

На правах рукописи

Боков Андрей Евгеньевич

ХИРУРГИЧЕСКАЯ ТАКТИКА ПРИ ДЕГЕНЕРАТИВНОМ И
ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОМ СТЕНОЗЕ ПОЗВОНОЧНОГО КАНАЛА
У ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЕМ ПЛОТНОСТИ КОСТНОЙ ТКАНИ

3.1.10. Нейрохирургия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора медицинских наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Научный консультант:

доктор медицинских наук, профессор РАН

Гуща Артем Олегович

Официальные оппоненты:

Аганесов Александр Георгиевич доктор медицинских наук, профессор, Государственный научный центр Российской Федерации ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского», отделение травматолого-ортопедическое (хирургии позвоночника), заведующий отделением

Степанян Мушег Агоевич доктор медицинских наук, ФГБУ "Клиническая больница №1" Управления делами Президента РФ, отделение нейрохирургии, заведующий отделением

Крутько Александр Владимирович доктор медицинских наук, ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, травматолого-ортопедическое отделение №12, заведующий отделением

Ведущая организация: Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы»

Защита диссертации состоится «_____» _____ 2023 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 21.1.031.01, созданного на базе ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России по адресу: 125047, г. Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, 16.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко» Минздрава России и на сайте <http://www.nsi.ru>.

Автореферат разослан «_____» _____ 2023 года

Ученый секретарь

диссертационного совета 21.1.031.01

доктор медицинских наук

Яковлев Сергей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования

По результатам метаанализа, частота клинически значимого дегенеративного стеноза позвоночного канала составляет 11,0% с 95,0% доверительным интервалом – 4,0–18,0% (R.K. Jensen и соавт., 2020). Данная патология при нестабильности позвоночно-двигательных сегментов является показанием к выполнению транспедикулярной фиксации и спондилодеза (P.V. Mummaneni и соавт., 2014, D.K. Resnick и соавт., 2014, А.О. Гуца, Н.А. Коновалов, 2019).

Остеопороз выявляется в 14,0–28,5% наблюдений после 50 лет, причем у женщин частота составляет 24,0%, у мужчин – 6,0% (J.Y. Reginster, N. Burlet, 2006; R. Vijayakumar, D. Büsselberg, 2016; J. Liu и соавт., 2019).

Обратной стороной современного технологического прогресса является увеличение частоты травматических повреждений позвоночника, что приводит к неуклонному росту количества ежегодно выполняемых оперативных вмешательств с применением фиксации и спондилодеза (A.N. Doud и соавт., 2015; В. Li и соавт., 2019). Из всех повреждений опорно-двигательного аппарата частота высокоэнергетической травмы позвоночника составляет 6,9% ($\pm 3,8$, 95,0% CI) (Katsuura Y., 2016).

Нарушение костной плотности увеличивает частоту двух взаимосвязанных осложнений – псевдоартроза и нестабильности фиксатора, оказывая значительное негативное влияние на результаты оперативных вмешательств на позвоночнике (D.S. Chun и соавт., 2015; S.S. Vederman и соавт., 2016).

В настоящее время известно, что псевдоартроз развивается у 10,0–40,0% из 200000 инструментаций позвоночника, а частота расшатывания имплантатов варьирует от 0,7 до 27,0%, и может превышать 50,0% у пациентов с остеопорозом (M. Röllinghoff и соавт.; 2010, Z. Wu и соавт., 2012; D. Gothard и соавт., 2014; M. J. M. Peters и соавт., 2019; D. Zou и соавт., 2020).

Для прогнозирования развития псевдоартроза и дестабилизации фиксатора все чаще применяется радиоденсивность по данным КТ, поскольку она обладает

большой точностью, чем остеоденситометрия (J.A. Kanis и соавт., 2013; M. Woisetschlager, A. Spangeus, 2018; Q. Zaidi и соавт., 2019; J. A. Kanis и соавт., 2019). С другой стороны, надежность модели прогнозирования осложнений только на основе данного параметра сомнительна, поскольку на частоту осложнений может влиять множество других факторов (А. Вокон и соавт., 2019; А.А. Булкин и соавт., 2019).

Альтернативой микрохирургической декомпрессии может быть непрямая декомпрессия невральных структур с применением спондилодеза из вентрального доступа, которая обеспечивает дополнительную стабильность оперированным сегментам. Данный метод наиболее эффективен при фораминальном стенозе позвоночного канала, с другой стороны, результаты применения этой техники при центральном стенозе позвоночного канала противоречивы (Е.Н. Elowitz и соавт., 2011; А.Е. Castellvi и соавт., 2014; G. Lang и соавт., 2017; S. Naayama и соавт., 2018).

Результаты хирургического лечения травматических повреждений поясничного отдела позвоночника и грудопоясничной области изучаются длительное время, но именно в этой области знаний противоречия настолько сильны, что не позволяют выработать унифицированных подходов к лечению патологии (K.J. Schnake и соавт., 2014; А.Ф. Joaquim и соавт., 2019). До настоящего времени обсуждается обоснованность и необходимость промежуточной фиксации (Н. Ren и соавт., 2018; А.Ф. Joaquim и соавт., 2019). Отличаются мнения в отношении показаний к выполнению переднего спондилодеза и необходимой протяженности фиксации в переходной грудопоясничной области (B.C.R. Lazaro и соавт., 2011; K.J. Schnake и соавт., 2014; Т.А. Aly, 2017; Н.В.С. Sodhi и соавт., 2017; Т. Тап и соавт., 2019). Крайне редко обсуждается влияние техники декомпрессии на отдаленные результаты оперативного лечения. Таким образом, актуальна разработка дифференцированной тактики лечения травматических повреждений позвоночника, особенно у пациентов с нарушением плотности костной ткани.

При остеопорозе стабильность оперированных сегментов можно

обеспечить за счет аугментацией костной ткани (Т.М. Shea и соавт., 2014).

Среди всех разработанных технологий максимальная эффективность получена при аугментации полиметилметакрилатом (ПММА), которая небезопасна по причине риска дренирования в позвоночный канал и сосудистое русло (Т.М. Shea и соавт., 2014; J.U. Mueller и соавт., 2016; I. Janssen и соавт., 2017; H. Guo и соавт., 2019).

Описан так называемый синдром имплантации цемента, клиническими проявлениями которого может быть кардиосупрессия и гипотензия вплоть до внезапной смерти в раннем послеоперационном периоде (A.J. Donaldson и соавт., 2009). Недостатки аугментации с применением жидкого цемента делают актуальной разработку альтернативных технологий без применения жидкого ПММА.

По данным опубликованных исследований, частота ревизионных вмешательств после декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств на позвоночнике варьирует от минимальных значений до 10,0 – 40,0%, причем псевдоартроз и расшатывание винтов являются наиболее частыми причинами (M. Röllinghoff и соавт., 2010). Несмотря на то, что в мире ежегодно выполняется значительное количество повторных операций, подходы к их выполнению не систематизированы.

Цель исследования

Разработать дифференцированную хирургическую тактику у пациентов с дегенеративным и посттравматическим стенозом позвоночного канала на уровне поясничного отдела позвоночника и грудопоясничного перехода при нарушении плотности костной ткани и технику ревизионных вмешательств при осложнениях, обусловленных нарушением плотности костной ткани.

Задачи исследования

1. Установить связь между радиоденсивностью костной ткани в единицах Хаунсфилда и частотой низкоэнергетических переломов, проанализировать

возможность построения модели для дестабилизации имплантатов на основе радиоденсивности костной ткани.

2. Оценить факторы, влияющие на результаты декомпрессивно-стабилизирующих оперативных вмешательств с применением транспедикулярной фиксации при дегенеративном стенозе позвоночного канала, и разработать дифференцированную тактику с учетом нарушения плотности костной ткани, хирургической техники и характеристик имплантатов.

3. Оценить клинические и рентгенологические результаты не прямой декомпрессии корешков спинного мозга при выполнении переднего спондилодеза DLIF и ALIF, уточнить показания к не прямой декомпрессии.

4. Оценить факторы, влияющие на результаты оперативного лечения травматических повреждений на уровне поясничного отдела позвоночника и груднопоясничного перехода с учетом нарушения плотности костной ткани, и разработать дифференцированную тактику оперативного лечения.

5. Разработать способ аугментации позвонков без применения жидкого цемента с проведением сравнительного анализа с существующими методами.

6. Разработать способы ревизионных вмешательств при осложнениях после декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств с применением транспедикулярной фиксации, обусловленных нарушением плотности костной ткани.

Научная новизна исследования

Впервые проведена оценка связи радиоденсивности с частотой низкоэнергетических переломов и частотой расшатывания транспедикулярного фиксатора с построением моделей для их прогнозирования и последующей оценкой возможности применения этих моделей.

Впервые проведена оценка факторов и их индивидуального вклада, влияющего на стабильность транспедикулярного фиксатора у пациентов с дегенеративным стенозом позвоночного канала с последующей разработкой дифференцированной тактики в условиях нарушения плотности костной ткани.

Впервые выполнена оценка влияния дизайна винта на стабильность транспедикулярной фиксации, на основании чего разработана полезная модель имплантата с оптимальными характеристиками.

Впервые определены критические размеры позвоночного канала, при которых возможна непрямая декомпрессия корешков спинного мозга, проанализирован эффект непрямой декомпрессии и факторы, влияющие на результат.

Впервые проведена оценка факторов, влияющих на стабильность фиксатора при травматических повреждениях поясничного отдела позвоночника и груднопоясничного перехода, проанализирован их индивидуальный вклад и разработана дифференцированная хирургическая тактика.

Разработаны новые способы аугментации тел позвонков при открытой и перкутанной транспедикулярной фиксации без применения жидкого костного цемента, определена его эффективность и сопоставлена с результатами применения аугментации на основе ПММА.

Впервые разработаны и систематизированы технические решения при осложнениях, обусловленных нарушением плотности костной ткани.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Уточнена значимость радиоденсивности костной ткани для модели риска низкоэнергетических переломов и дестабилизации фиксатора после декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств по поводу дегенеративного и посттравматического стеноза позвоночного канала по данным КТ.

Разработаны основы оценки факторов риска дестабилизации имплантатов при дегенеративной патологии и травматических повреждениях позвоночника поясничной и переходной груднопоясничной области.

Разработана дифференцированная тактика с учетом типа спондилодеза, объема резекции структур задней опорной колонны у пациентов с дегенеративным стенозом поясничного отдела позвоночника.

