



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ВЗРОСЛЫХ ПАЦИЕНТОВ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ

М.С. Стребкова, О.Г. Прудникова, Е.А. Матвеев, А.В. Евсюков

*Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии
им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, Курган*

Цель исследования. Сравнительный анализ результатов транспедикулярной фиксации методом «свободной руки» под контролем флюороскопии и интраоперационной навигации при хирургическом лечении взрослых пациентов с идиопатическим сколиозом.

Материал и методы. В исследование включены 120 пациентов (102 женщины, 18 мужчин), последовательно оперированных с января 2020 г. по декабрь 2024 г. и разделенных на две группы в хронологическом порядке, соответствующем внедрению технологии О-аrm-навигации. В группу 1 вошли 60 пациентов (53 женщины, 7 мужчин), проведение винтов у которых осуществлено с использованием навигации и интраоперационного КТ-контроля; в группу 2 – 60 пациентов (49 женщин, 11 мужчин), винты у которых установлены с помощью традиционной техники «свободной руки» с интраоперационным рентгенологическим контролем (С-дуга) и послеоперационным КТ-контролем.

Результаты. Применение О-аrm-навигации достоверно повысило точность установки винтов (90,87 % против 85,57 %; $p < 0,001$) и снизило частоту мальпозиций (9,12 % против 14,43 %). Клинически значимые смещения встречались в 1,1 % случаев против 20,7 % ($p < 0,001$), частота реопераций составила 1,7 % против 23,3 %. Несмотря на увеличение времени операции на 25 мин, кровопотеря и сроки госпитализации не различались, а коррекция деформации была достоверно выше (57,76 % против 47,87 %; $p < 0,001$).

Заключение. Интраоперационная КТ-навигация повышает безопасность и эффективность хирургии деформаций позвоночника. Внедрение технологии О-аrm-навигации существенно сокращает число ревизионных операций и критических мальпозиций без значительного изменения времени операции и объема кровопотери.

Ключевые слова: интраоперационная навигация; сколиоз; классификация мальпозиций винтов.

Для цитирования: Стребкова М.С., Прудникова О.Г., Матвеев Е.А., Евсюков А.В. Сравнительный анализ результатов хирургического лечения взрослых пациентов с идиопатическим сколиозом с применением интраоперационной томографической навигации // Хирургия позвоночника. 2026. Т. 23, № 3. С. 24–31. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.3.24-31>

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF SURGICAL TREATMENT OF ADULT PATIENTS WITH IDIOPATHIC SCOLIOSIS USING INTRAOPERATIVE TOMOGRAPHIC NAVIGATION

M.S. Strebkova, O.G. Prudnikova, E.A. Matveev, A.V. Evsyukov

National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia

Objective. To perform comparative analysis of the results of pedicle screw fixation using the free-hand method under fluoroscopy control and intraoperative navigation in the surgical treatment of adult patients with idiopathic scoliosis.

Material and Methods. The study included 120 patients (102 women, 18 men) consecutively operated on from January 2020 to December 2024 and divided into two groups chronologically corresponding to the introduction of O-arm navigation technology. Group 1 included 60 patients (53 women, 7 men) in whom screw placement was performed using navigation and intraoperative CT control; Group 2 included 60 patients (49 women, 11 men) in whom screws were placed using the traditional free-hand technique with intraoperative X-ray control (C-arm) and postoperative CT assessment.

Results. The use of O-arm navigation significantly increased the accuracy of screw placement (90.87% vs. 85.57%; $p < 0.001$) and reduced the malposition rate (9.12% vs. 14.43%). Clinically significant displacements occurred in 1.1% of cases vs. 20.7% ($p < 0.001$), and the reoperation rate was 1.7% vs. 23.3%. Despite an increase in operative time by 25 minutes, blood loss and length of hospital stay did not differ, and deformity correction was significantly higher (57.76% vs. 47.87%; $p < 0.001$).

Conclusions. Intraoperative CT navigation improves the safety and effectiveness of spinal deformity surgery. The introduction of O-arm navigation technology significantly reduces the number of revision operations and critical malpositions without significantly changing the time of surgery and the amount of blood loss.

Key Words: intraoperative navigation; scoliosis; screw malposition classification.

