



# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКОВ НЕДОСТАТОЧНОЙ КОРРЕКЦИИ ПОЯСНИЧНОЙ ПРОТИВОДУГИ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ТЯЖЕЛЫМИ ИДИОПАТИЧЕСКИМИ СКОЛИОЗАМИ С ОСНОВНОЙ ГРУДНОЙ СКОЛИОТИЧЕСКОЙ ДУГОЙ

**А.С. Васюра, А.В. Бузунов, А.Ю. Сергунин, В.Л. Лукинов, В.В. Новиков**

*Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии  
им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия*

**Цель исследования.** Выявление факторов, влияющих на степень коррекции поясничной противодуги, для прогнозирования рисков ее недостаточной коррекции при хирургическом лечении тяжелого идиопатического сколиоза.

**Материал и методы.** Проанализированы результаты лечения 168 пациентов с идиопатическим сколиозом с медианой грудной сколиотической дуги 90,5° и поясничной противодуги 62,0°, оперированных в 1999–2021 гг. Медианный срок послеоперационного наблюдения — 4,6 года. Путем построения моделей логистической регрессии выявляли предикторы недостаточной коррекции поясничной противодуги.

**Результаты.** С учетом величины коррекции поясничной противодуги пациентов разделили на две группы: менее 50 % от исходной величины ( $n = 62$ ; 36,9 %), более 50 % от исходной величины ( $n = 101$ ; 60,1 %). В группах выявлены значимые различия по полу (мужчин 26,0 % и 11,9 %), возрасту (16,0 и 14,0 года;  $p < 0,001$ ), мобильности противодуги (36,7 и 47,6 %;  $p < 0,001$ ). Путем построения однофакторных моделей логистической регрессии выявлены предикторы недостаточной коррекции: противодуга более 37,5°, возраст более 15,8 года, мужской пол, мобильность противодуги менее 31,4 %. Для прогнозирования риска недостаточной коррекции поясничной противодуги разработана формула многофакторной модели, позволившая прогнозировать ее с чувствительностью 73,8 %.

**Заключение.** Совокупность таких факторов, как поясничная противодуга более 37,7°, ее мобильность менее 31,4 %, мужской пол, перекос лопаток менее 12,0° и расстояние от линии отвеса до пупка менее 5 мм, позволяет с диагностической точностью 81,0 % прогнозировать риск коррекции поясничной противодуги дуги менее 50 %.

**Ключевые слова:** тяжелый идиопатический сколиоз; поясничная противодуга; предикторы; прогнозирование.

**Для цитирования:** Васюра А.С., Бузунов А.В., Сергунин А.Ю., Лукинов В.Л., Новиков В.В. Прогнозирование рисков недостаточной коррекции поясничной противодуги при хирургическом лечении пациентов с тяжелыми идиопатическими сколиозами с основной грудной сколиотической дугой // Хирургия позвоночника. 2026. Т. 23, № 2. С. 16–25. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.2.16-25>

## PREDICTING THE RISK OF INSUFFICIENT CORRECTION OF THE LUMBAR COUNTERCURVE IN SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH SEVERE IDIOPATHIC SCOLIOSIS WITH A PRIMARY THORACIC CURVE

A.S. Vasyura, A.V. Buzunov, A.Yu. Sergunin, V.L. Lukinov, V.V. Novikov

*Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russia*

**Objective.** To identify the factors affecting the degree of lumbar countercurve correction, in order to predict the risks of its insufficient correction during surgical treatment of severe idiopathic scoliosis with a primary thoracic curve.

**Material and Methods.** The outcomes of treatment of 168 patients with idiopathic scoliosis with a median thoracic curve of 90.5° and lumbar countercurve of 62.0° operated on in 1999–2021, were analyzed. The median postoperative follow-up period was 4.6 years. Logistic regression models were used to identify predictors of insufficient lumbar countercurve correction.

**Results.** Taking into account the lumbar countercurve correction magnitude, patients were divided into two groups: less than 50% of the initial magnitude ( $n = 62$ ; 36.9%) and more than 50% of the initial magnitude ( $n = 101$ ; 60.1%). Significant differences were found in the groups in gender (men, 26.0% vs 11.9%), age (16.0 vs 14.0 years;  $p < 0.001$ ), and countercurve mobility (36.7 vs 47.6%;  $p < 0.001$ ). Building single-factor logistic regression models allowed identifying predictors of insufficient correction: countercurve more than 37.5°, age more than 15.8 years, male gender, and countercurve mobility less than 31.4%. A formula based on a multivariate model was developed to predict the risk of insufficient correction of the lumbar countercurve with a sensitivity of 73.8%.

**Conclusion.** The combination of factors including lumbar countercurve greater than  $37.7^\circ$ , its mobility less than 31.4%, male gender, scapular tilt less than  $12.0^\circ$ , and a plumb-to-umbilicus distance less than 5 mm allows for predicting the risk of lumbar countercurve correction of less than 50% with a diagnostic accuracy of 81.0%.

**Key Words:** severe idiopathic scoliosis; lumbar countercurve; predictors, prediction.

Please cite this paper as: Vasyura AS, Buzunov AV, Sergunin AYu, Lukinov VL, Novikov VV. Predicting the risk of insufficient correction of the lumbar countercurve in surgical treatment of patients with severe idiopathic scoliosis with a primary thoracic curve. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2026;23(2):16–25. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.2.16-25>

Идиопатический сколиоз с основной грудной сколиотической дугой является наиболее распространенной формой деформации позвоночника, одна из задач хирургического лечения которой – предотвращение дальнейшего прогрессирования искривления при минимальной протяженности спондилодеза без ущерба глобальному балансу [1].