Уточнены границы эффективности применения непрямой декомпрессии

при дегенеративной патологии позвоночника и проанализированы факторы, влияющие на ее результат. Обоснован рациональный выбор техники декомпрессии и стабилизации при травматических повреждениях позвоночника.

На основании результатов исследования разработана полезная модель – транспедикулярный винт с оптимальными свойствами (патент на полезную модель «Педикулярный винт» RU 195876 U1, зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности Российской Федерации, опубликован: 07.02.2020 Бюл. № 4), повышающими эффективность применения при нарушении плотности костной ткани.

Разработаны новые способы стабилизации позвоночно-двигательных сегментов у пациентов с нарушением плотности костной ткани, основанные на аугментации позвонков костной крошкой при открытых и перкутанных оперативных вмешательствах (патент на изобретение «Способ стабилизации позвоночно-двигательного сегмента транспедикулярным инструментарием у пациентов с остеопорозом позвоночника» RU 2663940 C1, зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности Российской Федерации, опубликован: 13.08.2018 Бюл. № 23).

Разработан «Способ минимально инвазивной стабилизации позвоночно-двигательного сегмента на уровне поясничного отдела позвоночника» (патент RU 2645418 C1, зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности Российской Федерации, опубликован: 21.02.2018 Бюл. № 6).

Разработан «Способ доступа к структурам различных отделов позвоночника и устройство для его осуществления» (патент RU 2720709 C1, зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности Российской Федерации, опубликован: 12.05.2020 Бюл. № 14).

Разработан «Способ стабилизации позвоночно-двигательного сегмента минимально инвазивным транспедикулярным инструментарием у пациентов с остеопорозом позвоночника» (патент RU 2742593 C1, зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности Российской Федерации, опубликован: 08.02.2021 Бюл. № 4).

Методология и методы исследования

Данная научно-исследовательская работа является клинической и выполнена в несколько этапов. Для решения первой задачи выполнены поперечные (одномоментные) исследования. Проведена оценка взаимосвязи механической прочности губчатой костной ткани тел позвонков и ее радиоденсивности (100 пациентов).

С применением логистического регрессионного анализа была оценена прогностическая значимость радиоденсивности в отношении развития низкоэнергетических переломов позвонков. Оценено качество модели прогнозирования расшатывания транспедикулярных винтов, основанной на данных радиоденсивности (526 пациентов).

Учитывая недостаточную точность ранее построенной модели риска расшатывания транспедикулярных винтов, выполнена оценка дополнительных факторов, влияющих на результаты лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника (331 пациент). При построении модели учитывались радиоденсивность, протяженность фиксации, метод спондилодеза, полнота редукции позвонка при спондилолистезе, люмбосакральная фиксация и степень резекции структур задней опорной колонны, выполнявшейся для декомпрессии корешков. Критерии расшатывания винтов были общеприняты – рентгенпрозрачная зона вокруг винтов не менее 1 мм и признак двойного контура (double halo sign, англ.), срок наблюдения составил 18 месяцев.

Для оценки влияния дизайна винтов на стабильность фиксации из данной группы была сформирована выборка, которая была стандартизована по типу выполненного спондилодеза и параметрам транспедикулярных винтов (175 пациентов).

Повторно с использованием множественного логистического регрессионного анализа была выполнена оценка факторов, влияющих на результаты лечения пациентов с дегенеративной патологией позвоночника. Помимо ранее перечисленных факторов учитывались также наружный и внутренний диаметр винтов, тип резьбы, резьбовой шаг и геометрия имплантата.

Для выполнения второй задачи было выполнено поперечное исследование (104 пациента). С использованием логистического регрессионного анализа получено было уравнение, которое исследовалось с применением ROC-кривых для вычисления критических значений параметров позвоночного канала, обладающие максимальной точностью в отношении выявления неврологической симптоматики в положении лежа, когда исключался динамический компонент стеноза позвоночного канала. Для оценки рентгенологических результатов не прямой декомпрессии с применением спондилодеза из вентрального доступа была сформирована выборка из 80 пациентов, которым выполнялась КТ до и после операции, методом множественного регрессионного анализа построены модели для прогнозирования рентгенологических результатов при центральном и латеральном стенозе позвоночного канала (80 пациентов). На завершающем этапе этого фрагмента исследования сопоставлены клинические и рентгенологические результаты лечения у пациентов, которым проводилась не прямая декомпрессия корешков с применением спондилодеза из вентрального доступа; с применением кернелизованного дискриминантного анализа определены целевые значения рентгенологических параметров позвоночного канала, необходимых для достижения клинического эффекта.

Для выполнения четвертой задачи выполнен амбиспективный анализ результатов лечения 204 пациентов с нестабильными повреждениями поясничного отдела и груднопоясничного перехода. Минимальный срок наблюдения составил 18 месяцев. Для оценки результатов лечения использовались общепринятые критерии расшатывания винтов. При выполнении логистического регрессионного анализа использовались следующие потенциальные факторы, влияющие на результаты лечения: радиоденсивность губчатой ткани позвонков, методика декомпрессии, выполнение реконструкции передней опорной колонны и промежуточной фиксации, люмбосакральная фиксация, протяженность фиксации и остаточная деформация более 10° . Для оценки факторов риска клинически значимой дестабилизации имплантатов введены дополнительные переменные – степень

формирования переднего и заднего костного блока. Для построения модели оценки риска использовался ядерный дискриминантный анализ.

Для решения пятой задачи выполнено проспективное нерандомизированное исследование, включавшее 189 пациентов с дегенеративным стенозом поясничного отдела позвоночника или с нестабильным травматическим повреждением поясничного отдела позвоночника и груднопоясничного перехода с выявленным по данным КТ или остеоденситометрии остеопорозом позвоночника (радиоденсивность ниже 110 NU или T-критерий $< -2,5$). Срок наблюдения – 18 месяцев, результаты прослежены у 152 пациентов (80,4%). Пациенты разделены на 3 группы: в первой группе выполнялась аугментация позвонков ПММА, результаты прослежены у 38 пациентов; во второй группе выполнялась аугментация с применением разработанного способа, результаты прослежены у 21 пациента. В контрольной группе не выполнялась аугментация позвонков, результаты прослежены у 93 пациентов. С применением логистического регрессионного анализа выполнена оценка факторов риска дренирования цемента в позвоночный канал. Проведен сравнительный анализ результатов оперативных вмешательств с применением транспедикулярной фиксации в контрольной группе пациентов, которым применялась аугментация с применением ПММА и разработанный способ аугментации.

Для выполнения шестой задачи систематизированы технические решения, применявшиеся у пациентов с клинически значимой нестабильностью фиксатора. Статистический анализ в данном случае не применим по причине неоднородности группы пациентов, которым проводились ревизионные вмешательства. Данный фрагмент исследования представлен анализом отдельных наблюдений.

Положения, выносимые на защиту

1. Радиоденсивность по данным КТ в единицах Хаунсфилда имеет связь с механическими свойствами костной ткани, но построение модели

прогнозирования дестабилизации имплантатов на основании этого параметра ограничено в связи с множеством факторов, влияющих на частоту осложнения.

2. На стабильность фиксации при дегенеративных заболеваниях позвоночника помимо качества костной ткани влияют методика декомпрессии, техника спондилодеза, протяженность фиксации, и свойства имплантатов.

3. Непрямая декомпрессия корешков спинного мозга с использованием спондилодеза из вентрального доступа достигается за счет восстановления высоты межпозвонкового промежутка в дорзальных отделах и редукции позвонка.

4. При операциях по поводу травматических повреждений позвоночника стабильность фиксации значительно увеличивается за счет применения промежуточной фиксации и реконструкции передней опорной колонны, а также зависит от техники декомпрессии спинного мозга и корешков.

5. Разработанный способ стабилизации позвоночно-двигательного сегмента транспедикулярным инструментарием у пациентов с остеопорозом позвоночника имеет эффективность, не отличающуюся от методики транспедикулярной фиксации с применением ПММА.

6. При ревизионных вмешательствах необходимо учитывать, как риски развития дестабилизации винтов, так и псевдоартроза, применяя одновременно несколько технических решений для достижения эффекта.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность основных положений и выводов выполненного исследования обусловлена глубоким анализом современных научных публикаций по изучаемой проблеме, обследованием достаточного количества больных (объем выборки для выполнения каждой задачи определялся на основании анализа мощности с применением метода Монте-Карло, 2000 симуляций). Для оценки результатов исследования использованы общепризнанные шкалы и критерии. Минимальный срок наблюдения составил 18 месяцев, что считается достаточным для формирования костного блока на

уровне оперированных сегментов. В проведенном исследовании использованы современные методы статистической обработки, соответствующие поставленным задачам. Исследование проводилось с использованием профессиональных программ статистического анализа. Выводы исследования основаны на проверяемых базах данных, доступных в электронных медицинских картах пациента.

Основные результаты исследования доложены и обсуждены на международных конгрессах: Global Spine Congress 2015 (Buenos-Aires, Argentina, 20.05.2015 – 23.05.2015), Global Spine Congress 2017 (Милан, Италия, 03.05.2017 – 06.05.2017), Global Spine Congress 2018 (Сингапур, 02.05.2018 – 05.05.2018), World Spine 8 (Порту, Португалия, 13.04.2018 – 18.04.2018); в рамках Global Spine Congress 2019 (Канада, Торонто, 15.05.2019 – 18.05.2019) по результатам исследования организован симпозиум; на всероссийских научно-практических конференциях: Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики (Саратов, 26.04.2017 – 28.04.2017), X Съезд ассоциации хирургов-вертебрологов (Москва, 30.05.2019 – 01.06.2019), XI Съезд ассоциации вертебрологов (Нижний Новгород, 02.06.2021 – 05.06.2021), Съезд нейрохирургов приволжского округа (Санкт-Петербург, 23.09.2021 – 25.09.2021), XI Научно-практическая конференция «Илизаровские чтения» (Курган, 16.06.2021 – 18.06.2021); на заседании кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии им. М.В. Колокольцева ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России (протокол № 23/22 от 27.09.22).

Публикации по теме диссертации

По теме диссертационного исследования опубликовано 24 печатных работы, из них 13 статей – в научных рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России для публикации основных научных результатов диссертации, 6 статей – в зарубежных рецензируемых журналах (индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science), 5 патентов на изобретения, а также 11 работ – в виде тезисов и материалах в сборниках

российских и международных конференций, съездов и конгрессов.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 258 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков и 20 таблиц, состоит из введения, 8 глав (обзор литературы, характеристика материала и методов исследования, собственные результаты и их обсуждение), заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и списка литературы, состоящего из 338 источников (26 отечественных и 312 зарубежных).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

Исследование было разделено на этапы с различным дизайном. Клинический материал составил 798 наблюдений. Объектом исследования являлись пациенты с различной патологией позвоночника:

1. С неуточненной болью в области поясничного отдела позвоночника (Код МКБ М54.5) – 100 пациентов.

