



ПЕРЕЛОМЫ СТЕРЖНЕЙ В ХИРУРГИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА (АНАЛИЗ МАТЕРИАЛА КЛИНИКИ И СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

© М.В. Михайловский¹, А.С. Васюра¹, В.Л. Лукинов²

¹ ФГБУ «Научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск;

² ФГБУН «Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН», Новосибирск

■ Для цитирования: Михайловский М.В., Васюра А.С., Лукинов В.Л. Переломы стержней в хирургии деформаций позвоночника (анализ материала клиники и систематический обзор литературы) // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2019. – Т. 7. – Вып. 4. – С. 15–26. <https://doi.org/10.17816/PTORS7415-26>

Поступила: 15.05.2019

Одобрена: 16.10.2019

Принята: 09.12.2019

Обоснование. Переломы стержней — одно из специфических осложнений в хирургии деформаций позвоночника. Количество публикаций на эту тему невелико, а выводы авторов часто противоречивы.

Цель — анализ проблемы переломов стержней эндокорректора при деформациях позвоночника различной этиологии с учетом частоты и факторов риска развития этого осложнения.

Материалы и методы. В исследование были включены 3833 пациента, оперированных в период с 1996 по 2018 г. Критерии включения — возраст старше 10 лет, отсутствие операций на позвоночнике в анамнезе.

Результаты. Переломы стержней металлоимплантатов выявлены у 85 больных из 3833 (2,2 %). Существует значимая разница между группами идиопатических и врожденных сколиозов. Перелом стержня у 62 больных из 85 послужил поводом для повторного вмешательства — восстановление целостности стержня коннектором либо полная его замена. Увеличение индекса массы тела на 1 повышает шансы перелома в 1,07 раза ($p = 0,019$), увеличение возраста на один год повышает шансы перелома в 1,03 раза ($p = 0,039$). Статистически значимой связи вентрального этапа оперативного лечения (дискэктомия и межтеловой спондилодез аутокостью) с переломом не обнаружено ($p = 0,403$). Статистически значимым предиктором в группе пациентов до 20 лет является возраст больше 15 лет ($p = 0,048$). Для индекса массы тела статистически значимого порога относительно шансов перелома в группе пациентов до 20 лет не выявлено. Гибридная система фиксации дает значительно меньший процент осложнений, чем крючковая.

Проведен систематический обзор литературных источников по обсуждаемой теме в международных базах данных Scopus, Medline, GoogleScholar, а также поиск публикаций по пристатейным спискам литературы.

Заключение. Переломы стержней в хирургии деформаций позвоночника различной этиологии представляют собой одно из типичных осложнений. Частота переломов стержней в больших группах исследования невелика. Риск развития этого осложнения повышается с увеличением индекса массы тела и возраста пациента, хотя для индекса массы тела статистически значимого порога относительно шансов перелома в группе пациентов до 20 лет не установлено. Современные педикулярные системы крепления эндокорректора к позвоночным структурам позволяют значительно снизить риск перелома стержней в послеоперационном периоде.

Ключевые слова: деформации позвоночника; хирургическое лечение; переломы стержней.

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

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.

Хирургия невозможна без осложнений, и оперативная коррекция деформаций позвоночника не является исключением. Существует ряд специфических вертебрологических осложнений, непосредственно связанных с металлоимплантатом (implant related complications — IRC): переломы стержней и шурупов, спонтанный демонтаж конструкции, смещение ее элементов, повреждение опорных костных структур, выстояние металлоимплантата под кожу. Осложнениям вертебральной хирургии посвящено огромное число исследований, но IRC отражены в них недостаточно и, что особенно заметно, недифференцированно, как некая однородная аморфная группа, составляющие элементы которой принципиально не отличаются друг от друга [1–4].

Переломам стержней эндокорректора как самостоятельной проблеме (а мы полагаем, что дело обстоит именно так) посвящено несколько работ [5–10], однако анализ их содержания не позволяет сделать вывод о частоте развития этого осложнения, поскольку рассматриваемые группы больных сравнительно невелики (максимум — несколько сотен), а полученные результаты весьма переменчивы (от 0 до 27 %). Авторы этих публикаций анализируют факторы риска переломов стержней, однако их данные подчас противоречивы, а потенциальное количество причин перелома стержня велико. Считаю важным отметить, что в отечественной литературе нам не удалось обнаружить публикаций по обсуждаемой проблеме.

Не все больные, включенные в исследование, были моложе 20 лет, однако дети и подростки составляли почти 70 % общего количества обследованных, а оперативное лечение пациентов различных возрастных категорий строится на единых принципах.

