



脊柱畸形手术中矫正棒的断裂 (临床资料分析及文献系统回顾)

BROKEN RODS IN SPINAL DEFORMITY SURGERY: AN ANALYSIS OF CLINICAL EXPERIENCE AND A LITERATURE REVIEW

© M.V. Mikhaylovskiy¹, A.S. Vasyura¹, V.L. Lukinov²

¹ Novosibirsk Research Institute for Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia;

² Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

■ For citation: Mikhaylovskiy MV, Vasyura AS, Lukinov VL. Broken rods in spinal deformity surgery: an analysis of clinical experience and a literature review. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2019;7(4):15-26. <https://doi.org/10.17816/PTORS7415-26>

Received: 15.05.2019

Revised: 16.10.2019

Accepted: 09.12.2019

论证: 矫正棒断裂是脊柱畸形手术的特殊并发症之一。关于这题的出版材料很少,而且作者的结论往往相互矛盾。

目的分析各种原因的脊柱畸形的内矫正棒断裂的问题,考虑到这种并发症的频率和危险因素。

材料与方法: 该研究包括在1996年至2018年间做过手术的3833名患者。研究入选标准的年龄为10岁以上,病史无脊柱手术。

结果: 3833位患者中有85位(2.2%)发生金属结构的植入物的骨折。特发性脊柱侧凸与先天性脊柱侧凸存在显著性差异。在85位患者中有62位发生了矫正棒断裂,因此需要反复手术干预,通过连接器恢复矫正棒的完整性或完全的替换。体重指数增加1,骨折几率增加1.07倍($p = 0.019$),年龄增加1岁,骨折几率增加1.03倍($p = 0.039$)。手术治疗的腹侧期(椎间盘切除术及与自体骨的椎体间融合术)与骨折之间无统计学意义($p = 0.403$)。在20岁以下的患者组中,年龄大于15岁是一个有统计学意义的预测因子($p = 0.048$)。在20岁以下的患者中,体重指数与骨折风险之间没有统计学意义上的阈值。混合固定系统的并发症发生率明显低于钩式固定系统。

进行了系统地回顾关于Scopus、Medline、GoogleScholar等国际数据库中讨论的主题的文献来源,并搜索参考文献列表中的出版物。

结论: 脊柱畸形手术中各种原因导致矫正棒断裂是典型的并发症之一。在大研究组中,矫正棒断裂的频率较低。随着患者体重指数和年龄的增加,这种并发症发生的风险也会增加,尽管对于20岁以下的一组患者来说,体重指数与骨折的几率之间没有统计学上显著的阈值。现代的椎弓根系统将内矫正棒连接到椎体结构上,可以显著降低术后内矫正棒断裂的风险。

关键词: 脊椎变形; 外科治疗; 矫正棒骨折。

Background. Rod fractures are one of the specific complications of spinal deformity surgery. The number of publications on this topic is small, and the conclusions are often contradictory.

Aim. The aim of this study is to analyze the current situation concerning the problem of fractures of the rods in spinal deformities of various etiologies in terms of frequency and risk factors for this complication.

Materials and methods. The study included 3,833 patients who underwent operations between 1996 and 2018. The inclusion criteria of being over 10 years of age with no history of spinal surgery were applied.

Results. Fractures of metal implant rods were detected in 85 patients out of a total of 3,833 (2.2%). There was a significant difference between the groups of idiopathic and congenital scoliosis patients. A rod fracture in 62 of the

85 patients was the reason for reintervention to restore integrity with a connector or a full replacement. An increase in BMI by one raised the chance of a fracture by 1.07 times ($p = 0.019$). Increasing the age by one year increased the possibility of a fracture by 1.03 times ($p = 0.039$). A statistically significant association of the ventral stage of surgical treatment (discectomy and interbody fusion with autologous bone) where no fracture was detected ($p = 0.403$) was revealed. Being over 15 years old a statistically significant predictor was in the group under 20 years of age ($p = 0.048$). For BMI, there was no statistically significant threshold for fracture probability in the group under 20 years of age. It was confirmed that a hybrid fixation system produced a significantly lower percentage of complications than a hook system.

A systematic literature review of sources on this topic included international databases (Scopus, Medline, and Google Scholar) as well as investigating the publications contained in the reference list.

Conclusions. Rod fractures during surgery for spinal deformities of various etiologies are one of the typical complications. Fracture frequency in large study groups is small. The risk of developing this complication rises with both increasing BMI and patient age, although there is no statistically significant threshold for BMI relative to the chances of fracture in the group up to 20 years of age. Modern reticular systems of attachment of the endocorrector to the vertebral structures can dramatically reduce the risk of rod fracture during the postoperative period.

Keywords: spinal deformities; surgical treatment; rod fractures.