2. Пациенты с дегенеративным стенозом поясничного отдела позвоночника и нестабильностью сегментов (Коды МКБ М48.0, М99.5, М99.3), истмическим и дегенеративным спондилолистезом (М43.1) – 435 пациентов.

3. Пациенты с травматическими повреждениями поясничного отдела позвоночника и области грудопоясничного перехода с данными за посттравматический стеноз позвоночного канала (уровни Th11–L5 включительно), тип повреждения А3, А4, В1, В2, С, переломов на фоне остеопороза типа OF4, OF5, группы С, D, E ASIA (Коды МКБ S22.0, S32.0, M80.1, M80.8) – 204 наблюдения.

4. Пациенты с переломами позвонков на уровне поясничного отдела позвоночника и грудопоясничного перехода на фоне остеопороза (коды МКБ M80.1, M80.8) – 48 наблюдений, и пациенты со стенозом позвоночного канала на уровне поясничного отдела позвоночника (коды МКБ М48.0, М99.3, М99,5) –

11 наблюдений. У этих пациентов при предоперационном обследовании выявлен остеопороз позвоночника и выполнена аугментация позвонков в ходе выполнения оперативного вмешательства.

Дизайн исследования и схема формирования групп представлены на рисунках 2.1 и 2.2.

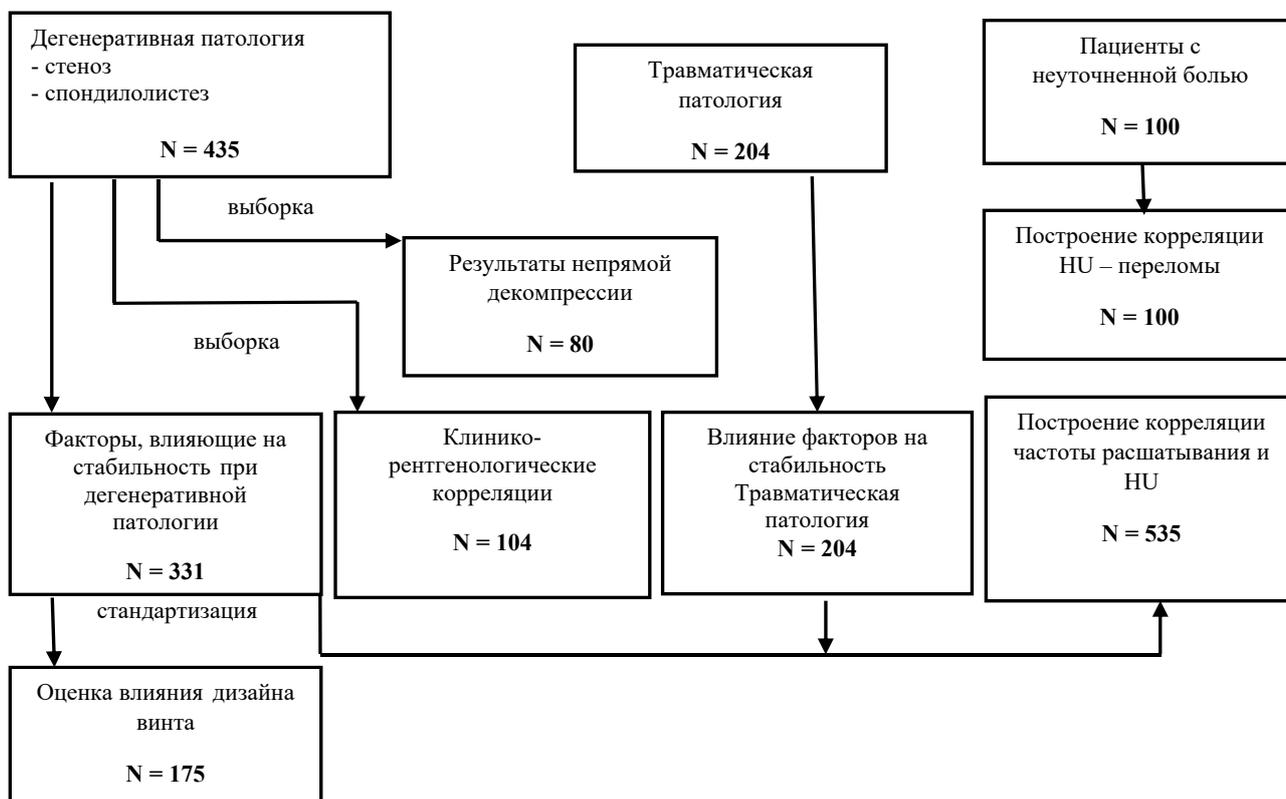


Рисунок 2.1 – Дизайн исследования. Схема формирования групп

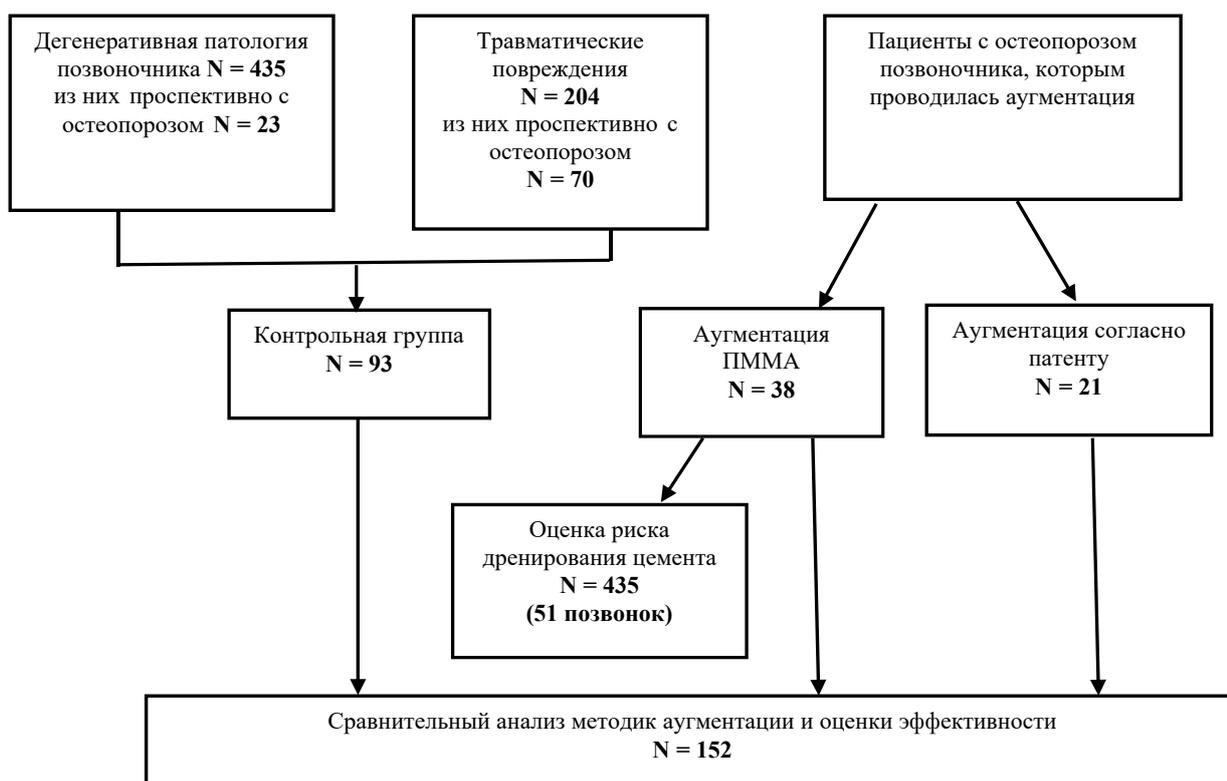


Рисунок 2.2 – Дизайн исследования. Схема формирования групп (продолжение)

Оценка корреляции частоты низкоэнергетических переломов, частоты расшатывания транспедикулярного фиксатора и радиоденсивности

Для решения первой задачи выполнено поперечное исследование, в ходе которого определена связь между радиоденсивностью губчатой костной ткани тел позвонков и частотой патологических переломов. Для определения костной плотности использовалось программное обеспечение Vitrea5.2.497.5523. Определение радиоденсивности позвонков проводилось на уровне L2 или L3 позвонка, не вовлеченного в патологические процессы. После измерения костной плотности в трех плоскостях вычислялось среднее значение для каждого наблюдения, которое использовалось в дальнейших расчетах. По результатам КТ-исследования регистрировались наблюдения со спонтанными низкоэнергетическими переломами тел позвонков. Данной группе пациентов противопоставлены результаты регрессионного анализа, оценивающего связь

частоты дестабилизации транспедикулярного фиксатора и радиоденсивности, выполненного на гетерогенной группе (535 пациентов).

Анализ факторов, влияющих на результаты оперативного лечения у пациентов с дегенеративным стенозом позвоночного канала на фоне нестабильности сегмента

Для выполнения данной задачи выполнялся амбиспективный анализ результатов (проспективно – 23 пациента, ретроспективно – 308 пациентов). Из этой группы после исключения пациентов, которым устанавливались винты с разными характеристиками и вмешательства из вентрального доступа, сформирована когорта из для изучения влияния дизайна винта на частоту дестабилизации фиксатора (175 пациентов).

В ходе выполнения исследования применялись следующие оперативные вмешательства:

- транспедикулярная фиксация и задний спондилодез – у 41 (12,4%) пациента;
- транспедикулярная фиксация в сочетании с трансфораминальным спондилодезом – у 186 (56,2%) пациентов;
- транспедикулярная фиксация в сочетании с межтеловым спондилодезом DLIF применялась у 56 (16,9%) пациентов. Первым этапом выполнялся спондилодез DLIF забрюшинным доступом, вторым этапом выполнялась перкутанная транспедикулярная фиксация. У 20 пациентов передний спондилодез был дополнен разработанным способом перкутанного артродеза;
- транспедикулярная фиксация в сочетании с передним межтеловым спондилодезом ALIF выполнена у 53 (16,0%) пациентов. Первым этапом осуществлялся передний спондилодез ALIF. Вторым этапом выполнялась перкутанная транспедикулярная фиксация.

