



SURGICAL TREATMENT OF LOWER LUMBAR SPINE PATHOLOGY IN CHILDREN AND ADOLESCENTS

© A.V. Krutko¹, A.J. Sanginov¹, M.B. Giers², A.A. Alshevskaya³, A.V. Moskalev³

¹ Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsiv'yan, Novosibirsk, Russia;

² Barrow Neurological Institute, St. Joseph's Hospital and Medical Center, Phoenix, USA;

³ Biostatistics and Clinical Trials Center, Novosibirsk, Russia

Received: 10.10.2018

Revised: 09.11.2018

Accepted: 10.12.2018

引言: 对现代文献分析后发现, 自诉腰椎疼痛的儿童数量逐年增加, 严重度不等, 针对青少年骨软骨病手术治疗的研究较为稀缺。目前, 并不存在儿童与青少年腰椎病变(特别是严重级别脊椎滑脱)患者手术治疗选择算法; 手术治疗的方法与条件, 且复位操作的使用仍存在争议。高质量循证研究仍付之阙如。

目的: 本研究旨在总结儿童与青少年下腰椎病变患者的治疗经验。

材料与方法: 我们针对 2008 到 2018 年间在 Tsiv'yan Novosibirsk 创伤及骨科研究所第二神经外科动过手术的 18 岁以下下腰椎病变患者, 进行了回顾性分析。患者的平均年龄是 15.5 岁。我们将儿童及青少年病变与介入分门别类, 评估治疗的临床与放射学检查结果, 以及手术中与手术后并发症的出现频率。结果与讨论: 从 2008 到 2018 年间, 有 11428 位退行性脊椎病及峡部/发育不良脊椎滑脱患者, 在第二神经外科接受了手术治疗。其中有 55 位 (0.5%) 患者的年龄小于 18 岁。在所有患者中, 手术治疗都减轻疼痛, 恢复身体活动。经由后路进行的减压/稳定手术, 在 100% 的病例中都促成了人为骨块的形成。对于腰椎间盘突出及脊椎滑脱的儿童及青少年患者, 手术治疗并发症的频率分别是 8.6% 和 28.6%。

结论: 对患有下腰椎病变的儿童及青少年进行手术治疗, 有极佳的临床结局。以减压手术治疗椎间盘突出之后的 4.9 年间, 椎间盘疝未复发。对儿童及青少年脊椎滑脱患者经由后路进行的减压/稳定手术, 促使疼痛消除、神经性紊乱消退, 身体活动完全恢复, 且形成可靠的人为骨块。同时消除了并发症的可能性, 无不良后果发生, 突出了手术治疗对该类患者的重要性。

关键词: 青少年骨软骨病; 脊椎滑脱; 突出; 腰椎间盘突出症; 脊柱关节病; 显微镜下椎间盘摘除术; 融合

Introduction. Analysis of the modern literature shows that the number of children complaining of low back pain of varying intensity in the spine increases annually. Publications on the surgical treatment of juvenile osteochondrosis were scarce. Currently, there are no algorithms for choosing a surgical treatment for children and adolescents with lumbar spine pathology, particularly high-grade listhesis, methods and terms of surgical treatment, and the use of reduction maneuvers remain debatable. There are no high-quality evidence studies.

Aim. This study aimed to summarize the experience of treatment of children and adolescents with pathology of the lower lumbar spine.

Material and methods. We performed a retrospective analysis of the treatment outcomes in patients with lower lumbar spine pathology who were younger than 18 years and who underwent surgery in the Neurosurgical Department No. 2 of the Tsiv'yan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics between 2008 and 2018. The mean age of the patients was 15.5 years. We structured pathologies and interventions in children and adolescents and evaluated the clinical and radiological outcomes of treatment and the rate of intraoperative and postoperative complications.

Results and discussion. From 2008 to 2018, 11,428 patients with degenerative spine disease and isthmic/dysplastic spondylolisthesis underwent surgery at the Neurosurgical Department No. 2. Of these, 55 (0.5%) patients were younger than 18 years. In all patients, surgical treatment led to pain relief and physical activity recovery. Decompression/stabilization surgery through the posterior approach enabled formation of an artificial block in 100% of cases. The rate of surgical treatment complications was 8.6% and 28.6% in children and adolescents with herniated lumbar intervertebral discs and spondylolisthesis, respectively.

Conclusion. Surgical treatment of children and adolescents with pathology of the lower lumbar spine demonstrated an excellent clinical outcome. Disc herniation did not recur 4.9 years after decompression surgery for herniated lumbar intervertebral discs. Decompression/stabilization surgery through the posterior approach in children and adolescents with spondylolisthesis facilitated abolition of pain, regression of neurological disorders, full recovery of physical activity, and formation of a reliable artificial block. Potential complications were resolved without consequences and did not downplay the importance of surgical techniques in the treatment of this group of patients.

Keywords: juvenile osteochondrosis; spondylolisthesis; protrusion; lumbar disc herniation; spondyloarthrosis; microdiscectomy; fusion.