Цель — анализ современного состояния проблемы переломов стержней эндокорректора при деформациях позвоночника различной этиологии с учетом частоты и факторов риска развития этого осложнения.

Материал и методы

В исследование были включены 3833 пациента, оперированных в период с 1996 по 2018 г. по поводу деформаций позвоночника различной этиологии в возрасте старше 10 лет и не подвергавшихся операциям на позвоночнике до поступления в клинику: в возрасте 11–20 лет — 2670 (69,63 %) пациентов, 21–31 года — 852 (22,23 %) пациента, 31–40 лет — 252 (6,59 %) пациента, 41–50 лет — 59 (1,54 %) пациентов. Больные моложе 10 лет лечились в нашей клинике с применением многоэтапных методов «растущих стержней» (TGR, VERTR). Возникшие при этом осложнения (переломы стержней, смещения захватов и т. д.) купировали в ходе очередной этапной distraction. При переломах стержней у подростков и взрослых, которые подверглись единичному дорсальному вмешательству с использованием инструментария III поколения, применяли иной

лечебный подход и потому выделили их в отдельную группу. Верхняя возрастная граница у таких пациентов — 46 лет. Критерии исключения: вентральный позвоночный инструментарий, ранее проведенные операции на позвоночнике. В качестве эндокорректора использовали современный позвоночный дорсальный инструментарий, в подавляющем большинстве случаев изготовленный из титановых сплавов. В до- и послеоперационном периоде исследовали спондилограммы в прямой и боковой проекциях в положении стоя.

Статистические методы. Эмпирические распределения данных проверяли на соответствие нормальному распределению по критерию Шапиро – Уилка. Все данные распределены ненормально ($p < 0,001$). Оценки представлены в виде медианы, I и III квартилей.

Гипотезу о равенстве числовых характеристик выборочных распределений в сравниваемых группах проверяли с помощью непараметрического U -критерия Манна – Уитни, рассчитывали смещения распределений с построением 95 % доверительного интервала.

Предикторы передней операции выявляли путем построения моделей логистических регрессий. Отдельные предикторы вентрального этапа вмешательства определяли с помощью построения однофакторных моделей. Перед построением многофакторных моделей рассчитывали коллинеарные коварианты путем вычисления коэффициента корреляции Пирсона. Из исходных многофакторных моделей, включающих коварианты с достигнутым уровнем значимости $p < 0,300$, в однофакторных моделях для дополнительного контроля методами прямого и обратного шага по информационному критерию Акаике (AIC) строили оптимальные модели многофакторной логистической регрессии. Модели, полученные прямым и обратным шагом, совпали.

Статистические гипотезы проверяли при критическом уровне значимости $p = 0,05$, то есть различие считали статистически значимым, если

$p < 0,05$. Нижнюю границу мощности критерия принимали равной 80 %.

Все статистические расчеты проводили в программе Rstudio (version 1.2.5001 — © 2009–2019, США) на языке R (R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Австрия. URL: <https://www.R-project.org/>).

Результаты

В общей сложности переломы стержней металлоимплантатов выявлены у 85 больных из 3833, что составляет 2,2 %. У 3068 больных идиопатическим сколиозом (ИС) переломы отмечены 64 раза (2,1 %), у 374 с врожденными деформациями — 15 (4,0 %) раз, у 391 пациента с деформациями иной этиологии (нейрофиброматоз — 4, болезнь Шойермана — 1, нейромышечный сколиоз — 1) — 6 раз (1,5 %). Статистическая обработка показывает, что без учета ошибки множественных сравнений существует значимая разница между группами идиопатических и врожденных сколиозов (отношение шансов (ОШ) 0,51 [0,28; 0,97] ($p = 0,027$)), между врожденными сколиозами и прочими деформациями (ОШ 2,68 [0,97; 8,52] ($p = 0,045$)). С учетом поправки на ошибку множественных сравнений статистически значимой разницы в группах не обнаружено (табл. 1).

Достаточно большое количество переломов стержней у больных врожденными деформациями позвоночника побудило нас отдельно рассмотреть эту группу пациентов. Расчеты показали, что статистически значимым фактором риска является исходная величина кифотического компонента врожденной деформации позвоночника более 100°. В этом случае ОШ перелома стержня повышается в 5,44 [1,72; 16,38] раза ($p = 0,003$).