Срок наблюдения составил 18 месяцев. В послеоперационном периоде всем пациентам выполнена контрольная КТ, на которой верифицировались

объем выполненной декомпрессии и правильность положения имплантатов.

Исследование результатов не прямой декомпрессии корешков спинного мозга с применением спондилодеза из вентрального доступа

У пациентов выполнялось измерение глубины бокового канала и площади поперечного сечения на уровне максимально выраженного сужения резервных пространств, определялись критические значения этих параметров, при которых не регрессирует неврологическая симптоматика в положении лежа (104 пациента).

Для изучения результатов не прямой декомпрессии выполнено поперечное исследование, сформирована выборка из 80 пациентов, которым выполнялся спондилодез из вентрального доступа (DLIF или ALIF). В послеоперационном периоде для оценки результатов не прямой декомпрессии выполнено повторное измерение глубины бокового канала и площади поперечного сечения позвоночного канала по результатам КТ и выявлены факторы, влияющие на результаты.

С использованием ядерного дискриминантного анализа построена модель прогнозирования результатов оперативного лечения по шкале MacNab на основе послеоперационных значений площади поперечного сечения позвоночного канала и глубины боковых каналов, в результате чего доказана клиническая значимость вычисленных пороговых значений как критерия отбора для выполнения не прямой декомпрессии.

Анализ факторов, влияющих на результаты лечения пациентов с посттравматическим стенозом позвоночного канала на уровне поясничного отдела позвоночника и грудопоясничного перехода

Выполнено амбиспективное исследование у пациентов с посттравматическим стенозом позвоночного канала на уровне поясничного отдела позвоночника и переходной грудопоясничной области с уровня Th10 до L5 включительно (70 пациентов – проспективно, 134 пациента –

ретроспективно).

Во всех случаях назначалась компьютерная томография, в ходе исследования определялись морфологические особенности перелома в соответствии с АО классификацией и радиоденсивность губчатой костной ткани по стандартной, ранее описанной методике. Пациентам была проведена коррекция посттравматической деформации и открытая транспедикулярная фиксация с выполнением заднего спондилодеза за счет артродеза дугоотростчатых суставов. Бикортикальная установка винтов не использовалась. При отсутствии значимой посттравматической деформации применялась короткая односегментарная или бисегментарная фиксация. Протяженная фиксация использовалась для коррекции посттравматической деформации. В зависимости от локализации компримирующего субстрата всем пациентам с неврологическими нарушениями (группы ASIA C, D) выполнялась микрохирургическая декомпрессия корешков и спинного мозга из дорзального, вентрального или комбинированного доступа. Реконструкция передней колонны проводилась при снижении высоты тела позвонка более, чем на 50,0%.

В послеоперационном периоде всем пациентам была выполнена компьютерная томография, на которой оценивались выполненная декомпрессия, положение имплантатов и полнота коррекции посттравматической деформации.

Оценка эффективности аугментации костной ткани при оперативных вмешательствах с применением транспедикулярной фиксации

Для изучения эффективности методик аугментации выполнено проспективное нерандомизированное сравнительное исследование, в которое включены пациенты с травматическими повреждениями поясничного отдела позвоночника и грудопоясничного перехода типа OF4, OF5 на фоне остеопороза, группы C, D, E ASIA и пациенты с дегенеративным стенозом позвоночного канала на фоне нестабильности сегмента. Обязательное условие включения: T-критерий менее $-2,5$ или снижение радиоденсивности губчатой костной ткани тел позвонков менее 110 HU, что является признаками остеопороза.

Предоперационное обследование всех пациентов включало оценку неврологического статуса и интенсивности боли по ВАШ, у пациентов с дегенеративной патологией позвоночника – оценку индекса ограничения жизнедеятельности Освестри. Перед операцией всем пациентам была выполнена КТ поясничного отдела позвоночника.

По используемой хирургической тактике пациенты разделены на следующие группы:

- группа 1 – применялась транспедикулярная фиксация с аугментацией костной ткани ПММА. Оперативное вмешательство выполнено 46 пациентам, у 38 пациентов (82,6 %) прослежены результаты в течение 18 месяцев;
- группа 2 – пациенты, которым выполнена транспедикулярная фиксация с применением аугментации тел позвонков ауто- или аллокостью. Оперативное вмешательство выполнено 25 пациентам, в течение 18 месяцев прослежены результаты у 21 пациента (84,0%);
- группа 3 – контрольная группа, составившая 118 пациентов. В течение 18 месяцев прослежены результаты у 93 пациентов (78,8%).

Пациентам с травматическими повреждениями позвоночника выполнена транспедикулярная фиксация с применением промежуточной фиксации, при снижении высоты тела позвонка более, чем на 50,0% выполнялся передний межтеловой спондилодез. При наличии неврологической симптоматики выполнялась декомпрессия из вентрального или дорзального доступа, если была необходима реконструкция передней колонны и имелась передняя локализация субстрата, то выполнялась передняя декомпрессия спинного мозга и корешков. Пациентам с дегенеративным стенозом позвоночного канала во всех случаях выполнялись микрохирургическая декомпрессия корешков и трансфораминальный межтеловой спондилодез.

При аугментации ПММА использовались две техники – инъекция цемента через канюлированные винты или вертебропластическая техника аугментации. Аугментация тел позвонков аутокостью выполнялась в соответствии с

разработанным способом (патент на изобретение «Способ стабилизации позвоночно-двигательного сегмента транспедикулярным инструментарием у пациентов с остеопорозом позвоночника» RU 2663940 С1).

В раннем послеоперационном периоде выполнялась контрольная КТ, на которой помимо положения имплантатов, полноты декомпрессии и адекватности выполнения аугментации оценивалось наличие таких осложнений, как дренирование цемента в позвоночный канал (миграция материала в случае аугментацией костью) и легочная цементная эмболия. Учитывались случаи с экстенсивным дренированием цемента и наблюдения с легочной эмболией.

Протокол послеоперационного наблюдения

Протокол послеоперационного наблюдения был стандартным во всех группах. Контрольный осмотр проводился в сроки 3, 6, 12, 18 месяцев. Во время каждого контрольного осмотра применялось обследование с применением ВАШ и оценкой индекса ограничения жизнедеятельности Освестри.

В срок 3 месяца выполнялась обзорная спондилография области оперативного вмешательства. Если у пациента сохранялась корешковая симптоматика, назначалась МРТ поясничного отдела позвоночника. При увеличении интенсивности аксиального болевого синдрома назначались функциональные рентгенограммы позвоночника и КТ поясничного отдела позвоночника для оценки стабильности имплантатов. В срок 6 и 12 месяцев, проводилась оценка костного блока в соответствии с классификацией G. Tap (2007). Для оценки заднего костного блока при выполнении артродеза дугоотростчатых суставов использована классификация, изложенная в работе F.V. Christensen (2001).

В срок 18 месяцев проводился неврологический осмотр, исследование с применением ВАШ и оценкой индекса ограничения жизнедеятельности Освестри. КТ выполнялась, если формирование спондилодеза не было завершено к 12 месяцу наблюдения.

Дестабилизация имплантатов считалась клинически значимой, если это

сопровождалось увеличением аксиальной боли, если отсутствовали признаки сформированного переднего или заднего костного блока на уровне оперированных сегментов, а также при нарастании локальной деформации позвоночника более 10° .

Разработка хирургической тактики и техники оперативных вмешательств у пациентов с несостоятельностью транспедикулярной фиксации

Этап исследования представляет собой серию наблюдений. Включены пациенты, которым выполнялось ревизионное вмешательство по причине дестабилизации транспедикулярного фиксатора. Ревизионные оперативные вмешательства выполнены у пациентов, включенных во фрагмент работы, необходимой для оценки факторов риска дестабилизации транспедикулярного фиксатора при травматической и дегенеративной патологии, а также для изучения результатов применения техник, основанных на аугментации костной ткани.

Оперативное вмешательство выполнялось при наличии одновременно следующих критериев: интенсивности боли по ВАШ > 40 баллов, значении индекса ограничения жизнедеятельности Освестри более 40,0% при наличии признаков расшатывания винтов по данным КТ в сочетании с признаками псевдоартроза 3 и 4 степени по классификации G.H. Tan (2007) после выполнения переднего спондилодеза и (или) псевдоартроза после выполнения заднего спондилодеза – 3 степени. Всего было выполнено 74 ревизионных вмешательства, что составляет 10,6% всех наблюдений.

Статистический анализ данных

При планировании фрагментов исследования и для оценки наблюдаемого эффекта апостериорно применялся расчет мощности методом Монте-Карло, 2000 симуляций. Для определения закона распределения данных применялись критерии согласия χ^2 , Ω^2 Андерсона-Дарлинга и Колмогорова-Смирнова.

Для изучения взаимоотношений между данными, в которых зависимая переменная представлена в дихотомической шкале, применялось нелинейное оценивание – логистическая регрессия.

Для оценки операционных характеристик модели применялся анализ ROC-кривыми. При необходимости – вычислить дискриминантную функцию для нескольких классов объектов применялся ядерный дискриминантный анализ.

Для тестирования гипотезы сдвига при значимом отклонении от нормального распределения применялись непараметрические методы статистики: для парных данных – критерий Уилкоксона, для непарных данных – критерий Манна-Уитни. При нормальном распределении данных для тестирования гипотезы о сдвиге применялся t-критерий Стьюдента при однородности дисперсий. При неоднородности дисперсий в аналогичных случаях применялся тест Аспин-Уэлча.

Для тестирования дисперсий на однородность применяются тест Бартлетта, тест Левена и тест Брауна-Форсайта в зависимости от особенности распределения данных.

Для оценки связи переменных между собой при соблюдении условия нормального распределения данных применялся множественный линейный регрессионный анализ. Если объясняющие переменные представлены в непрерывной и дихотомической шкалах, то применялась общая модель регрессионного анализа- ковариационный анализ (ANCOVA). Для обработки данных использованы статистические программы: Statistica 12.0, KyPlot V2.0, EasyFit 5.2, PASS 2008. SPSS 12.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проблема оценки качества костной ткани в клинической практике и ограничения при прогнозировании развития нестабильности имплантатов

Проанализированы результаты КТ-исследований 100 пациентов в возрасте старше 40 лет. Частота выявленных патологических компрессионных переломов в исследуемой группе составила 37,0% наблюдений. Логистический

регрессионный анализ показал статистически значимую связь между снижением костной плотности позвонков и нарастанием частоты выявления патологических компрессионных переломов. Общая пригодность модели: $\chi^2=71,4068$; $p<0,0001$. Модель правильно классифицирует 85,0% наблюдений с чувствительностью 81,1% и специфичностью 87,3%.

