



КЛАССИФИКАЦИЯ МАЛЬПОЗИЦИЙ ВИНТОВ ПРИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ФИКСАЦИИ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА

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

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

Цель исследования. Несистематизированный обзор классификаций мальпозиций винтов при транспедикулярной фиксации деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника и разработка тактической классификации мальпозиций винтов при инструментальной фиксации сколиотических деформаций позвоночника с согласительной оценкой (каппа-коэффициент).

Материал и методы. Проведен поиск исследований в базах данных Pubmed, eLibrary, Google, оценивающих расположение винтов с использованием или обоснованием классификации. С учетом узкой специфики темы в выборку включены публикации любого дизайна. На основании полученных данных авторами предложена тактическая классификация мальпозиций винтов при инструментальной фиксации сколиотических деформаций позвоночника с оценкой экспертной согласованности каппа-коэффициентом Коэна.

Результаты. Всего в базах данных было найдено 139 статей, из ссылок — 21 статья. Не соответствовали теме исследования 66 статей, не было полного текста — у 12, число статей с полным текстом — 85. Критериям включения соответствовали 20 статей. Проведенный анализ показал, что в основном используются классификации, определяющие смещение винтов в просвет позвоночного канала без учета клинических проявлений и тактики лечения. Для оценки положения винтов при сколиозе предложено пять классификаций, при этом лишь одна определяет тактику ведения пациентов на основании балльной оценки.

Заключение. Объективизированный метод оценки точности положения винтов необходим для дополнительных доказательств безопасности мальпозиций, определяет клиническую значимость мальпозиций, факторы риска, связанные с неправильной установкой, и дальнейшие действия хирурга.

Ключевые слова: точность проведения винтов; положение винтов; сколиоз; классификация положения винтов; мальпозиции винтов.

Для цитирования: Прудникова О.Г., Матвеев Е.А., Стребкова М.С., Евсюков А.В. Классификация мальпозиций винтов при инструментальной фиксации деформаций позвоночника // Хирургия позвоночника. 2025. Т. 22, № 3. С. 6–17. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.3.6-17>

CLASSIFICATION OF SCREW MALPOSITIONS IN INSTRUMENTAL FIXATION OF SPINAL DEFORMITIES

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

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

Objective. To perform a non-systematic review of classifications of screw malpositions in transpedicular fixation of thoracic and lumbar spine deformities and to develop a tactical classification of screw malpositions in instrumental fixation of scoliotic deformities of the spine with a consensus assessment (kappa coefficient).

Material and Methods. A search of studies was conducted in the Pubmed, eLibrary, and Google databases that evaluated the location of screws using or justifying the classification. Given the narrow specificity of the topic, publications of any design were included in the sample. Based on the data obtained, the authors proposed a tactical classification of screw malpositions in instrumental fixation of scoliotic deformities of the spine with an assessment of expert agreement using the Cohen's kappa coefficient.

Results. A total of 139 articles were found in the databases, including 21 articles from references. Of them, 66 articles did not correspond to the topic of the study, 12 — did not have the open-text access, and 85 — had open-text access. Twenty articles met the inclusion criteria. The analysis showed that classifications used mainly determine the displacement of screws into the lumen of the spinal canal without taking into account clinical manifestations and treatment tactics. Five classifications have been proposed to assess the position of screws in scoliosis, while only one determines the tactics of patient management based on a score assessment.

Conclusion. An objectified method for assessing the accuracy of screw position is needed to provide additional evidence of the safety of malpositions and to determine the clinical significance of malpositions, risk factors associated with incorrect installation, and further actions of the surgeon.

Keywords: screw placement accuracy; screw position; scoliosis; screw position classification; screw malposition.

Please cite this paper as: Prudnikova OG, Strebkova MS, Matveev EA, Evsyukov AV. Classification of screw malpositions in instrumental fixation of spinal deformities. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2025;22(3):6–17. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2025.3.6-17>

В литературе приводятся разнородные данные о мальпозициях винтов при инструментальной фиксации позвоночника, особенно при сколиотических деформациях, в среднем их частота составляет 25–41 % случаев [1]. По данным Ansorge et al. [2], частота смещений при хирургических вмешательствах по поводу сколиоза составляет 1,9–11,0 % при использовании навигации и 1,5–50,7 % при установке методом свободной руки. При этом частота осложнений, связанных с неправильным положением имплантата, одинакова для всех методов – 0–1,4 %. По мнению исследователей, обсуждающих эту тему, основной проблемой в хирургии деформаций позвоночника является оценка положения винтов и тактика дальнейшего ведения пациентов.

Цель исследования – несистематизированный обзор классификаций мальпозиций винтов при транспедикулярной фиксации деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника и разработка тактической классификации с согласительной оценкой (каппа-коэффициент).

Материал и методы

Стратегия поиска и отбора литературных данных. Проведен поиск исследований в базах данных Pubmed, eLibrary, Google, оценивающих расположение винтов при транспедикулярной фиксации деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника с использованием или обоснованием классификации. Поиск литературных данных осуществляли три исследователя. С учетом узкой специфики темы в выборку включали публикации любого дизайна (табл. 1).

Критерии включения: полнотекстовые статьи на английском и русском языках, находящиеся в свободном доступе, систематические обзоры, метаанализы – рандомизированные и нерандомизированные, ретроспективные, проспективные исследования, серии клинических случаев при инструментальной фиксации деформаций грудного и поясничного

Таблица 1

Критерии включения/исключения и селекции публикаций

Элементы оценки	Включения	Исключения
Участники	Пациенты с инструментальной фиксацией позвоночника, у которых оценивали расположение транспедикулярных винтов по данным КТ после оперативного вмешательства с использованием классификации	Пациенты с инструментальной фиксацией позвоночника, у которых не оценивали расположение винтов по данным КТ после оперативного вмешательства
Вмешательство	Оперативное лечение деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника с применением транспедикулярной фиксации	
Сравнение	Классификация мальпозиций винтов	
Результат	Разработка классификации мальпозиции при инструментальной фиксации сколиотических деформаций позвоночника	
Дизайн исследования	Систематический обзор, рандомизированные и нерандомизированные, ретроспективные, проспективные исследования, серии клинических случаев	Клинические случаи
Публикации	На русском, английском языках, полнотекстовые	На любых других языках, без доступа к полному тексту

отделов позвоночника, при которых оценивалось расположение транспедикулярных винтов по данным КТ после оперативного вмешательства с использованием или обоснованием классификации мальпозиций.

