

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ ИМЕНИ ПАТРИСА  
ЛУМУМБЫ»

*На правах рукописи*

КАНАХИНА ЛИЯ

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МЫШЦ ПЕРЕДНЕЙ БРЮШНОЙ СТЕНКИ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА  
ПРИ ПРЕДОПЕРАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКЕ У ПАЦИЕНТОВ  
С ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОЙ ВЕНТРАЛЬНОЙ ГРЫЖЕЙ W3

3.1.9 – Хирургия

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:  
доктор медицинских наук, профессор  
Протасов Андрей Витальевич

Москва – 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                            | 5  |
| ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....                                                                                                           | 16 |
| 1.1 Распространённость и ключевые этиологические механизмы формирования послеоперационных грыж .....                                     | 16 |
| 1.1.1 Современные эпидемиологические данные .....                                                                                        | 16 |
| 1.1.2 Этиологические факторы формирования послеоперационных вентральных грыж.....                                                        | 17 |
| 1.1.3 Распространённость и частота рецидивов.....                                                                                        | 18 |
| 1.2. Классификационные подходы к оценке послеоперационных вентральных грыж.....                                                          | 19 |
| 1.2.1. Классификация SWR и Европейского общества герниологов (EHS) .....                                                                 | 19 |
| 1.2.2 Морфологическая классификация по данным компьютерной томографии.....                                                               | 23 |
| 1.2.3 Классификация по степени потери домена (loss of domain).....                                                                       | 24 |
| 1.3 Патогенез формирования вентральных грыж .....                                                                                        | 24 |
| 1.3.1 Дегенеративные изменения мышечно-апоневротического слоя и области послеоперационного рубца .....                                   | 24 |
| 1.3.2 Повышение внутрибрюшного давления и роль сопутствующих заболеваний.....                                                            | 25 |
| 1.4 Ремоделирование мышечно-апоневротического слоя при W3 послеоперационных вентральных грыжах .....                                     | 27 |
| 1.5 Современные подходы к хирургическому лечению W3 послеоперационных вентральных грыж.....                                              | 31 |
| 1.5.1 Принципы закрытия дефекта без натяжения .....                                                                                      | 31 |
| 1.5.2 Методика разделения компонентов переднебоковой стенки живота .....                                                                 | 34 |
| 1.5.3 Профилактические методы и дооперационная подготовка.....                                                                           | 35 |
| 1.6. Интраабдоминальная гипертензия и её клиническое значение .....                                                                      | 36 |
| 1.6.1 Послеоперационная интраабдоминальная гипертензия: причины и последствия.....                                                       | 36 |
| 1.6.2 Субклинические формы: концепция четвертичного абдоминального компартмент-синдрома (quaternary abdominal compartment syndrome)..... | 38 |
| 1.6.3 Методы измерения внутрибрюшного давления .....                                                                                     | 40 |

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7. Современные подходы к дооперационному прогнозированию возможности фасциального закрытия грыжевого дефекта .....                           | 42 |
| 7.1 Методы дооперационного прогноза возможности закрытия грыжевого дефекта .....                                                             | 42 |
| 8. Теоретические основы машинного обучения и текстурного анализа в медицинской визуализации.....                                             | 45 |
| 8.1 Машинное обучение: происхождение и определения .....                                                                                     | 45 |
| 8.2 Виды машинного обучения и типовые алгоритмы .....                                                                                        | 46 |
| 8.3 Текстурный анализ в медицинской визуализации: истоки, методы и клинические примеры.....                                                  | 49 |
| ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....                                                                                               | 52 |
| 2.1 Общая характеристика обследованных пациентов .....                                                                                       | 52 |
| 2.2 Комплексное дооперационное обследование пациентов с W3 послеоперационными грыжами.....                                                   | 54 |
| 2.3 КТ-абдоминометрия.....                                                                                                                   | 55 |
| 2.3.1 Исходные морфометрические параметры .....                                                                                              | 56 |
| 2.3.2 Производные морфометрические индексы .....                                                                                             | 64 |
| 2.4 Оценка состояния мышечно-апоневротического слоя переднебоковой стенки живота по данным КТ .....                                          | 65 |
| 2.5 Методы дооперационной подготовки пациентов к хирургическому лечению (методика химического релиза мышц переднебоковой стенки живота)..... | 66 |
| 2.6 Хирургический этап: выполнение герниопластики по методике Rives–Stoppa .....                                                             | 68 |
| 2.7 Машинное обучение для анализа данных и поиска признаков. ....                                                                            | 71 |
| 2.8 Текстурный анализ.....                                                                                                                   | 72 |
| 2.9 Статистический анализ.....                                                                                                               | 75 |
| ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....                                                                                            | 77 |
| 3.1 Общая характеристика исследуемых групп и данные хирургического лечения .....                                                             | 77 |
| 3.2 КТ-абдоминометрия: сравнительный анализ.....                                                                                             | 78 |
| 3.2.1 Исходные морфометрические параметры .....                                                                                              | 78 |
| 3.2.2 Производные морфометрические индексы .....                                                                                             | 82 |
| 3.3 Сравнительный анализ структуры мышечно-апоневротического слоя в трех группах .....                                                       | 84 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4 Текстуальный анализ мышечно-апоневротического слоя по данным КТ .....                                                             | 90  |
| 3.5 Анализ морфометрических параметров для предсказания проведения<br>введение БТ-А с использованием методов машинного обучения ..... | 94  |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                                                      | 100 |
| ВЫВОДЫ .....                                                                                                                          | 107 |
| ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ .....                                                                                                       | 110 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....                                                                                        | 111 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....                                                                                                               | 113 |

## ВВЕДЕНИЕ

### Актуальность темы исследования и степень ее разработанности

Послеоперационные вентральные грыжи (ПОВГ) являются одним из наиболее распространённых и социально значимых осложнений лапаротомий. Несмотря на совершенствование хирургических технологий и внедрение малоинвазивных подходов, лапаротомия остаётся широко применяемым методом доступа, особенно при экстренных вмешательствах. По различным данным, частота формирования грыжевого дефекта в области послеоперационного рубца варьирует от 10 до 30%, достигая 31% у пациентов групп риска [156]. ПОВГ могут формироваться в сроки от нескольких месяцев до нескольких лет после вмешательства: около 50% случаев выявляются в течение первых двух лет, 74% – в течение трёх лет после операции [156]. Такие грыжи существенно снижают качество жизни пациентов, увеличивают риск осложнений и требуют сложного реконструктивного лечения [17, 28, 153].

Этиология формирования ПОВГ является многофакторной. Выделяют следующие группы причин: технические (ошибки при закрытии лапаротомной раны, несостоятельность швов, неадекватный выбор шовного материала), осложнения послеоперационного периода (инфекция раны, формирование серомы, гематомы) [1, 5], локальные патофизиологические изменения в области рубца (нарушения ремоделирования внеклеточного матрикса, дисбаланс коллагена, повышенная активность матриксных металлопротеиназ) [1, 29, 106, 107], а также общие факторы, связанные с состоянием пациента. К последним относят ожирение, сахарный диабет, хронические обструктивные заболевания лёгких, состояния с повышенным внутрибрюшным давлением, онкологические и системные воспалительные заболевания [28, 153].

С патофизиологической точки зрения, формирование послеоперационных вентральных грыж связано с нарушением процесса заживления тканей переднебоковой стенки живота (ПБСЖ) (в клинической практике *передняя брюшная стенка*) и глубокой морфофункциональной перестройкой её основных

структур [17]. В области послеоперационного рубца наблюдаются дегенеративные изменения апоневроза, истончение и фиброз, сопровождающиеся латерализацией и атрофией прямой мышцы живота (*m. rectus abdominis*), а также широких мышц – наружной и внутренней косых (*m. obliquus externus*, *m. obliquus internus*) и поперечной мышцы живота (*m. transversus abdominis*). Данные изменения приводят к снижению общей прочности мышечно-апоневротического каркаса, утрате его эластичности и способности противостоять внутрибрюшному давлению. Нарушение синергии мышц и уменьшение их сократительного потенциала обуславливают несостоятельность брюшной стенки как стабилизирующего и дыхательного комплекса [17, 38]. На фоне повышенного внутрибрюшного давления эти изменения создают условия для формирования грыжевого дефекта.

Для стандартизации оценки анатомических характеристик грыжи в клинической практике используется классификация Европейского общества герниологов (EHS), согласно которой грыжи разделяются по локализации (срединные и латеральные) и ширине грыжевых ворот. Категория W3 соответствует дефектам шириной более 10 см и характеризуется высокой вероятностью несостоятельности переднебоковой стенки живота, выраженной ретракцией широких мышц и значительным снижением эластичности тканей [132]. Эти особенности обуславливают техническую сложность реконструкции и требуют особого подхода к дооперационной подготовке.

Особую клиническую значимость среди ПОВГ категории W3 представляет состояние, известное как утрата домена (*loss of domain*) – анатоμο-функциональная ситуация, при которой значительная часть внутрибрюшного содержимого длительно находится вне брюшной полости, в грыжевом мешке. Данный патологический процесс сопровождается относительным снижением объёма брюшной полости и дестабилизацией адаптационно-компенсаторных механизмов, обеспечивающих безопасную репозицию органов без значительного повышения внутрибрюшного давления. На фоне хронической латеральной ретракции мышц,

нарушения их сократительной функции и ригидности переднебоковой стенки живота формируется выраженная абдоминальная диспропорция.

Для количественной оценки степени выраженности утраты домена в клинической практике применяется индекс Tanaka [163], представляющий собой отношение объёма грыжевого мешка (*hernia sac volume*, HSV) к объёму брюшной полости (*abdominal cavity volume*, ACV), определяемое по данным компьютерной томографии. Значения HSV/ACV более 25% указывают на выраженную утрату домена и ассоциированы с высоким риском развития интраабдоминальной гипертензии (ИАГ) и абдоминального компартмент-синдрома (АКС) при дальнейшем оперативном лечении [161].

Одним из наиболее опасных осложнений репозиции значительного объёма грыжевого содержимого в брюшную полость у пациентов с утратой домена является развитие интраабдоминальной гипертензии и абдоминального компартмент-синдрома. По определению Всемирного общества по абдоминальному компартмент-синдрому (WSACS, 2006 г.) [122], ИАГ представляет собой стойкое повышение внутрибрюшного давления (ВБД)  $\geq 12$  мм рт. ст., а АКС диагностируется при стойком повышении ВБД  $\geq 20$  мм рт. ст., сопровождающемся признаками органной дисфункции или недостаточности [104]. Развитие АКС у пациентов с ПОВГ может происходить даже в отсутствие исходной гемодинамической нестабильности и системного воспаления – особенно при отсутствии адекватной дооперационной подготовки [104]. Особый клинический интерес представляет состояние, описываемое как «четвертичный синдром» (*quaternary syndrome*), возникающее у пациентов с выраженной утратой домена и ригидной передней брюшной стенкой. Указанное патологическое состояние обуславливает необходимость до - и предоперационной подготовки и персонифицированного подхода к тактике ведения таких пациентов с учётом выраженных анатомических и функциональных изменений [104].

С учётом высокой вероятности натяжения тканей при закрытии широких дефектов и риска развития абдоминального компартмент-синдрома, в последние

годы особое внимание уделяется методам дооперационной подготовки (*preoperative preparation или prehabilitation*), направленным на увеличение объема брюшной полости и растяжимости мышц переднебоковой стенки живота. Одним из таких методов является использование ботулинического токсина типа А (БТ-А) для временного фармакологического расслабления широких мышц живота [49].

При введении в наружную, внутреннюю косую и поперечную мышцы живота достигается снижение ригидности латеральных стенок, что облегчает медиализацию прямых мышц живота и способствует более безопасному закрытию грыжевого дефекта без натяжения [117, 142, 169].

В связи с этим применение БТ-А на дооперационном этапе рассматривается как перспективный способ профилактики ИАГ и АКС за счёт снижения ригидности латеральных сегментов переднебоковой стенки живота и повышения её комплаентности при репозиции органов.

Несмотря на возрастающее внимание к вопросам дооперационной подготовки пациентов с ПОВГ, в настоящее время отсутствуют единые клинические рекомендации и стандартизированные методики объективной оценки функционального состояния мышечно-апоневротического комплекса переднебоковой стенки живота [49]. Вопросы выбора пациентов, определения показаний к применению БТ-А, оптимальной дозировки препарата и сроков его введения по-прежнему остаются дискуссионными. В большинстве случаев решение о проведении дооперационной подготовки основывается на субъективной интерпретации данных визуализации и клинического опыта хирурга, что затрудняет унификацию подходов.

В этой связи актуальным направлением является внедрение алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ), способных проводить автоматизированную обработку данных компьютерной томографии, извлекать морфометрические и текстурные признаки мышц, выявлять закономерности, ассоциированные с выраженной утратой эластичности и ретракцией. Применение ИИ-анализа может



позволить объективизировать состояние мышц, повысить точность стратификации риска, стандартизировать принятие решений и персонализировать выбор стратегии дооперационной подготовки у пациентов с ПОВГ категории W3.

Учитывая выраженные морфофункциональные изменения мышечной ткани у пациентов с послеоперационными вентральными грыжами категории W3, целесообразным представляется использование алгоритмов искусственного интеллекта для комплексной оценки состояния переднебоковой стенки живота. Внедрение данного подхода способствует повышению точности диагностической верификации, улучшает дооперационную стратификацию и позволяет обоснованно выбирать оптимальную тактику реконструктивного вмешательства.

### **Цель исследования**

Разработка метода оценки состояния мышечно-апоневротического слоя передней брюшной стенки живота у пациентов с послеоперационной вентральной грыжей категории W3 на основании анализа данных компьютерной томографии с применением алгоритмов искусственного интеллекта.

### **Задачи исследования**

1. Разработать протокол для количественного (текстурного) анализа мышечно-апоневротического слоя передней брюшной стенки по данным КТ у пациентов с различными категориями послеоперационных вентральных грыж с помощью алгоритмов искусственного интеллекта.
2. Выполнить сравнение морфометрических характеристик мышечно-апоневротического слоя передней брюшной стенки живота по данным компьютерной томографии у пациентов трёх групп: без патологии передней брюшной стенки (контрольная группа), с послеоперационной вентральной грыжей категории W2 и W3.
3. Оценить степень выраженности текстурных изменений в мышечно-апоневротическом слое передней брюшной стенки в исследуемых группах и

выявить текстурные КТ-признаки, ассоциированные с утратой эластичности и снижением функциональной состоятельности брюшной стенки.

4. Определить клиническую значимость выделенных КТ-признаков в формировании показаний к дооперационному введению ботулинического токсина типа А в мышцы переднебоковой стенки живота с использованием алгоритмов искусственного интеллекта.

### **Научная новизна исследования**

1. Впервые выполнен комплексный анализ морфометрических и текстурных характеристик мышц переднебоковой стенки живота у пациентов с послеоперационными вентральными грыжами категории W2 и W3 по данным компьютерной томографии с привлечением контрольной группы.
2. Впервые установлены количественные признаки, ассоциированные с выраженной утратой эластичности и функциональной несостоятельностью мышечно-апоневротического слоя, значимые для обоснования показаний к дооперационной подготовке.
3. Разработан и впервые апробирован протокол оценки состояния переднебоковой стенки живота на основе данных КТ, адаптированный к задачам хирургического планирования у пациентов с послеоперационными вентральными грыжами категории W3.
4. Предложен новый подход, основанный на применении алгоритмов искусственного интеллекта для сегментации и анализа мышц переднебоковой стенки живота, позволивший построить прогностическую модель обоснования дооперационного введения ботулинического токсина типа А.
5. Впервые выявлена статистически значимая взаимосвязь между характером структурных изменений мышц переднебоковой стенки живота, категорией грыжевого дефекта согласно классификации EHS и наличием показаний к дооперационному применению ботулинического токсина типа А.

## Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты исследования расширяют знания о морфофункциональных изменениях переднебоковой стенки живота при послеоперационных вентральных грыжах. Установлено, что у пациентов категории W3 формируется выраженная асимметрия мышечно-апоневротического слоя: площадь и толщина мышц справа достоверно меньше, чем слева, при увеличении их средней длины. Эти изменения сопровождаются снижением плотности мышечной ткани и развитием структурной неоднородности.

Текстурный анализ выявил различия в параметрах контраста, однородности, вейвлет- и Габор-признаках. При этом структура мышц у пациентов с ПОВГ W3 демонстрировала большую стабильность и сближение с нормальной тканью по сравнению с группой W2, что может отражать компенсаторные процессы в условиях длительной патологии.

Практическая значимость работы заключается в создании протокола количественной оценки состояния мышечно-апоневротического слоя на основе КТ и алгоритмов искусственного интеллекта. Установлено, что морфометрические индексы (Defect Ratio, CSI, доля удаляемого сегмента) обладают высокой прогностической ценностью и могут использоваться для объективизации показаний к дооперационному введению ботулинического токсина.

Разработанная прогностическая модель (Random Forest, логистическая регрессия, кластерный анализ) продемонстрировала высокую точность классификации (AUC до 0,95) и способность выделять группы пациентов с различной вероятностью назначения БТ-А. Внедрение данного подхода позволяет стандартизировать дооперационную диагностику и обосновывать выбор оптимальной хирургической тактики и планирования при ПОВГ категории W3.

## **Методология и методы исследования**

Выполнено когортное ретроспективное клинико-аналитическое исследование с использованием следующих методов: клинического, инструментального (компьютерная томография), морфометрического и текстурного анализа КТ-изображений, а также математико-статистических методов (описательная статистика, дисперсионный и корреляционный анализ, построение прогностических моделей).

## **Личный вклад автора**

Автором проведён поиск и анализ литературы по теме исследования, сформулированы цель и задачи работы. Сформирована клиническая база пациентов с послеоперационными вентральными грыжами категорий W2–W3 и контрольная группа, выполнена систематизация данных и создание электронной базы для последующего анализа.

Автор принимала активное участие в ведении пациентов: проводила дооперационную подготовку, ассистировала на хирургических вмешательствах, осуществляла послеоперационное наблюдение и динамическое ведение пациентов в течение года.

Автором самостоятельно выполнены сегментация и разметка КТ-изображений, проведены морфометрический и текстурный анализ мышечно-апоневротического слоя переднебоковой стенки живота, а также статистическая обработка данных с применением методов машинного обучения. Автором лично подготовлены основные публикации по результатам исследования, отражающие научные положения диссертации.

## **Положения, выносимые на защиту**

1. Применение алгоритмов искусственного интеллекта позволяет стандартизировать оценку состояния передней брюшной стенки и

автоматизировать извлечение клинически значимых признаков из КТ-изображений, необходимых для принятия хирургического решения.

2. Морфометрические характеристики мышц передней брюшной стенки, определённые по данным компьютерной томографии, достоверно различаются у пациентов с послеоперационными вентральными грыжами категории W2 и W3 и отражают степень выраженности анатомо-функциональной несостоятельности передней брюшной стенки.
3. Структурные (текстурные) изменения мышечно-апоневротического слоя передней брюшной стенки достоверно различаются в исследуемых группах и могут служить критериями оценки степени патологического ремоделирования и функциональной состоятельности брюшной стенки при планировании реконструктивного вмешательства.
4. Интеграция количественного КТ-анализа с применением искусственного интеллекта в клиническую практику способствует улучшению качества дооперационного планирования, снижению частоты осложнений и повышению эффективности хирургического лечения пациентов с выраженной утратой домена (послеоперационной вентральной грыжей W3)

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Диссертация, выполненная Канахиной Лией, соответствует паспорту специальности 3.1.9 – Хирургия, в части пунктов: п. 2 : «Разработка и усовершенствование методов диагностики и профилактики хирургических заболеваний»; п. 4 : «Экспериментальная и клиническая разработка методов лечения и их внедрение в практику» ; п. 6: «Разработка и внедрение современных высокотехнологичных методов хирургического лечения, включая применение лучевых, компьютерных и искусственно-интеллектуальных технологий».

### **Степень достоверности и обоснованности результатов работы**

Объём проведённых исследований основан на достаточном клиническом материале, включающем пациентов с послеоперационными вентральными

грыжами категорий W2 и W3, а также контрольную группу. Стандартизация критериев включения и исключения, унифицированный протокол проведения компьютерной томографии и единые подходы к морфометрическому и текстурному анализу обеспечили высокую воспроизводимость полученных данных. Научные положения и выводы подкреплены убедительными фактическими результатами, представленными в таблицах и рисунках, что подтверждает их наглядность и достоверность. Статистическая обработка данных проводилась с использованием современных программных средств (StatTech, Python). Достоверность результатов обеспечена применением параметрических и непараметрических методов статистики при уровне значимости  $p < 0,05$ . Таким образом, достоверность и обоснованность результатов исследования подтверждается достаточным клиническим материалом, стандартизированным протоколом анализа, использованием современных методов статистической обработки и согласованностью полученных данных с литературными источниками

### **Внедрение результатов исследования**

Материалы диссертационного исследования внедрены в учебный процесс на кафедре оперативной хирургии и клинической анатомии им. И.Д. Кирпатовского медицинского института Российского университета дружбы народов им.П.Лумумбы при преподавании разделов, посвящённых анатомии и клинической оценке переднебоковой стенки живота, герниологии и дооперационному планированию в абдоминальной хирургии.

Основные положения работы внедрены в практическую деятельность хирургического отделения ФГБУЗ КБ №85 ФМБА России г.Москвы при оценке пациентов с послеоперационными вентральными грыжами категории W3 для обоснования показаний к дооперационной подготовке и выбора хирургической тактики.

### **Апробация материалов диссертации**

Ключевые результаты и положения диссертационного исследования прошли обсуждение на заседаниях кафедры оперативной хирургии и клинической анатомии им. И.Д. Кирпатовского, медицинского института Российского университета дружбы народов им.П.Лумумбы. Основные результаты исследования представлены на XVII Всероссийском форуме с международным участием «Инновационные технологии в хирургии» (Воронеж, 2024), XVIII Всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов «РАДИОЛОГИЯ–2024» (Москва, 2024), конференции молодых учёных «Виноградовские чтения» (Москва, 2024), I Международном научно-практическом форуме «Волжские берега» (Саратов, 2024), а также на IX Всероссийском съезде анатомов, гистологов и эмбриологов России «Фундаментальная и прикладная морфология в XXI веке» (Оренбург, 2025).

### **Публикации**

По результатам диссертационного исследования опубликовано 5 научных работ, из которых 4 статьи размещены в рецензируемых изданиях, входящих в перечень, рекомендованный ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа изложена на 137 страницах машинописного текста, содержит 20 таблиц и 44 рисунка. В исследовании представлены результаты анализа литературных источников, методологическое обоснование, описание полученных данных, их интерпретация и практические рекомендации. Библиографический список включает 174 источников, из которых 34 на русском и 140 на иностранных языках.

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 Распространённость и ключевые этиологические механизмы формирования послеоперационных грыж

#### 1.1.1 Современные эпидемиологические данные

Вентральные грыжи представляют собой патологическое смещение (выпячивание) внутренних органов за пределы брюшной полости через анатомические или приобретённые дефекты в структурах переднебоковой стенки живота. При этом органы сохраняют целостность своих оболочек или находятся в условиях, predisposing к такому выпячиванию.

Послеоперационной вентральной грыжей (ПОВГ) принято считать любой дефект переднебоковой стенки живота, локализующийся в зоне послеоперационного рубца и выявляемый при клиническом обследовании или с использованием инструментальных методов диагностики, независимо от наличия наружного грыжевого выпячивания [132] (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схематическое изображение послеоперационной вентральной грыжи

Герниопластика при вентральных грыжах является одной из наиболее распространённых операций в общей хирургии [116, 152].



По результатам наблюдений, частота развития послеоперационных вентральных грыж (ПОВГ) составляет в среднем от 5 % до 20 % от всех лапаротомий, причём особенно высока при экстренных вмешательствах [30, 89, 120, 130, 138, 168]. Согласно обобщённым данным, формирование послеоперационных вентральных грыж наблюдается примерно у 6 % пациентов после аппендэктомии, до 10 % – после операций на желудке, до 14 % – после холецистэктомии и в 33 % случаев – после экстренных лапаротомий [30]. Ущемлённые ПОВГ представляют собой актуальную проблему в неотложной абдоминальной хирургии. По данным ряда клинических наблюдений, они составляют от 2 % до 10 % всех ущемлённых грыж переднебоковой стенки живота [14, 60].

### **1.1.2 Этиологические факторы формирования послеоперационных вентральных грыж**

Послеоперационные вентральные грыжи формируются в результате нарушения целостности и слабости переднебоковой в области послеоперационного рубца. Этиологические факторы их формирования принято делить на системные (предрасполагающие) и локальные (производящие) [30].

К системным факторам относят возрастные изменения соединительной ткани, генетически обусловленную дисплазию соединительной ткани, астеническое телосложение, сахарный диабет, ожирение, курение, системные воспалительные заболевания, а также метаболические нарушения, влияющие на процессы заживления ран и регенерацию тканей [31, 34, 85].

К локальным причинам формирования ПОВГ относят [2, 7, 152]:

- несостоятельность швов апоневроза в раннем послеоперационном периоде
- развитие инфекционных осложнений (нагноение раны, серомы)

- повторные хирургические вмешательства в одну и ту же анатомическую область
- нарушения техники закрытия брюшной стенки

Особое значение имеет повышение внутрибрюшного давления в раннем послеоперационном периоде, вызванное кашлем, рвотой, запорами, метеоризмом, затруднённым мочеиспусканием, физической активностью. Эти факторы способствуют расхождению краёв раны и формированию грыжевого дефекта [1, 7, 152].

Ряд авторов подчёркивает, что развитие ПОВГ является следствием совокупного действия системных и местных факторов, которые нарушают баланс между нагрузкой на переднюю брюшную стенку и её способностью к сопротивлению [30, 91].

### **1.1.3 Распространённость и частота рецидивов**

Рецидив вентральной грыжи остаётся одной из наиболее частых проблем хирургического лечения данной патологии. Несмотря на совершенствование оперативных методик, включая использование сетчатых имплантатов и малоинвазивных технологий, частота повторного формирования грыжи остаётся высокой [3, 43].

До 50 % рецидивов послеоперационных вентральных грыж развивается в течение первых двух лет после первичного вмешательства, а около 74 % – в течение трёх лет наблюдения [125]. Наименьшая частота рецидивов отмечается при лапароскопической герниопластике (6–14 %), тогда как при открытых вмешательствах она может достигать 15–25 % [77]. Метаанализы показывают, что использование сетчатых имплантатов достоверно снижает риск повторного образования грыжи по сравнению с натяжной пластикой [133]. После лапароскопической ИРОМ-пластики (intraperitoneal onlay mesh) рецидивы чаще всего связаны с инфекционными осложнениями, неполной фиксацией или недостаточным перекрытием сетчатый имплантат, их частота составляет в среднем

13–18 % [108]. Повторные рецидивы встречаются в 17–35 % случаев и обусловлены, как правило, неадекватной дооперационной подготовкой, неправильным выбором метода герниопластики или импланта, а также наличием факторов риска, таких как ожирение, курение и тяжёлая сопутствующая патология [90].

## **1.2. Классификационные подходы к оценке послеоперационных вентральных грыж**

### **1.2.1. Классификация SWR и Европейского общества герниологов (EHS)**

Разработка классификаций послеоперационных вентральных грыж в отечественной хирургии началась ещё в середине XX века. В 1959 году Н.З. Монаков предложил систему, учитывающую состояние грыжевого содержимого, локализацию, численность грыж и их происхождение в мышечно-апоневротическом слое [19]. Он также предложил оценивать размеры грыжи по четырём параметрам: длине и ширине в зависимости от оси кожного рубца, высоте грыжи над уровнем брюшной стенки и окружности основания, однако без конкретных метрических градаций [19].

В 1965 году Н.В. Воскресенским и С.Л. Гореликом была предложена классификация вентральных грыж, базирующаяся на трёх основных критериях: анатомической локализации, размере грыжевого дефекта и наличии рецидива [6]. В соответствии с размерами грыжевые образования подразделялись на малые (до 5 см), средние (5–10 см), большие (10–15 см) и гигантские (свыше 15 см), что предполагало необходимость индивидуализированного выбора хирургической тактики [6].

Значимым этапом в развитии отечественной герниологии стала классификация, предложенная К.Д. Тоскиным и В.В. Жебровским в 1983 году. На основании обобщения ранее накопленного клинического опыта авторами была предложена анатомически обоснованная классификация, предусматривающая деление переднебоковой стенки живота на девять анатомических зон [5, 32]. Такой

подход обеспечивает более точное определение локализации грыжевых дефектов и способствует рациональному планированию хирургического лечения. В основу классификации положена оценка размеров грыжевого выпячивания с применением указанного анатомического принципа (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация послеоперационных вентральных грыж по К.Д. Тоскину и В.В. Жебровскому

| По величине                                |                                   |                                                                   |                                                                                     |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Малая грыжа                                | Занимает менее 1-й области живота | Не изменяет конфигурацию живота и определяется только пальпаторно |                                                                                     |
| Средняя грыжа                              | Занимает 2 области/ часть области | Определяется выпячивание в проекции областей                      |                                                                                     |
| Обширная грыжа                             | Занимает всю область / 3 области  | Деформирует живот                                                 |                                                                                     |
| Гигантская грыжа                           | Занимает 2-3 области и более      | Резко деформирует живот, мешает пациенту ходить.                  |                                                                                     |
| По локализации                             |                                   |                                                                   |                                                                                     |
| Эпигаструм                                 | Мезогаструм                       | Гипогаструм                                                       |                                                                                     |
| По клиническим проявлениям                 |                                   |                                                                   |                                                                                     |
| Вправимая, невправимая, частично вправимая | Одиночная, множественная          | Рецидивирующая, многократно рецидивирующая                        | Ущемленная, перфоративная, с явлениями частичной или полной кишечной непроходимости |

Одна из наиболее клинически значимых классификаций послеоперационных вентральных грыж была представлена Ж.П. Шеврелем и А.М. Ратом в 1999 году на XXI Международном конгрессе герниологов в Мадриде, организованном Европейским обществом герниологов [52]. Получившая впоследствии широкое распространение SWR-классификация основана на оценке трёх определяющих параметров: анатомической локализации грыжевого дефекта (S – site), ширины

грыжевых ворот (W – width) и наличия рецидива (R – recurrence). По мнению авторов, совокупность этих признаков оказывает ключевое влияние на выбор метода реконструкции и объём оперативного вмешательства [52]. В соответствии с данной системой, грыжи шириной 10–15 см (W3) классифицируются как большие, а свыше 15 см (W4) – как гигантские дефекты переднебоковой стенки живота (таблица 2).

Таблица 2 – Классификация вентральных грыж по системе SWR (Ж.П. Шеврель, А.М. Рат, 1999)

| Категория                        | Обозначение | Описание                 |
|----------------------------------|-------------|--------------------------|
| Size (Локализация грыжи)         | M           | Медиальное расположение  |
|                                  | L           | Латеральное расположение |
|                                  | ML          | Сочетанное расположение  |
| Windlass (Размер грыжевых ворот) | W1          | До 5 см                  |
|                                  | W2          | От 5 до 10 см            |
|                                  | W3          | От 10 до 15 см           |
|                                  | W4          | Более 15 см              |
| Relapse (Рецидив)                | R1          | Первый рецидив           |
|                                  | R2          | Второй рецидив и т.д.    |

Наиболее широко признанной и внедрённой в клиническую практику, на сегодняшний день, является классификация, предложенная Европейским обществом герниологов (European Hernia Society, EHS) в 2009 году [132].

В рамках данной системы оценка грыж осуществляется по трём основным критериям: анатомической локализации дефекта – медиальной (M – medial) или латеральной (L – lateral); ширине грыжевых ворот – W1 (до 4 см), W2 (от 4 до 10 см), W3 (более 10 см); а также по наличию или отсутствию рецидива – первичная

грыжа (R0) либо повторное образование (R1, R2 и далее, в зависимости от количества рецидивов) (таблица 3).

Таблица 3 – Классификация послеоперационных вентральных грыж Европейского герниологического общества (EHS)

| EHS-классификация ПОВГ |                    |         |          |
|------------------------|--------------------|---------|----------|
| Срединная (M)          | Субксифоидальная   |         | M1       |
|                        | Эпигастральная     |         | M2       |
|                        | Пупочная           |         | M3       |
|                        | Инфраумбиликальная |         | M4       |
|                        | Надлобковая        |         | M5       |
| Боковая (L)            | Подреберная        |         | L1       |
|                        | Боковая            |         | L2       |
|                        | Подвздошная        |         | L3       |
|                        | Поясничная         |         | L4       |
| Наличие рецидива (R)   | Да – R1 (2...)     |         | Нет – R0 |
| Ширина (W), см         | W1<4               | W2≥4-10 | W3≥10    |

Срединная (M) грыжа включает 5 зон (W1-W5) (рисунок 2А): M1 – субксифоидальная (от мечевидного отростка до 3 см каудально), M2 – эпигастральная (от 3 см ниже мечевидного отростка до 3 см над пупком), M3 – пупочная (3 см выше и ниже пупка), M4 – инфраумбиликальная (от 3 см ниже пупка до 3 см над лобком), M5 – надлобковая (от лобковой кости до 3 см краниально).

Латеральная (L) грыжа включает 4 зоны: L1 – подреберная (латеральнее прямой мышцы между реберной дугой и горизонтальной линией на 3 см выше пупка), L2 – боковая (латеральнее прямой мышцы между горизонтальной линией на 3 см ниже и выше пупка), L3 – подвздошная (латеральнее прямой мышцы между горизонтальной линией на 3 см ниже пупка и подвздошной области), L4 – поясничная (латеральнее передней подмышечной линии) (рисунок 2).

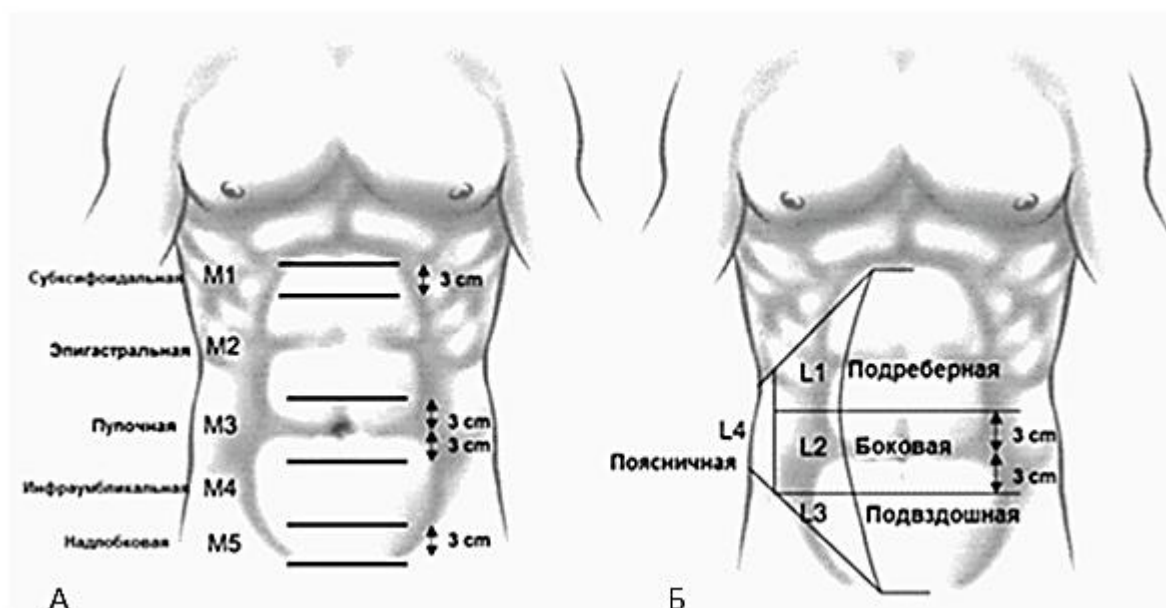


Рисунок 2 – Срединные (А) и латеральные (Б) послеоперационные вентральные грыжи

Помимо признанных международных классификаций, в клинической практике могут применяться и дополнительные методы стратификации вентральных грыж. К числу таких подходов относятся классификация по данным компьютерной томографии [161], а также оценка степени утраты объема брюшной полости (*loss of domain*), позволяющая определить соотношение между объемом содержимого грыжевого мешка и резидуальным объемом брюшной полости [145]. Эти параметры приобретают особое значение при планировании реконструктивных операций у пациентов с ПОВГ W2-W3.