При идиопатическом сколиозе типа 1 по Lenke предлагается применение селективного спондилодеза с инструментальной фиксацией грудной дуги в расчете на спонтанную коррекцию поясничного отдела позвоночника [2]. В дальнейшем такой подход распространился и на деформации типов 2–4 по Lenke [1, 3]. Однако при грубых и ригидных грудных сколиозах, характеризующихся клиническими проявлениями и внутренними механизмами, отличающимися от обычного идиопатического сколиоза, возникает необходимость в особом подходе к прогнозированию рисков развития феномена adding-on и выбору верного уровня нижнего инструментированного позвонка [4].

При наличии поясничной сколиотической дуги (поясничной противодуги), наряду со стремлением включать в зону спондилодеза как можно меньше позвонков, необходимо добиваться, чтобы каудальный инструментированный позвонок был стабильным, нейтральным и горизонтальным по отношению к крестцу [5].

Так как современные исследования акцентированы в основном на обосновании эффективности селективного спондилодеза и степени самокоррекции поясничных и грудопоясничных сколиотических дуг, представляется актуальным исследование факторов, влияющих на коррекцию поясничных

противодуг при хирургическом лечении тяжелых идиопатических сколиозов с основной грудной сколиотической дугой.

Цель исследования – выявление факторов, влияющих на степень коррекции поясничной противодуги, для прогнозирования рисков ее недостаточной коррекции при хирургическом лечении тяжелого идиопатического сколиоза.

#### Материал и методы

Проведено ретроспективное моноцентровое когортное нерандомизированное контролируемое исследование результатов оперативного лечения 168 пациентов с тяжелыми (более  $80^\circ$ ) формами идиопатического сколиоза.

**Критерии включения:** идиопатический сколиоз с основной грудной сколиотической дугой более  $80^\circ$  с имеющейся структуральной поясничной противодугой, типы 3, 4 по Lenke; без исходной неврологической симптоматики; ранее не оперированные по поводу деформации позвоночника.

**Критерии исключения:** идиопатический сколиоз с основной грудной сколиотической дугой более  $80^\circ$  с отсутствием структуральной поясничной противодуги, типы 1, 2 по Lenke; исходная неврологическая симптоматика; ранее оперированные по поводу деформации позвоночника.

Медиана (Me) основной грудной сколиотической дуги составила  $90,5^\circ$  с интерквартильным интервалом (IQR)  $84,0–100,0^\circ$ ; Me поясничной противодуги –  $62,0^\circ$  с IQR:  $53,0–72,5^\circ$  (типы 3–4 по Lenke). Пациенты оперированы в 1999–2021 гг. с применением дорсального сегментарного инструментария с крюковой, гибридной и транспедикулярной фиксацией. Пациентов

женского пола было 137 (81,5%), мужского – 31 (18,5%). Ме возраста пациентов на момент операции – 15 лет (IQR:  $13,0–17,0$ ). Ме срока послеоперационного наблюдения – 4,6 года (IQR:  $3,0–6,2$ ).

Оценивали данные рентгенографии позвоночника ( $C_7–S_1$ ) в прямой и боковой проекциях в положении пациента стоя с проведением функциональных проб, ортопедического осмотра до и после операции.

В окончательную выборку с учетом полноты собранных данных включены 154 из 168 пациентов, которых разделили на две группы: с коррекцией поясничной противодуги менее и более 50% от исходной величины, что составило 62 и 101 пациент (38 и 62%) соответственно.

Провели статистический анализ 398 клинко-рентгенологических параметров по М.В. Михайловскому [6]. Для оценки нормальности распределения непрерывных данных использовали критерий Шапиро – Уилка. Непрерывные величины описывали через Me и IQR, среднее (M) и стандартное отклонение (SD), разброс между минимальным (min) и максимальным значением (max). Непрерывные показатели между группами сравнивали U-критерием Манна – Уитни с оценкой средней разницы через псевдомедиану (pMe) парных разностей и стандартизованную разницу средних (SMD) с 95% доверительными интервалами (95% CI). Для выявления попарных числовых ассоциаций между непрерывными показателями рассчитывали коэффициент корреляции Спирмена  $r$  и достигнутый уровень значимости  $p$ . Значения качественных признаков представлены в виде наблюдаемых частот и процентов. Для сравнения качественных

признаков использовали точный двусторонний критерий Фишера и рассчитывали отношение шансов (OR) групп с 95% CI.

Многомерная математическая модель, позволяющая выделять предикторы недостаточной коррекции поясничного противоискривления, создана на основе многофакторного регрессионного анализа. Критический уровень значимости ( $p$ ) при проверке нулевой гипотезы принимали 0,05. Во всех случаях использовали двусторонние варианты критериев. С помощью ROC-анализа определяли пороговые значения для непрерывных показателей и наилучшие по индекс-

су Йодена в многофакторной модели. Расчеты проводили в IDE RStudio (версия 2025.09.1+401 «Cucumberleaf Sunflower», США) на языке R (версия 4.4.2 (2024-10-31 ucrt), Австрия).

Исследование одобрено комитетом по биомедицинской этике (выписка № 025/25 из протокола заседания № 007/25 от 28.10.2025) и соответствует международным и отечественным законодательным документам – этическим стандартам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» и приказу Минздрава Российской

Федерации от 01.04.2016 г. № 200н «Об утверждении правил надлежащей клинической практики». Все участники дали добровольное согласие на исследование.

