

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto63221>

Осложнения в хирургии идиопатического сколиоза у детей. Обзор литературы

В.В. Коротеев¹, В.М. Крестьяшин^{1,2}, Д.Ю. Выборнов^{1,2}, Н.И. Тарасов¹, А.В. Семенов^{2*}, П.А. Горелова², Н.А. Карлова²

¹ Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия;

² Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В современной литературе до сих пор продолжают споры о причинах наиболее часто встречающихся осложнений после операций по поводу юношеского идиопатического сколиоза и их факторах риска. Принимая во внимание растущие возможности стационаров по сокращению периода стационарного лечения в послеоперационном периоде, возникла строгая необходимость в том, чтобы лечащие врачи были осведомлены об основных типах осложнений хирургии юношеского идиопатического сколиоза, а также факторах риска их возникновения для точного прогнозирования и применения индивидуального подхода к ведению послеоперационного периода у больных, имеющих риск их возникновения. По результатам обзора литературы подробно описаны две большие группы послеоперационных осложнений: общесоматические и неврологические. Помимо основных наиболее часто встречающихся осложнений рассмотрены и более редкие, к которым относятся синдром верхней брыжеечной артерии и отдаленные глубокие инфекции.

За последнее 20-летие частота послеоперационных осложнений при хирургической коррекции сколиотических деформаций значительно снизилась. Учитывая данные из различных работ, можно сделать вывод, что общий уровень осложнений снизился с 5,7% (2000–2003) до 4,95% (2004–2007) и затем еще до 0,98% (2013–2016). Несмотря на общее снижение частоты осложнений, последние все равно остаются проблемой для клиницистов. К основным факторам риска возникновения осложнений можно отнести наличие сопутствующей почечной патологии у пациента, большой объем операционной кровопотери, значительное увеличение времени анестезии и операционного вмешательства; применение конструкций из нержавеющей стали, применение переднего или комбинированного оперативного доступа; отказ от применения интраоперационного нейромониторинга.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз; осложнения хирургического лечения при идиопатическом сколиозе; осложнения.

Как цитировать:

Коротеев В.В., Крестьяшин В.М., Выборнов Д.Ю., Тарасов Н.И., Семенов А.В., Горелова П.А., Карлова Н.А. Осложнения в хирургии идиопатического сколиоза у детей. Обзор литературы // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2021. Т. 28, № 3. С. 65–73.

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto63221>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto63221>

Complications in adolescent idiopathic scoliosis surgery. Review

Vladimir V. Koroteev¹, Vladimir M. Krestyashin^{1,2}, Dmitry Yu. Vybornov^{1,2}, Nikolay I. Tarasov¹, Andrey V. Semenov^{2*}, Polina A. Gorelova², Natalya A. Karlova²

¹ Filatov Municipal Children Hospital Moscow Department of Healthcare, Moscow, Russia;

² Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

ABSTRACT

To days debates about most frequent complications after adolescent idiopathic surgery and its risk factors remains to persist. Taking into account rising possibilities of orthopaedic surgery departments worldwide to reduce AIS patients' hospital length of stay, strong need in strict knowledge about types and frequency of abovementioned complications and its risk factors is emerging. This knowledge can help clinicians in prediction of complications development and can aid in better diagnostics and treatment. Two main groups of complications were described thoroughly in current review: non-neurologic and neurologic. Both frequently developing and rare complications were described including superior mesenteric artery syndrome and deep infections.

There an obvious tendency of the rate of complications after AIS surgery to decline during last two decades from 5.7% in 2000–2003 to 4.95% in 2007 and to 0.98% in 2016. Despite that fact these complications still remain to be a big burden for clinicians. Major risk factors for its development include concomitant renal diseases, large intraoperative blood loss, substantial increase of anesthesia and surgery duration, stainless steel rods implementation combined or anterior only approach and refuse of intraoperative neuromonitoring.

Keywords: idiopathic scoliosis; surgical treatment complications of idiopathic scoliosis; complications.

To cite this article:

Koroteev VV, Krestyashin VM, Vybornov DYU, Tarasov NI, Semenov AV, Gorelova PA, Karlova NA. Complications in adolescent idiopathic scoliosis surgery. Review. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2021;28(3):65–73. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto63221>

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной хирургии юношеского идиопатического сколиоза (ЮИС) за последние 20 лет позволило снизить общее количество осложнений после операций на позвоночнике [1], что связано в основном с применением современных транспедикулярных конструкций при выполнении наиболее частой операции при ЮИС — задней стабилизации с использованием транспедикулярной конструкции [2]. С 1997 по 2012 год, с приходом эры транспедикулярной фиксации, количество устанавливаемых дорсальных конструкций, по данным ряда авторов, выросло с 63,4 до 91,3% среди всех возможных доступов при оперативном лечении сколиозов [3].

Несмотря на отработанную годами технику оперативных вмешательств и высокотехнологичное современное оборудование, ранние и поздние отдаленные осложнения остаются значительной проблемой и приводят к увеличению времени нахождения ребенка в стационаре [4], ухудшению качества жизни, а иногда — к повторным операциям [5]. При этом в литературе не встречаются практические рекомендации по наблюдению пациентов в отдаленном послеоперационном периоде, а также тактики для их предотвращения на этапах предоперационной подготовки и оперативного вмешательства. Подготовка обзора литературы, посвященного послеоперационным осложнениям и факторам риска их возникновения, продиктована практической необходимостью для определения подхода к пред-, интра- и послеоперационному ведению пациентов с идиопатическим сколиозом.