Из 85 больных 60 были оперированы с применением только крючковой фиксации, 24 — гибридной (крючки и педикулярные шурупы) и 1 — после использования системы all screws. Эти различия

Таблица 1

Частота переломов стержней и этиология деформации позвоночника

Этиологические формы	Количество пациентов	Количество переломов n , % [95 % ДИ]	Двусторонний критерий Фишера
			ОШ [95 % ДИ] (p , скорректированное p)
1 — идиопатические	3068	64, 2,1 % [1,6; 2,7]	1–2: 0,51 [0,28; 0,97] (0,027*; 0,068) 1–3: 1,37 [0,59; 3,89] (0,570; 0,570) 2–3: 2,68 [0,97; 8,52] (0,045*; 0,068)
2 — врожденные	374	15, 4,0 % [2,4; 6,5]	
3 — прочие деформации	391	6, 1,5 % [0,7; 3,3]	

Примечание. Для учета эффекта множественных сравнений рассчитывали скорректированное p методом Бенжамини – Хохберга. ОШ — отношение шансов; ДИ — доверительный интервал.

Таблица 2

Частота переломов стержней и тип фиксации эндокорректора

Тип фиксации	Количество пациентов	Количество переломов <i>n</i> , % [95 % ДИ]	Двусторонний критерий Фишера
			ОШ [95 % ДИ] (<i>p</i> , скорректированное <i>p</i>)
1 — крючковая	1725	60, 3,5% [2,7; 4,5]	1–2: 1,82 [1,11; 3,07] (0,013*; 0,013*) 1–3: 20,5 [3,5; 821] (<0,001*; <0,001*) 2–3: 11,3 [1,8; 463] (0,002*; 0,003*)
2 — гибридная	1236	24, 1,9% [1,3; 2,9]	
3 — педикулярная	570	1, 0,2 % [0,0; 0,9]	

Примечание. Для учета эффекта множественных сравнений рассчитывали скорректированное *p* методом Бенжамини – Хохберга. ОШ — отношение шансов; ДИ — доверительный интервал.

Таблица 3

Общая характеристика исследуемых пациентов (*N* = 3529)

Переменные	Значения
Индекс массы тела, Me [IQR] M ± CD	19,2 [17,4; 21,2] 19,59 ± 3,35
Возраст, лет Me [IQR] M ± CD	16,4 [14,3; 20,3] 18,43 ± 6,45
Диагноз, <i>n</i> (%): болезнь Шойермана синдромальные сколиозы идиопатический сколиоз врожденный сколиоз	16 (0,5 %) 352 (10 %) 2820 (79,9 %) 340 (9,6 %)
Вентральная операция <i>n</i> , % [95 % ДИ]	1039, 29 % [28; 31]
Перелом стержня <i>n</i> , % [95 % ДИ]	83, 2 % [2; 3]

Примечание. ДИ — доверительный интервал; Me — медиана; IQR — межквартильный интервал; M ± CD — среднее арифметическое значение ± стандартное отклонение.

Таблица 4

Однофакторные логистические регрессии перелома стержня в группе пациентов в возрасте до 20 лет

Переменные	ОШ [95 % ДИ]	Уровень <i>p</i>
Индекс массы тела	1,07 [0,98; 1,16]	0,126
Возраст	1,12 [0,99; 1,28]	0,066
Передняя операция	0,82 [0,43; 1,49]	0,533
Возраст >15 лет	1,82 [1,02; 3,38]	0,048*

Таблица 5

Однофакторные логистические регрессии перелома стержня в группе пациентов в возрасте после 20 лет

Переменные	ОШ [95 % ДИ]	Уровень <i>p</i>
Индекс массы тела	1,05 [0,95; 1,15]	0,326
Возраст	0,98 [0,92; 1,04]	0,536
Передняя операция	0,86 [0,34; 1,92]	0,723

Примечание. ОШ — отношение шансов; ДИ — доверительный интервал.

статистически значимы (табл. 2). Суммарное количество пациентов в табл. 2 (3531) меньше вышеприведенного числа обследованных (3833), что связано с ошибками при внесении информации в электронную базу данных, однако неучтенные здесь наблюдения с переломами стержней не связаны.

Перелом одного стержня выявлен у 51 пациента, двух — у 34 пациентов. Уровень нарушения целостности стержня варьировал в значительных пределах: Th₆–Th₁₀ — 16 больных, Th₁₁–L₄ — 65, L₅–S₁ — 1 больной. Количество использованных при монтаже эндокорректора поперечных тяг (device for transverse traction — DTT) было различным: 1 — у 4 больных, 2 — у 78, 3 — у двух, в одном случае DTT не использовали. Мы обращаем на это внимание потому, что в процессе многолетней работы у нас сложилось впечатление, что локализация переломов стержней зависит от локализации DTT, которые стандартно располагались на концах конструкции. Измерение расстояния от DTT до места перелома стержня у 63 больных показало, что в 22 случаях оно не превышает 2,5 см, в 37 — варьирует от 3 до 17 см, а у одного больного перелом отмечен при отсутствии поперечной тяги.

