



НЕЙРОМЫШЕЧНЫЕ И СИНДРОМНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ: НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ «РАСТУЩИХ» КОНСТРУКЦИЙ И ПОЛИСЕГМЕНТАРНОЙ ФИКСАЦИИ

А.А. Першин¹, А.В. Макарова¹, С.О. Рябых^{2,3}, А.Р. Сюндюков⁴, М. Альшаова⁵, А.Ю. Мушкин^{1,6}

¹Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия;

²Научно-исследовательский клинический институт педиатрии и детской хирургии
им. акад. Ю.Е. Вельтищева, Москва, Россия;

³Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова

Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия;

⁴Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Чебоксары, Россия;

⁵Medcare Sharjah Hospital, Объединенные Арабские Эмираты;

⁶Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования. Сравнение эффективности и безопасности использования рост-сберегающих технологий и полисегментарного окончательного спондилодеза в лечении синдромных и нейромышечных деформаций у детей.

Материал и методы. Проанализированы клиническо-анамнестические и лучевые данные 82 оперированных пациентов в возрасте до 18 лет с нейромышечным ($n = 59$) и синдромным ($n = 23$) сколиозом. Коррекция деформации выполнена в двух вариантах: 1) окончательный спондилодез ($n = 48$) путем длинной полисегментарной CD-фиксации Long Fusion (LF) из открытого доступа в варианте двух- ($n = 42$), трех- ($n = 5$) или четырехстержневой ($n = 1$) системы; 2) традиционные растущие стержни (Traditional Growing Rod – TGR; $n = 34$) в варианте одного ($n = 11$) или двух ($n = 22$) стержней, включая их двустороннюю ($n = 9$) или одностороннюю ($n = 13$) установку на вогнутой стороне деформации. Оценивали величину деформации позвоночника в градусах по Cobb до и после операции, время операции и кровопотерю.

Результаты. Оба варианта инструментальной фиксации обеспечили коррекцию деформации позвоночника для каждой этиологической группы. Ключевым отличием является профиль безопасности: почти трехкратное снижение интраоперационной кровопотери в группе TGR в сравнении с LF ($p < 0,001$) и уменьшение времени операции примерно в 1,5 раза.

Заключение. Методика TGR, разработанная для активно растущих пациентов, может быть эффективной как для младших (старше 9–10 лет), так и для старших (после 15 лет) соматически тяжелых подростков, которая не исключает проведение отсроченной полисегментарной стабилизации или потенциально остается вариантом заключительной операции.

Ключевые слова: нейромышечный сколиоз; рост-сберегающие системы фиксации позвоночника; задний спондилодез; малоинвазивная хирургия без спондилодеза.

Для цитирования: Першин А.А., Макарова А.В., Рябых С.О., Сюндюков А.Р., Альшаова М., Мушкин А.Ю. Нейромышечные и синдромные деформации позвоночника у детей и подростков: некоторые аспекты эффективности «растущих» конструкций и полисегментарной фиксации // Хирургия позвоночника. 2026. Т. 23, № 3. С. 6–16. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.3.6-16>

NEUROMUSCULAR AND SYNDROMIC DEFORMITIES OF THE SPINE IN CHILDREN AND ADOLESCENTS: SOME ASPECTS OF THE EFFECTIVENESS OF GROWTH-FRIENDLY STRUCTURES AND POLYSEGMENTAL FIXATION

А.А. Pershin¹, А.В. Makarova¹, С.О. Ryabykh^{2,3}, А.Р. Syundyukov⁴, М. Alshaowa⁵, А.Ю. Mushkin^{1,6}

¹Saint Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, Saint Petersburg, Russia;

²Veltischev Research Clinical Institute of Pediatrics and Pediatric Surgery, Moscow, Russia;

³N.I. Pirogov Clinic of High Medical Technologies at Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

⁴Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, Cheboksary, Russia;

⁵Medcare Sharjah Hospital, United Arab Emirates;

⁶First Saint Petersburg State Medical University n.a. Acad. I.P. Pavlov, Saint Petersburg, Russia

Objective. To compare the efficacy and safety of using growth-friendly technologies and polysegmental final spinal fusion in the treatment of syndromic and neuromuscular deformities in children.

Material and Methods. The clinical, anamnestic, and radiographic data of 82 operated patients under 18 years of age with neuromuscular ($n = 59$) and syndromic ($n = 23$) scoliosis were analyzed. Deformity correction was performed in two variants: 1) final spinal fusion ($n = 48$) by means of long polysegmental CD fixation — Long Fusion (LF) — through an open approach using two- ($n = 42$), three- ($n = 5$), or four-rod ($n = 1$) system; 2) traditional growing rods (TGR; $n = 34$) in variant of one ($n = 11$) or two rods ($n = 22$), including their bilateral ($n = 9$) or unilateral ($n = 13$) installation on the concave side of the deformity. The spinal deformity magnitude (in degrees according to the Cobb scale) before and after surgery, surgery duration and blood loss were assessed.

Results. Both methods demonstrated effectiveness in correcting spinal deformity for each etiologic group. The key difference is the safety profile: a threefold reduction in intraoperative blood loss in the TGR group compared to the LF group ($p < 0.001$).

Conclusion. The TGR technique, developed for actively growing patients, can be effective for both younger (over 9–10 years old) and older (over 15 years old) adolescents with severe somatic symptoms which does not preclude delayed polysegmental stabilization or potentially remains an option for final surgery.

Key Words: neuromuscular scoliosis; growth-friendly spinal fixation systems; posterior spinal fusion; minimally invasive surgery without fusion.

Please cite this paper as: Pershin AA, Makarova AV, Ryabykh SO, Syundyukov AR, Alshaowa M, Mushkin AY. Neuromuscular and syndromic deformities of the spine in children and adolescents: some aspects of the effectiveness of growth-friendly structures and polysegmental fixation. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2026;23(3):6–16. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.3.6-16>

Нейромышечные и синдромные деформации позвоночника у детей хотя и рассматриваются как разные, но имеют много общего.