Был проведен анализ литературы по теме осложнений хирургической коррекции ЮИС у детей. Поиск проводили по базам данных PubMed, Medline, Google Scholar по ключевым словам «adolescent idiopathic scoliosis and surgery and complications», а также в русскоязычной литературе по ключевым словам «юношеский идиопатический сколиоз», «осложнения», «хирургия юношеского идиопатического сколиоза». В связи с необходимостью охвата большого количества статистических данных для наиболее полного формирования понятия о частоте, структуре осложнений хирургической коррекции ЮИС, а также факторах риска, в настоящий обзор литературы было решено включить все статьи с выборкой более 100 пациентов за последние 20 лет. В настоящий обзор включена суммарно 31 статья, из них 2 — систематические обзоры, 3 — обзорные статьи, 26 — исследований 3-го и 4-го уровня доказательности.

ОБСУЖДЕНИЕ

В докладе Общества по изучению идиопатического сколиоза (Scoliosis Research Society — SRS) по статистике осложнений за 2000–2003 годы, который базируется на анализе результатов оперативного лечения 6334 детей, опубликованы данные по частоте послеоперационных

осложнений при применении комбинированных конструкций (10,2%) по сравнению с дорсальной (5,1%) и вентральной (5,2%). Авторы сообщают о превалировании респираторных осложнений (1,6%) и осложнений, ассоциированных с конструкцией (1,4%), тогда как остальные виды осложнений, классифицируемые в обзоре (спонтанные ранения дурального мешка, неврологические, гематологические, раневые инфекции и др.), относятся к оставшимся 2,7%. Суммарно авторы сообщили о частоте осложнений, равной 5,7% [6].

Из всех возможных осложнений, встречающихся при дорсальной стабилизации позвоночника при коррекции ЮИС, неврологические осложнения могут принести наибольший вред — преимущественно в связи со снижением качества жизни. Поэтому в литературе принято выделять последние в отдельный раздел осложнений, а все остальные называть общепринятым понятием «неврологические осложнения». Распространенность таких осложнений у пациентов с идиопатическим сколиозом в послеоперационном периоде составляет около 15,4%, из них частота респираторных осложнений — 1,42%, обильных кровотечений — 0,85%, развития раневых инфекций — 0,71%. Возраст, пол, наличие сопутствующих заболеваний сердечно-сосудистой и дыхательной систем, а также хирургические подходы никак не коррелируют с повышением частоты развития осложнений [7].

К.-М.Г. Fu и соавт. [8] провели крупное исследование осложнений в спинальной хирургии у детей, используя базу данных хирургов SRS. Прооперированы по поводу сколиоза 19 642 пациента из этого исследования. Общее количество осложнений составило 8,2%, среди самых частых были раневые инфекции (2,7%), респираторные осложнения (0,9%), ранения дурального мешка (0,5%) и гематомы (0,4%). Прямую и статистически значимую зависимость демонстрировали следующие факторы: наличие сопутствующей почечной патологии у пациента, большой объем операционной кровопотери, значительное увеличение времени анестезии и операционного вмешательства [8].

В крупном метаанализе с общей выборкой из 1565 пациентов, где проводилось сравнение эффективности и безопасности дорсального инструментария разных типов, у 1,9% пациентов был выявлен псевдоартроз, который наиболее часто встречается при использовании дистрактора Харрингтона [2]. Суммарно в 3,6% случаев отмечались инфекционные осложнения, при этом в подгруппе дистрактора Харрингтона — до 5,5%, а в подгруппе транспедикулярных конструкций — до 1,18%. Частота повторных операций составила 7,2%, чаще всего они выполнялись после установки дистрактора Харрингтона. Примечательно, что из 254 пациентов с транспедикулярными фиксаторами ни одному не потребовалась повторная операция. Неврологические осложнения зафиксированы у 2 из 1136 человек пациентов (0,17%), у которых в раннем послеоперационном периоде после установки

конструкции Cotrel–Dubousset (CDI) отмечался односторонний парез нижних конечностей.

В масштабном исследовании с выборкой 36 335 пациентов осложнений после хирургических вмешательств по коррекции ЮИС суммарная частота послеоперационных осложнений составила 7,6% [5]. При анализе подгрупп выявлено, что для задних, передних и комбинированных оперативных доступов показатели частоты осложнений составляли 6,7; 10,0 и 19,8% соответственно. Самые распространенные из них — острая дыхательная недостаточность (3,4%), реинтубация (1,3%), имплант-ассоциированные осложнения (1,1%), кардиоваскулярные осложнения (0,9%) и пневмония (0,8%). Развитие таких серьезных осложнений, как смерть, синдром диссеминированного внутрисосудистого свертывания, сепсис, повреждение спинного мозга и корешков нервных стволов, легочная эмболия, тромбозы и прочее встречались с частотой до 0,2% для каждого вышеперечисленного осложнения. К группам риска по осложнениям отнесли пациентов молодого возраста, мужского пола, лиц с сопутствующими заболеваниями (анемия, гипертония, гипертиреоз). Выявлено, что длина инструментированного сегмента позвоночника не была связана с развитием осложнений.