За время наблюдения в течение 18 месяцев у 164 из 535 пациентов были отмечены рентгенологические признаки расшатывания винтов (31,2% наблюдений). При выполнении логистического регрессионного анализа получена статистически значимая модель, общая пригодность: $\chi^2=35,63729$; $p<0,0001$. Модель правильно классифицировала только 68,6% наблюдений, чувствительность и специфичность составили 9,1% и 95,6% соответственно.

В ходе исследования выявлено, что механическая прочность костной ткани коррелирует с ее радиоденсивностью, поскольку этот параметр имеет сильную связь с частотой низкоэнергетических переломов позвонков, но модель оценки риска расшатывания имплантатов с учетом только этого фактора имеет недостаточную точность для прогнозирования осложнений.

Факторы, влияющие на стабильность инструментации у пациентов с дегенеративным стенозом позвоночного канала

В ходе исследования выявлено, что у 122 (36,9%) из 331 пациентов значение радиоденсивности соответствовало остеопорозу. Рентгенологические признаки расшатывания транспедикулярных винтов зарегистрированы в 115 (34,7%) наблюдениях, из них клинически значимой нестабильность была только в 47 (14,2%).

При проведении логистического регрессионного анализа получена статистически значимая модель, $\chi^2=116,23$ $p<0,0001$. Выявлено, что частота расшатывания винтов по данным КТ увеличивается со снижением значение радиоденсивности, с увеличением протяженности фиксации, при остаточной передней трансляции более 3 мм и двухсторонней фасетэктомии. Применение кейджей большей площади опоры для ALIF или DLIF значительно снижало

частоту расшатывания транспедикулярного фиксатора, при радиоденсивности губчатой кости менее 140 HU. Специфичность модели составила 88,4%, чувствительность 61,7%, точность классификации наблюдений 79,1%.

При построении логистической регрессионной модели для клинически значимой дестабилизации транспедикулярного фиксатора, также получена значимая регрессионная модель с общей пригодностью $\chi^2=116,23$, $p<0,0001$. Значимыми переменными были: радиоденсивность, протяженность фиксации и применение кейджей с большой площадью опоры при радиоденсивности менее 140 HU. Специфичность модели составила – 92,0%, чувствительность – 39,3%, точность классификации наблюдений – 76,8%.

При оценке влияния параметра винтов на частоту осложнений выявлено, что риск дестабилизации фиксатора уменьшался при увеличении наружного диаметра винта, уменьшении внутреннего диаметра и при уменьшении винтового шага резьбы. Тип резьбы и геометрия винта не влияли на частоту дестабилизации фиксатора.

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на стабильность транспедикулярной фиксации, является ее протяженность. Корреляция частоты возникновения расшатывания винтов и протяженности фиксации объясняется увеличением плеча рычага в крайних точках фиксации, что приводит к увеличению нагрузки на имплантаты.

Биомеханический эффект применения кейджей большой площади опоры наиболее выражен у пациентов с радиоденсивностью менее 140 HU. Объяснить наблюдаемый эффект можно тем, что за счет большей площади опоры кейдж уменьшает давление на прилежащую костную ткань, перераспределяя нагрузку на периферическую область тел позвонков, увеличивая стабильность фиксации. Результатом негативного влияния двухсторонней фасетэктомии на стабильность фиксатора может быть увеличение нагрузки в области контакта винтов и костной ткани за счет увеличения микроподвижности, которая приводит к дестабилизации фиксатора. Дополнительным фактором может быть препятствие к формированию заднего костного блока. По результатам анализа, остаточная

трансляция более 3 мм приводила к увеличению частоты дестабилизации транспедикулярного фиксатора, что может быть объяснено биомеханическими нарушениями в пределах оперированного и смежного сегментов.

Основным фактором, увеличивающим прочность фиксации винтов, является площадь контакта с костной тканью, которую можно увеличить за счет увеличения наружного и уменьшения внутреннего диаметра винта, а также за счет уменьшения шага резьбы – это объясняет значимость выявленных в ходе исследования факторов.

Непрямая декомпрессия с применением спондилодеза из вентрального доступа

Результаты построения клинико-рентгенологической корреляции

Среди 104 пациентов, включенных в исследование, не выявлено наблюдений с диаметром форамини менее 3 мм, что является критерием фораминального стеноза. При неврологическом обследовании выявлялись пациенты, у которых неврологическая симптоматика в положении лежа регрессировала, что является благоприятным признаком, если планируется не прямая декомпрессия. В результате регрессионного анализа получена модель с одним прогностически значимым фактором – площадью поперечного сечения позвоночного канала. Применяя анализ регрессионных уравнений с применением ROC-кривых, выявлено, что максимальной точностью классификации наблюдений обладало пороговое значение 80,2623 мм². При использовании его в логистическом регрессионном анализе получена значимая модель с общей пригодностью $\chi^2 = 71,3949$, $p < 0,0001$. Качество бинарной классификации модели: специфичность 97,8%, чувствительность – 77,9%, точность классификации наблюдений – 86,5%, при анализе ROC-кривой площадь под ней составила 87,9; 95,0% CI [0,809; 0,949]. Незначимость в регрессионной модели минимального размера латерального канала обусловлена преобладанием в группе пациентов с центральным стенозом позвоночного канала.

Результаты исследования рентгенологических результатов не прямой декомпрессии с применением спондилодеза из вентрального доступа

При оценке эффекта не прямой декомпрессии на уровне оперированного сегмента с выполнением редукции позвонка, выявлено, что медиана приращения площади поперечного сечения позвоночного канала составила 49,5% от исходного значения (25,0 – 75,0% [22,35; 99,75], диапазон 0,5 % – 99,7%). Медиана для разницы глубины правого и левого бокового канала до и после операции составила 0,9 мм, (для приращения глубины правого и левого бокового канала границы кватилей и диапазон составили [0,4; 1,5] 0,8 – 11,9 мм, и [0,3; 1,7], 1 – 4,1 мм, соответственно).

Для оценки факторов, которые могут влиять на изменение площади позвоночного канала, выполнен регрессионный анализ, получена значимая модель (общая пригодность: $r = 0,8980$ ($R = 0,8064$), $p < 0,0001$). Значимыми компонентами были свободный член уравнения, дооперационная площадь поперечного сечения канала и разница трансляции в сагиттальной плоскости до и после операции.

Если не выполнялась редукция позвонка, то после не прямой декомпрессии с применением переднего спондилодеза приращение площади позвоночного канала составило: $M = 24,5\%$ от исходного значения, границы верхнего и нижнего кватилей [16,3%; 33,3%], диапазон: 3,1 % – 214,9% ($n = 23$). Для выявления факторов, которые влияют на послеоперационные значения площади позвоночного канала инструментированного сегмента, выполнен регрессионный анализ, получена значимая модель с общей пригодностью $r = 0,9508$ ($R = 0,9041$), $p < 0,0001$. Значимыми переменными регрессионного уравнения были: дооперационная площадь поперечного сечения позвоночного канала и разница высоты диска в задних отделах до и после операции.

Если не выполняется редукция позвонка, то в отношении послеоперационной глубины бокового канала результат был наименее прогнозируем, поскольку не получено статистически значимой регрессионной

модели. При оценке факторов, влияющих на послеоперационную глубину боковых каналов у пациентов, которым выполнялась редукция позвонка, получены значимые регрессионные модели для изменения глубины левого и правого бокового канала соответственно: $r = 0,7871$ ($R = 0,6195$) $p < 0,0001$ и $r=0,7068$ ($R = 0,4996$) $p < 0,0001$. Модели оказались непригодными для прогнозирования в виду недостаточного процента объясненной дисперсии для зависимой переменной.

Клинико-рентгенологические результаты оперативного лечения с применением непрямой декомпрессии

Пациенты с хорошим и отличным результатом по шкале MacNub составили 18 (22,5%) и 23 (28%) пациентов соответственно. Удовлетворительный результат отмечен у 30 пациентов (37,5%), неудовлетворительный результат отмечен у 10 (12,5%) пациентов. В связи с сохраняющейся клиникой компрессионного корешкового синдрома 6 (7,5%) пациентам была выполнена прямая декомпрессия корешков с применением тубусных ретракторов. Ретроспективно был выполнен анализ причин неудовлетворительных результатов, наибольшая точность классификации получена в результате применения ядерного дискриминантного анализа, которая достигла 92,5% (специфичность и чувствительность – 95,7% и 70,0%, соответственно). Значимыми компонентами уравнения дискриминантной функции были: свободный член, площадь поперечного сечения позвоночного канала более 80 мм и глубины латерального канала более 3 мм (переменные в дихотомической шкале), следовательно, при планировании непрямой декомпрессии позвоночного канала данные значения являются целевыми.

В настоящее время предложен тест, позволяющий осуществить отбор пациентов для выполнения непрямой декомпрессии. Суть этого теста заключается в следующем: если в положении лежа (в котором исключен динамический компонент дегенеративного стеноза) регрессирует неврологическая симптоматика, то ожидается клинически значимый результат

непрямой декомпрессии, однако, в этом случае не учитывается эффект, который может быть достигнут за счет восстановления высоты межпозвонкового промежутка и редукции позвонка при спондилолистезе. С другой стороны, данный тест пригоден для расчета критических параметров позвоночного канала, поскольку исключается динамический компонент стеноза. В результате логистического регрессионного анализа с применением ROC-кривых выявлено, что пороговое значение 80,26 обладает наиболее эффективной дискриминацией наблюдений с наибольшей точностью классификации.

Для того, чтобы прогнозировать рентгенологический результат не прямой декомпрессии был выполнен регрессионный анализ, в ходе которого было выявлено, что наибольший эффект не прямой декомпрессии достигался за счет редукции позвонка, менее выраженный эффект отмечен, если не прямая декомпрессия проводилась только за счет восстановления высоты оперированного сегмента. Наименее прогнозируемые результаты были получены в отношении послеоперационной глубины латерального канала, что объясняет, почему латеральный стеноз позвоночного канала многие авторы считают неблагоприятным фактором, если планируется не прямая декомпрессия. Ретроспективный анализ причин неудовлетворительных результатов не прямой декомпрессии демонстрирует, что послеоперационная глубина бокового канала более 3 мм и площадь позвоночного канала более 80 мм² являются необходимыми условиями для получения клинически значимого результата не прямой декомпрессии.