Причиной нейромышечных сколиозов (НМС) являются врожденные и приобретенные заболевания центральной и/или периферической нервной системы или мышечно-го звена нейромышечной передачи. В основе синдромных (в отечественной литературе также используется термин «синдромальных») сколиозов (СС) лежат генетически обусловленные заболевания, в структуру которых в том числе могут входить поражения нервной системы.

В первые десять лет жизни оба варианта включаются в понятие EOS (early onset scoliosis, сколиозы с ранним началом), характеризующаясь высокой потенциальной к росту и формированием выраженных деформаций уже в дошкольном и раннем школьном возрасте. Как и при других EOS, проведение их финальной коррекции по возможности откладывается на подростковый период.

Еще одной схожей чертой таких деформаций является, как правило, поздняя хирургическая коррекция. При этом отказ от своевременной операции нередко объясняется не столько клиническими причинами (например,

эффективным консервативным лечением), сколько желанием родителей, а иногда и врачей оградить серьезно больного ребенка от операции как от физически и психологически значимого травматического воздействия. Иными словами, деформации в 40–50°, указанные в клинических рекомендациях как нижние границы для возможной операции [1], в реальности таковыми становятся крайне редко.

Современные методы хирургической коррекции таких деформаций можно разделить на две группы, сохраняющие возможность роста при ограниченной подвижности внутри зоны инструментации и ригидной фиксации.

Считается, что рост-сберегающие технологии («растущие» конструкции и системы направленного роста в зарубежной литературе объединены термином growth friendly – «дружественные росту») обеспечивают меньшую коррекцию деформации и не позволяют воздействовать на ее торсионный компонент. При этом такие вмешательства могут быть операцией выбора при тяжелом коморбидном состоянии (дефиците массы тела, дыхательных расстройствах, эпилепсии, сопутствующей системной патологии и т.д.), делающими крайне

рискованной полноценную одномоментную коррекцию [2–4].

Полисегментарная фиксация (в зарубежной литературе ее обозначают также как final fusion – финальная фиксация/спондилодез) останавливает прогрессирование сколиоза и существенно улучшает баланс туловища, но может отрицательно сказаться на его росте, поэтому ее применяют обычно у пациентов старше 12 лет, а в более раннем возрасте – лишь в случаях угрожающих жизни искривлений.

Традиционным является сочетание хирургических подходов, когда при раннем сколиозе начинают лечение с «растущей» системы, переходя к окончательному спондилодезу по достижении костного возраста, уже превышающего нулевой тест Risser [5].

Цель исследования – сравнение эффективности и безопасности использования рост-сберегающих технологий и полисегментарного окончательного спондилодеза в лечении синдромных и нейромышечных деформаций у детей.

Материал и методы

В исследование включены доступные клиничко-анамнестические и лучевые данные 82 пациентов с НМС и СС, опе-

рированных в разных медицинских центрах.

Дизайн исследования: мультицентровое ретроспективное.

Критерии включения в исследование:

- диагноз НМС или СС; для последних принципиальным являлся факт генетической консультации и при возможности верификации соответствующего синдрома;

- выполнение коррекции деформации позвоночника одним из двух вариантов – «растущей» конструкцией или финальным спондилодезом;

- использование конструкций с транс- и/или экстрапедикулярными винтовыми опорными элементами;

- грудная или грудопоясничная дуга деформации;

- отсутствие реинфузии крови с использованием технологии self-saver.

Критерии исключения:

- возраст пациентов на момент операции старше 18 лет;

- другие по этиологии сколиозы – идиопатический или врожденный;

- проведение предоперационной гало-тракции, выполнение VCR (резекции позвоночника), использование крючковых опор и тяг по Luque при корригирующей операции;

- недоступность полного набора клинико-лучевых данных, необходимых для анализа в рамках статьи;

- изолированная поясничная дуга.

Ограничения включения: в случае последовательного применения «растущих», а затем финальных конструкций в анализ включали только результат первой операции.

Особенности хирургических техник

Выбор техники коррекции определяли возрастом, анатомическими параметрами, величиной деформации и соматическим состоянием пациентов. Согласно шкале ASA (Американское общество анестезиологов), состояние таких пациентов всегда соответствует IV классу, в связи с чем задняя инструментальная фиксация позвоночника в любом варианте рассматривается как сопряженная с высоким риском. Интраоперационно проводили нейромониторинг моторных

вызванных потенциалов с использованием 8-канального диагностического комплекса NIM-Eclipse («Medtronic»), респираторная поддержка включала индивидуальную настройку параметров вентиляции, пульсоксиметрию, контроль газообмена. После операции использовали инвазивную или неинвазивную вентиляцию, позиционную терапию, кинезитерапию дыхательных мышц, в случаях тяжелой дыхательной недостаточности – отсроченную экстубацию и поддержку BiPAP.

Коррекция деформации выполнена в двух вариантах.

1. Окончательный спондилодез ($n = 48$) путем длинной полисегментарной многоуровневой CD-фиксации – Long Fusion (LF). Операции осуществляли из открытого доступа в варианте двух- (2LF; 42 пациента), трех- (3LF; 5 пациентов) или четырехстержневой (1 пациент) системы.

2. Традиционные растущие стержни ($n = 34$) – traditional growing rod (TGR) в варианте одного (1TGR, 11 пациентов) или двух стержней (22 пациента), включая их двустороннюю (2TGR, 9 пациентов) или одностороннюю установку (one-side 2TGR, 13 пациентов) на вогнутой стороне деформации [6]. На двух-трех позвонках, включая нейтральные, формировали краниальный (Th_1 – Th_5) и каудальный (L_2 – S_2) опорные блоки, соединяя их либо одним стержнем с запясом свободной каудальной части, либо двумя стержнями с коннектором Domino (компоновка конструкции spine-spine). В четырех случаях применения варианта one-side 2TGR наружный стержень устанавливали в варианте “spine-rib” с верхним крючковым реберным захватом в виде «клешни». С целью минимизации хирургической травмы предпочтительно отдавали установке опорных блоков из отдельных разрезов, при возможности проводя стержни субфасциально подкожно, при невозможности – рассекая кожу без скелетирования паравerteбральных мышц. У шести пациентов дополнительно провели фасетэктомию по вогнутой

стороне на вершине ригидной деформации. Коррекцию осуществляли путем контролируемой осевой дистракции, при возможности деротируя предварительно моделированный стержень; при появлении напряжения система стабилизировалась.