Для коррекции крайне тяжелых форм идиопатического сколиоза общепринятой мерой считается многоуровневая дискэктомия в сочетании с корпородезом на вершине сколиотической дуги. Однако данная методика не является совершенной, так как после ее применения может сохраняться ригидность основной дуги. С.В. Виссарионов и соавт. [9] в своей работе приводят аргументы за использование клиновидной резекции тела позвонка, являющегося вершиной искривления, с сохранением замыкательных пластинок, что помогает увеличить шансы успешного исправления деформации.

В качестве одного из факторов риска возникновения осложнений рассматривали метод интраоперационной навигации при установке транспедикулярных винтов. Авторы одного из исследований пришли к выводу, что при интраоперационной компьютерно-томографической (КТ) навигации частота осложнений значительно снижается по сравнению с методами установки винтов без 3D-навигации — с 0–1,7 до 0%. Однако в следующем исследовании (систематическом обзоре) авторы выявили отсутствие разницы по частоте возникновения осложнений между двумя вышеуказанными группами, а также увеличение времени операции при использовании КТ-навигации [10].

Отечественные авторы считают, что в процессе предоперационной подготовки необходимо выполнять комплекс процедур для увеличения мобильности деформированного позвоночника: корригирующие упражнения, направленные на увеличение фронтальной и ротационной мобильности позвоночника; вытяжение на наклонной плоскости; вертикальное вытяжение посте-

пенно до полного вися; вытяжение на тракционном столе; приемы мобилизирующей мануальной терапии. Это может помочь предотвратить осложнения для пациентов с тяжелой степенью деформации, например, резкое перерастяжение спинного мозга и корешков после коррекционного маневра [11].

По данным исследования с самой большой когортой пациентов [1], в котором участвовали 84 320 пациентов с идиопатическим сколиозом на протяжении 13 лет, послеоперационные осложнения были выявлены у 1268 из них (1,5%), средний показатель смертности в послеоперационном периоде составил 0,014%. Наиболее часто отмечались хирургические инфекции (0,52%), неврологические осложнения (0,35%) и осложнения, связанные с имплантатами (неправильное расположение имплантата, потеря костной фиксации и поломка импланта — 0,20%). Исследователями была обнаружена небольшая, но статистически значимая корреляция между развитием инфекционного процесса и степенью первичной деформации, а также интраоперационной кровопотери. Самыми частыми возбудителями для инфекционных процессов были грамположительные бактерии, наиболее часто высеивался метициллин-резистентный золотистый стафилококк (MSSA), что могло быть связано с доброкачественным течением и интактной раной. Авторы сделали вывод, что общий уровень осложнений значительно снизился — с 4,95% в период с 2004 по 2007 год до 0,98% в период с 2013 по 2016 год, наибольшее снижение (на 87,4%) произошло среди осложнений, связанных с имплантатами, и на 33,9% — уменьшение частоты развития впервые выявленных неврологических патологий в послеоперационном периоде.

Неврологические осложнения, как наиболее значимые и приводящие к резкому ухудшению качества жизни, требуют отдельного обсуждения. В их число входит большой спектр расстройств: от транзиторной позиционной нейропатии из-за нахождения в позе на животе с отведенными верхними конечностями до необратимого неврологического дефицита в результате повреждения спинного мозга [12]. В специальном докладе SRS, посвященном частоте неврологических осложнений в хирургии сколиоза, опубликованы данные о неврологических осложнениях. Последние встречались у 86 из 11 741 пациентов, оперированных по поводу ЮИС. Общая частота таких осложнений составила 0,73%, из них 0,43% относились к ранениям спинного мозга, а 0,31% — к ранениям корешков [13]. При этом в 4,7% случаев неврологический дефицит был невосстановим, частично восстановим в 46,8% случаев и полностью восстановился у 47,1% детей, получивших различные неврологические осложнения. Авторы настоятельно рекомендуют использование интраоперационного нейромониторинга всем хирургам, даже имеющим большой опыт в установке транспедикулярных конструкций, так как повреждение спинного мозга и его корешков может быть не только прямым в результате неправильно

установленного винта, но и ишемическим из-за интраоперационной гипотонии, а также в результате перерастяжения спинного мозга и корешков после коррекционного маневра [12].

Одно из отдаленных осложнений, требующих хирургического вмешательства, — отдаленная глубокая инфекция. В литературе существует множество указаний на сроки после оперативного вмешательства, когда инфекция может считаться отдаленной, но большинство авторов определяют этот срок в 12 мес [14–17].

Ранее считалось, что происходит коррозия металла и фреттинг — высвобождение микрочастиц в результате микротрения элементов конструкции в месте фиксации, — который в свою очередь ведет к асептическому воспалению и формированию грануляций. Однако позже была доказана роль определенных микроорганизмов в этиологии поздних инфекций: *Propionibacterium acne*, *Staphylococcus epidermidis*, *S. aureus* и др. [17, 18].