Please cite this paper as: Strebkova MS, Prudnikova OG, Matveev EA, Evsyukov AV. Comparative analysis of the results of surgical treatment of adult patients with idiopathic scoliosis using intraoperative tomographic navigation. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2026;23(3):24–31. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.3.24-31>

Имплантация транспедикулярных винтов при хирургическом лечении деформаций позвоночника является важным этапом, сопряженным с риском ятрогенного повреждения париетальной плевры, внутренних органов, магистральных сосудов и невралгических структур. Кроме того, точность установки винтов напрямую влияет на биомеханическую стабильность всей конструкции, неопорный винт может привести к нестабильности фиксации, развитию псевдоартроза и миграции элементов металлоконструкции.

Среди основных методов имплантации опорных винтов выделяют следующие: установка под контролем флюороскопии [1], метод «свободной руки» (free-hand), метод с использованием навигации на базе двумерной С-дуги [2], система оптической навигации с предоперационным КТ-планированием [3], применение навигационных шаблонов [4], робот-ассистенция, навигация с очками дополненной реальности [5], установка с помощью навигации (интраоперационная навигация) с использованием О-дуги, которые обеспечивают виртуальное трехмерное моделирование анатомических структур и имплантатов [6]. Ключевым преимуществом интраоперационной томографии и навигации является возможность верификации положения имплантатов в режиме реального времени (online) с возможностью их немедленной коррекции при выявлении мальпозиции. Благодаря обеспечению трехмерной визуализации в любое время в процессе операции данная технология приобретает статус предпочтительной во многих ведущих клиниках, способствуя повышению точности имплантации. Тем не менее целесообразность ее широкого применения остается предметом дискуссий. Если сторонники метода указывают на стабильно высокую точность позиционирования, то критики обращают внимание на потенциальное увеличение длительности вмешательства, объема интраоперационной кровопотери и дозы лучевой нагрузки, что может

нивелировать клинические преимущества технологии [6].

Цель исследования – сравнить результаты транспедикулярной фиксации методом «свободной руки» под контролем флюороскопии и интраоперационной навигации при хирургическом лечении взрослых пациентов с идиопатическим сколиозом.

Материал и методы

Исследование проведено на базе НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова (Курган).

Дизайн: проспективно-ретроспективное нерандомизированное моноцентровое когортное исследование.

В анализ включены 120 пациентов (102 женщины, 18 мужчин), оперированных в период с января 2020 г. по декабрь 2024 г. Пациентов разделили на две группы в хронологическом порядке, соответствующем внедрению технологии O-arm-навигации в клинику. В группу 1 вошли 60 пациентов (53 женщины, 7 мужчин), проведение винтов у которых выполняли с использованием навигации и интраоперационного O-arm-контроля (O-arm, Medtronic), в группу 2 – 60 пациентов (49 женщин, 11 мужчин), винты которым устанавливали с помощью традиционной техники free-hand с интраоперационным рентгенологическим контролем (С-дуга) и послеоперационным КТ-контролем.

Критерии включения: верифицированный диагноз идиопатического сколиоза; возраст от 18 до 59 лет включительно на момент операции; отсутствие ранее перенесенных оперативных вмешательств на позвоночнике; наличие полного лучевого архива; послеоперационное наблюдение не менее 12 мес.

Критерии не включения: сколиотическая деформация иной этиологии; возраст до 18 и старше 59 лет на момент операции; ранее выполненное оперативное вмешательство на позвоночнике; наличие системных заболеваний; тяжелая соматическая патология в стадии декомпен-

сации; отсутствие полного лучевого архива; отказ пациента от участия в исследовании.

Критерии исключения: самовольный выход пациента из исследования.

Показаниями для оперативного лечения согласно действующим Клиническим рекомендациям [7] были деформация 40° и более (по Cobb), косметический дефект, болевой синдром.

Методы исследования: общеклиническое, ортопедическое и неврологическое обследование, спондилография позвоночника в прямой и боковой проекциях и рентгенография с боковыми наклонами (bending test), КТ шейного, грудного и поясничного отделов позвоночника; МРТ шейного, грудного и поясничного отделов позвоночника и спинного мозга.