Отдельно обращаем внимание на применение методики 2TGR у шести подростков старше 12 лет с выраженной коморбидностью и низким функциональным резервом (ЖЕЛ <30 % или наличие клинических признаков дыхательной недостаточности), у которых операция в варианте 2LF оценивалась как сопряженная с крайне высоким периоперационным риском.

Статистический анализ

Статистический анализ проведен с использованием специализированного программного обеспечения StatTech v.4.12.5 (ООО «Статтех», Россия). Перед анализом количественные данные проверяли на соответствие нормальному распределению с помощью критерия Шапиро – Уилка. В случае его подтверждения данные описывали в виде среднего значения (M) и стандартного отклонения (SD) с указанием 95% доверительного интервала (DI). При распределении, отличном от нормального, использовали методы непараметрической статистики с указанием медианы (Me) и интерквартильного размаха ($Q1$ – $Q3$). Категориальные (качественные) признаки описывали посредством абсолютных частот и процентных долей, для которых 95% DI рассчитывали по методу Клоппера – Пирсона. Для проверки статистических гипотез о различиях использовали критерии, соответствующие характеру выборок и распределения данных. При сравнении показателей до и после операции у одних и тех же пациентов применяли парный критерий Стьюдента (t -тест) для связанных выборок в случае нормального распределения разностей или парный критерий Уилкоксона – при его отсутствии. Для сравнения групп применяли непарный t -тест для независимых выборок при нормальном распределении либо критерий Манна – Уитни,

если распределение отличалось от нормального или анализировались небольшие ($n < 30$) группы. При анализе корреляционных связей между парами показателей с нормальным распределением рассчитывали коэффициент Пирсона, при ненормальном распределении – коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Все полученные значения подвергали двустороннему статистическому контролю, вычисляя фактическую значимость различий (p -value) согласно выбранным критериям и оценивая практическую значимость изменений (например, разницу средних величин в абсолютном выражении и в процентах от исходной). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Для выявления влияния факторов на исследуемую переменную проводили дисперсионный анализ ANOVA.

Для оценки независимой связи типа операции с объемом интраоперационной кровопотери построена множественная линейная регрессионная модель. Зависимой переменной являлась кровопотеря (мл); предикторами – возраст пациента, тип операции (LF = 1; TGR = 0) и длительность операции (мин). Представлены нестандартизированные коэффициенты β , стандартные ошибки,

Таблица 1

Описательная статистика категориальных переменных

Показатели	Категории	Абс.	% (95% доверительный интервал)
Пол	Женский	53/82	64,6 (53,3–74,9)
	Мужской	29/82	35,4 (25,1–46,7)
Диагноз	НМС	59/82	72,0 (60,9–81,3)
	СС	23/82	28,0 (18,7–39,1)
Инструментация	LF	48/82	58,5 (47,1–69,3)
	TGR	34/82	41,5 (30,7–52,9)

НМС – нейромышечный сколиоз; СС – синдромальный сколиоз; LF – длинная полисегментарная многоуровневая CD-фиксация; TGR – традиционные «растущие» стержни.

t -статистики со степенями свободы, точные значения p и 95% ДИ коэффициентов. Качество модели оценивали по R^2 и F -критерию.

Результаты

Описательная статистика количественных и качественных показателей, характеризующие исследуемую группу в целом, представлена в табл. 1–3.

Сравнительный анализ демографических и клинических характеристик подтверждает сопоставимость групп по полу ($p = 0,562$) и возрасту ($p = 0,233$). При этом пациенты в возрасте до и старше 15 лет (формальный признак деления на старших и млад-

ших подростков, juvenile и adolescent) составили соответственно 51 и 31 (62,2 % и 37,8 %).

Структура НМС и СС включенных в исследование пациентов (табл. 3) демонстрирует существенное преобладание детей с детским церебральным параличом.

Анализ эффективности коррекции деформации в зависимости от типа инструментации представлен в табл. 4.

Представленные данные иллюстрируют, с одной стороны, отсутствие статистически значимых различий между методиками LF и TGR по абсолютным значениям деформаций до и после операции и эффективность обоих методов по величине ее коррекции,

Таблица 2

Описательная статистика количественных переменных

Показатели	n	Единицы изменения, статистический параметр	Значение параметра	95% ДИ для М; Q1–Q3 для Ме	Min	Max
Возраст	82	Лет, Ме	14	11,00–16,00	4,00	18,00
Сколиоз	82	До операции, град., $M \pm SD$,	86 ± 28	79,41–91,88	25,00	156,00
		После операции, град., Ме	37	21,25–57,50	0,00	91,00
		Коррекция, град., $M \pm SD$	47 ± 16	43,14–50,13	7,00	87,00
Кифоз	29*	До операции, град., $M \pm SD$	55 ± 36	41,05–68,61	–10,00*	121,00
		После операции, град., Ме	28	19,00–45,00	13,00	91,00
Лордоз	21	До операции, град., Ме	43	33,00–73,00	–68,00*	115,00
		После операции, град., $M \pm SD$	43 ± 21	32,98–53,13	9,00	87,00
Время операции	79	Минуты, $M \pm SD$	281 ± 104	257,62–304,38	130,00	540,00
Кровопотеря	80	Миллилитры, Ме	400	237,50–900,00	50,00	2300,00
	55	% ОЦК, Ме	23	16–37	5	72

Знак (–) перед цифровым значением означает для грудного отдела – наличие лордоза, для поясничного – наличие кифоза; * при длинных С-образных грудопоясничных и грудопояснично-крестцовых сколиотических дугах, характерных для рассматриваемых вариантов патологии, оценка сагиттальных компонентов деформации невозможна или малоинформативна.