手术不可能没有并发症，矫正脊柱畸形手术也不例外。有许多特定的椎体并发症与金属结构的植入物直接相关（植入相关并发症（Implant related complications—IRC）。矫正棒、螺钉断裂，结构自行拆除，构件移位，支撑骨结构故障，皮下安装金属结构的植入物。大量的研究一直致力于脊椎手术的并发症，但是IRC并没有充分地反映在其中，最值得注意的是，未分化的作为一个均匀的无定形组，其组成元素在原则上没有区别[1-4]。

有几篇论文将内矫正棒折作为一个独立的研究的问题（我们认为确实如此）[5-10]，然而，它们内容分析不允许得出关于这一并发症的发生率的结论，因为这研究的患者组相对较少（最多几百人），而所获得的结果高度可变（从0到27%）。这些出版研究的作者分析了矫正棒断裂的危险因素，但他们的数据有时相互矛盾，而矫正棒断裂的潜在原因数量较大。我们认为必须指出，在俄罗斯文学中我们找不到关于这个问题的任何出版研究。

并不是所有纳入研究的患者都在20岁以下，然而，儿童和青少年占调查总人数的近70%，但不同年龄段的患者的手术治疗也是基于同样的原则。

目的分析当前状态各种原因的脊柱畸形的内矫正棒断裂的问题，考虑到这种并发症的频率和危险因素。

材料与方法

该研究包括在1996年至2018年间接受了各种原因的脊柱畸形手术的3833名患者，年龄为10岁以上，并在进入诊所之前没有接受过脊柱手术：年龄为11-20岁有2670名患者（69.63%），21-31岁有852名（22.23%），31-40岁有252名（6.59%），41-50岁有59名（1.54%）。10岁以下的患者在我们的诊所接受了多阶段的《生长的矫正棒》治疗（TGR, VEPTR）。所产生的并发症（矫正棒的断裂，握把的移位，等等）在下一阶段撑开时被阻止了。在矫正棒断裂时使用第三代工具接受了单一背部干预的青少年和成年人，采用了不同的治疗方法，因此将其分配到单独的组。这些患者的最高年龄限制为46岁。排除标准：腹侧椎体工具，以前在脊柱上做过手术。作为一种内矫正棒使用了现代脊椎背部工具，在绝大多数情况下由钛合金制成的。在术前和术后期间，对站立位的直凸和侧凸进行脊椎造影检查。

统计技术。根据Shapiro-Wilk检验检查了数据分布是否符合正态分布。所有数据分布异常 ($p < 0.001$)。估计值以中位数、I和III四分位数的形式表示。

在比较组采用非参数统计Mann-Whitney *U*检验了关于样本分布数值特性相等的假设，构建95%置信区间计算分布的偏移量。

通过构建逻辑回归模型，确定了前手术的预测因子。通过构建单因素模型，确定了干预腹侧期的个体预测因子。在构建多变量模型之前，通过计算Pearson相关系数计算共线协变。从原始的多因素模型，包括达到显著性水平 $p < 0.300$ 的协变，在单因素模型中，基于Akaike信息准则(AIC)，采用正向和反向步长方法，建立多因素逻辑回归的最优模型来进行附加控制。通过正向和反向步长方法得到的模型显示相同。

在 $p = 0.05$ 的临界显著性水平上检验统计学假设，即 $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。假定判据功率的下限为80%。

所有统计计算均在R语言(R core Team (2015)的Rstudio程序(版本1.2.5001 — 2009–2019年, 美国)中进行的。R:一种用于统计计算的语言和环境。R统计计算基础, 奥地利。uRL: <https://www.R-project.org/>)。

结果

在3833例患者中，总共有85例患者发现金属结构的植入物的矫正棒断裂，占2.2%。在3068例有特发性脊柱侧凸(IS)的患者，指出了64次骨折(2.1%)，在374例与先天性脊柱侧凸为15次(4.0%)，391例与不同病因的畸形(神经纤维瘤病—4，舒尔曼病—1，神经肌肉侧弯—1)为6次(1.5%)。统计处理显示，在不考虑多次比较误差的情况下，出现特发性脊柱侧凸组与先天性脊柱侧凸组有差异有显著意义(优势比odds ratio, OR为0.51 [0.28; 0.97] ($p = 0.027$))，在先天性脊柱侧凸和其他畸形之间为(OR 2.68 [0.97; 8.52] ($p = 0.045$))。考虑多次比较误差的校正，各组间差异无统计学意义(见表1)。

在先天性脊柱畸形患者中有相当数量的矫正棒骨折，这促使我们对这组患者进行单独考虑。计算表明，一个统计上显著的危险因素是先天性脊柱畸形后凸部分的初始值大于 100° 。在这种情况下，矫正棒断裂的OR增加5.44 [1.72; 16.38]次($p = 0.003$)。

在85位患者中，60位接受钩式固定手术，24位接混合固定手术，而1位接受all screws系统手术。这些差异具有统计学意义(见表2)。表2(3531例)中总病例数小于上述检查病例数(3833例)，这是由于在电子数据库中输入信息时出现错误，但此处未记录的观察与矫正棒断裂无关。

表1

矫正棒断裂的频率和脊柱畸形的病因

病原学的形式	患者的数量	裂缝条数 <i>n</i> , % [95% CI]	双向费舍尔判别准则	
			OR [95% CI]	(<i>p</i> , 调整的 <i>p</i>)
1—特发性	3068	64, 2.1% [1.6; 2.7]	1-2: 0.51 [0.28; 0.97] 1-3: 1.37 [0.59; 3.89] 2-3: 2.68 [0.97; 8.52]	(0.027*; 0.068) (0.570; 0.570) (0.045*; 0.068)
2—先天性	374	15, 4.0% [2.4; 6.5]		
3—其他畸形	391	6, 1.5% [0.7; 3.3]		

