

АГАНЕСОВ
НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПОЗВОНОЧНО-ТАЗОВАЯ ФИКСАЦИЯ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНО-
НЕСТАБИЛЬНЫХ ЗАСТАРЕЛЫХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ ТАЗОВОГО
КОЛЬЦА**

3.1.8. – Травматология и ортопедия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации
на соискание учёной степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Научный руководитель:

Кулешов Александр Алексеевич, доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Александр Кайсинович Дулаев, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии.

Слияков Леонид Юрьевич, доктор медицинских наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф.

Ведущая организация:

Государственное автономное учреждение здравоохранения Свердловской области «Центр специализированных видов медицинской помощи «Уральский институт травматологии и ортопедии имени В.Д. Чаклина»

Защита диссертации состоится «___» _____ 2023 года на заседании диссертационного совета 21.1.041.01 на базе ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России по адресу: 127299, г. Москва, ул. Приорова, дом 10.

С диссертацией можно ознакомиться в научном отделе ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России (127299, г. Москва, ул. Приорова, дом 10.) и на сайте <https://www.cito-priorov.ru/>

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.м.н.

Аркадий Иванович Казьмин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Тазовое кольцо представляет собой замкнутое костное пространство, которое защищает внутренние органы, служит опорой для позвоночника, соединяет нижние конечности с туловищем и поддерживает массу верхней части тела. Повреждения тазового кольца напрямую связаны с высокоэнергетической травмой. Среди всех повреждений тазового кольца 45% случаев приходится на задние отделы (Kim MY с соавт. 2001). Заднее полукольцо таза состоит из крестца, крестцово-подвздошных сочленений с его связками и задних отделов подвздошных костей. В крестцовом канале проходят крестцовые нервы, которые выходят через передние и задние крестцовые отверстия. Нарушение функции тазовых органов, сексуальная дисфункция, нарушения чувствительности и двигательных функций являются тяжёлыми осложнениями, связанными с повреждением крестцовых нервных корешков у пациентов с переломами крестца (Martin CT с соавт. 2011).

Первые попытки хирургического лечения нестабильных оскольчатых переломов крестца ограничивались крестцовой ламинэктомией с целью декомпрессии невралгических структур (Roy-Camille R с соавт. 1985). Однако повреждения с нестабильностью тазового кольца или позвоночно-тазовой диссоциацией должны быть стабилизированы (S. Samuel Bederman с соавт. 2014). Таким образом, появилось множество публикаций об использовании различных методов фиксации (M. A. Konig с соавт. 2012). В виду возможности ранней вертикализации, функциональные результаты хирургического лечения опережают результаты консервативного (Bellabarba C. с соавт. 2006).

В 80-х годах прошлого века появилась методика позвоночно-тазовой фиксации (Gau YL с соавт. 1991). С того времени методика значительно изменилась. На сегодняшний день наиболее широко используется 2 метода фиксации – при помощи подвздошных и S₂A1 винтов; обе техники предлагают сопоставимые биомеханическую стабильность и частоту костного сращения

(Mostafa H. El Dafrawy с соавт. 2019). Методика позвоночно-тазовой фиксации активно применяется для оперативного лечения ротационно и вертикально нестабильных повреждений тазового кольца, а также двусторонних разрывов крестцово-подвздошных сочленений, поперечных переломов крестца в зоне Denis III, которые R. T. Bents с соавторами объединили в синдром травматической позвоночно-тазовой диссоциации (Soultanis K. с соавт. 2011). Особенности данных повреждений является высокая частота несвоевременной диагностики (до 30%) и неврологических осложнений (до 98%), значительный процент инвалидизации пациентов (Гильфанов С.И. с соавт. 2009).

Лечение пациентов с застарелыми повреждениями и посттравматическим деформациями таза имеет отдельную сложность. По данным литературы при застарелых повреждениях тазового кольца применяют двухэтапное оперативное лечение: вначале с помощью чрескостного аппарата внешней фиксации производят закрытое восстановление формы тазового кольца, а затем выполняют внутреннюю подвздошно-крестцовую фиксацию вправленных сегментов таза при помощи канюлированных винтов при продолжающейся фиксации аппаратом.

До настоящего времени методика позвоночно-тазовой фиксации в случаях лечения застарелых переломов тазового кольца (в том числе и с вертикальным смещением гемипельвиса) окончательно не изучена и нуждается в систематизации и дальнейшей отработке. До сих пор не решены следующие вопросы: выбор метода хирургического лечения при застарелых повреждениях тазового кольца; показания к оперативному лечению; не разработан алгоритм отбора пациентов; не определенообъем оперативного вмешательства в зависимости от характера линии перелома, что доказывает актуальность выполняемой научной работы

Цель исследования: улучшить результаты хирургического лечения пациентов с застарелым вертикально-нестабильным повреждением тазового кольца.

Задачи исследования

1. Разработать способ репозиции и стабилизации застарелого продольного перелома крестца с вертикальным смещением половины таза более 20 мм.

2. Биомеханически проанализировать стабильность используемых нами вариантов позвоночно-тазовой фиксации продольного перелома крестца методом конечных элементов.

3. Изучить отдаленные результаты оперативного лечения пациентов с застарелым вертикально-нестабильным повреждением тазового кольца.

4. Разработать алгоритм лечения застарелых вертикально-нестабильных повреждений тазового кольца.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

– разработан подход к оперативному лечению застарелых вертикально-нестабильных повреждений тазового кольца вертикальным смещением половины таза III степени с применением методики позвоночно-тазовой фиксации;

– на основании ретроспективного исследования изучаемых групп пациентов разработан лечебно-диагностический алгоритм;

– биомеханически проанализирована стабильность современных используемых вариантов позвоночно-тазовой фиксации с помощью метода конечных элементов: по данным анализа методом конечных элементов наиболее стабилен вариант с применением L-образного стержня;

– разработан новый способ позвоночно-тазовой фиксации вертикально-нестабильного повреждения тазового кольца с возможностью устранения вертикального смещения и компрессии в области перелома.

Практическая значимость

1. На основании полученных данных обоснована целесообразность выполнения позвоночно-тазовой фиксации при застарелых вертикально-нестабильных повреждениях тазового кольца.

2. Разработана стабильная система позвоночно-тазовой фиксации, позволяющая устранить вертикальное смещение заднего полукольца таза с

возможностью осуществления компрессии в области перелома.

3. Проанализированы возможные осложнения позвоночно-тазовой фиксации и предложены способы лечения этих осложнений.

Положения, выносимые на защиту

1. При застарелых вертикально-нестабильных повреждениях тазового кольца с асимметрией тазобедренных суставов I-II степени целесообразно использование минимально инвазивных методик фиксации тазового кольца.

2. При застарелых вертикально-нестабильных повреждениях тазового кольца с асимметрией тазобедренных суставов III степени требуется выполнение открытой репозиции гемипельвиса с выполнением позвоночно-тазовой фиксации.

