



# НЕЙРОМЫШЕЧНЫЕ СКОЛИОЗЫ У ДЕТЕЙ: ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ И ФУНКЦИЯ ЛЕГКИХ (АНАЛИТИКО-СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

А.В. Макарова<sup>1</sup>, А.А. Першин<sup>1</sup>, А.Ю. Мушкин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет  
им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

**Цель исследования.** Систематический анализ современных публикаций, посвященных хирургической коррекции нейромышечных сколиозов у детей и ее связи с функцией легких.

**Материал и методы.** Поиск научных источников осуществляли в соответствии с PRISMA. Протокол разработан априорно, в международных регистрах систематических обзоров не регистрировался. Поиск производился в базах данных PubMed/Medline, Scopus, Cochrane Library, Google Scholar, eLibrary, КиберЛенинка, РУКОНТ. Из 938 записей, обнаруженных в базах данных, в обзор включены 69 работ.

**Результаты.** Важнейшим положительным эффектом хирургической коррекции деформации позвоночника при нейромышечном сколиозе в отношении функции легких считается не регресс дыхательных нарушений, а их стабилизация или замедление прогрессирования. Основное противоречие заключается в том, что метод, обеспечивающий максимальную коррекцию и стабильность (задний инструментальный и костный спондилодез), у растущих детей необратимо останавливает рост позвоночника и грудной клетки, потенциально ограничивая развитие легких. В то же время технологии сохранения роста сопряжены с ожидаемо меньшей одномоментной коррекцией деформации при более высокой частоте запланированных послеоперационных осложнений, тяжесть которых тем не менее несравнимо меньше, чем при заключительном спондилодезе. Данные об эффективности многих рост-сберегающих систем (Shilla, Luque trolley) при нейромышечном сколиозе остаются фрагментарными.

**Заключение.** Анализ хирургических методик коррекции нейромышечного сколиоза и их влияния на дыхательную функцию пациентов демонстрирует дефицит и противоречивость данных; отсутствуют единые критерии оценки функции дыхания; когорты пациентов различаются по нозологии нейромышечного сколиоза, прогнозу основного заболевания, тяжести функционального статуса, возрасту и величине деформации.

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

Для цитирования: Макарова А.В., Першин А.А., Мушкин А.Ю. Нейромышечные сколиозы у детей: хирургическое лечение и функция легких (аналитико-систематический обзор) // Хирургия позвоночника. 2026. Т. 23, № 1. С. 36–47. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.1.36-47>

## NEUROMUSCULAR SCOLIOSIS IN CHILDREN: SURGICAL TREATMENT AND LUNG FUNCTION (ANALYTICAL AND SYSTEMATIC REVIEW)

A.V. Makarova<sup>1</sup>, A.A. Pershin<sup>1</sup>, A.Yu. Mushkin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg Research Institute of Phthiopulmonology, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup>Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia

**Objective.** To systematically review current publications on surgical correction of neuromuscular scoliosis in children and its relationship with lung function.

**Material and Methods.** A search of scientific sources was conducted in accordance with PRISMA standard. The protocol was developed a priori and was not included in international registries of systematic reviews. The search included PubMed/Medline, Scopus, the Cochrane Library, Google Scholar, eLibrary.ru, CyberLeninka, and Rucont. Of the 938 database entries, 69 studies were included in the review.

**Results.** The most important positive effect of surgical correction of spinal deformity associated with neuromuscular scoliosis on pulmonary function is considered to be stabilization or slowing of the progression rather than regression of respiratory impairment. The main controversy lies in the fact that the method that provides maximum correction and stability (posterior instrumentation and fusion) irreversibly halts the growth of the spine and thorax in growing children, potentially limiting lung development. At the same time, growth-friendly technologies are associated with an expectedly smaller immediate deformity correction and with a higher incidence of planned postoperative complications, which, however, are incomparably less severe than with final fusion. Data on the effectiveness of many growth-preserving systems (Shilla, Luque trolley) in neuromuscular scoliosis remain fragmentary.

**Conclusion.** The analysis of surgical correction techniques in neuromuscular scoliosis and their impact on patients' respiratory function demonstrates a lack and inconsistency of data; there are no uniform criteria for assessing respiratory function; patient cohorts differ in the nosology and prognosis of the underlying disease, severity of functional status, age, and magnitude of deformity.

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

Please cite this paper as: Makarova AV, Pershin AA, Mushkin AYu. Neuromuscular scoliosis in children: surgical treatment and lung function (analytical and systematic review). Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2026;23(1):36–47. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.1.36-47>

Нейромышечный сколиоз (НМС) является тяжелым ортопедическим осложнением ряда нервно-мышечных заболеваний, преимущественно врожденного генеза (спинальной мышечной атрофии, детского церебрального паралича, мышечной дистрофии Дюшенна, миеломенингоцеле, травмы спинного мозга, ассоциированных с миелопатией генетических синдромов и других), дифференцируемых, прежде всего, по преобладающему центральному или периферическому нейронному или мышечному звену нарушения [1–5]. С учетом популяционной распространенности нервно-мышечных заболеваний (1 случай на 3–3,5 тыс. населения) и частоты НМС при них (60–90 %, в том числе при наиболее частом варианте – детском церебральном параличе с тяжелыми моторными нарушениями (GMFCS IV–V) НМС – 85 %) проблема приобретает огромную клинико-социальную и экономическую значимость [4, 5].

Типичными для НМС являются сопутствующие нарушения дыхания, обычно обусловленные сочетанием слабости дыхательной мускулатуры с вторичными рестриктивными изменениями на фоне деформаций грудной клетки и нарушений движений диафрагмы, что становится основной причиной дыхательной недостаточности, ведущей к снижению качества жизни, инвалидизации и смерти пациентов [6–10].

Известно, что консервативные методы лечения НМС (корсеты, специальные сиденья, физиотерапия) не только не способны остановить прогрессирование заболевания, но и могут ухудшать дыхание, ввиду чего должны применяться рано, но ограниченно [11–16].

Вероятность развития нейромышечной деформации при детском церебральном параличе обратно пропорциональна степени двигательных нарушений: чем меньше пациент самостоятельно передвигается, тем выше риск прогрессирования искривления. По данным проспективного регистра детского церебрального паралича Швеции, включающего 962 ребенка, у детей с III, IV и V уровнем GMFCS в возрасте до 10 лет сколиоз величиной  $\geq 40^\circ$  выявлен у 2 %, 5 % и 20 % пациентов соответственно, в то время как к 20 годам соответствующие показатели составляют уже 8 %, 35 % и 75 %; при этом ни в одном случае сколиоз не превысил  $40^\circ$  при GMFCS I–II [17].

Медикаментозная терапия влияет на сроки, тяжесть и прогрессирование НМС и связана с современными возможностями таргетной терапии: так, пероральные кортикостероиды замедляют прогрессирующую слабость при мышечной дистрофии Дюшенна, задерживая развитие сколиоза до подросткового или молодого возраста [18], а при спинальной мышечной атрофии генная терапия и модификаторы гена *SMN2* могут сохранить мышечную силу, отсрочив развитие сколиоза [19, 20].

При этом высокая частота, современный уровень знаний о генетике и понимание особенностей НМС раннего генеза у детей сопровождаются недостаточной осведомленностью педиатров, детских хирургов и ортопедов о вариантах их течения, осложнениях и возможностях хирургического лечения. Все это заставило нас проанализировать современную литературу, посвященную не столько известным, сколько дискутируемым аспектам этой проблемы.

Цель исследования – анализ современных публикаций, посвященных хирургической коррекции НМС у детей и ее связи с функцией легких.

Методология отбора публикаций соответствует рекомендациям PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Протокол разработан априорно, в международных регистрах систематических обзоров (PROSPERO и др.) не регистрировался, что соответствует аналитико-систематическому исследованию.

### Критерии отбора публикаций

#### Критерии включения

1. Патология: НМС любой этиологии (детский церебральный паралич, спинальная мышечная атрофия, мышечная дистрофия Дюшенна, миеломенингоцеле и другие нервно-мышечные заболевания).