注：为了考虑多次比较的影响，用Benjamin-Hochberg方法计算了矫正后的*p*值。OR — 优势比；CI — 置信区间。

表2

矫正棒断裂的频率及内矫正棒固定的类型

固定的类型	患者的数量	裂缝条数 <i>n</i> , % [95% CI]	双向费舍尔判别准则	
			OR [95% CI]	(<i>p</i> , 调整的 <i>p</i>)
1—钩式固定	1725	60, 3.5% [2.7; 4.5]	1-2: 1.82 [1.11; 3.07]	(0.013*; 0.013*)
2—混合固定	1236	24, 1.9% [1.3; 2.9]	1-3: 20.5 [3.5; 821]	(<0.001*; <0.001*)
3—椎弓根	570	1, 0.2% [0.0; 0.9]	2-3: 11.3 [1.8; 463]	(0.002*; 0.003*)

注: 为了考虑多次比较的影响, 用Benjamin - Hochberg方法计算了矫正后的*p*值。OR — 优势比; CI — 置信区间。

表3 研究对象的一般特征 (N= 3529)

变量	数值
身体质量参数, Me [IQR] M ± CD	19.2 [17.4; 21.2] 19.59 ± 3.35
年龄, 岁 Me [IQR] M ± CD	16.4 [14.3; 20.3] 18.43 ± 6.45
诊断, <i>n</i> (%): 舒尔曼病 综合征脊柱侧弯 特发性脊柱侧凸 先天性脊柱侧凸	16 (0.5%) 352 (10%) 2820 (79.9%) 340 (9.6%)
腹部手术 <i>n</i> , % [95% CI]	1039, 29% [28; 31]
矫正棒断裂 <i>n</i> , % [95% CI]	83, 2% [2; 3]

注: CI — 置信区间; Me — 中位数; IQR — 四分位数间距; M ± CD — 算术平均值 ± 标准偏差。

表4 单因素逻辑回归分析20岁以下患者的矫正棒断裂

变量	OR [95% CI]	<i>p</i> 水平
身体质量参数	1.07 [0.98; 1.16]	0.126
年龄	1.12 [0.99; 1.28]	0.066
前手术	0.82 [0.43; 1.49]	0.533
年龄 >15岁	1.82 [1.02; 3.38]	0.048*

表5 单因素逻辑回归分析20岁以上患者的矫正棒断裂

变量	OR [95% CI]	<i>p</i> 水平
身体质量参数	1,05 [0,95; 1,15]	0,326
年龄	0,98 [0,92; 1,04]	0,536
前手术	0,86 [0,34; 1,92]	0,723

注: OR — 优势比; CI — 置信区间。

51位患者中发现一根矫正棒的骨折, 34位中发现两根矫正棒的骨折。对矫正棒完整性的损坏程度有显著差异: Th₆-Th₁₀ — 16名患者, Th₁₁-L₄ — 65, L₅-S₁ — 1名患者。用于安装内矫正棒 (横向牵引装置, device for transverse traction — DTT) 的横拉杆数不同: 1根 — 4位患者, 2根 — 78位患者, 3根 — 2位患者, 1位未使用DTT。我们之所以关注这一点, 是因为经过多年的工作, 我们得到的印象是, 矫正棒断裂的定位取决于DTT的定位, 而其通常位于结构的末端。对63位患者进行从DTT到矫正棒断裂点的距离测量显示了, 22位不超过2.5厘米, 37位不超过3-17厘米, 1位出现没有横拉杆的骨折。

在85位患者中, 有62位发生了矫正棒断裂, 因此需要反复手术干预, 通过连接器恢复矫正棒的完整性或完全的替换。手术指征是指丧失矫正和疼痛症状。62位中有18位发现骨折复发, 并需要从2至4次重复手术。在大多数情况下, 不能确定矫正棒断裂的确切时间, 尽管一些患者指出可能导致并发症的损伤。矫正手术平均38.4个月后 (4-126个月) 进行重复干预。

本研究试图建立矫正棒断裂发生频率与体重指数 (BMI)、患者年龄、腹侧脊椎骨融合术等因素之间的关系 (见表3)。通过单因素逻辑回归分析, 我们发现了:

- 如果BMI增加1, 骨折的几率增加1.07倍 [1.01; 1.14] (*p* = 0.019);

- 年龄增加1岁，骨折的几率增加1.03倍 [1; 1.06] ($p=0.039$);
- 手术治疗的腹侧期（椎间盘切除术及与自体骨的椎体间融合术）与骨折之间无统计学意义 ($p=0.403$)。

另外，对20岁及20岁以上年龄组的矫正棒断裂危险因素进行分析（见表4、5）。

本20岁以下的组患者年龄大于15岁为有统计学意义的预测因子，在本组患者中，矫正棒断裂的发生几率增加1.82倍 [1.02]; ($p=0.048$)。在BMI方面，20岁以下的组患者骨折风险的阈值没有统计学意义。