Факторы, влияющие на результаты оперативного лечения у пациентов с посттравматическим стенозом позвоночного канала на уровне поясничного отдела и грудопоясничного перехода

В группе пациентов, включенных в исследования у 63 (30,9%) из 204 пациентов отмечено снижение значений радиоденсивности ниже порогового значения 110 HU которое обладает 90,0% специфичностью выявления остеопороза. За время наблюдения у 52 (25,5%) пациентов были выявлены рентгенографические признаки расшатывания винтов. При этом, лишь у 27

(13,2%) пациентов нестабильность фиксатора была клинически значимой, что потребовало выполнения ревизионного вмешательства.

При логистическом регрессионном анализе выявлено, что снижение радиоденсивности костной ткани в НУ приводило к увеличению частоты дестабилизации транспедикулярного инструментария. Если выполнялась реконструкция передней опорной колонны или промежуточная фиксация, то значительно уменьшалась частота осложнений.

Факторами риска дестабилизации транспедикулярного инструментария были: остаточная кифотическая деформация более 10° , задняя декомпрессия – ламинэктомия, увеличение протяженности и люмбосакральная фиксация. Выполнение передней декомпрессии не влияло на частоту расшатывания фиксатора. Точность классификации достигла 79,9% наблюдений, чувствительность составила 42,3%, специфичность – 92,7%.

Для моделирования риска клинически значимой дестабилизации использовался ядерный дискриминантный анализ, получен статистически значимая модель. Уменьшали вероятность развития клинически значимой дестабилизации фиксатора сформированный частичный или полный задний костный блок на всех уровнях в пределах фиксации, реконструкция передней колонны и применение промежуточной фиксации.

Экстенсивная декомпрессия с выполнением ламинэктомии и двухсторонней фасетэктомии приводила к увеличению вероятности клинически значимого расшатывания имплантатов. Специфичность модели составила 93,8%, чувствительность – 63,0%, точность – 89,7%.

Известно, что реконструкция передней колонны значительно увеличивает стабильность на уровне сегментов, оперированных с применением транспедикулярной фиксации, снижая нагрузку на винты. С другой стороны, передний спондилодез существенно увеличивает травматичность операции и кровопотерю. В случае, когда необходимо снизить травматизм операции в настоящее время все чаще применяется промежуточная фиксация, когда вводятся винты моностерально или билатерально в сломанный позвонок. И

реконструкция передней колонны, и промежуточная фиксация существенно снижают нагрузку на крайние точки фиксации транспедикулярной системы, уменьшая частоту расшатывания винтов и усталостных переломов, что позволяет считать последнюю альтернативой передней реконструкции, если состояние больного не позволяет выполнить таковую. По результатам выполненного исследования увеличение протяженности фиксации приводило к увеличению частоты расшатывания винтов по данным КТ. Объяснением наблюдаемому эффекту может быть следующее: при увеличении протяженности фиксации возможно увеличение нагрузки на винты крайних точек за счет увеличения плеча рычага. Расшатывание винтов в крайних точках у большинства таких пациентов было асимптоматичным, поэтому не влияло на частоту ревизионных вмешательств по поводу нестабильности транспедикулярного фиксатора.

По результатам регрессионного анализа, ламинэктомия в сочетании с тотальной резекцией дугоотростчатых суставов увеличивает риск клинически значимой дестабилизации транспедикулярного фиксатора в то время, как резекция задней трети тела позвонка, необходимая для передней декомпрессии, не влияет ни на частоту расшатывания винтов по данным КТ, ни на частоту клинически значимой дестабилизации фиксатора. Принимая во внимание механизм расшатывания винтов и отсутствие дополнительной стабильности, которую обеспечивает задний опорный комплекс, следует отметить, что резекция структур задней опорной колонны может увеличить нагрузку на фиксатор, способствуя возрастанию частоты его дестабилизации. Помимо этого, экстенсивная резекция структур заднего опорного комплекса может препятствует формированию дополнительного заднего костного блока, который способствует повышению стабильности оперированных сегментов.

Увеличение частоты расшатывания винтов при люмбосакральной фиксации обусловлено анатомическими и биомеханическими особенностями сегмента. Остаточная кифотическая деформация более 10° , по результатам ранее опубликованных работ, также являлась значимым фактором, увеличивающим

частоту неудовлетворительных результатов оперативных вмешательств по поводу травм позвоночника. По результатам исследования, оба последних указанных фактора риска приводили к увеличению расшатывания винтов по результатам КТ, не оказывая влияния на частоту клинически значимых случаев, в итоге, уступая по значимости другим факторам риска.

Результаты применения техник аугментации костной ткани тел позвонков для повышения стабильности транспедикулярной фиксации

В группе пациентов, которым выполнялась транспедикулярная фиксация с аугментацией ПММА, в раннем послеоперационном периоде по данным КТ в 4 наблюдениях выявлена легочная эмболия, что составило 8,7% с 95,0% CI [2,4; 20,8%]. У 12 пациентов выявлено экстенсивное дренирование в позвоночный канал, что составляет 15,2% с 95,0% CI [4,9; 26,3%], из них только у 1 пациента дренирование было клинически значимым и потребовало выполнения декомпрессии с удалением цемента. Выявлено, что частота экстенсивного дренирования цемента в позвоночный канал коррелирует с диаметром питающего отверстия позвонка, получена статистически значимая модель логистической регрессии: $\chi^2=11,895$, $p=0,006$. При магистральном строении венобазиллярной системы увеличивалась частота дренирования в позвоночный канал, $\chi^2=7,5611$, $p=0,0059$. За время наблюдения в течение 18 месяцев у 10 (26,3%) из 38 пациентов отмечены признаки нестабильности фиксатора, из них у 3 пациентов – перелом фиксатора, а у 7 – расшатывание винтов. В итоге, частота дестабилизации имплантатов составила 26,3%; 95,0% CI [13,4; 43,1%] с частотой клинически значимой нестабильности 18,4%; 95,0% CI [7,7; 34,3%].

В группе пациентов, которым выполнялась аугментация транспедикулярная фиксация с применением аугментации тел позвонков ауто- или аллокостью выявлено, что у 2 пациентов из 25 была миграция аллокости в просвет позвоночного канала, что составило 8,0%; 95,0% CI [1,0; 26,0%]. Из 21 пациента, которым была выполнена аугментация, у 3 были отмечены признаки нестабильности фиксатора по данным КТ, что составило 14,3%, 95,0% CI [3,0;

36,3%]. Из них только у одного – 4,7% наблюдений с 95,0% CI [0; 23,8%] нестабильность была клинически значимой. У остальных пациентов за время наблюдения не отмечено резорбции материала и в итоге наблюдалась перестройка костной ткани с формированием гиперденсной области в телах позвонков. Разработанная методика не отличается по частоте развития нестабильности фиксатора по сравнению с ранее разработанной на основе ПММА; $p = 0,3439$ (двухсторонний точный тест Фишера). Частота ревизионных вмешательств по поводу нестабильности имплантатов также не отличалась статистически значимо в первой и второй группах, $p = 0,2383$ (двухсторонний точный тест Фишера).

При оценке эффективности аугментации тел позвонков с использованием различных методик проведено попарное сравнение с контрольной группой, в которой у 43 (36,4%) пациентов по данным КТ выявлены признаки дестабилизации транспедикулярного фиксатора. Выявлено, что аугментация с применением ПММА снижает частоту расшатывания винтов, но если учитывать все виды дестабилизации, включая поломку компонентов фиксатора, то она не влияла на частоту осложнения. При оценке влияния аугментации тел позвонков костной крошкой на частоту дестабилизации фиксатора, выявлено, что она снижает частоту всех видов дестабилизации имплантатов. Получена статистически значимая регрессионная модель, $\chi^2=14,5345$, $p=0,0007$.

Результаты анализа демонстрируют, что при планировании оперативного вмешательства с применением ПММА необходимо учитывать анатомию венобазиллярной системы. В качестве предиктора можно учитывать, как диаметр питающего отверстия, так и анатомический тип венобазиллярной системы. Аугментация ПММА и аугментация с использованием аллокости, оказывая сопоставимый эффект, привели к снижению частоты расшатывания винтов, но не влияли на частоту клинически значимой дестабилизации фиксатора. Результаты иллюстрируют, что методики имеют вспомогательное значение и необходимы для обеспечения стабильности фиксации на время формирования костного блока, при отсутствии которого происходит или

усталостный перелом фиксатора, или отсроченное расшатывание фиксатора.

Ревизионные вмешательства у пациентов с ограничением плотности костной ткани

Ревизионные оперативные вмешательства выполнены у пациентов, включенных во фрагмент работы, необходимой для оценки факторов риска дестабилизации транспедикулярного фиксатора при травматической и дегенеративной патологии, просуммировать и систематизировать применяющиеся стратегии можно следующим образом:

- восстановление опороспособности ножки и тела позвонка;
- оптимальное перераспределение нагрузки на винты, с уменьшением плеча рычага;
- обеспечение перераспределения нагрузки на винты с применением межтеловых имплантатов;
- обеспечение циркулярного спондилодеза;
- технические решения при переломах винтов, позволяющие избежать травматичных остеотомий.

При необходимости, возможно применение нескольких стратегий, но всегда должно быть сбалансированное решение, поскольку чаще всего дестабилизация имплантатов наблюдается у пациентов пожилого возраста на фоне остеопороза.

Одной из причин дестабилизации имплантатов является сфокусированность только на нейрохирургической стороне оперативных вмешательств на позвоночнике, результатом которой чаще всего является необоснованная экстенсивная декомпрессия.

Пренебрежение ортопедическими принципами не только приведет к неудовлетворительному результату при выполнении первичного вмешательства, но и сведет все последующие попытки ревизии к серии неудач.

Из всех разработанных способов ревизионных вмешательств наименьшие противоречия наблюдаются в отношении применения аугментации на основе

ПММА, однако, адгезия цемента в области ножки позвонка может быть слабой при наличии обширного дефекта. В этом случае целесообразно использовать восстановление опороспособности тела и ножки позвонка путем аугментации костной крошкой.