2. Тип публикаций: метаанализы, систематические обзоры, проспективные и ретроспективные клинические исследования, серии случаев и уникальные наблюдения, а также клинические рекомендации по НМС.

3. Возраст пациентов в публикациях: 18 лет и младше на момент операции.

4. Корректирующие операции на позвоночнике: задняя окончательная инструментальная коррекция/фиксация, рост-сберегающие технологии и системы направленного роста с наличием данных о первичных (степень/величина коррекции деформации (угол Cobb), частота и структура периоперационных и отдаленных осложнений, показатели качества жизни пациентов и/или их семей) и вторичных исходах (изменение функции легких, включая жизненную емкость, форсированную жизненную емкость, объем форсированного выдоха за 1 с,

структуры легких по данным КТ, представленные в абсолютных значениях или в процентах от должных).

#### Критерии исключения

1. Публикации, посвященные исключительно неврологическим особенностям, наследованию, генетике, медикаментозному лечению нервно-мышечных заболеваний и консервативному лечению НМС.

2. Исследования взрослой популяции.

3. Описания хирургических техник без оценки исходов.

4. Экспериментальные (на животных) и биомеханические исследования.

5. Редакционные статьи, экспертные мнения, отчеты о единичных (<5) случаях, кроме уникальных техник.

6. Публикации на языках, отличных от русского и английского.

#### Источники информации и стратегия поиска

Поиск проведен по англо- и русскоязычным источникам в электронных базах данных PubMed/Medline, Scopus, Cochrane Library, Google Scholar, eLibrary, КиберЛенинка, РУКОНТ. Временные рамки поиска: период с января 2015 г. по декабрь 2025 г.

Поиск стратегия включала комбинацию ключевых слов и MeSH-терминов с использованием логических операторов AND/OR, в том числе англоязычных: («neuromuscular scoliosis» OR «myelomeningocele scoliosis» OR «cerebral palsy scoliosis» AND («spinal fusion» OR «surgical treatment» OR «growing rods» OR «growth-friendly» OR «VEPTR») AND («pulmonary function» OR «lung function» OR «respiratory function» OR «vital capacity») AND (child\* OR adolescent\*OR pediatric\*).

Эквивалентные термины использовали при поиске русскоязычных публикаций. Стратегию поиска адаптировали для каждой базы данных. Дополнительно осуществляли ручной поиск по спискам литературы включенных статей и релевантных систематических обзоров.

#### Процесс отбора исследований

Все выявленные записи экспортировали в менеджер библиографических ссылок с последующим удалением

дубликатов. Отбор публикаций осуществлял в два последовательных этапа один исследователь: 1) скрининг заголовков и аннотаций на соответствие критериям включения и исключения; 2) полнотекстовая оценка потенциально релевантных публикаций.

Количественные ограничения (размер выборки, тип вмешательства, возрастной диапазон внутри детской популяции) на этапе отбора не применяли и анализировали описательно в разделе результатов.

#### Извлечение данных и оценка риска смещения

Из включенных исследований извлекали следующую информацию:

- авторы, год публикации, дизайн исследования;
- численность и возраст пациентов, нозологическая структура;
- тип хирургического вмешательства;
- показатели функции легких, степень коррекции деформации, осложнения.

Ввиду преобладания нерандомизированных дизайнов формальная количественная оценка риска систематической ошибки не являлась целью обзора.

#### Синтез данных

С учетом выраженной клинической и методологической гетерогенности включенных исследований (различная этиология НМС, возраст пациентов, хирургические техники, методы оценки функции дыхания) проведение метаанализа признано нецелесообразным. Качественный синтез данных выполнен с тематическим группированием по двум параметрам:

1) тип хирургического вмешательства (окончательная фиксация против рост-сберегающих систем);

2) по основным исходам (функция легких, коррекция деформации, осложнения).

Результаты представлены ниже в текстовой и табличной формах.

#### Результаты

Схема отбора источников информации для обзора представлена на рис.

Согласно национальным и международным рекомендациям, хирурги-

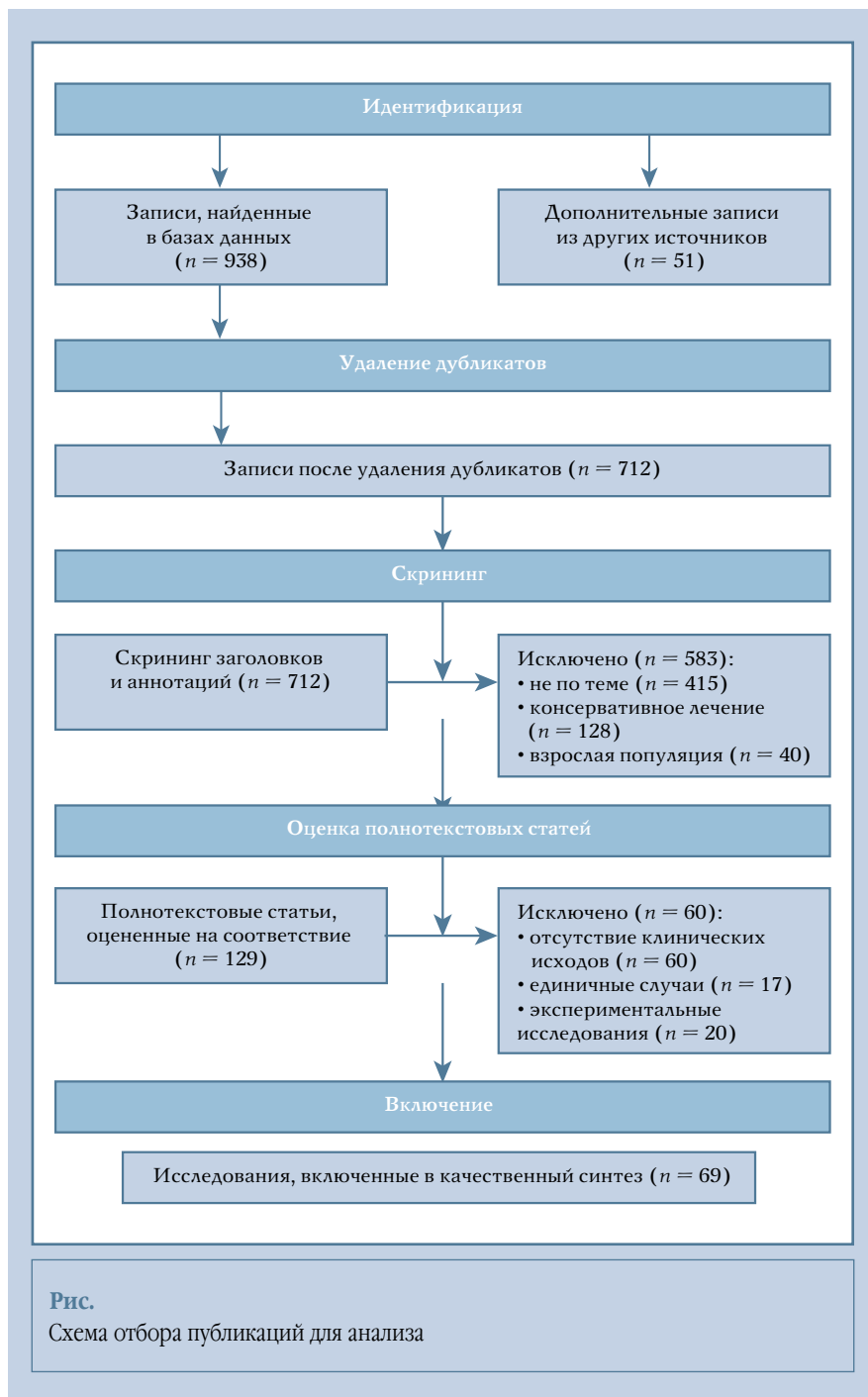
ческое лечение является основным методом коррекции выраженного и прогрессирующего НМС и одновременно основным объектом профессиональных дискуссий. Его общими целями считаются предотвращение прогрессирования деформаций, создание стабильно сбалансированного позвоночника для улучшения вертикального положения, в том числе сидя; улучшение или стабилизация респираторной функции и улучшение социализации, включая облегчение ухода за пациентами за счет уменьшения боли, дискомфорта и улучшения качества жизни. Величина деформации, при которой рекомендуется хирургическое лечение, зависит от нервно-мышечного заболевания, в связи с чем основные показания к нему в Клинических рекомендациях Минздрава России суммированы следующим образом [21]:

- сколиоз более 40° (для спинальной мышечной атрофии – более 50°; для пациентов с миодистрофией Дюшенна, получающих глюкокортикостероиды, – более 30°);
- ежегодное прогрессирование деформации более 5° (для спинальной мышечной атрофии >10°);
- гиперкифоз или гиперлордоз более 50°;
- глобальный дисбаланс туловища во фронтальной и (или) сагиттальной плоскости.