### 1.2.2 Морфологическая классификация по данным компьютерной томографии

Компьютерная томография (КТ) является высокоинформативным методом визуализации, позволяющим детально оценить анатомические структуры переднебоковой стенки живота и характеристики грыжевого дефекта. КТ предоставляет точную информацию о размере и локализации грыжевых ворот, наличии спаек, а также взаимоотношениях грыжевого мешка с окружающими органами. Кроме того, данный метод позволяет выявить атрофические изменения мышц брюшной стенки и оценить степень их функционального участия, что

имеет важное значение при планировании хирургического вмешательства [46, 113].

### **1.2.3 Классификация по степени потери домена (loss of domain)**

Потеря объёма брюшной полости или домицилиарного объёма (loss of domain, LOD) – это анатомо-функциональный показатель, характеризующий степень несоответствия между объёмом грыжевого мешка и оставшимся объёмом брюшной полости. Он используется для оценки риска развития внутрибрюшной гипертензии и синдрома абдоминального компартмента при репозиции содержимого грыжи во время хирургического вмешательства [161].

Существует несколько способов количественной оценки LOD, наиболее распространёнными из которых являются методы Tanaka и Sabbagh [145, 161]. В методике Tanaka LOD рассчитывается как отношение объёма грыжевого мешка к общему объёму брюшной полости, и считается значительным при значении  $\geq 25$  %. Метод Sabbagh предлагает порог  $\geq 20$  % как клинически значимую границу [145].

Классификация по утрате домицилиарного объёма позволяет дополнить стандартную систему оценки вентральных грыж (например, классификацию EHS) и служит ориентиром при выборе тактики оперативного лечения, особенно в случае гигантских дефектов переднебоковой стенки живота [56].

## **1.3 Патогенез формирования вентральных грыж**

### **1.3.1 Дегенеративные изменения мышечно-апоневротического слоя и области послеоперационного рубца**

К ведущим патогенетическим механизмам формирования вентральных грыж относят дегенеративные изменения мышечно-апоневротического слоя (МАС) переднебоковой стенки живота и области послеоперационного рубца. Наиболее выражены данные изменения у пациентов с факторами риска, нарушающими репаративные процессы и способствующими несостоятельности апоневроза [30, 132, 148].



Особое значение придаётся нарушениям синтеза и ремоделирования внеклеточного матрикса (ВКМ) в процессе заживления операционной раны. Известно, что дисбаланс в системе металлопротеиназ, цитокинов и факторов роста оказывает негативное влияние на формирование прочного рубца и может способствовать возникновению дефекта брюшной стенки [116].

Образование грыжевого дефекта в первый год после выполнения лапаротомии часто связано с развитием ранних послеоперационных осложнений, среди которых наибольшее значение имеют инфицирование операционной раны, эвентрация и несостоятельность швов [15, 66, 86]. Появление указанных осложнений может быть обусловлено как техническими ошибками, допущенными во время оперативного вмешательства (например, наложение швов на ткани с различной прочностью, несоответствующий выбор шовного материала, избыточная или, напротив, недостаточная частота швов и др.), так и погрешностями в послеоперационном уходе, например дренирование через основную рану или нерациональная антибактериальная терапия [15, 66, 86].

### **1.3.2 Повышение внутрибрюшного давления и роль сопутствующих заболеваний**

Дополнительное негативное влияние оказывает повышение внутрибрюшного давления, возникающее при хроническом кашле, запорах, психоэмоциональном возбуждении, парезе кишечника и дизурических расстройствах [80].

Существенную роль в патогенезе вентральных грыж играют сопутствующие заболевания, влияющие на процессы репарации тканей. Данные многочисленных исследований показывают статистически значимое увеличение риска формирования грыжи при наличии таких состояний, как инфекция послеоперационной раны, сахарный диабет, курение, ожирение, хроническая обструктивная болезнь лёгких (ХОБЛ) и иммуносупрессивная терапия [68] (таблица 4).

Таблица 4 – Факторы, ассоциированные с повышенным риском развития вентральной грыжи [68]

| № | Фактор риска                          | Краткая характеристика механизма действия                     |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1 | Инфекция послеоперационной раны (ИПР) | Повышает риск расхождения швов и несостоятельности апоневроза |
| 2 | Сахарный диабет                       | Нарушает ангиогенез и процессы регенерации                    |
| 3 | Курение                               | Снижает перфузию тканей, активирует протеолиз коллагена       |
| 4 | ХОБЛ (хронический кашель)             | Повышает внутрибрюшное давление                               |
| 5 | Ожирение                              | Повышает нагрузку на переднюю брюшную стенку                  |
| 6 | Иммуносупрессия                       | Замедляет клеточную регенерацию и синтез соединительной ткани |

Поздние рецидивы вентральных грыж чаще связаны с нарушением метаболизма коллагена и прогрессирующей несостоятельностью рубцовой ткани. Эти процессы особенно выражены у пациентов пожилого возраста, с ожирением, кахексией, анемией, гипопроteinемией, онкологическими и хроническими заболеваниями печени и почек, а также при сахарном диабете [57].

Для стратификации риска развития послеоперационных вентральных грыж применяются балльные шкалы. Для прогнозирования вероятности формирования. Например, предложена модель стратификации риска (приложение), которая позволяет оценивать индивидуальный риск возникновения грыжевого дефекта на основе анамнеза и клинических данных [41].

Европейское герниологическое общество в 2015 году представило рекомендации по технике закрытия брюшной стенки, направленные на снижение частоты ПОВГ [131]. Согласно этим рекомендациям, предпочтение следует отдавать непрерывному шву при плановых лапаротомиях; при лапароскопии рекомендуется избегать срединных разрезов и ушивать фасциальный дефект при размерах троакара  $\geq 10$  мм, особенно в области пупка. Использование шовного

материала с антимикробным покрытием может снижать частоту ИПР, однако не влияет на риск формирования грыжи [16, 131].

#### **1.4 Ремоделирование мышечно-апоневротического слоя при W3 послеоперационных вентральных грыжах**

Длительное существование послеоперационных вентральных грыж, особенно W2 и W3 категорий, сопровождается существенными анатомо-функциональными изменениями в структуре переднебоковой стенки, которые оказывают влияние как на клиническую картину, так и на выбор метода хирургического лечения [65, 102].

Переднебоковая стенка живота включает следующие основные мышцы: наружную косую (*m. obliquus externus abdominis*), внутреннюю косую (*m. obliquus internus abdominis*), поперечную (*m. transversus abdominis*) и прямую мышцу живота (*m. rectus abdominis*). Эти мышцы покрыты фасциальными оболочками. В области средней линии апоневрозы косых и поперечной мышц с обеих сторон сливаются, образуя белую линию живота (*linea alba*), которая простирается от мечевидного отростка (*processus xiphoideus*) до лобкового симфиза (*symphysis pubica*) и отличается высокой прочностью по сравнению с другими структурами переднебоковой стенки живота [128]. На гистологическом уровне коллагеновые волокна в белой линии живота (*linea alba*) расположены в трех различных направлениях: поверхностный слой ориентирован по косой, затем следует слой поперечных волокон, и, наконец, второй слой косых волокон, направленных в противоположном направлении [39, 40].

Белая линия живота (*linea alba*) вместе с влагалищами прямых мышц выполняет стабилизирующую функцию для переднебоковой стенки живота. В ряде работ она упоминается как центральное сухожилие живота [40, 81, 112]. Послеоперационные изменения, в том числе после лапаротомии, могут нарушать её прочностные характеристики, снижая сопротивление к нагрузкам и способствуя формированию деформаций или грыжевых дефектов [97, 109].

У пациентов с ПОВГ максимальная механическая нагрузка в области переднебоковой стенки живота приходится на белую линию живота [86]. Далее уровень механической нагрузки снижается и распределяется преимущественно на *m. transversus abdominis*, затем на *m. obliquus externus abdominis*, тогда как на *m. rectus abdominis* и *m. obliquus internus abdominis* нагрузка в среднем в пять раз ниже [101] (рисунок 3).

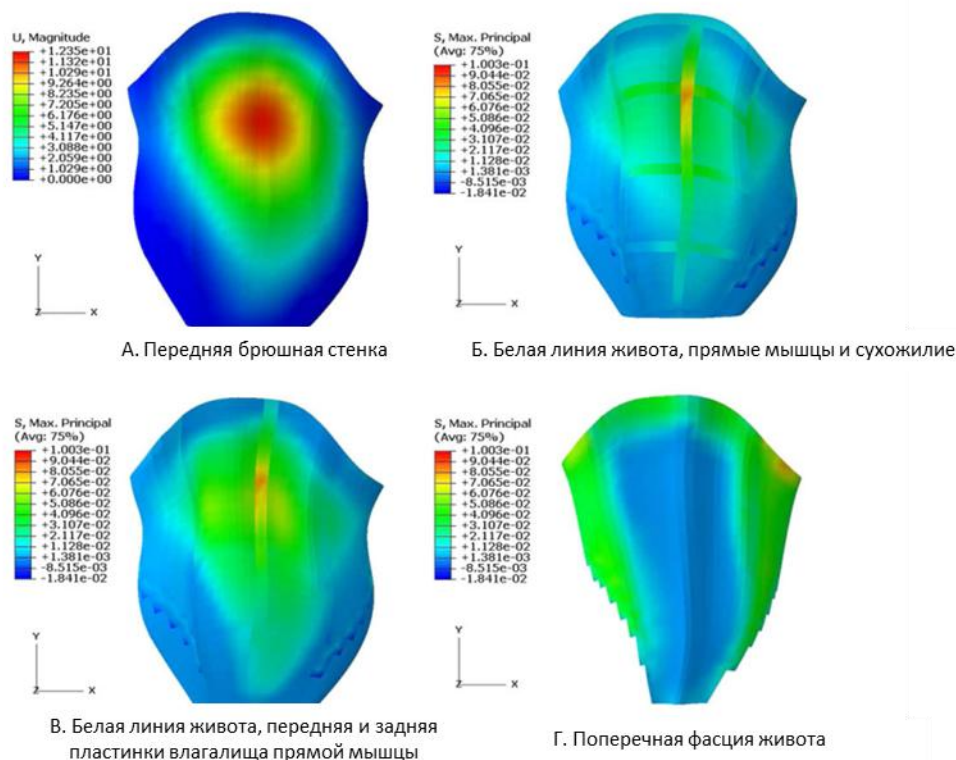


Рисунок 3 – Распределение механического напряжения в мышечно-апоневротических структурах переднебоковой стенки живота у пациентов с послеоперационной вентральной грыжей [101].

В условиях отсутствия деформации анатомических элементов переднебоковой стенки живота влияние внутрибрюшного давления может быть количественно охарактеризовано посредством уравнения Лапласа:  $\sigma = \frac{P \times r}{2t}$  где:  $\sigma$  – напряжение в стенке,  $P$  – давление внутри полости (в данном случае – внутрибрюшное давление),  $r$  – радиус кривизны поверхности,  $t$  – толщина стенки [86].

Согласно данным, представленным в работе В. Hernandez-Gascon и соавт. [86], уравнение Лапласа отражает линейную зависимость между внутрибрюшным давлением и напряжением в тканях, что применимо преимущественно при малых деформациях и при условии тонкой стенки. Однако при значительных морфологических изменениях, которые характерны для реальных физиологических и патологических состояний, точность такого описания снижается. Авторы подчёркивают, что в условиях выраженной деформации и утолщения тканей, например при наличии послеоперационных вентральных грыж, применение данной модели становится ограниченным [86].

Таким образом, при деформации *linea alba* нарушается распределение латеральных векторов нагрузки, формируемых внутрибрюшным давлением и тонической активностью боковых мышц – *m. obliquus externus abdominis*, *m. obliquus internus abdominis* и *m. transversus abdominis*. Биомеханически это проявляется втягиванием и укорочением указанных мышц вследствие смещения центра сопротивления и изменения направления действия сил (рисунок 4).

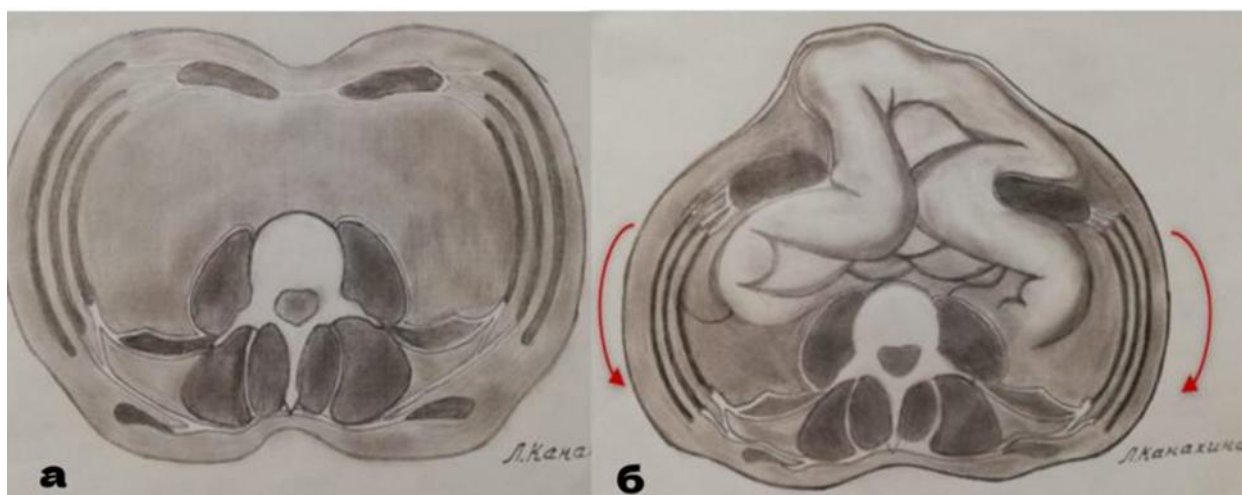


Рисунок 4 – Схематическое изображение мышечного слоя переднебоковой стенки живота (а) и патогенеза мышечной контрактуры при длительном грыженосительстве (б) (рисунок автора Л.Б. Канахина)

Укорочение группы боковых мышц переднебоковой стенки живота, возникающее в ответ на хроническое перераспределение внутрибрюшного давления и деформацию *linea alba*, может приводить к формированию стойких

мышечных контрактур либо обратимой спастичности [58, 71, 72]. Данные изменения способствуют латеральному смещению m. rectus abdominis, что, в свою очередь, сопровождается формированием грыжевого дефекта и может ассоциироваться с развитием болевого синдрома в поясничной области и нарушением функции органов малого таза [58]. У больных с длительно существующими послеоперационными вентральными грыжами, особенно в случае массивных и гигантских дефектов, формируются устойчивые дистрофические изменения в мышечной ткани [58, 71]. Длительное грыженосительство приводит к нарастанию атрофии, развитию фиброза и нарушению трофики [58, 72]. В совокупности это обуславливает снижение эластичности и сократительной способности мышц, что усложняет оперативное восстановление и повышает риск повторного образования грыжи [58, 71, 72] (таблица 5).

Таблица 5 – Патогенез ремоделирования переднебоковой стенки при длительном грыженосительстве [50, 75, 79, 95,121]

| Процесс                   | Описание                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Атрофия мышц              | Длительное растяжение мышечной ткани приводит к уменьшению мышечных волокон и снижению их функциональной активности. Это сопровождается уменьшением сократительных белков и нарушением митохондриальной функции |
| Фиброз                    | Повышенная механическая нагрузка вызывает активацию фибробластов и усиленный синтез коллагена, что приводит к замещению мышечной ткани плотной соединительной тканью, значительно снижая эластичность мышц      |
| Нарушение микроциркуляции | Хроническое давление грыжевого содержимого вызывает ишемию мышечной ткани, усугубляющую её повреждение и замедляющую процессы регенерации                                                                       |

## 1.5 Современные подходы к хирургическому лечению W3 послеоперационных вентральных грыж

### 1.5.1 Принципы закрытия дефекта без натяжения

Лечение послеоперационных вентральных грыж категории W3 представляет собой значительную клиническую и техническую проблему, обусловленную выраженными анатомо-функциональными изменениями переднебоковой стенки живота, утратой домицилиарного объёма, мышечным фиброзом и высоким риском рецидива.

В хирургическом лечении послеоперационных вентральных грыж W3 основными вариантами вмешательств являются ненатяжная (имплантирующая) герниопластика, реконструктивная пластика, а также комбинация указанных методов [21, 66, 87, 135, 140].

Корректирующая (ненатяжная) герниопластика предполагает размещение сетчатого имплантата на различных анатомических уровнях, без сближения фасциальных краёв [20]. Вариант onlay предусматривает установку сетчатого имплантата над апоневрозом переднебоковой стенки живота [20] (рисунок 5).

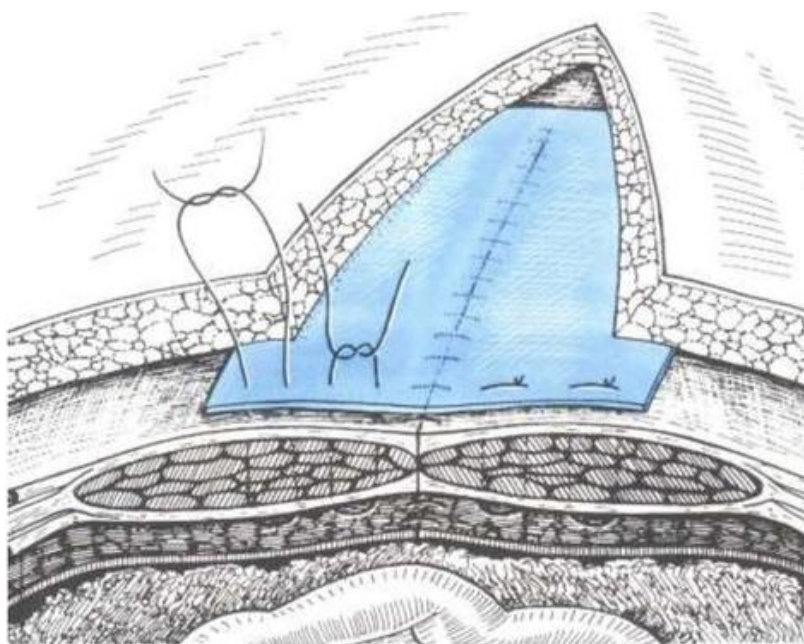


Рисунок 5 – Установка сетчатого имплантата над апоневрозом переднебоковой стенки (onlay) [73]



Метод inlay предполагает вшивание сетчатого имплантата непосредственно в края грыжевого дефекта, что позволяет закрыть дефект без сближения фасциальных краёв [20](рисунок 6).

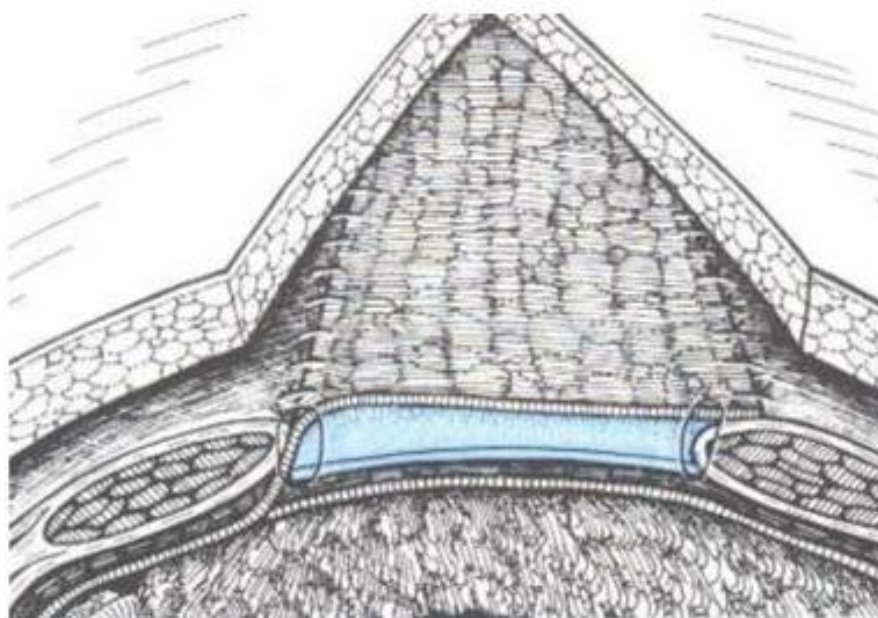


Рисунок 6 – Вшивание сетчатого имплантата в края грыжевого дефекта (inlay) [73]

По данным ряда авторов, метод inlay сопровождается высокой частотой рецидивов – от 20 до 40% при больших дефектах переднебоковой стенки живота, что связано с отсутствием прочного соединения фасциальных краёв и нагрузкой на линию фиксации имплантата [20, 36]. При технике sublay сетчатый имплантат размещается под апоневрозом, но над задним листком влагалища прямой мышцы живота, чаще всего – в ретромускулярном пространстве [20] (рисунок 7).



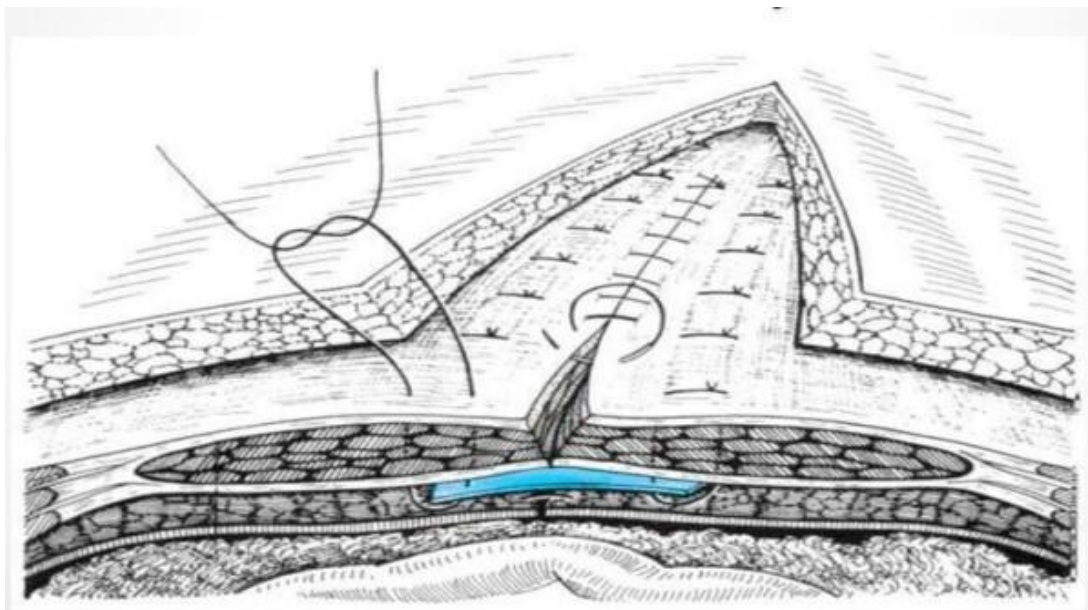


Рисунок 7 – Установка сетчатого имплантата под апоневрозом переднебоковой стенки живота (sublay) [73]

По данным литературы, данный метод считается «золотым стандартом» ненатяжной герниопластики и сопровождается наименьшей частотой рецидивов – в среднем 2–7% при W2-3 послеоперационных вентральных грыжах [20, 64, 150].

Историческое развитие техники sublay тесно связано с работами René Stoppa, который одним из первых предложил принципиально новый подход – размещение крупного сетчатого имплантата в ретромускулярном (преперитонеальном) пространстве с широким перекрытием грыжевых ворот [154, 155]. Первоначально техника применялась для лечения двусторонних паховых грыж и получила название «гигантское имплантатное укрепление висцерального мешка» (giant prosthetic reinforcement of the visceral sac, GPRVS) [168].

В дальнейшем её модифицировал и систематизировал Jean-Louis Rives, который предложил применять данный принцип при реконструкции переднебоковой стенки живота у пациентов с ПОВГ [141]. Вклад обоих хирургов обусловил появление названия методики как Rives–Stoppa (в русскоязычной литературе также встречается вариант «Rivero–Stoppa»).

Суть операции заключается в размещении сетчатого имплантата в ретромускулярном пространстве, между задним листком влагалища прямой

мышцы живота и брюшиной [110, 154]. Такая техника обеспечивает прочное укрытие дефекта без натяжения тканей, снижает риск инфицирования по сравнению с onlay-пластикой, минимизирует контакт имплантата с кишечником в отличие от IPOM и характеризуется низкой частотой рецидивов [42, 110, 154].

На основе принципов Rives–Stoppa впоследствии были разработаны современные модификации, а также лапароскопические и мини инвазивные варианты герниопластики. методики [103, 110].

### **1.5.2 Методика разделения компонентов переднебоковой стенки живота**

Одной из наиболее эффективных техник реконструктивной герниопластики является методика разделения компонентов переднебоковой стенки живота (component separation technique, CST), впервые предложенный O.M.Ramirez в 1990 году [140]. Методика основана на выполнении рассечения апоневроза наружной косой мышцы вдоль латеральной границы влагалища прямой мышцы живота с последующей медиализацией мышечно-апоневротических элементов. Такой подход, известный как передняя техника разделения компонентов (anterior component separation technique, ACST) позволяет медиализировать прямые мышцы живота и достичь сближения краёв дефекта до 10 см в эпигастральной области, до 20 см на уровне талии и до 6 см в надлобковой области, что обеспечивает возможность безнатяжного закрытия крупных грыжевых дефектов [140]. Современная модификация методики, предложенная Y.W. Novitsky, предусматривает выполнение заднего доступа с пересечением поперечной мышцы живота, известная как техника TAR (transversus abdominis release) [135]. Данная техника позволяет создать широкое ретромускулярное (префасциальное) пространство для установки сетчатого имплантата при минимальной травматизации кожи и подкожной клетчатки, что способствует снижению риска инфекционных осложнений и обеспечивает более стабильные хирургические результаты [135].

### 1.5.3 Профилактические методы и дооперационная подготовка

С учётом высокой вероятности развития интраабдоминальной гипертензии, в том числе её ранних стадий без выраженной клинической симптоматики, у пациентов с выраженной утратой домицилиарного объёма, этап дооперационной подготовки приобретает ключевое значение [105]. Основной задачей на данном этапе является проведение комплекса мероприятий, направленных на увеличение функционального объёма брюшной полости, повышение эластичности тканей переднебоковой стенки живота и снижение риска формирования синдрома абдоминальной компрессии, включая как классическую форму (АКС), так и четвертичный абдоминальный компартмент-синдром (QACS), в послеоперационном периоде [105].

Особую актуальность дооперационная подготовка приобретает у пациентов с выраженными структурными изменениями мышечно-апоневротического слоя – латеральным смещением прямых мышц живота, истончением, фиброзом и снижением эластичности тканей [63, 87]. В этих условиях её цель заключается не только в увеличении объёма брюшной полости, но и в восстановлении анатомических взаимоотношений тканей, что позволяет снизить натяжение фасции при закрытии дефекта [76]. Такой подход обеспечивает условия для безнатяжного закрытия, улучшает заживление и снижает риск рецидива [63, 87].

По данным международных рекомендаций, адекватная дооперационная подготовка позволяет безопасно вернуть содержимое грыжевого мешка в брюшную полость, снизить натяжение мышечно-апоневротического каркаса и уменьшить частоту ранних осложнений [63]

Расширенное понимание дооперационной подготовки объединяет анатомо-функциональную и общесоматическую подготовку пациента к объёмной реконструкции, что особенно актуально при лечении послеоперационных грыж W3. Ключевые подходы к дооперационной оптимизации представлены в таблице 7

Таблица 7 – Основные подходы к дооперационной оптимизации пациентов при лечении послеоперационных вентральных грыж W3[27, 63, 74, 96, 124, 129, 157]

| Меры и методы                    | Описание                                                                                                               | Цель                                                                                     | Результаты                                                                            |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Инъекции ботулинического токсина | Введение ботулинического токсина в латеральные мышцы брюшной стенки для временного паралича мышц и снижения их тонуса. | Уменьшение напряжения на брюшную стенку, улучшение мобилизации тканей.                   | Увеличение гибкости брюшной стенки, облегчение закрытия дефекта и снижение риска АКС. |
| Прогрессивный пневмоперитонеум   | Введение газа в брюшную полость на несколько дней перед операцией.                                                     | Растяжение брюшной стенки и подготовка тканей к закрытию больших грыжевых дефектов.      | Снижение риска натяжения тканей и развития АКС во время операции.                     |
| Нутритивная поддержка            | Обеспечение сбалансированным питанием и нутритивными добавками.                                                        | Повышение общего состояния организма, улучшение заживления тканей.                       | Улучшение восстановления после операции, снижение частоты осложнений.                 |
| Контроль массы тела              | Снижение массы тела у пациентов с ожирением до безопасного уровня.                                                     | Снижение нагрузки на брюшную стенку, улучшение условий для хирургического вмешательства. | Уменьшение риска осложнений, улучшение результатов операции.                          |

## 1.6. Интраабдоминальная гипертензия и её клиническое значение

### 1.6.1 Послеоперационная интраабдоминальная гипертензия: причины и последствия

Интраабдоминальная гипертензия (ИАГ) представляет собой одно из наиболее тяжёлых осложнений, поскольку в прогрессирующих случаях приводит к развитию синдрома интраабдоминальной гипертензии (СИАГ) [62]. Согласно принятым международным критериям, ИАГ определяется как устойчивое повышение внутрибрюшного давления (ВБД) выше 12 мм рт. ст. в трех последовательных измерениях, проведенных с интервалом от 4 до 6 часов [105]. При отсутствии адекватной терапии ИАГ способна прогрессировать в абдоминальный компартмент-синдром (АКС), который характеризуется

повышением ВБД свыше 20 мм рт. ст. и развитием полиорганной недостаточности [62, 105]

Интраабдоминальная гипертензия – это изолированное стойкое повышение ВБД без признаков органной недостаточности, тогда как синдром интраабдоминальной гипертензии представляет собой повышение интраабдоминального давления  $\geq 12$  мм рт. ст., сопровождающийся развитием органной недостаточности (например, олигурия, гипотензия, дыхательные нарушения). В свою очередь, абдоминальный компартмент-синдром рассматривается как наиболее тяжёлая форма ИАГ и СИАГ, характеризующаяся ВБД более 20 мм рт. ст. в сочетании с полиорганной недостаточностью [105].

Механизм развития ИАГ и СИАГ при реконструкции вентральных грыж W3 обусловлен нарушением анатомо-функциональной целостности переднебоковой брюшной стенки. В результате снижения её эластичности вследствие длительного грыженосительства, при сведении краёв апоневроза и возвращении объёмного грыжевого содержимого в брюшную полость наблюдается резкое снижение внутрибрюшного объёма и, как следствие, повышение ВБД [69].

Низкая растяжимость тканей в сочетании с мышечной контрактурой препятствует физиологической компенсации увеличения давления, что способствует сдавлению органов желудочно-кишечного тракта, почек, крупных сосудов и смещению диафрагмы в краниальном направлении. В подобных условиях формируется абдоминальный компартмент-синдром, известный также как синдром Батцнера, при котором развивается каскадная полиорганная дисфункция (рисунок 8) [105, 122].

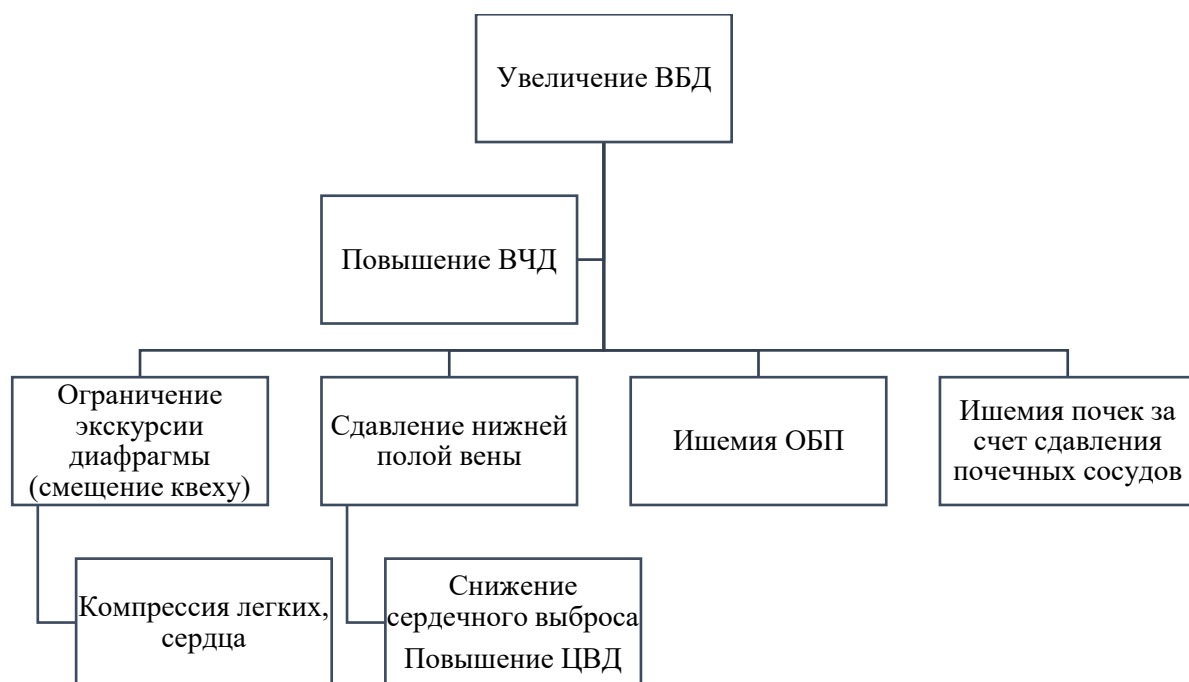


Рисунок 8 – Патогенез ИАГ и АКС. ВБД- внутрибрюшное давление; ВЧД- внутричерепное давление; ОБП- органы брюшной полости; ЦВД- центральное венозное давление

Своевременная оценка риска ИАГ, контроль ВБД в послеоперационном периоде и профилактические мероприятия являются обязательными компонентами тактики ведения пациентов с ПОВГ W3 [105].