引言

分析显示, 主诉脊椎疼痛的儿童数量逐年增加, 且严重程度不等; 近年来派尔特斯病 (Perthes disease) 的发生率也有所增加。某专门小组的研究显示, 儿童及青少年腰痛的发生率在 10% 到 30% 之间 [1]。在 13 至 15 岁的青少年当中, 背痛相当常见 [2]。

Yang 等人分析了 2007 到 2010 年接受背痛治疗的 10 至 19 岁青少年患者数据。在 80.3% 的病例中, 背痛病因尚未确认; 其余病例诊断包括肌肉韧带扭曲 (肌痉挛占 8.9%)、脊柱侧凸 (4.7%)、腰椎退行性病变 (1.7%), 以及腰椎间盘突出 (1.3%)。椎骨脱离、脊椎滑脱、感染、肿瘤以及骨折等其他疾病出现的频率, 低于 1% [3]。一般而言, 脊椎滑脱 (特别是 1—2 期) 在儿童身上不会有临床表现 [4, 5]; 但有研究显示, 在症状性脊椎滑脱频率达 5% [6]。根据其他作者的研究, 脊柱侧凸是青少年出现疼痛综合征的主要病因 [7]。

许多研究指出, 腰椎间盘突出症见于 0.1% 至 0.4% 的儿童与青少年 [8, 9]。引起儿童椎间盘突出的潜在危险因素包括受伤 (最常见的有运动、举重、跌倒)、遗传易感性以及脊柱发育受损 [10—12]。儿童及青少年的诊断原理与保守治疗, 与成年人并无二致; 但保守治疗对儿童来说, 效果相对较低 [9], 手术治疗的结果极佳, 并发症风险也极低 [13—15]。

在儿童与青少年当中, 脊椎滑脱占到所有病例的 2.4%—6.0% [16]; 但在小于 1 岁的儿童中, 脊椎滑脱可能无临床表现。在 5 至 7 岁的儿童中, 脊椎滑脱的发生率在 5% 左右, 还可能轻微增加, 在满 18 岁前达到 6%。马尔凯蒂与巴尔托洛齐的研究指出, 高度发育不良性脊椎滑脱占脊椎滑脱病例的 1% [17]。同时男孩脊椎滑脱病例是女孩的三倍 [18]。儿童与青少年脊椎滑脱患者的主要主诉为腰椎疼痛; 在某些病例可见压迫综合征或神经性失调。

文献数据显示, 对滑脱的发展以及神经根综合征及 / 或神经性失调而言, 手术疗法具有优势 [17, 19—24]。就儿童与青少年脊椎滑脱 (包括脊柱侧凸) 治疗的频率与效率而言, M.V. 米哈伊洛夫斯基等人指出, 针对 1 至 2 级脊椎滑脱的非手术治疗, 不会影响患者的生活质量; 长期手术治疗可实现更佳的止痛效果, 出现并发症的风险也较低 [25]。

迄今为止, 以手术治疗高度脊椎滑脱, 刻不容缓。如何选择有效的手术治疗方案, 尚未研制出算法。此外, 目前使用的手术疗法及复原操作仍有争议, 高质量研究仍付之阙如 [22, 26, 27]。人们已提出了几种针对高度脊椎滑脱的手术疗法, 即以原位自体骨治疗后脊椎滑脱 (Wiltse 法), 以器械原位固定自体骨治疗后脊椎滑脱, 矫正性椎体间融合术 (根据 Dubousset) [28], 以椎体间融合术减少脊椎, 包括覆盖段使用经椎弓根固定, 及经骶骨螺钉原位固定 [29, 30]。帕勒瓦拉报告了对一位 4 级脊椎滑脱的 12 岁青少年患者使用经骶骨、经椎弓根原位固定法 [31]。有学者建议将原位固定法被用来维持矢状面平衡参数 [32]。在通过手术治疗 12 位患有高度 L₅ 脊椎滑脱的青少年病例中, 实施了覆盖段后椎体间融合及 L₅ 脊椎复位。手术后, 疼痛综合征消退, 也没有出现并发症。再者, 放射影像学检查显示角参数及脊柱-髋骨关系均有所改善 [33]。

以螺钉固定做减压稳定性介入以及复位操作的使用, 可恢复节段性脊柱前凸及脊髓关系, 以及改善人为骨骼的形成 [34, 35]。然而, 复位法可导致神经性并发症 [32, 36]; 持续性神经并发症出现的频率为 2.75% (0%—14%)。此外, 在原位固定的病例中, 出现并发症的频率是 0.47% (0%—4%) [37]。因此, 有人建议在手术中使用神经生理监测, 预防神经性并发症。中前等人 [38] 在神经生理监测下进行了经后方全复位减压稳定介入操作, 手术后未见并发症。另一方面, 复位操作与邻近段受到不均匀且过度的生物机械负荷分布有关。因此, 复位操作的使用必须与螺丝钉盆骨固定加长件相结合 [39]。

几篇对外发表文献, 针对派尔特斯病手术治疗进行研究, 但未探讨该病表现出不同临床症状时, 射频去除关节突关节神经以及低温等离子消融椎间盘的治疗效果。鉴于青少年出现退行性疾病的惊人趋势, 我们建议可将射频去除关节突关节神经及低温消融作为治疗方法。

综上所述, 本研究的旨在总结儿童与青少年各下腰椎病变手术治疗的经验, 探讨其治疗效果。

材料与方法

本研究对 11428 例退行性疾病及脊椎滑脱 (峡部, 发育不良) 患者进行回顾性分析。从 2008 至 2018 年, 这些患者在 Tsivyan Novosibirsk 创伤及骨科研究所的第二神经外科进行了手术。年龄

表1. 患者分布 (根据疾病分类)