Таблица 3

Структура нейромышечных и синдромных сколиозов

Нейромышечные сколиозы	n/N (%; 95% ДИ)
Детский церебральный паралич	28/59 (47,5; 34,3–60,9)
Гидросирингомиелия	7/59 (11,9; 4,9–22,9)
Спинальная мышечная атрофия	5/59 (8,5; 2,8–18,7)
Посттравматическая миелопатия	2/59 (3,4; 0,4–11,7)
Постишемическая миелопатия	2/59 (3,4; 0,4–11,7)
Опухоль ЦНС (астроцитомы)	1/59 (1,7; 0,0–9,1)
Миопатия/миодистрофия	4/59 (6,8; 1,9–16,5)
Последствия миеломенингоцеле *	10/59 (16,9; 8,4–29,0)
ВСЕГО	59

Синдромные сколиозы	n/N (%; 95% ДИ)
Нейрофиброматоз 1-го типа	7/23 (30,4; 13,2–52,9)
Недифференцированные генетические синдромы	5/23 (21,7; 7,5–43,7)
Спондилоэпифизарная дисплазия	2/23 (8,7; 1,1–28,0)
Синдром Элерса — Данло	1/23 (4,3; 0,1–21,9)
Синдром Марфан	1/23 (4,3; 0,1–21,9)
Синдром Нунан	1/23 (4,3; 0,1–21,9)
Синдром Дауна	1/23 (4,3; 0,1–21,9)
Синдром Горхема — Стаута	1/23 (4,3; 0,1–21,9)
Артрогриппоз	1/23 (4,3; 0,1–21,9)
Синдром Cloves	1/23 (4,3; 0,1–21,9)
Синдром Корнелии де Ланге	1/23 (4,3; 0,1–21,9)
Синдром Шварца — Джампея	1/23 (4,3; 0,1–21,9)
ВСЕГО	23

* Без аномалий тел позвонков.

с другой – несколько большую степень коррекции при применении длинной фиксации. В свою очередь, однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) выявил сильную прямую ассоциацию показателей, характеризующих безопасность операций (объема кровопотери и ее длительности) с методикой LF ($p < 0,001$; табл. 5).

Умеренная положительная связь между длительностью операции и объемом кровопотери статистически значима: коэффициент корреляции Пирсона составил $r = 0,5140$ ($p < 0,001$). Еще более высокий коэффициент Спирмена ($\rho = 0,6731$; $p < 0,001$) подтверждает нелиней-

ный характер зависимости в выборке (рис. 1).

Ассоциация более длительных операций с большим объемом кровопотери в хирургии позвоночника ожидаема. Однако график рассеяния иллюстрирует лишь тенденцию, в связи с чем для точных выводов проведения множественная регрессия с контролем confounding-факторов – возраста пациента, индекса массы тела (ИМТ) и типа операции (переменная LF = 1, TGR = 0), показавшая значимое влияние модели даже после их учета (табл. 6).

Таким образом, финальная фиксация связана с потенциальным увеличением операционной кровопотери на 452 мл ($p < 0,001$), что подтверждает предыдущий результат ANOVA, а каждые дополнительные 60 мин операции увеличивают ее на ~107 мл (+1,78 мл/мин) при фиксированных конфаундерах. При этом влияние возраста на анализируемые факторы незначимо ($p = 0,675$).

Не доказана и обнаруженная при унивариантном анализе корреляции связь ИМТ с кровопотерей, исчезающая после учета типа и времени операции (простая корреляция $\rho = +0,302$; $p = 0,015$; регрессия после поправки $\beta = +10,1$ мл/единицу ИМТ; $p = 0,50$), то есть ИМТ также действует как конфаундер, а не как независимый предиктор.

Для оценки возможного влияния этиологии на результаты оперативного лечения проведено сравнение исследуемых этиологических групп. При этом однофакторный

Таблица 4

Анализ коррекции деформации с учетом типа инструментальной фиксации позвоночника

Показатель	Категории	Число наблюдений	Коррекция деформации			
			в градусах		в % к исходной	
			M ± SD	95% ДИ	M ± SD	Me
Тип инструментальной фиксации позвоночника	LF	48	45,75 ± 17,19	40,76–50,74	52 ± 19	52
	TGR	34	47,88 ± 14,10	42,96–52,80	43 ± 23	41
			$p^* = 0,553$		$** U = 583,5$; $p = 0,032$	

* Используемый метод: t -критерий Стьюдента; ** тест Манна — Уитни (независимые выборки); эффект размера выборки (Cliff's delta –0,22) умеренный.

Таблица 5

Операционная кровопотеря и длительность операции у пациентов с нейромышечным и синдромным сколиозом при использовании методик LF и TGR

Тип операции	Количество наблюдений	M	SD	Min	Max	F-статистика	p-значение
Операционная кровопотеря, мл							
LF	46	845	544	130	2300	33,74	p < 0,001
TGR	34	274	209	50	1000		
Длительность операции, мин							
LF	45	332	97	130	540	35,64	p < 0,001
TGR	34	214	70	130	510		

LF — длинная полисегментарная многоуровневая CD-фиксация; TGR — традиционные «растущие» стержни.

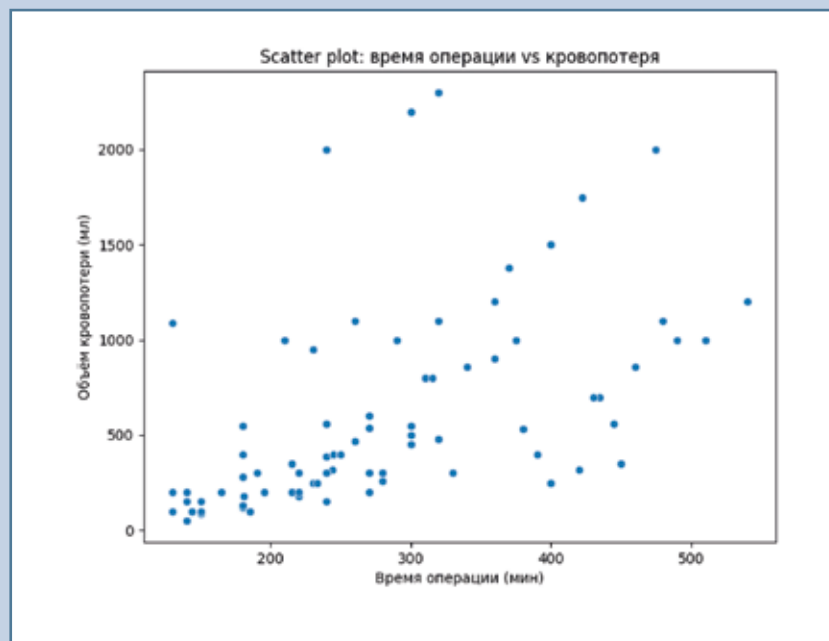


Рис. 1

Зависимость между длительностью операции и объемом кровопотери: среднее время операции – 281 мин (стандартное отклонение – 104 мин); средняя кровопотеря – 599 мл (стандарт отклонения – 519 мл)

ANOVA никаких статистически значимых различий между НМС и СС по ключевым показателям (исходному углу Cobb, объему кровопотери, времени операции, % коррекции деформации) не выявил (табл. 7).