### 1.6.2 Субклинические формы: концепция четвертичного абдоминального компартмент-синдрома (quaternary abdominal compartment syndrome)

Вместе с тем, несмотря на чётко определённые критерии диагностики интраабдоминальной гипертензии и абдоминального компартмент-синдрома, в клинической практике всё чаще наблюдаются случаи, при которых развитие тяжёлых полиорганных нарушений происходит при внутрибрюшном давлении, не достигающем диагностического порога АКС. Особенно это характерно для пациентов с W3 вентральными грыжами и выраженной утратой домицилиарного объёма (LOD) [69].

Именно в этом контексте в последние годы всё больше внимания уделяется состоянию, описываемому как четвертичный синдром (quaternary abdominal compartment syndrome, QACS). Впервые подробно охарактеризованный Quintela и

соавт., данный клинический феномен отличается развитием выраженных дыхательных, почечных и гемодинамических нарушений при ВБД ниже общепринятого порога АКС [139]

Именно в этом контексте в последние годы всё больше внимания уделяется состоянию, описываемому как четвертичный синдром (QACS). Впервые подробно охарактеризованный Quintela и соавт. (2021), данный клинический феномен отличается развитием выраженных дыхательных, почечных и гемодинамических нарушений при ВБД ниже общепринятого порога АКС [139].

Классически, абдоминальный компартмент-синдром диагностируется при повышении ВБД  $\geq 20$  мм рт. ст. в сочетании с признаками полиорганной недостаточности [105]. Однако у пациентов с низкой комплаентностью переднебоковой стенки живота, выраженным фиброзом и контрактурой даже умеренное возвращение грыжевого содержимого в брюшную полость может привести к нарушению перфузии внутренних органов и острой дыхательной недостаточности. При этом ВБД может составлять лишь 14–18 мм рт. ст., что формально не соответствует критериям АКС, но требует немедленного вмешательства [62].

Патофизиологической основой развития четвертичного абдоминального компартмент-синдрома является несоответствие между увеличенным объёмом репонированных органов и ограниченной растяжимостью переднебоковой брюшной стенки. При утрате домена свыше 20–25% возврат грыжевого содержимого в брюшную полость сопровождается значительным натяжением мышечно-апоневротического комплекса, что ведёт к резкому повышению внутрибрюшного давления [139], нарушению подвижности диафрагмы и вентиляции лёгких, сдавлению почек со снижением фильтрационной функции, а также уменьшению венозного возврата и центрального венозного давления [67, 105].

При этом стандартные методы измерения внутрибрюшного давления не всегда позволяют выявить клинически значимые нарушения комплаентности брюшной стенки. В таких случаях дополнительное значение приобретает интраоперационное измерение пикового респираторного давления, которое коррелирует с комплаентностью брюшной стенки и может служить предиктором QACS [45, 139].

В современных публикациях четвертичный абдоминальный компартмент-синдром рассматривается как функционально выраженная, но диагностически «тихая» форма, не соответствующая классическим критериям WSACS [139]. В клинической практике синдром чаще развивается при отсутствии дооперационной подготовки [80], при репозиции содержимого брюшной полости у пациентов с утратой домена более 25% [80, 139], а также при применении натяжных герниопластик без использования техник разделения компонентов [67].

QACS представляет собой клинически важное состояние, возникающее на стыке между классическим абдоминальным компартмент-синдромом и субклинической органной недостаточностью при операциях на фоне утраты домена, ранее которому не придавалось значение. Его своевременное распознавание требует интеграции клинических, респираторных и гемодинамических параметров в дополнение к мониторингу ВБД [67, 80, 139].

### **1.6.3 Методы измерения внутрибрюшного давления**

Измерение внутрибрюшного давления является важным элементом комплексной оценки состояния пациентов с вентральными грыжами как на предоперационном, так и на послеоперационном этапах.

В таблице 8 представлены современные методы измерения внутрибрюшного давления, рассмотрены их диагностическая ценность, технические особенности и клиническая применимость [51, 123, 158].



Таблица 8 – Основные методы измерения внутрибрюшного давления (ВБД)

| МЕТОД                              | ОПИСАНИЕ                                                                                        | ИНВАЗИВНОСТЬ          | ПРЕИМУЩЕСТВА                                                  | НЕДОСТАТКИ                                           |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Внутрипузырное измерение [51, 158] | Измерение давления в мочевом пузыре с использованием мочевого катетера и манометра              | Минимально инвазивный | Простой, безопасный, широко используемый                      | Может быть неудобным для пациента, требуется катетер |
| Внутриполостной катетер [123]      | Введение катетера непосредственно в брюшную полость через разрез для прямого измерения давления | Инвазивный            | Точный, возможность непрерывного мониторинга                  | Риск инфекции, высокая инвазивность                  |
| Ректальный катетер [123]           | Измерение давления через катетер, введенный в прямую кишку                                      | Минимально инвазивный | Альтернатива мочевому методу, удобен для определенных случаев | Менее распространенный, возможен дискомфорт          |
| Желудочный зонд [123]              | Измерение давления через зонд, введенный в желудок через нос или рот                            | Минимально инвазивный | Используется при невозможности других методов                 | Менее точный, возможен дискомфорт для пациента       |

Клинические признаки интраабдоминальной гипертензии (напряжение переднебоковой стенки живота, снижение диуреза, дыхательные расстройства) обладают низкой диагностической ценностью: их чувствительность составляет лишь 40–60 %, что приводит к поздней верификации состояния и высокой вероятности недооценки риска [123, 158]. В настоящее время «золотым стандартом» непрямого измерения внутрибрюшного давления является метод определения внутрипузырного давления через катетер Фолея, отраженный в рекомендациях WSACS [105] и используются только при наличии клинических

проявлений интраабдоминальной гипертензии (ИАГ) [61, 123] или абдоминального компартмент-синдрома (АКС) [105].

Более современным вариантом данной методики является применение специализированного датчика, подключаемого между уретральным катетером и мочеприёмником (Serenno Medical Ltd).

## **7. Современные подходы к дооперационному прогнозированию возможности фасциального закрытия грыжевого дефекта**

### **7.1 Методы дооперационного прогноза возможности закрытия грыжевого дефекта**

При применении техники разделения компонентов происходит утрата анатомических точек фиксации, что влечёт за собой нарушение координации движений и снижение функциональной согласованности мышц переднебоковой стенки живота. Это обусловлено тем, что биомеханика отдельных мышечных компонентов мышц переднебоковой стенки живота остаётся недостаточно изученной вне их интегрального взаимодействия в составе единой мышечно-апоневротической системы. В связи с этим крайне важно сохранять целостность биомеханических связей, обеспечивающих функциональную состоятельность переднебоковой стенки живота [22, 24, 26].

Существуют несколько вариантов методик дооперационного воздействия на функциональное состояние мышц ПБСЖ с целью изменения их характеристик при последующим хирургическом лечении (например, дооперационное введение БТ-А). В случае неэффективности и невозможности свети передний листок апоневроза прямых мышц живота, используются сепарационные тактики.

Для объективизации выбора оптимальной тактики и прогноза возможности фасциального закрытия в литературе предложены различные индексы, представленные в таблице 9.

Таблица 9 – Индексы дооперационного прогноза возможности закрытия грыжевого дефекта

| Показатель                                                           | Формула                                                                         | Назначение                                                                   | Метод измерения                                                                                 | Ключевые значения                                                              |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Индекс Ammature и Bassi [35]                                         | Соотношение площади переднебоковой стенки живота и грыжевого дефекта (SAAW/SHD) | Прогноз натяжения при первичном закрытии грыжи                               | Площадь, рассчитанная по фотопланиметрии с ориентирами (подвздошная и мечевидно-лобковая линии) | <15 – высокий риск натяжения                                                   |
| Индекс Sabbagh [146]<br>Индекс Tanaka [161]                          | Соотношение объема грыжи и объема брюшной полости (INV/PV)                      | Оценка потери домена и необходимости релаксации                              | Вычисление объемов по КТ с помощью специализированного ПО                                       | <20% – возможно первичное закрытие; ≥20% – рекомендуется релаксация            |
| Defect ratio (коэффициент дефекта) [119]                             | (Ширина грыжевых ворот / Окружность брюшной стенки) × 100                       | Прогноз необходимости релаксации                                             | Вычисление параметров по КТ с помощью специализированного ПО                                    | <10 % – умеренный дефект;<br>10–20 % – требуется мобилизация тканей/релаксация |
| Индекс разделения компонентов (Component Separation Index, CSI) [54] | Угол расхождения прямых мышц живота / 360°                                      | Прогноз необходимости релаксации и сетчатой интерпозиции                     | Измерение угла диастазы прямых мышц живота по отношению к аорте на КТ                           | >0,15 – вероятно необходимость релаксации; >0,21 – высокая вероятность         |
| Индекс Carbonell и соавт.; модификация Love и соавт. [118, 119]      | Сумма ширины правой и левой прямых мышц, делённая на ширину грыжи               | Прогноз возможности закрытия дефекта по методике River-Stoppa без релаксации | Измерение ширины правой и левой прямых мышц, ширина грыжевых ворот                              | >2 – в 90% случаев не требуется релаксация                                     |

## Продолжение Таблицы 9

| Классификации, учитывающие клинические и раневые факторы риска                                                                |  |                                                                 |                                                               |                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Наличие свищей, инфекции, саркопении и асимметрии мышц [55, 88, 137, 149, 172]                                                |  | Качественная оценка сложности реконструкции                     | Анализ КТ и клинических данных                                | Наличие факторов утяжеляет прогноз и повышает общий индекс тяжести ( <i>Overall Severity Score, OSS</i> ) |
| Оценка риска осложнений: классификация Ventral Hernia Working Group (VHWG, 2010); модификация Kanters и соавт. [47, 100, 160] |  | Оценка риска хирургических осложнений (инфекции, серомы, свищи) | Клиническая стратификация на основе состояния пациента и раны | 1–4 степени риска осложнений (от здоровых до инфицированных пациентов)                                    |

Gandhi и соавт. разработали протокол стандартного КТ-отчёта для ведения пациентов с вентральными грыжами [78]. В отчёте отражаются локализация и размеры дефекта в соответствии с рекомендациями Европейского общества герниологов [132]; объём грыжи и брюшной полости (с учётом индекса Танака [161]); индекс разделения компонентов (CSI) по Christy [54]; индекс Carbonell [118, 119]; описание содержимого грыжевого мешка, в том числе при манёвре Вальсальвы; наличие осложнений, ранее имплантированного сетчатого имплантата и релаксации в анамнезе; а также характеристики мышечного слоя (симметрия, толщина, признаки саркопении) [137, 149]. Такой отчёт позволяет хирургу объективно оценить сложность реконструкции и выбрать оптимальный оперативный подход.

## **8. Теоретические основы машинного обучения и текстурного анализа в медицинской визуализации**

### **8.1 Машинное обучение: происхождение и определения**

Машинное обучение (МО) – это направление информатики и статистики, в котором алгоритмы улучшают качество решений по мере накопления данных (опыта) [99, 126]. Классическая формулировка Mitchell Т. звучит именно так: система «учится», если её результативность для набора задач растёт с опытом; обзор Jordan M.I. и Mitchell T.M. в Science подчёркивает, что МО лежит на стыке искусственного интеллекта (ИИ) и науки о данных и опирается на статистические методы [99, 126].

Собственно «обучающаяся» парадигма в вычислениях оформилась в конце 1950-х. В 1959 г. Samuel A.L. показал, что программа по шашкам может играть всё лучше, учась на опыте партий, – тем самым была продемонстрирована идея автоматического улучшения без переписывания правил [147]. В те же годы Rumelhart D.E. предложил перцептрон – простейшую обучаемую «нейросеть» для распознавания образов (линейный классификатор) [143]; а в 1986 г. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. описали алгоритм обратного распространения ошибки, сделавший многоуровневые сети практически обучаемыми [144].

С начала 1990-х развитие МО шло под влиянием статистической теории обучения: она объяснила, почему модели переобучаются и как управлять сложностью, а также дала геометрическую основу для метода опорных векторов (SVM) – устойчивого к переобучению алгоритма для классификации и регрессии [165]. В машинном обучении выделяют три базовые парадигмы : обучение с учителем – модель учится по размеченным примерам («признаки → метка/число»), решая задачи классификации и регрессии; обучение без учителя – модель ищет структуру без меток, а именно группирует объекты и снижает размерность для выявления скрытых паттернов и обучение с подкреплением – «агент» взаимодействует со средой и, получая награду/штраф, осваивает стратегию

действий, максимизирующую долгосрочный выигрыш. [44, 159]. Эта тройка покрывает большинство практических задач и методов в МО.

Истоки медицинского применения ИИ начинаются ещё в 1950-е. В 1959 г. Ledley R.S., Lusted L.B. в Science показали, как логика и вероятность формализуют врачебное диагностическое рассуждение [11]. В этой работе авторы симптомы и результаты анализов переводили в «признаки», для каждой возможной болезни считалась вероятность, и по мере появления новых данных эти вероятности пересчитывались. Это была первая попытка аккуратно «оцифровать» клиническое рассуждение врача [114]. В 1970-е Shortliffe E.H. создал MYCIN – программу, которая помогала подбирать антибиотики при тяжёлых бактериальных инфекциях [151]. Врач отвечал на последовательность вопросов (о симптомах, посевах, чувствительности), система применяла набор правил вида «если ..., то ...» и выдавала рекомендацию по терапии, указывая степень уверенности. По сути, знания экспертов были записаны в виде правил, и машина логично применяла их к каждому случаю – это на практике показало, что клинические знания можно формализовать и использовать для поддержки решения [151].

В медицине путь к машинному обучению так же шёл через компьютерную диагностику (computer-aided diagnosis, CAD) – компьютер как «второе мнение» для радиолога [70, 164]. Исторический обзор Doi K. показывает эволюцию: от простых эвристик и статистики к современным методам МО и глубокого обучения в анализе изображений [70].

## **8.2 Виды машинного обучения и типовые алгоритмы**

В медицине МО применяют для диагностики по изображениям, прогноза исходов, стратификации риска и поддержки клинических решений [83, 99, 164].

При обучении с учителем модель обучают на парах «признаки–целевой ответ» для классификации (напр., «будет/не будет событие») или регрессии (непрерывная величина) [99]. Наиболее используемые в клинических задачах алгоритмы – регуляризация, логистическая регрессия, деревья решений, ансамбли

деревьев (случайный лес, градиентный бустинг), метод опорных векторов (SVM) и нейронные сети [37, 83, 93, 99]. Например, в обзоре по предсказанию повторных госпитализаций (реадмиссий) чаще всего применялись именно деревья/ансамбли ( $\approx 53\%$ ), нейросети ( $33\%$ ), регуляризованная логистическая регрессия ( $28\%$ ) и SVM ( $23\%$ ); у большинства моделей  $AUC \geq 0,70$ , что подтверждает практическую ценность методов в реальных клинических данных [93]. В офтальмологии глубокие сверточные сети продемонстрировали высокую диагностическую точность: в многоцентровом исследовании для выявления диабетической ретинопатии достигнуты чувствительность  $97,5\text{--}96,1\%$  и специфичность  $93,4\text{--}93,9\%$  на независимых валидациях [82, 163]. Для прогнозирования острой почечной недостаточности по данным электронных медицинских карт было выявлено, что модель глубокого обучения способна предупреждать эпизод за 48 часов до развития события, что подчёркивает клиническую применимость предиктивной аналитики [162]. Работы по МО в герниологии представлены моделями на КТ-данных, диагностирующие внутренние брюшные грыжи и предсказывающие необходимость резекции кишки при ущемлённых паховых грыжах, с интеграцией радиомики и клинических факторов [115, 134].

Логистическая регрессия - базовый интерпретируемый метод бинарной классификации; остается «эталонным» сравнительным алгоритмом в клинических исследованиях благодаря прозрачности коэффициентов и устойчивости при корректной регуляризации [48, 83]. Пример: модели риска повторной госпитализации часто используют логистическую регрессию как сильную и понятную базу для сравнения с более сложными моделями [48, 93].

Дерево решений и случайный лес/градиентный бустинг обеспечивают наглядные правила («если–то») и хорошо работают со смешанными по типу признаками; ансамбли деревьев повышают точность и устойчивость. В клинической практике деревья и бустинг – одни из самых результативных для прогноза реадмиссий и ряда других исходов по электронным медкартам [48, 93].

Метод опорных векторов (SVM) эффективен в задачах с высокой размерностью признаков и ограниченными выборками; широко применялся в медицинской визуализации до «всплеска» глубинного обучения (например, в офтальмологии и рентгенодиагностике) [53].

Если целевые метки отсутствуют (обучение без учителя), применяют кластеризацию (k-means, DBSCAN) для выявления, например в медицине, скрытых фенотипов пациентов и закономерностей в данных, а также методы снижения размерности (PCA и др.) для сжатия и визуализации признаков [83].

В обзорах по МО в здравоохранении эти подходы описаны как ключевые для фенотипирования и предварительной обработки признаков перед построением прогностических моделей [37, 83]. В интенсивной терапии методом consensus k-means были выделены четыре клинических фенотипа сепсиса, различающиеся по биомаркерам и исходам; это демонстрирует ценность кластеризации для клинического фенотипирования [111].

Обучение с подкреплением – это класс методов машинного обучения, где агент, взаимодействуя со средой, по принципу проб и ошибок осваивает стратегию действий, максимизирующую суммарную награду [159]. В медицине его используют для задач последовательного выбора терапии: показательный пример – AI Clinician при сепсисе в ОРИТ, где алгоритм, обученный на крупных ретроспективных когортах, рекомендовал режимы инфузий и вазопрессоров; совпадение реальной тактики с этими рекомендациями ассоциировалось с наименьшей смертностью в независимой валидации [111]. Такой подход демонстрирует потенциал персонализации лечения в многошаговых клинических сценариях.

Независимо от выбранного алгоритма, критичны корректная валидация (кросс-валидация, внешние выборки), учет дисбаланса классов и отчет о метриках (AUC, чувствительность/специфичность, отношение положительной (PPV) и отрицательной (NPV) прогностических ценностей). Систематические обзоры



подчеркивают: внешняя валидация пока встречается реже, чем требуется для клинической имплементации, а стандартизованные протоколы оценки и отчетности необходимы для надежного применения моделей в поддержке решений [48, 83].

### **8.3 Текстурный анализ в медицинской визуализации: истоки, методы и клинические примеры**

Текстурный анализ (ТА) – это количественное описание пространственного распределения интенсивностей на изображении, позволяющее выявлять структуру и неоднородность тканей, недоступные при обычной визуальной оценке. Основы ТА легли в основу многих радиомических подходов.

Классический фундамент метода заложен работой Haralick R.M. и соавт. (1973), где предложена матрица совместной встречаемости градаций серого (GLCM) и базовые признаки (контраст, однородность, корреляция, энергия/энтропия и др.) [84]. Далее появились локальные бинарные паттерны (LBP) для описания микротекстуры [136], многошкальные признаки на основе вейвлет-преобразований [166], а также ориентированные частотно-пространственные дескрипторы на базе Габор-фильтров [59, 98]. Современные обзоры для радиологов подчёркивают практическую ценность этих семейств признаков и необходимость аккуратной интерпретации с учётом параметров сканирования [167].

В типичном пайплайне ТА после сегментации ROI вычисляют базовые статистические характеристики (среднее, стандартное отклонение, асимметрия, эксцесс), далее – GLCM-метрики (контраст, однородность, корреляция), LBP-показатели микротекстуры, многошкальные признаки (вейвлет-энергии) и ориентированные дескрипторы (Габор-фильтры). Эти группы признаков дополняют друг друга: статистика описывает общую картину распределения, GLCM – пространственную организацию соседних пикселей, LBP – локальную зернистость, вейвлеты – вклад различных пространственных частот, Габор-фильтры – направленность и «волокистость» тканей [59, 84, 98, 136, 166].

В клинических обзорах подчёркивается, что выбор и интерпретация метрик зависят от задачи и параметров получения изображений, что требует аккуратного протоколирования и валидации [167].

Для переноса ТА в клинический контекст критичны стандартизация определений признаков и контроль их воспроизводимости. Image Biomarker Standardisation Initiative (IBSI) стандартизировала определения и эталонные значения для 170+ радиомических признаков, что дало основу для калибровки ПО и сопоставимости исследований [174]. Одновременно многочисленные работы показывают чувствительность признаков к параметрам КТ (напряжение трубки, алгоритмы реконструкции, модель сканера), подчёркивая необходимость стандартизации протоколов и внешней валидации [174].

Примеры, близкие к задачам брюшной стенки и мышечной ткани, показывают практическую пользу количественного описания текстуры: использование текстурных признаков улучшает автоматизированную сегментацию переднебоковой стенки живота [174]; радиомические признаки скелетных мышц по КТ помогают выявлять саркопению и прогнозировать течение заболевания [170].

Таким образом, текстурный анализ эволюционировал от классических статистических дескрипторов (GLCM, LBP, вейвлеты, Габор) к стандартизируемым радиомическим пайплайнам [59, 84, 98, 136, 166, 167, 174].

Классические подходы текстурного анализа (GLCM, LBP, вейвлеты, Габор) обеспечивают воспроизводимое количественное описание неоднородности тканей и служат фундаментом для построения прогностических моделей машинного обучения [59, 84, 98, 136, 166, 167]. Публикации демонстрируют их применимость к оценке мышечной ткани и структур переднебоковой стенки живота, что делает методы релевантными для предоперационного планирования при вентральных грыжах [134, 170]. С учётом требований стандартизации и воспроизводимости радиомических признаков в исследовании целесообразно опираться на рекомендации IBSI и учитывать влияние параметров КТ и реконструкций на

устойчивость метрик [174]. В совокупности это создаёт основу для интеграции количественных признаков в модели машинного обучения и объективизации факторов, потенциально влияющих на исходы герниопластики [174].

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Общая характеристика обследованных пациентов

В рамках ретроспективного наблюдения, выполненного на клинической базе ФГБУЗ «Клиническая больница №85» Федерального медико-биологического агентства России, а также ЧУЗ «Клиническая больница "РЖД-Медицина" имени Н.А. Семашко», была проведена обработка архивных данных компьютерной томографии и хирургических протоколов 90 пациентов, обследованных и/или оперированных в период с января 2020 года по сентябрь 2024 года.

Ретроспективное исследование осуществлялась с соблюдением биоэтических норм и положений. Одобрено локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Лумумбы» (протокол № 5/13 от 13 мая 2025 г.).

С целью сопоставительного анализа параметров все пациенты были распределены на три группы:

- **первая группа (n=30)** – пациенты без признаков патологии переднебоковой стенки живота, условно принятые за контроль;
- **вторая группа (n=30)** – пациенты с подтверждённой ПОВГ, соответствующей категории W2 по классификации ENS;
- **третья группа (n=30)** – пациенты с ПОВГ W3, которым планировалось дооперационное введение БТ-А в рамках подготовки к реконструктивному вмешательству (рисунок 9).



Рисунок 9 – Изображение пациента с послеоперационной вентральной грыжей (W3) перед началом введения БТ-А в рамках хирургического планирования

В исследование были включены пациенты, отобранные на основании заранее определённых критериев с формированием контрольной и основной групп.

Контрольную группу составили соматически здоровые мужчины и женщины в возрасте от 18 до 60 лет. Включение в группу осуществлялось при отсутствии патологических изменений со стороны органов брюшной полости, малого таза и костно-мышечной системы по данным инструментальных исследований (КТ), а также при отсутствии в анамнезе хирургических вмешательств на соответствующих анатомических областях. Исключались лица с врождёнными аномалиями, системными заболеваниями или выявленным диастазом прямых мышц живота шириной более 3 см (по данным КТ). Также исключались профессиональные спортсмены и атлеты с выраженной мышечной гипертрофией, способной повлиять на объективность морфометрической оценки.

Основную группу составили пациенты с клинически и/или инструментально подтверждённой послеоперационной вентральной грыжей W2 и W3. Все пациенты имели срединную локализацию грыжевого дефекта (тип М по классификации SWR). Из исследования исключались случаи латеральной (L) или сочетанной (ML)

локализации грыжи, а также наличие ущемления, кишечной непроходимости или свищей в проекции переднебоковой стенки живота на момент обследования.

## **2.2 Комплексное дооперационное обследование пациентов с W3 послеоперационными грыжами**

Пациенты с ПОВГ W3, отобранные для дооперационного введения БТ-А и последующего хирургического лечения, проходили комплексное клинико-инструментальное обследование. Целью обследования являлась оценка общего соматического состояния, выявление сопутствующих заболеваний и потенциальных противопоказаний к предстоящему лечению.

На первом этапе проводился сбор анамнеза и общий клинический осмотр, в ходе которого оценивались общее состояние пациента, индекс массы тела, уровень физической активности, а также наличие сопутствующей патологии. Особое внимание уделялось локальному осмотру грыжевого дефекта: определялись размеры и расположение грыжевых ворот, характер содержимого грыжевого мешка, наличие признаков воспаления, ущемления, а также состояние кожных покровов в области дефекта. Пальпация использовалась для уточнения плотности краёв грыжевых ворот, болевой чувствительности и подвижности тканей.

Лабораторное обследование включало общий и биохимический анализы крови, общий анализ мочи, коагулограмму, а также серологические исследования на инфекции (вирусные гепатиты В и С, ВИЧ, сифилис). Полученные данные позволяли исключить острые воспалительные процессы, метаболические нарушения и инфекционные риски, значимые при планировании хирургического вмешательства. В рамках лабораторного обследования выполнялись общий анализ крови и мочи, биохимический анализ крови с оценкой функции печени и почек, коагулограмма, а также серологические тесты на вирусные гепатиты В и С, ВИЧ и сифилис. Полученные данные позволяли исключить острые воспалительные процессы, метаболические нарушения и инфекционные риски, значимые при планировании хирургического вмешательства.

### 2.3 КТ-абдоминометрия

Всем включённым в исследование пациентам выполнялось мультizonальное компьютерно-томографическое сканирование, охватывающее органы грудной клетки, брюшной полости и полости таза с применением внутривенного контрастного усиления. Исследования проводились на томографах Toshiba Aquilion 64, GE Optima CT660 и Aquilion Lightning SP. У пациентов первой группы проводилась только КТ-абдоминометрия, тогда как у обследуемых второй и третьей групп дополнительно выполнялась КТ-герниометрия. Обработка изображений и проведение измерений выполнялись с использованием программного обеспечения Vidar Dicom Viewer, в котором применялись инструменты «объём по контурам», «отрезок» и «кривая». Программное обеспечение выполняло автоматическое вычисление интересующих показателей на основании введённых исходных данных. Морфометрический анализ, выполненный по данным КТ, включал определение ряда показателей: общего объёма брюшной полости, объёма содержимого грыжевого мешка, площадь поверхности брюшной полости, площади потенциально удаляемого участка, размеров грыжевых ворот, окружности живота (брюшной стенки) и угла между медиальными краями прямых мышц живота (таблица 10).

Таблица 10 – Исходные морфометрические параметры

| Параметр                    | Метод получения                                    | Единицы измерения | Примечания               |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Объём брюшной полости       | По Е.У. Tanaka / Никитаеву / ПО Vidar Dicom Viewer | см <sup>3</sup>   | Три модели для сравнения |
| Объём грыжевого содержимого | По Е.У. Tanaka / ПО Vidar Dicom Viewer             | см <sup>3</sup>   |                          |

## Продолжение таблицы 10

|                                     |                                                           |                 |                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Площадь поверхности брюшной полости | Метрики, полученные при расчетах по Tanaka                | см <sup>2</sup> |                                                                                                                                                                                             |
| Площадь удаляемой ткани             | Измерение на аксиальных и саггитальных срезах             | см <sup>2</sup> |                                                                                                                                                                                             |
| Ширина грыжевых ворот               | Измерение на аксиальных срезах                            | см              | Измерение на уровне максимальной ширины грыжевых ворот                                                                                                                                      |
| Окружность брюшной стенки           | По контуру брюшной стенки                                 | см              | На уровне L3–L4 по аксиальной проекции                                                                                                                                                      |
| Угол расхождения прямых мышц        | Угол между медиальными краями прямых мышц живота и аортой | градусы         | На уровне максимального расхождения в аксиальной проекции; при W3-грыжах учитывали анатомическую вариабельность, угол рассчитывали с условным позиционированием аорты между прямыми мышцами |

Далее на основе первичных данных рассчитывались производные морфометрические индексы, использующиеся для прогноза возможности выполнения интраоперационного ненатяжного закрытия дефекта переднебоковой стенки живота. Их расчёт осуществлялся на основе исходных морфометрических параметров, полученных по данным компьютерной томографии. Использование этих индексов позволяло объективизировать показания к дооперационному введению БТ-А и сформировать индивидуальный план хирургического лечения.

### 2.3.1 Исходные морфометрические параметры

Многие авторы [19, 161] для расчета ОБП и объема грыжевого мешка принимали форму грыжевого мешка за шар, а брюшную полость за эллипсоид/сфероид. Основываясь на данной гипотезе, были выдвинуты несколько вариантов неинвазивного рентгенологического метода расчета объема брюшной полости (таблица 11).



Таблица 11 – Используемые подходы к расчёту объёма брюшной полости и грыжевого содержимого

| Метод расчёта объёма           | Уравнение / модель                                                                                                                                                     | Использование в исследовании |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| По Е.У. Tanaka соавт. [161]    | Стандартная формула объема эллипсоида                                                                                                                                  | Сравнение точности           |
| По Н.С.Никитаеву и соавт. [19] | Модифицированный эллипсоид                                                                                                                                             | Сравнение точности           |
| ПО Vidar Dicom Viewer          | Ручное послойное выделение брюшной полости на аксиальных срезах, с исключением костно-мышечных структур и крупных сосудов, с дальнейшим автоматическим расчётом объёма | Условно истинный объем       |

В зарубежной литературе описан вариант КТ-абдоинометрии, предложенный японским хирургом Е.У. Tanaka и соавт. [161]. Методика оценки объёма брюшной полости основывалась на измерении трёх линейных параметров: кранио-каудального (продольного), поперечного и переднезаднего размеров.

Переднезадний размер (С) определялся в аксиальной плоскости как расстояние от передней линии, соединяющей мышцы переднебоковой стенки живота, до задней границы, проходящей через поперечные отростки поясничных позвонков [161]. Поперечный размер (В) представлял собой отрезок между листками париетальной брюшины с обеих сторон в наиболее широком участке [161]. Кранио-каудальный размер (А) измерялся в сагиттальной проекции – от купола диафрагмы (верхняя граница) до уровня копчика (нижняя граница). Для уточнения данного параметра дополнительно использовались аксиальные срезы: верхняя граница определялась по первому срезу с визуализацией диафрагмы, нижняя – по последнему срезу, где визуализировался копчик [161] (рисунок 10).

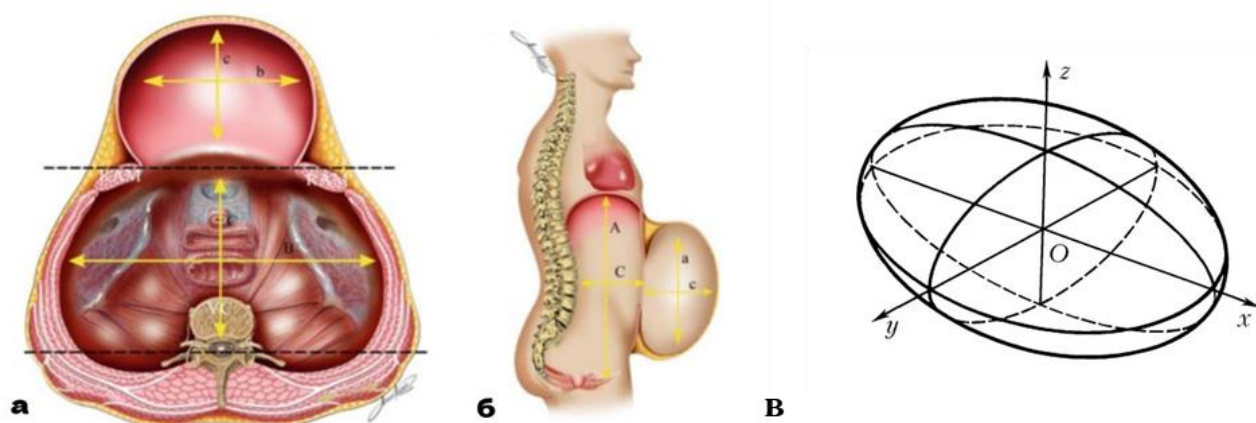


Рисунок 10 – Морфометрические параметры брюшной полости и грыжевого мешка, где а – аксиальная проекция: показаны направления поперечного (b) и передне-заднего (c) размеров брюшной полости; б – сагиттальная проекция: обозначены продольный (A) и передне-задний (C) размеры, пунктирной линией выделена передняя стенка; в – схематическое изображение эллипсоида с обозначением радиусов вдоль осей координат (x, y, z), соответствующих измеряемым направлениям (A, B, C) [161].

После проведения измерений авторами были выделены три основных линейных параметра, характеризующих объём брюшной полости: А – кранио-каудальный размер, В – поперечный размер, С – переднезадний размер. Для расчёта объёма брюшной полости (ОБП) использовалась геометрическая модель эллипсоида. Объём эллипсоида вычислялся по формуле:

$$V = \frac{4}{3}\pi r_1 r_2 r_3,$$

$$\text{где } V - \text{объём, см}^3; r_1 = \frac{A}{2}, \quad r_2 = \frac{B}{2}, \quad r_3 = \frac{C}{2},$$

а А, В, С – кранио-каудальный, поперечный и переднезадний размеры соответственно, см

Подставляя значения радиусов, получаем:

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot \frac{A}{2} \cdot \frac{B}{2} \cdot \frac{C}{2} = \frac{\pi}{6} \cdot A \cdot B \cdot C$$

Численно  $\pi/6 \approx 0.52$ , следовательно, формула может быть представлена в упрощённом виде:

$$V \approx 0,52 \cdot A \cdot B \cdot C \quad (1)$$

Схожий подход к расчёту объёма брюшной полости был предложен Н.С. Никитаевым и соавт. [19]. Основное отличие данной методики заключается в способе измерения кранио-каудального и передне-заднего размеров. В частности, передне-задний размер определялся на уровне бифуркации аорты как расстояние от переднего края тела позвонка до внутренней поверхности переднебоковой стенки живота либо грыжевых ворот [19]. Кранио-каудальный размер измерялся от купола диафрагмы до уровня тазового дна [19]. Указанные ориентиры обеспечивали воспроизводимость и анатомическую точность измерений (рисунок 11)

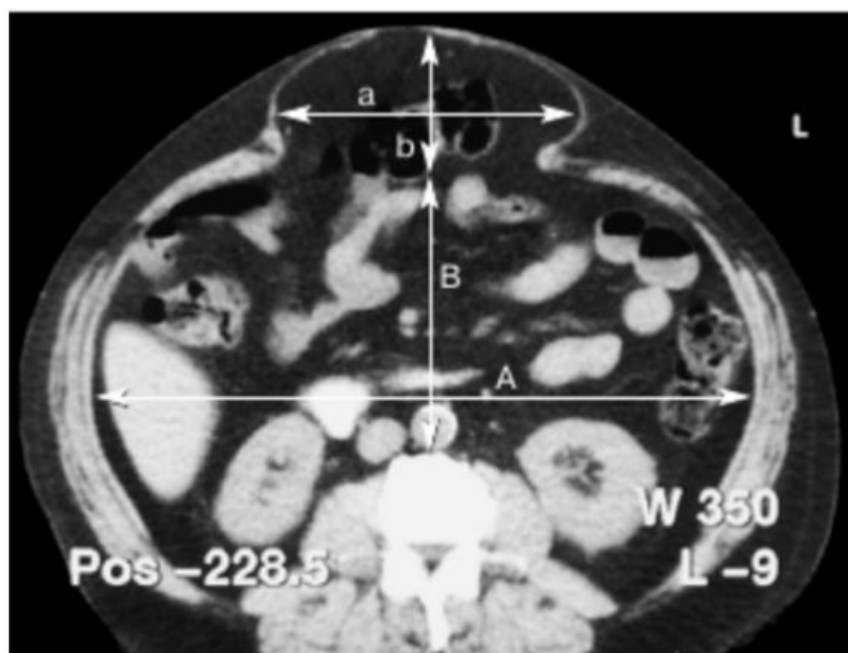


Рисунок 11 – Аксиальная проекция (срез) брюшной полости и грыжевого мешка, где А - поперечный размер, В- переднезадний размер [19]

Методика компьютерной герниоабдоинометрии была разработана А.С. Ермоловым и соавт, и защищена патентом РФ №2004121038 от 09.07.2004 [4]. Данный способ позволяет с высокой точностью оценивать размеры грыжевого мешка независимо от его объёма, вычислять относительное значение грыжевого

содержимого, а также анализировать дегенеративные изменения мышц переднебоковой стенки живота.