疾病分类	患者数目	年龄, 年 (<i>M ± m</i>)	性别	
			男性, <i>n</i> (%)	女性, <i>n</i> (%)
椎间盘突出	8	16.3 ± 0.57	3 (37.8)	5 (62.2)
椎间盘疝	23	15.8 ± 0.33	8 (34.8)	15 (65.2)
脊柱关节病	3	16.3 ± 1.1	1 (33.3)	2 (66.7)
发育不良性脊椎滑脱	5	14.6 ± 0.8	2 (40)	3 (60)
峡部脊椎滑脱	16	14.8 ± 0.4	9 (56.3)	7 (43.7)
总计	55	15.5 ± 0.2	23 (41.8)	32 (58.2)

注: IVD: 椎间盘 (intervertebral disk)。

低于 18 岁的患者占了研究对象的 0.5% (*n* = 55)。通过描述统计学阐述研究期间所收集的指标。计算平均值 (*M*) 与平均值标准误差 (*m*), 来表示患者的年龄。所有计算均使用 Microsoft Excel 2016。根据疾病分类学梳理患者分布, 如表1所示。

23 例 18 岁以下的患者 (平均年龄 15.8 岁) 进行了椎间盘 (IVD) 疝手术。所有患者入院时, 都患有神经根疼痛综合征。这些患者中, 4 例 (17.4%) 有神经性紊乱。保守治疗对所有这些病例均无效。

三例患者经诊断患有关节突综合征, 且对保守治疗不反应。其脊柱关节病都经核磁共振成

像 (MRI) 检查证实; 之后, 这些患者接受了射频去关节突关节神经治疗。这些患者的平均年龄从 14.6岁 (发育不良性脊椎滑脱患者) 到 16.3 岁 (突出及脊柱关节病患者) 不等。在8例患者中, 椎间盘突出是疼痛综合征的病因。二十一位患者进行了峡部 (16) 及发育不良 (5) 脊椎突出手术治疗。

手术类型摘要, 如表2所示。对腰椎进行了双位MRI (主要诊断方法) 及放射学检查, 联合功能测试。同时, 对于脊椎滑脱患者, 进行了腰椎多层螺旋计算机断层扫描 (MSCT), 以及髋关节分段放射学检查。

表2. 儿童及青少年患者门诊手术介入

手术治疗方法	疾病分类	数量, <i>n</i>	年龄, 岁, <i>M ± m</i>	性别	
				男性, <i>n</i> (%)	女性, <i>n</i> (%)
射频去神经术	脊柱关节病	3	16.3 ± 1.1	1 (33.3)	2 (66.7)
低温等离子髓核成形术	椎间盘突出	7	16.4 ± 0.6	3 (42.8)	4 (57.2)
显微镜下椎盘摘除术	椎间盘疝	6	16.3 ± 0.7	4 (66.7)	2 (33.3)
后减压、TPF、椎体间融合术 (后路、经椎间孔)	脊椎滑脱、一例椎间盘疝	22	14.8 ± 0.3	11 (50)	11 (50)
内视镜切除突出椎间盘	椎间盘疝	3	14.3 ± 0.9	1 (33.3)	2 (66.7)
椎间盘医学破除	椎间盘突出	1	15	–	1 (100)
切除椎间盘疝、动态椎间固定 (DIAM 与 Coflex)	椎间盘疝	12	15.8 ± 0.5	3 (25)	9 (75)
切除突出椎间盘、在有缺损的纤维环植入 Barricaid	椎间盘疝	1	17	–	1 (100)
总计	55	15.5 ± 0.2	23 (41.8)	32 (58.2)	

注: IVD — 椎间盘 (intervertebral disk); TPF — 经椎弓根固定 (transpedicular fixation)

结果与讨论

所有腰椎椎间盘疝患者的神经根症状，在手术后都完全消退。神经损伤也在手术后一年内完全消退。在手术后4.9年内（从1到10年），所有病例均无椎间盘疝复发。其中一例病例中，考虑到中部椎间盘疝伴有椎管狭窄，采用了减压、经椎间孔椎体间融合以及经椎弓根固定等方法。这种联合治疗的详细结果，在库列绍夫等人 [40] 的多中心研究报告中有所描述。

3 例射频去神经术治疗病例，显示出持久性的临床结果：疼痛综合征缓解，身体活动恢复。迄今为止，尚未有研究探讨射频去神经术用在 18 岁以下患者的治疗效果。鉴于青少年退化性疾病高患病率，我们推测射频去神经术将成为流行的治疗方法。

8 例青少年患者（平均年龄 16.3 岁）接受了低温消融术；只有 50% 患者的疼痛综合征得到消除。其中一例患者在接受低温消融术后 8 个月，出现持续性神经根综合征。因此，该患者又接受了进一步显微镜下椎间盘摘除术。其余的 3 例患者，疼痛综合征轻微缓解，或持续不消；因此进行了保守治疗，以减轻疼痛。我们在文献中尚未发现有研究对青少年低温消融术疗效进行评估。

本文旨在分析 21 位青少年脊椎滑脱患者接手术治疗的結果。在所有病例中，手术指征为疼痛综合征及 / 或神经失调以及根据放射学检查出现脱位恶化。

患者主要患有峡部 (16) 及发育不良性 (5) 脊椎滑脱，其平均年龄是15.8岁，其中有11名男孩与10名女孩 (表 3)。

表3. 脊椎滑脱患者的特征

脊椎滑脱	程度	数量, <i>n</i>	年龄, 岁 (<i>M ± m</i>)	性别	
				男性, <i>n</i> (%)	女性, <i>n</i> (%)
峡部	1	6	15.8 ± 0.7	4 (66.7)	2 (33.3)
	2	5	15.4 ± 0.8	3 (60)	2 (40)
	3	2	12 ± 1.6	1 (50)	1 (50)
	4	3	14 ± 0.7	1 (33.3)	2 (66.7)
发育不良	2	2	15 ± 1.3	–	2 (100)
	3	1	15	1 (100)	–
	4	1	15	1 (100)	–
	5	1	13	–	1 (100)