Внедрение результатов исследования

Результаты исследования внедрены:

– в ГБУЗ города Москвы «Городская клиническая больница имени А. К. Ерамишанцева департамента здравоохранения города Москвы»;

– в Образовательно-научном институте наноструктур и биосистем Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского.

А также используются при чтении лекций и проведении практических занятий на кафедре травматологии и ортопедии ФГБУ НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова МЗ РФ.

Апробация работы

Основные положения диссертации доложены на следующих конференциях: XI съезд Российской Ассоциации хирургов-вертебрологов (RASS) (03 июня 2021 года, г. Нижний Новгород); Евразийский ортопедический форум (25 июня 2021 года, г. Москва); Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100- летию академика РАН Гавриила Абрамовича Илизарова (18 сентября 2021 года, г. Дербент); Цивьяновские чтения (03–04 декабря 2021 года, г. Новосибирск); Научно-практическая

конференция «Актуальные вопросы, достижения и нерешённые проблемы современной травматологии и ортопедии», посвященная 10-летию юбилею ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России (8–9 сентября 2022 года, г. Смоленск); XII Всероссийский Съезд травматологов-ортопедов (1–3 декабря 2022 года, г. Москва); XII съезд Российской Ассоциации хирургов-вертебрологов (RASS) (24–27 мая 2023, г. Москва) – победа в конкурсе молодых ученых.

Публикация результатов исследования

По теме диссертации опубликованы 11 научных работ, из них 7 статей в журналах, включенных в перечень научных и научно-технических изданий Высшей аттестационной комиссией Российской Федерации, 1 патент РФ №2784945.

Личный вклад соискателя

Автором проведено рентгенологическое обследование всех пациентов с застарелым вертикально-нестабильным повреждением тазового кольца. Также проведено клиническое обследование всех пациентов с последующим наблюдением в ближайшие и отдаленные сроки, хирургическое лечение проведено с личным участием автора у более 70% больных. Автором разработана методика репозиции и фиксации застарелых вертикально-нестабильных повреждений тазового кольца с вертикальным смещением половины таза более 20 мм. Автор участвовал в экспериментальном биомеханическом исследовании.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 3.1.8 –травматология и ортопедия («медицинские науки») и областям исследования п. 1 «Изучение этиологии, патогенеза и распространенности заболеваний опорно-двигательной системы» и п. 3 «Разработка и усовершенствование методов диагностики и профилактики заболеваний и повреждений опорно-двигательной системы». Травматология и ортопедия – область науки, занимающаяся методами диагностики, лечения и профилактики повреждений, их последствий, врожденных

и приобретенных заболеваний опорно-двигательной системы (позвоночника, грудной клетки и конечностей)

Достоверность полученных результатов

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается репрезентативной выборкой пациентов, объем которой достаточен для проведения исследования. В работе используются современные методы исследования, которые соответствуют поставленным в работе целям и задачам. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, подкреплены убедительными фактическими данными. Подготовка, анализ и интерпретация полученных результатов проведены с использованием современных методов обработки информации и статистического анализа. Тщательный и всесторонний анализ клинического материала, сопоставимость анализируемых групп с использованием стандартизованной оценки данных, современные методы статистической обработки результатов, длительное время наблюдения свидетельствуют о достоверности полученных результатов ($p < 0,05$).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении освещена актуальность темы, определена цель и задачи для ее достижения. Изложена научная новизна и практическая значимость исследования, освещены положения, выносимые на защиту, представлены сведения о реализации и апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе «Обзор литературы» выполнен анализ данных отечественных и зарубежных публикаций, имеющихся в англо- и русскоязычных информационных базах данных PubMed, Clinical Key, Cochrane Library, E-library, Google scholar по вопросу застарелых вертикально-нестабильных повреждений тазового кольца.

Подробно освещены все современные классификации повреждений крестца и тазового кольца, описаны их методы диагностики.

Перечислены и подробно описаны методы оперативного лечения свежих и застарелых вертикально-нестабильных повреждений тазового кольца и их осложнения и результаты.

Во второй главе «Материал и методы исследования» представлены и охарактеризованы клинический материал и методы исследования.

Под наблюдением находились 58 пациентов, поступивших в ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н. Н. Приорова» Минздрава России с застарелым вертикально-нестабильным повреждением тазового кольца в период с 2017 по 2023 гг. 34 (58,6%) пациента были мужского пола, 24 (41,4%) пациента – женского. Средний возраст пациентов составил 37,7 лет (от 14 до 65 лет). В трудоспособном возрасте (до 65 лет) находилось 97% пострадавших.

Обстоятельства получения травм были следующие: кататравма (падение с высоты) – у 27 (46,6%), дорожно-транспортные происшествия (ДТП) – у 25 (43%), травмы от сдавления – у 6 (10,4%) человек.

Основным критерием включения в исследование было наличие вертикально-нестабильного повреждения заднего полукольца таза. Большая часть приходилась

на продольные переломы крестца. У всех пациентов (100%) повреждения были полифокальными, то есть сочетались с повреждениями переднего полукольца таза. Структура повреждений таза отражена в Таблице 1.

Таблица 1 – Данные о структуре повреждений и локализации переломов костей таза

Количество больных	Виды повреждений заднего полукольца таза					
	Продольные переломы крестца (Denis)			Комбинированные переломы крестца		Разрыв крестцово- подвздошного сустава
	Зона 1	Зона 2	Зона 3	U- образные	H- образные	
58	34	3	2	3	7	9

У всех пациентов (100%) повреждения тазового кольца были застарелыми. Распределение сроков оперативного лечения по степени давности с момента травмы отражены в Таблице 2.

Таблица 2 – Распределение пациентов по давности повреждения по Черкес-Заде

Несвежие повреждения (10–14 дней)	12
Застарелые повреждения давностью 3–6 недель	18
Застарелые повреждения давностью свыше 6 недель	28
Всего	58

Весь клинический материал (58 пациентов с застарелым вертикально-нестабильным повреждением тазового кольца) был разделён на две группы по степени асимметрии тазобедренных суставов.

Группа 1 – 31 пациент с асимметрией ТБС I степени (до 5 мм) и II степени (6–20 мм), которым выполняли закрытую репозицию заднего полукольца таза и илиосакральное блокирование канюлированными винтами.

Критериями включения в группу 1 являлись:

- нестабильное застарелое повреждение заднего полукольца таза;
- наличие вертикального смещения перелома крестца не более 20 мм.

Критериями невключения являлись:

- стабильная посттравматическая деформация тазового кольца.
- сопутствующие соматические заболевания, являющиеся противопоказанием проведению оперативного лечения.

Группа 2 – 27 пациентов с асимметрией ТБС III степени (более 20 мм), которым выполняли открытую репозицию заднего полукольца таза и двустороннюю позвоночно-тазовую фиксацию. Пациенты данной группы были разделены по компоновке конструкции на три подгруппы: подгруппа А (двусторонняя позвоночно-тазовая фиксация с параллельными несоединёнными друг с другом стержнями, $n = 13$); подгруппа Б (двусторонняя позвоночно-тазовая фиксация с дополнительно установленным по перечным коннектором между стержнями, $n = 7$); подгруппа В (двусторонняя позвоночно-тазовая фиксация с применением L-образного стержня, $n = 7$).