Перелом стержня у 62 больных из 85 послужил поводом для повторного вмешательства — восстановление целостности стержня коннектором либо полная его замена. Показаниями к этой операции являлись потеря достигнутой коррекции и болевой синдром. У 18 больных из этих 62 отмечен рецидив перелома, что потребовало проведения от 2 до 4 повторных операций. Точные сроки перелома стержня в большинстве случаев выявить не удалось, хотя некоторые пациенты указывали на травму, которая могла стать причиной развития осложнения. В среднем повторное вмешательство осуществлено через 38,4 мес. (4–126 мес.) после корригирующей операции.

Была сделана попытка установить зависимость между частотой переломов стержней, с одной стороны, и такими факторами, как индекс массы

тела (ИМТ), возраст пациентов и операция вентрального спондилодеза — с другой (табл. 3). Путем построения однофакторных моделей логистической регрессии выявлено, что:

- увеличение ИМТ на 1 повышает шансы перелома в 1,07 [1,01; 1,14] раза ($p = 0,019$);
- увеличение возраста на год повышает шансы перелома в 1,03 [1; 1,06] раза ($p = 0,039$);
- статистически значимая связь вентрального этапа оперативного лечения (дискэктомия и межтеловой спондилодез аутокостью) с переломом отсутствует ($p = 0,403$).

Отдельно были проанализированы факторы риска перелома стержня для возрастных групп до 20 лет и старше 20 лет (табл. 4, 5).

Статистически значимым предиктором в группе до 20 лет являлся возраст больше 15 лет, у этих пациентов отношение шансов перелома стержня повышалось в 1,82 [1,02; 3,38] раза ($p = 0,048$). Для ИМТ статистически значимого порога относительно шансов перелома в группе до 20 лет обнаружено не было.

Статистически значимых предикторов в группе после 20 лет не выявлено.

Обзор литературных данных

Для сбора информации по обсуждаемой теме мы использовали международные базы данных Scopus, Medline, GoogleScholar. Кроме того, дополнительно проводили поиск публикаций по предметным спискам литературы.

Проблема переломов стержней эндокорректора существует со времен Харрингтона, но ортопедическая литература содержит удручающе мало сведений по этому вопросу (табл. 6). Тема эта многоаспектная, что предопределяет характер ее обсуждения.

Частота осложнений и повторных вмешательств. Сое et al. проанализировали 6334 случая оперативного лечения идиопатического сколиоза подростков (ИСП) [11]. Осложнения выявлены в 363 случаях (5,7 %), частота IRC составила 0,25 %. По данным Richards et al., количество реопераций — 172 у 135 пациентов (12,9 %) из 1046 больных ИС [12]. По сведениям Carreon et al., из 702 больных ИСП у трех пациентов зарегистрирована поздняя несостоятельность (late failure) без расшифровки, которая потребовала реоперации [2]. Weiss, Goodall представили систематический обзор 287 работ [13]. Они сообщили, что частота осложнений в хирургии сколиоза варьирует от 0 до 89 %. В частности, послеоперационное прогрессирование деформации может быть следствием перелома стержня. Реоперации при де-

формациях позвоночника у взрослых, по данным Mok et al., отмечены в 25,8 % у 89 больных [14]. Fu et al. представили обзор осложнений, в который вошли 23 918 пациентов, оперированных по поводу деформаций позвоночника различной этиологии, средний возраст составил 13 лет [15]. Общее количество осложнений — 2020 (8,5 %), включая 1,4 % IRC. При идиопатическом сколиозе частота реопераций составила 7,5 % (34 из 452), при этом перелом стержня произошел только в одном случае [16]. По сведениям Jain et al., у 1002 пациентов детского возраста, оперированных по поводу деформаций позвоночника, повторная госпитализация отмечена в 8 % случаев, повторная операция — в 3,8 % [3]. Информации о переломах стержней авторы не представили. Ahmed et al. [1] проанализировали результаты оперативного лечения 1435 больных ИСП в возрасте от 10 до 22 лет. В сроки 5 лет после вмешательства реоперации проведены в 75 случаях (5,2 %), при этом в 22 случаях — в пределах 3 мес. после операции, в 10 — до 1 года, в 12 — до 2 лет, в 20 — до 5 лет и в 10 — после 5 лет. Авторы приводят данные литературы, согласно которым несостоятельность имплантата (IF — implant failure) встречается с частотой от 0,7 до 1,4 % [16]. Причины реоперации: расшатывание педикулярного шурупа (3), смещение крюка (2), выкручивание шурупа (2), переломы стержня и ложный сустав блока (9).