## Результаты

В общей группе из 168 пациентов Ме поясничной противодуги была  $62,0^\circ$  (IQR:  $53,0–72,5^\circ$ ), Ме ее мобильности –  $43,3\%$  (IQR:  $30,6–58,1\%$ ), Ме наклона  $L_5$  позвонка –  $8,0^\circ$  (IQR:  $3,0–13,3^\circ$ ). Вершина поясничной противодуги определена у 154 пациентов, у 20 % была на уровне  $L_1–L_2$ , у 70 % –  $L_2–L_4$ , у 10 % –  $L_4–L_5$  позвон-

Таблица 1

Статистически различающиеся параметры в исследуемых группах

Показатель	Коррекция поясничной противодуги менее 50 % ( $n = 62$ )	Коррекция поясничной противодуги более 50 % ( $n = 101$ )	Сравнение	
	Me (Q1–Q3) M $\pm$ SD Min–max	Me (Q1–Q3) M $\pm$ SD Min–max	Оценка различия pMe [95% CI] SMD [95% CI]	p-уровень
Пол, $n$ (%)	Ж – 46 (74,0) М – 16 (26,0)	Ж – 89 (88,1) М – 12 (11,9)	OR муж: 2,6 95% CI: 1,1–6,0	0,032*
Возраст на момент операции, лет	16,0 (14,8–21,0) 17,8 $\pm$ 5,0 11,0–33,0	14,0 (13,0–16,0) 14,8 $\pm$ 3,8 10,0–39,0	–2,0 [–3,0; –1,0] 0,7 [0,4; 1,0]	<0,001*
Тест Risser, баллы	4,0 (3,0–4,0) 3,5 $\pm$ 1,3 0,0–5,0	3,0 (2,0–4,0) 2,7 $\pm$ 1,4 0,0–5,0	–1,0 [–1,0; –0,0] 0,6 [0,2; 0,9]	<0,001*
Мобильность поясничного противоискривления, %	36,7 (21,2–50,7) 36,8 $\pm$ 19,4 1,7–91,7	47,6 (36,8–64,4) 47,9 $\pm$ 17,3 1,3–84,0	12,1 [5,4; 18,5] –0,6 [–1,0; –0,3]	<0,001*
Грудной кифоз, град.	49,0 (30,5–68,0) 54,2 $\pm$ 30,2 11,0–158,0	40,0 (28,0–51,8) 40,5 $\pm$ 20,4 –4,0–117,0	–10,0 [–18,0; –3,0] 0,6 [0,2; 0,9]	<0,001*
Поясничный лордоз, град.	68,0 (59,8–76,3) 68,6 $\pm$ 16,5 30,0–116,0	63,0 (54,0–69,0) 61,9 $\pm$ 11,7 34,0–98,0	–7,0 [–11,0; –2,0] 0,5 [0,2; 0,8]	0,003*
Коррекция противоискривления, %	39,0 (27,8–44,1) 34,7 $\pm$ 12,7 0,0–50,0	65,4 (57,4–73,3) 66,4 $\pm$ 10,6 50,5–93,8	29,4 [25,2; 33,7] –2,8 [–3,2; –2,3]	<0,001*
Коррекция основной сколиотической дуги стоя, %	46,0 (39,0–58,5) 48,2 $\pm$ 14,8 10,5–80,0	60,2 (55,0–69,1) 61,0 $\pm$ 11,2 34,4–88,0	13,3 [8,7; 17,4] –1,0 [–1,3; –0,7]	<0,001*
Перекас лопаток, град.	8,0 (6,0–10,0) 8,9 $\pm$ 3,4 4,0–18,0	7,0 (5,0–8,0) 6,9 $\pm$ 2,9 3,0–16,0	–2,0 [–3,0; –1,0] 0,6 [0,3; 1,0]	<0,001*

\* Статистически значимые различающиеся параметры.

ков. Нижний стабильный позвонок у 97 (64,2 %) человек (из имеющихся данных 151 пациента) являлся пятым поясничным. Расстояние от линии отвеса до пупка выявлено у 83 (49 %) пациентов с Ме 10,0 мм (IQR: 5,0–15,0). Ме перекоса лопаток у 142 (85 %) пациентов была 8,0° (IQR: 5,3–12,0°). В результате хирургического лечения Ме коррекции поясничной противодуги составила 56,4 % (IQR: 41,2–67,9 %), Ме наклона L<sub>5</sub> позвонка у 107 пациентов – 6,0° (IQR: 3,0–10,0°). Распределение уровней нижнего инструментированного позвонка определено у 148 пациентов: L<sub>2</sub> – у 3 (2,0 %), L<sub>3</sub> – у 21 (14,2 %), L<sub>4</sub> – у 71 (48,0 %), L<sub>5</sub> – у 28 (18,9 %). Ме наклона нижнего инструментированного позвонка после операции составила 8,0° (IQR: 4,0–12,0°). Ме грудной сколиотической дуги – 90,5° (IQR: 84,0–100,0°), Ме ее коррекции – 57,2 % (IQR: 46,5–66,7 %).

Расхождения в размерах общей группы и группы сравнения обусловлены неполнотой собранных данных. Исходная величина поясничной сколиотической дуги в обеих группах значимо не различалась – Ме 62,0° (IQR: 52,8–72,0°) в первой группе против Ме 64,0° (IQR: 54,0–75,8°) – во второй ( $p = 0,275$ ). В таблице приведены статистически различающиеся параметры (табл. 1).

Выявлены значимые различия по гендерному распределению: в первой группе большая доля мужчин – 26,0 % против 11,9 % во второй (OR = 2,6; 95% CI: 1,1–6,0;  $p = 0,032$ ).

Пациенты первой группы были значимо (в среднем на 2 года) старше ( $p < 0,001$ ), соответственно с более выраженным показателем костной зрелости (тест Risser) в среднем на одну степень (95% CI: 0–1 степень;  $p < 0,001$ ). Поясничная противодуга в первой группе – в среднем на 12,1 % (95% CI: 5,4–18,5 %) менее мобильна ( $p < 0,001$ ). В первой группе у пациентов более выражены грудной кифоз и поясничный лордоз. Значимо различалась и степень коррекции противодуги: в первой группе меньше в среднем на 29,4 % (95% CI: 25,2–33,7 %;  $p < 0,001$ ), а также в первой группе коррекция грудной сколиотической дуги в среднем меньше на 13,3 % (95% CI: 8,7–17,4 %;  $p < 0,001$ ). Значимые клинические различия выявлены в перекосе лопаток в первой группе в среднем больше на 2° (95% CI: 1–3°;  $p < 0,001$ ).