Критериями включения в группу 2 являлись:

- нестабильное застарелое повреждение заднего полукольца таза;
- наличие вертикального смещения перелома крестца более 20 мм.

Критериями невключения являлись:

- стабильная посттравматическая деформация тазового кольца;
- сопутствующие соматические заболевания, являющиеся противопоказанием проведению оперативного лечения.

У всех пациентов оценивали жалобы, устанавливали обстоятельства и механизм травмы, а также проводили сбор необходимых данных о возрасте, профессии, состоянии здоровья, перенесенных и сопутствующих заболеваниях и травмах, повышенной чувствительности к лекарственным препаратам, наследственности и другие. При обращении жалобы на боли и нестабильность в области тазового кольца предъявляли все пациенты. Ведущими

неврологическими проявлениями у оперированных пациентов были синдромы люмбагии, радикулярной компрессии нарушения функции тазовых органов.

Во всех случаях проводилась обзорная рентгенография таза (стационарный аппарат Philips DUO Diagnost) и две косые проекции тазового кольца с направлением луча во вход в малый таз (каудальная проекция) и в противоположном направлении (краниальная проекция).

Все пациенты обследовались на два вида нестабильности тазового кольца: горизонтальную нестабильность (неустойчивость таза в сагиттальной плоскости) и вертикальную (неустойчивость таза в вертикальном направлении). Определение вида нестабильности проводилось с помощью рентгенофункционального исследования тазового кольца: горизонтальную нестабильность по Т. А. Ревенко (1986 г.), вертикальную – по Е. В. Чемберлену (1930 г.).

Для более четкой верификации повреждения тазового кольца, особенно задних его отделов, всем пациентам была произведена КТ-таза (спиральный компьютерный томограф Philips CT Aura). У 26% (15 пациентов) формировали твердотельную STL 3D модель костей таза и поясничного отдела позвоночника с отображением всех пораженных костных анатомических структур и аномалий, представляющих интерес при предоперационном исследовании. По данным STL модели формировали G-код, с использованием которого выполняли на FDM принтере печать модели таза и поясничного отдела позвоночника пациента в масштабе 1:1. Для определения степени повреждения невральных структур, оценки их компрессии костными отломками всем пациентам была использована МРТ (томограф Signa[®]Exite[™]HD), что было важно для планирования объема оперативного вмешательства.

Таким образом, комплекс рентгенологических и МРТ признаков позволил нам провести качественный анализ травматических повреждений тазового кольца и выработать тактическую схему необходимой хирургической коррекции поврежденных структур для восстановления основной функции тазового кольца.

Для оценки результатов лечения мы использовали систему функциональной оценки по Majeed (1989).

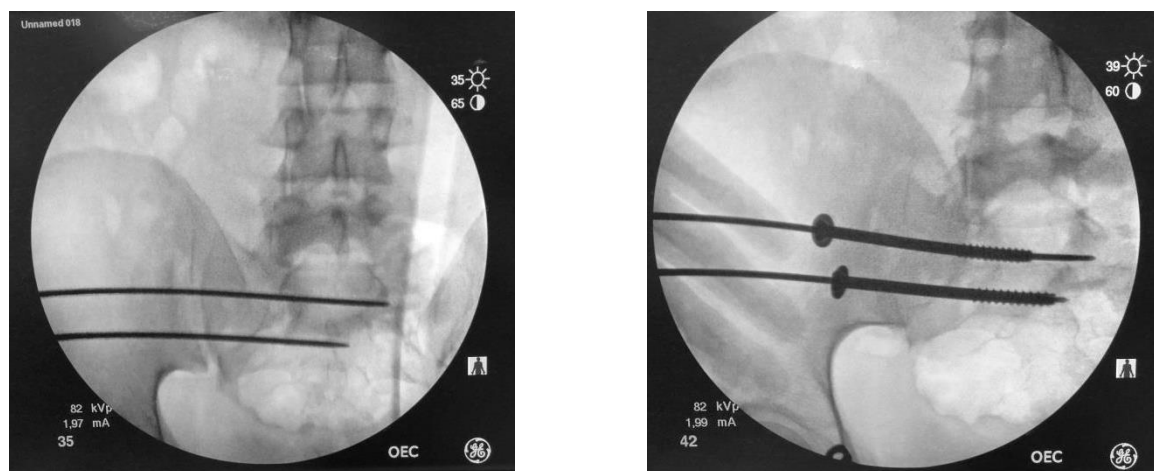
31 пациенту группы 1 выполняли **закрытую репозицию и илиосакральное блокирование канюлированными винтами.**

Введение илиосакрального винта проводили «после максимального устранения передне-заднего и вертикального смещений с помощью вытяжения, аппарата внешней фиксации или ортопедического стола. Через прокол в коже вводили от одного до трех винтов на уровне $S_1 - S_2$ позвонков. Использовали полнорезьбовые и неполнорезьбовые канюлированные винты диаметром 7 и 7,3 мм и спонгиозные неполнорезьбовые винты 6,5 мм.

Электронно-оптический преобразователь располагали перпендикулярно операционному столу со стороны, противоположной стороне введения винта, таким образом, чтобы при поворотах путём наклона дуги излучателя до угла 45° соответственно в краниальном и в каудальном направлениях ось вращения соответствовала оси проведения винта. На проекции inlet («вход в малый таз», краниальный наклон излучателя 45°) визуализировали позвоночный канал крестца, переднюю изаднюю границу тела S_1 и S_2 позвонков. На прямой проекции и проекции outlet (каудальный наклон излучателя 45°) отмечали верхнюю поверхность крестца и крестцовые отверстия для того, чтобы избежать повреждения мягкотканых структур.

Выбор точки ввода и направления введения винта осуществляли с помощью спиц-меток, которые укладывали на кожу пациента перпендикулярно его продольной оси. Верхняя спица-метка проецировалась на тело позвонка в проекции inlet, нижняя спица – в проекции outlet, средняя спица – в прямой проекции. После правильного расположения спиц раствором бриллиантовой зелени проводили линии на боковой поверхности таза от спиц-меток параллельно лучу электронно-оптического преобразователя в соответствующих проекциях. Винты вводили на пересечении этих линий через подвздошную кость в крестец.

При введении спицы хирург ощущал прохождение плотных и неплотных участков кости. Первое уплотнение – это точка входа в подвздошную кость, второе – при выходе в крестцово-подвздошное сочленение, прохождение которого ощущалась в виде провала. Затем – компактный слой при входе в крестец, далее более мягкие структуры боковой массы крестца и снова уплотнение при входе в тело позвонка. На завершающем этапе проводили сначала рассверливание канала канюлированным сверлом по направляющей спице, а затем вводили канюлированный винт (Рисунок 1).



А

Б

Рисунок 1 – Илиосакральное блокирование. А – проведение направляющих спиц в «безопасные коридоры» S1 и S2; Б – введение канюлированных винтов по направляющим спицам.

