






Научная статья

УДК: 617.55-089.844-77

Влияние типа фиксации сетчатых имплантатов, шовного материала и гиалуроновой кислоты на биоимпеданс и давление разрыва брюшной стенки в эксперименте

 А.Г. Рамков¹,  Д.А. Ключико¹,  Ю.М. Гаин¹,  В.Е. Корик¹,
 Ж.А. Макаревич²,  Л.В. Бутько²

¹ Военно-медицинский институт Белорусского государственного медицинского университета, Минск, Республика Беларусь

² Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Республика Беларусь

Аннотация

Введение. Пластика вентральных грыж с использованием сетчатых имплантатов остаётся одной из наиболее частых операций в абдоминальной хирургии, однако она сопряжена с риском развития послеоперационных осложнений, таких как серома, хроническое воспаление и нарушение репаративных процессов. Перспективным направлением улучшения результатов является локальная модуляция заживления с помощью гиалуроновой кислоты (ГК) – естественного компонента внеклеточного матрикса. В то же время остаётся нерешённой проблема объективного неинвазивного мониторинга раневого процесса и ранней диагностики жидкостных скоплений.

Цель исследования: оценить влияние типа фиксации сетчатых имплантатов, шовного материала и гиалуроновой кислоты на биоимпеданс и давление разрыва брюшной стенки в эксперименте.

Материалы и методы. Эксперимент выполнен на 120 морских свинках, разделённых на 6 групп. Моделирование герниопластики включало использование полипропиленовых сеток, различных шовных материалов (ПГА, Сургикрол, Сургикрол Плюс, Даклон), хирургического клея и растворов гиалуроната натрия. В послеоперационном периоде проводился биоимпедансный мониторинг на частотах 28 и 115 кГц с расчётом диагностического коэффициента ($K=Z_{115}/Z_{28}$). На сроках 7, 14, 21 и 30 суток оценивали наличие сером и измеряли давление разрыва брюшной стенки при моделировании интраабдоминальной гипертензии.

Результаты и обсуждение. Применение ГК во всех группах сопровождалось статистически значимым ($p<0,001$) снижением значений импеданса на 1-е сутки после операции, что отражает уменьшение внеклеточного и внутриклеточного отёка. Наиболее выраженный эффект зафиксирован в группе с адгезивной фиксацией в сочетании с ГК. Серома диагностирована у 13,3% животных.





Разработанный диагностический коэффициент с пороговым значением 0,92 продемонстрировал высокую специфичность (97,1%) и точность (AUC 0,85) в выявлении серомы. Многофакторный анализ не выявил негативного влияния ГК, типа фиксации или шовного материала на прочностные характеристики рубца ($p > 0,05$).

Заключение. Локальное применение гиалуроновой кислоты является безопасным методом модуляции послеоперационного отёка, не оказывающим отрицательного влияния на механическую прочность тканей. Биоимпедансный анализ представляет собой эффективный неинвазивный инструмент для ранней диагностики послеоперационной серомы и может быть рекомендован для клинического мониторинга пациентов после герниопластики.

Ключевые слова: герниопластика; гиалуроновая кислота; биоимпедансный анализ; послеоперационная серома; сетчатые имплантаты; биомеханические свойства; экспериментальная модель

Scientific article

The Effect of Mesh Implant Fixation Type, Suture Material, and Hyaluronic Acid on Bioimpedance and Abdominal Wall Burst Pressure in an Experiment

 A.G. Ramkov ¹,  D.A. Klyuiko ¹,  Yu.M. Gain ¹,  V.E. Korik ¹,

 Zh.A. Makarevich ²,  L.V. Butko ²

¹ Military Medical Institute of the Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

² Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Ventral hernia repair using mesh implants remains one of the most common operations in abdominal surgery; however, it is associated with the risk of postoperative complications such as seroma, chronic inflammation, and impaired reparative processes. A promising direction for improving outcomes is the local modulation of healing with hyaluronic acid (HA), a natural component of the extracellular matrix. At the same time, the problem of objective non-invasive monitoring of the wound healing process and early diagnosis of fluid collections remains unresolved.

AIM. To evaluate the effect of various mesh implant fixation methods and the local application of sodium hyaluronate solutions (1% and 2%) on the biophysical (bioimpedance) and biomechanical (burst pressure) characteristics of anterior abdominal wall tissues in an experiment, and to substantiate the diagnostic significance of bioimpedance analysis for the early detection of postoperative seroma.

Material and methods. The experiment was performed on 120 guinea pigs divided into 6 groups. Hernioplasty modeling included the use of polypropylene meshes, various suture materials (PGA, Surgicryl, Surgicryl Plus, Dacron), surgical glue, and sodium hyaluronate solutions. In the postoperative period, bioimpedance monitoring was carried out at frequencies of 28 and 115 kHz with the calculation of a diagnostic coefficient ($K = Z_{115}/Z_{28}$). At 7, 14, 21, and 30 days, the presence of seromas was assessed, and the abdominal wall burst pressure was measured during simulation of intra-abdominal hypertension.

Results. The use of HA in all groups was accompanied by a statistically significant ($p < 0,001$) decrease in impedance values on the 1st postoperative day, reflecting a reduction in extracellular and intracellular edema. The most pronounced effect was recorded in the group with adhesive fixation combined with HA. Seroma was diagnosed in 13,3% of animals. The developed diagnostic coefficient with a threshold value of 0,92 demonstrated high specificity (97,1%) and accuracy (AUC 0,85) in detecting seroma. Multivariate analysis did not reveal any negative effect of HA, fixation type, or suture material on the strength characteristics of the scar ($p > 0,05$).