В случаях, если перекос таза превышает 15°, у детей рекомендовано выполнять заднюю инструментальную фиксацию грудного и поясничного отделов позвоночника с захватом таза. При этом пациентам, имеющим возможность ходить, фиксация таза не рекомендуется, как и неходячим пациентам при отсутствии перекоса [8].

В целом методы коррекции НМС можно разделить на две большие группы [2, 22].

*Пост-сберегающие (growth-friendly, GF, динамические)* системы применяют у детей младшего возраста (как правило, до 8–10 лет) или еще с не завершенным значительным ростом скелета. Стратегия такой операции соответствует критериям



лечения сколиозов с ранним началом (EOS), а ее цель – частичная коррекция сколиоза с сохранением возможности роста позвоночника и грудной клетки, в том числе для роста легочной ткани. К рост-сберегающим относятся различные удлиняемые конструкции – вертикально расширяемые эндопротезы ребер (VERTR), магнитно-контролируемые стержни (MAGEC),

традиционные стержни с телескопическим и параллельным удлинением (TGR), «скользящие» технологии Shilla и Luque trolley и редко используемые динамические вентральные системы VBT/ASC.

Традиционные блокирующие системы обеспечивают инструментальную коррекцию с постоянной, окончательной фиксацией (спон-

дилодез). Они применяются обычно у пациентов старше 12 лет, когда основной рост скелета завершен или близок к завершению, либо в более раннем возрасте в случаях угрожающих жизни искривлений. Окончательная задняя фиксация останавливает прогрессирование сколиоза и существенно улучшает баланс туловища, однако отрицательно сказывается на развитии легких.

Типично последовательное сочетание обоих подходов – начало лечения с использованием «растущей» системы с последующим переходом к постоянному блокированию позвоночника.

*Преимущества и недостатки разных методов коррекции НМС*

Анализ 10 ретроспективных когортных исследований, включающих данные о 992 пациентах с нейромышечными деформациями позвоночника, выявил существенные различия в хирургических подходах и результатах лечения НМС у детей (табл. 1):

- при окончательной фиксации современный ригидный инструментальный с транспедикулярными винтами по сравнению с гибридными или проволочными конструкциями обеспечивает лучшую коррекцию деформации (75 % vs. 59 %), сокращает время операции (6,04 vs. 7,45 ч), кровопотерю (1785 мл vs. 3760 мл) и частоту развития псевдоартроза (5 % vs. 22 %,  $p = 0,026$ );

- GF-хирургия требует существенно большего числа хирургических процедур по сравнению с одномоментным задним спондилодезом (8,7 vs. 1,6), закономерно сопровождается увеличением числа послеоперационных осложнений, связана с ожиданием членами семьи последующих операций и обеспечивает меньшую коррекцию основной дуги искривления при наиболее эффективном первом этапе (38 % vs. 62 %,  $p = 0,001$ );

- малоинвазивная хирургия без спондилодеза (MIFS – Minimally invasive fusionless surgery) снижает число периоперационных осложнений (OR – 4,6), потребность в гемотранфузии (ОШ = 14,0 %; 95%ДИ: 6,3–33,0),

Таблица 1

Анализ публикаций, отобранных для исследования

Публикация	Дизайн исследования	Группы сравнения	Размер выборки	Период наблюдения	Набор данных
Mattila et al. [23]	Попарно подобранная когорта	Гибридная фиксация/только педикулярные винты	33/3	Минимум 2 года	Проспективно
Tsirikos et al. [24]	Ретроспективная когорта	1 этап/2-этапная операция (переднезадний спондилодез)	45	НД	НД
Li et al. [25]	Ретроспективная мультицентровая когорта	Задний спондилодез/этапные операции (GF) + окончательный спондилодез	16/43	Минимум 2 года после окончательного спондилодеза	Мультицентровая база данных
Njiki et al. [26]	Ретроспективная когорта	Задний спондилодез/растущие стержни	75/65	НД	НД
Sarwahi et al. [27]	Ретроспективная когорта	Ходячие пациенты с нейромышечной деформацией/неходячие пациенты с нейромышечной деформацией/идиопатический сколиоз	54/120/158	НД	2005–2018 гг.
Akesen et al. [28]	Ретроспективная когорта	Задняя фиксация до S <sub>1</sub> /задняя фиксация с захватом таза	23/13	Медиана – 20 мес. (12–66)	2011–2015 гг.
Gaumé et al [29]	Ретроспективная когорта	Задний спондилодез (PSF)/мини-инвазивная фиксация (MIFS)	75/65	Ранний послеоперационный период	2012–2017 гг.
Reames et al. [30]	Ретроспективный анализ мультицентровой базы данных	Идиопатический/врожденный/нейромышечный сколиоз	19360	НД	2004–2007 гг.
Funk et al. [31]	Ретроспективный анализ	Неригидные (более 50 % – субламинарная проволока + стержни Гальвестона или подвздошные винты)/ригидные (более 50 % – педикулярные винты и подвздошные винты) конструкции	23/7	В среднем 3,9 года (1–12)	1998–2012 гг.
Phillips et al. [32]	Ретроспективный обзор	2 подвздошных винта/4 подвздошных винта	50	НД	НД

НД – нет данных.

время госпитализации (17,3 vs. 24,1 дня,  $p = 0,2$ ) и продолжительность инвазивной вентиляции (5,28 vs. 7,02 дня,  $p = 0,05$ );

- более активное применение вазопрессоров при одномоментной окончательной задней фиксации по сравнению с «растущими» стержнями и с MIFS ( $p = 0,06$ ) свидетельствует о большей гемодинамической нестабильности пациентов при окончательном традиционном спондилодезе;

- двухэтапный спондилодез более безопасен в сравнении с одноэтапным, при котором отмечены значительно более высокая частота осложнений и 2 случая периоперационной смерти; при этом общая частота осложнений при НМС почти втрое (17,9 % vs. 6,3 %), а периоперационная летальность – почти в 10 раз (0,30 % vs. 0,02 %) [33] превышает таковую при идиопатическом сколиозе;

- ходячие пациенты с НМС достигают результатов, сопоставимых с идио-

патическим сколиозом подростков ( $p = 1,0$  для осложнений), в то время как неходячие значительно дольше находятся в отделении интенсивной терапии, требуют больше переливаний крови и имеют более высокую частоту осложнений ( $p < 0,001$ ).

Таким образом, подход к хирургическому лечению пациентов с НМС определяется возрастом, способностью к передвижению и остаточным потенциалом роста. В свою очередь оптимальные возрастные диапазоны

для перехода между стратегиями остаются недостаточно определенными, а риски периоперационных осложнений высокими.

*Задняя инструментальная фиксация позвоночника с окончательным спондилодезом*

При корректной операции исправить нейромышечное искривление удается на 50–70 % от исходного [9]. По данным Tsirikos et al. [24], применение конструкции типа Unit Rod (соединенный краниально двойной стержень, предызогнутый сагиттально и фронтально для каудального внедрения в кости таза под углом 45° и фиксируемый субламинарной проволокой по Luque) у 287 пациентов обеспечило коррекцию сколиоза в среднем на 68 %. Современные винтовые системы позволяют также устранить/уменьшить гиперкифоз/гиперлордоз и скорректировать наклон таза при применении подвздошных винтов, что существенно улучшает баланс сидя у неходячих детей: они дольше сидят без поддержки, улучшают контроль за положением головы, а также освобождают руки для функциональной активности. Уменьшение деформации снижает риск пролежней, в том числе при реберно-тазовом конфликте – контакте нижних ребер с гребнем подвздошной кости [33].