Суть методики заключается в послойном обведении (контурировании) брюшной полости и грыжевого выпячивания на всех аксиальных КТ-срезах с последующим автоматизированным расчётом площади каждого сечения и объёма по результатам сегментации. Объёмные значения, полученные для каждого среза, суммировались с учётом толщины среза (шага сканирования), после чего рассчитывались два ключевых показателя: объём брюшной полости и объём грыжевого мешка.

В исследовании были применены два подхода к расчёту объёма (методы №1 и №2), основанные соответственно на алгоритмах, предложенных Е.У. Танака и Н.С. Никитаевым с соавторами. В качестве контрольного значения (метод №3) использовался объём, автоматически рассчитываемый в программе Vidar Dicom Viewer с применением инструмента «объём по контурам». Для проведения КТ-абдоминометрии по методике Е.У. Танака (метод №1, рисунок 12) оценивались три линейных параметра брюшной полости: кранио-каудальный, поперечный и переднезадний размеры. Переднезадний и поперечный измерялись на уровне пупка (L3–L4) по аксиальным срезам.

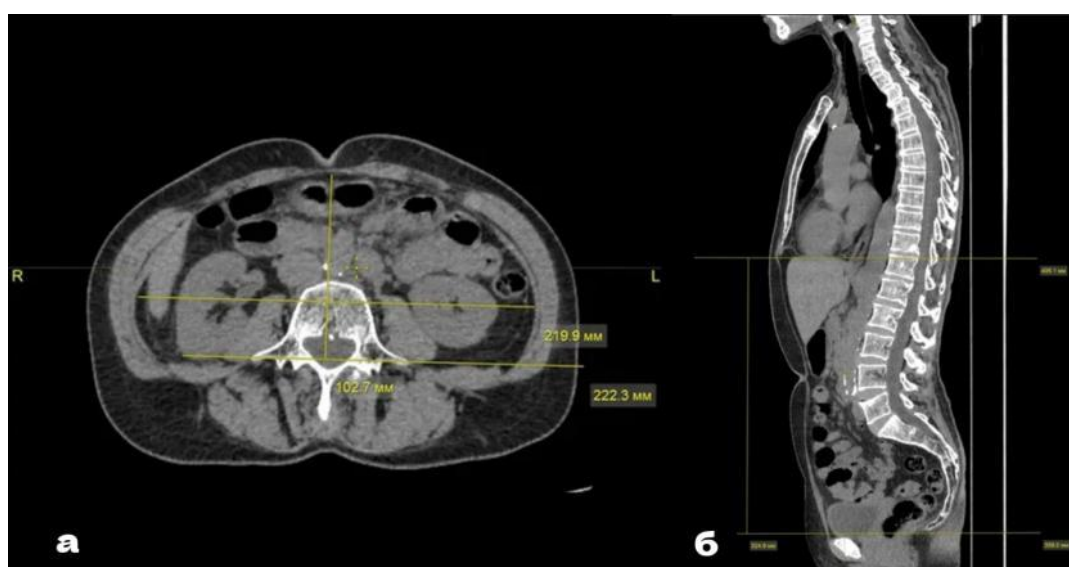


Рисунок 12 – Измерение переднезаднего и поперечного размеров по методу Е.У. Танака и соавт.: а – аксиальная проекция, б – сагиттальная проекция

В методике, предложенной Н.С. Никитаевым и соавт. (метод №2, рис), в исследовании в качестве ориентира уровня тазового дна условно принимались седалищные кости, визуализируемые на сагиттальных КТ-срезах, что обеспечивало воспроизводимость измерений при вариабельности визуализации мягкотканых структур (рисунок 13).

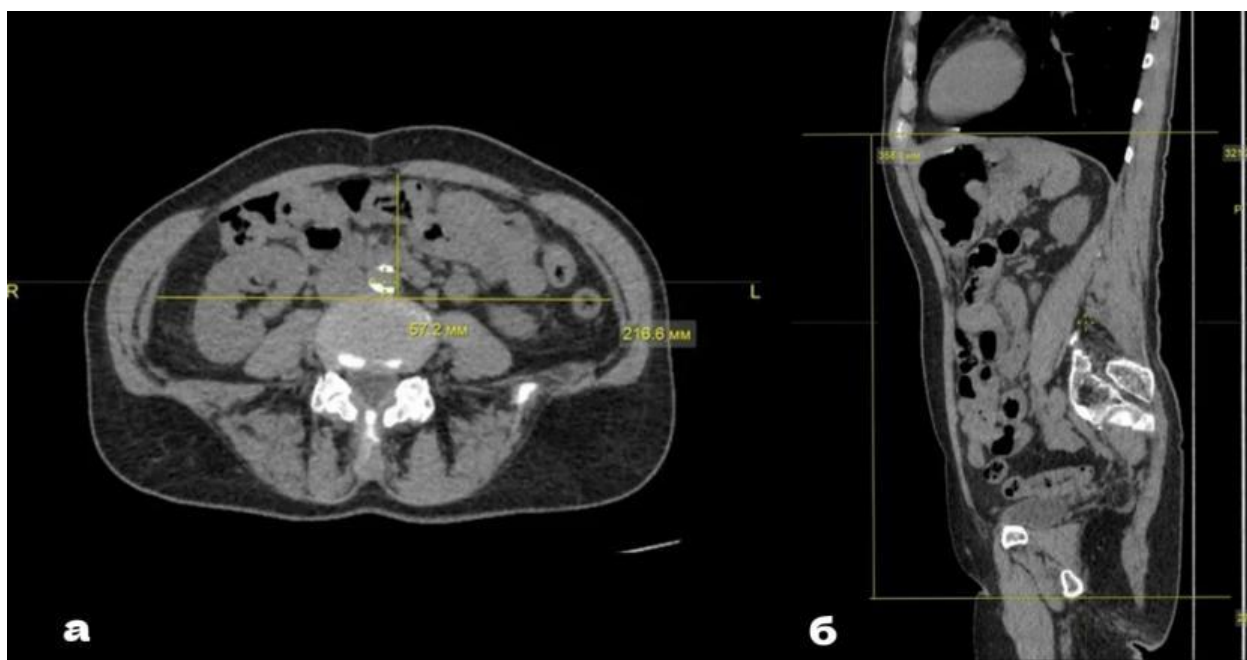


Рисунок 13 — Пример измерения переднезаднего и поперечного размера по методу Н.С.Никитаева и соавторов: а- аксиальная проекция, б- сагиттальная проекция

После получения линейных размеров по методикам Е.У. Tanaka и Н.С. Никитаева объём брюшной полости рассчитывался согласно формуле (1).

Для измерения условно истинного объёма брюшной полости использовался инструмент «Построение объема контурами» программного обеспечения Vidar DICOM Viewer, основанный на поаксиальном(послойном) ручном контурировании брюшной полости с последующим автоматическим

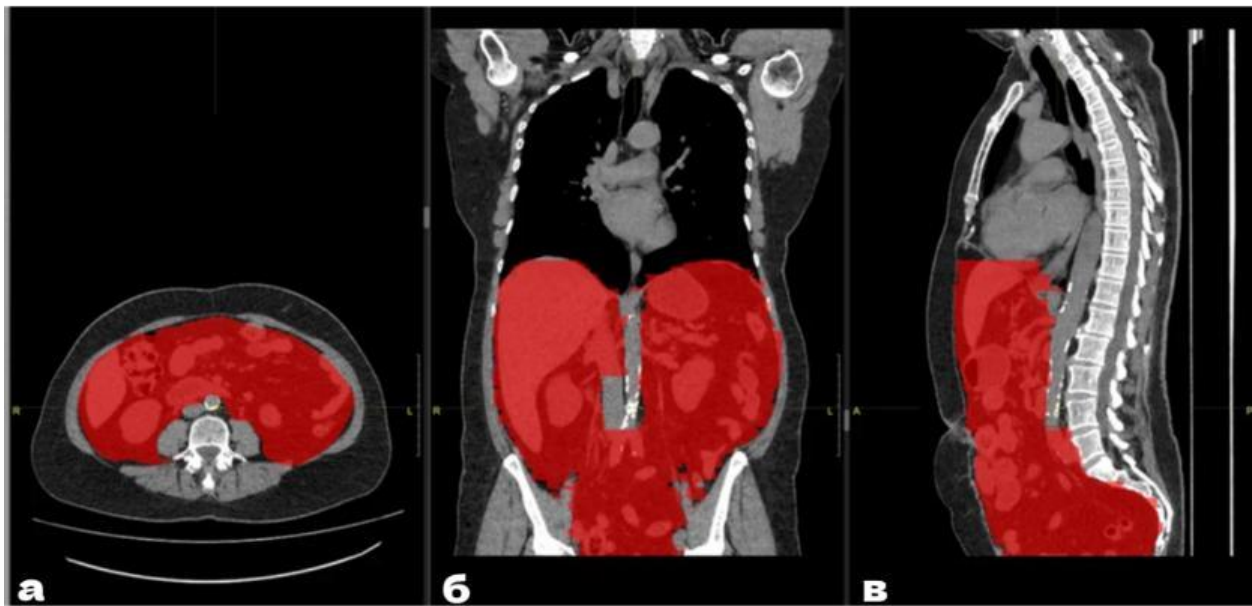


Рисунок 14 – Пример расчета объема с помощью Vidar Dicom Viewer с использованием программы «объем контурами»

Границами сегментируемой области служили: спереди – мышцы переднебоковой стенки живота, сзади – линия, проходящая перед телами позвонков, без включения крупных забрюшинных сосудов; с боков – внутренние листки париетальной брюшины; сверху – диафрагма, снизу – тазовое дно, ориентиром для которого являлась ампула прямой кишки. Костно-мышечные структуры и сосуды (включая аорту и нижнюю полую вену) в объём не включались.

После завершения контурирования на всех срезах программа автоматически рассчитывала объём брюшной полости, выраженный в кубических сантиметрах(см<sup>3</sup>).

Измерения размеров А, В и С по трем методикам выполнялись независимо двумя специалистами (рентгенологом и хирургом) с опытом работы более 3 и 10 лет. При наличии статистически значимых расхождений в результатах, повторное измерение выполнял третий специалист (врач-рентгенолог), и его значение принималось в качестве контрольного.

Площадь поверхности брюшной полости рассчитывалась с использованием аппроксимации геометрической формы эллипсоида по формуле [57]:

$$S = 4\pi \left( \frac{c^{1.6}b^{1.6} + a^{1.6}c^{1.6} + b^{1.6}a^{1.6}}{3} \right)^{\frac{1}{1.6}}, \quad (2)$$

где  $a = \frac{A}{2}$ ,  $b = \frac{B}{2}$ ,  $c = \frac{C}{2}$ ,  $\pi \approx 3$ ,

Данная формула представляет собой приближённую геометрическую модель, интерпретируемую как площадь сектора или дугообразного сегмента поверхности, условно «вырезанного» из переднебоковой стенки живота.

Для оценки ширины грыжевых ворот (или linea alba у контрольной группы) использовалась функция линейного измерения («отрезок») в программном обеспечении. Измерение проводилось в аксиальной плоскости на уровне максимального дефекта переднебоковой стенки живота (или на уровне пупочного кольца у контрольной группы), с фиксацией наибольшего поперечного расстояния между краями прямых мышц живота (рисунок 15).

Окружность брюшной полости определялась в ПО при помощи инструмента «кривая» путём обведения внутренней поверхности париетальной брюшины на аксиальных срезах. Точки вдоль контура наносились вручную и автоматически



соединялись в замкнутую линию, после чего программа рассчитывала длину окружности в сантиметрах (рисунок 15).



Рисунок 15 – КТ- схема морфометрической оценки переднебоковой стенки живота у пациента с послеоперационной вентральной грыжей. Представлены ключевые измеряемые параметры: толщина и площадь мышечных структур, окружность брюшной полости, межмышечное расстояние между прямыми мышцами живота, а также угол их латерального расхождения.

### 2.3.2 Производные морфометрические индексы

Для количественной оценки и прогноза возможности интраоперационного закрытия грыжевого дефекта (ненатяжная пластика), были использованы производные морфометрические индексы. Каждый из индексов рассчитывался на основании исходных морфометрических параметров, полученных при анализе КТ-изображений.

Рассчитанные индексы (таблица 12) использовались в качестве предикторов натяжения, что позволяет объективизировать выбор тактики хирургического вмешательства и необходимость выполнения дополнительных манипуляций, например введение БТ-А.



Термин «доля удаляемой ткани» введён впервые в качестве индекса в рамках настоящего исследования с целью оценки относительного объёма предстоящей резекции тканей.

Таблица 12 – Производные морфометрические индексы

| Индекс                                 | Формула расчёта                                                                                                                                   |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Индекс Tanaka                          | Объём грыжи / Объём брюшной полости                                                                                                               |
| Доля удаляемой ткани                   | Площадь брюшной стенки / Площадь удаляемой ткани                                                                                                  |
| Defect ratio<br>(коэффициент дефекта)  | $(\text{Ширина грыжевых ворот} / \text{Окружность брюшной стенки}) \times 100$                                                                    |
| Индекс разделения<br>компонентов (CSI) | $\text{Угол расхождения прямых мышц живота (измеренного между медиальными краями мышц на уровне наибольшей ширины дефекта и аортой)} / 360^\circ$ |

## 2.4 Оценка состояния мышечно-апоневротического слоя переднебоковой стенки живота по данным КТ

Анализ морфологических характеристик мышечно-апоневротического слоя переднебоковой стенки живота осуществлялся на основе компьютерно-томографических данных с использованием программного обеспечения Vidar DICOM Viewer. Для получения количественных и пространственных показателей применялись встроенные инструменты визуализации и измерения: линейные («отрезок»), криволинейные («кривая») и контурные («замкнутая кривая»), что позволило обеспечить высокую точность при определении анатомических параметров исследуемой области.

Учитывая, что границы между мышцами переднебоковой стенки живота (*m. obliquus externus abdominis*, *m. obliquus internus abdominis*, *m. transversus abdominis*) часто трудно различимы на КТ-изображениях, эти мышцы рассматривались как единый общий мышечный пласт. Измерения проводились по аксиальной проекции, на том же срезе, где были проведены измерения по методу Е.У.Танакы (уровень L3–L4, с обязательной визуализацией поперечных отростков) (таблица 13).

Таблица 13 – Морфометрические параметры и методы их измерения

| Параметр                      | Метод измерения                                                                              | Инструмент         | Особенности                                                                            |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Толщина мышечного слоя        | Расстояние между наружным и внутренним контурами в наиболее широком участке (справа и слева) | «Отрезок»          | Аксиальный срез                                                                        |
| Средняя длина мышцы           | Протяжённость наружного и внутреннего контуров мышц (справа и слева)                         | «Кривая»           | Средняя длина мышцы, рассчитана как сумма длины по наружному и внутреннему контуру / 2 |
| Площадь мышц ПБС              | Ручное обведение мышечного слоя по анатомическим границам                                    | «Замкнутая кривая» | Учитываются переходы в апоневроз и видимые боковые границы                             |
| Плотность мышечной ткани (НУ) | Автоматически рассчитывается при выделении области                                           | «Замкнутая кривая» | Фиксируются min, max и среднее значение (SD)                                           |

Длина мышц определялась отдельно по наружному и внутреннему контурам с правой и левой стороны соответственно: наружный контур располагался ближе кнаружи от брюшной полости и соответствовал наружной поверхности мышечного слоя, внутренний контур: обращен в сторону брюшной полости и соответствовал внутренней границе мышечного пласта.

## **2.5 Методы дооперационной подготовки пациентов к хирургическому лечению (методика химического релиза мышц переднебоковой стенки живота).**

В рамках настоящего исследования под термином дооперационная подготовка (или предоперационная) рассматривается как самостоятельный этап хирургического лечения, включающий локальное воздействие на ткани переднебоковой стенки живота с целью снижения натяжения и улучшения их мобилизации.

Для подготовки пациентов с послеоперационными вентральными грыжами степени W3 к герниопластике применялась введение БТ-А - метод химической

сепарации, направленный на временное снижение иннервации мышечно-апоневротического слоя передней брюшной стенки с целью уменьшения натяжения тканей в зоне грыжевого дефекта. Введение осуществлялось препаратом Ботокс® (ботулинический токсин типа А, комплекс с гемагглютинином, лиофилизат для приготовления раствора для инъекций, Allergan), регистрационный номер П N 011936/01 (флаконы по 100 ЕД) или ЛП-002949 (флаконы по 200 ЕД), в общей дозе до 300 ЕД.

Техника выполнения: пациент находился в положении лёжа. Для каждой инъекции использовался ультразвуковой контроль на УЗ-аппаратах Sonoscape E1 или Esaote MyLab Seven с использованием линейного датчика 7-15МГц, позволяющий визуализировать иглу и обеспечить равномерное распределение препарата в толще мышцы.

Инъекции ботулотоксина выполнялись в толщу наружной и внутренней косых, а также поперечной мышцы живота (*m. obliquus externus, internus* и *m. transversus abdominis*) с учетом на анатомических ориентиров – рёберная дуга и гребень подвздошной кости. Точки введения размечались перманентным маркером вдоль передней (три точки), средней (две точки) и задней (одна точка) подмышечных линий. Расстояние между точками подбиралось индивидуально с сохранением равномерного распределения (рисунок 16).



Рисунок 16 – Проведение введения БТ-А у пациента с послеоперационной вентральной грыжей W3. А – разметка зон предполагаемого введения препарата по передней брюшной стенке; Б – выполнение инъекции БТ-А под ультразвуковой навигацией.

## 2.6 Хирургический этап: выполнение герниопластики по методике Rives–Stoppa

В третьей группе пациентов с послеоперационными вентральными грыжами W3 по классификации EHS выполнялась герниопластика по методике Rives–Stoppa, которая считается одной из наиболее эффективных несепарационных техник при лечении крупных и гигантских дефектов передней брюшной стенки [110, 154]. В рамках данной методики сетчатый имплантат устанавливали в ретромускулярное пространство.

Операция выполнялась под эндотрахеальным наркозом. После антисептической обработки операционного поля производился продольный разрез по белой линии живота с иссечением послеоперационного рубца. Подкожная клетчатка отслаивалась для обнажения передней поверхности апоневроза, в последующем вскрывался единый апоневроз с выделением грыжевого мешка и адгезиолизисом. После мобилизации грыжевого мешка, последний вскрывался, содержимое погружалось, грыжевое содержимое погружалось в брюшную

полость, грыжевой мешок иссекался, отправлялся на гистологическое исследование. Далее производилось вскрытие переднего листка апоневроза симметрично с двух сторон, волокна прямой грыжи мобилизовались по периметру с целью формирования ретромускулярного пространства (рисунок 17).

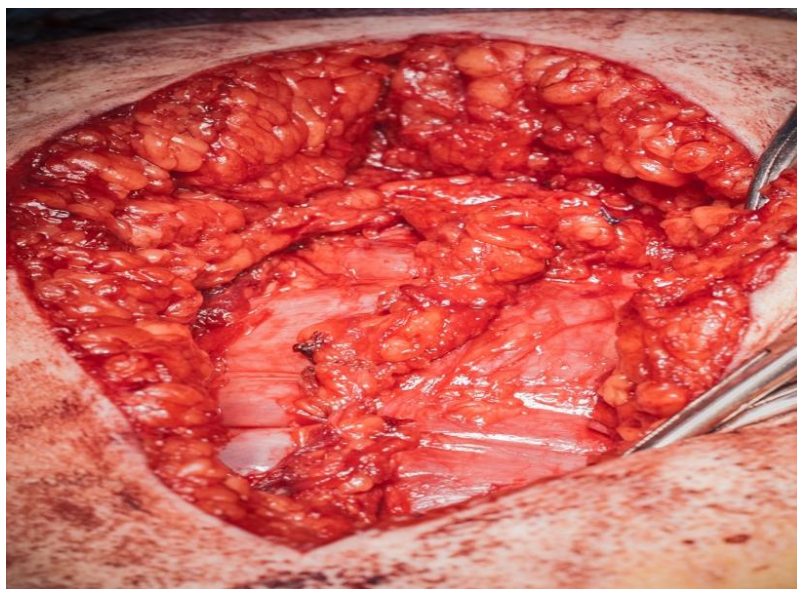


Рисунок 17 – Формирование ретромускулярного пространства для установки сетчатого имплантата

В двух клинических случаях пространство дополнительно расширялось латерально - до латерального края прямых мышц (эти наблюдения не включены в общую выборку).

После ушивания заднего листка апоневроза измерялось внутрибрюшное давление по методу Kron [94]. Через уретральный катетер Фолея в мочевого пузырь вводили 25 мл тёплого стерильного раствора. Давление определяли по уровню жидкости в капилляре, установленном относительно лонного сочленения. При значении менее 12 мм рт. ст. выполнялась классическая герниопластика по Rives–Stoppa. В случаях, когда внутрибрюшное давление превышало 12 мм рт. ст., к основному хирургическому вмешательству добавлялся этап переднего разделения компонентов по методике Ramirez [140] (в двух случаях, которые были исключены из исследования).

Укрепление апоневроза осуществлялось с применением полипропиленового сетчатого имплантата, размеры которого обеспечивали перекрытие грыжевого дефекта не менее чем на 5 см во всех направлениях, в соответствии с принятыми клиническими стандартами [15, 92]. Имплантат устанавливался в ретромускулярное пространство. Для фиксации применялась нерассасывающийся шовный материал (рисунок 18).

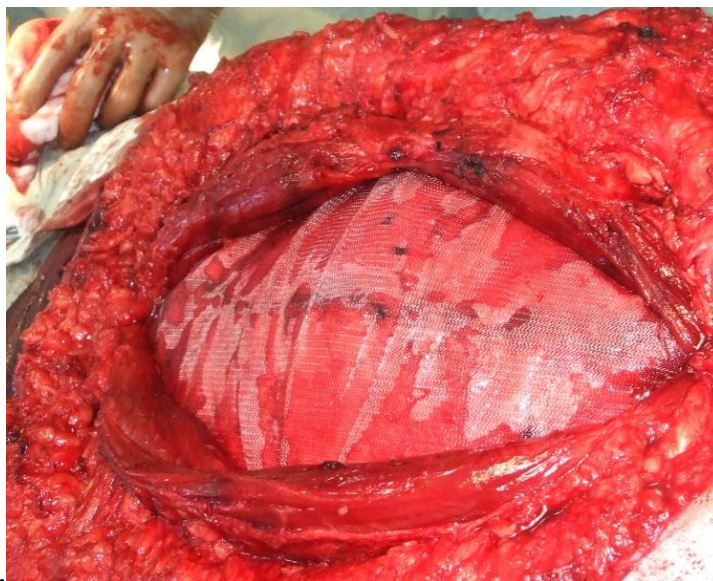


Рисунок 18 – Установка сетчатого имплантата в ретромускулярное пространство

После установки сетчатого имплантата проводилось послойное ушивание мышечно-апоневротического слоя. Передний листок влагалища прямой мышцы живота ушивался непрерывным швом, восстанавливая анатомическую целостность переднебоковой стенки живота (рисунок 19). Послойное ушивание раны, установка дренажей в подкожно-жировую клетчатку.



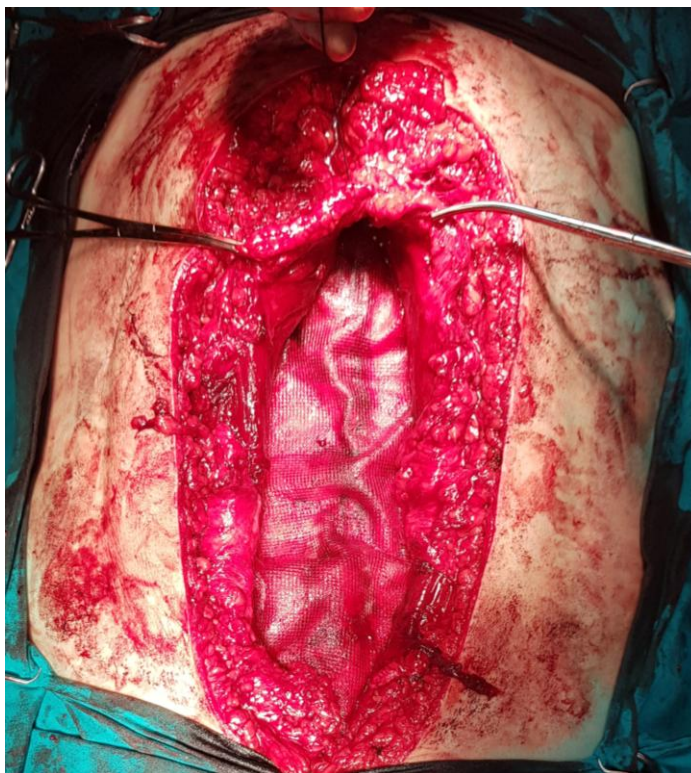


Рисунок 19 – Завершение герниопластики: сопоставление краёв прямых мышц живота без натяжения после установки имплантата.

## 2.7 Машинное обучение для анализа данных и поиска признаков.

Анализ и обработка данных выполнялись с использованием языка программирования Python версии 3.10.12 и специализированных библиотек (pandas, numpy, scikit-learn, matplotlib, seaborn). В рамках исследования применялись методы машинного обучения с целью разработки прогностических моделей, позволяющих определить вероятность назначения введения БТ-А на этапе дооперационного планирования.

На первом этапе был реализован отбор информативных признаков (feature selection), основанный на встроенных механизмах алгоритмов ансамблевого обучения – в частности, моделей Random Forest, Extra Trees и Gradient Boosting. Значимость признаков оценивалась по величине импакт-факторов (feature importance), после чего отбирались переменные, оказывающие наибольшее влияние на целевое решение. Это позволило исключить нерелевантные характеристики и повысить обобщающую способность моделей.

Для прогнозирования целесообразности применения БТ-А была сформирована предсказательная модель на основе логистической регрессии. В целях сравнительной оценки эффективности использовались альтернативные алгоритмы машинного обучения, включая метод опорных векторов (SVM), алгоритм k-ближайших соседей (KNN) и модель дерева решений. Сравнительный анализ производился с применением стандартных метрик качества классификации: точности (accuracy), полноты (recall), F1-меры и площади под кривой ошибок (AUC-ROC).

Для анализа внутренней структуры выборки и выявления скрытых закономерностей были применены методы кластеризации. Алгоритм K-Means использовался для группировки пациентов в соответствии с вероятностью назначения БТ-А, тогда как DBSCAN позволил идентифицировать плотные кластеры с однородными характеристиками и выделить случаи с атипичными признаками.

С целью упрощения анализа высокоразмерного признакового пространства и визуального представления данных применялся метод главных компонент (PCA), обеспечивший выделение основных направлений вариативности и повышение интерпретируемости результатов машинного анализа.

## **2.8 Текстурный анализ**

Текстурный анализ основан на математическом моделировании пространственного распределения интенсивности пикселей и позволяет вычислять такие характеристики, как контрастность (contrast), корреляция (correlation), однородность (homogeneity), энтропия (entropy) и другие статистические параметры [167, 171] (рисунок 20).



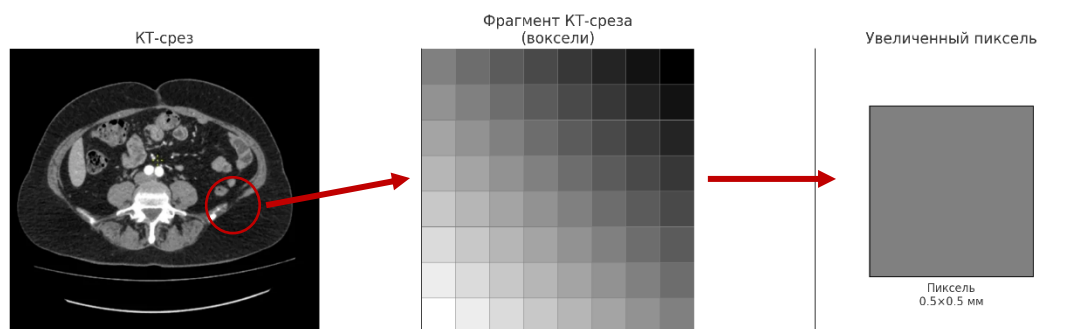


Рисунок 20 – Пример фрагмента КТ-среза, отображение вокселей и увеличение пикселя для оценки пространственного разрешения в КТ-изображениях.

На КТ-сериях в аксиальных проекциях произведена сегментация (ROI) мышц переднебоковой стенки живота (*m. obliquus externus abdominis*, *m. obliquus internus abdominis*, *m. transversus abdominis*) с правой и левой стороны, сформировав маски (выделен и «вырезан» сегментированный слой MAC) для последующего анализа. Разделение анатомических структур выполнялось в платформе Roboflow (<https://app.roboflow.com>) с использованием методов автоматической сегментации и ручной коррекции. В качестве базового алгоритма использовалась сверточная нейронная сеть U-Net (рисунок 21).



Рисунок 21 – Пример КТ-среза и соответствующая маска мышечно-апоневротического слоя переднебоковой стенки живота справа

Анализ проводился по трём группам пациентов. Каждая маска, полученная на основе КТ-изображений, подвергалась предварительной нормализации и

стандартизации интенсивностей пикселей, после чего выполнялось извлечение текстурных признаков.

Используемая формула для стандартизации:

$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$ , где  $x$  – значение признака,  $\mu$  – среднее значение признака,  $\sigma$  – стандартное отклонение признака,  $z$  – стандартизованное значение [127].

Далее производилось извлечение текстурных признаков, включающих как базовые статистические параметры, так и дескрипторы на основе локальных текстурных паттернов. Оценка включала среднее значение интенсивности (mean\_gray) и стандартное отклонение (std\_gray), позволяющие количественно охарактеризовать плотность и неоднородность структуры тканей (пример рисунок 22).

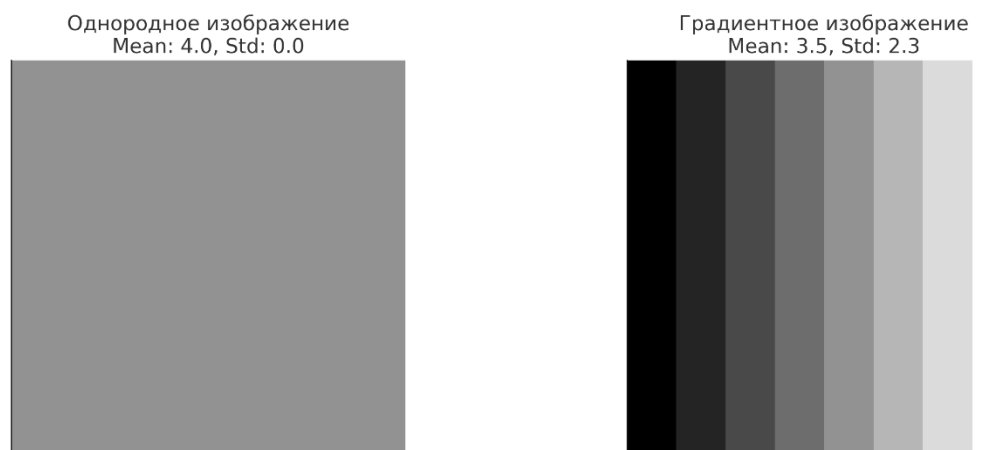


Рисунок 22 – Визуализация среднего и стандартного отклонения уровня серого (std\_gray)

Для более детальной характеристики распределения интенсивностей рассчитывались показатели асимметрии (skewness\_gray) и эксцесса (kurtosis\_gray), используемые для выявления смещения распределения и аномальных значений.

Наряду с этим анализировались признаки, основанные на матрице совместной встречаемости градаций серого (GLCM), включая контраст, корреляцию и однородность, которые позволяют оценивать степень различий

между соседними пикселями, линейную зависимость уровней серого и сглаженность текстуры (рисунок 23).

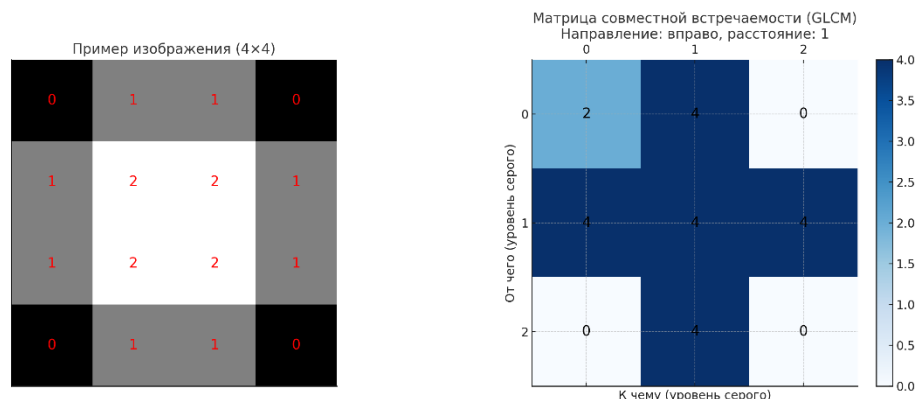


Рисунок 23 –Иллюстрация расчета GLCM

Для описания микроструктуры изображений применялся метод локальных бинарных паттернов (LBP), кодирующий локальные вариации яркости. Дополнительно проводился вейвлет-анализ, обеспечивающий многомасштабное разложение изображения и оценку распределения энергии текстуры в различных частотных диапазонах, а также Габор-фильтрация, позволявшая учитывать направленность и пространственно-частотные характеристики структуры тканей.