При анализе спондилограмм рассматривали параметры фронтального и сагиттального баланса, дуг деформации, уровни апикальных нейтральных и конечных позвонков. При рентгенографии с боковыми наклонами (bending test) определяли мобильность дуг деформации. МРТ проводили с целью исключения врожденных аномалий развития и для оценки дегенеративных изменений и топографии спинного мозга. При КТ оценивали пространственное положение позвоночного столба, исключали врожденные аномалии развития костных структур, оценивали топографию позвонков, ротацию, торсию, измерения тел позвонков и их ножек.

Рентгенометрические измерения выполняли в программах Weasis v3.0.4. и КОМЕТА 4.1.3. Viewer. Для обработки данных применяли пакет статистических программ Microsoft Office Excel (2016).

Критерии оценки. Основной: частота и тип мальпозиции винтов. Второстепенные: клинические проявления мальпозиций, повторные операции по поводу мальпозиций винтов, продолжительность операции, объем кровопотери, углы деформации основной и компенсаторной дуг, степень коррекции деформации, период госпитализации.

Период наблюдения составил от 6 до 68 мес. (в среднем – 20,4 мес.).

Первичными конечными методами оценки являлись частота и тип мальпозиций винтов [8], дополнительные – осложнения и повторные операции по поводу мальпозиций, продолжительность операций и величина кровопотери, период госпитализации, оценка деформаций на этапах лечения.

Этическая экспертиза. Исследование проводили в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации (2013 г.). Пациенты давали информированное добровольное согласие на проведение диагностических исследований и медицинского вмешательства и использование полученных данных в научных целях.

Статистический анализ данных. Использовали вычисление средней арифметической (M) и отклонение среднего ($\pm m$), χ^2 Пирсона (с поправкой Йейтса при $n < 5$), двухвыборочный t -критерий Стьюдента, Δ – разность средних значений между группами. Уровень значимости $p < 0,05$ для сравнения средних значений между двумя независимыми группами. Для обработки данных применяли пакет статистических программ Microsoft Office Excel (2016).

Техника оперативных вмешательств. Все оперативные вмешательства осуществлены под общей

анестезией одной группой хирургов со стажем выполнения данных вмешательств не менее 5 лет; разница результатов, связанная с освоением техники хирургических вмешательств, исключена.

Уровни и протяженность фиксации определяли на основании фронтального баланса, мобильности дуг деформации при функциональных тестах, уровня и топографии конечных позвонков.

В группе 1 установку винтов проводили по технологии интраоперационной навигации всех винтов в разработанной модификации [9] с однократным позиционированием референтной рамки. После установки винтов проводили контроль их положения посредством интраоперационной томографии, при обнаружении критической мальпозиции [8] выполняли перепроведение винта. Пациентам группы 2 проведение винтов осуществляли методом «свободной руки» по анатомическим ориентирам с рентгенологическим контролем при помощи С-дуги. КТ-контроль положения винтов выполняли на 1–2-е сут после операции. При неудовлетворительном положении винтов проводили реоперацию и их переустановку.

После установки винтов осуществляли монтаж конструкции с коррекцией деформации.

Результаты

Общая характеристика пациентов представлена в табл. 1.

Как видно из табл. 1, группы пациентов сопоставимы по возрасту, величине деформации и иным параметрам общего состояния здоровья до начала лечения.

В табл. 2 представлены результаты анализа всех параметров.

Группы статистически сопоставимы, несмотря на то что в группе 2 имплантировано большее количество винтов. Разница показателей в группах обусловлена особенностями хирургической техники с использованием несегментарной или альтернирующей фиксации. Биомеханически различия между данными типами нет, при анализе ретроспективно ситуация в большей степени была обусловлена особенностями анатомической структуры ножек позвонков и ограничением (неуверенностью) хирургов при имплантации винтов в условиях отсутствия О-агт-контроля. Следует отметить, что у одного пациента могло быть несколько типов мальпозиций или несколько мальпозиций одного типа.