Группы схожи по всем показателям с тенденцией к несколько большей кровопотере при СС (мощность тестов, умеренная из-за дисперсии).

Проведена стратификация анализируемых показателей по величине основной дуги с учетом медиан, составивших для нейромышечных деформаций 84°, для синдромных – 88° (табл. 8).

Естественно, что более тяжелые нейромышечные деформации (>84°) оказались ассоциированы с большим временем операции (+10 %), кровопотерей (+26 %) и меньшей коррекцией (–25 %), что согласуется с данными Американской академии детского церебрального паралича, согласно которым нейромышечные деформации с углом >80° требуют увеличения объема операции и расходования ресурсов [7]. В группе «тяжелых»

Таблица 6

Анализ влияния confounding-факторов на объем кровопотери

Предиктор	Коэффициент (β)	Std. Error	t-статистика	p-значение
Возраст	–3,45	8,21	–0,42	0,675
Тип LF (vs. TGR)	+452,31	102,15	4,43	<0,001
Время операции	+1,78	0,42	4,24	<0,001

LF — длинная полисегментарная многоуровневая CD-фиксация; TGR — традиционные растущие стержни; $R^2 = 0,47$; $F(3,75) = 17,24$; $p < 0,001$ — модель значима.

Таблица 7

Сравнение некоторых периперационных показателей в группах нейромышечного и синдромного сколиоза

Исход	Нейромышечные сколиозы (M ± SD)	Синдромные сколиозы (M ± SD)	Однофакторный ANOVA для каждой переменной
Кровопотеря, мл	550 ± 445	742 ± 664	F = 2,24; p = 0,139
Время операции, мин	287 ± 107	265 ± 98	F = 0,70; p = 0,406
Коррекция сколиоза, %	57 ± 19	58 ± 19	F = 0,13; p = 0,723
Cobb, преоп, град.	84 ± 28	90 ± 30	F = 0,72; p = 0,399

Таблица 8

Анализ периперационных показателей при стратификации тяжести деформации

Тип деформации	Величина деформации		Число наблюдений		Кровопотеря, мл (M ± SD)		Время операции, мин (M ± SD)	Коррекция, %
	Me	диапазоны	всего	LF/TGR	абс.	в % от ОЦК		
Нейромышечные сколиозы	84°	≤ 84°	30	21/9	460 ± 298	23,6 ± 9,5	274 ± 98	64,9 ± 20,2*
		> 84°	29	16/13	646 ± 552	29,7 ± 12,0*	302 ± 116	48,3 ± 13,9
	Статистические тесты для внутригруппового сравнения (p-value; t-test)				p = 0,11	p = 0,2	p = 0,33	p < 0,001
Синдромальные сколиозы	88°	≤ 88°	11	4/7	595 ± 681	27,2 ± 9,0	268 ± 48	60,1 ± 18,0*
		> 88°	12	9/4	889 ± 643	37,5 ± 14,0*	312 ± 628	41,8 ± 21,0
	Статистические тесты для внутригруппового сравнения (Манн – Уитни, U)				U = 35,5; p = 0,107	p < 0,05	U = 50,0; p = 0,511	p < 0,05

* p < 0,05 при попарном межгрупповом сравнении.

(>88°) синдромных деформаций та же ситуация – большая кровопотеря (+10 % ОЦК) и меньшая коррекция (–18 %).

Таким образом, после стратификации по тяжести исходной деформации значимые внутригрупповые различия эффективности хирургического лечения установлены для НМС – только для степени коррекции деформации, для СС – по объему кровопотери и степени коррекции деформации. При межгрупповом сравнении различия значимы только для деформаций, превышающих медианы, в сторону большей кровопотери и меньшей коррекции при СС, что вполне может быть объяснено ее большей разнородностью в отношении мобильности деформаций.

При этом тип инструментальной фиксации (преобладание LF в группе более тяжелых деформаций) остается ключевым фактором, влияющим на кровопотерю и время операции.

Обсуждение

Анализ эффективности методов инструментальной фиксации у детей с НМС и СС выявил важные, на наш взгляд, для клинической практики закономерности.

1. Подвергаемые коррекции синдромные и нейромышечные деформации не имеют статистически значимых различий по величине и ключевым периперационным показателям – объему кровопотери, времени операции, величине коррекции сколиоза. Строго говоря, термин «СС» в большей степени фокусирует внимание на системном характере поражения, в то время как понятие НМС, по сути, также являющееся синдромным, больше отражает этиопатогенез деформации позвоночника [8].

2. Сравнимые современные методы оперативного лечения обладают статистически значимой и сопоставимой эффективностью коррекции

деформации позвоночника для каждой этиологической группы. Установленным в исследовании ключевым отличием стал профиль безопасности: трехкратное снижение интраоперационной кровопотери и времени операции в группе TGR в сравнении с LF (p < 0,001) становится значимым аргументом для соматически отягощенных пациентов, у которых риски интраоперационных и ранних послеоперационных осложнений изначально крайне высоки [2].

3. Связь объема кровопотери и длительности операции с вариантом инструментальной фиксации дополнительно указывает на то, что менее инвазивная методика может быть предпочтительной и для подростков с высоким анестезиологическим риском, что расширяет представления о возможности применения у них технологий, исходно позиционированных для младшего возраста [9]. Методика TGR, разрабо-

танная для активно растущих пациентов, может быть эффективной как для младших (старше 9–10 лет), так и для старших (после 15 лет) соматически тяжелых подростков, с одной стороны, не исключая проведение в последующем полисегментарной стабилизации, с другой – потенциально оставаясь даже вариантом заключительной операции в случае полного удовлетворения пациента и его родителей полученным результатом.