Отмечается достоверно более высокая частота возникновения отдаленных инфекций при применении конструкций из нержавеющей стали (4,56%), чем из сплавов титана (1,33%) [17]. Комплексное лечение при глубокой инфекции в месте установки конструкции состоит из вскрытия инфицированной полости и тщательного ее дренирования, а также в применении стандартной схемы антибиотикотерапии, используемой при инфицировании конструкций — посев + внутривенная антибиотикотерапия в течение 2 дней с последующей коррекцией терапии и переходом на пероральную антибиотикотерапию в течение 4 нед. [18, 19]. Однако очень часто лечение по вышеописанной схеме дает лишь временный эффект, после чего происходит рецидив инфекции, который, по мнению многих авторов [16, 18, 19], связан с формированием бактериями гликокаликсной биопленки, мешающей воздействию антибиотиков на колонию, расположенную непосредственно на металлоконструкции. Данный факт позже был подтвержден исследованием биопленок бактерий *S. aureus* и *S. epidermidis* на кроликах с использованием различных сплавов металлов: бактерии образовывали пленки в значительно большем количестве на нержавеющей стали по сравнению с титановым сплавом [20]. Единственным возможным вариантом в данной ситуации стал полный демонтаж конструкции [17], так как при ее сохранении шансы рецидива инфекции составляют примерно 50%, что было показано в исследовании С. Но и соавт. [21], которые также сообщили, что в 47% случаев был высеян коагулазонегативный стафилококк. Знание этого факта позволяет назначать этиотропную эмпирическую терапию с большой эффективностью.

Среди угрожающих жизни осложнений отдельно следует упомянуть синдром верхней брыжеечной артерии, возникающий, по разным данным, с частотой от 1 до 7,6% [22–26]. Смертность от синдрома верхней брыжеечной артерии может составлять до 33% [27]. Синдром возникает преимущественно у детей с индексом массы

тела ниже 20, астеников. Значительно чаще данное осложнение связано с удлинением продольного размера позвоночного столба в результате оперативной коррекции сколиоза [26]. Патогенез заключается в сдавлении нижней горизонтальной части двенадцатиперстной кишки в аортomezентериальном пинцете. Это происходит в результате малого угла отхождения верхней брыжеечной артерии от аорты (в норме от 38 до 65°), который, в свою очередь, зависит от объема жировой подушки верхней брыжеечной артерии [28]. Синдром клинически представлен рвотой, иногда с примесью желчи, тошнотой, запором, анорексией и абдоминальными болями, имеющими характер колик. Рентгенологически при исследовании с барием можно отметить дуоденальную непроходимость, а «золотым стандартом» диагностики считается ангиография [29]. Синдром верхней брыжеечной артерии можно вести консервативно, проводя декомпрессию желудка, коррекцию водно-электролитного баланса путем внутривенных инфузий, осуществляя адекватное питание внутривенно или энтерально [30].

Крайне мало исследований посвящено тактике послеоперационного наблюдения пациентов после операций на позвоночнике по поводу ЮИС. В настоящее время большинство авторов наблюдают пациентов после коррекции деформации позвоночника в течение не менее 2 лет, однако четко обоснованные сроки наблюдения в литературе не указаны. Авторы одного из исследований проводили контроль за отдаленными результатами с помощью осмотров через 2 года и 5 лет после оперативного вмешательства [31]. Они утверждают, что проводить контрольные осмотры через 5 лет нецелесообразно, на основании отсутствия разницы между величиной послеоперационного угла Кобба основной деформации, измеренной соответственно через 2 года и 5 лет после операции. Не отмечалось также и разницы в общем самочувствии на основании опросников. У троих пациентов выявили отдаленные осложнения после коррекции, но все они обратились за медицинской помощью самостоятельно. У первого пациента появились боли в поясничной области (через 21 мес после оперативного вмешательства), у второго выявили глубокую раневую инфекцию с образованием свища, соединяющегося с позвоночником, она развилась спустя 24 мес, еще у одного — перелом стержня из титанового сплава без смещения. В исследовании Н.Н. Надирова и соавт. [32] указано, что пациентов после коррекции грудного идиопатического сколиоза необходимо наблюдать в течение 1–3 лет. Потеря коррекции в срок наблюдения составила 0–5%, стоит отметить, что все эти пациенты имели угол деформации от 100 до 114° по Коббу и ригидную грудную дугу искривления (мобильность 11%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проанализированных исследований можно сделать выводы, что за последнее 20-летие

частота послеоперационных осложнений при хирургической коррекции сколиотических деформаций значительно снизилась. Учитывая данные из различных работ, можно сделать вывод, что общий уровень осложнений уменьшился с 5,7% (2000–2003) до 4,95% (2004–2007) и затем еще до 0,98% (2013–2016). Наибольшее снижение (на 87,4%) произошло среди осложнений, связанных с имплантатами, и на 33,9% — уменьшение частоты развития впервые выявленных неврологических патологий в послеоперационном периоде [1, 6]. Можно также утверждать, что широкое применение транспедикулярных конструкций значительно снизило число осложнений.

Все послеоперационные осложнения можно разделить на 2 большие группы: общесоматические и неврологические. К основным неврологическим относят: респираторные осложнения, развитие раневых инфекций, псевдоартроз, синдром верхней брыжеечной артерии. Частота респираторных осложнений составляла 0,9–1,42%, а частота развития раневых инфекций — 0,71%. Была доказана роль определенных микроорганизмов в этиологии поздних инфекций: *Propionibacterium acne*, *S. epidermidis*, *S. aureus* и др. В 47% случаев отдаленные глубокие инфекции вызываются коагулазонегативным стафилококком. Особые сложности при лечении пациентов с раневыми инфекциями обусловлены их частым рецидивированием, которое связано с формированием бактериями гликокаликсной биопленки, мешающей воздействию антибиотиков на колонию, расположенную непосредственно на металлоконструкции. Синдром верхней брыжеечной артерии, по разным источникам, встречается в 1–7,6% и обусловлен формированием аорто-мезентериального «пинцета». Смертность от синдрома верхней брыжеечной артерии может составлять до 33% [7, 8, 16–19, 21–26].