Акцент только на прочности фиксации винтов в костной ткани, не принимая во внимание замедленное формирование костного блока, может привести к проксимальному расшатыванию или поломке фиксатора. В этом случае, может быть биомеханически выгодным применение кейджей большой площади опоры из вентрального доступа или реконструкция передней опорной колонны у пациентов с травматическими повреждениями позвоночника. Это позволит оптимально распределить нагрузку на имплантаты и максимально снизить микроподвижность в оперированном сегменте. Если первичное вмешательство выполнялось из дорзального доступа, то дополнительным преимуществом ревизионной техники из вентрального доступа является то, что отсутствует необходимость диссекции рубца эпидурального пространства, это снижает риск ранения невралжных структур. При планировании ревизионного вмешательства с применением переднего спондилодеза необходимо четко определить цели вмешательства. Если требуется только обеспечить формирование костного блока, и нет необходимости устранять биомеханические нарушения, то обеспечить результат может дополнительная имплантация аутотрансплантата рядом с межтеловым имплантатом, установленным при первичном вмешательстве.

Если ранее был выполнен спондилодез из вентрального доступа, то в случае симптоматичного псевдоартроза можно рассмотреть ревизионную технику с применением заднего спондилодеза, которая может быть выполнена или открытым вмешательством, или перкутанно минимально инвазивно.

Отдельно следует остановиться на рисках, обусловленных применением расширяющихся винтов: при их поломке не удавалось удалить расширяющийся сегмент винта. В то же время при поломке фиксатора у пациентов, у которых применялась аугментация костной ткани ПММА, легко осуществлялась замена

винтов, независимо от техники аугментации.

Если изначально было принято решение в пользу не прямой декомпрессии для достижения большей стабильности оперированных сегментов, и не получен полный регресс неврологической симптоматики, то оптимальный клинический эффект может быть достигнут применением разработанного способа с декомпрессией через тубусный ретрактор.

ВЫВОДЫ

1. Радиоденсивность, по данным КТ, коррелирует с механическими свойствами костной ткани, поскольку частота низкоэнергетических переломов и расшатывания транспедикулярных винтов зависит от этого параметра.

Разработанная модель на основе оценки радиоденсивности губчатой костной ткани позволяет прогнозировать риск низкоэнергетических переломов с точностью 85%.

2. При дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника увеличивается частота дестабилизации имплантатов если увеличивается протяженной фиксации, сохраняется остаточная трансляция в сагиттальной плоскости более 3 мм и при двухсторонней тотальной фасетэктомии. Частота осложнений может быть уменьшена применением межтеловых имплантатов большой площади опоры при радиоденсивности костной ткани менее 140 НУ, увеличением наружного диаметра, уменьшении внутреннего диаметра и резьбового шага транспедикулярного винта.

3. Непрямая декомпрессия с сохранением заднего опорного комплекса является предпочтительной у пациентов с нарушением плотности костной ткани.

Послеоперационное значение площади поперечного сечения позвоночного канала зависит от предоперационного значения, восстановления высоты межпозвонкового промежутка в задних отделах и полноты редукции позвонка при спондилолистезе. Целевые значения при не прямой декомпрессии являются площадь поперечного сечения позвоночного канала более 80 мм² и глубина бокового канала более 3 мм.

4. У пациентов с посттравматическим стенозом позвоночного канала частота дестабилизации транспедикулярного фиксатора зависит от протяженности фиксации, люмбосакральной фиксации, остаточной кифотической деформации более 10° и объема резекции заднего опорного комплекса. Частоту клинически значимой дестабилизации имплантатов снижали: реконструкция передней опорной колонны, применение промежуточной фиксации и сформированный частичный или полный задний костный блок на всех оперированных уровнях.

5. Разработанный способ аугментации с применением костной крошки приводил к снижению частоты всех видов дестабилизации имплантатов.

Аугментация позвонков с применением ПММА снижала частоту расшатывания транспедикулярных винтов, не влияя на общую частоту дестабилизации фиксатора, включая поломку его компонентов. Фактором риска дренирования костного цемента на основе ПММА в позвоночный канал является наличие питающего отверстия венобазиллярной системы более 3 мм и ее магистральный тип строения.

6. При планировании повторных вмешательств необходимо учитывать пригодность планируемого технического решения в отношении выполнимости повторных ревизий. Увеличение стабильности инструментации достигается путем снижения нагрузки на винты за счет сокращения длины фиксации, и одновременного применения нескольких технических решений обеспечивающих суммационный эффект, что в итоге снижает риски повторного развития нестабильности оперированных сегментов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для оценки качества костной ткани можно использовать результаты определения радиоденсивности губчатой костной ткани тела позвонка по данным КТ. На результаты остеоденситометрии сильное влияние оказывают гипертрофические изменения дугоотростчатых суставов, что приводит к завышению плотности костной ткани. По причине того, что измерение

радиоденсивности более точный способ, нет необходимости дублировать это исследование результатами остеоденситометрии.

2. Необходимо тщательное планирование объема оперативных вмешательств, избегая необоснованного увеличения протяженности фиксации, поскольку в этом случае возрастает риск дестабилизации имплантатов, также следует избегать избыточной задней декомпрессии: двухсторонняя тотальная фасетэктомия, выполненная даже на одном уровне, увеличивает риск дестабилизации фиксатора.

3. При планировании оперативных вмешательств у пациентов с нарушением костной плотности следует выбирать имплантаты с оптимальными свойствами: предпочтительны винты с максимальным наружным диаметром, меньшим внутренним диаметром и с меньшим резьбовым шагом. У пациентов со снижением радиоденсивности ниже 140 НУ, предпочтительно применение межтелового спондилодеза с применением кейджей большой площади опоры.

4. Создание модели риска дестабилизации имплантатов возможно только с учетом всех факторов, влияющих на стабильность, которые включают свойства костной ткани, особенности хирургической тактики и параметры имплантатов.

5. У пациентов с нарушением плотности костной ткани предпочтительна непрямая декомпрессия корешков спинного мозга. При выполнении непрямой декомпрессии пороговыми значениями для достижения клинически значимого результата являются площадь поперечного сечения позвоночного канала, превышающая 80 мм² и глубина боковых каналов, превышающая 3 мм. Наиболее прогнозируем результат при центральном стенозе позвоночного канала, эффект непрямой декомпрессии достигается за счет восстановления высоты межпозвонкового промежутка в задних отделах и за счет редукции позвонка при спондилолистезе. Эффект от редукции позвонка превышает значимость восстановления высоты межпозвонкового промежутка. При латеральном стенозе позвоночного канала (глубина боковых каналов менее 3 мм), результат менее прогнозируем, принимать решение о непрямой декомпрессии следует, если в положении лежа регрессирует неврологическая

симптоматика.

6. При нестабильных травматических повреждениях позвоночника значительно снижают риск дестабилизации имплантатов реконструкция передней опорной колонны и промежуточная фиксация, при их одновременном использовании возможен суммационный эффект. Люмбосакральная фиксация является дополнительным фактором риска дестабилизации имплантатов. В связи с этим, по возможности следует избегать включения в фиксацию люмбосакрального сегмента. В ходе оперативного вмешательства следует устранять кифотическую деформацию позвоночника, поскольку наличие резидуального кифоза более 10° является фактором риска развития нестабильности фиксации. Протяженная фиксация, включающая дополнительные сегменты не является методом профилактики дестабилизации имплантатов, основной эффект такой тактики – коррекция посттравматической деформации. У пациентов с нарушением плотности костной ткани предпочтительна передняя декомпрессия с сохранением структур задней опорной колонны, в том числе для формирования резервного заднего костного блока. Даже частично сформированный задний костный блок на уровне оперированных сегментов может предотвратить дестабилизацию имплантатов при переднем псевдоартрозе 3 и 4 степени по Tap.

7. Разработанные способы стабилизации позвоночно-двигательных сегментов с применением аугментации костной крошкой по эффективности не уступают методам с применением ПММА. Последняя техника снижает частоту расшатывания винтов, но не снижает общее количество случаев дестабилизации имплантатов, включающее поломку компонентов фиксатора в то время, как разработанный способ снижает частоту всех видов дестабилизации имплантатов.

8. При магистральном типе строения венобазиллярной системы и при наличии питающих отверстий диаметром более 3 мм возрастает риск дренирования в позвоночный канал цемента на основе ПММА, в этом случае предпочтителен разработанный способ фиксации позвоночно-двигательного сегмента позвоночника, основанный на применении костной крошки.

9. Если планируется ревизионное вмешательство по поводу нестабильности фиксатора, следует помнить, что дестабилизация может повториться, следовательно, следует избегать решений, которые затруднили бы повторное ревизионное вмешательство (бикортикальная установка и применение расширяющихся имплантатов). Для достижения результата целесообразно применить одновременно несколько технических решений для достижения суммационного эффекта. Биомеханический эффект может быть достигнут за счет реконструкции передней опорной колонны и применения промежуточной фиксации. Разработанный способ аугментации позвонков с применением костной крошки может применяться для восстановления опороспособности ножек позвонков. Обеспечение костного блока может быть достигнуто путем аутологичной костной пластики, имплантируя аутотрансплантат в межпозвонковые промежутки рядом с ранее установленными имплантатами. У пациентов с нарушением костной плотности целесообразно добиваться циркумферентного спондилодеза, поскольку дополнительный задний костный блок снижает риск развития нестабильности имплантатов.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России:

1. Техника перкутанного артродеза дугоотростчатых суставов в хирургическом лечении дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника / А. А. Булкин, А. Е. Боков, С. Г. Млявых [и др.] // *Нейрохирургия*. – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 29–36.

2. Открытые и минимально-инвазивные технологии в хирургическом лечении стабильных симптоматических стенозов поясничного отдела позвоночника / С. Г. Млявых, А. Е. Боков, А. Я. Алейник [и др.] // *Современные технологии в медицине*. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 135–145.

3. Факторы, влияющие на стабильность транспедикулярной фиксации у

пациентов с нестабильными повреждениями поясничного отдела позвоночника и переходной грудопоясничной области / А. Е. Боков, С. Г. Млявых, И. С. Братцев [и др.] // Инновационная медицина Кубани. – 2020. – Т. 19, № 3. – С. 12–19.

4. Аугментация транспедикулярных винтов с применением костной пластики у пациентов с остеопорозом / А. Е. Боков, А. А. Булкин, И. С. Братцев [и др.] // Современные технологии в медицине. – 2021. – Т. 13, № 5. – С. 6–12.

5. Сравнительный анализ результатов применения прямого латерального и трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза у пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника / А. Е. Боков, А. А. Булкин, С. Я. Калинина [и др.] // Инновационная медицина Кубани. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 12–18.

6. Булкин, А. А. Факторы, влияющие на формирование костного блока у пациентов с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника / А. А. Булкин, А. Е. Боков, С. Г. Млявых // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А. Л. Поленова. – 2019. – Т. 11, № 2. – С. 12–16.