20年以上的组患者未发现统计学意义的预测因子。

文献资料回顾

我们使用了Scopus、Medline和GoogleScholar等国际数据库来收集有关讨论主题的信息。此外，我们还通过参考文献列表搜索出版物。

自Harrington时代以来，内矫正棒断裂问题就一直存在，但骨科文献中关于这方面的信息少得令人沮丧（见表6）。这个主题是多面的，这决定了它的讨论性质。

并发症和重复干预的频率。Coe以及其他分析了6334例青少年特发性脊柱侧凸（AIS）的手术治疗[11]。并发症出现于363例（5.7%），IRC发生率为0.25%。根据Richards以及其他研究员，在1046位IS患者中，135名患者接受了172例（12.9%）重复手术[12]。根据Carreon以及其他研究员，患AIS的702名患者中有3例出现未解密的延迟失败（late failure），需要重复手术[2]。Weiss和Goodall对287篇论文进行

了系统的回顾[13]。他们报道了脊柱侧凸手术并发症的发生率从0到89%不等。特别是，术后变形的进展可能是由于矫正棒断裂。根据Mok以及其他研究员，成人脊柱畸形重复手术为89例患者中占25.8%[14]。Fu以及其他研究员对并发症进行了综述，其中包括23918名因各种原因导致脊柱畸形而接受手术的患者，平均年龄为13岁[15]。总并发症数为2020例（8.5%），其中IRC占1.4%。在特发性脊柱侧凸中，重复手术的频率为7.5%（452名中有34例），只有一例发生了矫正棒断裂[16]。根据Jain以及其他研究员，在1002例儿童脊柱畸形患者中，8%的患者需要反复住院治疗，3.8%的患者需要反复手术[3]。作者没有提供关于矫正棒断裂的信息。Ahmed以及其他研究员[1]分析了1435名从10至22岁AIS患者的手术治疗结果。术后5年75名患者接受了重复手术（5.2%），而且术后3个月为22名，术后1年为10名，术后2年为12名，术后5年为20名，术后5年为10名。作者引用了文献中的数据，根据这些数据，种植体失败（IF—implant failure）发生的频率为0.7至1.4%[16]。重复手术的原因：松解椎弓根螺钉（3），钩移动（2），旋松螺钉（2），矫正棒断裂及假块接头（9）。

De la Garza Ramos以及其他研究员对74525名儿童脊柱手术进行了分析，其中2052例是翻修手术（2.7%）。一般情况下，主要组的并发症数为8.6%，检查组为16.7%。一期手术组中与种植体相关的并发症占0.4%，检查组中为5.3%[17]。

矫正棒断裂的频率。Yang以及其他研究员对35例胸腰部有PSO（pedicle subtraction osteotomy，经椎弓根椎体截骨术）患者的研究进行了综述，其中11%（3例）的患者中发现了矫正棒断裂，先一侧，后另一侧。所有的断裂都发生在腰部，因为有更多的负荷，而没有稳定胸部的作用。用钛制成矫正棒，其不会降低

表6

脊柱畸形手术中矫正棒断裂问题的文献资料

作者	年纪	患者的数量	年龄	变形的病因	手术类型	并发症	重复手术	IRC	矫正棒断裂
Coe以及其他	2006	4369	青少年	IS	背部工具	221 (5.1%)	-	28 (0.64%)	-
Richards以及其他	2006	1046	14.5岁	IS	腹侧背部工具	-	172例手术为135名患者(12.9%)	15 (1.4%)	-
Yang以及其他	2006	35	成年人	退变性脊柱侧凸	PSO	15 (42.8%)	-	6 (22%)	3 (11%)
Carreon以及其他	2007	702	14.2	AIS	背部工具	108 (15.4%)	5 (0.71%)	3 (0.43%)	-
Mok以及其他	2009	89	成年人	退变性脊柱侧凸	背部工具	-	25.8%	4	0
Fu以及其他	2011	23918	13	主要是AIS	-	2020 (8.5%)	-	371 (1.6%)	-
Ramo, Richards	2012	452	14.6	主要是AIS	背部工具	-	34 (7.5%)	11 (2.4%)	0
Smith以及其他	2012	442	成年人	退变性脊柱侧凸	背部工具, PSO	-	-	-	30 (6.8%), PSO — 15.8%
Akazawa以及其他	2013	155	19	AIS	背部工具	-	-	-	8 (5.2%)
Smith以及其他	2014	200	成年人	退变性脊柱侧凸	背部工具, PSO	-	-	-	18 (9%), PSO后 — 22%, 无PSO — 4.7%
Jain以及其他	2015	1002	10 - 18岁	主要是AIS	背部工具	-	3.8%	9 (0.9%)	-
Smith以及其他	2016	291	成年人	-	背部工具, 64% — 脊椎	469例并发症为203名患者(69, 8%)	-	-	40 (13.7%)
Ahmed以及其他	2016	1435	15.2	AIS	-	-	75 (5.2%)	-	9
De la Garza Ramos以及其他	2017	74525	-	-	-	8.6%, 检查组 — 16.7%	2052 (2.7%)	0.4%, 检查组 — 5.3%	-
Kavadhi以及其他	2017	26	19名成人, 7名儿童	各种病因的脊柱侧凸	PSO, VCR	-	-	-	7 (27%)
Thamrong以及其他	2018	526	成年人	-	-	-	-	-	97 (18-4%)