К неврологическим осложнениям относят большой спектр патологических состояний: от транзиторной позиционной нейропатии из-за нахождения в позе на животе с отведенными верхними конечностями до необратимого неврологического дефицита в результате повреждения спинного мозга [12].

Среди доказанных факторов риска осложнений отмечают следующие:

1) наличие сопутствующей почечной патологии у пациента, большой объем операционной кровопотери, значительное увеличение времени анестезии и операционного вмешательства [8];

2) применение конструкций из нержавеющей стали, при которых значительно возрастает риск глубокой раневой инфекции (4,56%), чем из сплавов титана (1,33%) [17];

3) применение переднего или комбинированного оперативного доступа, при которых риск развития осложнений вырастают до 10,0 и 19,8% соответственно, в то время как при заднем доступе осложнения возникают в 6,7% случаев [5];

4) значительное удлинение продольного размера позвоночного столба в результате оперативной коррекции

сколиоза, которое приводит к синдрому верхней брыжеечной артерии [26];

5) применение дистрактора Харрингтона — в таких случаях наиболее часто встречается псевдоартроз и инфекционные осложнения [2];

6) отказ от интраоперационного нейромониторинга при установке транспедикулярных конструкций, что может приводить к повреждениям спинного мозга и его корешков [12].

В качестве практических рекомендаций на основании настоящего обзора рекомендуется соблюдение всех технологических процессов установки конструкций, тщательное предоперационное планирование, индивидуальный подход к послеоперационному ведению и обязательное наблюдение детей, оперированных по поводу сколиотической деформации как минимум в течение 2 лет после операции.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: А.В. Семенов — планирование дизайна исследования, поиск литературы, отбор публикаций, анализ публикаций, статистическая обработка данных, описание результатов работы, формирование выводов, написание публикации; В.В. Коротеев, Н.И. Тарасов — участие в финальном консенсусе по отбору публикаций, формирование выводов, консультирование по оперативным методикам лечения заболевания; Д.Ю. Выборнов, В.М. Крестьяшин — планирование дизайна исследования, общее руководство над проведением исследования и написанием публикации, консультирование по оперативным методикам лечения, общая редакция публикации; П.А. Горелова, Н.А. Карлова — планирование дизайна исследования, поиск литературы, отбор публикаций, анализ публикаций, статистическая обработка данных, описание результатов работы, формирование выводов, написание публикации.

Author contribution. A.V. Semenov — research design planning, literature search, selection of publications, analysis of publications, statistical data processing, description of work results, drawing conclusions, writing a publication; V.V. Koroteev, N.I. Tarasov — participation in the final consensus on the selection of publications, drawing up conclusions, consulting on operational methods of treating the disease; D.Yu. Vybornov, V.M. Krestyashin — planning the design of the study, general guidance over the conduct of the study and writing the publication, consulting on surgical methods of treatment, general edition of the publication; P.A. Gorelova, N.A. Karlova — research design planning, literature search, selection of publications, analysis of publications, statistical data processing, description of work results, drawing conclusions, writing a publication. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation

of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kwan K.Y.H., Koh H.Y., Blanke K.M., Cheung K.M.C. Complications following surgery for adolescent idiopathic scoliosis over a 13-year period // *Bone Joint J.* 2020. Vol. 102-B, N 4. P. 519–523. doi: 10.1302/0301-620X.102B4.BJJ-2019-1371.R1
2. Lykissas M.G., Jain V.V., Nathan S.T., et al. Mid- to long-term outcomes in adolescent idiopathic scoliosis after instrumented posterior spinal fusion: a meta-analysis // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013. Vol. 38, N 2. P. 113–119. doi: 10.1097/BRS.0b013e31827ae3d0
3. Vigneswaran H.T., Grabel Z.J., Ebersson C.P., et al. Surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis in the United States from 1997 to 2012: an analysis of 20, 346 patients // *J Neurosurg Pediatr.* 2015. Vol. 16, N 3. P. 322–328. doi: 10.3171/2015.3.PEDS14649
4. Sultan A.A., Berger R.J., Cantrell W.A., et al. Predictors of extended length of hospital stay in adolescent idiopathic scoliosis patients undergoing posterior segmental instrumented fusion: an analysis of 407 surgeries performed at a large academic center // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019. Vol. 44, N 10. P. 715–722. doi: 10.1097/BRS.0000000000002919
5. De la Garza Ramos R., Goodwin C.R., Abu-Bonsrah N., et al. Patient and operative factors associated with complications following adolescent idiopathic scoliosis surgery: an analysis of 36,335 patients from the Nationwide Inpatient Sample // *J Neurosurg Pediatr.* 2016. Vol. 18, N 6. P. 730–736. doi: 10.3171/2016.6.PEDS16200
6. Coe J.D., Arlet V., Donaldson W., et al. Complications in spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis in the new millennium. A report of the scoliosis research society morbidity and mortality committee // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006. Vol. 31, N 3. P. 345–349. doi: 10.1097/01.brs.0000197188.76369.13
7. Carreon L.Y., Puno R.M., Lenke L.G., et al. Non-neurologic complications following surgery for adolescent idiopathic scoliosis // *J Bone Joint Surg Am.* 2007. Vol. 89, N 11. P. 2427–2432. doi: 10.2106/JBJS.F.00995
8. Fu K.M., Smith J.S., Polly D.W., et al. Morbidity and mortality associated with spinal surgery in children: a review of the Scoliosis Research Society morbidity and mortality database // *J Neurosurg Pediatr.* 2011. Vol. 7, N 1. P. 37–41. doi: 10.3171/2010.10.PEDS10212
9. Виссарионов С.В., Мурашко В.В., Кокушин Д.Н., и др. Хирургическое лечение пациента с тяжелым идиопатическим кифосколиозом // *Детская хирургия.* 2014. Т. 18, № 5. С. 37–41.
10. Chan A., Parent E., Wong J., et al. Does image guidance decrease pedicle screw-related complications in surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis: a systematic review update and meta-analysis // *Eur Spine J.* 2020. Vol. 29, N 4. P. 694–716. doi: 10.1007/s00586-019-06219-3
11. Виссарионов С.В., Дроздецкий А.П. Тактика хирургического лечения детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации // *Травматология и ортопедия России.* 2010. № 2. С. 25–29.
12. Murphy R.F., Mooney J.F. 3rd. Complications following spine fusion for adolescent idiopathic scoliosis // *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2016. Vol. 9, N 4. P. 462–469. doi: 10.1007/s12178-016-9372-5
13. Hamilton D.K., Smith J.S., Sansur C.A., et al. Rates of new neurological deficit associated with spine surgery based on 108,419 procedures: a report of the scoliosis research society morbidity and mortality committee // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011. Vol. 36, N 15. P. 1218–1228. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181ec5fd9
14. Heggeness M.H., Esses S.I., Errico T., Yuan H.A. Late infection of spinal instrumentation by hematogenous seeding // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1993. Vol. 18, N 4. P. 492–496.
15. Richards B.S. Delayed infections following posterior spinal instrumentation for the treatment of idiopathic scoliosis // *J Bone Joint Surg Am.* 1995. Vol. 77, N 4. P. 524–529. doi: 10.2106/00004623-199504000-00004
16. Soultanis K., Mantelos G., Pagiatakis A., Soucacos P.N. Late infection in patients with scoliosis treated with spinal instrumentation // *Clin Orthop Relat Res.* 2003. N 411. P. 116–123. doi: 10.1097/01.blo.0000068357.47147.10
17. Di Silvestre M., Bakaloudis G., Lolli F., Giacomini S. Late-developing infection following posterior fusion for adolescent idiopathic scoliosis // *Eur Spine J.* 2011. Vol. 20 Suppl. 1. P. S121–127. doi: 10.1007/s00586-011-1754-1
18. Richards B.R., Emara K.M. Delayed infections after posterior TSRH spinal instrumentation for idiopathic scoliosis: revisited // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001. Vol. 26, N 18. P. 1990–1996. doi: 10.1097/00007632-200109150-00009
19. Clark C.E., Shufflebarger H.L. Late-developing infection in instrumented idiopathic scoliosis // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999. Vol. 24, N 18. P. 1909–1912. doi: 10.1097/00007632-199909150-00008
20. Sheehan E., McKenna J., Mulhall K.J., et al. Adhesion of Staphylococcus to orthopaedic metals, an in vivo study // *J Orthop Res.* 2004. Vol. 22, N 1. P. 39–43. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00152-9
21. Ho C., Skaggs D.L., Weiss J.M., Tolo V.T. Management of infection after instrumented posterior spine fusion in pediatric scoliosis // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007. Vol. 32, N 24. P. 2739–2744. doi: 10.1097/BRS.0b013e31815a5a86
22. Tsirikos A.I., Jeans L.A. Superior mesenteric artery syndrome in children and adolescents with spine deformities undergoing corrective surgery // *J Spinal Disord Tech.* 2005. Vol. 18, N 3. P. 263–271.
23. Hod-Feins R., Copeliovitch L., Abu-Kishk I., et al. Superior mesenteric artery syndrome after scoliosis repair surgery: a case study and reassessment of the syndrome's pathogenesis // *J Pediatr Orthop B.* 2007. Vol. 16, N 5. P. 345–349. doi: 10.1097/BPB.0b013e32826d1d9b
24. Zhu Z.Z., Qiu Y. Superior mesenteric artery syndrome following scoliosis surgery: its risk indicators and treatment strategy // *World J Gastroenterol.* 2005. Vol. 11, N 21. P. 3307–3310. doi: 10.3748/wjg.v11.i21.3307
25. Braun S.V., Hedden D.M., Howard A.W. Superior mesenteric artery syndrome following spinal deformity correc-

tion // *J Bone Joint Surg Am*. 2006. Vol. 88, N 10. P. 2252–2257. doi: 10.2106/JBJS.E.00348

26. Kim J.Y., Kim H.S., Moon E.S., et al. Incidence and risk factors associated with superior mesenteric artery syndrome following surgical correction of scoliosis // *Asian Spine J*. 2008. Vol. 2, N 1. P. 27–33. doi: 10.4184/asj.2008.2.1.27

27. Boseker E.H., Moe J.H., Winter R.B., Koop S.E. Determination of "normal" thoracic kyphosis: a roentgenographic study of 121 "normal" children // *J Pediatr Orthop*. 2000. Vol. 20, N 6. P. 796–798. doi: 10.1097/00004694-200011000-00019

28. Derrick J.R., Fadhli H.A. Surgical anatomy of the superior mesenteric artery // *Am Surg*. 1965. Vol. 31. P. 545–547.