Основное положительное влияние операции на дыхание – это стабилизация или замедление снижения функции легких. Окончательная фиксация устраняет прогрессирование деформации и предотвращает дальнейшее развитие респираторных нарушений. Иными словами, не возвращая утраченный объем легких, операция может продлить период относительной стабильности функции.

Lenhart et al. [33] сообщают о приросте форсированной жизненной емкости (ФЖЕЛ) на 0,4 л после спондилодеза у пациентов со спинальной мышечной атрофией, однако относительный показатель (% от нормы) при длительном наблюдении продолжает снижаться, хоть и медленнее, чем до операции.

По данным других исследований [34, 35], у пациентов со спинальной мышечной атрофией и другими НМС до операции ФЖЕЛ уменьшалась на ~5–8 % в год, тогда как после коррекции темп снижения замедлялся до ~2–3 % в год. При наблюдении в 5 лет и более при прогрессирующих нервно-мышечных заболеваниях отмечается дальнейшее снижение ЖЕЛ (%), связанное с естественным течением основного заболевания и слабостью дыхательных мышц.

В раннем послеоперационном периоде может наблюдаться снижение ЖЕЛ по сравнению с предоперационным вследствие болевого синдрома, скованности грудной клетки, отека мягких тканей [36]. Однако через 6–12 мес. показатели обычно возвращаются к исходным [37]. По мнению авторов, субъективно отмечаемое облегчение дыхания связано с более эффективной работой диафрагмы и улучшением дренажа мокроты за счет поднятия ребер и освобождения базальных отделов легких после выпрямления позвоночника. В целом долгосрочный эффект задней фиксации на респираторную функцию характеризуется как стабилизирующий для имеющегося уровня.

*Недостатки и осложнения.* Окончательная фиксация (спондилодез) при НМС – это операция с длительной анестезией, значительной кровопотерей и риском осложнений. При детском церебральном параличе существует обратная зависимость между объемом кровопотери (в % от ОЦК) во время операции по коррекции деформации и размерами пациента: пациенты меньшего роста теряют больший относительный объем крови.

Несколько исследований показали снижение смертности в отдаленном периоде и улучшение связанного со здоровьем качества жизни пациентов с нервно-мышечными заболеваниями, перенесших спондилодез и восстановившихся после операции без серьезных осложнений [38–42]. При этом хирургическое лечение НМС имеет самый высокий риск осложнений среди всех форм ско-

лиоза, достигающий 75 % в зависимости от основной этиологии и лечебного центра [9, 43, 44]. В крупной (2154 пациента) выборке Rumalla et al. [45] с 17,9 % послеоперационных осложнений при НМС основными явились требующая трансфузий кровопотеря, глубокая раневая инфекция, в том числе потребовавшая повторных операций и удаления металлоконструкции, и длительное заживление раны на фоне белково-энергетической недостаточности [46]. В литературе также отмечены плевральные (ателектазы, гидро-/пневмоторакс) и имплантозависимые осложнения – переломы конструкций, транспозиция винтов, псевдоартроз в зоне костной пластики и т.д. Применяемое для улучшения качества костной ткани и, соответственно, снижения риска имплантоассоциированных осложнений введение бисфосфонатов не исключает побочных эффектов в виде реакции острой фазы и гипокальциемии, особенно при первой инфузии [47]. При необходимости нескольких инфузий (что может занять годы) они могут проводиться не только до, но и после операции [48].

У пациентов с детским церебральным параличом V функционального уровня по GMFCS, перенесших артродез позвоночника, по данным одномерного логистического регрессионного анализа выявлена более высокая частота серьезных осложнений, связанных с судорожными припадками, невербальным состоянием, использованием трахеостомических и/или гастростомических трубок [40]. Пациенты, перенесшие спондилодез, также подвержены более высокому риску полимикробных и граммотрицательных инфекций, чем это бывает после других плановых ортопедических процедур [49–51]. Среди последствий окончательной фиксации при НМС также упоминаются требующий коррекции проксимальный переходный кифоз (РЖК) и синдром торакальной недостаточности на фоне ограничения роста позвоночника и грудной клетки [52].

Как уже упоминалось, у неходячих пациентов выполнение фиксации с использованием подвздошных или S2AI винтов для коррекции перекоса таза улучшает баланс сидя, но практически лишает пациента даже гипотетической ходьбы [46]. Самое крупное долгосрочное наблюдение за перенесшими спондилодез неходячими пациентами с детским церебральным параличом показало, что через 10 лет после первичной операции 22 % пациентов потребовали повторной операции из-за нестабильности имплантатов, псевдоартроза, инфекции области хирургического вмешательства, выступающих/симптоматических имплантатов, в том числе с развитием PJK [52].

Оптимизация мышечного тонуса и спастичности (медикаментозная, либо за счет интратекального введения баклофена из имплантированной помпы, либо селективная дорсальная ризотомия) может помочь снизить риск осложнений инструментации, но также способствовать прогрессированию сколиоза. Несмотря на то что только у 3 % пациентов возникают неврологические осложнения, сохраняется неопределенность в отношении того, следует ли проводить профилактические процедуры для минимизации этих рисков [41]. Одними из самых серьезных осложнений для таких пациентов являются кардиологические, составляющие 1,8 % [45]. Понимание основной этиологии и потенциальных рисков, связанных с каждым заболеванием (например, нарушения проводимости у пациентов с синдромом Ретта или кардиомиопатии при мышечной дистрофии), может спасти жизнь.

Не все рост-сберегающие системы, исходно предложенные в рамках концепции лечения сколиозов у активно растущих пациентов в возрасте до 10 лет (EOS), нашли применение в хирургии нейромышечных деформаций.

VEPTR (вертикально расширяемый эндопротез ребер), непосредственно разработанный для лечения синдрома торакальной недостаточности [53],

практического применения при НМС не нашел ввиду опосредованного действия на деформированный позвоночник через воздействие на грудную клетку.

Магнитно-контролируемые удлиняемые стержни (MAGEC), основным преимуществом которых является отсутствие необходимости хирургической манипуляции при этапном корригирующем маневре, обеспечивают поддержку позвоночника и опосредованно поддерживают рост грудной клетки, предотвращая рестрикцию и замедляя ежегодное снижение ЖЕЛ [54–57]. Недостатки таких конструкций (высокая стоимость, механические поломки, усталость системы, внутренний износ механизмов и потеря эффекта к четырем годам после вмешательства у 80 % пациентов) хорошо известны и не связаны с этиологией деформации.

Традиционные «растущие» стержни (Traditional Growing Rods, TGR) рутинно используются у детей до 10 лет [55–59], однако данных о рисках их применения при НМС в литературе крайне мало. Из их основных преимуществ можно отметить предсказуемо значительную (40–50 %) коррекцию деформации, сохранение роста позвоночника и низкую зависимость от костной плотности [59, 60]. Применение технологий скользящих конструкций (Shilla Growth Guidance System – SGGS и Luque trolley – MLT) при НМС и их влияние на дыхательную функцию требуют дальнейшего изучения ввиду крайне ограниченного опыта [60, 61].

В единственном сообщении о динамической передней фиксации позвоночника (ASC) при прогрессирующей посттравматической миелопатии с уровня D<sub>10</sub> (плегия ASIA A) у 11-летней девочки, фиксация Th<sub>1</sub>–L<sub>5</sub> без спондилодеза обеспечила в течение трех лет уменьшение сколиотической дуги с 60° до 7° к моменту наступления зрелости скелета [62].

Проблема влияния инструментальной фиксации позвоночника при НМС на функцию дыхания – одна из ключевых (табл. 2).

Отмечено, что при спинальной мышечной атрофии II типа финальный спондилодез демонстрирует замедление падения ЖЕЛ до 2–3 % в год [4, 63].

Исследование небольшого числа пациентов с НМС через 3–4 мес. после установки MAGEC показало стабилизацию ФЖЕЛ вместо ожидаемого падения [55]. Это особенно актуально для пациентов с детским церебральным параличом, где дыхательные нарушения прогрессируют независимо от ортопедической коррекции [64–66].