De la Garza Ramos et al. проанализировали 74 525 случаев хирургического лечения позвоночника у детей, причем 2052 операции были ревизионными (2,7 %). В целом количество осложнений в первичной группе составило 8,6 %, в ревизионной — 16,7 %. Осложнения, связанные с имплантатами, в группе первичных операций зарегистрированы в 0,4 % случаев, в ревизионной группе — в 5,3 % [17].

Частота переломов стержней. В обзоре Yang et al., включавшем 35 пациентов с PSO (pedicle subtraction osteotomy — транспедикулярная укорачивающая вертебротомия) в грудном и поясничном отделах, перелом стержня обнаружили у 11 % (3 случая) пациентов сначала с одной стороны, потом — с другой. Все переломы произошли в поясничном отделе, поскольку здесь больше нагрузка и отсутствует стабилизирующее влияние грудной клетки. Для изготовления стержней использовали титан, который не ухудшает качества МРТ-изображения, но хрупок и склонен к микропереломам. Во всех случаях потребовались реоперации [18]. Мультицентровое исследование Lykissas et al. показало, что переломы стержней достигают 6,8 % (30 из 442) в хирургии сколиоза: титановые сплавы — 8,6 %,

Таблица 6

Литературные данные по проблеме переломов стержней в хирургии деформаций позвоночника

Авторы	Год	Количество больных	Возраст	Этиология деформации	Тип операции	Осложнения	Реоперации	IRC	Переломы стержней
Coe et al.	2006	4369	Подростки	ИС	Дорсальный инструментарий	221 (5,1 %)	-	28 (0,64 %)	-
Richards et al.	2006	1046	14,5 года	ИС	Дорсальный, вентральный инструментарий	-	172 операции у 135 больных (12,9 %)	15 (1,4 %)	-
Yang et al.	2006	35	Взрослые	Дегенеративный сколиоз	PSO	15 (42,8 %)	-	6 (22 %)	3 (11 %)
Carreon et al.	2007	702	14,2	ИСП	Дорсальный инструментарий	108 (15,4 %)	5 (0,71 %)	3 (0,43 %)	-
Mok et al.	2009	89	Взрослые	Дегенеративный сколиоз	Дорсальный инструментарий	-	25,8 %	4	0
Fu et al.	2011	23 918	13	Преимущественно ИСП	-	2020 (8,5 %)	-	371 (1,6 %)	-
Ramo, Richards	2012	452	14,6	Преимущественно ИСП	Дорсальный инструментарий	-	34 (7,5 %)	11 (2,4 %)	0
Smith et al.	2012	442	Взрослые	Дегенеративный сколиоз	Дорсальный инструментарий, PSO	-	-	-	30 (6,8 %), при PSO — 15,8 %
Akazawa et al.	2013	155	19	ИСП	Дорсальный инструментарий	-	-	-	8 (5,2 %)
Smith et al.	2014	200	Взрослые	Дегенеративный сколиоз	Дорсальный инструментарий, PSO	-	-	-	18 (9 %), после PSO — 22 %, без PSO — 4,7 %
Jain et al.	2015	1002	10–18 лет	Преимущественно ИСП	Дорсальный инструментарий	-	3,8 %	9 (0,9 %)	-
Smith et al.	2016	291	Взрослые	-	Дорсальный инструментарий, 64 % — вертебро-томии	469 у 203 (69,8 %) больных	-	-	40 (13,7 %)
Ahmed et al.	2016	1435	15,2	ИСП	-	-	75 (5,2 %)	-	9
De la Garza Ramos et al.	2017	74 525	-	-	-	8,6 %, в ревизионной группе — 16,7 %	2052 (2,7 %)	0,4 %, в ревизионной группе — 5,3 %	-
Kavadi et al.	2017	26	19 — взрослые, 7 — дети	Сколиозы различной этиологии	PSO, VCR	-	-	-	7 (27 %)
Thamrong et al.	2018	526	взрослые	-	-	-	-	-	97 (18–4 %)

Примечание. ИС — идиопатический сколиоз; ИСП — идиопатический сколиоз подростков; PSO — транспедикулярная укорачивающая вертебротомия; IRC — осложнения, связанные с имплантатом; VCR — резекция позвоночного столба.

сталь — 7,4 %, кобальт – хром — 2,4 % [19]. Akazawa et al. рассматривали результаты лечения 155 пациентов с деформациями различной этиологии (большинство — ИСП). Средний возраст пациентов составил 19 лет, средний срок наблюдения — 46 мес. Исходно угол по Коббу основной дуги составил 61°, средняя протяженность зоны инструментария равнялась 10 сегментам. Перелом стержня выявлен у 8 больных (5,2 %). Переломы происходили в среднем через 18 мес. после вмешательства. Уровень перелома варьировал от грудопоясничного до пояснично-крестцового отдела, причем у 6 больных перелом стержня отмечен близко к нижнему инструментированному позвонку [5].