29. Gustafsson L., Falk A., Lukes P.J., Gamklou R. Diagnosis and treatment of superior mesenteric artery syndrome // *Br J Surg*. 1984. Vol. 71, N 7. P. 499–501. doi: 10.1002/bjs.1800710706

REFERENCES

1. Kwan KYH, Koh HY, Blanke KM, Cheung KMC. Complications following surgery for adolescent idiopathic scoliosis over a 13-year period. *Bone Joint J*. 2020;102-B(4):519–523. doi: 10.1302/0301-620X.102B4.BJJ-2019-1371.R1

2. Lykissas MG, Jain VV, Nathan ST, et al. Mid- to long-term outcomes in adolescent idiopathic scoliosis after instrumented posterior spinal fusion: a meta-analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38(2):113–119. doi: 10.1097/BRS.0b013e31827ae3d0

3. Vigneswaran HT, Grabel ZJ, Ebersson CP, et al. Surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis in the United States from 1997 to 2012: an analysis of 20,346 patients. *J Neurosurg Pediatr*. 2015;16(3):322–328. doi: 10.3171/2015.3.PEDS14649

4. Sultan AA, Berger RJ, Cantrell WA, et al. Predictors of extended length of hospital stay in adolescent idiopathic scoliosis patients undergoing posterior segmental instrumented fusion: an analysis of 407 surgeries performed at a large academic center. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019;44(10):715–722. doi: 10.1097/BRS.0000000000002919

5. De la Garza Ramos R, Goodwin CR, Abu-Bonsrah N, et al. Patient and operative factors associated with complications following adolescent idiopathic scoliosis surgery: an analysis of 36,335 patients from the Nationwide Inpatient Sample. *J Neurosurg Pediatr*. 2016;18(6):730–736. doi: 10.3171/2016.6.PEDS16200

6. Coe JD, Arlet V, Donaldson W, et al. Complications in spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis in the new millennium. A report of the scoliosis research society morbidity and mortality committee. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(3):345–349. doi: 10.1097/01.brs.0000197188.76369.13

7. Carreon LY, Puno RM, Lenke LG, et al. Non-neurologic complications following surgery for adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(11):2427–2432. doi: 10.2106/JBJS.F.00995

8. Fu KM, Smith JS, Polly DW, et al. Morbidity and mortality associated with spinal surgery in children: a review of the Scoliosis Research Society morbidity and mortality database. *J Neurosurg Pediatr*. 2011;7(1):37–41. doi: 10.3171/2010.10.PEDS10212

9. Vissarionov SV, Murashko VV, Kokushkin DN, et al. Surgical treatment of a patient with severe idiopathic chest kyphoscoliosis. *Detskaya khirurgiya*. 2014;18(5):37–41. (In Russ).

10. Chan A, Parent E, Wong J, et al. Does image guidance decrease pedicle screw-related complications in surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis: a systematic review

30. Lam D.J., Lee J.Z., Chua J.H., et al. Superior mesenteric artery syndrome following surgery for adolescent idiopathic scoliosis // *J Pediatr Orthop B*. 2014. Vol. 23, N 4. P. 312–318. doi: 10.1097/BPB.0000000000000050

31. Mac-Thiong J.M., Remondino R., Joncas J., et al. Long-term follow-up after surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis using high-density pedicle screw constructs: is 5-year routine visit required? // *Eur Spine J*. 2019. Vol. 28, N 6. P. 1296–1300. doi: 10.1007/s00586-019-05887-5

32. Нади́ров Н.Н., Беля́нчиков С.М., Коку́шин Д.Н., Мурашко В.В. Хирургическая коррекция деформации позвоночника у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации с применением современных технологий // *Детская хирургия*. 2016. Т. 20, № 6. С. 287–291. doi: 10.18821/1560-9510-2016-20-6-287-291

update and meta-analysis. *Eur Spine J*. 2020;29(4):694–716. doi: 10.1007/s00586-019-06219-3

11. Vissarionov SV, Drozdetsky AP. Tactic in surgical treatment of thoracic idiopathic scoliosis in children. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2010;(2):25–29. (In Russ).

12. Murphy RF, Mooney JF 3rd. Complications following spine fusion for adolescent idiopathic scoliosis. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2016;9(4):462–469. doi: 10.1007/s12178-016-9372-5

13. Hamilton DK, Smith JS, Sansur CA, et al. Rates of new neurological deficit associated with spine surgery based on 108,419 procedures: a report of the scoliosis research society morbidity and mortality committee. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(15):1218–1228. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181ec5fd9

14. Heggeness MH, Esses SI, Errico T, Yuan HA. Late infection of spinal instrumentation by hematogenous seeding. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1993;18(4):492–496.

15. Richards BS. Delayed infections following posterior spinal instrumentation for the treatment of idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 1995;77(4):524–529. doi: 10.2106/00004623-199504000-00004

16. Soultanis K, Mantelos G, Pagiatakis A, Soucacos PN. Late infection in patients with scoliosis treated with spinal instrumentation. *Clin Orthop Relat Res*. 2003;(411):116–123. doi: 10.1097/01.blo.0000068357.47147.10

17. Di Silvestre M, Bakaloudis G, Lolli F, Giacomini S. Late-developing infection following posterior fusion for adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*. 2011;20 Suppl. 1:S121–127. doi: 10.1007/s00586-011-1754-1

18. Richards BR, Emara KM. Delayed infections after posterior TSRH spinal instrumentation for idiopathic scoliosis: revisited. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(18):1990–1996. doi: 10.1097/00007632-200109150-00009