Критерии исключения: отчеты о случаях, статьи, недоступные в полнотекстовом варианте, статьи без оценки расположения винтов по данным КТ после оперативного вмешательства по инструментальной фиксации деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника.

Первично выполнили поиск литературных источников с использованием ключевых слов «classifications for pedicle screw position» без фильтрации глубины поиска в период до февраля 2025 г. В дальнейшем исключили публикации, не соответствующие критериям исследования. На третьем этапе просматривали полные тексты отобранных статей на соответствие критериям включения и списки литературы на наличие релевантных исследований.

На основании полученных данных авторы предложили тактическую классификацию мальпозиций

винтов при инструментальной фиксации сколиотических деформаций позвоночника. Экспертная согласованность представляемой классификации проведена с использованием каппа-коэффициента Коэна, который используется для количественной оценки уровня согласия между двумя экспертами и показывает, насколько надежно два эксперта измеряют одно и то же, с учетом, что они могут соглашаться случайно.

Экспертная согласованность в контексте статьи разделена на внутри- и межэкспертную. В случае внутриэкспертной согласованности сравниваются оценки одного и того же эксперта, произведенные в разное время, представляющие собой аналог воспроизводимости. В свою очередь, межэкспертная согласованность представляет собой оценку несколькими экспертами одного и того же объекта.

Трем хирургам (1-й – с опытом более 20 лет, 2-й – с опытом 10 лет, 3-й – с опытом 1 год) были представлены 39 изображений мальпозиций в аксиальной и коронарной проекциях, боковая топограмма позвоночника и комментарии о кли-

Таблица 2

Использование классификаций в полнотекстовых статьях на этапе отбора

Авторы классификации	Количество статей	Этиология деформаций (некоторые авторы использовали одну классификацию для разной патологии в одной статье)
Gertzbein, Robbins [3]	38	Идиопатический сколиоз — 3; нейромышечный сколиоз — 2; посттравматические деформации — 4; спондилолистезы — 9; дегенеративные сколиозы — 7; деформации без уточнения этиологии — 15; эксперимент — 1
Laine et al. [5]	2	Идиопатический сколиоз — 1; деформации без уточнения этиологии — 1
Neo et al. [6]	4	Идиопатический сколиоз — 3; анкилозирующий спондилит — 1
Rao et al. [13]	1	Идиопатический сколиоз — 1
Heary et al. [7]	8	Идиопатический сколиоз — 1; посттравматические деформации — 3; дегенеративные сколиозы — 2; деформации без уточнения этиологии — 4
Zdichavsky et al. [11]	6	Посттравматические деформации — 3; спондилолистезы — 1; дегенеративные сколиозы — 1; деформации без уточнения этиологии — 2
Wiesner et al. [9]	2	Спондилолистезы — 1; деформации без уточнения этиологии — 1
Rampersaud et al. [12]	2	Идиопатический сколиоз — 1; посттравматические деформации — 1; дегенеративные сколиозы — 1; спондилолистезы — 1

нических проявлениях. Изображения не содержали никакой информации и маркеров, связанных с классификацией. Оценка проводилась дважды с интервалом в две недели. Каппа-коэффициент определяли для каждого типа мальпозиций и для классификации в целом попарно для хирургов (1-й и 2-й; 2-й и 3-й; 1-й и 3-й). Нормально распределенные наборы данных представляли в виде среднего значения и стандартного отклонения.

Результаты

Всего в базах данных по ключевым словам найдено 139 статей. Из ссылок найдена 21 статья. Не соответствовали теме исследования 66 статей, не было полного текста у 12. Таким образом, число статей с полным текстом — 85. Критериям включения соответствовали 20 статей.

Еще на этапе предварительно-го отбора нас заинтересовал вопрос

о предпочтении авторов в использовании той или иной классификации при оценке положения винтов, поэтому 85 полнотекстовых статей были проанализированы на предмет выбора классификации и этиологии деформации, по поводу которой проводилась фиксация позвоночника. Наиболее популярной была классификация мальпозиций, предложенная Gertzbein и Robbins [3]. При оценке положения винтов при сколиозах авторы использовали различные варианты классификаций (табл. 2).

Статьи, соответствующие критериям отбора, разделили на две группы: 13 статей с предложенными классификациями; 7 обзорных статей (табл. 3).

Все классификации мальпозиций при транспедикулярном проведении винтов предложены авторами в ходе клинических исследований при анализе послеоперационных КТ-изображений. При этом лишь в пяти исследованиях проводится

оценка положения винтов при инструментальной фиксации позвоночника на фоне сколиотической деформации. В этих публикациях все авторы описывают особенности фиксации позвонков при сколиозе как в плане проведения винтов, так и оценки их положения после операции.

Так как в полнотекстовых статьях авторы ссылаются в том числе на классификации, не адаптированные для сколиоза, в представляемой работе анализируются и эти классификации (табл. 4).

Проведенный анализ полнотекстовых статей показал, что при оценке положения винтов в основном используют классификации, определяющие смещение винтов в просвет позвоночного канала. При этом даже используют классификацию Neo et al. [6], описывающую смещения относительно канала позвоночной артерии. Наиболее часто используемой определена классификация Gertzbein и Robbins [3]. Для оценки положения винтов при сколиозе используют различные типы классификаций, что определяет актуальность нашего исследования.

Большинство отобранных классификаций определяют степень медиального/латерального смещения винта относительно ножки позвонка на аксиальных срезах КТ (как правило, с шагом в 2 мм): Neo et al. [6], Zdichavsky et al. [11], Rampersaud et al. [12], Wiesner et al. [9], Rao et al. [13]. В русскоязычной статье А.В. Губина с соавт. [14] оценка смещения винтов также проводится на основании медиального/латерального расположения относительно ножки позвонка без сопоставления с клиническими проявлениями и определением тактики.

Классификация Oba et al. [15] объединяет пять основных методов оценки медиального/латерального смещения винтов и дополнительно определяет их по степени опасности повреждений расположенных рядом анатомических образований.