出现在儿童与青少年的脊椎滑脱，尤其是高度脊椎滑脱，需要复杂的手术技术。手术的主要目的是消除疼痛和 / 或神经失常。恢复脊椎-髋骨关系以及形成人为骨块至关重要 [41, 42, 19]。不同研究者指出，术后融合频率为 97.6% (81% – 100%)[17,36,43]。我们经研究发现，术后 2.5年 (从12到40个月)，所有病例都形成了人为骨块。

每位患者也接受了复位操作；在14个病例中，实现完全复位，在7个病例中，实现部分复位。在这些患者当中，由于神经并发症风险较大，因而未进行进一步复位。维萨里奥诺夫等人曾报告了 L5 脊椎滑脱患儿手术治疗 (*n* = 48) ；在所有病例中，手术治疗采取后路，从而缓解疼痛。在1 至 3 级的患者中，治疗达到了脊椎完全复位的结果 [1]。

临床病例

患者 B，11岁，因诉腰椎疼痛入院，疼痛沿双侧大腿及小腿外表面辐射。

腰椎放射学数据显示，探及 2 级 L5 脊椎滑脱 (图1)。 腰椎MSCT（见图 1）可见先天畸形：在L5弓关节间部位，可见双侧裂缝状骨缺损；L5后脊柱裂；2级真性L5脊椎滑脱；L5—S1椎间盘及S1椎体头部畸形。

经临床、神经学及仪器检查后，确定如下诊断：2级L5发育不良性脊椎滑脱 (44%)，L5-S1双侧椎间孔狭窄，L5—S1节段性不稳，双侧L5神经根动态压迫综合征及腰痛综合征等。

考虑患者在接受保守治疗后仍持续存在疼痛综合征以及L5脊椎滑脱的不断发展，进行了以下手术介入：L5椎板切除术、脊髓根显微外科

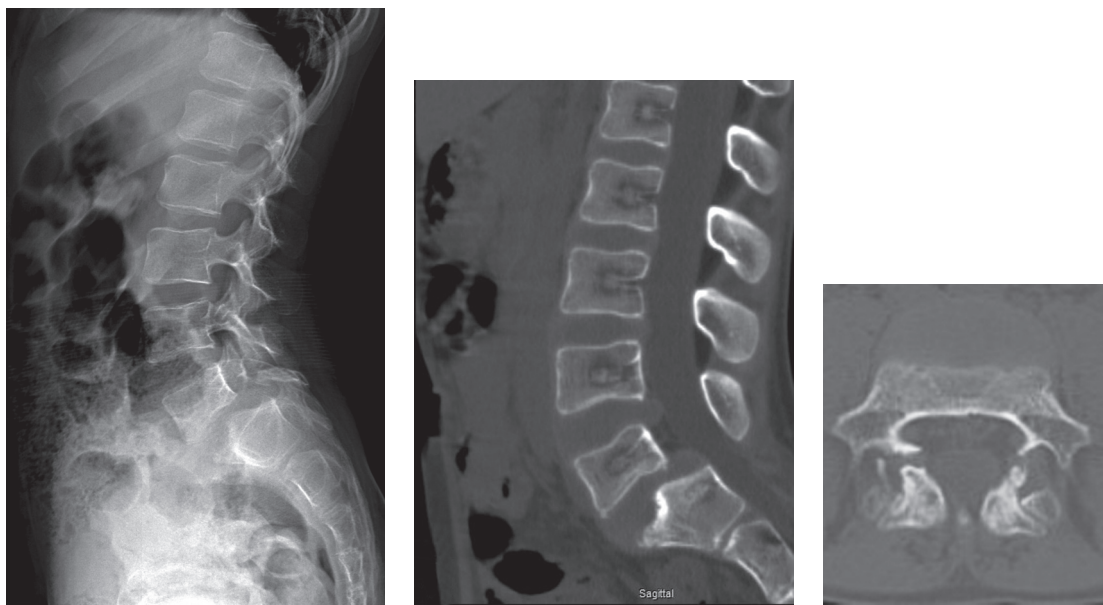


图1. 术前腰椎MSCT

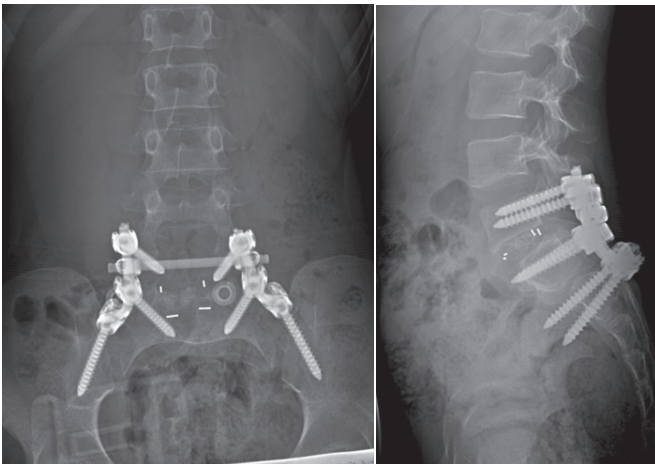


图2. 术后立即行双位腰椎放射学检查



图3. 术后一年半腰椎MSCT

减压、L5脊椎完全复位、L5-S1经椎弓根固定联合髋骨固定，以及L5-S1后椎体间融合。手术时间为355分钟，失血量为800毫升。患者于手术后第二天开始活动。在手术后阶段，神经根痛综合征完全消除，也未检测到神经性紊乱。根据对照的放射线影像，发现脊椎解剖关系恢复。螺丝钉及移植体位置正确（图 2）。在随访阶段，患者未诉不适。一年半后，MSCT显示有可靠的人为骨块形成，保留了完整的手术硬件（图 3）。