Для межгруппового сравнения применялись дисперсионный анализ (ANOVA) при нормальном распределении данных и непараметрический критерий Крускала–Уоллиса при его отклонениях. В случае получения статистически значимых различий выполнялся post-hoc тест Тьюки для множественных сравнений. Полученные результаты визуализировались в виде распределений, диаграмм размаха и графиков рассеяния, что позволяло наглядно представить вариабельность признаков и межгрупповые различия. Визуализация проводилась с использованием библиотек matplotlib и seaborn.

## 2.9 Статистический анализ

Статистическая обработка и визуализация данных выполнялись с использованием программного обеспечения StatTech v. 4.5.0 (ООО «Статтех», Россия), а также средствами языка программирования Python версии 3.11.0 с

применением специализированных библиотек: pandas, scikit-learn, matplotlib и scipy.stats.

Для количественных переменных предварительно проверялась форма распределения: при объёме выборки менее 50 применялся критерий Шапиро–Уилка, а при числе наблюдений более 50 – критерий Колмогорова–Смирнова.

Показатели, распределённые по нормальному закону, описывались с использованием среднего арифметического значения (M), стандартного отклонения (SD) и 95% доверительного интервала (95% ДИ). При отсутствии нормальности распределения использовались медиана (Me) и квартильный размах (Q1–Q3).

Для сравнения двух независимых выборок с нормальным распределением при равенстве дисперсий применялся t-критерий Стьюдента, а при нарушении гомогенности дисперсий – t-критерий Уэлча. В случае отклонения распределения от нормального использовался U-критерий Манна–Уитни.

При сравнении более двух групп применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). В случае выявления статистически значимых различий выполнялся апостериорный множественный анализ с использованием пост-хок теста Тьюки (Tukey HSD).

Категориальные (качественные) признаки описывались с указанием абсолютных чисел и процентного соотношения. Сравнение долей в многовариантных таблицах проводилось с помощью критерия  $\chi^2$  Пирсона.

Статистически значимыми считались различия при уровне  $p < 0,05$ .

## ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Общая характеристика исследуемых групп и данные хирургического лечения

В исследовании были выделены три группы пациентов, по 30 человек в каждой. В первой группе среди 30 пациентов преобладали женщины, их доля составила 60% ( $n = 20$ ). Во второй группе (W2) распределение было равномерным между мужчинами и женщинами. В третьей группе (W3) большинство пациентов составили мужчины – 72% ( $n = 21$ ).

Средний возраст пациентов также различался между группами: в первой группе он составил  $45,2 \pm 6,8$  лет, во второй группе –  $52,7 \pm 7,3$  лет, а в третьей группе –  $56,1 \pm 5,9$  лет.

Среднее время от операции до появления жалоб у пациентов группы 2 составило 3 года 6 месяцев ( $42,4 \pm 66,8$  месяцев), группы 3 –  $6,8 \pm 5,1$  месяцев.

Сравнительный анализ показал различие в характере ранее перенесённых операций между группами (таблица 14).

Таблица 14 – Сравнительная характеристика ранее перенесённых операций

| Вид ранее перенесённого оперативного вмешательства                            | Группа 2 ( $n = 30$ ), $n$ (%) | Группа 3 ( $n = 30$ ), $n$ (%) |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Экстренные лапаротомии (эвентрации, перитонит)                                | –                              | 12 (40,0 %)                    |
| Резекция кишечника при травмах (ДТП) с эвентрацией                            | –                              | 3 (10,0 %)                     |
| Гемиколэктомия (рак сигмовидной, слепой кишки)                                | 7 (23,1 %)                     | –                              |
| Экстирпация матки с придатками                                                | 7 (23,1 %)                     | –                              |
| Аппендэктомия                                                                 | 2 (7,7 %)                      | –                              |
| Нефрэктомия                                                                   | 5 (15,4 %)                     | 2 (6,7 %)                      |
| Холецистэктомия (в т.ч. экстренная)                                           | 2 (7,7 %)                      | 3 (10,0 %)                     |
| Вентральная грыжа – рецидив                                                   | 2 (7,7 %)                      | –                              |
| Прочие вмешательства (в т.ч. хирургическое лечение аневризмы, резекция почки) | 5 (16,7 %)                     | 10 (33,3 %)                    |

В группе 2 преобладали плановые гинекологические и абдоминальные вмешательства (экстирпация матки с придатками – 23,1 %, нефрэктомия – 15,4 %, гемиколэктомия при опухолях – 23,1 %). В группе 3 на первом месте находились

пациенты с тяжёлыми последствиями экстренных лапаротомий на фоне эвентраций или перитонита (40,0 %).

## **3.2 КТ-абдоинометрия: сравнительный анализ**

### **3.2.1 Исходные морфометрические параметры**

Значение объёма брюшной полости (ОБП) у пациентов было рассчитано с использованием трёх методик: по Е.У. Tanaka, Н.С. Никитаева и с помощью программного обеспечения Vidar Dicom Viewer, считающегося условно истинным методом. Метод Е.У. Tanaka: среднее значение ОБП составило  $6131,08 \text{ см}^3 \pm 2954,92 \text{ см}^3$ . Метод Н.С. Никитаева: среднее значение ОБП составило  $4375,91 \text{ см}^3 \pm 2453,03 \text{ см}^3$ . ПО Vidar Dicom Viewer (условно истинный): среднее значение ОБП составило  $8163,45 \text{ см}^3 \pm 2938,33 \text{ см}^3$ .

Результаты пост-хок теста Тьюки показали, что существует статистически значимое различие между методами расчёта объёма брюшной полости. Сравнение метода Е.У. Tanaka с условно истинным объёмом, полученным с помощью Vidar Dicom Viewer, показало наименьшее отклонение, что делает метод Е.У. Tanaka более точным по сравнению с методом Н.С. Никитаева. Отклонение между методами Е.У. Tanaka и Vidar составило  $2032,36 \text{ см}^3$ , что значительно ниже, чем отклонение метода Н.С. Никитаева от условно истинного объёма ( $3787,53 \text{ см}^3$ ).

Таким образом, метод Е.У. Tanaka оказался наиболее приближённым к истинному объёму брюшной полости среди рассмотренных методик [8-10, 12, 13].

Помимо объёма брюшной полости учитывалось и время, потраченное на измерение объёма каждой из методов (таблица 15)

Таблица 15 – Методы измерения ОБП, площади и длины наружной и внутренней косой мышцы, поперечной мышцы живота и время, потраченное на каждый из методов.

| Метод                 | Среднее значение времени, потраченное на измерение одного пациента, мин |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Е.У. Такака и соав.   | 17,16±5,27                                                              |
| Н.С. Никитаев и соав. | 17,3±5,28                                                               |
| Vidar Dicom Viewer    | 53,3±15,96                                                              |

Статистический анализ показал значительные различия объема грыжевого мешка, в ширине грыжевых ворот и окружности стенок брюшной полости между исследуемыми группами ( $p < 0,001$ , критерий Краскела–Уоллиса) (таблица 16).

Таблица 16 – Описательная статистика количественных переменных в зависимости от группы

| Показатели                                         | Группа                              |                           |                            |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                                                    | Здоровые                            | W2                        | W3                         |
| Ширина грыжевых ворот (см), Ме [IQR]               | linea alba:<br>2,29 [2,00;<br>2,70] | 6,73 [6,20; 6,92]         | 11,64 [11,19; 12,04]       |
| Объем грыжевого мешка (см <sup>3</sup> ), Ме [IQR] | 0,00 [0,00;<br>0,00]                | 154,47 [77,42;<br>166,24] | 589,16 [535,68;<br>702,88] |

У здоровых пациентов ширина белой линии живота составляла 2,29 см [2,00; 2,70], в группе W2 грыжевые ворота – 6,73 см [6,20; 6,92], а в группе W3 достигала 11,64 см [11,19; 12,04 ( $p < 0,001$ ).

Анализ объема грыжевого мешка также выявил значительные различия: в группе W2 медиана составила 154,47 см<sup>3</sup> [77,42; 166,24], а в группе W3 – 589,16 см<sup>3</sup> [535,68; 702,88] ( $p < 0,001$ ) (рисунок 24)

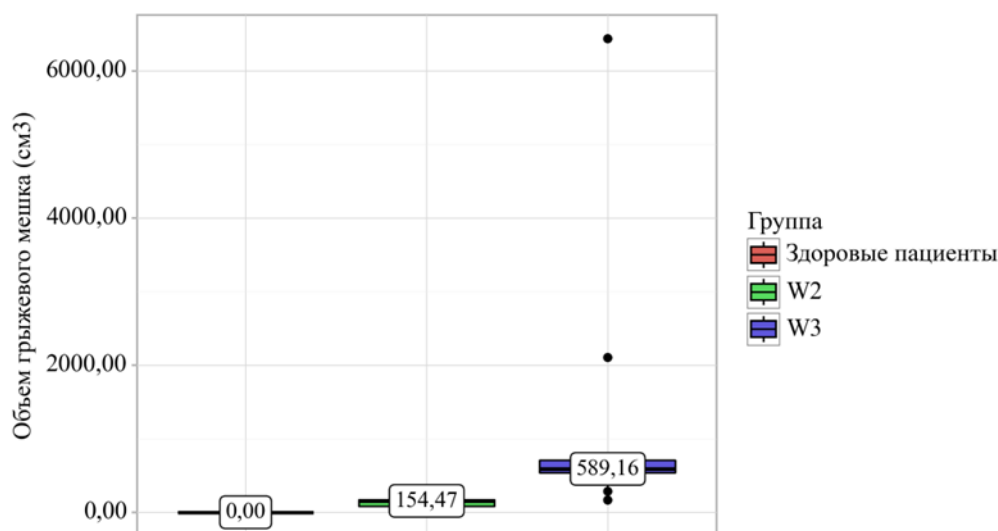


Рисунок 24 – Анализ Объема грыжевого мешка в зависимости от группы пациентов

Полученные данные подтверждают закономерное увеличение размеров грыжевых ворот и объема грыжевого мешка с увеличением степени тяжести вентральной грыжи.

У здоровых пациентов медианное значение окружности составило 63,83 см [60,00; 66,00], в группе W2 – 71,71 см [71,11; 73,56], а в группе W3 достигло 78,90 см [78,09; 80,42]. Различия между всеми группами оказались значимыми ( $p < 0,001$ ), за исключением сравнения между группами W2 и W3 ( $p = 0,010$ ) (таблица 17).

Таблица 17 – Анализ окружности в зависимости от группы

| Показатель | Категории | Окружность (см) |                                 | p                                                                                                                   |
|------------|-----------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |           | Me              | Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub> |                                                                                                                     |
| Группа     | Здоровые  | 63,83           | 60,00 – 66,00                   | $p_{W2 - \text{Здоровые пациенты}} < 0,001$<br>$p_{W3 - \text{Здоровые пациенты}} < 0,001$<br>$p_{W3 - W2} = 0,010$ |
|            | W2        | 71,71           | 71,11 – 73,56                   |                                                                                                                     |
|            | W3        | 78,90           | 78,09 – 80,42                   |                                                                                                                     |

\* – различия показателей статистически значимы ( $p < 0,05$ )

Полученные результаты подтверждают закономерное увеличение окружности брюшной полости по мере прогрессирования вентральной грыжи.



При сравнении угла расхождения между прямыми мышцами в зависимости от группы, нами были установлены статистически значимые различия ( $p < 0,001$ ) (используемый метод: Критерий Краскела–Уоллиса) (рисунок 25).

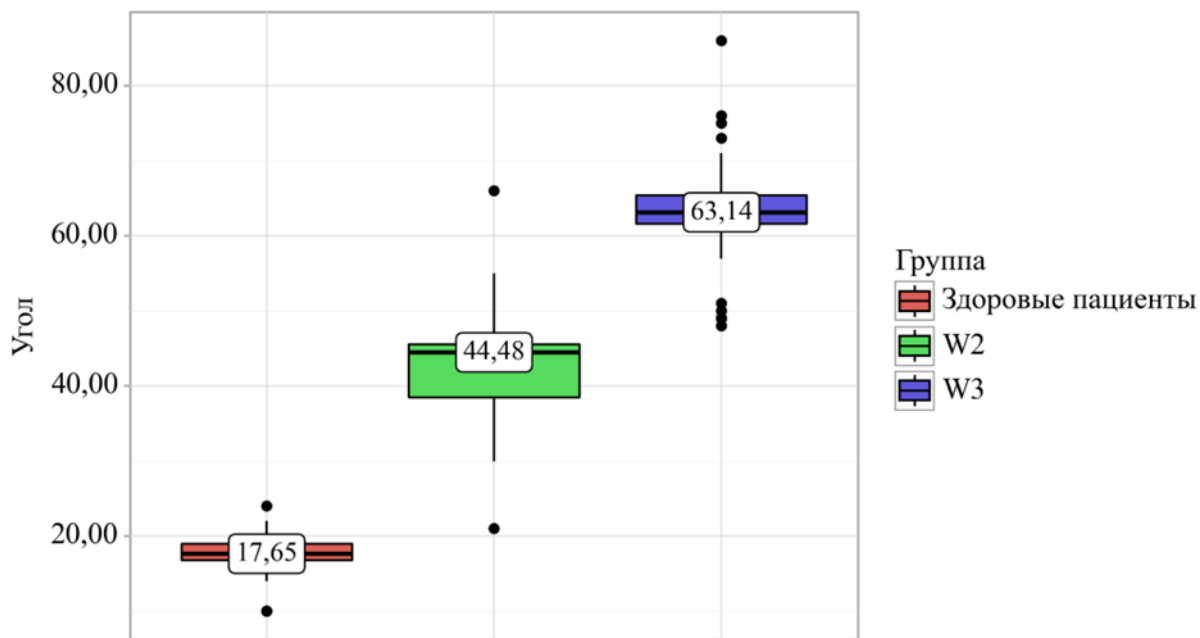


Рисунок 25 – Анализ угла в зависимости от группы

Далее были проанализированы показатели, ранее не применявшиеся в клинической практике, – площадь поверхности брюшной полости и площадь потенциально удаляемой ткани. Согласно полученным данным при сравнении площади поверхности в зависимости от группы, нами были установлены статистически значимые различия ( $p < 0,001$ ) (используемый метод: Критерий Краскела–Уоллиса) (рисунок 26).

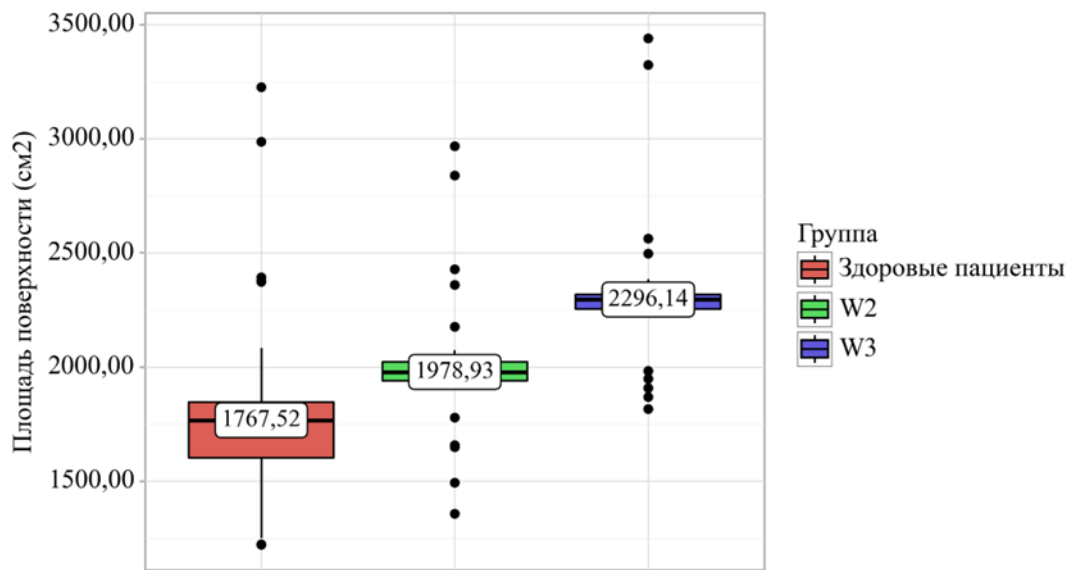


Рисунок 26 – Анализ площади поверхности БП в зависимости от группы

Анализ площади поверхности брюшной полости показал статистически значимые различия между группами ( $p < 0,001$ ): у здоровых пациентов медиана составила 1767,52 см² [1602,28–1846,09], в группе W2 – 1978,93 см² [1941,15–2022,46], в группе W3 – 2296,14 см² [2254,21–2317,75].

Площадь удаляемой ткани также возрастала от группы к группе: у здоровых пациентов – 12,82 см² [10,55–14,71], в группе W2 – 38,72 см² [35,27–40,20], в группе W3 – 71,82 см² [68,02–74,27] ( $p < 0,001$ ). В группе здоровых пациентов эта площадь соответствовала области белой линии живота, т.е. между медиальными краями прямых мышц живота.

Доля удаляемого сегмента по отношению к общей площади брюшной стенки была наименьшей в группе здоровых пациентов – 1,42 % [1,30–1,64], в группе W2 – 3,90 % [3,50–4,01], в группе W3 – 6,26 % [5,93–6,60] ( $p < 0,001$ ).

### 3.2.2 Производные морфометрические индексы

На основании полученных морфометрических параметров, были вычислены производные морфометрические индексы: индекс Tanaka, Defect Ratio и индекс

разделения компонентов (CSI). Результаты расчётов для группы 2 и группы 3 представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Производные морфометрические индексы группы 2 и 3.

| Индекс            | Группа 2<br>(Среднее $\pm$ SD) | Группа 3 (<br>Среднее $\pm$ SD) | Пороговые значения (без подготовки / с подготовкой)                                           |
|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Индекс Tanaka (%) | 1,74% $\pm$ 1,60%              | 10,79% $\pm$ 17,06%             | <10 %; 10–20 % – вероятно необходимость релаксации;                                           |
| Defect Ratio (%)  | 8,30% $\pm$ 1,66%              | 15,64% $\pm$ 3,54%              | <10 %; 10–20 % – требуется мобилизация тканей/релаксация                                      |
| CSI               | 0,108 $\pm$ 0,032              | 0,175 $\pm$ 0,036               | >0,15 – вероятно необходимость сепарационной пластики/релаксации; >0,20 – высокая вероятность |

Анализ производных морфометрических индексов в группе 3 показал обоснованную необходимость дооперационной подготовки, учитывая высокий риск невозможности закрытия грыжевого дефекта без натяжения.

В рамках исследования проведён сравнительный статистический анализ между группой пациентов, получивших дооперационное введение БТ-А (группа 3), и пациентами, у которых данное вмешательство не проводилось (группы 1 и 2). Для оценки различий между группами применялись параметрический t-критерий Стьюдента и непараметрический U-критерий Манна–Уитни. Полученные результаты свидетельствуют о наличии статистически значимых различий по ключевым морфометрическим параметрам, включая коэффициент дефекта (Defect ratio,  $p < 0,001$ ), индекс разделения компонентов (CSI,  $p < 0,001$ ), а также долю удаляемого сегмента (введённую в качестве альтернативы индексу Tanaka;  $p < 0,001$ ).

Дополнительно выполнен корреляционный анализ с использованием коэффициента Спирмена, по результатам которого установлены прочные

положительные связи между назначением введения БТ-А и следующими показателями: коэффициент дефекта ( $r = 0,78$ ), индекс разделения компонентов ( $r = 0,76$ ) и доля удаляемого сегмента ( $r = 0,78$ ) (рисунок 27).

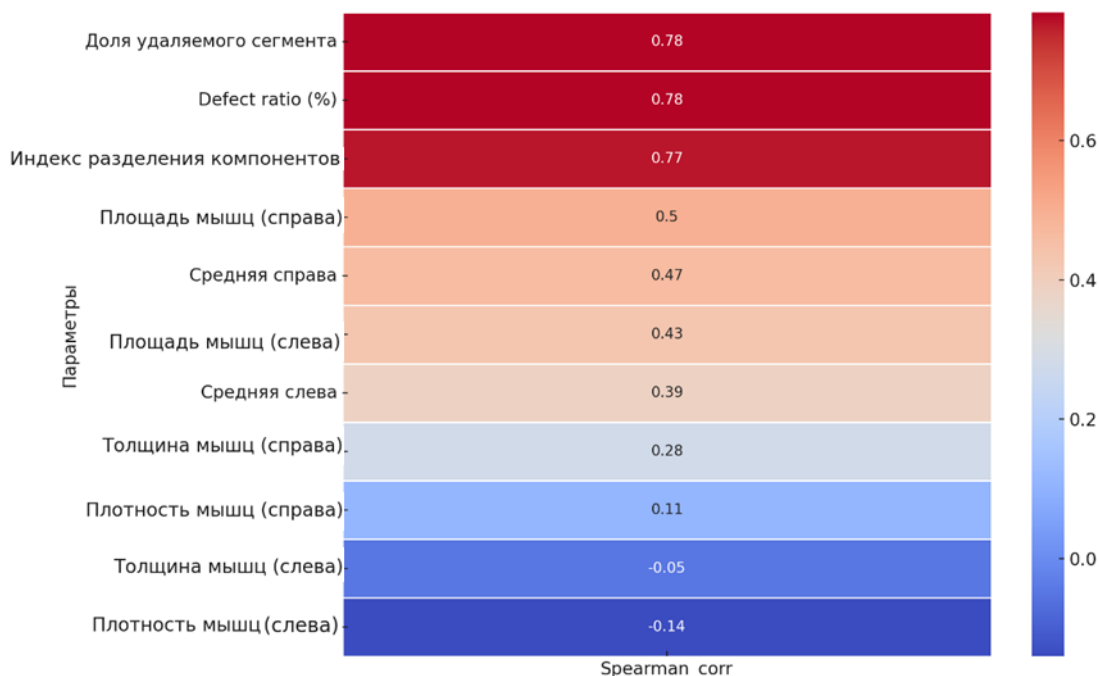


Рисунок 27 – Анализ коэффициента Спирмена: ключевые предикторы назначения введение БТ-А

Индекс «доля удаляемого сегмента» продемонстрировал потенциал в качестве предикторного показателя при обосновании показаний к введению БТ-А, сопоставимый по значимости с ранее используемыми морфометрическими индексами.

### 3.3 Сравнительный анализ структуры мышечно-апоневротического слоя в трех группах

Структура мышечно-апоневротического слоя пациентов с вентральными грыжами и здоровых лиц изучалась с использованием количественных морфометрических параметров, полученных по данным компьютерной томографии (методы и параметры указаны в разделе «Материалы и методы»).

Статистический анализ площади мышечной ткани с обеих сторон переднебоковой стенки живота продемонстрировал значимые межгрупповые различия ( $p < 0,001$ ).

У здоровых пациентов медианное значение площади мышц справа составляло 198,49 см<sup>2</sup> [160,00; 209,02], во второй группе – 232,69 см<sup>2</sup> [218,33; 246,21], а в третьей группе – 310,22 см<sup>2</sup> [299,08; 322,58]. Аналогичные различия наблюдались при анализе площади мышц слева (186,82 см<sup>2</sup> [158,00; 201,72] у здоровых, 220,69 см<sup>2</sup> [212,57; 227,89] у W2 и 289,35 см<sup>2</sup> [278,55; 300,46] у W3) (таблица 19) [11].

Таблица 19 – Описательная статистика количественных переменных - мышечно-апоневротического слоя в трех группах

| Показатели                                        | Группа                  |                         |                         | P                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | Здоровые пациенты       | W2                      | W3                      |                                                                                                                                        |
| Площадь мышц(справа) (см <sup>2</sup> ), Ме [IQR] | 198,49 [160,00; 209,02] | 232,69 [218,33; 246,21] | 310,22 [299,08; 322,58] | < 0,001*<br>p <sub>W2</sub> – Здоровые пациенты = 0,006<br>p <sub>W3</sub> – Здоровые пациенты < 0,001<br>p <sub>W3</sub> – W2 = 0,008 |
| Площадь мышц(слева) (см <sup>2</sup> ), Ме [IQR]  | 186,82 [158,00; 201,72] | 220,69 [212,57; 227,89] | 289,35 [278,55; 300,46] | < 0,001*<br>p <sub>W2</sub> – Здоровые пациенты = 0,004<br>p <sub>W3</sub> – Здоровые пациенты < 0,001<br>p <sub>W3</sub> – W2 = 0,041 |
| Средняя длина (R) (см), Ме [IQR]                  | 14,72 [13,25; 15,50]    | 16,94 [16,63; 17,50]    | 18,09 [17,84; 18,34]    | < 0,001*<br>p <sub>W2</sub> – Здоровые пациенты = 0,003<br>p <sub>W3</sub> – Здоровые пациенты < 0,001<br>p <sub>W3</sub> – W2 = 0,021 |
| Средняя длина (L) (см), Ме [IQR]                  | 14,51 [13,00; 15,90]    | 17,31 [16,86; 18,23]    | 18,90 [17,98; 18,98]    | < 0,001*<br>p <sub>W2</sub> – Здоровые пациенты < 0,001<br>p <sub>W3</sub> – Здоровые пациенты < 0,001                                 |

Толщина мышц также варьировала в зависимости от группы. Справа этот показатель увеличивался от 1,70 см [1,60; 1,79] у здоровых пациентов до 1,93 см [1,90; 1,99] в группе W2 и 1,99 см [1,90; 2,03] в группе W3 ( $p < 0,001$ ). Однако слева значимых различий между группами не выявлено ( $p = 0,442$ ) (таблица 20).

Таблица 20 – Статистические показатели толщины мышц передней брюшной стенки справа и слева в группах пациентов

| Показатели                          | Группа            |                   |                   | p                                                                                                      |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | Здоровые пациенты | W2                | W3                |                                                                                                        |
| Толщина мышц(справа) (см), Ме [IQR] | 1,70 [1,60; 1,79] | 1,93 [1,90; 1,99] | 1,99 [1,90; 2,03] | < 0,001*<br>p <sub>W2 – Здоровые пациенты</sub> < 0,001<br>p <sub>W3 – Здоровые пациенты</sub> < 0,001 |
| Толщина мышц(слева) (см), Ме [IQR]  | 1,72 [1,60; 1,80] | 1,75 [1,70; 1,82] | 1,70 [1,65; 1,80] | 0,442                                                                                                  |

Средняя длина сегментов мышечно-апоневротического слоя (R и L) была минимальной у здоровых пациентов (R: 14,72 см [13,25; 15,50], L: 14,51 см [13,00; 15,90]) (рисунок 28).

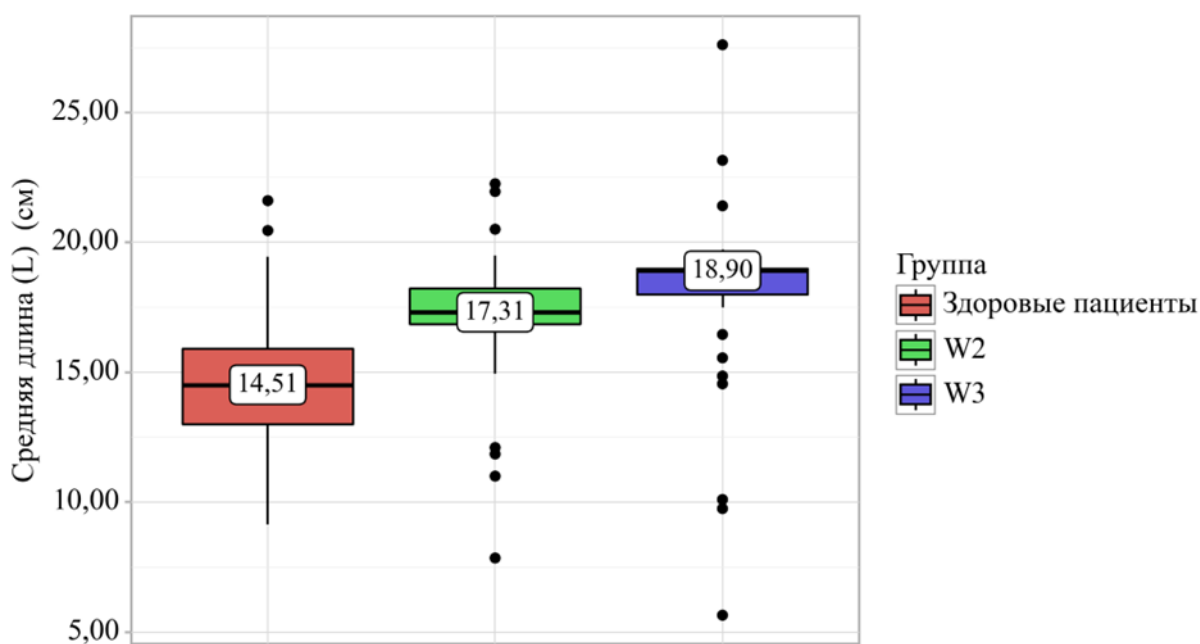


Рисунок 28 – Анализ средней длины мышц ПБС слева в зависимости от группы пациентов

И увеличивалась в группах W2 (R: 16,94 см [16,63; 17,50], L: 17,31 см [16,86; 18,23]) и W3– (R: 18,09 см [17,84; 18,34], L: 18,90 см [17,98; 18,98],  $p < 0,001$ ) (рисунок 29).

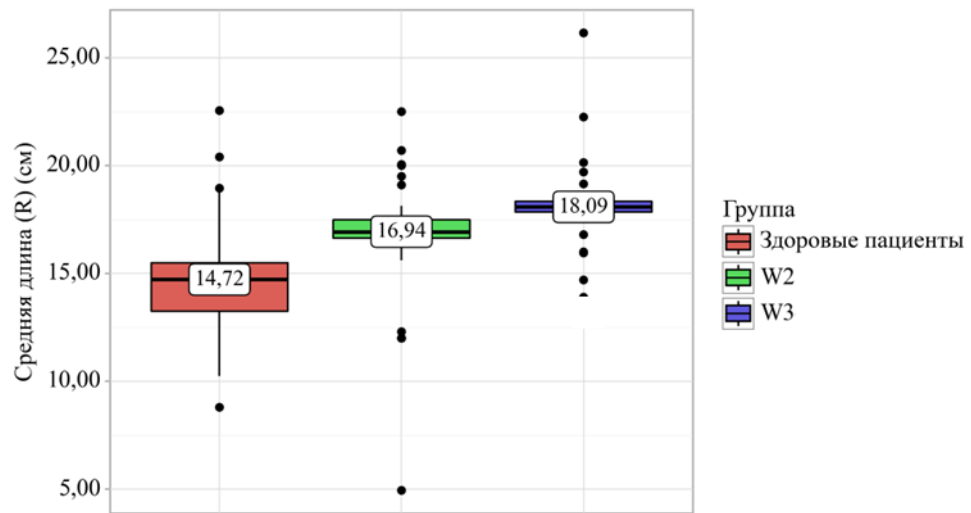


Рисунок 29 – Анализ средней длины мышц ПБС справа в зависимости от группы пациентов

### Сравнительный анализ плотности мышц справа и слева между исследуемыми группами

Плотность мышц справа не различалась между исследуемыми группами ( $p = 0,187$ ). В то же время для мышц слева выявлены статистически значимые межгрупповые различия: между контрольной группой и группой W2 ( $U = 946.0$ ,  $p = 0.009$ ), а также между контрольной группой и группой W3 ( $U = 889.0$ ,  $p = 0.043$ ).

Это указывает на то, что именно показатель плотности мышц слева имеет диагностическую значимость для дифференциации групп (рисунок 30).

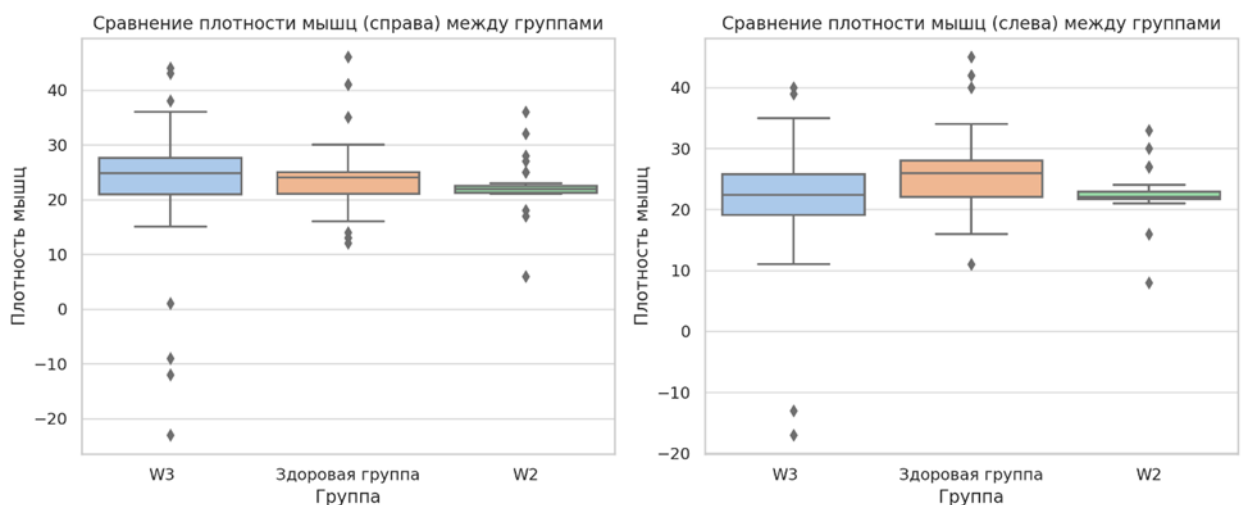


Рисунок 30 – Анализ плотности мышц в зависимости от группы сравнения

## Результаты анализа различий между правой и левой сторонами мышц внутри исследуемых групп

Для оценки различий в площади мышц между правой и левой сторонами в каждой из исследуемых групп был применен тест Манна-Уитни.

В первой группе (здоровые) статистически значимых различий в площади МАС не выявлено ( $U = 1211.25$ ,  $p = 0.109$ ), что подтверждает симметричность площади мышц в норме (рисунок 31).

Во второй группе ( $U = 615.0$ ,  $p = 0.059$ ) различия находятся на грани статистической значимости, однако не достигают порогового значения  $p < 0.05$  (рисунок 31). В третьей группе (W3) выявлены значимые различия между сторонами ( $U = 665$ ,  $p = 0.0096$ ): площадь мышц справа оказалась достоверно ( $p < 0.05$ ) меньше по сравнению с левой стороной, что указывает на выраженную асимметрию (рисунок 31).