Для устранения вертикальных смещений более 20 мм требовалась ревизия области перелома. В нашем материале 27 пациентам группы 2 была выполнена ***открытая репозиция и двусторонняя позвоночно-тазовая фиксация.***

Выполняли при положении пациента на животе разрез кожного покрова и подкожно-жировой клетчатки по линии остистых отростков. При этом верхнюю точку разреза определяли в проекции L₃-L₄ позвонков и разрез осуществляли до уровня ниже второго крестцового позвонка с обнажением костной ткани задних отделов позвонков. Затем в тела L₄ и L₅ позвонков с обеих сторон устанавливались транспедикулярные винты, а в подвздошные кости слева и справа через боковые

массы S2 (S2A1) устанавливали тазовые винты по два с каждой стороны. Осуществляли ЭОП-контроль, оценивали корректность установки винтов. После этого выполняли ревизию области перелома, зачищали костные отломки от рубцовых тканей. При необходимости, осуществляли ламинэктомию L₅, ревизию и декомпрессию корешков конского хвоста.

Далее приступали к репозиции и фиксации перелома крестца. Репозицию и фиксацию осуществляли тремя способами с применением трёх вариантов компоновок систем позвоночно-тазовой фиксации. (Рисунок 2)

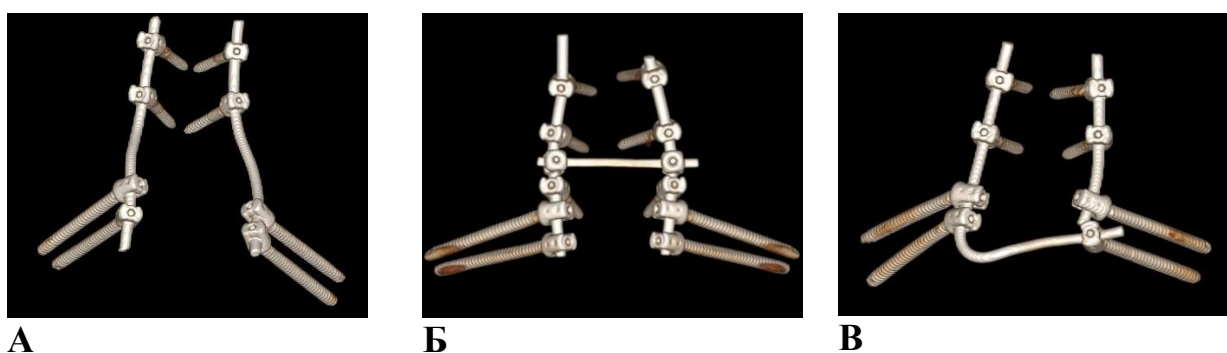


Рисунок 2 – Три варианта позвоночно-тазовой фиксации. А – вариант 1 с двумя, несоединёнными между собой, параллельными стержнями; Б – вариант двумя с параллельными стержнями, соединёнными поперечным коннектором; В – вариант 3 с L-образным стержнем.

Первый способ: стержни предварительно изгибали с учётом поясничного лордоза и устанавливали сначала первый стержень в головки винтов на стороне перелома крестца, производили предварительную фиксацию гайками. Затем проводили окончательную фиксацию гаек винтов, установленных в поясничные позвонки. С использованием дистрактора, с упором в головки поясничных и подвздошных винтов на стороне перелома крестца, перемещали головки тазовых винтов со скольжением по стержню вниз с устранением вертикального смещения перелома крестца и выполняли плотную окончательную фиксацию гаек тазовых винтов. Затем устанавливали второй стержень на стороне, противоположной от перелома, и плотно фиксировался гайками в головках винтов. Осуществляли ЭОП-контроль, оценивали репозицию отломков таза. В случае диастаза в области

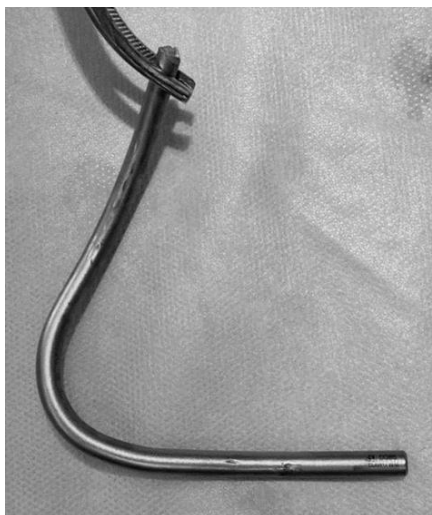
перелома осуществляли костную пластику аутотрансплантатом из гребня подвздошной кости.

Второй способ заключался в продолжении предыдущего варианта установкой *поперечного коннектора*, соединяющего стержни слева и справа. На коннекторе производилась контракция для компрессии в области вертикального перелома крестца.

Третий способ позвоночно-тазовой фиксации отличался использованием *L-образного стержня*. Первый стержень перед установкой предварительно изгибали с приданием L-образной формы так, что его вертикальная часть соответствовала поясничному лордозу, а горизонтальная часть рельефу задней поверхности крестца (Рисунок 3).

Вертикальную часть L-образного стержня жестко фиксировали в головках винтов поясничных позвонков и предварительно фиксировали в головках тазовых винтов на стороне перелома. Дистрактором с упором в головки поясничных и подвздошных винтов на стороне перелома крестца перемещали головки тазовых винтов со скольжением по стержню вниз с устранением вертикального смещения перелома крестца и выполняли плотную окончательную фиксацию гаек тазовых винтов.

Горизонтальную часть стержня, огибая крестец, предварительно не жестко фиксировали в головке нижнего тазового винта на стороне, противоположной от перелома. Контрактором прижимали головки нижних тазовых винтов, скользя по горизонтальной части L-образного стержня. Таким образом, создавали компрессию в области перелома. Выполняли окончательную фиксацию гаек. Затем устанавливали второй стержень на противоположной от перелома стороне в головки поясничных и верхнего тазового винтов, проводили его окончательную фиксацию гайками.



А



Б

Рисунок 3 – L-образный стержень. А – вид предвзогнутого стержня с учётом поясничного лордоза и рельефа задней поверхности крестца; Б – вид в ране после установки и репозиции

После репозиции и фиксации перелома крестца осуществляли гемостаз, дренирование и ушивание раны.

В третьей главе «Биомеханический анализ методов позвоночно-тазовой фиксации вертикально-нестабильных повреждений тазового кольца» выполнен биомеханический анализ прочности вариантов позвоночно-тазовой фиксации методом конечных элементов.

Основная задача при хирургическом лечении переломов крестца состоит в устранении нестабильности и восстановлении целостности тазового кольца, при этом возникает вопрос о механической надежности и прочности устанавливаемых фиксаторов и их компоновок. Для решения этого вопроса была создана трехмерная модель сегмента позвоночно-тазового комплекса (ПТК), включающая тазовые кости, крестец и позвонки L₄, L₅, на основе результатов лучевого обследования пациента без заболеваний опорно-двигательного аппарата. Затем, на созданной модели крестца был создан продольный односторонний перелом с левой стороны в зоне Denis 1. Далее моделировали четыре варианта фиксации созданного перелома: вариант 1, вариант 2, вариант 3 и вариант 4 (Рисунок 4).