并发症

对于患有下腰椎退行性病症的儿童与青少年，使用微创手术不会引发并发症。在两例腰椎间盘突出患者中，一例出现硬膜外血肿，另一例出现硬膜（DM）损伤（表4）。该硬膜损伤属于局部点状，因此没有进行移植。在手术后阶段，未发现液溢。根据文献记载，在儿童与青少年的手术中，硬膜损伤的发生率在 1% 到 5% 之间 [44, 45]。

在 L4-L5 椎间盘突出切除手术后初期，一例患者出现神经根症状，表现为大腿与小腿外表面疼痛，以及足部屈肌与伸肌无力。MRI数据显示，硬膜外血肿造成硬膜腔压迫，因此患者再次手术，切除血肿。在手术后期间，神经根症状消除，神经性损伤也在三个月内完全消退。此外，还有研究报告在儿童切除椎间盘突出后，出现手术部位感染（SSI）。卡荷尔等人指出在87例手术

患者中，有1例出现SSI [44]。还有在手术后初期出现神经性损伤加重、椎间盘疝复发以及反射性尿潴留病例 [24, 46, 47]。不过在我们的研究中，未发现椎间盘疝复发。某些研究者指出，该病复发率约为3.3% [47]。

胡恩等人的回顾性研究，比较了患有脊椎滑落及 / 或狭窄 (A组) 与腰椎间盘突出 (B组) 的儿童及青少年进行手术的结果，发现A组出现并发症的频率要比B组明显更高 (18.1% 与 5.3%, $p < 0.0001$)。脊椎滑落和 / 或狭窄患者的卧床天数、并发症以及医疗费用都更高 [48]。

本研究显示，经治疗患者出现并发症的发生率是28.6% (表 4)。亚兰科等人报告，以 21% 的儿童及青少年脊椎滑脱手术患者出现并发症。并发症主要为感染性及神经性 [49, 50]。术并发症有 3 例，其中一位是硬膜损伤，因此行缺损缝合。有2例患者出现与神经根张力相关的神经性损伤。在进行复位操作时会出现神经性并发症，其频率可达 30% [20, 51—53]。在手术后早期，有2位患者诊断出中度失血性贫血。

一例出现迟发并发症：手术后两周，该患者出现严重骶骨疼痛。根据放射学检查结果，该患者被诊断为 S1-S2 侧部骨折，并接受了对症治疗。卧床两个月以及后续四个月的脊椎辅助治疗，结果良好：骨折处已巩固。对于高度脊椎滑脱病

例，建议结合复位操作与在S1更后方位置的腰骶骨加长固定治疗 [39]。在本研究的感染性并发症中，无假关节、移行，或手术硬件完整性遭受破坏的病例。

需要指出的是，根据记录，所有并发症都见于3级或3级以上的滑脱。我们在4例病例采用了神经生理监测；这些患者的复位程度取决于神经生理的监测结果：当诱发电位降低时，就停止复位，在到达的位置上进行固定。这些患者在手术后，均为出现神经性紊乱。

结论

对患有腰椎间盘突出症的儿童及青少年进行手术治疗，可完全消除神经根症状与神经性紊乱，以及恢复相应功能。

由脊柱下腰椎段脊柱关节病造成的关节突综合征，可见于青少年。如果保守疗法未能奏效，射线去神经术是优先考虑的疗法。低温消融术对椎间盘的效果，与保守疗法相当，因此应优先采用后者。

对于儿童与青少年脊椎滑脱手术治疗，出现并发症的频率直接取决于复位操作。该操作应该在神经生理监测下执行。不论并发症频率是多少 (28.6%)，儿童与青少年脊椎滑脱患者手术治疗的结局良好。

表4. 并发症的频率与结构

疾病分类	并发症			病例数	%	治疗	结局
	术中	术后					
		早期	晚期				
椎间盘疝	硬膜损伤	-	-	1	4.3	鉴于缺损面积小，未进行移植	良好
	-	硬膜外血肿	-	1	4.3	重复手术摘除血肿	良好
椎间盘疝总计				2	8.6	环境造成	良好
脊椎滑脱	硬膜损伤	-	-	1	4.8	缺损缝合	良好
	L ₅ 神经根病	-	-	2	9.5	保守治疗	一例良好，另一例有中度神经性损伤
	-	中度失血后贫血	-	2	9.5	一例输血，另一例对症治疗	良好
	-	-	S ₁ -S ₂ 横向骨折	1	4.8	卧床2个月，然后脊椎支撑治疗4个月	良好，巩固
脊椎滑脱总计				6	28.6	环境造成	良好