4. Еще раз обращаем внимание на крайне позднее, с нашей точки зрения, время проведения операций (читай – направление пациентов на хирургическое лечение). Ранее было показано, что операции при больших деформациях у таких пациентов связаны с выраженными нарушениями анатомии и функции легких [10]. Финальная коррекция деформаций, превышающих 80° (то есть вдвое превышающих указанные как минимальные пороговые для хирургического лечения в клинических рекомендациях), может требовать расширения объема операции с проведением вертебротомии. Это неизбежно увеличит ее травматичность, о чем должен быть информирован пациент или его законный представитель.

Полученные нами в ходе исследования данные согласуются с рядом совсем недавних публикаций.

Так, Keil et al. [11] указывают на отсутствие различий TGR и первичной задней фиксации у ювенильных пациентов с EOS в итоговой коррекции основной дуги. Одновременно в метаанализе Elmesheeb et al. [12] при удовлетворительной коррекции фронтального баланса при любом варианте современной инструментации обращают внимание на кардинальное различие цены этого успеха с точки зрения безопасности. Следует упомянуть и обширное ($n = 6677$) когортное исследование, доказывающее независимость таких признаков, как длительность операции ≥ 400 мин и объем фиксации ≥ 13 уровней, в качестве предикторов кластеризации периоперационных осложнений [13]. Полученные



Рис. 2

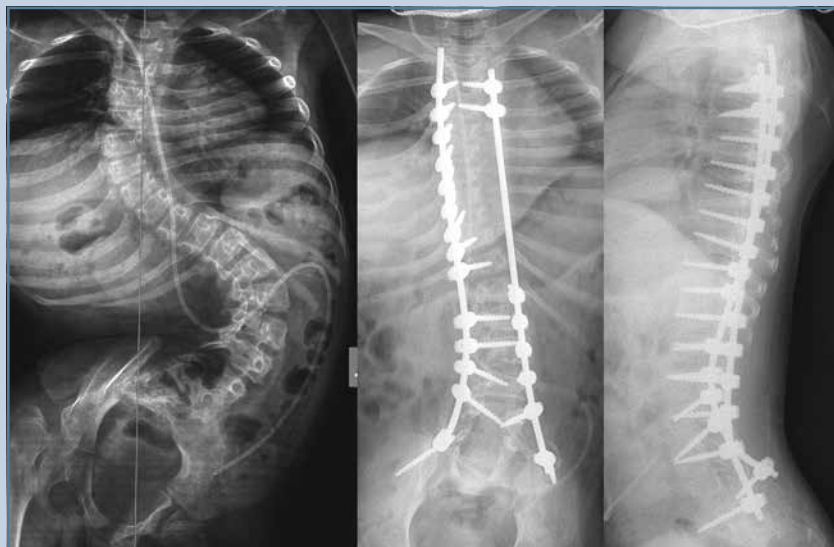
Пациентка 16 лет с нейрогенным сколиозом на фоне ДЦП, спастической диплегии. GMFCS 4. Выраженный дефицит массы тела (ИМТ = 15 кг/м²), по ЭКГ – выраженная тахисистолия с частотой сердечных сокращений 132 в мин, в анализах крови – хроническое повышение уровня D-димера, по данным импульсной осциллометрии – резкие генерализованные нарушения проходимости дыхательных путей. С учетом указанных факторов выполнили установку двух односторонних TGR («rib-spine»; «spine-spine») в условиях интраоперационного гало-фemorального вытяжения. Операция – 3 ч, коррекция – 57° (61,3 %), кровопотеря – 14 % ОЦК

нами данные о трехкратном снижении объема кровопотери и сокращении времени операции в среднем на 2 ч высоко значимы для пациентов с низкими функциональными резервами, у которых первичная финальная фиксация сопряжена с крайне высоким риском, а TGR может рассматриваться как метод активной профилактики дыхательной недостаточности и коагулопатии.

Особого внимания заслуживает эффективность применения TGR у пациентов старше 12 лет в качестве возможной альтернативы финальной инструментальной фиксации. Во-первых, полученная существенная коррекция деформации при кровопотере менее 30 % ОЦК у соматически отягощенных старших подростков расширяет ранее сформулированные представления [9]. Во-вторых, известно, что у паци-

ентов с менингомиелоцеле меньшая травматичность растущей конструкции может перевешивать преимущества других вмешательств [14]. Наконец, феномен спонтанного заднего блока при длительном стоянии конструкции, по некоторым данным, у пациентов с EOS достигающий 89 % случаев, превращается из недостатка в преимущество, обеспечивая стабилизацию позвоночника без дополнительной агрессии [15–17].

Мы сознательно не делаем выводов о превосходстве TGR над LF в долгосрочной перспективе, поскольку кумулятивный риск повторных дистракций и инфекций области хирургического вмешательства может нивелировать ранние преимущества [18]. Наше исследование касается только раннего операционного этапа (in-hospital outcome), что не противоречит сообщениям о девятикратном увеличе-

**Рис. 3**

Пациентка 9 лет с прогрессирующей нейромышечной деформацией позвоночника. Последствия миеломенингорадикулоцеле груднопоясничного отдела, состояние после пластики в раннем возрасте. Внутренняя симметричная окклюзионная гидроцефалия, состояние после вентрикулоперитонеального шунтирования; мальформация Денди – Уокера. Синдром Арнольда – Киари II. Нижняя вялая параплегия с нарушением функции тазовых органов. GMFCS 4. Дефицит массы тела (ИМТ = 18,1 кг/м²). Выполнена полисегментарная задняя транспедикулярная позвоночно-тазовая фиксация, полная коррекция деформации. Операция – 4 ч 30 мин, кровопотеря – более 30 % ОЦК

нии числа ревизий при GF-хирургии позвоночника [19].