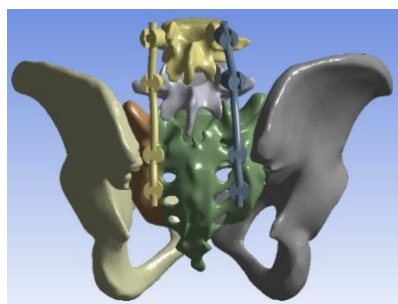
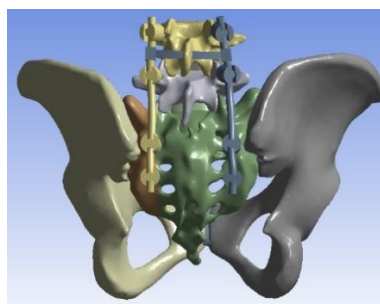
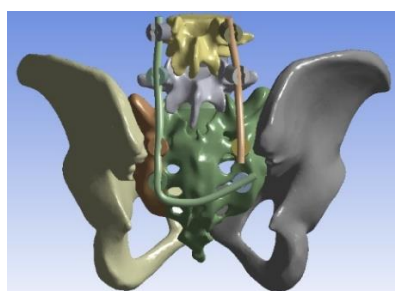
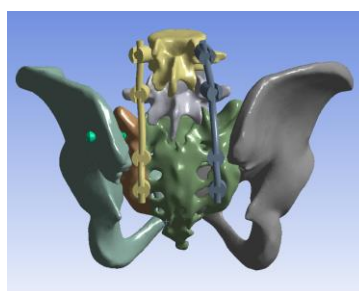
**А****Б****В****Г**

Рисунок 4 – Трехмерная модель ПТК со смоделированным продольным переломом крестца и его четыре варианта фиксации. А – вариант 1; Б – вариант 2; В – вариант 3; Г – вариант 4

Все четыре варианта были представлены транспедикулярными винтами, установленными в L_4 , L_5 позвонки с обеих сторон и тазовыми винтами, установленными через боковые массы крестца в подвздошную кость (S2A1) по два с каждой стороны.

В первом варианте конструкции в головки винтов было установлено два параллельных стрежня, не соединённых друг с другом.

Во втором варианте конструкции в головки винтов было установлено два параллельных стрежня, которые были соединены между собой с помощью поперечного коннектора.

В третьем варианте конструкции устанавливали L-образно изогнутый стержень, который своей вертикальной частью соединял между собой винты L_4 , L_5 и тазовые винты на стороне перелома, а горизонтальной частью переходил по задней поверхности крестца на противоположную от перелома сторону и устанавливали в нижний тазовый винт на противоположной от перелома стороне.

Винты L₄, L₅ и верхний тазовый винт на противоположной от перелома стороне были соединены вторым стержнем.

В четвертом варианте так же, как и в первом, в головки винтов было установлено два параллельных стрежня, не соединённых друг с другом, но дополнительно выполнено илиосакральное блокирование канюлированным винтом (триангулярная фиксация).

Далее с помощью биомеханического компьютерного моделирования осуществляли сравнительную оценку рассмотренных вариантов лечения. Определяли стабильность фиксации, а также величины нагрузок, действующих на элементы фиксации и костные ткани. Решали задачу статики механики деформируемого твердого тела о нахождении напряженно-деформированного состояния системы «сегмент ПТК – имплантаты» под действием внешних поверхностных нагрузок (силы и моменты). Поверхности вертлужных впадин жестко закреплялись, что исключало их перемещение. При моделировании было исследовано действие шести типов внешних нагрузок, описание которых представлено в Таблице 3.

Таблица 3 – Типы и величины исследованных нагрузок

Положение стоя	Наклон вперед	Наклон назад	Наклон вправо	Наклон влево	Поворот вокруг оси
Сила 600 Н	Сила 600 Н и момент 10 Н*м вокруг оси Ox	Сила 600 Н и момент -10 Н*м вокруг оси Ox	Сила 600 Н и момент -10 Н*м во- круг оси Oy	Сила 600 Н и момент 10 Н*м вокруг оси Oy	Сила 600 Н и момент 10 Н*м вокруг оси Oz

Исследованные нагрузки моделируют действие веса тела человека, а также действие мышечных сил при поворотах и вращениях тела (Рисунок 5). Следует отметить, что данная биомеханическая модель симулирует состояние костных тканей и их взаимодействие с имплантатами в момент сразу же после операции и не

предполагает исследование их длительного взаимодействия, в том числе ремоделирование костной ткани, ее адаптацию под внешние нагрузки и имплантируемые конструкции.

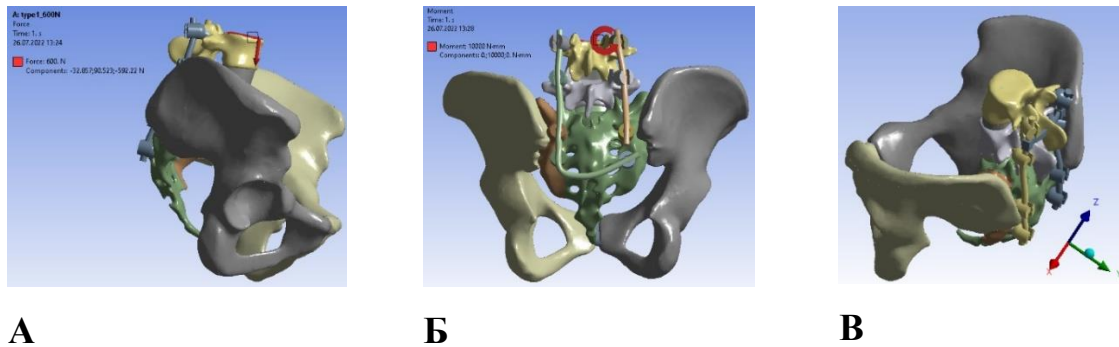


Рисунок 5 – А – нагрузка в положении стоя: по нормали к верхней замыкательной пластинке позвонка L₄ в направлении позвонка L₅; Б – нагрузка моментом величиной 10 Н*м (наклон влево); В – расположение модели относительно системы координат.

При биомеханическом моделировании все материалы считали линейно-упругими изотропными. Свойства материалов представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Механические характеристики костных тканей, межпозвонковых дисков и имплантатов

	<i>Модуль Юнга, МПа</i>	<i>Коэффициент Пуассона</i>
Межпозвонковый диск	25	0,49
Губчатая кость	100	0,3
Кортикальная кость	11 000	0,3
Имплантаты	110 000	0,3

Также учитывалось контактное взаимодействие между костными отломками, костями и имплантатами, свойства которого представлены в Таблице 5.

Таблица 5 – Контактные условия

	<i>Тип контакта</i>
Кость – кость (в месте перелома)	С трением, коэффициент трения 0.2
Кость – диск	Полный контакт без трения и проскальзывания
Кость – винт	Полный контакт без трения и проскальзывания
Винт – стержень	Полный контакт без трения и проскальзывания

При оценке успешности (стабильности и прочности) каждого из рассмотренных вариантов лечения принимались во внимание прочностные характеристики костных тканей и имплантатов, которые были взяты из литературы и сведены в Таблице 6.