#### *Возможность использования «растущих» спинальных систем у детей старше 10 лет*

У пациентов с НМС тяжелой степени обычно имеются серьезные сопутствующие проблемы (дыхательная недостаточность, остеопения, общая мышечная слабость либо высокая спастичность и др.), делающие обширную операцию рискованной. Применение «растущих» систем у пациентов высокого риска может быть оправданным, так как позволяет распределить коррекцию во времени и избежать длительной одномоментной операции [59, 67].

В исследовании Miladi et al. [68] у 100 пациентов с НМС в возрасте от 5 лет до 21 года (большинство – с детским церебральным параличом, средний возраст – 11 лет 6 мес.) использовали оригинальную биполярную конструкцию, фиксируемую проксимально с помощью двойного крючкового захвата и дистально с помощью подвздошно-крестцовых винтов через минимально-инвазивный доступ. Уменьшение сколиотической деформации в среднем на 61 % (с 89° до 35°), угла наклона таза – на 83 % (с 29° до 5°) и средней величины кифоза – с 68° до 33° при увеличении роста туловища на 7 см, при отсутствии проведения спондилодеза сопровождалось 26 % осложнений (12 механических и 16 инфекционных).

Нельзя не обратить внимание на работу Cahill et al. [69], отметивших у 89 % детей, прошедших лечение методом «растущих» стержней, раз-

**Таблица 2**  
Данные основных публикаций, оценивающих влияние коррекции нейромышечного сколиоза на функцию легких

Публикация	Дизайн исследования/ количество наблюдений	Нозология/ группа пациентов	Тип хирургического вмешательства	Методы оценки дыхательной функции	Сроки оценки (период наблюдения)	Ключевые показатели функции легких (динамика)	Основные выводы относительно дыхательной функции
Lenhart et al. [33]	Ретроспективная когорта/ 16 пациентов	СМА	Рост-сберегающие системы	Спирометрия, рентген	Долгосрочное наблюдение (точный срок не указан)	ФЖЕЛ (абсолютный прирост на 0,4 л, но снижение % от нормы)	Прирост абсолютного объема ФЖЕЛ, но относительный показатель (% от нормы) продолжает снижаться
Alhammond et al. [35]	Систематический обзор/ 14 исследований, общее число пациентов – 240	СМА и другие НМС	Различные (в основном ЗИФ)	Спирометрия	Долгосрочное наблюдение (данные до и после операции)	Годовое снижение ЖЕЛ/ ФЖЕЛ (% от нормы)	До операции: снижение на 5–8% в год. После PSF замедление снижения до ~2–3% в год
Holt et al. [37]	Ретроспективная когорта/ 16 пациентов	СМА	ЗИФ	Спирометрия	Ранний послеоперационный период (не указан) и 6–12 мес.	ЖЕЛ/ФЖЕЛ	В раннем периоде возможно снижение из-за боли, отека. К 6–12 мес. возврат к исходному уровню
Shaw et al. [55]	Ретроспективная когорта/ 48 пациентов	НМС (различные)	MAGES (магнитные стержни)	Спирометрия	3–4 мес. после установки	ФЖЕЛ	Стабилизация ФЖЕЛ вместо ожидаемого падения
Veldhoen et al. [58]	Ретроспективная когорта/ 43 пациента	НМС или синдромальный сколиоз	Различные (в основном рост-сберегающие)	Спирометрия	Краткосрочный послеоперационный период и оценка темпа снижения	Темп снижения легочной функции	Оценка краткосрочного эффекта и влияния на скорость долгосрочного падения функции. Ежемесячный темп изменения ФЖЕЛ существенно не изменился
Miladi et al. [68]	Ретроспективная когорта/ 100 пациентов	НМС (в основном ДЦП)	Рост-сберегающие системы	Клиническая оценка	Периоперационный период	Продолжительность ИВЛ	Снижение продолжительности инвазивной вентиляции по сравнению с PSF
Sarwahi et al. [27]	Ретроспективная когорта/ 120 пациентов	НМС (ходячие и неходячие)	ЗИФ	Клинические исходы	Периоперационный период	Продолжительность ИВЛ, время в ОРИТ	Неходячие пациенты дольше находятся на ИВА и в ОРИТ

СМА – спинальная мышечная атрофия; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость; ЗИФ – задняя инструментальная фиксация; НМС – нейромышечный сколиоз; ДЦП – детский церебральный паралич; ИВА – искусственная вентиляция легких; ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии.

витие спонтанного анкилоза, достаточного для поддержки коррекции, что позволило авторам предположить возможность отказа от заключительной (финальной) операции, если к моменту завершения роста будет достигнут удовлетворительный профиль коррекции и высота туловища. У неходячих пациентов старше 10 лет с тяжелой неврологической патологией такой подход может быть особенно актуален благодаря трем компонентам:

- снижению операционных рисков при сопоставимом эффекте стабилизации;
- возможности удлинения межоперационного периода при TGR с классического 6–8 месячного интервала до 12 мес.;
- возможности выиграть время для роста грудной клетки и легких, избегая финальной операционной коррекции, постепенно исправляя деформацию с меньшим риском дыхательной декомпенсации.

## Заключение

Проведенный анализ хирургических методик и их влияния на дыхательную функцию при НМС демонстрирует дефицит и противоречивость имеющихся данных.

Прежде всего, проблема связана с отсутствием единых критериев и сроков оценки дыхательной функции, нозологическим разнообразием нервно-мышечных заболеваний, различиями пациентов по тяжести функционального статуса (мобильности), возрасту, индексу массы тела, потенциалу роста скелета, величине деформации.

Важнейшим положительным эффектом хирургической коррекции деформации позвоночника на функцию дыхания оказался не регресс, а замедление прогрессирования соответствующих нарушений (!). Прогностически наименее определены при этом пациенты с детским церебральным параличом, имеющие мультифакторную природу таких расстройств.

Метод, обеспечивающий максимальную коррекцию и стабильность, –

задний инструментальный и костный спондилодез, необратимо останавливает рост позвоночника и грудной клетки, потенциально ограничивая развитие легких, что особенно важно у растущих детей. В то же время технологии сохранения роста сопряжены с ожидаемо меньшей одномоментной коррекцией при более высокой частоте запланированных осложнений. Но при этом их тяжесть несравнимо меньше, чем при заключительном спондилодезе.

Данные об эффективности многих рост-сберегающих систем (Shilla, Luque trolley) при НМС остаются фрагментарными.

Завершая обзор, мы хотели бы определить ряд вопросов, которые, на наш взгляд, могут стать предметом последующего изучения, обсуждения и дискуссий.

1. Доказано, что консервативное лечение НМС (корсеты, специальные сиденья, физиотерапия) не способно остановить прогрессирование тяжелых деформаций. Более того, жесткий корсет механически ухудшает функцию дыхания у таких пациентов. Почему же при рекомендациях оперировать таких детей при деформациях, превышающих 40–50°, в реальности они обычно попадают в поле зрения хирурга-вертебролога при деформациях, близких и превышающих 90°?

2. Развиваясь у 60–90 % пациентов с нервно-мышечными заболеваниями и прогрессируя по мере роста, НМС приводят к тяжелой деформации грудной клетки, рестриктивным нарушениям дыхания и респираторной недостаточности. Связь коррекции деформации позвоночника с состоя-

нием легких далека от однозначного понимания: если при прогredientно текущих нервно-мышечных заболеваниях операции замедляют или стабилизируют темп ухудшения функции внешнего дыхания, то как меняется функция легких у пациентов с относительно стабильным неврологическим статусом, например, при детском церебральном параличе?

3. Несмотря на множество факторов, потенциально влияющих на исходы, общие показания к этапной и заключительной коррекции НМС в основном определяются потенциальностью к росту. Каковы же пределы индивидуализации стратегии их лечения, в том числе касающиеся возможности менее травматичных вмешательств у пациентов старше 10 лет?