Dailey et al. описали случай перелома двух стержней у 24-летней женщины с полным высвобождением одного фрагмента из головок шурупов и миграцией в ягодичную область, откуда он и был удален [6]. Kavadı et al. проанализировали частоту переломов стержней у 26 больных после операции трехколонной вертебротомии (PSO, VCR (vertebral column resection — резекция позвоночного столба). В 7 случаях (27 %) зарегистрированы переломы стержней, чаще (5 больных) — обоих. В 71 % наблюдений появились боли и нарушение сагиттального баланса, в остальных случаях симптомов не отмечено. Диагноз перелома устанавливали примерно через год после операции, 6 из 7 — на уровне вертебротомии. Среднее количество заблокированных сегментов — 11,2. Применяли титановые стержни (все переломы), только у 2 детей — стальные. Срок перелома — 6–12 мес. [7].

Thamrong et al. исследовали частоту переломов стержней у взрослых пациентов после операции дорсального спондилодеза протяженностью до крестца: 526 больных в возрасте от 18 до 80 лет (в среднем 56,8), средний срок наблюдения — 57 мес. [10]. Переломы стержней констатированы в 97 случаях (18,4 %), при этом один стержень был сломан у 61 больного, два — у 36. Более надежными оказались стержни, изготовленные из нержавеющей стали. Перелом стержня авторы определяют как нарушение его целостности хотя бы в одном месте после первичного вмешательства. Перелом стержня зафиксирован в среднем через 39,6 мес. после операции: до 3 лет — у 51 больного, от 3 до 5 лет — у 23, от 5 до 10 лет — у 22 и свыше 10 лет — у одного пациента. У 36 больных с односторонним переломом отмечено 79 точек нарушения целостности, при этом у одного пациента стержень был сломан в четырех местах. Чаще всего стержни ломались на уровне сегментов L₅-S₁ и L₃-L₄. У 57 больных при самом позднем обследовании не выявлено более и потери коррекции,

другие 40 больных подвергнуты ревизионному вмешательству в связи с болевым синдромом, потерей коррекции, выстоянием имплантатов. Чаще оперировали пациентов с переломом обеих стержней, при этом временной отрезок между диагностикой перелома и ревизионной операцией составил 3 мес.

Серия работ Smith et al. посвящена переломам стержней после дорсальных вмешательств по поводу деформаций позвоночника у взрослых пациентов — это мультицентровые исследования, проведенные несколько различающимися по составу группами авторов [8, 9, 20]. Значительная часть пациентов во всех трех группах оперирована с применением PSO. В работе 2012 г. сообщено о 442 больных, среди которых перелом стержней отмечен у 30 (6,8 %). Стержни, изготовленные из кобальтохромового сплава, ломались достоверно реже, чем титановые. Боль была основным симптомом в 97 % случаев перелома стержня. Для 22 пациентов из 30 представлены показатели роста и веса перед операцией, ИМТ в этой группе составил 30, что соответствует категории ожирения. Перелом одного стержня выявлен у 21 больного, двух — у 9. Большинство стержней ломалось в поясничном и грудопоясничном отделах позвоночника. В 22 случаях использовали ДТТ (один или более), при этом только в трех случаях стержень был сломан на уровне поперечной тяги. Операция PSO осложнилась переломом стержней в 15,8 % (18 из 114) случаев. Средний временной отрезок между операцией и переломами стержней составил 15,7 мес. (2–73 мес.). Ревизионные операции проведены 26 больным из 30, ни в одном случае сломанные стержни не удаляли, проводили реконструкцию с восстановлением опороспособности конструкции. Авторам удалось установить связь переломов стержней с исходными нарушениями сагиттального баланса.

В публикации 2014 г. Smith et al. анализировали группу из 200 больных, переломы стержней выявлены у 18 (9 %) из них, причем после PSO — в 22 % случаев [9]. В третьей из работ группы Smith et al., посвященной осложнениям корригирующих вмешательств на позвоночнике у взрослых, частота переломов стержней констатирована на уровне 13,7 % (40 случаев на 291 больного) [20].