Таблица 6 – Прочностные характеристики костных тканей и имплантатов

<i>Материал</i>	<i>Предел прочности, МПа</i>
Титановый сплав Ti6Al4V ELI Titanium Alloy	до 1300
Кортикальная костная ткань	до 161
Губчатая костная ткань	до 15

Стабильность фиксации оценивали перемещениями зафиксированного сегмента ПТК при внешних нагрузках, а прочность – посредством оценки внутренних усилий (эквивалентных напряжений), возникающих в позвонках, костных отломках крестца и имплантатах при исследованных нагрузках.

Таблица 7 – Максимальные полные перемещения в модели для четырех вариантов фиксации, мм

	<i>Положение стоя</i>	<i>Наклон вперед</i>	<i>Наклон назад</i>	<i>Наклон вправо</i>	<i>Наклон влево</i>	<i>Поворот вокруг оси</i>
Вариант 1	6,2	8,1	4,2	6,8	6,1	6,2
Вариант 2	4,0	5,2	2,7	4,4	3,8	4,0
Вариант 3	4,0	5,4	2,5	4,3	3,9	4,4
Вариант 4	5,8	7,8	3,7	6,0	5,8	6,3

Таблица 8 – Максимальные эквивалентные напряжения в имплантатах для четырех вариантов фиксации, Мпа

	<i>Положение стоя</i>	<i>Наклон вперед</i>	<i>Наклон назад</i>	<i>Наклон вправо</i>	<i>Наклон влево</i>	<i>Поворот вокруг оси</i>
Вариант 1	422	475	367	483	537	443
Вариант 2	326	374	275	343	404	290
Вариант 3	326	293	160	235	346	281
Вариант 4	502	607	394	424	595	403

Использование поперечного коннектора между стержнями (вариант 2) и L-образного стержня (вариант 3) существенно стабилизирует фиксацию (первый биомеханический критерий успешности) и снижает перемещения в зафиксированном сегменте. (Таблица – 7) Наибольшие перемещения в данном исследовании были получены при наклоне вперед. Первый и четвертый варианты фиксации показали схожую стабильность, существенно сниженную в сравнении со вторым и третьим вариантами.

Отметим, что в вариантах 2 и 3 в сравнении с первым вариантом существенно повышаются эквивалентные напряжения на правом нижнем винте и снижаются напряжения на левом верхнем транспедикулярном винте. Отсюда можно сделать вывод, что при увеличении жесткости конструкции посредством коннектора или L-образного стержня перераспределяется нагрузка между винтами, находящимися слева и справа от перелома. Другими словами, левый костный отломок крестца удерживается также и правой частью фиксирующей конструкции во втором и третьем вариантах лечения. В то же время, жесткости конструкции первого варианта лечения для удержания отломков оказывается недостаточно, что приводит к критическому увеличению нагрузок на конструкцию (Таблица 8). При этом наиболее нагруженным элементом системы фиксации является левый стержень. Эти выводы справедливы для всех исследованных нагрузок.

Анализ эквивалентных напряжений в имплантатах проводился для определения их наибольших значений и сравнения с пределом прочности (с коэффициентом запаса прочности, равным 3). Имплантаты изготовлены из титанового сплава, предел прочности которого составляет 1300 МПа. Таким образом, допускаемое напряжение составляет не более 433 МПа. Варианты 2 и 3 удовлетворяет критерию прочности (второй биомеханический критерий успешности). В то же время вариант 1 этому критерию не удовлетворяет при большинстве рассмотренных нагрузок. (Таблица – 8) Четвертый вариант фиксации в трех случаях нагружения также показал напряжения в имплантатах, превышающие допускаемые значения. В сравнении с третьим вариантом эквивалентные напряжения в фиксаторах при четвертом варианте оказались выше при всех исследованных нагрузках (Таблица 8).

Максимальные значения эквивалентных напряжений в костных тканях позвонков для всех вариантов лечения (кроме варианта 1) не превышают критических значений, которые могут привести к разрушению их материала – с этой точки зрения второй, третий и четвертый варианты фиксации практически эквивалентны (Таблица 8). Для всех вариантов фиксации в губчатой кости

крестца не возникает чрезмерного напряжения. Четвертый вариант фиксации существенно повышает напряжения в кортикальной кости крестца в сравнении с первыми тремя вариантами. Следует отметить, что фиксации вариантами 2 и 3 позволила добиться более низких эквивалентных напряжений в имплантатах и костных тканях при всех рассмотренных вариантах нагружения.

Можно заключить, что варианты 2 и 3 с позиций биомеханики и применения биомеханических критериев оценки успешности лечения являются успешными. В то же время, третий вариант является более предпочтительным, так как при его реализации обнаружены более низкие уровни эквивалентных напряжений в сравнении с первым и вторым вариантами.

В **четвёртой главе** «Результаты лечения вертикально-нестабильных застарелых повреждений тазового кольца» были подробно представлены результаты лечения во всех группах пациентов, приведены клинические примеры по каждой группе.

Период наблюдения за пациентами составил от 1 года до 3 лет (в среднем – 2,2 года).

У 13 (41,9%) пациентов 1-й группы с вертикальным смещением задних отделов тазового кольца менее 20 мм с помощью закрытой репозиции и илиосакрального блокирования было полностью устранено вертикальное смещение гемипельвиса; у 11 (35,5%) смещение было устранено более чем на 50%; у 7 (22,6%) репозиция гемипельвиса была менее 50%.

У 8 (29,6%) пациентов 2-й группы с помощью методики позвоночно-тазовой фиксации пациентов было полностью устранено вертикальное смещение гемипельвиса; у 12 (44,4%) смещение было устранено более чем на 50%; у 7 (30,0%) репозиция гемипельвиса была менее 50%.

В 4 (14,8%) случаях у пациентов второй группы по данным послеоперационного КТ выявлена частичная мальпозиция тазовых винтов дорсальной металлоконструкции с перфорированием наружной кортикальной стенки подвздошной кости,

не влияющая на результат операции. Ни в одном случае мальпозиция винтов не сопровождалась клиническим проявлением.

Через год после оперативного лечения консолидация перелома произошла у 23-х (74,2%) пациентов 1-й группы и 25 (92,6%) пациентов 2-й группы. Консолидация не была достигнута у 1 (3,7%) пациентки 2-й группы с вертикальным переломом крестца в зоне Denis 1, а также у 9 (33,3%) пациентов с разрывом крестцово-подвздошного сочленения, где она и не требовалась.