注: IS — 特发性脊柱侧凸; AIS — 青少年特发性脊柱侧弯; PSO — 经椎弓根椎体截骨; IRC — 植入相关并发症; VCR — 脊椎切除术。

MRI图像的质量，但很脆弱，容易发生微断裂。在所有的病例中，都要求进行重复手术[18]。Lykissas以及其他研究员的一项多中心研究显示，脊柱侧凸手术中，矫正棒断裂的发生率为6.8%（442名中有30位）：钛合金为8.6%，钢材为7.4%，钴铬合金为2.4%[19]。Akazawa以及其他人员对155名不同病因的畸形患者（大部分为AIS）的治疗结果进行了研究。患者平均年龄为19岁，平均观察期为46个月。初始时，主弧的Cobb角为61°，刀具区平均长度为10段。8例（5.2%）发生矫正棒断裂。手术干预后平均18个月发生骨折了。骨折的程度从胸椎到腰骶部不等，有6例矫正棒断裂发生在接近下固定椎体处[5]。

Dailey以及其他研究员描述了一例24岁女性的两根矫正棒断裂了，其中一根从螺钉头部完全释放，并转移到臀部，在那里它被移除了[6]。Kavadi以及其他研究员分析了26例三椎体切除术后矫正棒断裂的发生频率（PSO，VCR（vertebral column resection—全脊椎截骨）。记录了7例（27%）发生矫正棒断裂，5例记录了两根矫正棒断裂。71%的病例出现疼痛及矢状面失衡，其他病例无任何症状。骨折的诊断是在手术后一年左右确定的，7位中有6位在脊椎切开术的层面。平均阻塞段数为11.2。使用钛棒（所有断裂），只有2名儿童使用钢棒。断裂期为6-12个月[7]。

Thamrong以及其他研究员研究了成人脊柱融合术延伸至骶骨后矫正棒断裂的频率：526名患者，年龄为18至80岁（平均56.8岁），平均观察期为57个月[10]。在97位（18.4%）中发矫正棒断裂，61位患者中有一个矫正棒断裂，36位患者中有两个矫正棒断裂。不锈钢棒证明了是更可靠的。作者将矫正棒断裂定义为在最初的介入治疗后至少在一个地方破坏了其完整性。术后平均39.6个月记录了矫正棒断裂情况：3年不到为51名患者，3至5年为23名，5至10

年为22名，10年以上为1名。在36位单侧骨折患者中，观察到了79个完整性破坏点，而在1位患者中，矫正棒有4处断裂。矫正棒最常见断裂了在L₅-S₁和L₃-L₄节段的水平。在最新的检查中，57名患者没有疼痛或矫正缺失，而另外40名患者由于疼痛综合征、矫正缺失和种植体保留而接受了矫正手术。两根矫正棒均有断裂的患者手术次数较多，从骨折诊断到翻修手术间隔时间为3个月。

Smith以及其他研究员的一系列论文这篇文章专门研究成人患者脊柱畸形的背部干预后的矫正棒断裂。这些多中心研究是由作者组成略有不同的小组进行的[8, 9, 20]。三组中均有相当比例的患者接受了PSO手术。2012年的研究记录了442名患者，其中30名（6.8%）出现矫正棒断裂的情况。与钛矫正棒相比，钴铬合金矫正棒断裂的可能性要少得多。97%的矫正棒断裂以疼痛为主要症状。在30名患者中有22名在术前提出了身高、体重等指标。本组患者的BMI为30，属于肥胖范畴。21位患者中发现一根矫正棒断裂，9例中发现两根矫正棒断裂。大部分的矫正棒断裂发生在腰部和脊柱的胸腰部。在22例中，使用了DTT（1例或1例以上），只有3例矫正棒在横拉杆水平处断裂。PSO手术中出现15.8%（114位中有18位）矫正棒断裂的情况。手术与矫正棒断裂之间的平均时间间隔为15.7个月（2-73个月）。30位患者中有26位进行了翻修手术，断裂的矫正棒未被取出，重建以恢复结构的支撑能力。作者能够建立矫正棒断裂与矢状面平衡最初的破坏之间的关系。

在2014年发表的一篇文章中，Smith以及其他研究员分析了一组200名的患者，其中18位（9%）发生了矫正棒断裂，并在PSO后为22%情况[9]。在Smith以及其他研究员组的第三篇论文中，专门讨论了成人脊柱矫正干预的并发症，发现矫正棒断裂的频率为13.7%（291位中有40位）[20]。