注：IVD — 椎间盘 (intervertebral disk)；DM—硬膜 (dura mater)。

其他信息

经费来源: 本研究无赞助者。

利益冲突: 作者声明无利益冲突。

伦理审查: 儿童与青少年的脊椎滑脱材料、方法、研究设计均经 Tsivyan Novosibirsk 创伤及骨科研究所伦理委员会讨论及批准 (会议记录第 060/18 号, 日期 2018 年 11 月 13 日)。

作者贡献:

A.V. Krutko 负责患者的手术治疗, 撰写本研究目的、设计及结论。

A.D. Sanginov 负责文献综述、数据收集与分析以及文本设计。

M.B. Giers 负责设计咨询与文献综述。

A.A. Alshevskaya 负责数据分析及事实层面核实。

A.V. Moskalev 负责数据分析与事实层面核实。

References

1. Виссарионов С.В., Мурашко В.В., Белянчиков С.М., и др. Хирургическое лечение спондилолистеза L₅ позвонка у детей. Возможности заднего доступа // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2014. – Т. 2. – № 3. – С. 24–33. [Vissarionov SV, Murashko VV, Belyanchikov SM, et al. Surgical treatment of L₅-spondylolisthesis vertebrae in children. Benefits of posterior approach. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery*. 2014;2(3): 24–33. (In Russ.)]. doi: 10.17816/PTORS2324-33.
2. Altaf F, Heran MK, Wilson LF. Back pain in children and adolescents. *Bone Joint J*. 2014;96-B(6):717–723. doi: 10.1302/0301-620X.96B6.33075.
3. Yang S, Werner BC, Singla A, Abel MF. Low Back Pain in Adolescents: A 1-Year Analysis of Eventual Diagnoses. *J Pediatr Orthop*. 2017;37(5):344–347. doi: 10.1097/BPO.0000000000000653.
4. Randall RM, Silverstein M, Goodwin R. Review of Pediatric Spondylolysis and Spondylolisthesis. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2016;24(4):184–187. doi: 10.1097/JSA.0000000000000127.
5. Afshani E, Kuhn JP. Common causes of low back pain in children. *Radiographics*. 1991;11(2):269–291. doi: 10.1148/radiographics.11.2.1827529.
6. Beutler WJ, Fredrickson BE, Murtland A, et al. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis: 45-year follow-up evaluation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(10):1027–1035. doi: 10.1097/01.BRS.0000061992.98108.A0 doi: 10.1097/00007632-200305150-00014.
7. Виссарионов С.В., Кокушкин Д.Н., Дроздецкий А.П., Белянчиков С.М. Варианты коррекции деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2012. – № 3. – С. 9–13. [Vissarionov SV, Kokushin DN, Drozdetsky AP, Belyanchikov SM. Variants of Spine Deformity Correction in Children with Idiopathic Scoliosis of Thoracic Localization. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2012;(3):9–13. (In Russ.)]
8. Papagelopoulos PJ, Shaughnessy WJ, Ebersold MJ, et al. Long-term outcome of lumbar discectomy in children and adolescents sixteen years of age or younger. *J Bone Joint Surg Am*. 1998;80(5):689–698.
9. Dang L, Liu Z. A review of current treatment for lumbar disc herniation in children and adolescents. *Eur Spine J*. 2010;19(2):205–214. doi: 10.1007/s00586-009-1202-7.
10. Durham SR, Sun PP, Sutton LN. Surgically treated lumbar disc disease in the pediatric population: an outcome study. *J Neurosurg*. 2000;92(1 Suppl):1–6.
11. Kumar R, Kumar V, Das NK, et al. Adolescent lumbar disc disease: findings and outcome. *Childs Nerv Syst*. 2007;23(11):1295–1299. doi: 10.1007/s00381-007-0370-1.
12. DeOrto JK, Bianco AJ, Jr. Lumbar disc excision in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am*. 1982;64(7):991–996.
13. Stromqvist F, Stromqvist B, Jonsson B, et al. Lumbar disc herniation surgery in children: outcome and gender differences. *Eur Spine J*. 2016;25(2):657–663. doi: 10.1007/s00586-015-4149-x.
14. Haidar R, Ghanem I, Saad S, Uthman I. Lumbar disc herniation in young children. *Acta Paediatr*. 2010;99(1):19–23. doi: 10.1111/j.1651-2227.2009.01460.x.
15. Lagerback T, Elkan P, Moller H, et al. An observational study on the outcome after surgery for lumbar disc herniation in adolescents compared with adults based on the Swedish Spine Register. *Spine J*. 2015;15(6):1241–1247. doi: 10.1016/j.spinee.2015.02.024.
16. Hershman S, Hochfelder J, Dean L, et al. Spondylolisthesis in Operative Adolescent Idiopathic Scoliosis: Prevalence and Results of Surgical Intervention. *Spine Deform*. 2013;1(4):280–286. doi: 10.1016/j.jspd.2013.05.003.
17. Lamartina C, Zavatsky JM, Petrucci M, Specchia N. Novel concepts in the evaluation and treatment of high-dysplastic spondylolisthesis. *Eur Spine J*. 2009;18 Suppl 1:133–142. doi: 10.1007/s00586-009-0984-y.
18. Скрыбин Е.Г. Спондилолиз и спондилолизный спондилолистез L₅ позвонка у детей дошкольного и младшего школьного возраста // Вестник новых медицинских технологий. – 2014. – Т. 21. – № 3. – С. 72–75. [Skryabin EG. Spondylolysis and spondylolisthesis L₅ vertebra in the children of preschool and primary school. *Journal of new medical technologies*. 2014;21(3):72–75. (In Russ.)]
19. Newton PO, Johnston CE, 2nd. Analysis and treatment of poor outcomes following in situ arthrodesis in adolescent spondylolisthesis. *J Pediatr Orthop*. 1997;17(6):754–761. doi: 10.1097/00004694-199711000-00010.