19. Clark CE, Shufflebarger HL. Late-developing infection in instrumented idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(18):1909–1912. doi: 10.1097/00007632-199909150-00008

20. Sheehan E, McKenna J, Mulhall KJ, et al. Adhesion of Staphylococcus to orthopaedic metals, an in vivo study. *J Orthop Res*. 2004;22(1):39–43. doi: 10.1016/S0736-0266(03)00152-9

21. Ho C, Skaggs DL, Weiss JM, Tolo VT. Management of infection after instrumented posterior spine fusion in pediatric scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(24):2739–2744. doi: 10.1097/BRS.0b013e31815a5a86

22. Tsirikos AI, Jeans LA. Superior mesenteric artery syndrome in children and adolescents with spine deformities undergoing corrective surgery. *J Spinal Disord Tech.* 2005;18(3):263–271.
23. Hod-Feins R, Copeliovitch L, Abu-Kishk I, et al. Superior mesenteric artery syndrome after scoliosis repair surgery: a case study and reassessment of the syndrome's pathogenesis. *J Pediatr Orthop B.* 2007;16(5):345–349. doi: 10.1097/BPB.0b013e32826d1d9b
24. Zhu ZZ, Qiu Y. Superior mesenteric artery syndrome following scoliosis surgery: its risk indicators and treatment strategy. *World J Gastroenterol.* 2005;11(21):3307–3310. doi: 10.3748/wjg.v11.i21.3307
25. Braun SV, Hedden DM, Howard AW. Superior mesenteric artery syndrome following spinal deformity correction. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88(10):2252–2257. doi: 10.2106/JBJS.E.00348
26. Kim JY, Kim HS, Moon ES, et al. Incidence and risk factors associated with superior mesenteric artery syndrome following surgical correction of scoliosis. *Asian Spine J.* 2008;2(1):27–33. doi: 10.4184/asj.2008.2.1.27
27. Boseker EH, Moe JH, Winter RB, Koop SE. Determination of "normal" thoracic kyphosis: a roentgenographic study of 121 "normal" children. *J Pediatr Orthop.* 2000;20(6):796–798. doi: 10.1097/00004694-200011000-00019
28. Derrick JR, Fadhli HA. Surgical anatomy of the superior mesenteric artery. *Am Surg.* 1965;31:545–547.
29. Gustafsson L, Falk A, Lukes PJ, Gamklou R. Diagnosis and treatment of superior mesenteric artery syndrome. *Br J Surg.* 1984;71(7):499–501. doi: 10.1002/bjs.1800710706
30. Lam DJ, Lee JZ, Chua JH, et al. Superior mesenteric artery syndrome following surgery for adolescent idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop B.* 2014;23(4):312–318. doi: 10.1097/BPB.0000000000000050
31. Mac-Thiong JM, Remondino R, Joncas J, et al. Long-term follow-up after surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis using high-density pedicle screw constructs: is 5-year routine visit required? *Eur Spine J.* 2019;28(6):1296–1300. doi: 10.1007/s00586-019-05887-5
32. Nadirov NN, Belyanchikov SM, Kokushin DN, Murashko VV. Surgical correction of spinal deformity in children with idiopathic scoliosis of chest localization using modern technologies. *Detskaya khirurgiya.* 2016;20(6):287–291. (In Russ). doi: 10.18821/1560-9510-2016-20-6-287-291

ОБ АВТОРАХ

***Андрей Всеволодович Семенов**, аспирант, врач – травматолог-ортопед; адрес: Россия, Москва, 117997, ул. Островитянова, 1, 117997
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6858-4127>;
e-mail: dru4elos@gmail.com.

Владимир Викторович Коротеев, канд. мед. наук, врач – травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4502-1465>;
e-mail: 9263889457@mail.ru.

Владимир Михайлович Крестьяшин, д-р мед. наук, профессор, врач – травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3118-9566>;
eLibrary SPIN: 8845-9946; e-mail: dgkb13@gmail.com.

Дмитрий Юрьевич Выборнов, д-р мед. наук, профессор, врач – травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8785-7725>;
eLibrary SPIN: 2660-5048; e-mail: dgkb13@gmail.com.

Николай Иванович Тарасов, канд. мед. наук, врач – травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9303-2372>;
eLibrary SPIN: 5934-3400; e-mail: dru4elos@gmail.com.

Полина Александровна Горелова, клинический ординатор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0354-2123>.

Наталья Артемовна Карлова, клинический ординатор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5917-2024>.

AUTHORS INFO

***Andrey V. Semenov**, postgraduate student, traumatologist-orthopedist;
address: 1 Ostrovitianova str., 117997, Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6858-4127>;
e-mail: dru4elos@gmail.com.

Vladimir V. Koroteev, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4502-1465>;
e-mail: 9263889457@mail.ru.

Vladimir M. Krestyashin, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.), professor, traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3118-9566>;
eLibrary SPIN: 8845-9946; e-mail: dgkb13@gmail.com.

Dmitry Yu. Vybornov, MD, PhD, Dr. Sci. (Med.), professor, traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8785-7725>;
eLibrary SPIN: 2660-5048; e-mail: dgkb13@gmail.com.

Nikolay I. Tarasov, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9303-2372>;
eLibrary SPIN: 5934-3400; e-mail: dru4elos@gmail.com.

Polina A. Gorelova, resident;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0354-2123>.

Natalya A. Karlova, resident;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5917-2024>.

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author