## Литература/References

- Mayer OH, Redding G. Chest and spinal disease in patients with progressive neuromuscular disease. *Paediatr Respir Rev.* 2025;55:30–49. DOI: 10.1016/j.prrv.2024.10.001
- Dimitrakis N, Zafeiris CP. Neuromuscular scoliosis: a narrative review. *J Res Pract Musculoskeletal Syst (JRPMS).* 2023;7:38–43. DOI: 10.22540/JRPMS-07-038
- Шавырин И.А., Колесов С.В. Коррекция деформаций позвоночника у детей и подростков со спинномозговыми грыжами. *Лечащий врач.* 2020;(4):16. [Shavyrin IA, Kolesov SV. Correction of vertebral deformations in children and adolescents with spinal hernias. *Lechaschi Vrach JOURNAL.* 2020;(4):16]. DOI: 10.26295/OS.2020.24.62.003 EDN: XVIYJU
- Rodriguez-Torres R, Kanner CH, Gay EL, Uher D, Corbeil T, Coratti G, Dunaway Young S, Rohwer A, Muni Lofra R, McDermott MP, De Vivo DC, Wall MM, Glynn NW, Montes J. Development of the SMA EFFORT: A new approach to characterize perceived physical fatigability in spinal muscular atrophy. *J Neuromuscul Dis.* 2025;12:22143602241313326. DOI: 10.1177/22143602241313326
- Рябых С.О., П.В. Очирова, Д.М. Савин, А.Н. Третьякова, Д.А. Попков, Т.В. Рябых, Е.Н. Шурова, М.С. Сайфутдинов. Деформации позвоночника и конечностей у пациентов с миодистрофией Дюшенна: особенности клиники, диагностики и лечения протокол межгосударственного консенсуса. *Хирургия позвоночника.* 2020;17(1):61–77. [Ryabykh SO, Ochirova PV, Savin DM, Tretjakova AN, Popkov DA, Ryabykh TV, Shchurova EN, Saifutdinov MS. Deformities of the spine and limbs in patients with Duchenne myodystrophy: clinical features, diagnosis and treatment. Interstate consensus protocol. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2020;17(1):61–77]. DOI: 10.14531/ss2020.1.61-77 EDN: ZHZHIR
- 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: 10.1302/2633-1462.31.BJO-2021-0178.R1
- 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: 10.3171/2017.7.FOCUS17384
- Бутенко А.С., Пимбурский И.П., Челпаченко О.Б., Самохин К.А., Жердев К.В., Яцк С.П., Петельгузов А.А., Зубков П.А. Позвоночно-тазовая фиксация при нейрогенных сколиозах: обоснованность показаний. *Хирургия позвоночника.* 2025;22(1):15–25. [Butenko AS, Pimbursky IP, Chelpachenko OB, Samokhin KA, Zherdev KV, Yatsyk SP, Petelguzov AP, Zubkov PA. Spinopelvic fixation in neurogenic scoliosis: validity of indications. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2025;22(1):15–25]. DOI: 10.14531/ss2025.1.15–25 EDN: YTYBEJ
- Wishart BD, Kivlehan E. Neuromuscular scoliosis: when, who, why and outcomes. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2021;32(3):547–556. DOI: 10.1016/j.pmr.2021.02.007
- Cherchi C, Chiarini Testa MB, Deriu D, Schiavino A, Petreschi F, Ullmann N, Paglietti MG, Cutrera R. All you need is evidence: what we know about pneumonia in children with neuromuscular diseases. *Front Pediatr.* 2021;9:625751. DOI: 10.3389/fped.2021.625751
- Tong Y, Udupa JK, McDonough JM, Wileyto EP, Capraro A, Wu C, Ho S, Galagedera N, Talwar D, Mayer OH, Torigian DA, Campbell RM. Quantitative dynamic thoracic MRI: application to thoracic insufficiency syndrome in pediatric patients. *Radiology.* 2019;292:206–213. DOI: 10.1148/radiol.2019181731
- Catteruccia M, Vuillerot C, Vaugier I, Leclair D, Azzi V, Viollet L, Estournet B, Bertini E, Quijano-Roy S. Orthopedic management of scoliosis by garches brace and spinal fusion in SMA type 2 children. *J Neuromuscul Dis.* 2015;2:453–462. DOI: 10.3233/JND-150084
- Mesfin A, Sponseller PD, Leet AI. Spinal muscular atrophy: manifestations and management. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20:393–401. DOI: 10.5435/JAAOS-20-06-393
- Leopando MT, Moussavi Z, Holbrow J, Chernick V, Pasterkamp H, Rempel G. Effect of a Soft Boston Orthosis on pulmonary mechanics in severe cerebral palsy. *Pediatr Pulmonol.* 1999;28:53–58. DOI: 10.1002/(sici)1099-0496(199907)28:1<53::aid-ppul9>3.0.co;2-2