Другой тип классификаций дополнительно учитывает верхнее или нижнее смещение винта относи-

Таблица 3

Статьи, прошедшие критерии отбора и включенные в обзор

Авторы	Год публикации	Дизайн исследования	Направление исследования
Gertzbein, Robbins [3]	1990	Клиническое	Представлена классификация
Aoude et al. [4]	2018	Клиническое	Представлена классификация с межэкспертным соглашением
Laine et al. [5]	2006	Клиническое	Представлена классификация
Neo et al. [6]	2005	Клиническое	Представлена классификация
Heary et al. [7]	2004	Клиническое	Представлена классификация
Abul-Kasim et al. [8]	2009	Ретроспективное	Представлена классификация
Wiesner et al. [9]	2000	Клиническое	Представлена классификация
Sarwahi et al. [10]	2016	Ретроспективный анализ	Представлена классификация
Zdichavsky et al. [11]	2004	Ретроспективный анализ	Представлена классификация
Upendra et al. [1]	2008	Клиническое	Представлена классификация
Rampersaud et al. [12]	2005	Клиническое	Представлена классификация
Rao et al. [13]	2002	Ретроспективный анализ	Представлена классификация
Губин А.В. и соавт. [14]	2015	Клиническое	Послеоперационная оценка положения транспедикулярных винтов
Oba et al. [15]	2023	Систематический обзор Prisma (20 статей)	Характеристика пяти основных классификаций, группировка их в единую классификацию
Watanabe et al. [16]	2010	Проспективное	Оценка ножек позвонков при сколиозе для фиксации
Kosmopoulos, Schizas [17]	2007	Метаанализ (130 статей)	Анализ методов послеоперационной оценки транспедикулярных винтов
Ansorge et al. [2]	2023	Обзор (51 статья)	Сравнительный анализ классификаций мальпозиций винтов
Akazawa et al. [18]	2015	Оригинальная статья	Оценка ножек позвонков при сколиозе с обоснованием проведения винтов
Aoude et al. [19]	2015	Систематический обзор (68 статей)	Обзор классификаций мальпозиций винтов
Adamski et al. [20]	2023	Обзор (43 статьи)	Описание систем оценок положения винтов

тельно ножки: Laine et al. [5], Gertzbein и Robbins [3], но без сопоставления с клиническими проявлениями.

Gertzbein и Robbins [3] при оценке положения винтов определили, что пенетрация медиальной стенки дужки в грудном отделе от 1 до 3 мм возможна без неврологического дефицита, а на уровнях Th₈–L₄ – до 4 мм. Эта область от 0 до 4 мм названа «эпидуральной безопасной зоной» (2 мм – эпидуральное пространство и 2 мм – субарахноидальное пространство).

Вариантом тактической классификации является предложенная на основании опроса врачей-вертебрологов классификация мальпозиций Aoude et al. [4], которая имеет балльную шкалу оценки расположения винтов, клинических проявлений и определяет тактику лечения.

Классификации, адаптированные для сколиоза: Heary et al. [7], Upendra et al. [1], Abul-Kasim et al. [8], Sarwahi et al. [10], они учитывают как анатомические особенности позвонков при деформациях, так и варианты мальпозиций относительно деформированных структур в сопоставлении с клиническими проявлениями, но не определяют тактические вопросы после диагностированного смещения.

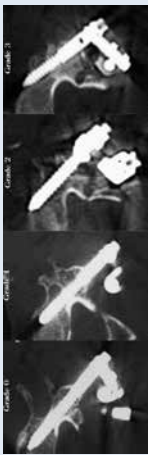
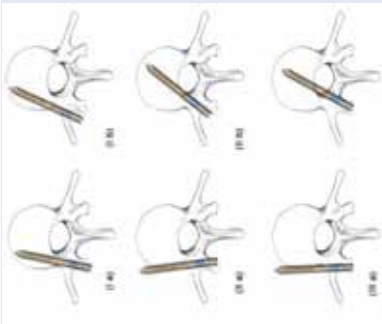
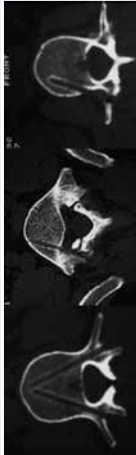
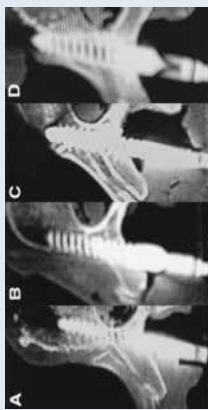
Из семи представленных обзорных статей одна является систематическим обзором, в одной проведен метаанализ, две – обзор литературы по теме исследования. Две работы (оригинальная статья и проспективное исследование) по соглашению авторов включены для анализа особенностей фиксации позвоночника при сколиозе

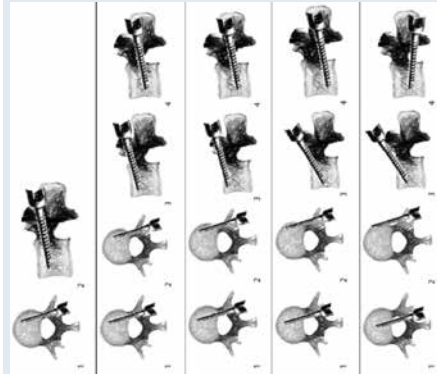
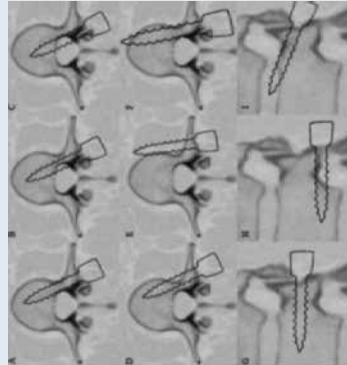
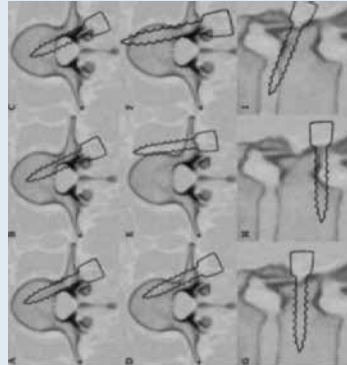
и оценке положения винтов при этой патологии.