20. Vialle R, Charosky S, Padovani JP, et al. Surgical treatment of high-grade lumbosacral spondylolisthesis in childhood, adolescent and young adult by the "double-plate" technique: a past experience. *Eur Spine J*. 2006;15(8):1210-1218. doi: 10.1007/s00586-005-0051-2.
21. Kuh SU, Kim YS, Cho YE, et al. Surgical treatments for lumbar disc disease in adolescent patients; chemonucleolysis/microsurgical discectomy/PLIF with cages. *Yonsei Med J*. 2005;46(1):125-132. doi: 10.3349/yymj.2005.46.1.125.
22. Gagnet P, Kern K, Andrews K, et al. Spondylolysis and spondylolisthesis: A review of the literature. *J Orthop*. 2018;15(2):404-407. doi: 10.1016/j.jor.2018.03.008.
23. Tsirikos AI, Sud A, McGurk SM. Radiographic and functional outcome of posterolateral lumbosacral fusion for low grade isthmic spondylolisthesis in children and adolescents. *Bone Joint J*. 2016;98-B(1):88-96. doi: 10.1302/0301-620X.98B1.35672.
24. Tu Z, Wang B, Li L, et al. Early Experience of Full-Endoscopic Interlaminar Discectomy for Adolescent Lumbar Disc Herniation with Sciatic Scoliosis. *Pain Physician*. 2018;21(1):E63-E70.
25. Михайловский М.В., Садовой М.А., Белозеров В.В. Сколиоз и спондилолистез: обзор литературы // Хирургия позвоночника. – 2017. – Т. 14. – № 3. – С. 23–31. [Mikhaylovskiy MV, Sadovoy MA, Belozеров VV. Scoliosis and spondylolisthesis: literature review. *Spine surgery*. 2017;14(3):23-31. (In Russ.)]. doi: 10.14531/ss2017.3.23-31.
26. Lundine KM, Lewis SJ, Al-Aubaidi Z, et al. Patient outcomes in the operative and nonoperative management of high-grade spondylolisthesis in children. *J Pediatr Orthop*. 2014;34(5):483-489. doi: 10.1097/BPO.0000000000000133.
27. Lim MR, Yoon SC, Green DW. Symptomatic spondylolysis: diagnosis and treatment. *Curr Opin Pediatr*. 2004;16(1):37-46. doi: 10.1097/00008480-200402000-00008.
28. Dubousset J. Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. *Clin Orthop Relat Res*. 1997(337):77-85.
29. Violas P, Lucas G. L5-S1 spondylolisthesis in children and adolescents. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2016;102(1 Suppl):S141-147. doi: 10.1016/j.otsr.2015.03.021.
30. Vialle R, Charosky S, Padovani JP, et al. Surgical treatment of high-grade lumbosacral spondylolisthesis in childhood, adolescent and young adult by the "double-plate" technique: a past experience. *Eur Spine J*. 2006;15(8):1210-1218. doi: 10.1007/s00586-005-0051-2.
31. Palejwala A, Fridley J, Jea A. Transsacral transdisical L5-S1 screws for the management of high-grade spondylolisthesis in an adolescent. *J Neurosurg Pediatr*. 2016;17(6):645-650. doi: 10.3171/2015.12.PEDS15535.
32. Cheung EV, Herman MJ, Cavalier R, Pizzutillo PD. Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents: II. Surgical management. *J Am Acad Orthop Surg*. 2006;14(8):488-498.
33. Bouyer B, Bachy M, Courvoisier A, et al. High-grade lumbosacral spondylolisthesis reduction and fusion in children using transsacral rod fixation. *Childs Nerv Syst*. 2014;30(3):505-513. doi: 10.1007/s00381-013-2260-z.
34. Schoenleber SJ, Shufflebarger HL, Shah SA. The Assessment and Treatment of High-Grade Lumbosacral Spondylolisthesis and Spondyloptosis in Children and Young Adults. *JBJS Rev*. 2015;3(12). doi: 10.2106/JBJS.RVW.O.00015.
35. Mataliotakis GI, Tsirikos AI. Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents: current concepts and treatment. *Orthop Trauma*. 2017;31(6):395-401. doi: 10.1016/j.morth.2017.09.011.
36. Tsirikos AI, Garrido EG. Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(6):751-759. doi: 10.1302/0301-620X.92B6.23014.
37. Tsirikos AI, Mataliotakis GI. Evidence-based treatment of spondylolysis and spondylolisthesis. In: Paediatric orthopaedics: an evidence-based approach to clinical questions. Ed. by S. Alshryda, J. Huntley, P.A. Banaszkiewicz. Cham: Springer; 2016. P. 237-254. doi: 10.1007/978-3-319-41142-2_26.
38. Nakamae T, Tanaka N, Nakanishi K, et al. Surgical treatment of high-grade dysplastic spondylolisthesis using intraoperative electrophysiological monitoring: report of two cases and review of the literature. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2013;23 Suppl 1:S121-127. doi: 10.1007/s00590-013-1199-9.
39. Маркин С.П., Козлов Д.М. Переломы крестца после хирургического лечения спондилолистеза // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9–4. – С. 661–665. [Markin SP, Kozlov DM. Fractures of the sacrum after surgical treatment of spondylolisthesis. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2015;(9-4):661-665. (In Russ.)]
40. Кулешов А.А., Крутько А.В., Исхаков О.С., и др. Хирургическое лечение грыж межпозвонкового диска у детей и подростков // Хирургия позвоночника. – 2017. – Т. 14. – № 1. – С. 68–77. [Kuleshov AA, Krutko AV, Iskhakov OS, et al. Surgical treatment of disc herniation in children and adolescents. *Spine surgery*. 2017;14(1):68-77. (In Russ.)]. doi: 10.14531/ss2017.1.68-77.
41. Grzegorzewski A, Kumar SJ. *In situ* posterolateral spine arthrodesis for grades III, IV, and V spondylolisthesis in children and adolescents. *J Pediatr Orthop*. 2000;20(4):506-511. doi: 10.1097/00004694-200007000-00016.
42. Molinari RW, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Complications in the surgical treatment of pediatric high-grade, isthmic dysplastic spondylolisthesis. A comparison of three surgical approaches. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(16):1701-1711. doi: 10.1097/00007632-199908150-00012.
43. Mehdian SH, Arun R. A new three-stage spinal shortening procedure for reduction of severe adolescent isthmic spondylolisthesis: a case series with medium- to long-term follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(11):E705-711. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182158c1f.