Путем построения одно- и многофакторных моделей логистической регрессии выявлены и исследованы факторы недостаточной коррекции поясничной противодуги (менее 50 %; табл. 2).

В однофакторных моделях логистической регрессии значимые прямые ассоциации с недостаточной коррекцией поясничного противоиоискривления выявлены у следующих показателей:

1) поясничная противодуга более 37,5° ассоциирована с повышением шансов недостаточной коррекции в 7,5 раза;

2) возраст на момент операции более 15,8 года ассоциирован с повышением шансов недостаточной коррекции в 3,3 раза;

3) мужской пол ассоциирован с повышением шансов недостаточной коррекции в 3,28 раза;

4) мобильность поясничной противодуги менее 31,4 % ассоциирована с повышением шансов недостаточной коррекции в 5,7 раза.

Мобильность поясничной противодуги менее 31,4 % коррелировала с поясничной дугой более 37,5° (коэффициент корреляции Спирмена  $r = 0,40$ ;  $p < 0,001$ ) и по этой причине не вошла в многофакторную модель.

Риск недостаточной коррекции поясничной противодуги можно оценить с помощью полученной формулы многофакторной модели логистической регрессии:  $p = 1 - 1/(1 + \exp(B + A1 \cdot X1 + A2 \cdot X2 + A3 \cdot X3 + A4 \cdot X4 + A5 \cdot X5))$ , где  $p$  – вероятность коррекции быть менее 50 % (риск недостаточной коррекции),  $\exp$  – функция экспоненты (табл. 3).

У многофакторной модели риска недостаточной коррекции поясничной противодуги с помощью ROC-анализа определено наилучшее по сумме соотношение показателей чувствительности (73,8 %) и специфичности (85,7 %) при пороговом значении вероятности  $p$ , равном 51,1 %. Используя полученное пороговое значение, у пациентов с рассчитанной по формуле модели вероятности  $p$  более 51,1 % прогнозировали коррек-

Таблица 2

Модели однофакторных и многофакторной логистической регрессии риска недостаточной коррекции поясничного противоиоискривления (менее 50 %)

Ковариаты	Однофакторные модели		Многофакторные модели	
	OR [95% CI]	$p$	OR [95% CI]	$p$
Величина поясничной противодуги более 37,5°	7,54 [3,63; 16,35]	<0,001*	8,51 [3,25; 24,52]	<0,001*
Возраст на момент операции более 15,8 года	4,18 [2,12; 8,49]	<0,001*	3,25 [1,23; 9,05]	0,019*
Мужской пол	3,28 [1,39; 8,07]	0,008*	3,36 [0,97; 12,61]	0,060
Перекося лопаток менее 12,0°	1,91 [0,87; 4,45]	0,118	2,81 [0,97; 9,01]	0,067
Линия отвеса спереди менее 5,0 мм от пупка	0,52 [0,24; 1,09]	0,094	0,43 [0,12; 1,28]	0,140
Мобильность поясничной противодуги менее 31,4 %	5,68 [2,59; 13,10]	<0,001*	–	–

\* Статистически значимые различающиеся параметры.

Таблица 3

Коэффициенты и переменные модели многофакторной логистической регрессии риска недостаточной коррекции поясничного противоискривления (менее 50 %)

Коэффициенты и переменные	Описание	Допустимые значения переменных в формуле
B	Постоянный свободный коэффициент	-3,6357987
A1	Постоянный коэффициент для величины поясничной противодуги	2,1413022
X1	Переменная для коррекции величины поясничной противодуги	0 – величина поясничной противодуги менее или равна 37,5°; 1 – величина поясничной противодуги более 37,5°
A2	Постоянный коэффициент для возраста на момент операции	1,1790018
X2	Переменная возраста на момент операции	0 – возраст на момент операции менее или равен 15,8 года; 1 – возраст на момент операции более 15,8 года
A3	Постоянный коэффициент для перекаса лопаток	1,0345380
X3	Переменная для перекаса лопаток	0 – перекас лопаток менее или равен 12,0°; 1 – перекас лопаток более 12,0°
A4	Постоянный коэффициент для пола пациентов	1,2121713
X4	Переменная для пола пациентов	0 – женский пол; 1 – мужской пол
A5	Постоянный коэффициент для расстояния от линии отвеса спереди от пупка	0,8701294
X5	Переменная для расстояния от линии отвеса спереди от пупка	0 – линия отвеса спереди более или равна 5,0 мм от пупка; 1 – линия отвеса спереди менее 5,0 мм от пупка

цию поясничной противодуги менее 50 % (рис. 1).

Проверку предсказательной способности полученной многофакторной модели провели на основании имеющихся исходных данных 105 пациентов с известным окончательным результатом и наличием всех данных для многофакторной модели (табл. 4).

Путем проверки полученной модели на имеющихся данных с заранее известным результатом удалось правильно спрогнозировать риск недостаточной коррекции поясничной противодуги у 31 из 42 пациентов, а коррекцию более 50 % – у 54 из 63 пациентов (табл. 5).