Самый актуальный вопрос при установке винтов при деформациях позвоночника – это их положение в анатомических структурах. Только при контрольном томографическом исследовании можно оценить положение

Таблица 1

Общая характеристика пациентов исследуемых групп

Параметр	Группа 1 ($n = 60$)	Группа 2 ($n = 60$)	p -значение
Возраст, лет	$27,57 \pm 11,30$	$31,56 \pm 11,60$	0,059
Величина деформации, град.	$54,18 \pm 15,90$	$55,98 \pm 18,62$	0,570
Жалобы на косметический дефект, n (%)	60 (100)	60 (100)	1,0
Жалобы на боль в спине, n (%)	48 (80)	51 (85)	0,63
Факторы риска неблагоприятных исходов оперативного вмешательства [5], n (%)			
Курение	–	–	–
Ожирение (по ИМТ, ВОЗ, 1997):			
1-я степень	–	1 (1,6)	–
2-я степень	1 (1,6)	–	–
3-я степень	1 (1,6)	–	–
Гипертоническая болезнь	4 (6,6)	2 (3,3)	–
Сахарный диабет	–	–	–
Анемия	15 (25,0)	16 (26,6)	–

Таблица 2

Сравнительный анализ критериев оценки

Параметр	Группа 1	Группа 2	Δ	p-значение
Величина деформации по Cobb, град.	54,18 ± 15,90	55,98 ± 18,62	-1,76	0,578
Количество установленных винтов, n	932	1032	-100	—
Среднее количество винтов на пациента, n	15,5	17,2	-1,67	—
Среднее количество фиксированных позвонков, n	7,8	9,0	-1,2	—
Число мальпозиций, n	85	149	-64	—
Частота мальпозиций, %	9,12	14,43	-5,31	<0,001
Точность установки винтов, %	90,87	85,57	+5,3	<0,001
Реоперации по поводу мальпозиций, n (%)	1 (1,7)	14 (23,3)	-13	<0,001
Продолжительность операции, мин	192,16 ± 55,20	167,07 ± 38,65	+25,1	0,004
Кровопотеря, мл	399,08 ± 171,41	333,59 ± 226,90	+65,5	0,076
Период госпитализации, дней	14,13 ± 4,20	15,60 ± 5,10	-1,5	0,089
Остаточная деформация, град.	22,89 ± 10,58	29,18 ± 16,99	-6,29°	0,017
Коррекция деформации, %	57,76 ± 9,50	47,87 ± 11,20	+9,89	<0,001

ние винтов в трех плоскостях, расположение в костных структурах позвонков, смещение и топографию относительно внутренних органов. На рис. 1 представлена оценка точности позиционирования винтов в двух группах.

Табл. 3 иллюстрирует выполненное ретроспективно распределение мальпозиций по типам в двух группах.

По результатам оценки положения винтов интраоперационно в группе 1 и в раннем послеоперационном периоде в группе 2 принимали решение об их перепроведении. Удобство использования интраоперационной томографии заключается в том, что в группе 1 перепроведение винтов осуществляли в ходе выполняемого вмешательства, тогда как в группе 2 для этого была необходима дополнительная ревизионная операция.

В раннем послеоперационном периоде в группе 1 лишь одному пациенту проведена реоперация по поводу миграции винта, изначально установленного в мальпозиции 2-й степени. В группе 2 ревизионные операции по поводу мальпозиций винтов выполнены у 14 (23,3 %) человек; 26 (17,4 %) винтов. При этом в четырех (6,6 %) случаях диагностированы клинические проявления (пневмоторакс, боль в ноге). Ретроспективный анализ (табл. 3) по разработанной нами клас-



Рис. 1

Диаграмма точности установки винтов

сификации определил 31 мальпозицию с показаниями к перепроведению винтов (типы М3-, М3+) у 19 (31,6 %) пациентов. При определении показаний для перепроведения винтов при бессимптомных мальпозициях учитывали риск повреждения внутренних органов (пролежень либо повреж-

дение стенки сосуда), формирование миелопатии на фоне деформации спинного мозга, смещение винтов из костной ткани на основании опыта хирурга с учетом распространенных классификаций. У пяти человек оперативное вмешательство в раннем послеоперационном периоде не выполнено.

Таблица 3

Распределение мальпозиций по типам [8] (из общего числа мальпозиций в группе) *

Тип	Группа 1	Группа 2	p-значение
M1	68 (80,0 %)	68 (45,6 %)	0,602
M2–	15 (17,6 %)	50 (33,5 %)	<0,001
M2+	1 (1,1 %)	0	<0,001
M3–	1 (1,1 %)	28 (18,7 %)	<0,001
M3+	0	3 (2,01 %)	<0,001

* Ретроспективный анализ.

Обсуждаемыми вопросами при использовании КТ-навигации являются продолжительность оперативного вмешательства, объем кровопотери, период госпитализации и реоперации по поводу мальпозиций. Эти вопросы также явились критериями оценки в нашем исследовании (рис. 2).