44. Cahill KS, Dunn I, Gunnarsson T, Proctor MR. Lumbar microdisectomy in pediatric patients: a large single-institution series. *J Neurosurg Spine*. 2010;12(2):165-170. doi: 10.3171/2009.9.SPINE09756.
45. Wang H, Cheng J, Xiao H, et al. Adolescent lumbar disc herniation: experience from a large minimally invasive treatment centre for lumbar degenerative disease in Chongqing, China. *Clin Neurol Neurosurg*. 2013;115(8):1415-1419. doi: 10.1016/j.clin-neuro.2013.01.019.
46. Gulati S, Madsbu MA, Solberg TK, et al. Lumbar microdisectomy for sciatica in adolescents: a multicentre observational registry-based study. *Acta Neurochir (Wien)*. 2017;159(3):509-516. doi: 10.1007/s00701-017-3077-4.
47. Li H, Jiang C, Mu X, et al. Comparison of MED and PELD in the Treatment of Adolescent Lumbar Disc Herniation: A 5-Year Retrospective Follow-Up. *World Neurosurg*. 2018;112:e255-e260. doi: 10.1016/j.wneu.2018.01.030.
48. Huynh TR, Lagman C, Sweiss F, et al. Pediatric spondylolysis/spinal stenosis and disc herniation: national trends in decompression and discectomy surgery evaluated through the Kids' Inpatient Database. *Childs Nerv Syst*. 2017;33(9):1563-1570. doi: 10.1007/s00381-017-3471-5.
49. Hu SS, Bradford DS, Transfeldt EE, Cohen M. Reduction of high-grade spondylolisthesis using Edwards instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996;21(3):367-371. doi: 10.1097/00007632-199602010-00023.
50. Jalanko T, Helenius I, Remes V, et al. Operative treatment of isthmic spondylolisthesis in children: a long-term, retrospective comparative study with matched cohorts. *Eur Spine J*. 2011;20(5):766-775. doi: 10.1007/s00586-010-1591-7.
51. Sailhan F, Gollogly S, Roussouly P. The radiographic results and neurologic complications of instrumented reduction and fusion of high-grade spondylolisthesis without decompression of the neural elements: a retrospective review of 44 patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(2):161-169. doi: 10.1097/01.brs.0000194780.17528.6b.
52. Vialle R, Miladi L, Wicart P, Dubousset J. Surgical treatment of lumbosacral spondylolisthesis with major displacement in children and adolescents: a continuous series of 20 patients with mean 5-year follow-up. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2005;91(1):5-14. doi: 10.1016/S0035-1040(05)84270-9.
53. Min K, Liebscher T, Rothenfluh D. Sacral dome resection and single-stage posterior reduction in the treatment of high-grade high dysplastic spondylolisthesis in adolescents and young adults. *Eur Spine J*. 2012;21 Suppl 6:S785-791. doi: 10.1007/s00586-011-1949-5.

Information about the authors

Aleksandr V. Krutko — MD, PhD, professor, Head of Department of neurovertebrology Novosibirsk SRITO named after Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia. ORCID: 0000-0002-2570-3066. E-mail: ortho-ped@mail.ru.

Abdugafur J. Sanginov — MD, Neurosurgeon Department of Neurosurgery No. 2 Novosibirsk SRITO named after Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia. ORCID: 0000-0002-4744-4077. E-mail: dr.sanginov@gmail.com.

Morgan B. Giers — Department of Neurosurgery, Barrow Neurological Institute, St. Joseph's Hospital and Medical Center, Phoenix, USA. ORCID: 0000-0002-2247-1167. E-mail: giersmorgan@gmail.com.

Alina A. Alshevskaya — MD, PhD, Head of Biomedical Department of Biostatistics and Clinical Trials Center, Novosibirsk, Russia. ORCID: 0000-0002-7307-4524. E-mail: alkkina@yandex.ru.

Andrei V. Moskalev — Head of Biostatistics and Clinical Trials Center, Novosibirsk, Russia. ORCID: 0000-0002-6711-3822. E-mail: andrei.v.moskalev@gmail.com.