许多作者已经研究了矫正棒断裂的危险因素。Wattenbarger以及其他研究员报道了,当使用双杆结构时,103名患者无出现矫正棒的断裂,而在单杆结构手术的患者组中,矫正棒断裂记录了9次(21%),其中6位伴有疼痛综合征,5位需要重复手术[21]。Akazawa以及其他研究员认为卧床休息、术前脊柱后凸、矫正棒体直径小、多种干预措施以及使用髂螺钉是脊柱畸形术后矫正棒断裂的危险因素[5]。危险因素不包括性别、肥胖、脊柱侧弯畸形或用于制造矫正棒的金属。Soroceanu以及其他研究员认为,在生物力学并发症的发生过程中,患者的绝对体重比BMI更重要[22]。作为危险因素,他们列举了许多伴随的疾病、矢状面的大变形。在2014年发表的一篇文章中,Smith以及其他研究员注意到了,危险因素包括患者年龄偏大、肥胖、病史有椎体手术、矢状面不平衡及钴铬合金的矫正棒[9]。Kavadi以及其他研究员研究了根治性手术(PSO、VCR)的结果,其主要原因是矫正棒受到的应力增加及椎板切除术部位的骨组织的相对缺乏[7]。Thamrong以及其他研究员分析了成人患者合并骶骨夹持的脊椎融合术结果,认为矢状面不平衡、术前腰椎后凸及形成块的长度是危险因素[10]。

根据Yoshihara以及其他研究员的看法,有三种类型的合金制备矫正棒:铁—铬—镍(不锈钢)、钛及其合金、钴及铬基合金[23]。钛具有生物相容性、耐腐蚀性等特点,不影响MRI图像质量。矫正棒固定的稳定性取决于合金的生物力学性能,如屈服强度、刚度和疲劳强度。这些参数的理想数值是未知的。此外,材料、长度、直径、形状和矫正棒数也很重要。因此,Albers、Friska以及其他研究员表明,在IS手术中,使用背侧和腹侧器械时,双链结构明显强于单链结构[24, 25]。术中弯曲可导致表面微缺陷。表面微缺陷也可以发生在矫正棒与挂钩

或螺钉的接触点,这导致疲劳破坏了矫正棒的稳定性《缺口灵感度》(notch sensitivity)。众所周知,以划痕、切割等形式出现的应力集中对金属的疲劳有显著的影响,因为断裂几乎总是发生在应力最初增加的地方。

矫正棒弯曲和断裂。Lindsey以及其他研究员对钛和不锈钢矫正棒进行了力学研究(金属疲劳)。结果表明,在法式弯管(french bender)的帮助下,无论何种金属,预弯棒在其中一个弯曲点处断裂[26]。笔直的金属矫正棒,包括钛和钢,在螺钉头与金属矫正棒相连的地方断裂。Kokabu以及其他研究员发现,术中通过对胸椎矫正棒的轮廓处理来优化胸椎的解剖关系,可以降低骨折的风险[27]。他们对46位AIS患者进行了研究,发现不正确的弯曲会导致某一点的载荷集中,从而导致矫正棒疲劳断裂。

横拉杆在钩式固定系统中的使用没有争议,但广泛采用的椎弓根螺钉显著地改变了这种情况。Garg以及其他研究员通过对两组患者(377名使用DTT, 123名未使用DTT)进行观察,对于AIS患者得出结论,横拉杆并不能提供所有all screw技术的优势[28]。此外,由于沿中线骨块的形成受到破坏,DTT可能是假关节炎发展的原因。在对成年人的研究中,结果证明了,69%的病例的假关节恰好形成于DTT的位置[29]。Dhawale以及其他研究员也得出了类似的结论,他们分析了125名AIS患者(75名DTT患者和50名无AIS患者)的手术治疗结果[30]。

另一个很少讨论的方面是**内矫正棒的移除**。Cotrel-Dubousset(CDI)工具的创建者建议不要不必要地这样做,因为去除大量的金属移植物,骨头密封的人造块,是一个大的创伤性干预[31]。Teles以及其他研究员认为,只有在非常合理的适应症

下才应该移除内矫正棒，因为根据他们的说法，内矫正棒可以保护椎体免受不适当的负荷（stress-shielding effect — 应力遮挡）。否则，在没有创伤影响的情况下，可能出现机械并发症（骨块骨折）[32]。

总的来说，尽管研究的数量非常有限，但与种植体相关的问题相当严重。Renshaw指出了：“我们可以预期，如果患者活得足够长，矫正棒断裂的可能性就会变成真正的[33]。” Hawes建议提醒患者和他家人，该手术可能不是最后的[34]。

讨论

多年来，在脊椎医学实践中积累了令人遗憾及不可避免的并发症的经验。同时，在手术椎体学中，有许多并发症可以被认为是特异性的，即与种植体、化脓（早期和晚期）、神经症状的发展或加重相关的并发症。大量的研究致力于这些并发症的发展及治疗，尽管我们认为这方面的IRC问题远未得到解决。根据脊柱畸形手术中内矫正棒矫正棒断裂的文献资料，我们可以讨论在并发症发生频率的定量指标和对问题本身评估的模糊性上的显著异质性。

我们分析的临床资料是已发表的3833名患者中最多的，其中85名诊断为矫正棒断裂。该诊所不仅为儿童和青少年提供各种病因的脊柱畸形的手术治疗。同时，我们将10岁以下接受手术的患者排除在研究之外，因为这些儿童的手术策略与其他年龄段的患者有根本的不同。我们感兴趣对并发症发生的频率及危险因素。频率（2.2%）相对较小，特别是考虑到一些文献资料。脊柱侧凸的病因不是一个危险因素，但在先天性畸形中，矫正棒断裂的发生率更高，这可能是由于该病理的特殊性。其特征之一是存在大百分比的后凸变形成分的情况。结果表明，先天性后凸是一个危险因素后，