Обсуждение

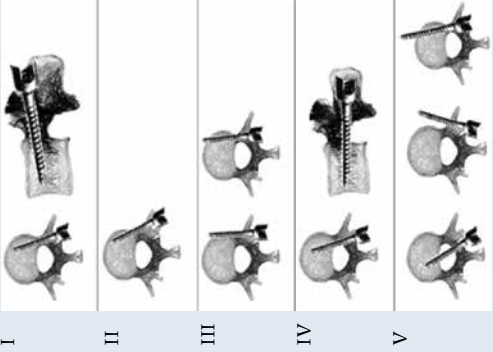
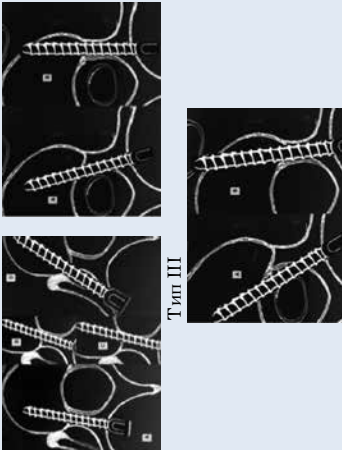
В настоящее время не существует стандартного метода оценки положения винтов после операций на позвоночнике [2, 4, 17]. Оценка положения винтов по данным рентгенографии является предварительным исследованием, для точной оценки используют КТ, которая включает серию КТ-срезов толщиной 2,5 мм, реконструированных с интервалом 2 мм и полем зрения, достаточным для визуализации позвоночника, а также для построения сагиттальных и коронарных реконструкций позвоночника. Оценка положения транспедикулярных винтов, как правило, включает смещение

Таблица 4
Классификация мальпозиций винтов, включенных в обзор

Авторы	Классификации	Комментарии к классификации	Особенности
Neo et al. [6]		0 — отклонение отсутствует; 1 — отклонение менее 2 мм (то есть менее половины диаметра винта); 2 — отклонение более 2 мм и менее 4 мм; 3 — отклонение более 4 мм (то есть полное отклонение)	18 пациентов; оценка винта относительно канала позвоночной артерии
Zdichavsky et al. [11]		Ia — полностью входит в ножку и тело позвонка; Ib — входит в тело позвонка, но латерально к ножке; IIa — частичная латеральная мальпозиция; IIb — частичная медиальная мальпозиция; IIIa — полностью латеральное смещение; IIIb — полностью медиальное смещение	43 пациента, 278 винтов; описана для травмы грудного отдела; нет сопоставления с клиническими проявлениями
Rampersaud et al. [12]		A — полностью в ножке; B — перфорация стенки ножки менее 2 мм; B — перфорация стенки ножки 2–4 мм; Г — перфорация стенки ножки более 4 мм	45 пациентов, 360 винтов; грудной, поясничный отдел
Laine et al. [5]	Мальпозицию оценивали как медиальное, латеральное, нижнее или верхнее смещение по отношению к ножке	0 — винт в ножке; 1 — смещение до 2,0 мм; 2 — смещение 2,1–4,0 мм; 3 — смещение 4,1–6,0 мм; 4 — винт снаружи ножки	30 пациентов, 152 винта; поясничный отдел
Wiesner et al. [9]		A — незначительная мальпозиция (<3 мм); B — умеренная мальпозиция (3–6 мм); C — выраженная мальпозиция (>6 мм)	51 пациент, 408 винтов; чрескожная установка винтов, поясничный отдел; оценивался канал после удаления винта; сопоставление с клиническими данными
Rao et al. [13]		0 (A) — отсутствие перфорации; 1 (B) — перфорация с одной резью, выходящей за пределы ножки; 2 (C) — перфорация ножки от 2 до 4 мм; 3 (D) — перфорация ножки более 4 мм	155 винтов, грудные позвонки; оценка перфораций по КТ и прямая визуализация на группах; только аксиальные срезы; нет сопоставления с клиническими данными

Продолжение таблицы 4 Классификации мальпозиций винтов, включенных в обзор																																					
Авторы	Классификации	Комментарии к классификации	Особенности																																		
Gertzbein, Robbins [3]		А — полностью интрапедикулярное положение без нарушения коркового слоя ножки; В — нарушение коркового слоя ножки менее 2 мм; С — нарушение коркового слоя ножки 2—4 мм; D — нарушение коркового слоя ножки 4—6 мм; Е — нарушение коркового слоя ножки более 6 мм или расположение вне ножки	40 пациентов, 167 винтов; грудной поясничный отдел; нет сопоставления с клиническими проявлениями																																		
Aoude et al. [4]	<table><tr><th rowspan="2">расположение винта</th><th colspan="4">данные аксиальных срезов</th></tr><tr><th>смещение > 6 мм</th><th>смещение 4 - 6 мм</th><th>смещение 2 - 4 мм</th><th>смещение < 2 мм</th></tr><tr><td>медиальное</td><td>4</td><td>3</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>нижнее</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>латеральное</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>верхнее</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>переднее</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	расположение винта	данные аксиальных срезов				смещение > 6 мм	смещение 4 - 6 мм	смещение 2 - 4 мм	смещение < 2 мм	медиальное	4	3	2	1	нижнее	2	2	1	0	латеральное	2	2	1	0	верхнее	1	1	0	0	переднее	1	1	0	0	Симптомы: радикулярная боль — 4; мышечная слабость — 4; нарушение чувствительности — 1; нет симптомов — 0. Сумма баллов более 6 требует перепроверки винта	Предложена классификация на основании систематического обзора
расположение винта	данные аксиальных срезов																																				
	смещение > 6 мм	смещение 4 - 6 мм	смещение 2 - 4 мм	смещение < 2 мм																																	
медиальное	4	3	2	1																																	
нижнее	2	2	1	0																																	
латеральное	2	2	1	0																																	
верхнее	1	1	0	0																																	
переднее	1	1	0	0																																	
Abul-Kasim et al. [8]		Медиальная перфорация: степень 0, 1, 2; латеральная перфорация: степень 0, 1, 2; перфорация передней стенки тела позвонка: степень 0, 1; перфорация замыкательной пластинки: степень 0, 1; перфорация фораминального отверстия: степень 0, 1, 2 (степень перфорации указывается в мм)	46 человек, 809 винтов; сколиоз; значительная несогласованность между наблюдателями и внутри наблюдателей (каппа-коэффициент 0,69 и 0,76 соответственно); сопоставление с клиническими данными																																		
Sarwahi et al. [10]		1) винты, представляющие опасность (SAR): расположены медиально более чем на 4 мм, выступают латерально или вперед и соприкасаются с анатомическими структурами, представляющими опасность (расстояние между винтом и органом менее 1 мм); 2) неопределенное неправильное расположение (IMR): винты, проходящие медиально на 2—4 мм, или винты, проходящие латерально или кпереди (расстояние > 1—2 мм между винтом и органом); 3) допустимое смещение (BMR): винты, частично проходящие через ножку, но не подвергшие риску какие-либо структуры; 4) точно установленный (AR) винт через ножку	127 пациентов, 2724 винта; идиопатический сколиоз (94), нервно-мышечный (16), другие виды (17); 87,96 % винтов установлены точно, в 14,17 % случаях винты представляли опасность, более чем у 40 % пациентов были винты, вызывающие опасения																																		