15. **Terjesen T, Lange JE, Steen H.** Treatment of scoliosis with spinal bracing in quadriplegic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2000;42:448–454. DOI: 10.1017/S0012162200000840
16. **Miller A, Temple T, Miller F.** Impact of orthoses on the rate of scoliosis progression in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 1996;16:332–335. DOI: 10.1097/00004694-199605000-00007
17. **Hägglund G, Pettersson K, Czuba T, Persson-Bunke M, Rodby-Bousquet E.** Incidence of scoliosis in cerebral palsy. *Acta Orthop.* 2018;89:443–447. DOI: 10.1080/17453674.2018.1450091
18. **Lebel DE, Corston JA, McAdam LC, Biggar WD, Alman BA.** Glucocorticoid treatment for the prevention of scoliosis in children with Duchenne muscular dystrophy: long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95:1057–1061. DOI: 10.2106/JBJS.L01577
19. **Swarup I, MacAlpine EM, Mayer OH, Lark RK, Smith JT, Vitale MG, Flynn JM, Anari JB; Pediatric Spine Study Group; Cahill PJ.** Impact of growth friendly interventions on spine and pulmonary outcomes of patients with spinal muscular atrophy. *Eur Spine J.* 2021;30:768–774. DOI: 10.1007/s00586-020-06564-8
20. **Ribero VA, Daigl M, Marti Y, Gorni K, Evans R, Scott DA, Mahajan A, Abrams KR, Hawkins N.** How does risediplam compare with other treatments for types 1–3 spinal muscular atrophy: a systematic literature review and indirect treatment comparison. *J Comp Eff Res.* 2022;11:347–370. DOI: 10.2217/ce-2021-0216
21. **Нервно-мышечный сколиоз. МКБ: М41.4: клинические рекомендации.** Министерство здравоохранения Российской Федерации, Ассоциация травматологов-ортопедов России (АТОР), Российская ассоциация хирургов-вертебрологов 2021; пересмотр 2025. [Neuromuscular Scoliosis. ICD: M41.4: Clinical guidelines. Ministry of Health of the Russian Federation, Association of Traumatologists and Orthopedists of Russia (ATOR), Russian Association of Spine Surgeons, 2021; revision 2025]. URL: <https://diseases.medelement.com/disease/нервно-мышечный-сколиоз-к-рф-2021/17113>
22. **Wang Y, Wang D, Zhang G, Ma B, Ma Y, Yang Y, Xing S, Kang X, Gao B.** Effects of spinal deformities on lung development in children: a review. *J Orthop Surg Res.* 2023;18:246. DOI: 10.1186/s13018-023-03665-0
23. **Mattila M, Jalanko T, Puisto V, Pajul O, Helenius IJ.** Hybrid versus total pedicle screw instrumentation in patients undergoing surgery for neuromuscular scoliosis. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94:1393–1398. DOI: 10.1302/0301-620x.94b10.29383
24. **Tsirikos AI, Chang WN, Dabney KW, Miller F.** Comparison of one-stage versus two-stage anteroposterior spinal fusion in pediatric patients with cerebral palsy and neuromuscular scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003;28:1300–1305. DOI: 10.1097/01.brs.0000065572.10824.ab
25. **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: 10.1007/s43390-020-00270-7
26. **Njiki J, Orliaguet G, Vaugier I, Sauvagnac R, Glorion C, Miladi L, Essid A, Haegy I, Mbieleu B, Susana QR, Desguerre I, Bergounioux J.** Abstract P-239: Comparative study of arthrodesis and growing rods postoperative course for neuromuscular disease scoliosis in children: about 140 cases. *Pediatr Crit Care Med.* 2018;19(6S):120–120. DOI: 10.1097/01.pcc.0000537696.27623.d6
27. **Sarwahi V, Atlas A, Galina J, Hasan S, Dimauro JP, Katyal C, Djukic A, Thornhill B, Lo Y, Amaral TD, Moguilevich M.** Ambulatory neuromuscular scoliosis patients have superior perioperative results than nonambulatory neuromuscular scoliosis patients and can approach adolescent idiopathic scoliosis outcomes after posterior spinal fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2021;47:E159–E168. DOI: 10.1097/brs.0000000000004191
28. **Akesen B, Atici T, Eken G, Ulusaloglu AC.** The comparison of the results after spinal fusion with or without iliac screw insertion in the treatment of neuromuscular scoliosis. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2020;52:435–437. DOI: 10.1016/j.aott.2017.12.005
29. **Gaume M, Njiki J, Vaugier I, Orliaguet G, Verollet D, Glorion C, Essid A, Mbieleu B, Zini J, Faysoile A, Quijano-Roy S, Desguerre I, Miladi L, Bergounioux J.** Perioperative complications after posterior spinal fusion versus minimally invasive fusionless surgery in neuromuscular scoliosis: a comparative study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2022;143(8):4605–4612. DOI: 10.1007/s00402-022-04727-4
30. **Reames DL, Smith JS, Fu KM, Polly DW Jr, Ames CP, Berven SH, Perra JH, Glassman SD, McCarthy RE, Knapp RD, Heary R, Shaffrey CI.** 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;36:1484–1491. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181f3a326
31. **Funk S, Lovejoy S, Mencio G, Martus J.** Rigid instrumentation for neuromuscular scoliosis improves deformity correction without increasing complications. *Spine (Phila Pa 1976).* 2016;41:46–52. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001170
32. **Phillips JH, Gutheil JP, Knapp DR Jr.** Iliac screw fixation in neuromuscular scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2007;32:1566–1570. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318067dcff
33. **Lenhart RL, Youlo S, Schroth MK, Noonan KJ, McCarthy J, Mann D, Hetzel S, Sund SA, Halanski MA.** Radiographic and respiratory effects of growing rods in children with spinal muscular atrophy. *J Pediatr Orthop.* 2017;37:e500–e504. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000867
34. **Tress F, Luecke E, Stegemann-Koniszewski S, Lux A, Singla A, Schreiber J.** Prediction of nocturnal ventilation by pulmonary function testing in patients with amyotrophic lateral sclerosis. *Pneumologie.* 2024;78:626–633. DOI: 10.1055/a-2349-0936
35. **Alhammoud A, Othman Y, El-Hawary R, Mackenzie WG, Howard JJ.** The impact of scoliosis surgery on pulmonary function in spinal muscular atrophy: a systematic review. *Spine Deform.* 2021;9:913–921. DOI: 10.1007/s43390-021-00302-w
36. **Ryabykh SO, Pavlova OM, Savin DM, Burtsev AV, Gubin AV.** Surgical management of myelomeningocele-related spinal deformities. *World Neurosurg.* 2018;112:e431–e441. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.01.058
37. **Holt JB, Dolan LA, Weinstein SL.** Outcomes of primary posterior spinal fusion for scoliosis in spinal muscular atrophy: clinical, radiographic, and pulmonary outcomes and complications. *J Pediatr Orthop.* 2017;37:e505–e511. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001049
38. **Bohtz C, Meyer-Heim A, Min K.** Changes in health-related quality of life after spinal fusion and scoliosis correction in patients with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 2011;31:668–673. DOI: 10.1097/BPO.0b013e318221093c
39. **Ahonen M, Helenius I, Gissler M, Jeglinsky-Kankainen I.** Mortality and causes of death in children with cerebral palsy with scoliosis treated with and without surgery. *Neurology.* 2023;101:e1787–e1792. DOI: 10.1212/WNL.000000000000207796
40. **Jain A, Sponseller PD, Shah SA, Samdani A, Cahill PJ, Yaszay B, Njoku DB, Abel MF, Newton PO, Marks MC, Narayanan UG.** Subclassification of GMFCS level-5 cerebral palsy as a predictor of complications and health-related quality of life after spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98:1821–1828. DOI: 10.2106/JBJS.15.01359
41. **Sharma S, Wu C, Andersen T, Wang Y, Hansen ES, Bungler CE.** Prevalence of complications in neuromuscular scoliosis surgery: a literature meta-analysis from the past 15 years. *Eur Spine J.* 2013;22:1230–1249. DOI: 10.1007/s00586-012-2542-2
42. **Mohamad F, Parent S, Pawelek J, Marks M, Bastro T, Faro F, Newton P.** Perioperative complications after surgical correction in neuromuscular scoliosis. *J Pediatr Orthop.* 2007;27:392–397. DOI: 10.1097/01.bpb.0000271321.10869.98