Отсутствие этиологических различий в эффективности коррекции деформаций между НМС и СС является подтверждением ранее полученных данных [8]. В свою очередь, худшая коррекция и большая кровопотеря при СС, превышающих 88°, может объясняться большей ригидностью и диспластичностью тканей при генетических синдромах, что согласуется с рекомендациями формировать более объемные выборки для анализа таких состояний [20].

Ограничение достоверности результатов

Авторы понимают ограничения полученных результатов, которые обусловлены следующими причинами.

Мультицентровой ретроспективный дизайн работы подразумевает соблюдение общих принципов операций, но не исключает индивидуальных

особенностей техники их выполнения каждым хирургом(-ами) в каждой клинике (включая технику скелетирования позвоночника, установки винтов и т.д.). При таком дизайне не менее сложен и анализ осложнений операций, прежде всего ранних, система регистрации которых в разных учреждениях различна. Также не для всех пациентов удалось получить все антропометрические данные, необходимые для расчета таких показателей, как ИМТ или относительный объем кровопотери.

Срок анализа ограничен непосредственным результатом лечения, который в литературе обозначается как in-hospital outcome: за рамками остались поздние осложнения – тем более именно НМС связаны с самыми высокими рисками системных реанимационных и имплант-ассоциированных проблем, в том числе инфекционных.

Влияние на результаты разнообразных этиологических вариантов сколиозов может быть нивелировано только в результате дальнейшего накопления материала.

Результат хирургической коррекции оценен преимущественно по фронтальному компоненту деформации, при этом различия в выполнении рентгенологического исследования исключали возможность оценки глобального баланса позвоночника на этапах лечения, что имеет значение прежде всего для ходячих пациентов.

В качестве иллюстраций приводим два клинических примера с противоположными тактическими подходами: применение «растущей» конструкции у старшего подростка (рис. 2) и полисегментарной постоянной фиксации – у пациента до 10 лет (рис. 3).

Заключение

Сравнительный анализ использования методик LF и TGR в лечении СС и НМС у детей продемонстрировал эффективность обоих методов по абсолютной величине коррекции при несколько большей степени коррекции в случае полисегментарной фиксации. С позиции безопасности финальная фиксация связана с большей продолжительностью вмешательства, напрямую коррелирующего с кровопотерей.

У подростков с тяжелыми СС и НМС, имеющими выраженную коморбидность и, соответственно, высокие периоперационные риски, применение традиционных «растущих» стержней можно рассматривать не только как этапную, но и как альтернативную, менее травматичную по отношению к полисегментарной фиксации техническую опцию с сопоставимой коррекцией. Это не исключает возможности финальной полисегментарной стабилизации в последующем, но при удовлетворении пациента и его представителей результатом теоретически может стать заключительной операцией, в том числе ввиду потенциальной возможности развития известного из литературы спонтанного заднего блока позвоночника.

