧通路是较好的选择[23]。X. Peng别名等，联合入路减少了手术干预时间，显著增加了失血量[7]。

对于年龄较小的患者来说，在纠正先天性弯曲时对脊柱区域进行最小限度的固定尤其重要，这是由于保留了脊柱的生长潜力[1, 5, 7]。然而，目前尚无文献对经椎弓根金属内固定在纠正脊柱背侧及联合入路先天性脊柱畸形的程度进行比较分析。

我们纠正学龄前儿童先天性脊柱畸形的方法是从根本上纠正脊柱运动节段的弯曲和稳定。在两组患者中，我们都成功地完

成了先天性畸形的完全矫正。然而，与第二组患者相比，第一组患者在手术过程中，需要在胸、腰椎的主曲率弓区固定更多的椎体运动节段。金属的短长度固定的病人使用组合方法用这一事实来解释前外侧的访问是可能实现重大干预地区流动不仅由于完全删除异常椎体骨质结构，而且相邻磁盘和韧带的设备由于这种方法的方便和良好的可视化[12, 14, 15]。前外侧入路与仅使用背部入路的患者相比，通过稳定最少的椎骨数量，可以实现先天性畸形的完全矫正。此外，在长期随访期间，观察到第一组患者畸形驼背的部分的进展。

在我们看来，这是由于采用与对照组相同的方法，从背侧入路进行成熟而稳定的侧突融合术的复杂性造成的。从前外侧入路，在完整椎体之间安装相对于异常椎体的自体骨植骨片，可以创造和形成一个更可靠、更稳定的椎体融合术。因此，在显影过程中，第一组患者的植骨松垂，与手术期间相比，弯曲后驼背的分的矫正效果明显下降。对各种脊柱稳定性选择的刚度研究的比较分析表明，孤立的后路脊柱融合不能充分保证脊柱的完全固定[24]。阻塞椎体的病理改变，以及与此固定带接触椎体的过度负荷，常导致脊柱畸形的某些进展。需要强调的是，使用同种异体移植物可以使你在术后的长时间内避免矫正变形。

## 结论

因此，由于采用了联合入路，与背侧入路相比，只需固定较少的椎骨，就可以实现对学龄前儿童胸、腰椎先天性畸形的完全矫正。学龄前儿童先天性胸椎或腰椎脊柱畸形的孤立性背侧通路可减少术中失血量，且干预时间较联合途径增加。此外，联合入路组由于前后骨块的形成可靠、明显，在长期的术后获得的效果得以保留。

## 附加信息

**资金来源。** 这项研究是根据国家第 K-27-NIR /111-1号合同开展的，研究的主题是《利用原型技术开发新的脊柱系统，用于儿童严重先天性畸形和脊柱损伤的外科治疗》。

**利益冲突。** 作者没有利益冲突。

**伦理审查。** 该研究由伦理委员会俄罗斯联邦卫生部联邦国家预算机构The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics批准(27日11月2018年第4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

*S. Vissarionov* — 病人的手术治疗，目的的陈述，阶段和文章的最后编辑。

*A. Syundyukov* — 患者的手术治疗、资料收集。

*D. Kokushin* — 病人的外科治疗；逐级编辑文章的文本。

*N. Husainov* — 文献回顾，文章设计。

*M. Hardikov* — 收集和分析数据，撰写文章正文，设计文章。

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. Zhu X, Wei X, Chen J, et al. (2014). Posterior hemivertebra resection and monosegmental fusion in the treatment of congenital scoliosis. *Ann R Coll Surg Engl.* 2014;96(1):41-44. <https://doi.org/10.1308/003588414x13824511650173>.
  3. 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>.
  4. 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. [Ryabykh 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>.
  5. 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. *Spine.* 2015;40(8):E484-E491. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000000809>.
  6. Debnath U, Goel V, Harshavardhana N, Webb J. Congenital scoliosis – Quo vadis? *Indian J Orthop.* 2010;44(2):137-147. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.61997>.
  7. Peng X, Chen L, Zou X. Hemivertebra resection and scoliosis correction by a unilateral posterior approach using single rod and pedicle screw instrumentation in children under 5 years of age. *J Pediatr Orthop B.* 2011;20(6):397-403. <https://doi.org/10.1097/bpb.0b013e3283492060>.
  8. Ruf M, Harms J. Posterior hemivertebra resection with transpedicular instrumentation: early correction in children aged 1 to 6 years. *Spine.* 2003;28(18):2132-2138. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000084627.57308.4a>.
  9. Shono Y, Abumi K, Kaneda K. One-stage posterior hemivertebra resection and correction using segmental posterior instrumentation. *Spine.* 2001;26(7):752-757. <https://doi.org/10.1097/00007632-200104010-00011>.
  10. 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>.
  11. Li S, Ou Y, Liu B, et al. Comparison of osteotomy versus non-osteotomy approach for congenital scoliosis: a retrospective study of three surgical techniques. *ANZ J Surg.* 2015;85(4):249-254. <https://doi.org/10.1111/ans.12886>.
  12. Wang L, Song Y, Pei F, et al. Comparison of one-stage anteroposterior and posterior-alone hemivertebrae resection combined with posterior correction for hemivertebrae deformity: Results of 60 patients. *Indian J Orthop.* 2011;45(6):492-499. <https://doi.org/10.4103/0019-5413.87115>.
  13. Xu W, Yang S, Wu X, Claus C. Hemivertebra excision with short-segment spinal fusion through combined anterior and posterior approaches for congenital spinal deformities in children. *J Pediatr Orthop B.* 2010;19(6):545-550. <https://doi.org/10.1097/bpb.0b013e32833cb887>.
  14. Yaszay B, O'Brien M, Shufflebarger HL, et al. Efficacy of hemivertebra resection for congenital scoliosis. *Spine.* 2011;36(24):2052-2060. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e318233f4bb>.
  15. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Картавенко К.А., Ефремов А.М. Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией поясничного и пояснично-крестцового отделов позвоночника // Хирургия позвоночника. – 2012. – № 3. – С. 33–37. [Vissarionov SV, Kokushin DN, Kartavenko KA, Efremov AM. Surgical treatment of children with congenital deformity of the lumbar and lumbosacral spine. *Spine surgery.* 2012;(3):33-37. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2012.3.33-37>.
  16. 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. 32–37. [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):32-37. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2013.2.32-37>.
  17. Захарин Р.Г., Бернакевич А.И., Кулешов А.А., и др. Массивная кровопотеря при хирургии сколиоза // Адаптация различных систем организма при сколиотической деформации позвоночника. Методы лечения: Тезисы докладов международного симпозиума. – М., 2003. – С. 28–30. [Zakharin RG, Bernakevich AI, Kuleshov AA, et al. Massivnaya krvopoterya pri khirurgii skolioza. In: Adaptatsiya razlichnykh sistem organizma pri skolioticheskoy deformatsii pozvonochnika. Metody lecheniya: Tezisy dokladov mezhdunarodnogo simpoziuma. – M., 2003. – S. 28-30. (In Russ.)].