Факторы риска перелома стержня изучали ряд авторов. Wattenbarger et al. сообщили, что при использовании двухстержневой конструкции переломов стержней не было у всех 103 больных, а в группе пациентов, оперированных с применением одностержневой конструкции, перело-

мы стержней отмечены 9 раз (21 %), из которых 6 случаев сопровождались болевым синдромом и 5 потребовали реоперации [21]. Akazawa et al. факторами риска перелома стержня после операций по поводу деформаций позвоночника считают постельный режим, дооперационный кифоз, маленький диаметр стержня, многократные вмешательства, использование подвздошных шурупов [5]. Факторами риска не являлись пол, ожирение, величина сколиотической деформации, металл, из которого сделан стержень. По мнению Soroceanu et al., абсолютный вес больного имеет большее значение в развитии биомеханических осложнений, чем ИМТ [22]. В качестве факторов риска они называют многочисленные сопутствующие заболевания, большую деформацию в сагиттальной плоскости. В публикации 2014 г. Smith et al. среди факторов риска отметили более старший возраст пациентов, ожирение, наличие вертебральных операций в анамнезе, сагиттальный дисбаланс, стержни из кобальтохромового сплава [9]. Kavadi et al., изучавшие результаты радикальных операций (PSO, VCR), среди основных причин назвали повышенное напряжение на стержнях и относительный дефицит костной ткани в месте ламинэктомии [7]. Thamrong et al., анализирувшие результаты спондилодеза с захватом крестца у взрослых пациентов, факторами риска считают сагиттальный дисбаланс, дооперационный поясничный кифоз, протяженность формируемого блока [10].

По Yoshihara et al., существует три варианта сплавов, из которых готовят стержни: железо – хром – никель (нержавеющая сталь), титан и его сплавы, сплавы на основе кобальта и хрома [23]. Титан характеризуется биосовместимостью, устойчивостью к коррозии, не влияет на качество МРТ-изображений. Стабильность фиксации стержня зависит от таких биомеханических свойств сплава, как предел текучести, жесткость и усталостная прочность. Идеальные цифры этих параметров неизвестны. Кроме того, имеют значение материал, длина, диаметр, форма, количество стержней. Так, Albers et al., Friska et al. показали, что двухстержневая конструкция существенно прочнее одностержневой при использовании как дорсального, так и вентрального инструментария в хирургии ИС [24, 25]. Интраоперационный изгиб может привести к появлению поверхностных микродефектов. Поверхностные микродефекты могут возникнуть и в месте контакта стержня с крюком или шурупом, что вызывает усталостное нарушение стабильности стержня — «чувствительность к царапине» (notch sensitivity). Как известно, концентрация напряжения в виде царапин, просечек

и т. д. значительно влияет на усталость металла, потому что переломы почти всегда возникают в точке начального повышения напряжения.

Изгибы стержней и переломы. Lindsey et al. провели механическое исследование стержней (усталость металла) из титана и нержавеющей стали. Оказалось, что предварительно изогнутые с помощью французского изгибателя (french bender) стержни независимо от вида металла ломались в одном из мест изгиба [26]. Прямые стержни, как титановые, так и стальные, ломались в точке крепления головки шурупа к стержню. Kokabu et al. установили, что интраоперационное контурирование стержней для оптимизации анатомических взаимоотношений в грудном отделе позвоночника снижает риск их перелома [27]. Они изучали 46 больных ИСП и выяснили, что неправильный изгиб приводит к концентрации нагрузок в определенных точках, что может стать причиной усталостного перелома стержня.

Использование поперечных тяг в крючковых системах практически никто не оспаривал, однако повсеместный переход на педикулярные шурупы существенно изменил ситуацию. Garg et al., исследовав две группы больных — 377 человек, оперированных с использованием ДТТ и 123 без ДТТ, пришли к выводу, что поперечные тяги не дают никаких преимуществ при технике all screw у больных ИСП [28]. Более того, ДТТ могут быть причиной развития псевдоартроза за счет нарушения формирования костного блока по средней линии. При исследовании у взрослых оказалось, что ложные суставы в 69 % случаев формируются именно в месте расположения ДТТ [29]. К аналогичному выводу пришли Dhawale et al., проанализировавшие результаты оперативного лечения 125 больных ИСП (75 пациентов с ДТТ и 50 — без них) [30].

Еще один редко обсуждаемый аспект — *удаление эндокорректора*. Создатели инструментария Cotrel – Dubousset (CDI) рекомендуют не делать этого без необходимости, поскольку удаление массивного металлоимплантата — запаянного костью сформированного артификального блока, — большое травматичное вмешательство [31]. Teles et al. считают, что удалять эндокорректор следует только по очень обоснованным показаниям, так как, по их данным, имплантат защищает позвоночный столб от неадекватных нагрузок (stress-shielding effect). В противном случае возможно развитие механических осложнений (перелом костного блока) при отсутствии травмирующего воздействия [32].