Окончание таблицы 4
Классификация мальпозиций винтов, включенных в обзор

Авторы	Классификации	Комментарии к классификации	Особенности
Heary et al. [7]	 I II III IV V	Класс I — хорошее расположение, винт полностью находится внутри ножки и тела; класс II — винт выходит за боковую стенку ножки, но находится в комплексе «ножка—ребро», а кончик винта полностью находится в теле; класс III — кончик винта проникает в переднюю или боковую стенку тела; класс IV — повреждение средней или нижней границы ножки; класс V — винты, которые опасны для спинного мозга, нервных корешков или крупных сосудов, требуют немедленного удаления и/или переустановки	27 пациентов, 185 винтов; грудной отдел позвоночника; сколиоз; грудная—ребро» представляет собой опорную трехмерную одноатомную структуру; фиксации через ребро-поперечный комплекс позволяет безопасно использовать винты соответствующего размера, диаметр которых превышает диаметр ножки
Uppendra et al. [1]	 Тип I Тип II Тип III	Тип I — приемлемая установка; тип II — неприемлемая установка без каких-либо клинически значимых нервно-сосудистых осложнений; тип III — установка винтов с клиническими нервно-сосудистыми осложнениями и документально подтвержденным повреждением соответствующих жизненно важных структур	60 человек, 341 винт; две группы: со сколиозом (24 человека) и без сколиоза (36 человек); мальпозиции — 49,28 %; сопоставление с клиническими данными
Oba et al. [15]	 G0 G1 G2 G3	Медиальное, латеральное смещение на основании объединенной оценки классификаций Rao, Neo, Gertzbein, Jeswani, Tanikawa: G0 — нормальное положение; G1 и G2 — серьезное отклонение; G3 — опасное отклонение	Систематический обзор, Risma; дети со сколиозом; объединенная оценка пяти классификаций; нет сопоставления с клиническими данными

относительно ножки позвонка (медиальное, латеральное, фораминальное) и тела позвонка (переднее).

В 2007 г. Kosmopoulos и Schizas [17] опубликовали метаанализ, посвященный точности установки транспедикулярных винтов, и обнаружили 35 различных методов оценки в рамках 130 статей.

По данным Adamski et al. [20], в связи с редкостью клинических проявлений и возникающих осложнений точное клиническое значение неправильной установки винтов остается неясным, и авторы предлагают проводить оценку с использованием нескольких классификаций одновременно.

В систематическом обзоре Aoude et al. [19] показано, что из 68 включенных в обзор статей в 37 (54 %) использовалась сопоставимая между собой методология: оценка целостности ножки с шагом в 2 мм (смещения до 2 мм считаются безопасными или приемлемыми, а более 2 мм – небезопасными). При этом не учитываются фиксация костных структур (опорность винтов) и положение винтов относительно важных анатомических структур. Вторая наиболее часто используемая система оценки (16 статей; 24 %) классифицирует винты относительно ножки «в пределах» или «за пределами» (винт полностью находится в ножке или допускается, что до 25 % диаметра винта выходит за пределы ножки), но без учета направления смещения и клинических проявлений [19].

В 2018 г. Aoude et al. [4] опубликовали исследование, в котором провели опрос 35 канадских хирургов-вертебрологов для стандартизации оценок мальпозиций транспедикулярных винтов. Опросник включал вопросы о клинических методах и критериях визуализации. Исследование показало, что клиническая картина имеет решающее значение для определения тактики лечения при неправильном положении винта. На основании проведенного анализа авторы предложили предварительную систему оценки для стандартизации классификации транспедикулярных винтов

и помощи хирургам в принятии решения о том, какие транспедикулярные винты нуждаются в операции по их перепроведению.

Sarwahi et al. [10] представили систему классификации, учитывающую потенциально клинически значимые смещения, направление смещения и оставшееся расстояние между винтом и анатомическими структурами, расположенными рядом. Установка винтов определяется ими как точное размещение, незначительное смещение, неопределенное смещение и угрожаемое смещение. По данным авторов, при медиальном смещении винта менее 4 мм не определяется неврологических нарушений. В представленном обзоре подробно описывают варианты и осложнения при переднем смещении винтов за тело позвонка, частота которых составляет от 10 до 15 %. Передние мальпозиции представляют опасность для аорты, подвздошной артерии и вены, пищевода, трахеи, бронхов, плевральной полости, легких. Проведенный ретроспективный анализ передних смещений винтов определяет расстояние в 1 мм между кончиком винта и органом как безопасное. При оценке смещения винта относительно аорты предлагается проведение КТ в положении пациента лежа на спине или животе, при отсутствии изменений – КТ с контрастированием, оценка морфологических изменений и деформация стенки аорты.

По мнению многих исследователей, большинство мальпозиций протекают бессимптомно, следовательно, они не являются неблагоприятным исходом или осложнением. Они могут оставаться скрытыми в течение длительного времени, поскольку их естественное течение неизвестно [1, 10]. Кроме того, авторы предполагают, что иногда на КТ переоценивается близость винтов [10].

Известно, что форма и размеры ножки позвонка при идиопатическом сколиозе значительно отличаются от здоровых позвонков. Watanabe et al. [16] и Akazawa et al. [18] классифицировали размеры ножек позвонков

и определили, что мальпозиции винтов для кортикального канала с внутренним диаметром ножки меньше 1 мм составили 31,5 %, и предлагают не проводить установку винтов при таких параметрах.