Увеличение времени операции на 25,1 мин ($p = 0,004$) связано с этапом регистрации навигационной системы и проведением интраоперационного O-arm-сканирования. Тенденция к большей кровопотере (+65,5 мл; $p = 0,076$) коррелирует с длительностью операции и не достигает статистической значимости.

Обсуждение

Для оценки эффективности применения интраоперационной компьютерной навигации при хирургическом лечении пациентов с деформациями позвоночника ранее был проведен систематизированный обзор литературы [6], оценивающий параметры хирургических вмешательств при использовании интраоперационной навигации в хирургии деформаций позвоночника.

Анализ показал, что во всех исследованиях точность установки винтов при использовании интраоперационной навигации выше и составляет 75,6–97,3 %, тогда как без навигации — 58,5–91,4 %. Baldwin et al. [10] показали, что при работе с интраоперационной навигацией почти удваивается вероятность оптимального положения винта и снижается риск небезопасной установки в 3 раза. В нашем

исследовании точность установки винтов в группе с навигацией достигла 90,87 %, в то время как в группе free-hand — 85,57 %.

Частота мальпозиций, по данным литературы [11–14], при использовании интраоперационной навигации ниже: 7,2–15,4 % против 11,8–66,8 % (free-hand) — 50,7 % (FS) без нее. По данным Baldwin et al. [10], небезопасные мальпозиции встречаются в 1,9 % случаев с навигацией и до 7,0 % — без нее. При этом навигация эффективнее помогает избежать медиальных смещений, что немаловажно в грудном отделе

позвоночника [14]. Частота мальпозиций в группе с использованием навигации в нашем центре достигла 9,12 %, что соответствует данным литературного обзора. В группе 2 этот показатель — 14,43 % ($p < 0,001$). Наиболее важным является качественное различие: в группе навигации практически полностью отсутствуют клинически значимые перфорации, тогда как в группе free-hand они составили 2,01 % всех мальпозиций. Отсутствие унифицированной классификации мальпозиций, учитывающей клинику и тактику, остается проблемой [15, 16].

Помимо интраоперационных клинических осложнений в виде ликвореи, кровотечения или пневмогемоторакса, существуют отсроченные проявления в виде неврологического дефицита, который можно установить только после завершения операции и анестезии. В нашем случае четверым пациентам группы 2 проведены реоперации, связанные с клиническими проявлениями (пневмоторакс, радикулопатия). В группе 1 у одного пациента произошла миграция винта при вертикализации с клиническим



Рис. 2

Диаграмма распределения клинических результатов

проявлением в виде радикулопатии. В систематических обзорах Chan et al. указывают на противоречивые данные: в 2017 г. осложнения составили 1,8 % (КТ), 25,8 % (флюороскопия), 28,7 % (свободная рука) [11]; в 2020 г. – 0–1,6 % (интраоперационная навигация) и 0–1,7 % (без интраоперационной навигации) [17]. Baldwin et al. [10] и Oba et al. [14] не регистрировали осложнений при использовании интраоперационной навигации. Meng et al. [13] подтвердили значимо более низкую частоту осложнений при интраоперационной навигации по сравнению с рентгеноскопией.

По результатам обзора, в четырех исследованиях реоперации при интраоперационной навигации не потребовались. Так, Baldwin et al. [10] зарегистрировали 6 повторных вмешательств в группе без навигации ($n = 465$) и ни одного – при ее использовании. Отсутствие критических мальпозиций косвенно подтверждает высокую степень безопасности интраоперационной O-arm-навигации. Среди наших пациентов отмечаем 14-кратное снижение частоты ревизионных вмешательств (1,7 % vs. 23,3 %; $p < 0,001$), что имеет прямое клиническое и экономическое значение. Единственную проведенную в группе 1 реоперацию пациенту с миграцией винта можно связать с игнорированием интраоперационно мальпозиций 2-й степени, что привело к миграции винта фораминально при вертикализации больного. Ревизионные оперативные вмешательства проводили на основании клинической картины, послеоперационного КТ-контроля и опыта хирурга. Отсутствие тактической классификации мальпозиций винтов не позволяло стандартизировать подход к показаниям перепроведения винта.