В целом, несмотря на весьма ограниченное количество исследований, проблема, связанная с имплантатами, достаточно серьезная. Renshaw

писал: «Можно ожидать, что если пациент живет достаточно долго, вероятность перелома стержня становится реальной» [33]. Hawes предложил предупреждать больного и его родных о том, что операция может быть не последней [34].

Обсуждение

С годами накапливается опыт сколь прискорбных, столь и неизбежных осложнений в вертебрологической практике. При этом в хирургической вертебрологии существует ряд осложнений, которые допустимо считать специфическими, а именно осложнения, связанные с имплантатами, нагноения (ранние и поздние), развитие или усугубление неврологической симптоматики. Вопросам развития и лечения этих осложнений посвящено огромное количество исследований, хотя проблема IRC в этом плане, как мы полагаем, далека от разрешения. Исходя из литературных данных по переломам стержней эндокорректора в хирургии деформаций позвоночника, можно говорить о значительной неоднородности количественных показателей частоты развития осложнения и неоднозначности самой оценки проблемы.

Проанализированный нами клинический материал самый обширный из опубликованных — 3833 пациента, из которых у 85 констатированы переломы стержней. В клинике получают хирургическое лечение пациенты с деформациями позвоночника различной этиологии, и не только детского и подросткового возраста. В то же время мы исключили из исследования пациентов, оперированных в возрасте до 10 лет, поскольку хирургическая тактика применительно к этим детям принципиально отличается от таковой у больных других возрастных групп. Нас интересовали частота и факторы риска развития осложнения. Частота (2,2 %) оказалась сравнительно небольшой, особенно с учетом некоторых литературных данных. Этиология сколиоза фактором риска не является, но при врожденных деформациях переломы стержней в процентном отношении отмечены чаще, вероятно, в силу специфики этой патологии. Одна из особенностей — наличие в большом проценте случаев кифотического компонента деформации. Оказалось, что врожденный кифоз выступает фактором риска лишь по достижении величины 100°. В результате первого этапа двухэтажного вмешательства (дискэктомия) теоретически может снижаться опорность вентральной колонны позвоночника, что не является фактором риска развития осложнения. В то же время ИМТ, возраст (в том числе в возрастных груп-

пах до и после 20 лет, рассмотренных отдельно) и особенно тип фиксации эндокорректора могут влиять на количество осложнений, в частности, транспедикулярная фиксация гораздо реже сопровождается переломом стержня, чем гибридная или крючковая. Риск повреждения стержней повышается в возрасте от 15 до 20 лет. Предположение, что локализация перелома стержня связана с местом установки ДТТ, не получило убедительного подтверждения. Проведенный нами многофакторный анализ, разумеется, не может считаться окончательным хотя бы потому, что количество изучаемых факторов может быть сколь угодно большим.

Основным ограничением информативности исследования считаем неоднородность группы больных (хотя подавляющее их большинство — пациенты с идиопатическим сколиозом).

Заключение

Переломы стержней в хирургии деформаций позвоночника различной этиологии представляют собой одно из типичных осложнений. Его частота в больших группах исследования невелика. Риск развития этого осложнения повышается с увеличением ИМТ и возраста пациента, хотя для ИМТ статистически значимого порога относительно шансов перелома в группе до 20 лет не обнаружено. Современные педикулярные системы крепления эндокорректора к позвоночным структурам, в свою очередь, позволяют значительно снизить риск перелома стержней в послеоперационном периоде.

Дополнительная информация

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Этическая экспертиза. Исследование «Переломы стержней в хирургии деформаций позвоночника» одобрено комитетом по медицинской этике Новосибирского НИИТО им. Я.Л. Цивьяна Минздрава России (протокол № 019/19-1 от 10 апреля 2019 г.).

Все больные, поступающие в клиники ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна для оперативного лечения, подписывают согласие на обработку и публикацию персональных данных.

Вклад авторов

М.В. Михайловский — разработка методологии исследования, анализ данных, написание всех разделов статьи.

А.С. Васюра — поиск и анализ данных литературы, обработка материала клиники.

В.Л. Лукинов — статистическая обработка данных, анализ полученных результатов, обсуждение их с соавторами.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Литература

- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.

Сведения об авторах

Михаил Витальевич Михайловский* — д-р мед. наук, профессор, главный научный сотрудник отделения детской и подростковой вертебрологии НИИТО им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-4847-100X>. E-mail: MMihailovsky@niito.ru.

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.

Александр Сергеевич Васюра — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения детской и подростковой вертебрологии НИИТО им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-2473-3140>.

Виталий Леонидович Лукинов — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией анализа стохастических дифференциальных уравнений Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск. <https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>.

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>.