才达到100° 的价值。由于第一阶段的两层干预（椎间盘切除术），脊柱腹侧柱的支持理论上可以减少，这不是发生并发症的危险因素。同时，BMI指数、年龄（包括20岁前和20岁后的年龄组，单独考虑的），特别是内矫正棒固定的类型会影响数量的并发症，其中包括经椎弓根固定更少伴随着比混合固定或钩式固定矫正棒的断裂。在15岁到20岁之间，矫正棒断损坏的风险增加。矫正棒断裂的位置与DTT装置的位置有关的假设尚未得到最终证实。当然，我们进行的多元分析不能被认为是最终的，即使只是因为研究的因素数量可以任意大。

本研究信息价值的主要局限在于患者组的异质性（尽管其中绝大多数是特发性脊柱侧凸患者）。

结论

脊柱畸形手术中各种原因导致矫正棒断裂是典型的并发症之一。它的大型研究小组中出现的频率很低。随着患者BMI和年龄的增加，这种并发症发生的风险也会增加，尽管对于20岁以下的一组患者来说，BMI与骨折的几率之间没有统计学上显著的阈值。现代的椎弓根系统将内矫正棒连接到椎体结构上，可以显著降低术后内矫正棒骨折的风险。

附加信息

资金来源。 这项研究没有赞助商的支持。

利益冲突。 作者没有利益冲突。

伦理审查。 这项研究《脊柱畸形手术中矫正棒的断裂》得到了医学伦理委员会 Novosibirsk Research Institute of

Traumatology and Orthopedics n. a. Ya. L. Tsivyan 俄罗斯卫生部的批准 (2019年4月10日的纪要№ 019/19-1)。

所有到诊所 Research Institute of Traumatology and Orthopedics n. a. Ya. L. Tsivyan 接受手术治疗的病人均须签署一份同意书, 同意处理及公布个人资料。

作者贡献

M. V. Mikhailovskiy — 负责研究方法的发展、数据分析、撰写文章的所有部分。

A. S. Vasura — 负责文献资料检索与分析、临床资料的处理。

V. L. Lukinov — 负责统计数据处理、结果分析, 并与合著者讨论。

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

- Ahmed SI, Bastrom TP, Yaszay B, et al. 5-Year reoperation risk and causes for revision after idiopathic scoliosis surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017;42(13):999-1005. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001968>.
- Carreon LY, Puno RM, Lenke LG, et al. Non-neurologic complications following surgery for adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(11):2427-2432. <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.00995>.
- Jain A, Puvanesarajah V, Menga EN, Sponseller PD. Unplanned hospital readmissions and reoperations after pediatric spinal fusion surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(11):856-862. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000000857>.
- Reames DL, Smith JS, Fu KM, et al. Complications in the surgical treatment of 19,360 cases of pediatric scoliosis: a review of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality database. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(18):1484-1491. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181f3a326>.
- Akazawa T, Kotani T, Sakuma T, et al. Rod fracture after long construct fusion for spinal deformity: clinical and radiographic risk factors. *J Orthop Sci*. 2013;18(6):926-931. <https://doi.org/10.1007/s00776-013-0464-4>.
- Dailey SK, Crawford AH, Asghar FS. Implant failure following posterior spinal fusion-caudal migration of a fractured rod: case report. *Spine Deform*. 2015;3(4):380-385. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2015.02.001>.
- Kavadi N, Tallarico RA, Lavelle WF. Analysis of instrumentation failures after three column osteotomies of the spine. *Scoliosis Spinal Disord*. 2017;12:19. <https://doi.org/10.1186/s13013-017-0127-x>.
- Smith JS, Shaffrey CI, Ames CP, et al. Assessment of symptomatic rod fracture after posterior instrumented fusion for adult spinal deformity. *Neurosurgery*. 2012;71(4):862-867. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3182672aab>.
- Smith JS, Shaffrey E, Klineberg E, et al. Prospective multicenter assessment of risk factors for rod fracture following surgery for adult spinal deformity. *J Neurosurg Spine*. 2014;21(6):994-1003. <https://doi.org/10.3171/2014.9.SPINE131176>.
- Lertudomphonwanit T, Kelly MP, Bridwell KH, et al. Rod fracture in adult spinal deformity surgery fused to the sacrum: prevalence, risk factors, and impact on health-related quality of life in 526 patients. *Spine J*. 2018;18(9):1612-1624. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.02.008>.
- Coe JD, Arlet V, Donaldson W, et al. Complications in spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis in the new millennium. A report of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality Committee. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(3):345-349. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000197188.76369.13>.
- Richards BS, Hasley BP, Casey VF. Repeat surgical interventions following “definitive” instrumentation and fusion for idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(26):3018-3026. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000249553.22138.58>.
- Weiss HR, Goodall D. Rate of complications in scoliosis surgery — a systematic review of the PubMed literature. *Scoliosis*. 2008;3:9. <https://doi.org/10.1186/1748-7161-3-9>.
- Mok JM, Cloyd JM, Bradford DS, et al. Reoperation after primary fusion for adult spinal deformity: rate, reason, and timing. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(8):832-839. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31819f2080>.
- Fu KM, Smith JS, Polly DW, et al. Morbidity and mortality associated with spinal surgery in children: a review of the Scoliosis Research Society morbidity and mortality database. *J Neurosurg Pediatr*. 2011;7(1):37-41. <https://doi.org/10.3171/2010.10.PEDS10212>.