При анализе результатов послеоперационного КТ-контроля в группе 2 в 23 % случаев винты проксимального уровня фиксации на вогнутой стороне установлены паравертебрально (M1, M2), тогда как у пациентов группы 1 таких отклонений не выявлено. Это также определяет актуальность применения интраоперационной навига-

ции при установке винтов в грудном отделе позвоночника.

На контрольных рентгенограммах в раннем послеоперационном периоде средняя величина деформации пациентов группы 1 составила $22,89^\circ \pm 10,58^\circ$, то есть 57,76 % коррекции. Во группе 2 этот показатель $29,18^\circ \pm 16,99^\circ$, что равно 47,87 % коррекции. Разницу в коррекции деформации (+9,89 %; $p < 0,001$) и остаточной деформации ($-6,29^\circ$; $p = 0,017$) мы объясняем более точным позиционированием винтов, что позволяет реализовать запланированные усилия коррекции без риска смещений винтов.

Основной дискуссионный вопрос в хирургии деформаций позвоночника: влияние интраоперационной навигации на длительность вмешательства. Надо отметить, что такие этапы, как регистрация, сканирование, калибровка инструмента, требуют времени. Рентгеноскопия с позиционированием ЭОП также требует временных затрат. Кроме того, подсчет среднего времени, затраченного на операцию, и объема кровопотери проводится без учета данных ревизионных операций.

По данным литературы, значимых различий в продолжительности операций при использовании интраоперационной навигации не выявлено: 446 мин (с навигацией) против 412 мин (без навигации) [10], 257 мин против 227 мин [18], 310 мин против 136–380 мин [11]. Эти данные подтверждаются другими авторами [12, 13]. В анализе 362 операций среднее время при интраоперационной навигации составило 309 мин [14]. В нашем случае среднее время операции в группе с навигацией – $192,16 \text{ мин} \pm 55,2 \text{ мин}$. В то время как без использования навигации среднее время на операцию составляло $167,07 \text{ мин} \pm 38,65 \text{ мин}$. Увеличение времени операции на 25,1 мин ($p = 0,004$) связываем именно с этапом регистрации навигационных систем и интраоперационной томографии. Надо отметить, что среднее время проведения ревизионных операций по поводу мальпозиций винтов у пациентов группы 2 соста-

вило $98,00 \pm 34,66$ мин дополнительно-го времени.

При анализе кровопотери в четырех систематических обзорах показано, что объем кровопотери при интраоперационной навигации не превышает таковой при рентгеноскопии или методе free-hand. По данным Baldwin et al. [10], различия незначимы: 1131 мл (с навигацией) против 1077 мл (без навигации). Meng et al. [13] на модели случайных эффектов демонстрируют даже меньшую кровопотерю при интраоперационной навигации по сравнению с рентгеноскопией. В обзоре Chan et al. [11] отдельные исследования указывают на 1138 мл (интраоперационная навигация), 523–860 мл (флюороскопия) и 305–1813 мл (свободная рука). Oba et al. [14] сообщают о средней кровопотере 675 мл у 347 пациентов при использовании навигации. В нашем исследовании средний объем кровопотери в группе с навигацией составил $399,08 \pm 171,41 \text{ мл}$, в группе без навигации – $333,59 \pm 226,90 \text{ мл}$. Тенденция к большей кровопотере (+65,5 мл; $p = 0,076$) коррелирует с длительностью операции и не достигает статистической значимости. При подсчете объема кровопотери при ревизионных операциях по поводу мальпозиций винтов в группе 2 дополнительная кровопотеря составила $133,33 \pm 102,22 \text{ мл}$.

Таким образом, использование интраоперационной томографической навигации в сочетании с интраоперационным томографическим контролем имеет достоверные преимущества по всем выбранным критериям оценки. Разница в длительности операции и объеме кровопотери не является статистически значимой.

Основной проблемой при транспедикулярной установке винтов на сегодняшний день является отсутствие общепринятой классификации мальпозиций с оценкой положения винта и определения дальнейшей тактики как в условиях операционной, так и при послеоперационном контроле.

Заключение

Операции по коррекции сколиотических деформаций остаются одними из самых сложных в спинальной хирургии, скрывая под собой риск развития разнообразных осложнений. Ревизионная операция всегда нежелательное событие, а возникновение любых

осложнений может стать катастрофой, что особенно важно для пациентов, решившихся на оперативное лечение по эстетическим показаниям. Внедрение технологии О-агм-навигации существенно сокращает число ревизионных операций и критических мальпозиций без значительного изменения времени операции и объема кровопотери.