Другие исследователи определили, что реберно-поперечный комплекс представляет собой опорную трехмерную структуру, а установка винтов по типу «внутри–снаружи–внутри» на 70 % прочнее интрапедикулярной фиксации и не вызывает клинических осложнений [1, 7].

Сколиотические деформации позвоночника характеризуются изменением формы тела позвонка, размером и формой позвоночного канала, расположением дурального мешка внутри деформированного позвоночника. Все эти морфологические характеристики позвонков определяют особенности установки винтов. При оперативном лечении сколиоза устанавливают опорные винты для дальнейшего исправления деформации за счет оперативных приемов. Именно поэтому основной характеристикой в таком случае будет безопасная опорная траектория введения.

Размеры и форма позвоночного канала и топография дурального мешка при сколиозе переменны, это связано с ротацией позвонков, изменением оси позвоночника, изменением формы ножек позвонков. Изменение формы позвоночного канала обусловлено и этиологией заболевания (узкий позвоночный канал при ахондроплазии и др.).

Исторически ножка позвонка определена как безопасная зона для проведения винтов, но только в ряде случаев (маленькие размеры, деформация позвонка, ротация) она является лишь ориентиром для выбора безопасной траектории.

На основании вышеизложенного считаем, что в хирургии деформаций позвоночника идет речь не о транспедикулярном проведении винтов, а о безопасной установке опорных точек и задней инструментальной фиксации с целью коррекции искривления.

При оценке положения винтов при сколиозе допустимо внепедикулярное проведение с фиксацией тела позвонка, проведение винта через реберно-поперечно-позвоночный комплекс, интраканальное положение

на выпуклой стороне (с учетом предоперационной визуализации дурально-го мешка) и внутридисковое смещение в протяженной зоне фиксации.

Представленные классификации мальпозиций винтов при сколиозе

определяют варианты внепедикулярной установки винтов. При этом клинические проявления и опасность повреждений или повреждение органов определяют тактику ведения пациента и необходимой повторной операции.

Таблица 5

Тактическая классификация мальпозиций винтов при инструментальной фиксации деформаций позвоночника

Тип	Топография	Интраоперационный КТ-контроль: тактика	Послеоперационный КТ-контроль: тактика
1-й — мальпозиции, не требующие перепроведения; безопасные; M1	Мальпозиция: — интраканально: грудной отдел до 2 мм, поясничный отдел до 2 мм; — фораминально: до 2 мм; — вентрально, паравертебрально: расстояние до расположенных рядом важных анатомических образований более 1 мм. Опорная траектория: большая часть винта (>75 % длины) расположена в позвонке. Симптомы мальпозиции отсутствуют. Исключение: траектория определена как безопасная с учетом анатомических особенностей	Не требует перепроведения	Не требует перепроведения
2-й — потенциально критичные мальпозиции; условно безопасные; M2—/+	Мальпозиция: — интраканально: грудной отдел до 4 мм, поясничный отдел более 2 мм, но менее диаметра винта; — фораминально: более 2 мм; — вентрально, паравертебрально: расстояние до расположенных рядом важных анатомических образований менее 1 мм, их деформация. Условно опорная траектория: винт частично проходит через костные структуры (от 75 до 50 % длины), костный канал не на всем протяжении винта, винт внутри конструкции (допустимо для нескольких винтов). Симптомы мальпозиции отсутствуют (M2—), выявляются (M2+). Исключение: траектория определена как безопасная с учетом анатомических особенностей	Перепроведение винта	Комментарий, дополнительное обследование, показания к перепроведению: клинические проявления (M2+), высокий риск повреждения органов по данным обследования, бессимптомное повреждение внутренних органов
3-й — мальпозиции, требующие перепроведения; опасные или угрожающие; M3—/+	Мальпозиция: — интраканально: грудной отдел более 4 мм, поясничный отдел более диаметра винта; — фораминально: более 4 мм. — вентрально, паравертебрально: деформация или смещение анатомических образований. Неопорная траектория: — винт введен через костные структуры (менее 50 %), но не фиксирует тело позвонка; — винт частично проходит через костные структуры (от 75 до 50 % длины), расположен на дистальном или проксимальном уровне фиксации. Симптомы мальпозиции отсутствуют (M3—), выявляются (M3+)	Перепроведение винта	Перепроведение винта

Объективизированный метод оценки точности положения винтов необходим для дополнительных доказательств безопасности мальпозиций. Оптимальная система классификации должна быть воспроизводимой и простой, определять клиническую значимость мальпозиций, обсуждение факторов риска, связанных с неправильной установкой, и дальнейшие действия хирурга. Кроме того, она должна быть защитным механизмом при возникновении в дальнейшем судебных разбирательств.

Опыт хирургического лечения пациентов со сколиозом с послеоперационным КТ-контролем положения винтов (247 пациентов (4560 винтов), из них 81 человек (1729 винтов) с интраоперационной КТ-навигацией) и вечный вопрос спинальных хирургов «перепроводить/не перепроводить», «допустимо/не допустимо» послужил поводом для систематизации мальпозиций.

Таким образом, на основании вышеизложенного мы разработали тактическую классификацию расположения винтов при сколиотических деформациях позвоночника (табл. 5).

На основании проведенного анализа литературных данных и собственного опыта определены основные критерии для оценки положения винта при сколиотических деформациях позвоночника:

1) оценка положения винта проводится в аксиальной и сагиттальной проекциях с оценкой опорности и смещения за границы безопасной зоны;

2) границами безопасной зоны являются задневерхненаружная поверхность тела позвонка, образованная латеральной стенкой позвоночного канала (ножка или ее кортикальный слой), верхняя замыкательная пластинка, боковая поверхность тела позвонка (в том числе реберно-поперечный комплекс) и верхняя граница фораминального канала;

3) безопасная траектория введения: направление введения выбрано в связи с анатомическими особенностями позвонка и предполагает отсутствие повреждений органов; винт

проходит в тело позвонка в проекции ножки позвонка как анатомически безопасной зоны: внепедикулярно (несоответствие размеров ножек, траектория «внутри–снаружи–внутри», через комплекс «ножка–ребро»), интраканально (визуализированное смещение дурального мешка на выпуклой стороне деформации или его отсутствие при повреждениях или заболеваниях);