#### Клинические примеры

Пациент Г. с идиопатическим двусторонним грудным сколиозом 4-й степени. Предикторы недостаточной коррекции поясничной противодуги: 1) величина поясничной противодуги – 83°; 2) возраст – 17 лет; 3) перекас лопаток – 15°; 4) мужской пол; 5) линия отвеса спереди от пупка

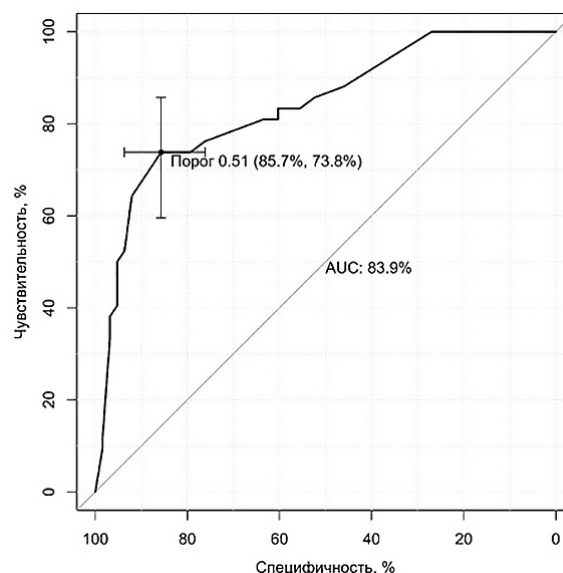


Рис. 1

ROC-кривая (пороговое значение 51,1 %) многофакторной модели риска степени коррекции поясничной противодуги менее 50 %

Таблица 4

Сопряженность многофакторной модели коррекции поясничного противоискривления менее 50 %

Прогноз	Коррекция менее 50 %	Коррекция более 50 %	Всего
Коррекция поясничной противодуги будет менее 50 %	31 (верный положительный прогноз)	9 (ложноположительный прогноз)	40
Коррекция поясничной противодуги будет более 50 %	11 (ложноотрицательный прогноз)	54 (верный отрицательный прогноз)	65
Всего	42	63	105

Таблица 5

Прогностические характеристики многофакторной модели коррекции поясничного противоискривления менее 50 %

Характеристика	Значение [95% CI]
Частота случаев метода	38,1 % [28,8; 48,1]
Фактическая частота случаев	40,0 % [30,6; 50,0]
Чувствительность	73,8 % [58,0; 86,1]
Специфичность	85,7 % [74,6; 93,3]
Положительная прогностическая ценность	77,5 % [61,5; 89,2]
Отрицательное прогностическое значение	83,1 % [71,7; 91,2]
Положительное отношение правдоподобия	5,2 [2,7; 9,7]
Отрицательное отношение правдоподобия	0,3 [0,2; 0,5]
Индекс Йодена	0,6 [0,3; 0,8]
Диагностическая точность	81,0 % [72,1; 88,0]

менее 5,0 мм. Рассчитан риск вероятности недостаточной коррекции поясничной противодуги (менее 50 %) по формуле модели вероятности:  $p = 87,3 \% > 51,1 \%$  (вероятна недостаточная коррекция; рис. 2).

Пациентка Ш. с идиопатическим правосторонним грудным сколиозом 4-й степени. Предикторы риска недостаточной коррекции поясничной противодуги: 1) величина поясничной противодуги – 68°; 2) возраст – 13 лет; 3) перекос лопаток – 4°; 4) женский пол; 5) линия отвеса спереди от пупка менее 5,0 мм. Рассчитан риск вероятности недостаточной коррекции поясничной противодуги по формуле модели вероятности:  $p = 18,3 \% < 51,1 \%$  (отсутствует риск недостаточной коррекции; рис. 3).

## Обсуждение

В исследованиях, описывающих результаты хирургического лечения тяжелых грудных сколиозов, часто акцент делается на коррекции основной сколиотической дуги [7]. Оптимальной может считаться степень коррекции более 50 % [8], и даже в отдаленные сроки наблюдения (более 10 лет) степень коррекции при транспедикулярной фиксации превышает 55 % [9]. Оценка коррекции поясничной противодуги и степени ее исходной мобильности встречается реже: Zang et al. [10] сообщают о результатах хирургического лечения 15 пациентов с идиопатическим сколиозом с основной грудной сколиотической дугой  $106,7^\circ \pm 15,0^\circ$  с мобильностью  $16,9 \pm 10,0 \%$ , исправлен-



Рис. 2

Рентгенограммы пациента Г.: а – правосторонняя грудная сколиотическая дуга – 99°, поясничная противодуга – 83°; б – поясничная сколиотическая дуга с наклоном в сторону вершины – 82° (мобильность отсутствует); в – после операции правосторонняя грудная сколиотическая дуга – 61° (коррекция 38,4 %), поясничная противодуга – 53° (коррекция 35,3 %)

**Рис. 3**

Рентгенограммы пациентки Ш.: **а** – правосторонняя грудная сколиотическая дуга –  $86^\circ$ , поясничная противодуга –  $68^\circ$ ; **б** – поясничная сколиотическая дуга с наклоном в сторону вершины –  $24^\circ$  (мобильность 65 %); **в** – после операции правосторонняя грудная сколиотическая дуга –  $37^\circ$  (коррекция 57,0 %), поясничная противодуга –  $8^\circ$  (коррекция 88,0 %)

ной до  $43,1^\circ \pm 25,2^\circ$ , и с поясничной противодугой  $41,2^\circ \pm 18,4^\circ$  с мобильностью  $33,0 \pm 25,0$  %, уменьшенной до  $12,2 \pm 8,9$  %.

Li et al. [4] сообщили о результатах лечения 93 пациентов с тяжелым грудным сколиозом. У 72 из них без проявления феномена adding-on грудная сколиотическая дуга была  $104,3^\circ$  ( $85$ – $135^\circ$ ), поясничная противодуга –  $50,3^\circ$  ( $21$ – $80^\circ$ ). Мобильность поясничной противодуги составила 42,5 %, а ее величина после операции –  $20,1^\circ$  ( $5$ – $47^\circ$ ).

В.У. Саттаев и соавт. [11] при грубых деформациях от  $81$  до  $146^\circ$  при применении галотибиальной тракции получили уменьшение поясничной противодуги с  $43,6^\circ \pm 9,4^\circ$  до  $36,9^\circ \pm 2,9^\circ$  при наклоне в сторону искривления до оперативного лечения и до  $10,8^\circ \pm 1,4^\circ$  – после двухэтапной коррекции.