Использование универсальной классификации мальпозиций винтов позволяет выбрать правильную тактику ведения пациентов и регламентирует правовые аспекты. В каждом конкретном случае необходимо взвешивать целесообразность оперативно-го лечения, технические возможности и риски осложнений.

Литература/References

- Meng XT, Guan XF, Zhang HL, He SS. Computer navigation versus fluoroscopy-guided navigation for thoracic pedicle screw placement: a meta-analysis. *Neurosurg Rev.* 2016;39:385–391. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10143-015-0679-2>
- Feng W, Wang W, Chen S, Wu K, Wang H. O-arm navigation versus C-arm guidance for pedicle screw placement in spine surgery: a systematic review and meta-analysis. *Int Orthop.* 2020;44:919–926. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00264-019-04470-3>
- Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Байдурашвили А.Г., Барт В.А. Анализ анатомо-антропометрических параметров позвонков у детей с идиопатическим сколиозом грудной локализации с применением 3D-КТ-навигации. *Хирургия позвоночника.* 2016;13(1):27–36. [Kokushin DN, Vissarionov SV, Baidurashvili AG, Bart VA. Analysis of anatomical and anthropometric parameters of vertebrae in children with thoracic idiopathic scoliosis using 3D-CT-navigation. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2016;13(1):27–36]. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2016.1.27-36> EDN: <https://elibrary.ru/VQGEED>
- Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Байдурашвили А.Г., Овечкина А.В., Хусанов Н.О., Познович М.С., Залетина А.В. Применение шаблонов-направителей при хирургическом лечении детей дошкольного возраста с врожденным сколиозом грудной и поясничной локализации. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2020;8(3):305–316. [Kokushin DN, Vissarionov SV, Baidurashvili AG, Ovechkina AV, Khusainov NO, Poznovich MS, Zaletina AV. The use of guide templates in the surgical treatment of preschool children with congenital scoliosis of thoracic and lumbar localization. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery.* 2020;8(3):305–316]. DOI: <http://dx.doi.org/10.17816/PTORS42000> EDN: <https://elibrary.ru/CZKJQK>
- Tian NF, Huang QS, Zhou P, Zhou Y, Wu RK, Lou Y, Xu HZ. Pedicle screw insertion accuracy with different assisted methods: a systematic review and meta-analysis of comparative studies. *Eur Spine J.* 2011;20:846–859. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00586-010-1577-5>
- Прудникова О.Г., Матвеев Е.А., Стребкова М.С., Евсюков А.В. КТ-навигация в хирургии деформаций позвоночника. *Гений ортопедии.* 2025;31(6):839–849. [Prudnikova O.G., Matveev E.A., Strebkova M.S., Evsyukov A.V. CT navigation in spinal deformity surgery. *Genij Ortopedii.* 2025;31(6):839–849]. DOI: <http://dx.doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-6-839-849> EDN: <https://elibrary.ru/ANWZZD>
- Идиопатический сколиоз: клинические рекомендации. Минздрав России, 2024. [Idiopathic Scoliosis: Clinical guidelines. Ministry of Health of Russia, 2024]. Available on: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/850_1
- Прудникова О.Г., Матвеев Е.А., Стребкова М.С., Евсюков А.В. Классификация мальпозиций винтов при инструментальной фиксации деформаций позвоночника. *Хирургия позвоночника.* 2025;22(3):6–17. [Prudnikova O.G., Matveev E.A., Strebkova M.S., Evsyukov A.V. Classification of screw malpositions in instrumental fixation of spinal deformities. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2025;22(3):6–17]. EDN: <https://elibrary.ru/QCKEUU> DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.3.6-17>
- Прудникова О.Г., Матвеев Е.А., Стребкова М.С. Способ установки опорного винта грудного отдела позвоночника при сколиозе. Патент RU 2862821; заявл. 26.11.25; опублик. 26.05.2026. Бюл. № 15. [Prudnikova OG, Matveev EA, Strebkova MS. Method for installing support screw in thoracic spine for scoliosis. Patent RU 2 862821. Appl. 26.11.2025. Publ. 26.05.2026. Bull. 15].
- Baldwin KD, Kadiyala M, Talwar D, Sankar WN, Flynn JJM, Anari JB. Does intraoperative CT navigation increase the accuracy of pedicle screw placement in pediatric spinal deformity surgery? A systematic review and meta-analysis. *Spine Deform.* 2022;10:19–29. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s43390-021-00385-5>
- Chan A, Parent E, Narvacan K, San C, Lou E. Intraoperative image guidance compared with free-hand methods in adolescent idiopathic scoliosis posterior spinal surgery: a systematic review on screw-related complications and breach rates. *Spine J.* 2017;17:1215–1229. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.spinee.2017.04.001>
- Tian W, Zeng C, An Y, Wang C, Liu Y, Li J. Accuracy and postoperative assessment of pedicle screw placement during scoliosis surgery with computer assisted navigation: a meta-analysis. *Int J Med Robot.* 2017;13. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/rcs.1732>
- Meng XT, Guan XF, Zhang HL, He SS. Computer navigation versus fluoroscopy-guided navigation for thoracic pedicle screw placement: a meta-analysis. *Neurosurg Rev.* 2016;39:385–391. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10143-015-0679-2>
- Oba H, Uehara M, Ikegami S, Hatakenaka T, Kamanaka T, Miyaoka Y, Kurogouchi D, Fukuzawa T, Mimura T, Tanikawa Y, Koseki M, Ohba T, Takahashi J. Tips and pitfalls to improve accuracy and reduce radiation exposure in intraoperative CT navigation for pediatric scoliosis: a systematic review. *Spine J.* 2023;23:183–196. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.spinee.2022.09.004>
- Ansorge A, Sarwahi V, Bazin I, Vazquez O, De Marco G, Dayer R. Accuracy and safety of pedicle screw placement for treating adolescent idiopathic scoliosis: a narrative review comparing available techniques. *Diagnostics (Basel).* 2023;13:2402. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/diagnostics13142402>
- Aoude AA, Fortin M, Figueiredo R, Jarzem P, Quellet J, Weber MH. Methods to determine pedicle screw placement accuracy in spine surgery: a systematic review. *Eur Spine J.* 2015;24:990–1004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00586-015-3853-x>
- Chan A, Parent E, Wong J, Narvacan K, San C, Lou E. 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;29:694–716. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00586-019-06219-3>