4) при оценке интраканальных мальпозиций необходимо ориентироваться на диаметр винта, размеры позвоночного канала на данном уровне (стеноз при системных заболеваниях), топографию дурального мешка, в том числе на вогнутой стороне деформации;

5) важными анатомическими образованиями, требующими визуализации при мальпозициях, являются невральные структуры и их оболочки, аорта, подвздошные сосуды, пищевод и ЖКТ, трахея, бронхи, плевральная полость, легкие;

6) клинические проявления – интраоперационно: ликворея из винтового канала, снижение амплитуды ТКВП при нейромониторинге, кровотечение, воздух и др.; в послеоперационном периоде – симптомы, соответствующие топографии мальпозиции;

7) дополнительные обследования при мальпозициях для уточнения дальнейшей тактики: МРТ, КТ-миелография, КТ легких, КТ брюшной полости, КТ-ангиография в положении пациента лежа на спине/животе;

8) тактика ведения пациентов определяется по результатам интраоперационного либо послеоперационного КТ-контроля положения винтов;

9) интраоперационная КТ дает возможность выполнить перепроведение винта в ходе оперативного вмешательства; вышеизложенные анатомические особенности позвонков при сколиозе в ряде случаев не предполагают изменения траектории введения винта, поэтому 1-й тип расположения винтов считаем допустимым, а смещения 2-го и 3-го типов являются потенциально опасными и требуют интраоперационного перепроведения.

Если исходить из предложенной классификации мальпозиций винтов, становится понятным, что ее особенностью является то, что она может применяться как при интраоперационном, так и при послеоперационном КТ-контроле.

Межэкспертная оценка показала высокую согласованность и отличную воспроизводимость. Межэкспертную оценку проводили как по трем типам мальпозиций, так и по классификации в целом. Для 1-го типа мальпозиций среднее значение каппа-коэффициента составило $0,63 \pm 0,065$; для 2-го типа – $0,66 \pm 0,11$; для 3-го типа – $0,87 \pm 0,09$; для классификации в целом – $0,75 \pm 0,14$, что показывает существенное согласие исследователей. Среднее значение каппа-коэффициента при внутриэкспертной оценке составило $0,86 \pm 0,10$ (высокая согласованность).

Ограничение исследования. Ограниченная экспертная оценка.

Заключение

Технические варианты установки винтов при сколиозе определяются морфологическими особенностями позвонков и позвоночника в целом и выполнением корригирующих маневров. Основной характеристикой их положения является безопасная опорная траектория введения.

Факт мальпозиции винта не равнозначен неадекватности его функции или опасности для здоровья. Определение неправильности при констатации мальпозиции имеет только ее степень.

Представленные классификации мальпозиций винтов при сколиозе определяют варианты внепедикулярной установки винтов. При этом клинические проявления и опасность повреждений или повреждение органов определяют тактику ведения пациента и проведение повторной операции.

Нами разработана тактическая классификация расположения винтов при сколиотических деформациях позвоночника с высокой экс-

пертной согласованностью, определяющая три типа мальпозиций: 1-й тип – не требующие перепроведения; 2-й тип – требующие уточнения и определения показаний к перепроведению; 3-й тип – однозначно требующие перепроведения. Особенностью классификации является и то, что она применима как при интраоперационном, так и послеоперационном КТ-контроле.

Объективизированный метод оценки точности положения винтов необходим для дополнительных доказательств безопасности мальпозиций, определяет клиническую значимость мальпозиций, факторов риска, связанных с неправильной установкой, и дальнейшие действия хирурга. Оптимальная система классификации

должна быть воспроизводимой и простой, определять клиническую значимость мальпозиций, факторов риска, связанных с неправильной установкой, и дальнейшие действия хирурга, классификация должна быть единой, образной и применимой для интраоперационного и послеоперационного КТ-контроля. Кроме того, она должна быть защитным механизмом при возникновении в дальнейшем судебных разбирательств.

Один из основных обсуждаемых моментов – требования к временному промежутку для принятия решений и перепроведения винтов при мальпозиции M2+ и M3. При интраоперационном КТ-контроле, безусловно, единовременное перепроведение кажется наиболее рациональным

решением. В послеоперационном периоде на принятие решения возможно влияние многочисленных дополнительных факторов. В связи с этим постулировать какие-то временные рамки мы считаем нецелесообразным на данном этапе изучения проблемы. Вопрос требует дальнейшего мультицентрового изучения, что и запланировано авторами.