Н.И. Загородний и соавт. [12] сообщают о достигнутой коррекции поясничной противодуги в  $80,0 \pm 15,6$  % при хирургическом

лечении тяжелых идиопатических сколиозов с исходной поясничной противодугой  $58,3^\circ \pm 13,4^\circ$ .

Мы сочли, что аналогичный показатель степени коррекции в 50 % применим к поясничным противодугам с учетом литературных данных об их спонтанной коррекции не менее 50 % при селективном спондилодезе [13] и 60 % коррекции в случае инструментирования [14] может являться пороговым значением оптимальной коррекции.

Schulz et al. [15] считают, что критериями успешного хирургического лечения с использованием селективного спондилодеза являются величина поясничной сколиотической дуги менее  $26^\circ$ , фронтальный дисбаланс не более 2 см, коррекция поясничной противодуги более 37 %, смещение туловища менее 1,5 см.

В нашем исследовании с учетом классического подхода к инструментированию поясничной противодуги [5] поясничные дуги включались в зону спондилодеза. Этому подходу

соответствовала медианная величина поясничной сколиотической дуги  $62,0^\circ$ , при которой сложно рассчитывать на спонтанную коррекцию.

В связи с распространением селективного спондилодеза большинство исследователей считают актуальным прогнозирование рисков недостаточной спонтанной коррекции поясничной противодуги, ее прогрессирования и возникновения феномена adding-on.

Chen et al. [3] на основании оценки результатов лечения 130 пациентов путем многофакторного регрессионного анализа установили, что значимыми предикторами прогрессирования поясничной противодуги при селективном спондилодезе являются наклон нижнего инструментированного позвонка больше  $10^\circ$  и коррекция основной грудной сколиотической дуги больше 53 % с чувствительностью и специфичностью прогностической модели 89 и 67 % соответственно. Была выявлена высокая корреляция между наклоном нижнего инструментированного позвонка и послеоперационной величиной поясничной противодуги при нижнем уровне фиксации на  $L_1$  позвонке и выше. Мы при сравнении двух групп пациентов с различной степенью коррекции поясничной сколиотической дуги не выявили значимых различий в исходном наклоне  $L_5$  позвонка, уровне вершины поясничной противодуги, наклоне нижнего инструментированного позвонка, что, вероятно, связано с преобладающим каудальным уровнем фиксации на  $L_4$  ( $n = 71$ ; 48 %).

Uehara et al. [16] попытались прогнозировать величину спонтанной коррекции поясничной (грудно-поясничной) сколиотической дуги на основании предоперационных рентгенограмм с тракцией. Выявлена наибольшая корреляция величины спонтанной коррекции поясничной сколиотической дуги при селективном спондилодезе с предоперационным углом Cobb, измеренным в положении пациента лежа с вытяжением.

Rajan et al. [17] оценили величину остаточной поясничной сколиоти-

ческой дуги при селективном спондилодезе у пациентов с идиопатическим сколиозом типов 1–2 по Lenke на основании рентгенограмм, выполненных в положении пациента лежа на спине, животе и при боковом наклоне. Средняя величина поясничной дуги стоя – 33,2°, лежа на спине – 24,8°, при боковом наклоне – 8,2°, после операции – 12,1°. Авторы включили в модели прогнозирования модификаторы Lenke A и B, C. Построенные авторами три регрессионные модели прогнозирования показали схожую точность до 5,6°.

Мы выявили значимые различия исходной мобильности поясничных сколиотических дуг в группах сравнения, составившие при выполнении функциональных рентгенограмм с наклоном 37,6 и 47,6 % для коррекции менее 50 % и более 50 % соответственно.

В мультицентровом исследовании Solla et al. [18] при создании клинической модели прогнозирования изменения величины поясничной дуги при селективном грудном спондилодезе прогностическим фактором была коррекция основной сколиотической дуги. Мы также выявили значимые различия в коррекции грудной дуги 46,0 и 60,2 % в группах сравнения, что соответствует данным Koller et al. [1], где коррекция грудной сколиотической дуги является значимым прогностическим фактором наряду с исходными клинко-рентгенологическими параметрами.

Так как у всех наших пациентов поясничная противодуга инструментировалась, мы выделили группы сравнения на основании порогового значения степени ее оптимальной кор-

рекции в 50 % и выявили значимые различия по девяти клинко-рентгенологическим параметрам: среди пациентов с коррекцией менее 50 % преобладали мужчины (26,0 % против 11,9 %), был больше средний возраст (16 против 14 лет), чему соответствовала и разница в степени теста Risser (4 против 3), меньше были исходная мобильность поясничной дуги, исходные величины грудного кифоза и поясничного лордоза. При этом по исходной величине основной грудной дуги различий не выявлено.

Данные различия в общем соответствуют основным описанным выше прогностическим критериям недостаточной коррекции поясничной противодуги. Путем построения одно- и многофакторных моделей логистической регрессии мы попытались выявить основные значимые предикторы рисков недостаточной коррекции поясничной противодуги. Выявлена наибольшая зависимость от гендерных различий (мужской пол), возраста более 15,8 года, исходной величины поясничной противодуги более 37,5°, ее мобильности менее 31,4 %. Такие факторы риска, как величина поясничной сколиотической дуги и ее мобильность, соотносятся с имеющимися данными литературы [15, 16].

Для прогнозирования риска недостаточной степени коррекции поясничной противодуги разработана формула многофакторной модели, в которой, помимо вышеперечисленных факторов, учитывали выявленные предикторы, уменьшающие риск: перекос лопаток менее 12,0° и рас-

стояние от линии отвеса до пупка менее 5 мм. Использование формулы прогнозирования рисков позволило с точностью 73,8 % прогнозировать риск недостаточной коррекции поясничной противодуги и с точностью 85,7 % – его отсутствие.