16. Ramo BA, Richards BS. Repeat surgical interventions following “definitive” instrumentation and fusion for idiopathic scoliosis: five-year update on a previously published cohort. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(14):1211-1217. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31824b6b05>.
17. De la Garza Ramos R, Goodwin CR, Purvis T, et al. Primary versus revision spinal fusion in children: an analysis of 74,525 cases from the nationwide inpatient sample. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017;42(11):E660-E665. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001924>.
18. Yang BP, Ondra SL, Chen LA, et al. Clinical and radiographic outcomes of thoracic and lumbar pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal imbalance. *J Neurosurg Spine*. 2006;5(1):9-17. <https://doi.org/10.3171/spi.2006.5.1.9>.
19. Lykissas MG, Jain VV, Nathan ST, et al. Mid- to long-term outcomes in adolescent idiopathic scoliosis after instrumented posterior spinal fusion: a meta-analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38(2):E113-119. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31827ae3d0>.
20. Smith JS, Klineberg E, Lafage V, et al. Prospective multicenter assessment of perioperative and minimum 2-year postoperative complication rates associated with adult spinal deformity surgery. *J Neurosurg Spine*. 2016;25(1):1-14. <https://doi.org/10.3171/2015.11.SPINE151036>.
21. Wattenbarger JM, Richards BS, Herring JA. A comparison of single-rod instrumentation with double-rod instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(13):1680-1688. <https://doi.org/10.1097/00007632-200007010-00011>.
22. Soroceanu A, Diebo BG, Burton D, et al. Radiographical and implant-related complications in adult spinal deformity surgery: incidence, patient risk factors, and impact on health-related quality of life. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(18):1414-1421. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001020>.
23. Yoshihara H. Rods in spinal surgery: a review of the literature. *Spine J*. 2013;13(10):1350-1358. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.04.022>.
24. Albers HW, Hresko MT, Carlson J, Hall JE. Comparison of single- and dual-rod techniques for posterior spinal instrumentation in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(15):1944-1949. <https://doi.org/10.1097/00007632-200008010-00013>.
25. Fricka KB, Mahar AT, Newton PO. Biomechanical analysis of anterior scoliosis instrumentation: differences between single and dual rod systems with and without interbody structural support. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27(7):702-706. <https://doi.org/10.1097/00007632-200204010-00006>.
26. Lindsey C, Deviren V, Xu Z, et al. The effects of rod contouring on spinal construct fatigue strength. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(15):1680-1687. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000224177.97846.00>.
27. Kokabu T, Kanai S, Abe Y, et al. Identification of optimized rod shapes to guide anatomical spinal reconstruction for adolescent thoracic idiopathic scoliosis. *J Orthop Res*. 2018;36(12):3219-3224. <https://doi.org/10.1002/jor.24118>.
28. Garg S, Niswander C, Pan Z, Erickson M. Cross-links do not improve clinical or radiographic outcomes of posterior spinal fusion with pedicle screws in adolescent idiopathic scoliosis: a multicenter cohort study. *Spine Deform*. 2015;3(4):338-344. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2014.12.002>.
29. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, et al. Pseudarthrosis in long adult spinal deformity instrumentation and fusion to the sacrum: prevalence and risk factor analysis of 144 cases. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(20):2329-2336. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000238968.82799.d9>.
30. Dhawale AA, Shah SA, Yorgova P, et al. Effectiveness of cross-linking posterior segmental instrumentation in adolescent idiopathic scoliosis: a 2-year follow-up comparative study. *Spine J*. 2013;13(11):1485-1492. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.05.022>.
31. Cotrel Y, Dubousset J. C-D instrumentation in spine surgery. Principles, technicals, mistakes and traps. Montpellier: Sauramps Medical; 1992. 159 p.
32. Teles AR, Yavin D, Zafeiris CP, et al. Fractures after removal of spinal instrumentation: revisiting the stress-shielding effect of instrumentation in spine fusion. *World Neurosurg*. 2018;116:e1137-e1143. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.05.187>.
33. Renshaw TS. The role of Harrington instrumentation and posterior spine fusion in the management of adolescent idiopathic scoliosis. *Orthop Clin North Am*. 1988;19(2):257-267.
34. Hawes M. Impact of spine surgery on signs and symptoms of spinal deformity. *Pediatr Rehabil*. 2006;9(4):318-339. <https://doi.org/10.1080/13638490500402264>.

Information about the authors

Mikhail V. Mikhaylovskiy* — MD, PhD, D.Sc., Professor, Chief Researcher of the Spine Surgery Department for Children and Adolescents of the Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-4847-100X>. E-mail: MMihailovsky@niito.ru.

Alexander S. Vasujra — MD, PhD, Senior Researcher of the Spine Surgery Department for Children and Adolescents of the Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-2473-3140>.

Vitaliy L. Lukinov — PhD, Senior Researcher of the Laboratory of Numerical Analysis of Stochastic Differential Equations, Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>.