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Литература/References

1. Upendra BN, Meena D, Chowdhury B, Ahmad A, Jayaswal A. Outcome-based classification for assessment of thoracic pedicular screw placement. *Spine*. 2008;33:384–390. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181646ba1
2. Ansoorge A, Sarwahi V, Bazin L, 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: 10.3390/diagnostics13142402
3. Gertzbein SD, Robbins SE. Accuracy of pedicular screw placement *in vivo*. *Spine*. 1990;15:11–14. DOI: 10.1097/00007632-199001000-00004
4. Aoude A, Ghadkazadeh S, Alhamzah H, Fortin M, Jarzem P, Ouellet JA, Weber MH. Postoperative assessment of pedicle screws and management of breaches: A survey among Canadian spine surgeons and a new scoring system. *Asian Spine J*. 2018;12:37–46. DOI: 10.4184/asj.2018.12.1.37
5. Laine T, Makitalo K, Schlenzka D, Tallroth K, Poussa M, Alho A. Accuracy of pedicle screw insertion: A prospective CT study in 30 low back patients. *Eur Spine J*. 1997;6:402–405. DOI: 10.1007/BF01834068
6. Neo M, Sakamoto T, Fujibayashi S, Nakamura T. The clinical risk of vertebral artery injury from cervical pedicle screws inserted in degenerative vertebrae. *Spine*. 2005;30:2800–2805. DOI: 10.1097/01.brs.0000192297.07709.5d
7. Heary RF, Bono CM, Black M. Thoracic pedicle screws: postoperative computerized tomography scanning assessment. *J Neurosurg*. 2004;100(4 Suppl Spine):325–331. DOI: 10.3171/spi.2004.100.4.0325
8. Abul-Kasim K, Strubeck A, Ohlin A, Maly P, Sundgren PC. Reliability of low-radiation dose CT in the assessment of screw placement after posterior scoliosis surgery, evaluated with a new grading system. *Spine*. 2009;34:941–948. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31819b224a
9. Wiesner I, Kothe R, Schulitz KP, Rütther W. Clinical evaluation and computed tomography scan analysis of screw tracts after percutaneous insertion of pedicle screws in the lumbar spine. *Spine*. 2000;25:615–621. DOI: 10.1097/00007632-200003010-00013
10. Sarwahi V, Wendolowski SF, Gecelter RC, Amaral T, Lo Y, Wollowick AL, Thornhill B. Are we underestimating the significance of pedicle screw misplacement? *Spine*. 2016;41:E548–E555. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001318
11. Zdichavsky M, Blauth M, Knop C, Lotz J, Krettek C, Bastian L. Accuracy of pedicle screw placement in thoracic spine fractures. Part II: A retrospective analysis of 278 pedicle screws using computed tomographic scans. *Eur J Trauma*. 2004;30:241–247. DOI: 10.1007/s00068-004-1423-8
12. Rampersaud YR, Pik JH, Salonen D, Farooq S. Clinical accuracy of fluoroscopic computer-assisted pedicle screw fixation: a CT analysis. *Spine*. 2005;30:E183–E190. DOI: 10.1097/01.brs.0000157490.65706.38
13. Rao G, Brodke DS, Rondina M, Dailey AT. Comparison of computerized tomography and direct visualization in thoracic pedicle screw placement. *J Neurosurg*. 2002;97(2 Suppl):223–226. DOI: 10.3171/spi.2002.97.2.0223
14. Губин А.В., Рябых С.О., Бурцев А.В. Ретроспективный анализ мальпозиции винтов после инструментальной коррекции деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2015;12(1):8–13. [Gubin AV, Ryabykh SO, Burtsev AV. Retrospective analysis of screw malposition following instrumented correction of thoracic and lumbar spine deformities. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonocznika)*. 2015;12(1):8–13]. DOI: 10.14531/ss2015.1.8-13. EDN: TODHKV
15. 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: 10.1016/j.spinee.2022.09.004
16. Watanabe K, Lenke LG, Matsumoto M, Harimaya K, Kim YJ, Hensley M, Stobbs G, Toyama Y, Chiba K. A novel pedicle channel classification describing osseous anatomy: how many thoracic scoliotic pedicles have cancellous channels? *Spine*. 2010;35:1836–1842. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181d3cfde

17. Kosmopoulos V, Schizas C. Pedicle screw placement accuracy: a meta-analysis. *Spine*. 2007;32:111–120. DOI: 10.1097/01.brs.0000254048.79024.8b
18. Akazawa T, Kotani T, Sakuma T, Minami S, Tsukamoto S, Ishige M. Evaluation of pedicle screw placement by pedicle channel grade in adolescent idiopathic scoliosis: should we challenge narrow pedicles? *J Orthop Sci*. 2015;20:818–822. DOI: 10.1007/s00776-015-0746-0
19. Aoude AA, Fortin M, Figueiredo R, Jarzem P, Ouellet J, Weber MH. Methods to determine pedicle screw placement accuracy in spine surgery: a systematic review. *Eur Spine J*. 2015;24:990–1004. DOI: 10.1007/s00586-015-3853-x
20. Adamski S, Stogowski P, Roc awski M, Pankowski R, Kloc W. Review of currently used classifications for pedicle screw position grading in cervical, thoracic and lumbar spine. *Chirurgia Narz d w Ruchu i Ortopedia Polska*. 2023;88:165–171. DOI: 10.31139/chnriop.2023.88.4.2

Адрес для переписки:

Прудникова Оксана Германовна
640014, Россия, Курган, ул. М. Ульяновой, 6,
НМИЦ травматологии и ортопедии
им. акад. Г.А. Илизарова,
pog6070@gmail.com

Статья поступила в редакцию 10.06.2025

Рецензирование пройдено 17.07.2025

Подписано в печать 08.08.2025

Address correspondence to:

Prudnikova Oxana Germanovna
National Ilizarov Medical Research Center
for Traumatology and Ortopedics,
6 M. Ulyanovoj str., Kurgan, 640014, Russia,
pog6070@gmail.com

Received 10.06.2025

Review completed 17.07.2025

Passed for printing 08.08.2025

Оксана Германовна Прудникова, д-р мед. наук, старший научный сотрудник научной лаборатории клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, заведующая травматолого-ортопедическим отделением № 10, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, eLibrary SPIN: 1391-9051, ORCID: 0000-0003-1432-1377, pog6070@gmail.com;

Евгений Александрович Матвеев, врач-нейрохирург травматолого-ортопедического отделения № 10, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, ORCID: 0009-0003-6055-4013, matveeva@mail.ru;

Маргарита Сергеевна Стребкова, аспирант кафедры травматологии, ортопедии и смежных специальностей, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, ORCID: 0009-0007-2618-6164, Strebkovams@mail.ru;

Алексей Владимирович Евсюков, канд. мед. наук, руководитель клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, 6, eLibrary SPIN: 7883-0390, ORCID: 0000-0001-8583-0270, alexeysukov@mail.ru.

Oxana Germanovna Prudnikova, DMSc, senior researcher, Scientific and Clinical laboratory of Axial Skeleton Pathology and Neurosurgery, Head of Trauma and Ortopedic Dept. No. 10, National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Ortopedics, 6 M. Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, eLibrary SPIN: 1391-9051, ORCID: 0000-0003-1432-1377, pog6070@gmail.com

Evgenij Alexandrovich Matveev, neurosurgeon of Trauma and Ortopedic Dept. No. 10, National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Ortopedics, 6 M. Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, ORCID: 0009-0003-6055-4013, matveeva@mail.ru.

Margarita Sergeevna Strebkova, postgraduate student of the Department of Traumatology, Ortopedics and Related Specialties, National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Ortopedics, 6 M. Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, ORCID: 0009-0007-2618-6164, Strebkovams@mail.ru.

Alexey Vladimirovich Evsyukov, MD, PhD, neurosurgeon, head of the Clinic of spine pathology and rare diseases, National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology and Ortopedics, 6 M. Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia, eLibrary SPIN: 7883-0390, ORCID: 0000-0001-8583-0270, alexeysukov@mail.ru.