43. **McElroy MJ, Sponseller PD, Dattilo JR, Thompson GH, Akbarnia BA, Shah SA, Snyder BD.** Growing rods for the treatment of scoliosis in children with cerebral palsy: a critical assessment. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37:E1504–E1510. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31826fabd3
44. **Toll BJ, Samdani AF, Janjua MB, Gandhi S, Pahys JM, Hwang SW.** Perioperative complications and risk factors in neuromuscular scoliosis surgery. *J Neurosurg Pediatr*. 2018;22:207–213. DOI: 10.3171/2018.2.PEDS17724
45. **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: 0.3171/2016.2.SPINE151377
46. **Murphy RF, Mooney JF 3rd.** Current concepts in neuromuscular scoliosis. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2019;12:220–227. DOI: 10.1007/s12178-019-09552-8
47. **Oermann MH.** Effectiveness of a critical care nursing course: preparing students for practice in critical care. *Heart Lung*. 1991;20:278–283.
48. **Welborn MC, Redding G, Evers P, Nicol L, Bauer DF, Iyer RR, Poon S, Hwang S.** Pre-op considerations in neuromuscular scoliosis deformity surgery: proceedings of the half day course at the 58th annual meeting of the Scoliosis Research Society. *Spine Deform*. 2024;12:867–876. DOI: 10.1007/s43390-024-00865-4
49. **Hariharan A, Sees JP, Pargas C, Rogers KJ, Niiler T, Shrader MW, Miller F.** Mortality after spinal fusion in children with cerebral palsy and cerebral-palsy-like conditions: A 30-year follow-up study. *Dev Med Child Neurol*. 2023;65(9):1190–1198. DOI: 10.1111/dmcn.15568
50. **Badin D, Leland CR, Matsumoto H, Roye B, Vitale M, Flynn J, Samdani A, Larson AN, Yaszay B, Pahys J, Glotzbecker M, Bachmann KR, Newton PO, Betz R, Miyajima F, Shah S, Sturm PF, Hwang S, Erickson M, Cahill PJ, Fletcher N, Upasani VV, Sucato DJ, Sponseller PD.** Best practice guidelines for surgical site infection in high-risk pediatric spine surgery: definition, prevention, diagnosis, and treatment. *J Pediatr Orthop*. 2022;42:e1008–e1017. DOI: 10.1097/BPO.0000000000002255
51. **Мушкин А.Ю., Петухова В.В., Першин А.А., Малетин А.С., Маламашин Д.Б., Куклина С.А., Евсеев В.А., Костик М.М.** Периперационные и ранние осложнения протяженных инструментальных фиксаций при деформациях позвоночника у детей: что выявляет и какие вопросы ставит применение классификации Clavien–Dindo? *Хирургия позвоночника*. 2024;21(3):36–46. [Mushkin AYU, Petukhova VV, Pershin AA, Maletin AS, Malamashin DB, Kuklina SA, Evseev VA, Kostik MM. Perioperative and early complications of extended instrumental fixation for spinal deformity in children: what does the application of the Clavien – Dindo classification reveal and what questions does it raise? *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2024;21(3):36–46]. DOI: 10.14531/ss2024.3.36-46 EDN: NBODEU
52. **Seaver CD, Morgan SJ, Legister CS, Palmer CL, Beauchamp EC, Guillaume TJ, Truong WH, Koop SE, Perra JH, Lonstein JE, Miller DJ.** Long-term reoperation rates following spinal fusion for neuromuscular scoliosis in nonambulatory patients with cerebral palsy. *Spine Deform*. 2024;12:1393–1401. DOI: 10.1007/s43390-024-00878-z
53. **Parnell SE, Effmann EL, Song K, Swanson JO, Bompadre V, Phillips GS.** Vertical expandable prosthetic titanium rib (VEPTR): a review of indications, normal radiographic appearance and complications. *Pediatr Radiol*. 2015;45:606–616. DOI: 10.1007/s00247-014-3128-4
54. **Михайловский М.В., Альшевская А.А.** Магнитно-контролируемые стержни в хирургии ранних сколиозов: обзор англоязычной литературы. *Хирургия позвоночника*. 2020;17(1):25–41. [Mikhaylovskiy MV, Alshevskaya AA. Magnetically controlled growing rods in early onset scoliosis surgery: a review of English-language literature. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2020;17(1):25–41]. DOI: 10.14531/ss2020.1.25–41 EDN: VNFIJ
55. **Shaw KA, Bassett P, Ramo BA, McClung A, Thornberg D, Jamnik A, Jo CH, Johnston CE, McIntosh AL.** The evolving stall rate of magnetically controlled growing rods beyond 2 years follow-up. *Spine Deform*. 2023;11:487–493. DOI: 10.1007/s43390-022-00622-5
56. **Peiro-Garcia A, Bourget-Murray J, Suarez-Lorenzo I, Ferri-De-Barros F, Parsons D.** Early complications in vertical expandable prosthetic titanium rib and magnetically controlled growing rods to manage early onset scoliosis. *Int J Spine Surg*. 2021;15:368–375. DOI: 10.14444/8048
57. **Mehta J, Shah S, Hothi H, Tognini M, Gardner A, Johnston CE, Murphy R, Thompson G, Sponseller P, Emans J, Javier-Gruoso F, Strum P.** Outcome of distraction-based growing rods at graduation: a comparison of traditional growing rods and magnetically controlled growing rods. *Spine Deform*. 2025;13:299–309. DOI: 10.1007/s43390-024-00969-x
58. **Veldhoen ES, de Vries A, Schlosser TPC, Kruuyt MC, vanEijk RPA, Tersmette JM, Hulzebos EH, van der Pol LW, Wosten-van Asperen RM, van der Ent CK.** Short term effect and effect on rate of lung function decline after surgery for neuromuscular or syndromic scoliosis. *Pediatr Pulmonol*. 2022;57:1303–1309. DOI: 10.1002/ppul.25857
59. **Молотков Ю.В., Рябых С.О., Филатов Е.Ю., Сергеев О.М., Хужаназаров И.Э., Эшкуллов Д.И.** Эффективность применения растущих систем в лечении сколиозов с ранним началом: систематизированный обзор. *Хирургия позвоночника*. 2023;20(2):6–20. [Molotkov YuV, Ryabykh SO, Filatov EYu, Sergeenko OM, Khuzhanazarov IE, Eshkulov DI. The effectiveness of growth-friendly systems in the treatment of early onset scoliosis: a systematic review. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2023;20(2):6–20]. DOI: 10.14531/ss2023.2.6-20 EDN: QSKEDV
60. **Geoffroy HG, Schwend RM, Bumpass DB, Seiler PL, Muka JEO, McCarthy RE.** Shilla growth guidance system (SGGS) instrumentation with pelvic foundation for severe neuromuscular spine deformity. *Spine Deform*. 2025. DOI: 10.1007/s43390-025-01246-1
61. **Dayer R, Grevitt M, Breakwell L, Yoon W, Chen M, Ratz T, Szocik T, ZhuYY, Quillet J.** Management of early-onset scoliosis: modern Luque trolley technique led to fewer reoperations within 3 years than other growth-friendly techniques, a prospective cohort study with matched historical controls. *Spine Deform*. 2025;13:1611–1624. DOI: 10.1007/s43390-025-01102-2
62. **Antonacci C, Antonacci M, Bassett W, Cerrone J, Haas A, Haason D, Cuddihy L, Betz R.** Treatment of patients with scoliosis using a unique anterior scoliosis correction technique. *Med Res Arch*. 2021;9. DOI: 10.18103/mra.v9i7.2463
63. **Trucco F, Ridout D, Scoto M, Coratti G, Main ML, Muni Lofra R, Mayhew AG, Montes J, Pane M, Sansone V, Albamonte E, D'Amico A, Bertini E, Messina S, Bruno C, Parasuraman D, Childs AM, Gowda V, Willis T, Ong M, Marini-Bettolo C, De Vivo DC, Darras BT, Day J, Kichula EA, Mayer OH, Navas Nazario AA, Finkel RS, Mercuri E, Muntoni F.** Respiratory trajectories in type 2 and 3 spinal muscular atrophy in the iSMAC cohort study. *Neurology*. 2021;96:e587–e599. DOI: 10.1212/WNL.0000000000011051
64. **Vandendriessche E, Proesmans M, Ortbuis E, Moens P.** Complication rate after scoliosis surgery in children with cerebral palsy. *Acta Orthop Belg*. 2021;87:255–261.
65. **Anastasio AT, Guisse NF, Farley KX, Phee JM.** Hospital burdens of patients with cerebral palsy undergoing posterior spinal fusion for scoliosis. *Global Spine J*. 2022;12:883–889. DOI: 10.1177/2192568220968542
66. **Lee NJ, Fields M, Boddapati V, Mathew J, Hong D, Sardar ZM, Selber PR, Roye B, Vitale MG, Lenke LG.** Spinal deformity surgery in pediatric patients with cerebral palsy: a national-level analysis of inpatient and postdischarge outcomes. *Global Spine J*. 2022;12:610–619. DOI: 10.1177/2192568220960075

67. Skaggs DL, Akbarnia BA, Flynn JM, Myung KS, Sponseller PD, Vitale MG. A classification of growth friendly spine implants. *J Pediatr Orthop*. 2014;34:260–274. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000073
68. Miladi L, Gaume M, Khouri N, Johnson M, Topouchian V, Glorion C. Minimally invasive surgery for neuromuscular scoliosis: results and complications in a series of one hundred patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2018;43:E968–E975. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002588
69. 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–E1203. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181e21b50

Статья поступила в редакцию 11.01.2026

Рецензирование пройдено 12.02.2026

Подписано в печать 15.02.2026

Received 11.01.2026

Review completed 12.02.2026

Passed for printing 15.02.2026

### Дополнительная информация

**Вклад авторов.** А.В. Макарова – разработка методов и процедур, сбор данных, управление данными: подготовка, аннотирование, хранение, статистический или теоретический анализ данных, создание схем, написание первоначального текста статьи; А.А. Першин – сбор данных, статистический или теоретический анализ данных, управление данными: подготовка, аннотирование, хранение, написание первоначального текста статьи, редактирование, доработка текста; 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.

**Источники финансирования.** Отсутствуют.

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

### Информация об авторах

Анна Валерьевна Макарова; eLibrary SPIN: 4296-5120; ORCID: 0000-0003-2253-2289; makarova\_a09@mail.ru

✉ Андрей Александрович Першин, канд. мед. наук; Россия, 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр-т, 2-4; eLibrary SPIN: 3310-2551; ORCID: 0000-0001-9963-3294; aa.pershin@spbniiif.ru

Александр Юрьевич Мушкин, д-р мед. наук, профессор; eLibrary SPIN: 9373-4335; ORCID: 0000-0002-1342-3278; aymushkin@mail.ru

### Authors' Info

Anna Valeryevna Makarova; eLibrary SPIN: 4296-5120; ORCID: 0000-0003-2253-2289; makarova\_a09@mail.ru

✉ Andrei Aleksandrovich Pershin, MD, Cand. Sci. (Medicine); 2-4 Ligovsky ave, Saint Petersburg, 191036, Russia; eLibrary SPIN: 3310-2551; ORCID: 0000-0001-9963-3294; aa.pershin@spbniiif.ru

Aleksandr Yuryevich Mushkin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; eLibrary SPIN: 9373-4335; ORCID: 0000-0002-1342-3278; aymushkin@mail.ru