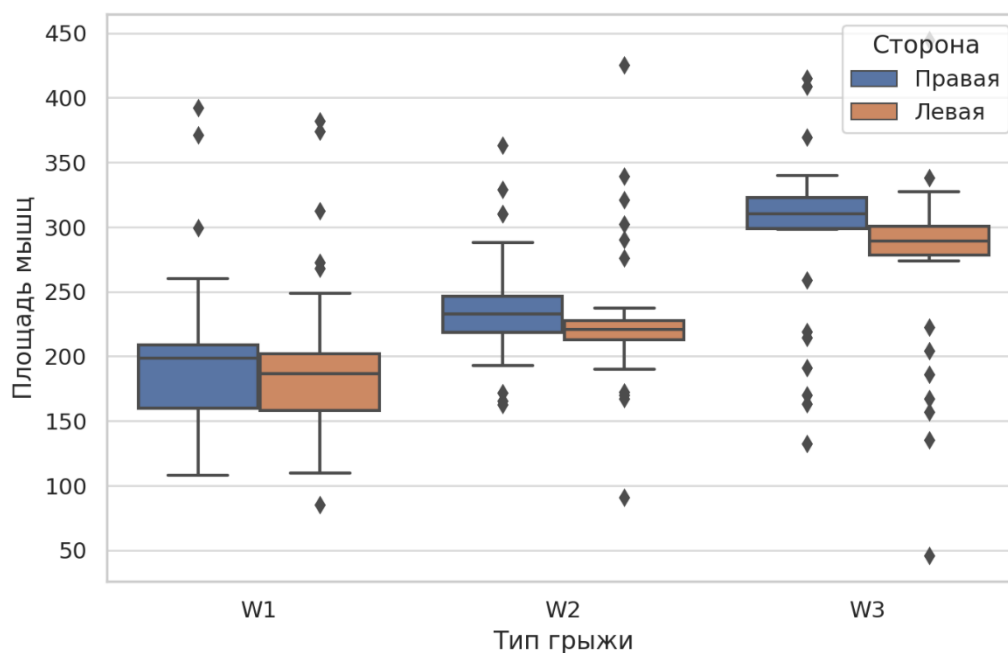


Рисунок 31 – Анализ площади мышц в зависимости от группы пациентов

Так же для оценки различий в толщине и средней длине мышц между правой и левой сторонами в каждой из исследуемых групп был применен тест



Манна-Уитни. Анализ показал, что различия в этих параметрах варьируются в зависимости от группы.

В группе W3 выявлены статистически значимые различия как по толщине мышц ( $U = 694.5$ ,  $p = 0.0026$ ), так и по средней длине мышц ( $U = 332.0$ ,  $p = 0.037$ ). При этом толщина мышц справа оказалась достоверно меньше по сравнению с левой стороной, тогда как средняя длина мышц, напротив, была больше справа. Это указывает на выраженную асимметрию мышечно-апоневротического слоя в группе W3 (рисунок 32).

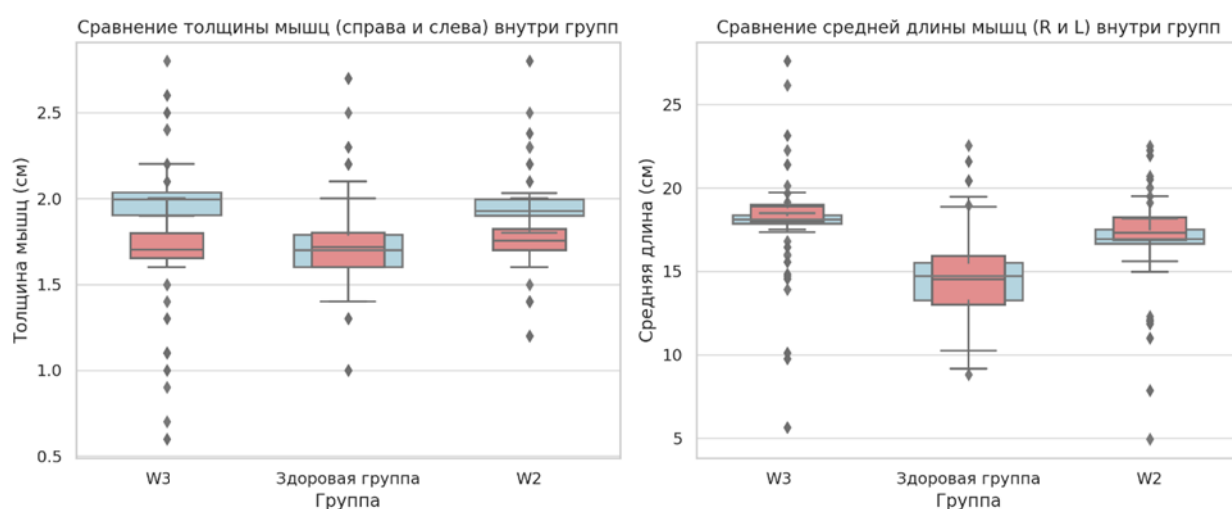


Рисунок 32 – Анализ толщины мышц в зависимости от группы сравнения

В здоровой группе различия между правой и левой сторонами не достигли статистической значимости ни по толщине мышц ( $U = 928.0$ ,  $p = 0.496$ ), ни по средней длине ( $U = 1102.0$ ,  $p = 0.473$ ), что свидетельствует о симметричности параметров в данной группе.

В группе W2 обнаружены значимые различия в толщине мышц между правой и левой сторонами ( $U = 705.0$ ,  $p = 0.0016$ ), однако различия по средней длине мышц статистически значимыми не являются.

В здоровой группе выявлены статистически значимые различия в плотности мышц справа и слева ( $U = 744.0$ ,  $p = 0.030$ ). В группах W2 и W3 различия между сторонами не достигли статистической значимости (рисунок 33).

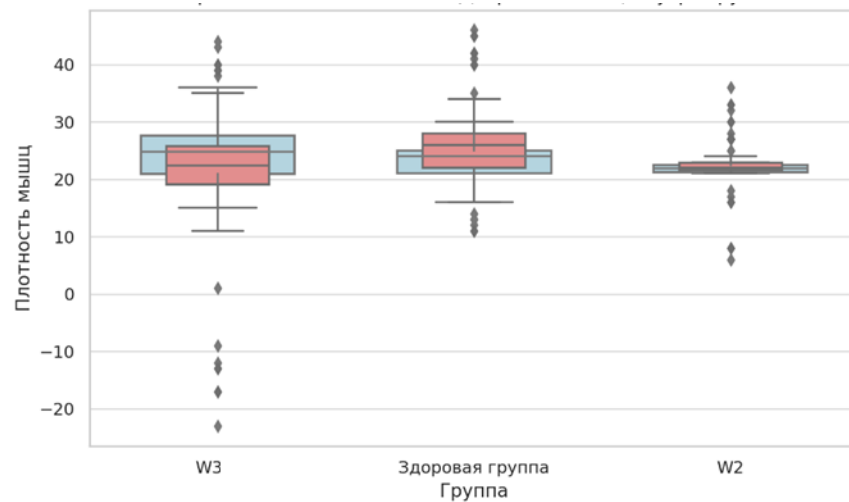


Рисунок 33 – Анализ плотности мышц в зависимости от группы пациентов

### 3.4 Текстурный анализ мышечно-апоневротического слоя по данным КТ

Анализ плотности серого (средней яркости пикселей) на КТ-масках сегментированных мышц показал, что в группе 1 (здоровые) значения были наибольшими ( $\text{right\_mean\_gray} = 116.41$ ,  $\text{left\_mean\_gray} = 117.82$ ), что отражает более светлое отображение мышечной ткани на изображениях и может свидетельствовать о меньшей плотности тканей (рисунок 34, 35) [25].

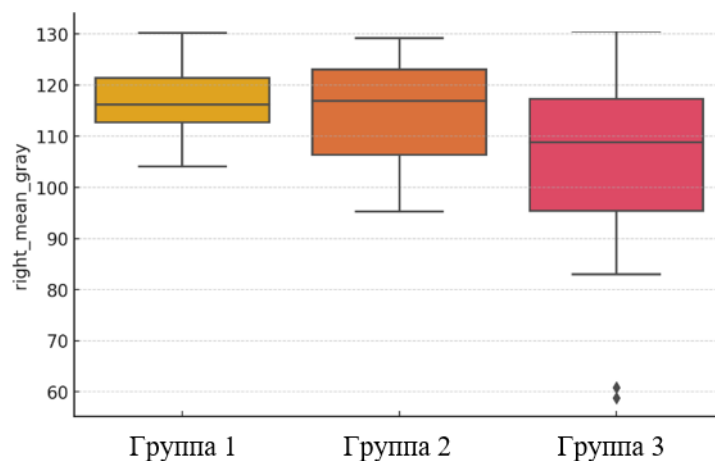


Рисунок 34 – Плотность серого в масках между группами сравнения (правая сторона)

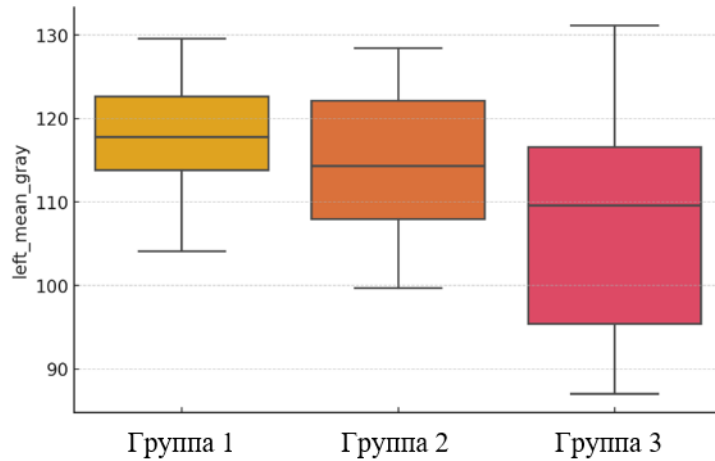


Рисунок 35 – Плотность серого в масках между группами сравнения (левая сторона).

В группе 3 (ПОВГ W3) зарегистрированы наиболее тёмные маски (106.46 / 107.82), что указывает на возможное повышение плотности тканей или фиброзные изменения. Группа 2 (ПОВГ W2) занимает промежуточное положение (115.14 / 114.89), отражая переходный характер изменений в мышечно–апоневротическом слое переднебоковой стенки живота (рисунок 36).

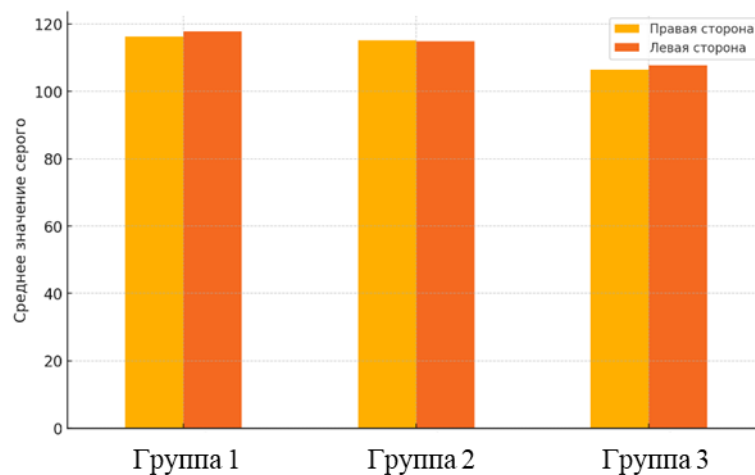


Рисунок 36 – График распределения уровня серого (плотность серого в масках) по группам

Анализ текстур показал, что показатель вейвлет-энергии значительно различался между группами (ANOVA:  $p < 0.0001$ ; критерий Крускала–Уоллиса:  $p < 0.0001$ ) (рисунок 35). Пост-хоc тест Тьюки подтвердил наличие значимых различий между группами 1 и 2 ( $p < 0.0001$ ), а также между группами 2 и 3 ( $p < 0.0001$ ), тогда как

между группами 1 и 3 статистически значимых различий не выявлено ( $p = 0.3279$ ) (рисунок 37).

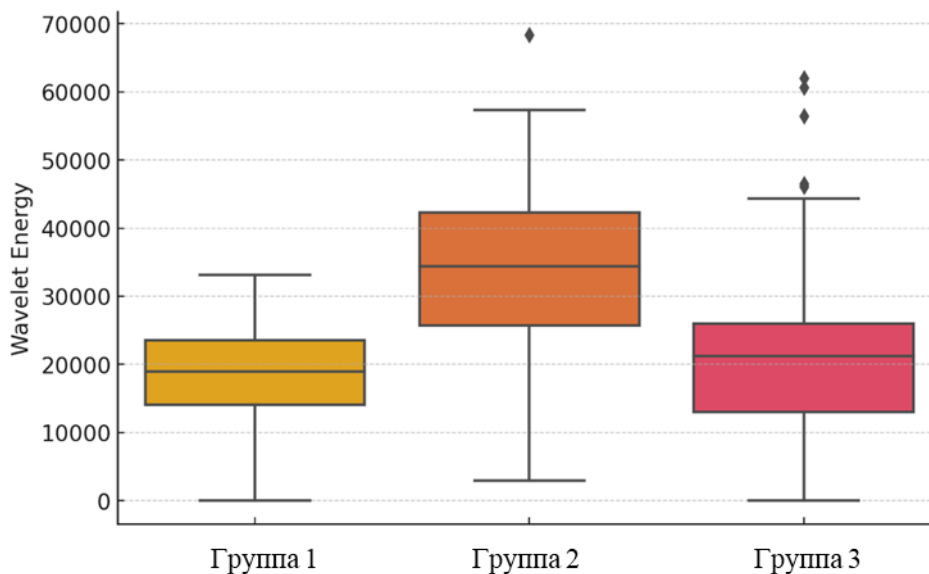


Рисунок 37 – Показатель вейвлет между группами, характеризующий пространственную неоднородность тканей мышечно-апоневротического слоя переднебоковой стенки живота

Результаты указывают на то, что структура мышц в группе W3 (группа 3) по своим характеристикам ближе к нормальной ткани (группа 1), чем к группе W2 (группа 2).

Показатели вейвлет-анализа в работе отражают пространственную неоднородность и выраженность структурных изменений мышечной ткани на различных частотных уровнях изображения, а выявленные различия свидетельствуют об утрате однородной текстуры мышцы и формировании зон фиброза и жировой дегенерации при вентральных грыжах.

Метод Габор–фильтрации также выявил значимые различия между группами (ANOVA:  $p < 0.0001$ , Крускала–Уоллиса:  $p < 0.0001$ ) (рисунок 38).

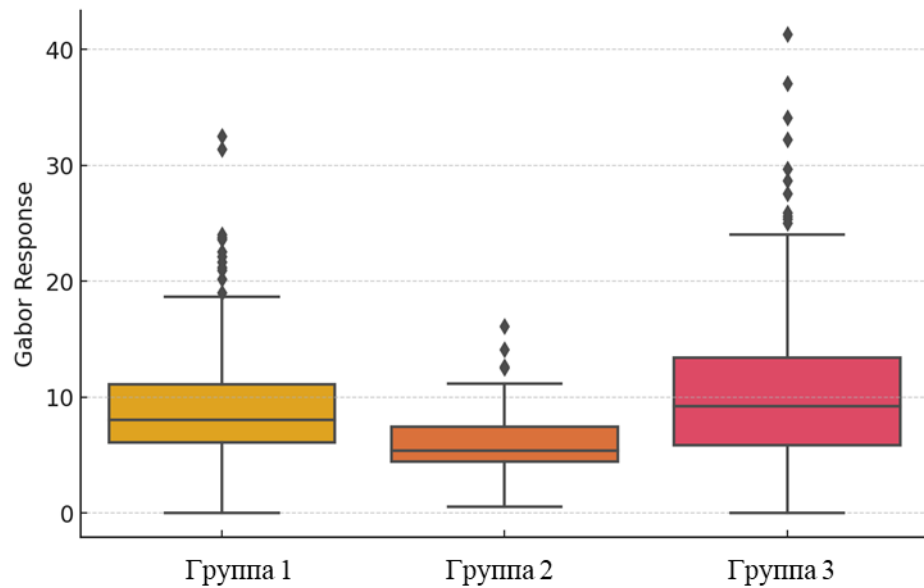


Рисунок 38 – Показатель Габор-фильтрации между группами

Различия между группами 1 и 2 оказались статистически значимыми ( $p < 0.0001$ ), в то время как различия между группами 1 и 3 не достигли статистической значимости ( $p = 0.0801$ ).

Показатели Габор-фильтрации отражают ориентацию и пространственную организацию мышечных волокон; полученные результаты указывают на то, что структура мышц в группе 3 демонстрирует тенденцию к сближению с нормальной тканью, в отличие от выраженных изменений, характерных для группы 2. Полученные данные свидетельствуют в пользу тенденции к нормализации структуры мышц или ассимиляции в сложившейся клинической картине в группе 3.

Сравнение правой и левой стороны внутри групп выявило значимые различия в группе 3 по параметру contrast ( $p = 0.00015$ ), что может свидетельствовать об асимметричных изменениях тканей. В группе 1 установлено различие по correlation ( $p = 0.033$ ), отражающее особенности структуры мышц. В группе 2 статистически значимых различий между сторонами не выявлено ( $p > 0.05$ ), что указывает на симметричность тканей в данной группе.

### 3.5 Анализ морфометрических параметров для предсказания проведения введения БТ-А с использованием методов машинного обучения

С целью определения наибольшего влияния отдельных признаков на принятие решения о назначении введения БТ-А был применён алгоритм Random Forest. Согласно полученным результатам, ведущими по информативности оказались: коэффициент дефекта (Defect ratio – 0,28), индекс разделения компонентов (0,26) и доля удаляемого сегмента (0,25) (рисунок 39) [23].

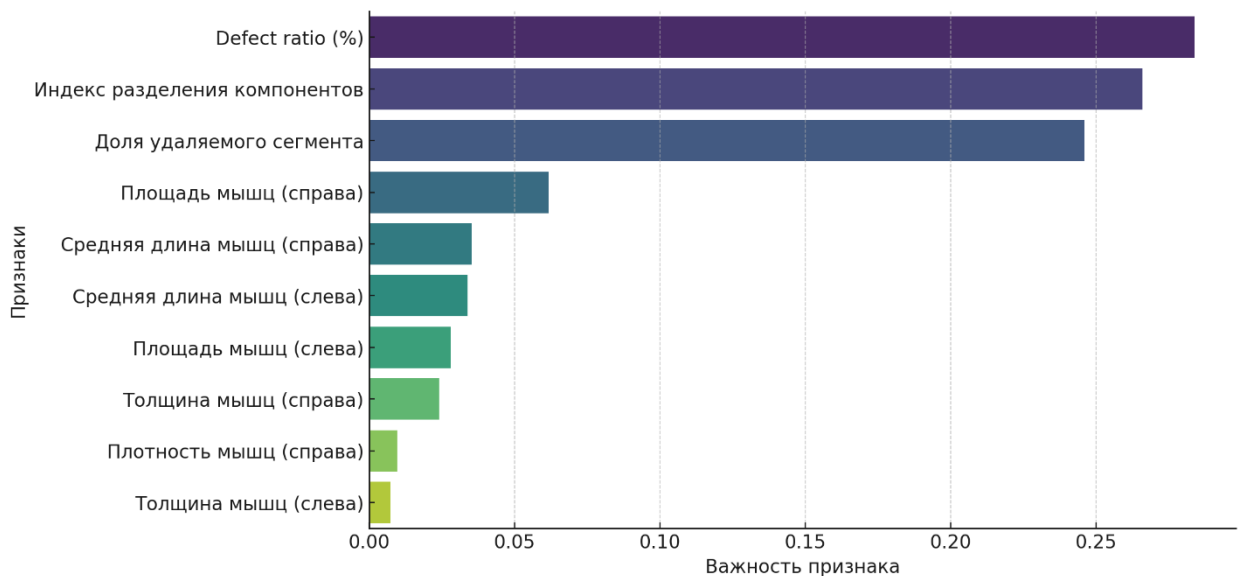


Рисунок 39 – Топ 10 - значимых признаков по Random Forest

Анализ взаимосвязи мышечных характеристик, определённых на основе данных компьютерной томографии, с необходимостью проведения введения БТ-А показал, что наибольшую прогностическую значимость имеют следующие параметры: площадь мышц справа ( $p < 0,001$ ;  $r = 0,49$ ), средняя длина мышц слева ( $p < 0,05$ ;  $r = 0,38$ ) и средняя длина мышц справа ( $p < 0,001$ ;  $r = 0,47$ ). Указанные показатели демонстрировали статистически значимые различия между исследуемыми группами и высокую предиктивную ценность в рамках построения моделей.

Для выявления однородных подгрупп пациентов была проведена кластеризация с применением алгоритмов машинного обучения K-Means и

DBSCAN. Использование метода K-Means позволило выделить три кластера (рисунок 40).

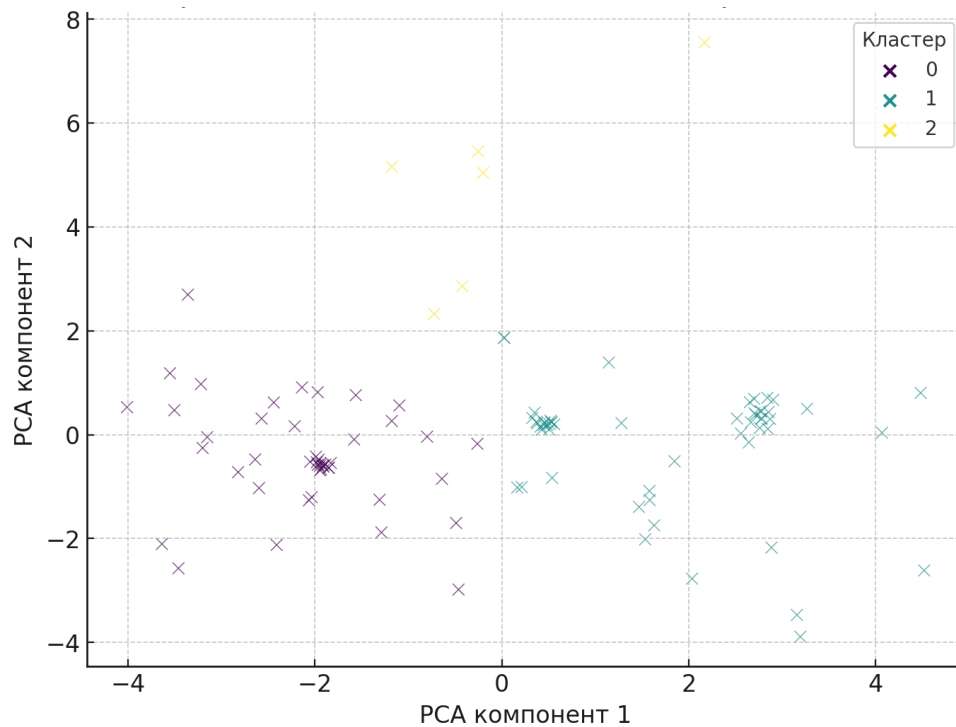


Рисунок 40 – Распределение пациентов по кластерам (K-Means), свидетельствующие о том, что выделенные группы обладают различным клиническим профилем.

Анализ кластерной структуры, полученной с использованием алгоритма K-Means, показал, что во втором кластере введение БТ-А была назначена в 83% случаев, тогда как в нулевом кластере ни одному пациенту данное вмешательство не проводилось. В первом кластере частота назначения введения БТ-А составила 47%, что свидетельствует о гетерогенности данной группы. Полученные результаты подтверждают способность алгоритма K-Means дифференцировать пациентов с высокой вероятностью назначения введения БТ-А на основе совокупности морфометрических и клинико-анатомических параметров.

Алгоритм DBSCAN позволил выделить плотные кластеры пациентов с однородными характеристиками, при этом часть наблюдений не была отнесена ни к одной группе, что указывает на наличие атипичных клинических профилей.

Метод главных компонент (РСА) обеспечил визуализацию пространственной структуры выборки и продемонстрировал чёткие границы между сформированными группами, что свидетельствует о высокой информативности исходных признаков.

В дополнение к кластерному анализу была построена модель логистической регрессии, направленная на *прогнозирование необходимости применения введения БТ-А* на основании совокупности изученных параметров (рисунок 41).

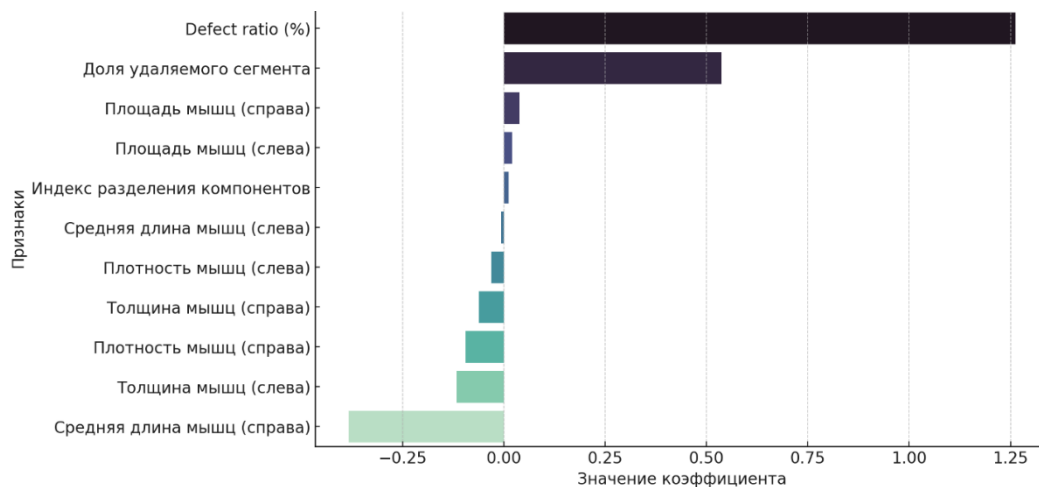


Рисунок 41 – Важность признаков в логистической регрессии

Построенная модель логистической регрессии продемонстрировала высокую точность классификации (86%) и отличные прогностические характеристики, подтверждённые значением площади под кривой ошибок (AUC-ROC = 0,95), что указывает на высокую дискриминирующую способность модели (рисунок 42).



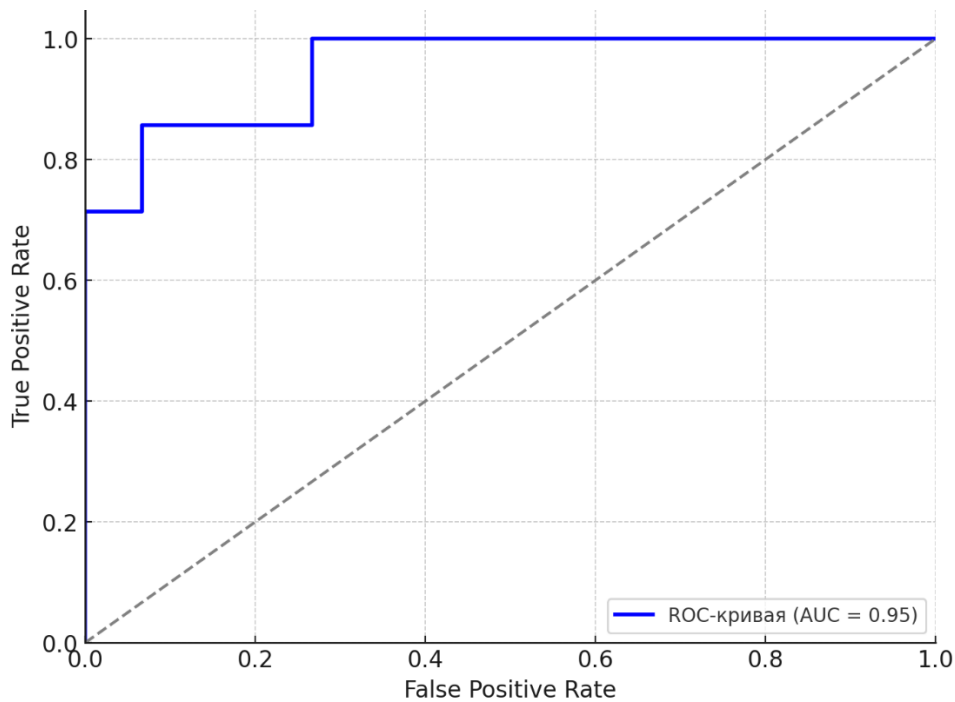


Рисунок 42 – ROC-кривая логистической регрессии

Согласно результатам анализа метрик качества, модель продемонстрировала высокую точность (88%) и полноту (93%) при классификации пациентов, не нуждающихся в дооперационной введении БТ-А, что свидетельствует о её высокой надёжности в отношении данной категории. В то же время, при идентификации пациентов, для которых введение БТ-А была показана, точность составила 83%, а полнота – 71%, что указывает на наличие ложноотрицательных предсказаний.

Данные, представленные в матрице ошибок (рисунок 43), показывают, что модель уверенно распознаёт пациентов, которым не требуется введение БТ-А. Однако точность при определении пациентов, для которых такая процедура действительно показана, остаётся ограниченной.

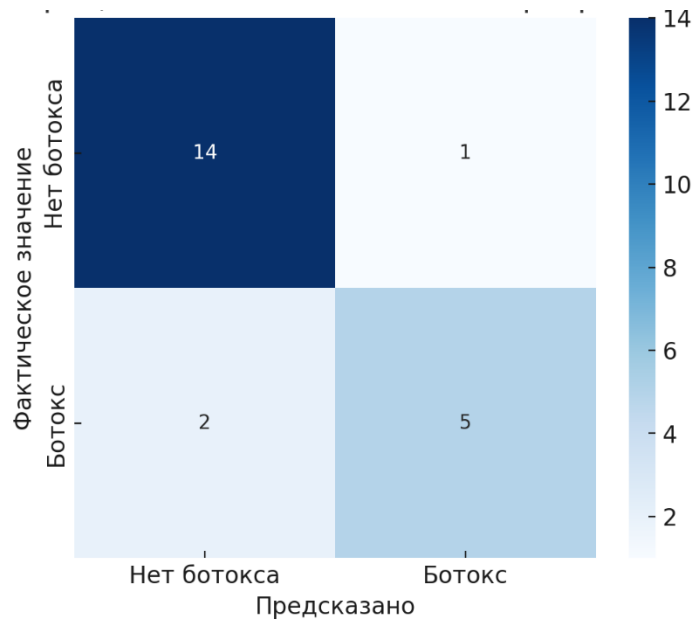


Рисунок 43 – Матрица ошибок отражает, сколько пациентов модель правильно отнесла к группе без показаний к введению БТ-А и сколько – к группе с показаниями. Тёмные квадраты показывают правильные предсказания, светлые – ошибки. Видно, что модель лучше работает для пациентов без показаний, но хуже распознаёт тех, кому БТ-А действительно нужен.

Анализ F1-меры (рисунок 44) продемонстрировал, что наилучший баланс между правильной классификацией пациентов (точность) и способностью выявлять всех нуждающихся в вмешательстве (полнота) достигается при пороговом значении вероятности модели около 0,6. В этой точке модель показывает максимальное значение F1-score, что соответствует оптимальному соотношению чувствительности и специфичности.

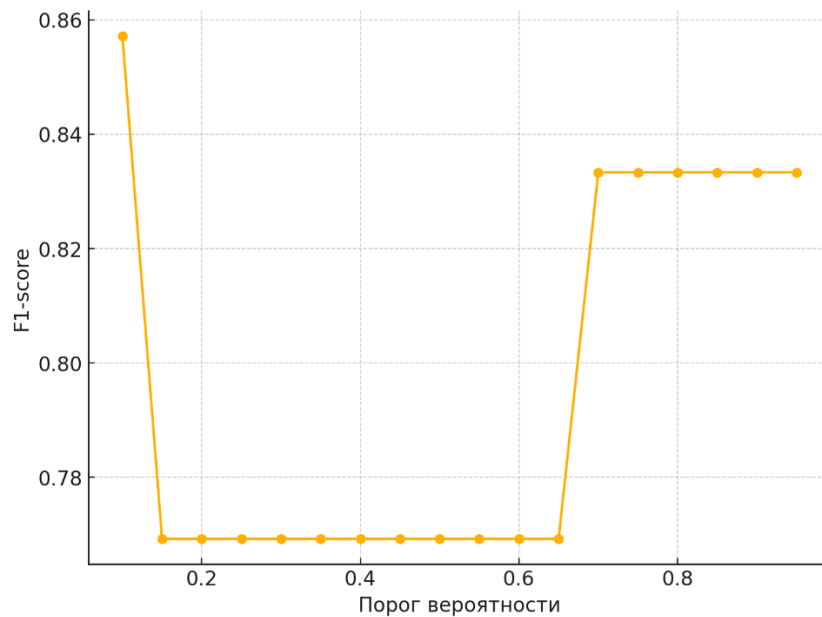


Рисунок 44 – График F1-score показывает, при каком «пороговом значении» вероятность классификации наиболее сбалансирована. Если выбрать слишком низкий порог, модель будет «перестраховываться» и относить многих пациентов к группе с показаниями, что увеличит ложные срабатывания. Если слишком высокий – будет пропускать нужных пациентов. Оптимальная точка (около 0,6) даёт лучший баланс между чувствительностью и специфичностью.

Снижение порогового значения вероятности внутри модели искусственного интеллекта приводит к тому, что больше пациентов классифицируются как нуждающиеся во введении БТ-А. Однако это сопровождается ростом числа ложноположительных результатов, то есть модель чаще ошибочно относит к терапии пациентов без реальных показаний.

Напротив, при повышении порогового значения (например, с 0,5 до 0,6–0,7) уменьшается количество ложноположительных классификаций, однако возрастает риск ложноотрицательных предсказаний – пропуска пациентов, которым введение БТ-А действительно необходимо.

Таким образом, пороговые значения изменяются в самой прогностической модели и служат инструментом регулировки между чувствительностью и специфичностью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной части работы суммированы результаты проведённого анализа морфологических изменений, текстурных признаков и построения прогностической модели, что позволило комплексно оценить особенности переднебоковой брюшной стенки при ПОВГ.

Выполненное исследование было направлено на всестороннюю оценку морфометрических и текстурных характеристик мышечно-апоневротического слоя передней брюшной стенки у пациентов с послеоперационными вентральными грыжами категорий W2 и W3 по данным мультиспиральной компьютерной томографии с использованием статистических методов и методов текстурного анализа. Проведённое исследование позволило получить объективные количественные данные о состоянии переднебоковой стенки живота при различных категориях ПОВГ (W2, W3) и подтвердило обоснованность применения дооперационного введения БТ-А у пациентов с выраженными морфологическими изменениями (ПОВГ W3).

Сравнительный анализ хирургического анамнеза показал различия в структуре ранее перенесённых операций: у пациентов группы W2 преобладали плановые абдоминальные и гинекологические вмешательства, тогда как в группе W3 значительно чаще встречались экстренные лапаротомии, выполненные по поводу эвентраций, распространённого перитонита и последствий травм. Эти различия в характере оперативных вмешательств, вероятно, объясняют выраженные нарушения структуры мышечно-апоневротического слоя в группе W3.

Расчёт объёма брюшной полости (КТ-абдоминометрия), выполненный по трём методикам, показал, что наибольшая точность относительно условно истинного значения, определённого с помощью программного обеспечения Vidar Dicom Viewer, достигалась при использовании метода E.Y. Tanaka. В отличие от методики Н.С. Никитаева, метод Tanaka продемонстрировал меньшую

погрешность, что делает его более предпочтительным для практического применения в условиях отсутствия автоматизированного анализа. Следует также отметить, что при использовании методики Н.С. Никитаева нижняя граница по сагиттальному срезу определяется на уровне тазового дна; в практической реализации в качестве ориентира принимались седалищные кости. Однако при стандартном протоколе МСКТ органов брюшной полости данный уровень не всегда попадал в область сканирования, что могло снижать точность измерений и служит методическим ограничением подхода.