- dunarodnogo simpoziuma. Moscow; 2003. P. 28-30. (In Russ.)]
18. Лебедева М.Н. Массивная кровопотеря как фактор риска в хирургии сколиоза: пути решения проблемы // Хирургия позвоночника. – 2009. – № 4. – С. 70–79. Lebedeva MN. Massive blood loss as a risk factor in scoliosis surgery and ways for the problem solution. *Spine surgery*. 2009;(4):70-79. (In Russ.)). <https://doi.org/10.14531/ss2009.4.70-79>.
  19. Лебедева М.Н., Иванова А.А., Елистратов А.А., Васюра А.С. Патогенетические основы профилактики развития повышенной кровопотери в хирургии идиопатического сколиоза // Хирургия позвоночника. – 2017. – Т. 14. – № 3. – С. 100–112. [Lebedeva MN, Ivanova AA, Elistratov AA, Vasyura AS. Pathogenetic foundations for prevention of increased blood loss in surgery for idiopathic scoliosis. *Spine surgery*. 2017;14(3):100-112. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2017.3.100-112>.
  20. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 53470-2009 «Кровь донорская и ее компоненты. Руководство по применению компонентов донорской крови». – М., 2010. [National standard of the Russian Federation GOST R 53470-2009 “Krov’ donorskaya i ee komponenty. Rukovodstvo po primeneniyu komponentov donorskoj krovi”. Moscow; 2010. (In Russ.)]
  21. Бирюкова Е.Е., Плетнев И.Н. Методы кровосбережения и крововосполнения при хирургической коррекции сколиотической деформации позвоночника // Тезисы докладов 13-й научно-практической конференции SICOT; Санкт-Петербург, 23–25 мая 2002 г. – СПб., 2002. – С. 19–20. [Biryukova EE, Pletnev IN. Metody krovosberezheniya i krovovospolneniya pri khirurgicheskoj korrektsii skolioticheskoj deformatsii pozvonochnika. In: Proceedings of the 13<sup>th</sup> Scientific and practical SICOT Conference; Saint Petersburg, 23-25 May 2002. Saint Petersburg; 2002. P. 19-20. (In Russ.)]
  22. Imrie MN. A “simple” option in the surgical treatment of congenital scoliosis. *Spine J*. 2011;11(2):119-121. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2010.12.007>.
  23. 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*. 2011;21(3):506-513. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-2010-4>.
  24. White AA, Panjabi MM. Clinical Biomechanics of the Spine. 2<sup>nd</sup> ed. Philadelphia: Lippincott; 1990.

### Information about the authors

**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. The Turner Scientific Research Institute for Children’s Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>. E-mail: [vissarionovs@gmail.com](mailto:vissarionovs@gmail.com).

**Ayrat R. Syundyukov** — MD, PhD, Head of Children’s Traumatological and Orthopedic Department of Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis Replacement, Cheboksary, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-8276-9216>. E-mail: [asiundiukov@ortoscheb.com](mailto:asiundiukov@ortoscheb.com).

**Dmitry N. Kokushin** — MD, PhD, Senior Research Associate of the Department of Pathology of the Spine and Neurosurgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-6112-3309>. E-mail: partgerm@yandex.ru.

**Nikita O. Khusainov** — MD, PhD, Research Associate of the Department of Pathology of the Spine and Neurosurgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-3036-3796>. E-mail: nikita\_husainov@mail.ru.

**Michael A. Khardikov\*** — MD, PhD student, Department of Spinal Pathology and Neurosurgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-8269-0900>. E-mail: Denica1990@bk.ru.