При планировании хирургического лечения тяжелых грудных сколиозов с поясничной противодугой необходимо учитывать имеющиеся факторы риска недостаточной коррекции, главными из которых являются величина поясничной сколиотической дуги, ее мобильность и пол пациентов. При их наличии необходимо придерживаться классического подхода к инструментированию поясничной противодуги [5].

## Заключение

Совокупность таких факторов, как поясничная противодуга более 37,7°, ее мобильность менее 31,4 %, мужской пол пациентов, перекос лопаток менее 12,0° и расстояние линии отвеса спереди от пупка менее 5 мм, позволяет с диагностической точностью 81,0 (95% CI: 72,1–88,0 %) прогнозировать риск недостаточной (менее 50 %) коррекции поясничной противодуги у пациентов с тяжелыми идиопатическими сколиозами. При этом превышение указанных пороговых значений величины поясничной противодуги повышает шанс недостаточной коррекции в 8,50 раза, уменьшение ее мобильности – в 3,25 раза, а мужской пол связан с увеличением рисков в 3,36 раза.

## Литература/References

1. **Koller H, Hitzl W, Marks MC, Newton PO.** Accurate prediction of spontaneous lumbar curve correction following posterior selective thoracic fusion in adolescent idiopathic scoliosis using logistic regression models and clinical rationale. *Eur Spine J.* 2019;28:1987–1997. DOI: 10.1007/s00586-019-06000-6
2. **Lenke L, Betz R, Harms J, Bridwell KH, Clements DH, Lowe TG, Blanke K.** Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am.* 2001;83:1169–1181. DOI: 10.2106/00004623-200108000-00006
3. **Chen IH, Chen CW, Hu MH, Wang PY, Yeh YC, Lee YF, Lai PL, Yang SH.** Simultaneous hypercorrection of lowest instrumented vertebral tilt and main thoracic curve is associated with progression of residual lumbar curve in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2022;47:1362–1371. DOI: 10.1097/BRS.0000000000004403
4. **Li Z, Yang H, Zhou C, Xiu P, Yang X, Wang L, Feng G, Liu L, Song Y.** Nomogram for predicting the distal adding-on phenomenon in severe and rigid scoliosis. *Front Surg.* 2023;9:1065189. DOI: 10.3389/fsurg.2022.1065189
5. **Bridwell KH.** Surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis: the basics and the controversies. *Spine (Phila Pa 1976).* 1994;19:1095–1100. DOI: 10.1097/00007632-199405000-00020

6. Михайловский М.В., ред. *Хирургия идиопатического сколиоза: ближайшие и отдаленные результаты*. Новосибирск, 2007. [Surgery for Idiopathic Scoliosis: Immediate and Long-Term Results, ed. by M.V. Mikhaylovskiy. Novosibirsk, 2007]. ISBN: 978-5-91475-005-0
7. Kandwal P, Vijayaraghavan GP, Nagaraja UB, Jayaswal A. Severe rigid scoliosis: review of management strategies and role of spinal osteotomies. *Asian Spine J*. 2017;11:494–503. DOI: 10.4184/asj.2017.11.3.494
8. Новиков В.В. *Хирургическая тактика и оказание специализированной помощи больным с тяжелыми формами сколиоза*. Москва, 2022. [Novikov VV. *Surgical Tactics and Provision of Specialized Care to Patients with Severe Scoliosis*. Moscow, 2022]. EDN: CXADPV
9. Min K, Szduy C, Farshad M. Posterior correction of thoracic adolescent idiopathic scoliosis with pedicle screw instrumentation: results of 48 patients with minimal 10-year follow-up. *Eur Spine J*. 2012;22:345–354. DOI: 10.1007/s00586-012-2533-3
10. Zang L, Hai Y, Yuan S, Su Q, Yang J, Guan L, Kang N, Meng X, Liu Y, Fan N. Distal adding-on and risk factors in severe and rigid scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017;42:160–168. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001684
11. Сатаев В.У., Миронов П.И., Юнусов Д.И., Фархшатов А.В., Псянчин Т.С. Хирургическое лечение тяжелых форм сколиоза у детей. *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2016;11(2-2):344–348. [Sataev VU, Yunusov DI, Mironov PI, Farkhshatov AV, Pсяnchin TS. Scoliosis: surgical treatment in children. *Meditsinskij Vestnik Severnogo Kavkaza*. 2016;11(2-2):344–348]. DOI: 10.14300/mnnc.2016.11073 EDN: WRJGUF
12. Загородний Н.И., Сампиев М.Т., Карпович Н.И., Джоджуа А.В., Пиманчев О.В., Чемурзиева Х.М., Лысенко И.С. Двухэтапное хирургическое лечение тяжелых форм подросткового идиопатического сколиоза. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2023;18(4):66–70. [Zagorodniy NV, Sampiev MT, Karpovich NI, Dzhdzhua AV, Pimanchev OV, Chemurzieva KhM, Lysenko IS. Two-stage surgical treatment of severe adolescent idiopathic scoliosis. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center*. 2023;18(4):66–70]. DOI: 10.25881/20728255\_2023\_18\_4\_66 EDN: RQOOPT
13. Demura S, Murakami H, Kato S, Yoshioka K, Yonezawa N, Takahashi N, Tsuchiya H. Spontaneous derotation of compensatory lumbar curve after thoracic fusion in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Surg Relat Res*. 2017;1:27–30. DOI: 10.22603/ssr.1.2016-0006
14. Louer C Jr, Yaszay B, Cross M, Bartley CE, Bastrom TP, Shah SA, Lonner B, Cahill PJ, Samdani A, Upasani VV, Newton PO. Ten-year outcomes of selective fusions for adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2019;101:761–770. DOI: 10.2106/JBJS.18.01013
15. Schulz J, Asghar J, Bastrom T, Shufflebarger H, Newton PO, Sturm P, Betz RR, Samdani AF, Yaszay B; Harms Study Group. Optimal radiographical criteria after selective thoracic fusion for patients with adolescent idiopathic scoliosis with a C lumbar modifier: does adherence to current guidelines predict success? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39:E1368–E1373. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000580
16. Uehara M, Takahashi J, Ikegami S, Kuraishi S, Futatsugi T, Oba H, Takizawa T, Munakata R, Koseki M, Kato H. Prediction of spontaneous lumbar curve correction after posterior spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis Lenke type 1 curves. *Clin Spine Surg*. 2019;32:E112–E116. DOI: 10.1097/BSJ.0000000000000736
17. Rajan PV, Steiner R, Ritzman TF, Moberly T, Floccari LV. Do preoperative supine radiographs predict postoperative residual lumbar curvatures in adolescent idiopathic scoliosis? A retrospective cohort study. *Global Spine J*. 2024;14:1990–1996. DOI: 10.1177/21925682231162556
18. Solla F, Lakhal W, Morin C, de Gauzy JS, Kreichati G, Obeid I, Wolff S, Lechevallier J, Parent HF, Clement JL, Bertonecelli CM. Clinical predictive model of lumbar curve Cobb angle below selective fusion for thoracic adolescent idiopathic scoliosis: a longitudinal multicenter descriptive study. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2022;32:827–836. DOI: 10.1007/s00590-021-03054-5