У всех пациентов, после оперативного лечения отмечался регресс болевого синдрома в области заднего полукольца таза, уменьшение боли и дискомфорта в положении сидя и стоя, что привело к улучшению качества жизни. У пациентов с неврологической симптоматикой, подтверждённой компрессией невралных структур данными лучевой диагностики, после открытой декомпрессии отмечалось снижение интенсивности жгучих болей, при этом не имело положительной динамики со стороны парезов и нарушений чувствительности. Все пациенты после проведенного лечения были способны самостоятельно передвигаться, самообслуживаться. Пациенты с нарушением функции тазовых органов были в дальнейшем реабилитационном лечении направлены к нейроурологу, обучены интермиттирующей катетеризации мочевого пузыря.

Отличные результаты по Majeed через год после операции были достигнуты у 4 (8,2%) больных, хорошие у 40 (81,6%), удовлетворительные – у 5 (10,2%), неудовлетворительных результатов не было. Средние результаты лечения отражены в Таблице 9.

Таблица 9 – Результаты оценки качества жизни и болевого синдрома у пациентов с застарелым вертикально-нестабильным повреждением тазового кольца

<i>Опросник</i>	<i>До операции (n = 54)</i>	<i>6 мес. после операции (n = 52)</i>	<i>1 год после операции (n = 49)</i>	<i>P value</i>
Majeed	48±6	68±8	76±12	< 0,05

У 13 (41,9%) пациентов 1-й группы с вертикальным смещением задних отделов тазового кольца менее 20 мм с помощью закрытой репозиции и илиосакрального блокирования было полностью устранено вертикальное смещение гемипельвиса; у 11 (35,5%) смещение было устранено более чем на 50%; у 7 (22,6%) репозиция гемипельвиса была менее 50% (Таблица 10).

Таблица 10 – Степень устранения вертикального смещения у больных 1-й группы

<i>Степень устранения вертикального смещения (группа № 1)</i>	<i>Количество больных, n (%)</i>
Полное устранение смещения	13 (41,9)
Устранение смещения более чем на 50%	11 (35,5)
Устранение смещения менее чем на 50%	7 (22,6)
ВСЕГО	31 (100)

При этом необходимо отметить, что устранение смещения у пациентов 1-й группы значительно более лёгкая задача, чем у пациентов 2-й группы.

У 8 (29,6%) пациентов 2-й группы с помощью методики позвоночно-тазовой фиксации было полностью устранено вертикальное смещение гемипельвиса; у 12 (44,5%) смещение было устранено более чем на 50%; у 7 (25,9%) репозиция гемипельвиса была менее 50% (Таблица 11).

Таблица 11 – Степень устранения вертикального смещения у больных 2-й группы

<i>Степень устранения вертикального смещения (группа № 2)</i>	<i>Количество больных, n (%)</i>
Полное устранение смещения	8 (29,6)
Устранение смещения более чем на 50%	12 (44,5)
Устранение смещения менее чем на 50%	7 (25,9)
ВСЕГО	27 (100)

У всех пациентов удалось выполнить стабильную фиксацию заднего полукольца таза, позволившую вертикализировать пациентов и улучшить их функциональные результаты.

Пациентам подгруппы А (13 пациентов) выполнялась позвоночно-тазовая фиксация по методике L₄-S₂Al с двумя параллельными, несоединёнными между собой стержнями. Преимуществом данной компоновки была меньшая травматизация мягких тканей и возможность установки металлофиксатора миниинвазивным способом. У 3 из 13 пациентов позвоночно-тазовая фиксация была выполнена транскутанно с целью минимизации рисков незаживления послеоперационной раны.

Пациентам подгруппы Б (7 пациентов) выполнялась позвоночно-тазовая фиксация по методике L₄-S₂Al с двумя параллельными стержнями, соединёнными между собой поперечным коннектором с целью увеличения жесткости металлоконструкции.

Пациентам подгруппы В (7 пациентов) выполнялась позвоночно-тазовая фиксация по методике L₄-S₂Al с использованием L-образно изогнутого стержня. Данный метод фиксации постепенно заменил собой метод фиксации подгруппы Б в виду более низкого профиля металлоконструкции, что облегчало ушивание послеоперационной раны. Также по результатам биомеханического анализа, проведённого в главе 3, он показал наибольшую прочность и стабильность в сравнении с остальными вариантами позвоночно-тазовой фиксации.

Осложнения оперативного лечения были типичными для подобных операций.

У 6 (19,4%) пациентов первой группы возникла нестабильность металлоконструкции в виде миграции илиосакральных винтов. У одного (3,2%) пациента 1-й группы было воспаление мягких тканей в области оперативного вмешательства на переднем полукольце таза, которое потребовало ревизионное оперативное вмешательство в виде некрэктомии и установки приточно-отточной дренажной

системы. В виду наличия глубокой инфекции потребовалось удаление металлоконструкции.

У 3 (11,1%) пациентов второй группы возникла нестабильность металлоконструкции, потребовавшая перемонтажа с выполнением костной пластики. Один случай был отмечен в подгруппе А и два случая было отмечено в подгруппе Б. Случаев нестабильности, потребовавших ревизионное оперативное вмешательство в подгруппе В не было. У 5 (18,5%) пациентов второй группы было воспаление мягких тканей в области оперативного вмешательства 4 случая в подгруппе Б и 1 случай в подгруппе В, которые потребовали ревизионное оперативное вмешательство в виде некрэктомии и установки вакуумной системы отрицательного давления (ВАК-системы). У 2 (7,4%) пациентов второй группы в виду наличия глубокой инфекции потребовалось удаление металлоконструкции.

По данным наблюдениям можно отметить, что чем больше элементов металлоконструкции установлено, тем выше риски воспаления мягких тканей в области оперативного вмешательства, при этом, конфигурация ПТФ с L-образным стержнем имеет преимущество перед конфигурацией ПТФ с поперечным коннектором по количеству воспалительных осложнений.

Сложностей с установкой стержня у пациентов второй группы, соединяющего подвздошные винты с вышележащими не отмечено, равно как и ушивания послеоперационной раны. Был отмечен один случай подкожного выпячивания головок подвздошных винтов у пациентки второй группы, по желанию пациентки после консолидации перелома через год конструкция была удалена. Жалоб и других клинических проявлений со стороны подвздошно-крестцовых сочленений не наблюдалось ни в одном случае.

В процессе работы нами был разработан алгоритм выбора способа хирургического лечения вертикально-нестабильного застарелого повреждения тазового кольца (Рисунок 6).