Измерение ширины грыжевых ворот и объёма грыжевого мешка показало закономерное увеличение данных параметров от группы W2 к группе W3. Одновременно регистрировалось увеличение окружности брюшной стенки и угла между медиальными краями прямых мышц живота, что подтверждает нарастание степени деформации переднебоковой стенки живота и может рассматриваться как объективный критерий степени утраты домена, а также показание к проведению дооперационной подготовки.

Особое значение в исследовании приобрели показатели, ранее практически не применявшиеся в клинической практике, такие как площадь поверхности брюшной полости и площадь потенциально удаляемого сегмента тканей. В группе W3 они были достоверно выше, чем в группе W2 и в контрольной группе здоровых пациентов, а доля удаляемого сегмента достигала 6,26%, что значительно превышает физиологическую норму и подчёркивает необходимость дооперационной подготовки, направленной на снижение натяжения шовного материала при сведении медиальных краев.

Производные морфометрические индексы также показали высокую диагностическую значимость. Средние значения индекса Tanaka, Defect Ratio и Component Separation Index (CSI) оказались существенно выше в группе W3 по сравнению с W2. Согласно литературным данным, превышение пороговых значений индекса Tanaka более 10% и CSI более 0,15 является критерием необходимости использования методов релаксации тканей, включая

дооперационное введение БТ-А. Наши данные подтвердили данное положение, что усиливает их практическую ценность.

Анализ состояния мышечно-апоневротического слоя по данным МСКТ у пациентов группы W3 показал достоверное увеличение площади, длины и толщины мышц. При этом была зафиксирована выраженная асимметрия между правой и левой сторонами в группе W3, указывающая на нарушение структурной организации мышечной ткани. В контрольной группе у здоровых лиц параметры характеризовались симметричностью и относительной однородностью, что отражает сохранение нормальной функциональной состоятельности мышц.

Текстурный анализ подтвердил наличие патологических изменений в структуре мышц у пациентов с послеоперационными вентральными грыжами W2 и W3 категорий. Согласно полученным данным, у здоровых пациентов (группа 1) мышечная ткань отличалась наиболее однородной структурой с минимальными изменениями контрастности и корреляции, что отражает сохранённую эластичность и функциональную состоятельность. У пациентов группы W2 регистрировались наиболее выраженные патологические изменения, характеризующиеся снижением контрастности, изменением корреляции пиксельных значений, нарушением пространственной организации ткани по данным вейвлет-анализа и Габор-фильтрации. У пациентов группы W3 текстурные показатели отличались большей однородностью по сравнению с W2 и были ближе к данным контрольной группы, что может свидетельствовать о компенсаторных процессах в мышечной ткани при длительно существующих грыжах. Наличие более тёмных масок при сегментации в этой группе, вероятно, указывает на гипертрофические и адаптационные изменения, тогда как в группе W2 преобладали признаки дисфункции и нестабильности.

Полученные результаты согласуются с данными литературы, включая исследования В.В. Паршикова и соавт. [20], в которых показано, что при вентральных грыжах происходят выраженные изменения структуры мышечно-апоневротического слоя переднебоковой стенки живота, включающие фиброз,

снижение плотности тканей и ремоделирование мышечных волокон. Таким образом, у пациентов с длительно существующими грыжевыми дефектами формируется комплекс морфофункциональных нарушений, включающий атрофию, фиброз и ишемические изменения. Эти процессы приводят к снижению эластичности, уменьшению силы и сократительной функции переднебоковой стенки, что осложняет восстановление анатомической целостности во время операции и повышает риск рецидива после герниопластики. Понимание этих механизмов имеет ключевое значение для выбора оптимальной хирургической тактики и определения необходимости дооперационной подготовки, направленной на снижение внутритканевого напряжения.

Использование БТ-А в рамках дооперационной подготовки основано на патогенетически обусловленном феномене мышечной контрактуры, особенно выраженной у пациентов с грыжами категории W3 [49,74,96, 76, 117, 142, 169]. Результаты настоящего исследования подтвердили данный факт, продемонстрировав увеличение плотности тканей и снижение их эластичности у пациентов группы W3, что делает дооперационную временную релаксацию мышц необходимым условием успешного хирургического лечения. Полученные данные дополняют существующие представления о механизмах формирования вентральных грыж и могут быть использованы для оптимизации тактики их хирургического лечения.

Текстурный анализ КТ-изображений показал возможность объективной количественной оценки степени патологических изменений мышечной ткани и может рассматриваться как дополнительный инструмент для диагностики и выбора тактики ведения пациентов. Вместе с тем, для оценки прогностической значимости выявленных текстурных характеристик и их влияния на исходы хирургического лечения необходимы дальнейшие исследования.

В настоящее время число работ, посвящённых применению методов машинного обучения в дооперационной подготовке пациентов с послеоперационными вентральными грыжами категории W3, остаётся крайне

ограниченным. Имеющиеся публикации в основном направлены на анализ хирургических исходов и прогнозирование вероятности осложнений. Настоящее исследование впервые продемонстрировало возможность использования алгоритмов машинного обучения для обоснования показаний к дооперационному введению БТ-А, показав применимость ключевых морфометрических параметров КТ-абдоминометрии в качестве прогностических критериев. Сравнительный анализ с данными литературы выявил практически полное отсутствие работ, ориентированных на интеграцию искусственного интеллекта в этап дооперационной подготовки, что подчёркивает новизну и практическую значимость полученных результатов.

Применение методов машинного обучения в рамках исследования позволило перейти от описательного анализа к построению предиктивных моделей, способных объективизировать процесс принятия клинических решений. Анализ корреляций и логистическое моделирование (точность 86%, AUC-ROC = 0.95) показали, что наибольшую прогностическую ценность в отношении необходимости дооперационного введения БТ-А имели такие показатели, как Defect Ratio, индекс разделения компонентов (CSI) и доля удаляемого сегмента. Эти параметры подтвердили свою значимость и при использовании алгоритмов ансамблевого типа (Random Forest), что свидетельствует об их устойчивости и высокой информативности.

Особое значение имеет проведённый кластерный анализ. Использование алгоритма K-Means позволило автоматически выделить три подгруппы пациентов с различной вероятностью назначения дооперационного введения БТ-А: во втором кластере данное вмешательство выполнялось в 83% случаев, в первом – в 47%, тогда как в нулевом кластере БТ-А не назначалось ни одному пациенту. Такая структура подтверждает способность алгоритма дифференцировать пациентов на основании совокупности морфометрических и клинико-анатомических признаков. Дополнительно метод DBSCAN позволил выявить плотные кластеры пациентов с



однородными характеристиками, а также выделить атипичные профили, что подчёркивает гетерогенность исследуемой выборки.

Для наглядной визуализации структуры данных применялся метод главных компонент (РСА), позволивший отразить пространственное распределение пациентов и продемонстрировать чёткие границы между сформированными кластерами. Данный подход подтвердил, что выбранные морфометрические признаки обладают высокой информативностью и могут служить основой для дальнейшей разработки клинических систем поддержки принятия решений.

Таким образом, использование алгоритмов машинного обучения в исследовании позволило выявить наиболее значимые морфометрические показатели, построить прогностическую модель высокой точности и осуществить стратификацию пациентов по вероятности назначения дооперационного введения БТ-А. Полученные результаты впервые демонстрируют возможность интеграции интеллектуальных технологий в алгоритм дооперационной подготовки больных с ПОВГ W3, что открывает перспективы для автоматизации и индивидуализации хирургической тактики.

Вместе с тем исследование имеет ряд ограничений, включая небольшой объём выборки и отсутствие внешней валидации. Для повышения надёжности и воспроизводимости полученных результатов необходимы дальнейшие работы с расширением выборки, включением дополнительных клинических параметров (в том числе данных о хирургических исходах), а также использованием более сложных ансамблевых алгоритмов машинного обучения.

Несмотря на указанные ограничения, полученные данные подтверждают целесообразность интеграции технологий ИИ в клинические алгоритмы подготовки пациентов, что способствует повышению точности, объективности и индивидуализации лечебной тактики при хирургическом лечении ПОВГ категории W3.

Обобщая результаты исследования, можно заключить, что совокупность морфометрических, текстурных и алгоритмических параметров позволяет выделить пациентов, нуждающихся в дооперационном введении БТ-А. Представленные результаты расширяют существующие представления о морфометрических и текстурных характеристиках мышечно-апоневротического слоя передней брюшной стенки при послеоперационных вентральных грыжах, а также могут служить основой для совершенствования хирургической тактики и обоснования необходимости дооперационной подготовки. Сформулированные на основании проведённого исследования положения легли в основу выводов диссертационной работы.

## ВЫВОДЫ

1. Разработанный протокол позволяет выполнить количественный анализ состояния мышц переднебоковой стенки живота на основе данных компьютерной томографии, включающий морфометрические и текстурные признаки. Выделенные информативные показатели отражают степень ремоделирования мышечной ткани и позволяют обоснованно подходить к выбору оперативного доступа и необходимости дооперационной подготовки для адекватной мобилизации тканей.
2. У пациентов с ПОВГ W3, по сравнению с категорией W2 и контрольной группой, выявлены достоверные различия в морфометрических характеристиках. Так, объём грыжевого мешка увеличивался от  $121,83 \pm 44,41 \text{ см}^3$  при W2 до  $619,28 \pm 83,60 \text{ см}^3$  при W3 ( $p < 0,001$ ), окружность брюшной стенки – с  $63,00 \pm 3,00 \text{ см}$  в контроле до  $79,26 \pm 1,17 \text{ см}$  при W3 ( $p < 0,001$ ). Показатель доли удаляемого сегмента в группе W3 достигал  $6,27 \pm 0,34 \%$  против  $1,47 \pm 0,17 \%$  в контроле ( $p < 0,001$ ). Анализ симметричности показал, что в контрольной группе различия между правой и левой сторонами по площади и длине латеральных мышц отсутствовали ( $p > 0,05$ ), что отражает нормальное сбалансированное состояние мышечно-апоневротического каркаса. В группе W2 выявлены начальные признаки асимметрии, проявлявшиеся увеличением длины и снижением площади мышц справа по сравнению с левой стороной ( $p < 0,05$ ). Наиболее выраженная асимметрия зарегистрирована у пациентов категории W3: площадь и длина латеральных мышц достоверно различались между правой и левой сторонами ( $U = 665$ ;  $p = 0,0096$ ). Таким образом, для пациентов с ПОВГ категории W3 характерны выраженные морфометрические различия и нарастающая асимметрия мышечно-апоневротического каркаса.
3. При межгрупповом сравнении асимметрия у пациентов с ПОВГ категории W3 оказалась достоверно более выраженной, чем у пациентов с W2 ( $p < 0,01$ ), и существенно отличалась от симметричного профиля контрольной группы ( $p < 0,001$ ). Эти данные указывают на прогрессирующую потерю опорной и

стабилизирующей функции переднебоковой стенки живота в условиях увеличивающегося дефекта и хронической утраты домена. Такие изменения свидетельствуют о нарушении опорной функции переднебоковой стенки живота и должны учитываться при выборе объёма хирургической коррекции и дооперационной подготовке.

4. По результатам проведенного текстурного анализа по данным КТ выявлено, что у пациентов контрольной группы мышечная ткань характеризовалась высокой однородностью и низкими значениями контрастности ( $p > 0,05$  между правой и левой сторонами), что отражает нормальное симметричное строение мышечно-апоневротического слоя. У пациентов с ПОВГ категории W2 выявлены наиболее выраженные признаки патологического ремоделирования: достоверное снижение показателей однородности и рост контрастности ( $p < 0,01$  по сравнению с контролем), а также усиление внутригрупповой асимметрии по ряду текстурных метрик. Это указывает на дезорганизацию структуры мышечной ткани, соответствующую ранним стадиям патологического процесса. В группе W3 структура мышц имела иные характеристики: ряд параметров (вейвлет- и габор-признаки) не различались между сторонами ( $p > 0,05$ ) и сближались со значениями контрольной группы, в то время как часть показателей оставалась изменённой по сравнению с W2 ( $p < 0,05$ ). Такая картина интерпретируется как феномен вторичной стабилизации, возникающий в условиях хронической утраты домена и длительной адаптации к изменённой биомеханике переднебоковой стенки. Сравнительный анализ показал, что пациенты группы W2 демонстрировали наибольшую степень текстурной дезорганизации по сравнению с W3 ( $p < 0,05$ ) и контролем ( $p < 0,001$ ), тогда как в группе W3 изменения носили более «стабилизированный» характер и частично приближались к норме. Эти особенности следует учитывать при выборе метода реконструкции и при обосновании необходимости дооперационной подготовки.

5. На основании проведённого анализа установлено, что наиболее информативными морфометрическими метриками для прогнозирования

необходимости дооперационного введения ботулинического токсина у пациентов с ПОВГ категории W3 являются Defect Ratio ( $15,64 \pm 3,54$  %), Component Separation Index ( $0,175 \pm 0,036$ ) и доля удаляемого сегмента ( $6,26$  % [ $5,93$ – $6,60$ ]). Эти показатели достоверно отличались от значений в группе W2 (Defect Ratio –  $8,34 \pm 2,71$  %, CSI –  $0,108 \pm 0,029$ , доля удаляемого сегмента –  $3,14$  % [ $2,88$ – $3,35$ ];  $p < 0,001$ ), что подчёркивает их прогностическую значимость в клинической стратификации пациентов. Применение алгоритмов машинного обучения позволило подтвердить ключевую роль этих признаков.

6. Модель логистической регрессии обеспечила AUC-ROC = 0,95 и точность классификации 86 %, алгоритм Random Forest выделил наибольший вклад Defect Ratio (0,28), CSI (0,26) и доли удаляемого сегмента (0,25) в построение прогноза. Кластеризация методом K-Means продемонстрировала наличие подгрупп пациентов с различной вероятностью назначения БТ-А: от 0 % в одном кластере до 83 % в другом. Таким образом, внедрённый алгоритм искусственного интеллекта продемонстрировал высокую прогностическую эффективность и позволил объективизировать показания к дооперационному введению БТ-А у пациентов с ПОВГ категории W3. Его применение может служить основой для персонализированной стратификации пациентов и стандартизации тактики хирургической подготовки.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для объективизации состояния мышечно-апоневротического слоя у пациентов с ПОВГ категории W3 необходимо использовать протокол количественной оценки на основе КТ с расчётом исходных и производных морфометрических параметров, индексов (Defect Ratio, CSI, доля удаляемого сегмента).
2. При планировании дооперационной подготовки рекомендуется учитывать выявленную асимметрию между правой и левой сторонами переднебоковой стенки живота, что обосновывает необходимость дифференцированного введения ботулинического токсина типа А с учётом степени ретракции мышц.
3. Дооперационное введение ботулинического токсина типа А целесообразно при превышении пороговых значений морфометрических индексов, отражающих выраженность ремоделирования переднебоковой стенки: Defect Ratio > 12–15 %, CSI > 0,15, доля удаляемого сегмента > 5 %.
4. Текстуальный анализ мышечной ткани рекомендуется использовать для разграничения стадии активного ремоделирования (характерной для ПОВГ W2) и вторичной стабилизации (характерной для W3), что должно учитываться при выборе метода реконструкции и дооперационной подготовки.
5. Для стратификации пациентов и прогнозирования показаний к введению ботулинического токсина целесообразно применять алгоритмы машинного обучения (логистическая регрессия, Random Forest, кластеризация).
6. Внедрение комплексного протокола оценки, включающего морфометрию, текстуальный анализ и прогнозирование на основе ИИ, в клиническую практику позволяет исключить субъективность при принятии решений, стандартизировать дооперационную подготовку и повысить эффективность хирургического лечения пациентов с ПОВГ категории W3.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

**АКС** – абдоминальный компартмент-синдром

**БТ-А** - ботулинический токсин типа А

**ВБД** – внутрибрюшное давление

**ВКМ** – внеклеточный матрикс

**ЕОГ** – Европейское общество герниологов (EHS)

**ИИ** – искусственный интеллект

**ИАГ** – интраабдоминальная гипертензия

**КТ** – компьютерная томография

**МАС** – мышечно-апоневротический слой

**МО** – машинное обучение

**ОБП** – объем брюшной полости

**ОРИТ** – отделение реанимации и интенсивной терапии

**ПБСЖ** – переднебоковая стенка живота

**ПОВГ** – послеоперационные вентральные грыжи

**СИАГ** – синдром интраабдоминальной гипертензии

**ТА** – текстурный анализ

**ХОБЛ** – хроническая обструктивная болезнь лёгких

**ЦВД** – центральное венозное давление

**ACST** – anterior component separation technique (передняя техника разделения компонентов)

**ACV** – abdominal cavity volume (объём брюшной полости)

**ANOVA** – analysis of variance (дисперсионный анализ)

**БТА** – botulinum toxin type A (ботулинический токсин типа А)

**CAD** – computer-aided diagnosis (компьютерная диагностика)

**CSI** – component separation index (индекс разделения компонентов)

**CST** – component separation technique (техника разделения компонентов)

**DBSCAN** – density-based spatial clustering of applications with noise (кластеризация с шумами)

**GPRVS** – giant prosthetic reinforcement of the visceral sac

**GLCM** – gray level co-occurrence matrix (матрица совместной встречаемости градаций серого)

**HSV** – hernia sac volume (объём грыжевого мешка)

**IBSI** – Image Biomarker Standardisation Initiative

**IHV/PV** – index of hernia volume to peritoneal volume (соотношение объёма грыжи и объёма брюшной полости)

**IPOM** – intraperitoneal onlay mesh

**IQR** – interquartile range (межквартильный размах)

**KNN** – k-nearest neighbors (метод k-ближайших соседей)

**LBP** – local binary patterns (локальные бинарные паттерны)

**LOD** – loss of domain (утрата домена)

**MAC** – muscularoneurotic complex (мышечно-апоневротический комплекс)

**NPV** – negative predictive value (отрицательная прогностическая ценность)

**OSS** – overall severity score (общий показатель тяжести)

**PCA** – principal component analysis (метод главных компонент)

**PPV** – positive predictive value (положительная прогностическая ценность)

**ROI** – region of interest (область интереса)

**SAAW/SHD** – ratio of surface area of abdominal wall to surface of hernia defect (соотношение площади переднебоковой стенки живота и площади грыжевого дефекта)

**SVM** – support vector machine (метод опорных векторов)

**SWR** – sliding window radiomics (радиомика со скользящим окном)

**TAR** – transversus abdominis release (релиз поперечной мышцы живота)

**Tukey HSD** – Tukey honestly significant difference (пост-хок тест Тьюки)

**VHVG** – Ventral Hernia Working Group (рабочая группа по вентральным грыжам)

**WSACS** – World Society of the Abdominal Compartment Syndrome (Всемирное общество по АКС)



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоконев В. И., Ветшев П. С., Тарасенко С. В., Афендулов С. А. Патогенез и хирургическое лечение послеоперационных вентральных грыж : монография / В. И. Белоконев, П. С. Ветшев, С. В. Тарасенко, С. А. Афендулов. — Самара : Перспектива, 2005. — 183 с.
2. Белоконев В. И., Пушкин С. Ю., Ковалева З. В. Этиология, патогенез и лечение рецидивных послеоперационных вентральных грыж / В. И. Белоконев, С. Ю. Пушкин, З. В. Ковалева. — Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2021. — 112 с.
3. Доброквашин С. В., Измайлов А. Г., Янтыкова А. А. [и др.]. Послеоперационные вентральные грыжи : нерешённые вопросы диагностики и тактики хирургического лечения // Вестник современной клинической медицины. — 2024. — Т. 17, прил. 1. — С. 67–74. — DOI:10.20969/VSKM.2024.17(suppl.1).6774.
4. Ермолов А. С., Благовестнов Д. А., Алексеев А. К. [и др.]. Хирургическое лечение пациентов с большими и гигантскими послеоперационными вентральными грыжами // Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. — 2019. — № 9. — С. 38–43. — DOI:10.17116/hirurgia201909138.
5. Жебровский В. В., Эльбашир М. Т. Хирургия грыж живота и эвентраций : монография / В. В. Жебровский, М. Т. Эльбашир. — Симферополь : Бизнес-Информ, 2002. — 438 с.
6. Зимин Ю. И. Исторические аспекты классификаций послеоперационных вентральных грыж по материалам отечественной литературы // Доказательная гастроэнтерология. — 2010. — № 2. — С. 79–81.
7. Имангазинов С. Б., Хатамов З. М., Ташпулатов А. Х. Послеоперационные вентральные грыжи : хирургическое лечение и профилактика раневых осложнений (обзор литературы) [Электронный ресурс] // Вестник экстренной медицины. — 2021. — № 4. — URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/posleoperatsionnye-ventralnye-gryzhi-hirurgicheskoe-lechenie-i-profilaktika-ranevykh-oslozhneniy-obzor-literatury>

(дата обращения: 03.03.2025).

8. Канахина Л. Б., Мазурова О. И. Использование алгоритмов машинного обучения в герниологии // Виноградовские чтения : актуальные проблемы хирургии, травматологии, анестезиологии и реаниматологии : материалы конференции молодых учёных. — Москва, 2024. — С. 5–7.
9. Канахина Л. Б., Мазурова О. И., Протасов А. В. Использование модели машинного обучения в прогнозировании развития абдоминального компартмент-синдрома : клинический пример // Волжские берега : современные технологии в медицине, биологии и ветеринарии : сборник материалов I Международного научно-практического форума. — Саратов, 2024. — С. 37–39.
10. Канахина Л. Б., Протасов А. В., Мазурова О. И. Использование методики неинвазивного измерения объёма брюшной полости // Молодёжный инновационный вестник. — 2024. — Т. 13, № 1. — С. 14–20.
11. Канахина Л. Б., Протасов А. В., Мазурова О. И. Ремоделирование мышечного слоя брюшной стенки у пациентов с послеоперационной вентральной грыжей // Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. — 2025. — № 4. — С. 46–52. — DOI: [10.17116/hirurgia202504146](https://doi.org/10.17116/hirurgia202504146).
12. Канахина Л. Б., Протасов А. В., Мазурова О. И. Сравнение методик КТ-абдоменометрии для определения объёма брюшной полости // Диагностическая и интервенционная радиология. — 2024. — Т. 18, № S1.1. — С. 61.
13. Канахина Л. Б., Протасов А. В., Мазурова О. И., Топчиев А. М., Навид М. Н. Сравнительный анализ методик неинвазивного измерения объёма брюшной полости // Доказательная гастроэнтерология. — 2024. — Т. 13, № 3. — С. 50–59. — DOI: [10.17116/dokgastro20241303150](https://doi.org/10.17116/dokgastro20241303150).

14. Каспаров Э. В., Сухоруков А. М., Вдовенко П. А., Зюзюкина А. В. Случаи ущемлённых послеоперационных вентральных грыж // Сибирское медицинское обозрение. — 2014. — № 6 (90). — С. 89–90. — EDN THENJN.
15. Клинические рекомендации. Послеоперационная вентральная грыжа. — Москва : Министерство здравоохранения Российской Федерации, утв. 23.10.2021 (актуал. 2023). — 74 с. [Электронный ресурс]. — URL: [https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/943\\_gryzha](https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/943_gryzha) (дата обращения: 03.03.2025).
16. Князюк А. С., Бонцевич Д. Н., Шевченко Н. И. Сравнительная характеристика антибактериальной активности нового биологически активного шовного материала // Проблемы здоровья и экологии. — 2017. — № 4 (54). — С. 106–110. — EDN YLWXJL.
17. Михин И. В., Кухтенко Ю. В., Панчишкин А. С. Большие и гигантские послеоперационные вентральные грыжи : возможности хирургического лечения (обзор литературы) // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. — 2014. — № 2 (50). — С. 8–16. — EDN SHKBYJ.
18. Монаков Н. З. Послеоперационные грыжи : монография / Н. З. Монаков. — Москва : Медгиз, 1959. — 152 с.
19. Никитаев Н. С., Кармазановский Г. Г., Адамян А. А., Гогия Б. Ш., Колганова И. П. Грыжи брюшной стенки : КТ-диагностика // Медицинская визуализация. — 2005. — № 3. — С. 76–82.
20. Паршиков В. В., Петров В. А., Ходак В.В. [и др.]. Современные технологии в хирургии грыж передней брюшной стенки // Современные технологии в медицине. — 2009. — №1. — С. 32–38. — EDN KWEBFH.
21. Петров В. В., Паршиков В. В., Самсонов А. А. [и др.]. Хирургическое лечение послеоперационных вентральных грыж : новые

- материалы, новые технологии // Современные технологии в медицине. — 2010. — № 1–2. — С. 71–72. — EDN MRMZTT.
22. Протасов А. В., Кулакова А. Л., Навид М. Н., Титаров Д. Л., Каитова З. С. Оперативная хирургия : учебное пособие для студентов III–IV курсов медицинского института по специальности «Лечебное дело». В 2 ч. Ч. 1 : Основы оперативной хирургии. 2-е изд., - М.: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2022. - 75 с.
  23. Протасов А. В., Канахина Л. Б., Мазурова О. И., Чорбаджи А. П. Ретроспективный анализ с использованием машинного обучения и поиска значимых КТ-признаков для оптимизации предоперационной подготовки пациентов с большими и гигантскими послеоперационными вентральными грыжами // Московский хирургический журнал. — 2025. — № 1. — С. 56–63.
  24. Протасов А. В., Подольский М. Ю., Мазурова О. И. Использование ботулинического токсина типа А в герниологии : учебно-методическое пособие / А. В. Протасов, М. Ю. Подольский, О. И. Мазурова. — Москва : Российский университет дружбы народов (РУДН), 2024. — 31 с. — ISBN 978-5-209-12404-7. — EDN NYBHEC.
  25. Протасов А. В., Мазурова О. И., Навид М. Н., Титаров Д. Л., Канахина Л. Б. Текстурный анализ мышечно-апоневротического слоя передней брюшной стенки при вентральных грыжах // Оренбургский медицинский вестник. — 2025. — Т. 13, № S2 (50). — С. 258–259.
  26. Протасов А. В., Богданов Д. Ю., Навид М. Н., Гусейнов И. И. Безнатяжная пластика гигантских грыж передней брюшной стенки // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). — 2017. — Т. 1, № 2. — С. 21–29.
  27. Сажин А. В., Лобан К. М., Ивахов Г. Б., Петухов В. А., Глаголев Н. С., Андрияшкин А. В., Ахмедов Р. Р. Современные концепции хирургии вентральных грыж // Новости хирургии. — 2020. — Т. 28, № 6. — С. 714–729. — DOI:10.18484/2305-0047.2020.6.714.

28. Славин Л. Е., Федоров И. В., Сигал Е. И. Осложнения хирургии грыж живота : монография. — Москва : Профиль, 2005. — 176 с.
29. Ступин В. А., Джафаров Э. Т., Черняков А. В., Кротт Э., Клинге У., Ануров М. В., Поливода М. Д., Титкова С. М., Эттингер А. П. Особенности соединительной ткани у пациентов с послеоперационными вентральными грыжами // Вестник Российского государственного медицинского университета. — 2009. — № 5. — С. 7–10.
30. Стегний К. В., Гончарук Р. А., Крекотень А. А., Ожерельев А. В., Двойникова Е. Р. Послеоперационные вентральные грыжи у пациентов со злокачественными образованиями органов брюшной полости // Тихоокеанский медицинский журнал. — 2020. — № 4 (82). — С. 20–23. — DOI:10.34215/1609-1175-2020-4-20-23. — EDN GAETRZ.
31. Тимербулатов М. В., Тимербулатов Ш. В., Фаязов Р. Р. Послеоперационные вентральные грыжи : современное состояние проблемы // Медицинский вестник Башкортостана. — 2013. — Т. 8, № 5. — С. 45–53.
32. Тоскин К. Д., Жебровский В. В. Грыжи живота : монография / К. Д. Тоскин, В. В. Жебровский. — Москва : Медицина, 1983. — 124 с.
33. Методы волюметрии молочных желез при планировании онкопластической органосохраняющей операции у пациенток с РМЖ: клинический опыт РНЦРР / Ходорович О.С., Нуднов Н.В., Шерстнева Т.В. [и др.]. // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России. — 2024. — Т. 24. — № 3. — С. 129-140.
34. Юрасов А. В., Гурин С. Н., Мударисов Р. Р., Мнойн А. Х., Мидибер К. Ю., Михалева Л. М., Шестаков А. Л. История изучения дисплазии соединительной ткани и её роли в развитии послеоперационных грыж // Московский хирургический журнал. — 2024. — № 4. — С. 236–245. — DOI:10.17238/2072-3180-2024-4-236-245.

35. Ammaturio C., Bassi G.  
The ratio between anterior abdominal wall surface/wall defect surface: a new parameter to classify abdominal incisional hernias // *Hernia*. — 2005. — Vol. 9, No. 4. — P. 316–321.
36. Ammaturio C., Bassi G.  
Surgical treatment of large incisional hernias with an intraperitoneal Parietex Composite mesh: our preliminary experience on 26 cases // *Hernia*. — 2004. — Vol. 8, No. 3. — P. 242–246. — DOI: 10.1007/s10029-004-0223-8.
37. An Q., Rahman S., Zhou J., Kang J.J.  
A comprehensive review on machine learning in healthcare industry: classification, restrictions, opportunities and challenges // *Sensors*. — 2023. — Vol. 23, No. 9. — Article 4178. — DOI:10.3390/s23094178.
38. Antoniou G.A., Tentes I.K., Antoniou S.A., Simopoulos C., Lazarides M.K.  
Circulating matrix metalloproteinases and their inhibitors in inguinal hernia and abdominal aortic aneurysm // *International Angiology*. — 2011. — Vol. 30, No. 2. — P. 123–129.
39. Axer H., von Keyserlingk D.G., Prescher A.  
Collagen fibers in linea alba and rectus sheaths. I. General scheme and morphological aspects // *Journal of Surgical Research*. — 2001. — Vol. 96, No. 1. — P. 127–134. — DOI: 10.1006/jsre.2000.6070.
40. Axer H., von Keyserlingk D.G., Prescher A.  
Collagen fibers in linea alba and rectus sheaths. II. Regional variations and functional significance // *Journal of Surgical Research*. — 2001. — Vol. 96, No. 2. — P. 239–245. — DOI: 10.1006/jsre.2000.6071.
41. Basta M.N., Kozak G.M., Broach R.B., Messa C.A., Rhemtulla I., DeMatteo R.P., Serletti J.M., Fischer J.P.  
Can we predict incisional hernia? Development of a surgery-specific decision-support interface // *Annals of Surgery*. — 2019. — Vol. 270, No. 3. — P. 544–553. — DOI: 10.1097/SLA.0000000000003472.

42. Benhidjeb T., Benecke C., Strik M.W.  
Versorgung von Narbenhernien: Sublay- oder Intra-Peritoneale Onlay-Mesh (IPOM)-Technik? // *Zentralblatt für Chirurgie*. — 2008. — Vol. 133, No. 5. — P. 458–463. — DOI: 10.1055/s-2008-1076954.
43. Bhardwaj P., Huayllani M.T., Olson M.A., Janis J.E.  
Year-over-year ventral hernia recurrence rates and risk factors // *JAMA Surgery*. — 2024. — Vol. 159, No. 6. — P. 651–658. — DOI: 10.1001/jamasurg.2024.0233.
44. Bishop C.M.  
*Pattern Recognition and Machine Learning*: monograph / C.M. Bishop. — New York: Springer, 2006. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/pattern-recognition-machine-learning/> (дата обращения: 06.03.2025).
45. Blatnik J.A., Krpata D.M., Pesa N.L., Will P., Harth K.C., Novitsky Y.W., Rowbottom J.R., Rosen M.J.  
Predicting severe postoperative respiratory complications following abdominal wall reconstruction // *Plastic and Reconstructive Surgery*. — 2012. — Vol. 130, No. 4. — P. 836–841. — DOI:10.1097/PRS.0b013e318262f160.
46. Blatnik J.A., Brunt L.M.  
Controversies and techniques in the repair of abdominal wall hernias // *Journal of Gastrointestinal Surgery : official journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract*. — 2019. — Vol. 23, No. 4. — P. 837–845. — DOI:10.1007/s11605-018-3989-1.
47. Breuing K., Butler C.E., Ferzoco S., Franz M., Hultman C.S., Kilbridge J.F., et al.  
Incisional ventral hernias : review of the literature and recommendations regarding the grading and technique of repair // *Surgery*. — 2010. — Vol. 148, No. 3. — P. 544–558. — DOI:10.1016/j.surg.2010.01.008.
48. Brnabic A., Hess L.M.  
Systematic literature review of machine learning methods used in the analysis of real-world data for patient-provider decision making // *BMC Medical Informatics*

- and Decision Making*. — 2021. — Vol. 21. — Article 54. — DOI:10.1186/s12911-021-01403-2.
49. Bueno-Lledó J., Torregrosa A., Ballester N., Carreño O., Carbonell F., Pastor P.G., Martínez-Hoed J., López-Cano M. Preoperative progressive pneumoperitoneum and botulinum toxin type A in patients with large incisional hernia // *Cirugía Española (English Edition)*. — 2017. — Vol. 21, No. 2. — P. 233–243. — DOI:10.1007/s10029-017-1582-2.
  50. Chakkalakal J., Brack A. Extrinsic regulation of satellite cell function and muscle regeneration capacity during aging // *Journal of Stem Cell Research and Therapy*. — 2012. — Suppl. 11. — Article 001. — DOI:10.4172/2157-7633.S11-001.
  51. Cheatham M.L., Safcsak K. Intra-abdominal pressure : a revised method for measurement // *Journal of the American College of Surgeons*. — 1998. — Vol. 186, No. 3. — P. 368–369. — DOI: 10.1016/S1072-7515(97)00156-7.
  52. Chevrel J. P., Rath A. M. Classification of incisional hernias of the abdominal wall // *Hernia*. — 2000. — Vol. 4. — P. 94.
  53. Choi R.Y., Coyner A.S., Kalpathy-Cramer J., Chiang M.F., Campbell J.P. Introduction to Machine Learning, Neural Networks, and Deep Learning // *Translational Vision Science & Technology*. — 2020. — Vol. 9, № 2. — P. 14. — DOI: 0.1167/tvst.9.2.14.
  54. Christy M.R., Apostolides J., Rodriguez E.D., Manson P.N., Gens D., Scalea T. The Component Separation Index: a standardized biometric identity in abdominal wall reconstruction // *Eplasty*. — 2012. — Vol. 12. — e17.
  55. Claus C.M.P., Cavaleiri M., Malcher F., Trippia C., Eiras-Araujo A.L., Pauli E., Cavazzola L.T. DECOMP Report: Answers surgeons expect from an abdominal wall imaging exam // *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões*. — 2022. — Vol. 49. — e20223172. — DOI: 10.1590/0100-6991e-20223172en.