Статья поступила в редакцию 01.02.2026

Рецензирование пройдено 30.03.2026

Подписано в печать 09.06.2026

Received 01.02.2026

Review completed 30.03.2026

Passed for printing 09.06.2026

## Дополнительная информация

**Вклад авторов.** А.С. Васюра – формулировка цели и разработка дизайна исследования, сбор и анализ данных, написание всех разделов статьи, интерпретация данных, обсуждение результатов и формулировка выводов, хирургическое лечение пациентов; А.В. Бузунов – обсуждение и анализ результатов, этапное редактирование текста статьи, анализ и формирование списка литературы; А.Ю. Сергунин – сбор и обработка клинического и рентгенологического материала, анализ данных; В.Л. Лукинов – валидация и углубленный статистический анализ результатов с использованием современных методов, включая построение и оценку регрессионных моделей, расчет доверительных интервалов и отношений шансов, разработка оригинальной формулы многофакторной модели логистической регрессии для количественной оценки индивидуального риска недостаточной коррекции поясничного противокривления (менее 50 %); В.В. Новиков – хирургическое лечение пациентов, обсуждение результатов, утверждение окончательной версии рукописи. Все авторы одобрили рукопись, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

**Этическая экспертиза.** Исследование одобрено комитетом по биомедицинской этике Новосибирского НИИТО им. Я.Л. Цивьяна (выписка № 025/25 из протокола заседания № 007/25 от 28.10.2025).

**Согласие на публикацию.** Все участники добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

**Источники финансирования.** Отсутствуют.

**Раскрытие интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Информация об авторах

✉ Александр Сергеевич Васюра, канд. мед. наук, Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17; eLibrary SPIN: 5631-3912; ORCID: 0000-0002-2473-3140; awasera@mail.ru  
Алексей Владимирович Бузунов, канд. мед. наук; eLibrary SPIN: 3105-2089; ORCID: 0000-0003-4438-8863; alekseibuzunov@mail.ru  
Александр Юрьевич Сергунин; eLibrary SPIN: 8567-7637; ORCID: 0000-0001-6555-2007; Saport2010@ngs.ru  
Виталий Леонидович Лукинов, канд. физ.-мат. наук; eLibrary SPIN: 3950-3322; ORCID: 0000-0002-3411-508X; vitaliy.lukinov@gmail.com  
Вячеслав Викторович Новиков, д-р мед. наук; eLibrary SPIN: 4367-4143; ORCID: 0000-0002-9130-1081; priboy\_novikov@mail.ru

### Authors' Info

✉ Alexander Sergeevich Vasyura, MD, Cand. Sci. (Medicine); 17 Frunze str., Novosibirsk, 630091, Russia; eLibrary SPIN: 5631-3912; ORCID: 0000-0002-2473-3140; awasera@mail.ru  
Aleksei Vladimirovich Buzunov, MD, Cand. Sci. (Medicine); eLibrary SPIN: 3105-2089; ORCID: 0000-0003-4438-8863; alekseibuzunov@mail.ru  
Alexandr Yuryevich Sergunin; eLibrary SPIN: 8567-7637; ORCID: 0000-0001-6555-2007; Saport2010@ngs.ru  
Vitaliy Leonidovich Lukinov, Cand. Sci. (Physics and Mathematics); eLibrary SPIN: 3950-3322; ORCID: 0000-0002-3411-508X; vitaliy.lukinov@gmail.com  
Vyacheslav Viktorovich Novikov, MD, Dr. Sci. (Medicine); eLibrary SPIN: 4367-4143; ORCID: 0000-0002-9130-1081; priboy\_novikov@mail.ru

**Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии им. Я.А. Цивьяна  
проводит индивидуальное тематическое обучение на рабочем месте  
в виде краткосрочных курсов повышения квалификации  
по следующим циклам:**

1. Эндопротезирование и эндоскопическая хирургия суставов конечностей (80 ч).
2. Современная диагностика, консервативное и хирургическое лечение деформаций позвоночника детского возраста (144 ч).
3. Хирургия заболеваний и повреждений позвоночника (144 ч).
4. Дегенеративные заболевания позвоночника (80 ч).
5. Артроскопия плечевого сустава (80 ч).

**Занятия проводятся по мере поступления заявок.  
После прохождения курсов выдается свидетельство о повышении квалификации.**

**E-mail: [niito@niito.ru](mailto:niito@niito.ru)**

**Тел.: 8 (383) 363-39-81**