Литература/References

1. Клинические рекомендации «Нервно-мышечный сколиоз». Одобрены Научно-практическим советом Минздрава России, 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.ppt.ru/klinicheskie-rekomendatsii/320797>. [Neuromuscular scoliosis. Clinical practice guidelines. Approved by the Scientific and Practical Council of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2025. Available at: <https://pravo.ppt.ru/klinicheskie-rekomendatsii/320797>].
2. Rumalla K, Yarbrough CK, Pugely AJ, Koester L, Dorward IG. Spinal fusion for pediatric neuromuscular scoliosis: national trends, complications, and in-hospital outcomes. *J Neurosurg Spine*. 2016;25:500–508. DOI: <https://doi.org/10.3171/2016.2.SPINE151377>
3. Cognetti D, Keeny HM, Samdani AF, Pahys JM, Hanson DS, Blanke K, Hwang SW. Neuromuscular scoliosis complication rates from 2004 to 2015: a report from the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality database. *Neurosurg Focus*. 2017;43:E10. DOI: <https://doi.org/10.3171/2017.7.FOCUS17384>
4. Loughenbury PR, Tsirikos AI. Current concepts in the treatment of neuromuscular scoliosis: clinical assessment, treatment options, and surgical outcomes. *Bone Jt Open*. 2022;3:85–92. DOI: <https://doi.org/10.1302/2633-1462.31.BJO-2021-0178.R1>
5. Rajappa K, Rudraprasad MS, Pai PK. Growth rods and guided growth techniques in the treatment of early-onset scoliosis. In: Zacharia B, Raja S.D.C., KV N. (eds). *Paediatric Scoliosis*. Springer, Singapore, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-3017-3_25
6. Yang JS, McElroy MJ, Akbarnia BA, Salari P, Oliveira D, Thompson GH, Emans JB, Yazici M, Skaggs DL, Shah SA, Kostial PN, Sponseller PD. Growing rods for spinal deformity: characterizing consensus and variation in current use. *J Pediatr Orthop*. 2010;30:264–270. DOI: <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e3181d40f94>
7. Yoshida B, Valenzuela-Moss J, Tetreault T, Wren T, Silverman-Lloyd N, Phan T, Andras L, Heffernan M. What happens when you wait? Larger curves require more resources for less correction in neuromuscular scoliosis. *Dev Med Child Neurol*. 2024;66(Suppl: AACPD 2024 Scientific Posters):97. DOI: <https://doi.org/10.1111/dmcn.16088>
8. Chung AS, Renfree S, Lockwood DB, Karlen J, Belthur M. Syndromic scoliosis: national trends in surgical management and inpatient hospital outcomes. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019;44:1564–1570. DOI: <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003134>
9. Hughes MS, Swarup I, Makarewich CA, Williams BA, Talwar D, Cahill PJ, Flynn JM, Anari JB. Expert consensus for early onset scoliosis surgery. *J Pediatr Orthop*. 2020 Aug;40:e621–e628. DOI: <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001473>
10. Макарова А.В., Альшаова М.А.А., Маслак О.С., Мушкин А.Ю. Изменение объема и пневматизации легких у детей в раннем периоде после хирургической коррекции тяжелого нейромышечного сколиоза, осложненного дыхательной недостаточностью: когортное исследование. *Вопросы современной педиатрии*. 2024;23(3):174–180. [Makarova AV, Alshaowa MAA, Maslak OS, Mushkin AYU. Lung volume and pneumatization changes in children in early post-surgical period after correction of severe neuromuscular scoliosis complicated with respiratory failure: cohort study. *Current Pediatrics*. 2024;23(3):174–180]. DOI: <https://doi.org/10.15690/vsp.v23i3.2766> EDN: <https://elibrary.ru/DJIGJM>
11. Keil LG, Nash AB, St rmer T, Golightly YM, Lin FC, Stone JD, Sanders JO, Louer CR. When is a growth-friendly strategy warranted? a matched comparison of growing rods versus primary posterior spinal fusion in juveniles with early-onset scoliosis. *J Pediatr Orthop*. 2021;41:e859–e864. DOI: <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001926>
12. Elmeshneb MA, Hassanin MA, Elnady B, Sleem A, Le GT, Patel MS, Quraishi NA. Surgical complications in neuromuscular scoliosis surgery: systematic review and meta-analysis of the last ten years. *Eur Spine J*. 2024;33:2666–2676. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-024-08338-y>
13. Rajkumar S, Iyer RR, Stone L, Kelly MP, Plonsker J, Brandel M, Gonda DD, Mazur MD, Ikeda DS, Lucas DJ, Choi PM, Ravindra VM. Frequency and predictors of complication clustering within 30 days of spinal fusion surgery: a study of children with neuromuscular scoliosis. *Spine Deform*. 2024;12:727–738. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43390-023-00813-8>
14. Kontakis MG, Pazarlis K, Karlsson T, Jonsson H, Schizas N. Growing rods in meningocele lead to increased risk for complications in comparison with fusion; a retrospective study of 30 patients treated for at the University Hospital of Uppsala. *Eur Spine J*. 2024;33:739–745. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00586-023-07996-8>
15. Cahill PJ, Marvil S, Cuddihy L, Schutt C, Idema J, Clements DH, Antonacci MD, Asghar J, Samdani AF, Betz RR. Autofusion in the immature spine treated with growing rods. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35:E1199–203. DOI: <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181e21b50>
16. Menapace B, Jain V, Sturm P. Autofusion in early-onset scoliosis growing constructs: occurrence, risk factors, and impacts. *Spine Deform*. 2024;12:1155–1163. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43390-024-00853-8>
17. Hatem A, Elmorshidy EM, Elkot A, Hassan KM, El-Sharkawi M. Autofusion in growing rod surgery for early onset scoliosis; what do we know so far? *SICOT J*. 2024;10:15. DOI: <https://doi.org/10.1051/sicotj/2024011>
18. Gupta K, Barik S, Sarkar MH, Chaudhary S, Sinha SK, Raj V, Kandwal P. Use of growth rod systems for management of early onset scoliosis in cerebral palsy: a systematic review. *Turk Neurosurg*. 2023;33:177–184. DOI: <https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.41939-22.2>
19. Li Y, Swallow J, Gagnier J, Cahill PJ, Sponseller PD, Garg S, Thompson GH, Ramo BA. Growth friendly surgery results in more growth but a higher complication rate and unplanned returns to the operating room compared to single fusion in neuromuscular early onset scoliosis: a multicenter retrospective cohort study. *Spine Deform*. 2021;9:851–858. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43390-020-00270-7>
20. Gao R, Bai Y, Zhang X, Cao J, Guo D, Yao Z, Liu H. Outcomes and safety of traditional growing rod technique in the treatment of early-onset dystrophic scoliosis secondary to type 1 neurofibromatosis with intraspinal rib head dislocation in children. *J Pediatr Orthop*. 2023;43:e223–e229. DOI: <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000002319>

Статья поступила в редакцию 13.05.2026

Рецензирование пройдено 07.08.2026

Подписано в печать 15.08.2026

Received 13.05.2026

Review completed 07.08.2026

Passed for printing 15.08.2026

Дополнительная информация

Вклад авторов. А.А. Першин – разработка методов и процедур, сбор данных, статистический и теоретический анализ данных, управление данными: подготовка, аннотирование, хранение, написание первоначального текста статьи, редактирование, доработка текста; А.В. Макарова – разработка методов и процедур, сбор данных, управление данными: подготовка, аннотирование, хранение, теоретический анализ данных, доработка текста; С.О. Рябых – сбор данных, редактирование, доработка текста; А.Р. Сюндюков – сбор данных, редактирование, доработка текста; А. Мудар – сбор данных; А.Ю. Мушкин – формулирование идеи, гипотезы, цели исследования, редактирование, доработка текста, научное руководство проектом, организационное управление проектом. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), 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. Статья подготовлена в рамках исследований, одобренных локальной этической комиссией ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России (протокол № 111 от 15.01.2025).

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах

✉ Андрей Александрович Першин, канд. мед. наук; Россия, 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр-т, 2-4; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=3310-2551; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9963-3294>; aa.pershin@spbniif.ru

Анна Валерьевна Макарова; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=4296-5120; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2253-2289>; makarova_a09@mail.ru

Сергей Олегович Рябых, д-р мед. наук; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=6382-1107; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8293-0521>; rso@mail.ru

Айрат Рашитович Сюндюков, канд. мед. наук; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8276-9216>; sndk-ar@yandex.ru

Мудар Альшаова; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0007-1018>; modarsh@msn.com

Александр Юрьевич Мушкин, д-р мед. наук, профессор; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=9373-4335; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1342-3278>; aymushkin@mail.ru

Authors' Info

✉ Andrei Aleksandrovich Pershin, MD, Cand. Sci. (Medicine); 2-4 Ligovsky ave, Saint Petersburg, 191036, Russia; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=3310-2551; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9963-3294>; aa.pershin@spbniif.ru

Anna Valeryevna Makarova; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=4296-5120; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2253-2289>; makarova_a09@mail.ru

Sergey Olegovich Ryabikh, MD, Dr. Sci. (Medicine); eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=6382-1107; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8293-0521>; rso@mail.ru

Airat Rashitovich Syundyukov, MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8276-9216>; sndk-ar@yandex.ru

Mudhar A.A. Alshaowa; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0007-1018>; modarsh@msn.com

Aleksandr Yuryevich Mushkin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=9373-4335; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1342-3278>; aymushkin@mail.ru