56. Cobb W.S., Warren J.A., Ewing J.A., Burnikel A., Merchant M., Carbonell A.M. Open retromuscular mesh repair of complex incisional hernia: predictors of wound events and recurrence // *Journal of the American College of Surgeons*. — 2015. — Vol. 220, № 4. — P. 606–613. — DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2014.12.055.
57. Cook J. Simple approximation for surface area of an ellipsoid [Электронный ресурс] // John D. Cook. — 2021. — URL: <https://www.johndcook.com/blog/2021/03/24/surface-area-ellipsoid/> (дата обращения: 04.03.2025).
58. Culbertson E.J., Xing L., Wen Y., Franz M.G. Reversibility of abdominal wall atrophy and fibrosis after primary or mesh herniorrhaphy // *Annals of Surgery*. — 2013. — Vol. 257, № 1. — P. 142–149. — DOI: 10.1097/SLA.0b013e31825ffd02.
59. Daugman J. Complete discrete 2-D Gabor transforms by neural networks for image analysis and compression // *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. — 1988. — Vol. 36, № 7. — P. 1169–1179. — DOI: 10.1109/29.1644.
60. Davies M., Davies C., Morris-Stiff G., Shute K. Emergency presentation of abdominal hernias: outcome and reasons for delay in treatment — a prospective study // *Annals of the Royal College of Surgeons of England*. — 2007. — Vol. 89, № 1. — P. 47–50. — DOI:10.1308/003588407X160855.
61. De Keulenaer B.L., De Waele J.J., Powell B., et al. What is normal intra-abdominal pressure and how is it affected by positioning, body mass and positive end-expiratory pressure? // *Intensive Care Medicine*. — 2009. — Vol. 35. — P. 969–976. — DOI:10.1007/s00134-009-1445-0.
62. De Laet I.E., Malbrain M.L.N.G., De Waele J.J. A clinician's guide to management of intra-abdominal hypertension and abdominal compartment syndrome in critically ill patients // *Critical Care*. — 2020. — Vol. 24, № 1. — P. 97. — DOI:10.1186/s13054-020-2782-1.

63. De Simone B., Birindelli A., Ansaloni L., et al. Emergency repair of complicated abdominal wall hernias: WSES guidelines // *Hernia*. — 2020. — Vol. 24. — P. 359–368. — DOI: 10.1007/s10029-019-02021-8.
64. De Vries Reilingh T.S., van Geldere D., Langenhorst B.L., de Jong D., van der Wilt G.J., van Goor H., Bleichrodt R.P. Repair of large midline incisional hernias with polypropylene mesh: comparison of three operative techniques // *Hernia*. — 2004. — Vol. 8, № 1. — P. 56–59.
65. De Vries Reilingh T.S., van Goor H., Charbon J.A., et al. Repair of giant midline abdominal wall hernias: “components separation technique” versus prosthetic repair: interim analysis of a randomized controlled trial // *World Journal of Surgery*. — 2007. — Vol. 31, № 4. — P. 756–763. — DOI:10.1007/s00268-006-0502-x.
66. Deeken C.R., Faucher K.M., Matthews B.D. A review of the composition, characteristics, and effectiveness of barrier mesh prostheses utilized for laparoscopic ventral hernia repair // *Surgical Endoscopy*. — 2012. — Vol. 26, № 2. — P. 566–575. — DOI: 10.1007/s00464-011-1899-3.
67. Deerenberg E.B., Timmermans L., Hogerzeil D.P., et al. A systematic review of the surgical treatment of large incisional hernia // *Hernia*. — 2015. — Vol. 19, № 1. — P. 89–101. — DOI: 10.1007/s10029-014-1321-x.
68. Deerenberg E.B., Harlaar J.J., Steyerberg E.W., et al. Small bites versus large bites for closure of abdominal midline incisions (STITCH): a double-blind, multicentre, randomised controlled trial // *The Lancet*. — 2015. — Vol. 386, № 10000. — P. 1254–1260. — DOI: 10.1016/S0140-6736(15)60459-7.
69. Deerenberg E.B., Henriksen N.A., Antoniou G.A., Antoniou S.A., Bramer W.M., Fischer J.S., Fortelny R.H., Gök H., Harris H.W., Hope W.W., Horne C.M., Jensen T.K., Köckerling F., Kretschmer A., López-Cano M., Malcher F., Shao J.M., Sliker J., de Smet G.H.J., Muysoms F. Updated guideline for closure of abdominal wall incisions from the European and

- American Hernia Societies // *British Journal of Surgery*. — 2022. — Vol. 109, № 12. — P. 1239–1250. — DOI: 10.1093/bjs/znac302.
70. DOI:K.  
Computer-aided diagnosis in medical imaging: historical review, current status and future potential // *Computerized Medical Imaging and Graphics*. — 2007. — Vol. 31, № 4-5. — P. 198–211. — DOI: 10.1016/j.compmedimag.2007.02.002.
71. DuBay D.A., Choi W., Urbanek M.G., et al.  
Incisional herniation induces decreased abdominal wall compliance via oblique muscle atrophy and fibrosis // *Annals of Surgery*. — 2007. — Vol. 245, № 1. — P. 140–146. — DOI: 10.1097/01.sla.0000251267.11012.85.
72. DuBay D.A., Wang X., Adamson B., Kuzon W.M. Jr, Dennis R.G., Franz M.G.  
Progressive fascial wound failure impairs subsequent abdominal wall repairs: a new animal model of incisional hernia formation // *Surgery*. — 2005. — Vol. 137, № 4. — P. 463–471. — DOI: 10.1016/j.surg.2004.12.016.
73. Ellison E.C., Zollinger R.M. Jr.  
*Zollinger's Atlas of Surgical Operations*. — 10th ed. — New York: McGraw-Hill Education, 2016. — 592 p. — ISBN 978-0-07-179755-9.
74. Elstner K.E., Read J.W., Rodriguez-Acevedo O., et al.  
Preoperative chemical component relaxation using botulinum toxin A: enabling laparoscopic repair of complex ventral hernia // *Surgical Endoscopy*. — 2017. — Vol. 31, № 2. — P. 761–768. — DOI :10.1007/s00464-016-5030-7.
75. Fanzani A., Conraads V.M., Penna F., et al.  
Molecular and cellular mechanisms of skeletal muscle atrophy: an update // *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. — 2012. — Vol. 3. — P. 163–179. — DOI: 10.1007/s13539-012-0074-6.
76. Farooque F., Jacombs A.S., Roussos E., et al.  
Preoperative abdominal muscle elongation with botulinum toxin A for complex incisional ventral hernia repair // *ANZ Journal of Surgery*. — 2016. — Vol. 86, № 1-2. — P. 79–83. — DOI: 10.1111/ans.13258.

77. Forbes S.S., Eskicioglu C., McLeod R.S., Okrainec A.  
Meta-analysis of randomized controlled trials comparing open and laparoscopic ventral and incisional hernia repair with mesh // *British Journal of Surgery*. — 2009. — Vol. 96, № 8. — P. 851–858. — DOI: 10.1002/bjs.6668.
78. Gandhi J.A., Shinde P.H., Banker A.M., Takalkar Y.  
Computed tomography for ventral hernia: need for a standardised reporting format // *Journal of Minimal Access Surgery*. — 2023. — Vol. 19, № 1. — P. 175–177. — DOI: 10.4103/jmas.jmas\_34\_22.
79. Gillies A.R., Lieber R.L.  
Structure and function of the skeletal muscle extracellular matrix // *Muscle & Nerve*. — 2011. — Vol. 44, № 3. — P. 318–331. — DOI: 10.1002/mus.22094.
80. Girieasen M.S., Lakshmanan A., Farook M.  
A preoperative algorithm for loss of domain hernia repair: stratified management using the Tanaka Index in 50 cases // *Journal of Abdominal Wall Surgery*. — 2025. — Vol. 4. — Article 14769. — DOI: 10.3389/jaws.2025.14769.
81. Grässel D., Prescher A., Fitzek S., von Keyserlingk D.G., Axer H.  
Anisotropy of human linea alba: a biomechanical study // *Journal of Surgical Research*. — 2005. — Vol. 124, № 1. — P. 118–125. — DOI: 10.1016/j.jss.2004.10.010.
82. Gulshan V., Peng L., Coram M., et al.  
Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs // *JAMA*. — 2016. — Vol. 316, № 22. — P. 2402–2410. — DOI: 10.1001/jama.2016.17216.
83. Handelman G.S., Kok H.K., Chandra R.V., Razavi A.H., Lee M.J., Asadi H.  
eDoctor: machine learning and the future of medicine // *Journal of Internal Medicine*. — 2018. — Vol. 284, № 6. — P. 603–619. — DOI: 10.1111/joim.12822.
84. Haralick R.M., Shanmugam K., Dinstein I.  
Textural features for image classification // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. — 1973. — Vol. SMC-3, № 6. — P. 610–621. — DOI: 10.1109/TSMC.1973.4309314.

85. Henriksen N.A.  
Systemic and local collagen turnover in hernia patients // *Danish Medical Journal*. — 2016. — Vol. 63, № 7. — Article B5265.
86. Hernández-Gascón B., Mena A., Peña E., Pascual G., Bellón J.M., Calvo B.  
Understanding the passive mechanical behavior of the human abdominal wall // *Annals of Biomedical Engineering*. — 2013. — Vol. 41, № 2. — P. 433–444. — DOI: 10.1007/s10439-012-0672-7.
87. HerniaSurge Group.  
International guidelines for groin hernia management // *Hernia*. — 2018. — Vol. 22, № 1. — P. 1–165. — DOI:10.1007/s10029-017-1668-x.
88. Hodgkinson J.D., Worley G., Warusavitarne J., et al.  
Evaluation of the Ventral Hernia Working Group classification for long-term outcome using English Hospital Episode Statistics: a population study // *Hernia*. — 2021. — Vol. 25. — P. 977–984. — DOI: 10.1007/s10029-021-02379-8.
89. Hoer J., Lawong G., Klinge U., Schumpelick V.  
Factors influencing the development of incisional hernia: a retrospective study of 2,983 laparotomy patients over a period of 10 years // *Der Chirurg*. — 2002. — Vol. 73, № 5. — P. 474–480. — DOI: 10.1007/s00104-002-0425-5.
90. Holihan J.L., Alawadi Z., Martindale R.G., et al.  
Adverse events after ventral hernia repair: the vicious cycle of complications // *Journal of the American College of Surgeons*. — 2015. — Vol. 221, № 2. — P. 478–485. — DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2015.04.026.
91. Hope W.W., Tuma F.  
Incisional hernia // In: *StatPearls* [Internet]. — Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. — Updated June 12, 2023. — URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK435995/> (дата обращения: 06.03.2025).
92. Howard R., Ehlers A., O'Neill S., et al.  
Mesh overlap for ventral hernia repair in current practice // *Surgical Endoscopy*.

- 2023. — Vol. 37, № 12. — P. 9476–9482. — DOI: 10.1007/s00464-023-10348-8.
93. Huang Y., Talwar A., Chatterjee S., Aparasu R.R. Application of machine learning in predicting hospital readmissions: a scoping review of the literature // *BMC Medical Research Methodology*. — 2021. — Vol. 21, № 1. — Article 96. — DOI: 10.1186/s12874-021-01284-z.
  94. Hunt L., Frost S.A., Alexandrou E., Hillman K., Newton P.J., Davidson P.M. Reliability of intra-abdominal pressure measurements using the modified Kron technique // *Acta Clinica Belgica*. — 2015. — Vol. 70, № 2. — P. 116–120. — DOI: 10.1179/2295333714Y.00000000083.
  95. Hynes R.O., Naba A. Overview of the matrisome — an inventory of extracellular matrix constituents and functions // *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. — 2012. — Vol. 4, № 1. — Article a004903. — DOI: 10.1101/cshperspect.a004903.
  96. Ibarra-Hurtado T.R., Nuño-Guzmán C.M., Echeagaray-Herrera J.E., Robles-Vélez E., de Jesús González-Jaime J. Use of botulinum toxin type A before abdominal wall hernia reconstruction // *World Journal of Surgery*. — 2009. — Vol. 33, № 12. — P. 2553–2556. — DOI: 10.1007/s00268-009-0203-3.
  97. Israelsson L.A., Millbourn D. Prevention of incisional hernias: how to close a midline incision // *Surgical Clinics of North America*. — 2013. — Vol. 93, № 5. — P. 1027–1040. — DOI: 10.1016/j.suc.2013.06.009.
  98. Jain A.K., Farrokhnia F. Unsupervised texture segmentation using Gabor filters // *Pattern Recognition*. — 1991. — Vol. 24, № 12. — P. 1167–1186. — DOI: 10.1016/0031-3203(91)90143-S.
  99. Jordan M.I., Mitchell T.M. Machine learning: trends, perspectives, and prospects // *Science*. — 2015. — Vol. 349, № 6245. — P. 255–260. — DOI: 10.1126/science.aaa8415.

100. Kanters A.E., Krpata D.M., Blatnik J.A., Novitsky Y.M., Rosen M.J. Modified hernia grading scale to stratify surgical site occurrence after open ventral hernia repairs // *Journal of the American College of Surgeons*. — 2012. — Vol. 215, № 6. — P. 787–793. — DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2012.08.012.
101. Karrech A., Ahmad H., Hamdorf J.M. Biomechanical stability of hernia-damaged abdominal walls // *Scientific Reports*. — 2023. — Vol. 13, № 1. — Article 4936. — DOI: 10.1038/s41598-023-31674-w.
102. Kesicioglu T., Yildirim K., Yuruker S., et al. Three-year outcome after anterior component separation repair of giant ventral hernias: a retrospective analysis of the original technique without mesh // *Asian Journal of Surgery*. — 2022. — Vol. 45, № 5. — P. 1117–1121. — DOI:10.1016/j.asjsur.2021.08.017.
103. Kingsnorth A., LeBlanc K. Hernias: inguinal and incisional // *The Lancet*. — 2003. — Vol. 362, № 9395. — P. 1561–1571. — DOI: 10.1016/S0140-6736(03)14746-0.
104. Kirkpatrick A.W., Nickerson D., Roberts D.J., et al. Intra-abdominal hypertension and abdominal compartment syndrome after abdominal wall reconstruction: quaternary syndromes? // *Scandinavian Journal of Surgery*. — 2017. — Vol. 106, № 2. — P. 97–106. — DOI: 10.1177/1457496916660036.
105. Kirkpatrick A.W., Roberts D.J., De Waele J., et al. Intra-abdominal hypertension and the abdominal compartment syndrome: updated consensus definitions and clinical practice guidelines from the World Society of the Abdominal Compartment Syndrome // *Intensive Care Medicine*. — 2013. — Vol. 39, № 7. — P. 1190–1206. — DOI: 10.1007/s00134-013-2906-z.
106. Klinge U., Binnebösel M., Rosch R., Mertens P. Hernia recurrence as a problem of biology and collagen // *Journal of Minimal Access Surgery*. — 2006. — Vol. 2, № 3. — P. 151–154. — DOI: 10.4103/0972-9941.27729.

107. Klinge U., Si Z.Y., Zheng H., Schumpelick V., Bhardwaj R.S., Klosterhalfen B.  
Collagen I/III and matrix metalloproteinases (MMP) 1 and 13 in the fascia of  
patients with incisional hernias // *Journal of Investigative Surgery*. — 2001. —  
Vol. 14, № 1. — P. 47–54. — DOI: 10.1080/089419301750072202.
108. Köckerling F., Lammers B.  
Open intraperitoneal onlay mesh (IPOM) technique for incisional hernia repair //  
*Frontiers in Surgery*. — 2018. — Vol. 5. — Article 66. —  
DOI:10.3389/fsurg.2018.00066.
109. Köckerling F.  
Recurrent incisional hernia repair — an overview // *Frontiers in Surgery*. — 2019.  
— Vol. 6. — Article 26. — DOI: 10.3389/fsurg.2019.00026.
110. Köckerling F., Sheen A.J., Berrevoet F., Campanelli G., Ceccarelli G., Fortelny  
R.H., Heiss M.M., Henriksen N.A., López-Cano M., Miserez M., Montgomery A.,  
Morales-Conde S., Muysoms F.E., Reinhold W., Simons M.P., Świąch M.  
Expert consensus on best practice guidelines for laparoscopic repair of ventral and  
incisional hernia // *Surgical Endoscopy*. — 2019. — Vol. 33, № 11. — P. 3511–  
3549. — DOI :10.1007/s00464-019-06898-x.
111. Komorowski M., Celi L.A., Badawi O., Gordon A.C., Faisal A.A.  
The Artificial Intelligence Clinician learns optimal treatment strategies for sepsis  
in intensive care // *Nature Medicine*. — 2018. — Vol. 24, № 11. — P. 1716–1720. —  
DOI : 10.1038/s41591-018-0213-5.
112. Korenkov M., Beckers A., Koebke J., Lefering R., Tiling T., Troidl H.  
Biomechanical and morphological types of the linea alba and its possible role in  
the pathogenesis of midline incisional hernia // *European Journal of Surgery*. —  
2001. — Vol. 167, № 12. — P. 909–914. — DOI :10.1080/110241501753361596.
113. Kulaçoğlu H.  
Current options in umbilical hernia repair in adult patients // *Ulusal Cerrahi  
Dergisi*. — 2015. — Vol. 31, № 3. — P. 157–161. — DOI: 10.5152/UCD.2015.2955.
114. Ledley R.S., Lusted L.B.  
Reasoning foundations of medical diagnosis: symbolic logic, probability, and value



- theory aid our understanding of how physicians reason // *Science*. – 1959. – Vol. 130, № 3366. – P. 9–21. – DOI : 10.1126/science.130.3366.9.
115. Li D.L., Zhu L., Liu S.L., et al. Machine learning-based radiomic nomogram from unenhanced computed tomography and clinical data predicts bowel resection in incarcerated inguinal hernia // *World Journal of Gastrointestinal Surgery*. – 2025. – Vol. 17, № 6. – P. 106155. – DOI: 10.4240/wjgs.v17.i6.106155.
  116. Lindmark M., Löwenmark T., Strigård K., et al. Major complications and mortality after ventral hernia repair: an eleven-year Swedish nationwide cohort study // *BMC Surgery*. – 2022. – Vol. 22. – Article 426. – DOI: 10.1186/s12893-022-01873-9.
  117. López Juárez S., Medina Benítez A., Durán Reyes R., Bagundo Pérez B., Fortuna Sandoval O., Trejo García M. Botulinum toxin A (IncobotulinumtoxinA) and pneumoperitoneum image-guided for hernia repair with loss of dominance // *Cirugía y cirujanos*. — 2023. — Vol. 91. — P. 117–121. — DOI:10.24875/CIRU.21000616.
  118. Love M., Davis S., Blackhurst D., Cobb W., Carbonell A., Warren J. Rectus-to-defect ratio for estimating the complexity of ventral hernia repair: is it reliable for robotic surgery? // *American Journal of Surgery*. – 2023. – Vol. 226, № 6. – P. 917–920. – DOI:10.1016/j.amjsurg.2023.10.021.
  119. Love M.W., Warren J.A., Davis S., et al. Computed tomography imaging in ventral hernia repair: can we predict the need for myofascial release? // *Hernia*. – 2021. – Vol. 25, № 2. – P. 471–477. – DOI:10.1007/s10029-020-02181-y.
  120. Luijendijk R.W., Hop W.C., van den Tol M.P., et al. A comparison of suture repair with mesh repair for incisional hernia // *The New England Journal of Medicine*. – 2000. – Vol. 343, № 6. – P. 392–398. – DOI:10.1056/NEJM200008103430603.
  121. Majumder A., Miller H.J., del Campo L.M., Soltanian H., Novitsky Y.W. Assessment of myofascial medialization following posterior component separation

- via transversus abdominis muscle release in a cadaveric model // *Hernia*. – 2018. – Vol. 22, № 4. – P. 637–644. – DOI:10.1007/s10029-018-1771-7.
122. Malbrain M.L., Cheatham M.L., Kirkpatrick A., et al. Results from the International Conference of Experts on Intra-abdominal Hypertension and Abdominal Compartment Syndrome. I. Definitions // *Intensive Care Medicine*. – 2006. – Vol. 32, № 11. – P. 1722–1732. – DOI:10.1007/s00134-006-0349-5.
  123. Malbrain M.L., De Laet I.E., De Waele J.J., Kirkpatrick A.W. Intra-abdominal hypertension: definitions, monitoring, interpretation and management // *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*. – 2013. – Vol. 27, № 2. – P. 249–270. – DOI:10.1016/j.bpa.2013.06.009.
  124. Mayagoitia J.C., Suárez D., Arenas J.C., Díaz de León V. Preoperative progressive pneumoperitoneum in patients with abdominal-wall hernias // *Hernia*. – 2006. – Vol. 10, № 3. – P. 213–217. – DOI:10.1007/s10029-005-0040-8.
  125. Misiakos E.P., Bagias G., Zavras N., Patapis P., Machairas A. Current trends in laparoscopic ventral hernia repair // *JSLS – Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons*. – 2015. – Vol. 19, № 3. – Article e2015.00048. – DOI:10.4293/JSLS.2015.00048.
  126. Mitchell T. *Machine Learning*. – New York: McGraw-Hill, 1997. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cs.cmu.edu/~tom/mlbook.html> (дата обращения: 06.03.2025).
  127. Montgomery D.C., Runger G.C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. – 7th ed. – Hoboken (NJ): Wiley, 2018. – 912 p. – ISBN 9781119400363.
  128. Moore K.L., Dalley A.F., Agur A.M.R. *Clinically Oriented Anatomy*. – 7th ed. – Philadelphia: Wolters Kluwer, 2014. – 1168 p. – ISBN 9781451119459.

129. Moreno I.G.  
Chronic eventrations and large hernias: preoperative treatment by progressive pneumoperitoneum; original procedure // *Surgery*. – 1947. – Vol. 22, № 6. – P. 945–953.
130. Mudge M., Hughes L.E.  
Incisional hernia: a 10-year prospective study of incidence and attitudes // *British Journal of Surgery*. – 1985. – Vol. 72, № 1. – P. 70–71. – DOI:10.1002/bjs.1800720127.
131. Muysoms F.E., Antoniou S.A., Bury K., Campanelli G., Conze J., Cuccurullo D., de Beaux A.C., Deerenberg E.B., East B., Fortelny R.H., Gillion J.F., Henriksen N.A., Israelsson L., Jairam A., Jänes A., Jeekel J., López-Cano M., Miserez M., Morales-Conde S., Sanders D.L., et al.  
European Hernia Society guidelines on the closure of abdominal wall incisions // *Hernia*. – 2015. – Vol. 19, № 1. – P. 1–24. – DOI:10.1007/s10029-014-1342-5.
132. Muysoms F.E., Miserez M., Berrevoet F., Campanelli G., Champault G.G., Chelala E., Dietz U.A., Eker H.H., El Nakadi I., Hauters P., Hidalgo Pascual M., Hoferlin A., Klinge U., Montgomery A., Simmermacher R.K., Simons M.P., Smietański M., Sommeling C., Tollens T., Vierendeels T., et al.  
Classification of primary and incisional abdominal wall hernias // *Hernia*. – 2009. – Vol. 13, № 4. – P. 407–414. – DOI:10.1007/s10029-009-0518-x.
133. Nguyen M.T., Berger R.L., Hicks S.C., Davila J.A., Li L.T., Kao L.S., Liang M.K.  
Comparison of outcomes of synthetic mesh vs suture repair of elective primary ventral herniorrhaphy: a systematic review and meta-analysis // *JAMA Surgery*. – 2014. – Vol. 149, № 5. – P. 415–421. – DOI:10.1001/jamasurg.2013.5014.
134. Ni Z.K., Zhou T.H., Kang S.C., Han Y.H., Jin H.M., Huang S.F., Huang H.  
Radiomics-based machine learning model for diagnosing internal abdominal hernias: a retrospective study // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15, № 1. – Article 17803. – DOI:10.1038/s41598-025-02534-6.
135. Novitsky Y.W., Elliott H.L., Orenstein S.B., Rosen M.J.  
Transversus abdominis muscle release: a novel approach to posterior component

- separation during complex abdominal wall reconstruction // *American Journal of Surgery*. – 2012. – Vol. 204, № 5. – P. 709–716. – DOI:10.1016/j.amjsurg.2012.02.008.
136. Ojala T., Pietikäinen M., Mäenpää T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2002. – Vol. 24, № 7. – P. 971–987. – DOI:10.1109/TPAMI.2002.1017623.
  137. Park B., Bhat S., Xia W., Barazanchi A.W.H., Frampton C., Hill A.G., McCormick A.D. Consensus-defined sarcopenia predicts adverse outcomes after elective abdominal surgery: meta-analysis // *BJS Open*. – 2023. – Vol. 7, № 4. – Article zrad065. – DOI:10.1093/bjsopen/zrad065.
  138. Pavithira G.J., Dutta S., Sundaramurthi S., Nelamangala Ramakrishnaiah V.P. Outcomes of emergency abdominal wall hernia repair: experience over a decade // *Cureus*. – 2022. – Vol. 14, № 6. – Article e26324. – DOI:10.7759/cureus.26324.
  139. Quintela C., Freire L., Marrana F., Barbosa E., Guerreiro E., Ferreira F. Quaternary abdominal compartment syndrome in complex ventral hernias // *International Journal of Abdominal Wall and Hernia Surgery*. – 2021. – Vol. 4. – P. 39. – DOI:10.4103/ijawhs.ijawhs\_43\_20.
  140. Ramirez O.M., Ruas E., Dellon A.L. “Components separation” method for closure of abdominal-wall defects: an anatomic and clinical study // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 1990. – Vol. 86, № 3. – P. 519–526. – DOI:10.1097/00006534-199009000-00023.
  141. Rives J., Lardennois B., Pire J.C., Hibon J. Les grandes éventrations. Importance du "volet abdominal" et des troubles respiratoires qui lui sont secondaires // *Chirurgie; mémoires de l'Académie de chirurgie*. – 1973. – Vol. 99, № 8. – P. 547–563.
  142. Rodriguez-Acevedo O., Elstner K.E., Jacombs A.S.W., Read J.W., Martins R.T., Arduini F., Wehrhahn M., Craft C., Cosman P.H., Dardano A.N., Ibrahim N.

- Preoperative botulinum toxin A enabling defect closure and laparoscopic repair of complex ventral hernia // *Surgical Endoscopy*. – 2018. – Vol. 32, № 2. – P. 831–839. – DOI:10.1007/s00464-017-5750-3.
143. Rosenblatt F.  
The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain // *Psychological Review*. – 1958. – Vol. 65, № 6. – P. 386–408. – DOI:10.1037/h0042519.
144. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J.  
Learning representations by back-propagating errors // *Nature*. – 1986. – Vol. 323. – P. 533–536. – DOI:10.1038/323533a0.
145. Sabbagh C., Dumont F., Fuks D., Yzet T., Verhaeghe P., Regimbeau J.M.  
Progressive preoperative pneumoperitoneum preparation (the Goni-Moreno protocol) prior to large incisional hernia surgery: volumetric, respiratory and clinical impacts. A prospective study // *Hernia*. – 2012. – Vol. 16, № 1. – P. 33–40. – DOI:10.1007/s10029-011-0849-2.
146. Sabbagh C., Dumont F., Robert B., Badaoui R., Verhaeghe P., Regimbeau J.M.  
Peritoneal volume is predictive of tension-free fascia closure of large incisional hernias with loss of domain: a prospective study // *Hernia*. – 2011. – Vol. 15, № 5. – P. 559–565. – DOI:10.1007/s10029-011-0832-y.
147. Samuel A.L.  
Some studies in machine learning using the game of checkers // *IBM Journal of Research and Development*. – 1959. – Vol. 3, № 3. – P. 210–229. [Электронный ресурс]. URL: <https://people.csail.mit.edu/brooks/idocs/Samuel.pdf> (дата обращения: 06.03.2025).
148. Sanders D.L., Kingsnorth A.N.  
The modern management of incisional hernias // *BMJ (Clinical Research Edition)*. – 2012. – Vol. 344. – Article e2843. – DOI:10.1136/bmj.e2843.
149. Schlosser K.A., Maloney S.R., Thielan O.N., Prasad T., Kercher K.W., Augenstein V.A., Heniford B.T., Colavita P.D.

- Sarcopenia in patients undergoing open ventral hernia repair // *The American Surgeon*. – 2019. – Vol. 85, № 9. – P. 985–991.
150. Schumpelick V., Klinge U., Junge K., Stumpf M. Incisional abdominal hernia: the open mesh repair // *Langenbeck's Archives of Surgery*. – 2004. – Vol. 389, № 1. – P. 1–5. – DOI:10.1007/s00423-003-0352-z.
  151. Shortliffe E.H. *Computer-Based Medical Consultations: MYCIN*. – New York: Elsevier, 1976. – 302 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.shortliffe.net/Shortliffe-1976/MYCIN%20thesis%20Book.htm> (дата обращения: 06.03.2025).
  152. Smith J., Parmely J.D. Ventral hernia // *StatPearls* [Электронный ресурс]. – Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499927/> (дата обращения: 06.03.2025).
  153. Sørensen L.T., Hemmingsen U.B., Kirkeby L.T., Kallehave F., Jørgensen L.N. Smoking is a risk factor for incisional hernia // *Archives of Surgery*. – 2005. – Vol. 140, № 2. – P. 119–123. – DOI:10.1001/archsurg.140.2.119.
  154. Stoppa R.E. The treatment of complicated groin and incisional hernias // *World Journal of Surgery*. – 1989. – Vol. 13, № 5. – P. 545–554. – DOI:10.1007/BF01658869.
  155. Stoppa R.E., Warlaumont C.R., Verhaeghe P.J., Romero E.R., M'Balla-N'Di C.J. Prosthetic repair in the treatment of groin hernias // *International Surgery*. – 1986. – Vol. 71, № 3. – P. 154–158.
  156. Strigård K., Clay L., Stark B., Gunnarsson U., Falk P. Giant ventral hernia: relationship between abdominal wall muscle strength and hernia area // *BMC Surgery*. – 2016. – Vol. 16 №1, Article 50. – DOI:10.1186/s12893-016-0166-x.
  157. Subirana H., Comas J., Crusellas O., et al. Preoperative progressive pneumoperitoneum in the treatment of hernias with loss

- of domain: our experience in 50 cases // *Journal of Abdominal Wall Surgery*. – 2023. – Vol. 2. – Article 11230. – DOI:10.3389/jaws.2023.11230.
158. Sugrue M., De Waele J.J., De Keulenaer B.L., Roberts D.J., Malbrain M.L. A user's guide to intra-abdominal pressure measurement // *Anaesthesiology and Intensive Therapy*. – 2015. – Vol. 47, № 3. – P. 241–251. – DOI:10.5603/AIT.a2015.0025.
  159. Sutton R.S., Barto A.G. *Reinforcement Learning: An Introduction*. 2-е изд. – Cambridge (MA): MIT Press, 2018. – 560 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://books.google.ru/books?id=uWV0DwAAQBAJ> (дата обращения: 06.03.2025).
  160. Talpai T., Râmboiu D.S., Pîrvu C.A., Pantea S., Şelaru M., Cârţu D., Preda S.D., Pătraşcu Ş., Mărgăritescu N.D., Bică M., et al. A comparison of open ventral hernia repair risk stratification systems: a call for consensus // *Journal of Clinical Medicine*. – 2024. – Vol. 13, № 22. – Article 6692. – DOI:10.3390/jcm13226692.
  161. Tanaka E.Y., Yoo J.H., Rodrigues A.J. Jr., Utiyama E.M., Birolini D., Rasslan S. A computerized tomography scan method for calculating the hernia sac and abdominal cavity volume in complex large incisional hernia with loss of domain // *Hernia*. – 2010. – Vol. 14, № 1. – P. 63–69. – DOI:10.1007/s10029-009-0560-8.
  162. Tomašev N., Glorot X., Rae J.W., Zielinski M., Askham H., Saraiva A., Mottram A., Meyer C., Ravuri S., Protsyuk I., Connell A., Hughes C.O., Karthikesalingam A., Cornebise J., Montgomery H., Rees G., Laing C., Baker C.R., Peterson K., Reeves R., et al. A clinically applicable approach to continuous prediction of future acute kidney injury // *Nature*. – 2019. – Vol. 572, № 7767. – P. 116–119. – DOI:10.1038/s41586-019-1390-1.
  163. Tran L., Kandel H., Sari D., Chiu C.H., Watson S.L. Artificial intelligence and ophthalmic clinical registries // *American Journal of*

- Ophthalmology*. – 2024. – Vol. 268. – P. 263–274. – DOI:10.1016/j.ajo.2024.07.039.
164. Tsai A.Y., Carter S.R., Greene A.C. Artificial intelligence in pediatric surgery // *Seminars in Pediatric Surgery*. 2024. Vol. 33, № 1. P. 151390. DOI: 10.1016/j.sempedsurg.2024.151390.
  165. Vapnik V.N. The nature of statistical learning theory. New York: Springer, 2010 (orig. 1995). [Электронный ресурс]. URL: <https://statisticalsupportandresearch.files.wordpress.com/2017/05/vladimir-vapnik-the-nature-of-statistical-learning-springer-2010.pdf> (дата обращения: 06.03.2025).
  166. Unser M. Texture classification and segmentation using wavelet frames // *IEEE Transactions on Image Processing*. 1995. Vol. 4, № 11. P. 1549–1560. DOI: 10.1109/83.469936.
  167. Varghese B.A., Cen S.Y., Hwang D.H., Duddalwar V.A. Texture analysis of imaging: what radiologists need to know // *AJR. American Journal of Roentgenology*. 2019. Vol. 212, № 3. P. 520–528. DOI: 10.2214/AJR.18.20624.
  168. Veljkovic R., Protic M., Gluhovic A., Potic Z., Milosevic Z., Stojadinovic A. Prospective clinical trial of factors predicting the early development of incisional hernia after midline laparotomy // *Journal of the American College of Surgeons*. 2010. Vol. 210, № 2. P. 210–219. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2009.10.013.
  169. Wantz G.E. Giant prosthetic reinforcement of the visceral sac // *Surgery, Gynecology & Obstetrics*. 1989. Vol. 169, № 5. P. 408–417. PMID: 2814751.
  170. Wegdam J.A., de Vries Reilingh T.S., Bouvy N.D., Nienhuijs S.W. Prehabilitation of complex ventral hernia patients with botulinum: a systematic review of the quantifiable effects of botulinum // *Hernia*. 2021. Vol. 25, № 6. P. 1427–1442. DOI: 10.1007/s10029-020-02333-0.
  171. Xu Z., Allen W.M., Baucom R.B., Poulouse B.K., Landman B.A. Texture analysis improves level set segmentation of the anterior abdominal wall // *Medical Physics*. 2013. Vol. 40, № 12. P. 121901. DOI: 10.1118/1.4828791.



172. Xu Z., Asman A.J., Baucom R.B., Abramson R.G., Poulouse B.K., Landman B.A. Quantitative CT imaging of ventral hernias: preliminary validation of an anatomical labeling protocol // *PLoS One*. 2015. Vol. 10, № 10. P. e0141671. DOI: 10.1371/journal.pone.0141671.
173. Zhao B., Tan Y., Tsai W., Schwartz L., Lu L. Exploring variability in CT characterization of tumors: a preliminary phantom study // *Translational Oncology*. 2014. Vol. 7. P. 88–93. DOI: 10.1593/tlo.13865.
174. Zwanenburg A., Vallières M., Abdalah M.A., Aerts H.J.W.L., Andrearczyk V., Apte A., Ashrafinia S., Bakas S., Beukinga R.J., Boellaard R., et al. The Image Biomarker Standardization Initiative: standardized quantitative radiomics for high-throughput image-based phenotyping // *Radiology*. 2020. Vol. 295, № 2. P. 328–338. DOI: 10.1148/radiol.2020191145.