7. Проблема несоответствий между результатами компьютерной томографии и двухэнергетической рентгеновской денситометрии / А. Е. Боков, С. Г. Млявых, А. А. Булкин [и др.] // Инновационная медицина Кубани. – 2019. – Т. 16, № 4. – С. 12–17.

8. Факторы риска нарушения стабильности транспедикулярной фиксации у пациентов с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника / А. Е. Боков, С. Г. Млявых, А. Я. Алейник [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. – 2016. – Т. 15, № 2. – С. 13–19.

9. Лёгочная цементная эмболия при перкутанной вертебропластике и транспедикулярной фиксации с установкой винтов на костный цемент: возможные факторы риска. / А. Е. Боков, С. Г. Млявых, А. Я. Алейник [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2016. – Т. 13, № 1. – С. 67–71.

10. Анализ межэкспертной согласованности при работе с классификацией AOSpine (TLCS, 2013): наш опыт, вопросы и противоречия / А. В. Дыдыкин, К.

С. Яшин, А. Е. Боков [и др.] // Хирургия позвоночника. – 2019. – Т. 16, № 4. – С. 13–20.

11. Факторы риска дренирования цемента в позвоночный канал при пункционной вертебропластике / А. Е. Боков, С. Г. Млявых, А. Я. Алейник [и др.] // Хирургия позвоночника – 2015. – Т. 12, № 4. – С. 25–29.

12. Прогностическая значимость костной плотности, определенной при компьютерной томографии, в отношении низкоэнергетических переломов / А. Е. Боков, С. Г. Млявых, Алейник А.Я. [и др.] // Медицинская визуализация. – 2015. – № 3. – С. 94–98.

13. Клинико-рентгенологические корреляции (по данным компьютерной томографии) ц пациентов с дегенеративным поясничным стенозом позвоночника / С. Г. Млявых, А. Я. Алейник, А. Е. Боков [и др.] // Медицинская визуализация. – 2017. – Т. 21, № 5. – С. 124–130.

Патенты:

1. Патент № 195 876 РФ, МПК А61В 17/70. Педикулярный винт: № 2019142325: заявл. 18.12.2019: опубл. 07.02.2020 / Млявых С. Г., Боков А. Е.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ВИП Технологии» // Федеральный институт промышленной собственности: [сайт]. – URL: <https://www1.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=8e973b841bdcf1b8cb1c84b0767b8e3d> (дата обращения: 22.06.2022).

2. Патент № 2 663 940 РФ, МПК А61В 17/56. Способ стабилизации позвоночно-двигательного сегмента транспедикулярным инструментарием у пациентов с остеопорозом позвоночника : № 2017121459 : заявл. 19.06.2017 : опубл. 13.08.2018 / Боков А. Е., Млявых С. Г., Алейник А. Я. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России // Федеральный институт промышленной собственности : [сайт]. – URL: <https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2663940> (дата обращения: 22.06.2022).

3. Патент № 2 645 418 РФ, МПК А61В 17/56 СПК А61В 17/56. Способ минимально инвазивной стабилизации позвоночно-двигательного сегмента на уровне поясничного отдела позвоночника: № 2017114840: заявл. 26.04.2017:

опубл. 21.02.2018 / Боков А. Е., Млявых С. Г., Алейник А. Я., Булкин А. А.; заявитель федеральное государственное бюджетное учреждение «Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации // Федеральный институт промышленной собственности: [сайт]. – URL: <https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2645418> (дата обращения: 22.06.2022).

4. Патент № 2 720 709 РФ, МПК А61В 17/02, А61В 17/70 СПК А61В 17/0218. Способ доступа к структурам различных отделов позвоночника и устройство для его осуществления: № 2019126261: заявл. 20.08.2019: опубл. 12.05.2020 / Млявых С. Г., Боков А. Е., Алейник А. Я.; заявитель ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России // Федеральный институт промышленной собственности: [сайт]. – URL: <https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2720709> (дата обращения: 22.06.2022).

5. Патент № 2 742 593 РФ, МПК А61В 17/70, СПК А61В 17/70. Способ стабилизации позвоночно-двигательного сегмента минимально инвазивным транспедикулярным инструментарием у пациентов с остеопорозом позвоночника: № 2020120153: заявл. 18.06.2020: опубл. 08.02.2021 / Боков А. Е., Млявых С. Г., Братцев И. С.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ВИП Технологии» // Федеральный институт промышленной собственности: [сайт]. – URL: <https://www1.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=3f087daa72b7923422284cb12663001c> (дата обращения: 22.06.2022).

Публикации в журналах, входящих в базы Web of Science, Scopus:

1. Implant related complications in patients operated on with expandable pedicle screws and technical solutions for revision surgery / A. Bokov, A. Bulkin, S. Mlyavykh [et al.] // Australasian Medical Journal. – 2018. – Vol. 11. – № 8. – P. 443–447.

2. The Potential Impact of Venobasillar System Morphology and Applied Technique on Epidural Cement Leakage with Percutaneous Vertebroplasty / A. Bokov, S. Mlyavykh, A. Aleynik [et al.] // Pain physician. – 2016. – Vol. 19, № 6 – P. 357–362.

3. Pedicle Screws Loosening in Patients With Degenerative Diseases of the

Lumbar Spine: Potential Risk Factors and Relative Contribution / A. Bokov, A. Bulkin, A. Aleynik [et al.] // *Global Spine Journal*. – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. 55–61.

4. The relationship between Computed Tomography and DXA results: A potential bias in Bone Mineral Density assessment / A. Bokov, S. Mlyavykh, A. Aleynik [et al.] // *Australasian Medical Journal*. – 2017. – Vol. 10, № 6. – P. 460–465.

5. Potential contribution of pedicle screw design to loosening rate in patients with degenerative diseases of the lumbar spine: An observational study / A. Bokov, S. Pavlova, A. Bulkin [et al.] // *World Journal of Orthopedics*. – 2021. – Vol. 12, № 5. – P. 310–319.

6. Circumferential Fusion Employing Transforaminal vs. Direct Lateral Lumbar Interbody Fusion-A Potential Impact on Implants Stability / A. Bokov, S. Kalinina, A. Leontev [et al.]. – DOI: 10.3389/fsurg.2022.827999 // *Frontiers in Surgery*. – 2022. – Vol. 9. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9150499/pdf/fsurg-09-827999.pdf>

Прочие публикации:

1. The Risk of Low Energy Vertebral Body Compression Fracture Can be Predicted by CT Hounsfield Units / A. Bokov, M. Rasteryaeva, A. Aleynik [et al.] // *Global Spine Journal*. – 2015. – Vol. 5, issue 1_suppl. – P. s-0035-1554395.

2. Bokov A. The Specific Features of Logistic Regression Curves That Can be Used for Classification of Cases and Decision-Making / A. Bokov // *Global Spine Journal*. – 2015. – Vol. 5, issue 1_suppl. – P. s-0035-1554354.

3. The risk factors of pedicle screws loosening after spinal instrumentations / A. Bokov, S. Mlyavykh, M. Rasteryaeva, A. Aleynik // *Global Spine Journal*. – 2015. – Vol. 5, issue 1_suppl. – P. s-0035-1554279.

4. Bone Quality of Lumbar Spine Assessment Using Dual Emission X-ray Absorptiometry-a Potentially Misleading Results / A. Bokov, S. Mlyavykh, A. Aleynik, T. Malysheva // *Global Spine Journal*. – 2017. – Vol. 7, issue 2_suppl. – P. 71S.

5. Factors that Impact Pedicle Screws Stability in Patients with Degenerative

Diseases of Lumbar Spine / A. E. Bokov, S. G. Mlyavykh, A. Y. Aleinik, M. Kutlaeva // Global Spine Journal. – 2017. – Vol. 7, issue 2_suppl. – P. 56S.

6. Mlyavykh S. Do Computed Tomography (CT) Imaging Parameters Correlate with Clinical Forms in Patients with Symptomatic Lumbar Spinal Stenosis (SLSS)? / S. Mlyavykh, A. Aleynik, A. Bokov // Global Spine Journal. – 2017. – Vol. 7, issue 2_suppl. – P. 276–277S.

7. A Comparative Analysis of Less Invasive Interventions Applying Paraspinal Approach and Endoscopic Assistance versus Conventional Open Instrumentations for Lumbar and Thoracolumbar Spine Trauma / A. Gribanov, I. Litvinov, V. Kluchevskiy, A. Bokov // Global Spine Journal. – 2017. – Vol. 7, issue 2_suppl. – P. 348–349S.

8. Factors That Influence the Rate of Pedicle Screw System Failure in Patients With Traumatic Injuries of a Lumbar Spine and Thoracolumbar Junction / A. Bokov, S. Mlyavykh, A. Bulkin, M. Rasteryaeva // Global Spine Journal. – 2018. – Vol. 8, issue 1_suppl. – P. 46–47S.

9. A Potential Influence of a Screw Design on Loosening Rate in Patients With Degenerative Diseases of a Lumbar Spine / A. Bokov, A. Bulkin, S. Mlyavykh [et al.] // Global Spine Journal. – 2018. – Vol. 8, issue 1_suppl. – P. 100–101S.

10. Алейник А. Я. Сравнение клинических и рентгенологических результатов лордозизирующего трансфораминального и латерального поясничного межтелового спондилодеза / А. Я. Алейник, С. Г. Млявых, А. Е. Боков // X съезд ассоциации хирургов-вертебрологов (RASS): материалы съезда (Москва, 30 мая – 01 июня 2019 г.) - Москва : [б. и.], 2019. – С. 16.

11. Булкин А. А. Эффективность и перспектива применения технологии перкутанного артродеза дугоотростчатых суставов для лечения дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника / А. А. Булкин, А. Е. Боков, С. Г. Млявых // X съезд ассоциации хирургов-вертебрологов (RASS): материалы съезда (Москва, 30 мая – 01 июня 2019 г.) - Москва : [б. и.], 2019. – С. 30.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ALIF - anterior lumbar interbody fusion

ANCOVA - analysis of covariance

AO - Arbeitsgemeinschaft for Osteosynthesefragen / Association for the Study of Internal Fixation

ASIA - The American Spinal Injury Association

CI - confidence interval

DLIF - direct lateral interbody fusion

HU - Hounsfield Unit

LL - lumbar lordosis

PI - pelvic incidence

SVA - sagittal vertical axis

ВАШ - визуально-аналоговая шкала боли

КТ - компьютерная томография

МКБ - международная классификация болезней

МРТ - магнитно-резонансная томография

ПММА - полиметилметакрилат