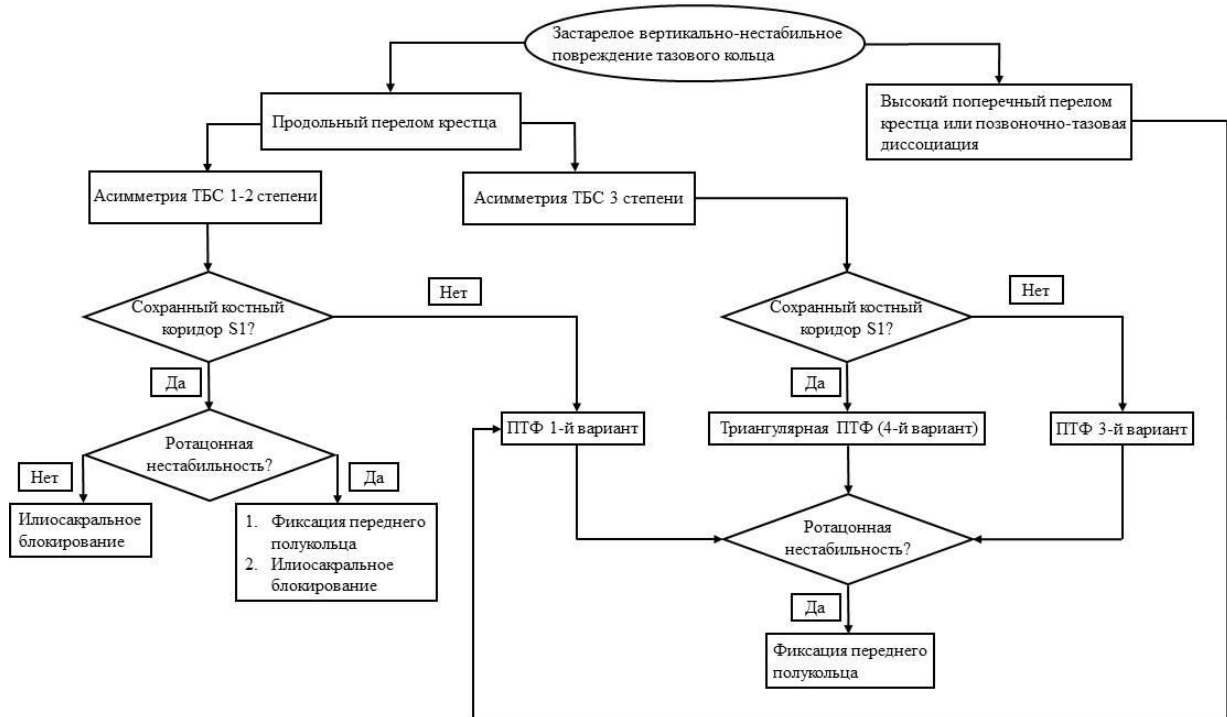


Рисунок 6 – Разработанный алгоритм выбора оптимального способа хирургического лечения вертикально-нестабильного застарелого повреждения тазового кольца в зависимости от характера повреждения заднего полукольца

ВЫВОДЫ

1. Разработан способ хирургического лечения повреждений заднего полукольца таза с вертикальным смещением с использованием позвоночно-тазовой фиксации (патент на изобретение № 2784945 от 01.12.2022), который позволяет устранить вертикальное смещение гемипельвиса и выполнить компрессию отломков таза, обеспечить стабильную фиксацию повреждённых отломков.
2. Биомеханически проанализирована стабильность вариантов позвоночно-тазовой фиксации. Предложенный вариант позвоночно-тазовой фиксации в конфигурации с L-образным стержнем является биомеханически наиболее стабильным методом остеосинтеза продольного перелома крестца, при котором максимальные эквивалентные напряжения в конструкции при исследуемых нагрузках не превышает 433 МПа (максимально допустимая нагрузка).
3. Отличные и хорошие результаты лечения вертикально-нестабильных застарелых повреждений тазового кольца по шкале Majeed через год после операции были достигнуты 89,8% больных, удовлетворительные – у 10,2%, неудовлетворительных результатов не было. У 29,6% пациентов с помощью методики позвоночно-тазовой фиксации было полностью устранено вертикальное смещение гемипельвиса; у 44,5% смещение было устранено более чем на 50%; у 25,9% репозиция гемипельвиса была менее 50%. При этом, удалось добиться снижения количества послеоперационных осложнений до 25,9% в сравнении с данными литературы (до 40–50% случаев).
4. Разработанный алгоритм позволяет выбрать оптимальный способ хирургического лечения вертикально-нестабильного застарелого повреждения тазового кольца в зависимости от характера повреждения заднего полукольца таза.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. У пациентов вертикальным смещением III степени, целесообразно предоперационное планирование с применением аддитивных технологий (изготовление индивидуального макета поясничного отдела позвоночника и таза на 3D-принтере).
2. При наличии нестабильности заднего и переднего полукольца таза во всех случаях необходимо выполнять фиксацию всего тазового кольца.
3. При наличии неврологической симптоматики, особенно связанной со жгучими нейропатическими болями и необходимо выполнять ревизию и декомпрессию невралных структур на уровне их повреждения.
4. Устранение вертикального смещения заднего полукольца таза значительно улучшает качество жизни пострадавшего от вертикально-нестабильного повреждения таза.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ветрилэ М.С., Кулешов А.А., Макаров С.Н., Лисянский И.Н., Кокорев А.И., Аганесов Н.А., Захарин В.Р. Особенности позвоночно-тазовой фиксации при деформациях и травматических повреждениях позвоночника //Вестник травматологии и ортопедии им НН Приорова. – 2021. – Т. 28. – №. 1. – С. 17-27.
2. Ветрилэ М.С., Кулешов А.А., Аганесов Н.А., Захарин В.Р. Позвоночно-тазовая фиксация: показания, анатомо-биомеханические аспекты и историческое развитие методов //Хирургия позвоночника. – 2021. – Т. 18. – №. 3. – С. 100-110.
3. Ветрилэ М.С., Кулешов А.А., Макаров С.Н., Лисянский И.Н., Аганесов, Н.А., Захарин В.Р. Позвоночно-тазовая фиксация: современные технические решения //Хирургия позвоночника. – 2021. – Т. 18. – №. 4. – С. 101-110.
4. Аганесов Н.А., Лазарев А.Ф., Кулешов А.А., Ветрилэ М.С., Лисянский И.Н.,

- Макаров С.Н., Захарин В.Р. Повреждения заднего полукольца таза: классификация, диагностика, методы лечения // Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова. - 2022. - Т. 29. - №2. - С. 205-220.
5. Загородний Н.В., Солод Э.И., Кукса Д.Н., Абдулхабирова М.А., Петровский Р.А., Аганесов Н.А., Ананьин Д.А., Джоджуа А.В., Карпович Н.И. Миниинвазивная фиксация лонного сочленения с применением транспедикулярной системы при множественных повреждениях таза // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. НИ Пирогова. – 2022. – Т. 17. – №. 2. – С. 119-124.
 6. Кулешов А.А., Аганесов Н.А., Ветрилэ М.С., Лазарев А.Ф., Гудушаури Я.Г., Солод Э.И., Лисянский И.Н., Макаров С.Н. Оперативное лечение застарелых вертикально-нестабильных повреждений тазового кольца // Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова. - 2022. - Т. 29. - №4. - С. 335-344.
 7. Кулешов А.А., Аганесов Н.А., Ветрилэ М.С., Доль А.В., Лисянский И.Н., Макаров С.Н. Биомеханический анализ вариантов позвоночно-тазовой фиксации при продольных переломах крестца методом конечных элементов // Хирургия позвоночника. – 2023. – Т. 20. – №. 1. – С. 28-35.
 8. Патент на изобретение № 2784945 Способ хирургического лечения повреждений заднего полукольца таза с вертикальным смещением с использованием позвоночно-тазовой фиксации