Статья поступила в редакцию 22.06.2026

Рецензирование пройдено 03.09.2026

Подписано в печать 08.09.2026

Received 22.06.2026

Review completed 03.09.2026

Passed for printing 08.09.2026

Дополнительная информация

Вклад авторов. М.С. Стребкова – поиск статей, обработка и анализ полученных данных, написание статьи, оформление статьи; О.Г. Прудникова – постановка цели и задач исследования, поиск статей, обработка и анализ полученных данных, написание статьи; Е.А. Матвеев – поиск статей, обработка и анализ полученных данных, оформление статьи; А.В. Евсюков – анализ полученных данных, редакция статьи. Все авторы одобрили рукопись, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Этическая экспертиза. Исследование проведено на базе клиники патологии позвоночника и редких заболеваний НМИЦ ТО им. академика Г.А. Илизарова (Курган), в научной части Центра не ведется регистрация протоколов локального этического комитета.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах

Маргарита Сергеевна Стребкова; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=3337-4659; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2618-6164>; strebkovams@mail.ru

✉ Оксана Германовна Прудникова, д-р мед. наук; Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=1391-9051;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1432-1377>; pog6070@gmail.com

Евгений Александрович Матвеев; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=8135-0117; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6055-4013>; matveeva@mail.ru

Алексей Владимирович Евсюков; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=7883-0390; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8583-0270>; alexevsukov@mail.ru

Authors' Info

Margarita Sergeevna Strebkova; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=3337-4659; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2618-6164>; strebkovams@mail.ru

✉ Oxana Germanovna Prudnikova, MD, Dr. Sci. (Medicine); 6 M.Ulyanova str., Kurgan, 640014, Russia; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=1391-9051;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1432-1377>; pog6070@gmail.com

Evgenij Alexandrovich Matveev; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=8135-0117; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6055-4013>; matveeva@mail.ru

Alexey Vladimirovich Evsyukov; eLibrary SPIN: https://elibrary.ru/author_items.asp?spin=7883-0390; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8583-0270>; alexevsukov@mail.ru