Conclusion. Local application of hyaluronic acid is a safe method for modulating postoperative edema, without adversely affecting the mechanical strength of tissues. Bioimpedance analysis represents an effective non-invasive tool for the early diagnosis of postoperative seroma and can be recommended for clinical monitoring of patients after hernioplasty.

Keywords: hernioplasty; hyaluronic acid; bioimpedance analysis; postoperative seroma; mesh implants; biomechanical properties; experimental model

Введение. Грыжи живота представляют собой широко распространенную хирургическую патологию, лечение которой связано с риском развития послеоперационных осложнений [1, 2]. Внедрение сетчатых имплантатов не решило клиническую проблему осложнений, таких как серома, хронический болевой синдром, рецидив грыжи и спаечный процесс [3, 4]. Ключевым звеном в их патогенезе является тканевая реакция на операционную травму и инородный материал, которая проявляется нарушением микроциркуляции, воспалительным отеком и дисбалансом в ремоделировании внеклеточного матрикса.

Одним из перспективных направлений вторичной медицинской профилактики осложнений является модуляция процесса заживления на ранних этапах [5, 6]. В этом контексте особый интерес представляет локальное применение растворов гиалуроновой кислоты (ГК) – естественного компонента межклеточного матрикса, обладающего выраженными влагоудерживающими, противовоспалительными и барьерными свойствами. Предполагается, что использование ГК может оптимизировать среду для репарации, снижая патологический отек и создавая условия для более физиологичной интеграции имплантата. Однако ее влияние в комбинации с различными методами фиксации сетки (шовный, адгезивный) и на прочностные характеристики формирующегося рубца требует детального изучения в контролируемых условиях.

Не менее важной задачей является разработка объективных и неинвазивных методов ранней диагностики послеоперационных осложнений, в частности серомы, до клинической манифестации. Традиционные методы, такие как ультразвуковое исследование, хотя и информативны, но носят эпизодический характер и зависят от оператора. Биоимпедансный анализ (БИА), позволяющий оценить гидрофизиологические свойства тканей путем измерения их электрического сопротивления на разных частотах, потенциально может служить чувствительным инструментом для мониторинга раневого процесса и прогнозирования риска развития жидкостных скоплений [7].

Таким образом, для совершенствования алгоритмов вторичной профилактики осложнений герниопластики необходима комплексная оценка, объединяющая изучение новых биомодифицирующих технологий (растворы на основе гиалуроновой кислоты) с современными методами фиксации и объективным контролем заживления.

Цель исследования: оценить влияние типа фиксации сетчатых имплантатов, шовного материала и гиалуроновой кислоты на биоимпеданс и давление разрыва брюшной стенки в эксперименте.

Материалы и методы. Экспериментальное, параллельное, контролируемое исследование проводили в соответствии с требованиями «Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных». Его структура и план одобрены комитетом по биомедицинской этике УО БГМУ, протокол №12 от 18 сентября 2025 года. В работе использовались синтетические сетчатые имплантаты из полипропилена, рассасывающийся (ПГА, Сургикрол и Сургикрол Плюс) и нерассасывающийся (Даклон) шовный материал и экспериментальный хирургический клей, предоставленные компанией ООО «Футберг» и приобретенные у предприятия УП «ФИАТОС», Республика Беларусь (рис. 1, 2). В качестве биологически активного покрытия применялись растворы гиалуроната натрия (1% и 2%), изготовленные ООО «ГиалСин Технолоджи», Республика Беларусь.

Исследование проведено в условиях научно-исследовательской лаборатории БГМУ на 120 морской свинке, средняя масса тела которых составила 860 ± 58 г. Все животные содержались в стандартных условиях вивария, имея свободный доступ к воде и пище. Экспериментальные хирургические вмешательства проводили в условиях операционной с соблюдением правил асептики и антисептики.

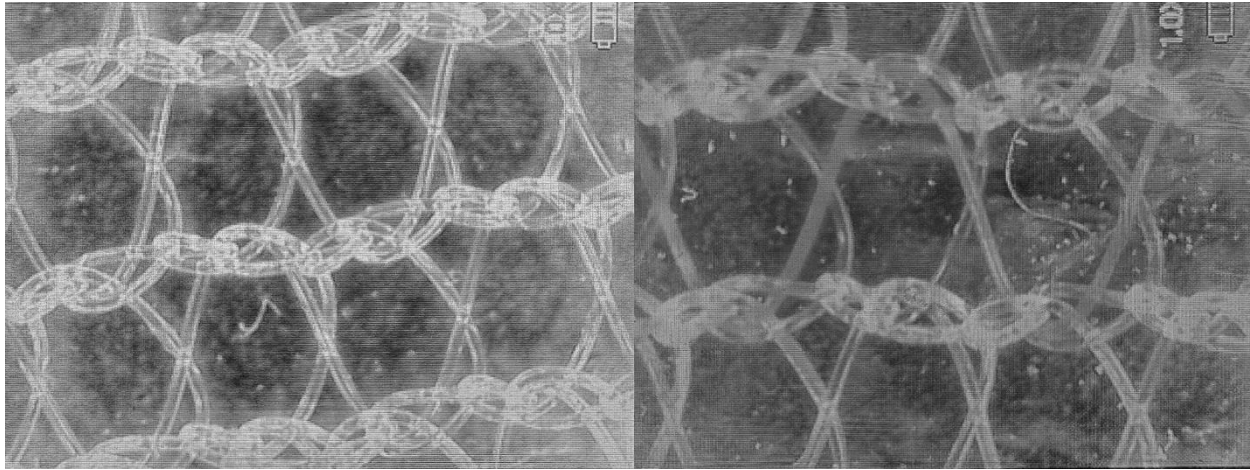


Рис. 1. Сетчатые имплантаты, использованные в эксперименте: слева – производство ООО «ФУТБЕРГ», справа – УП «ФИАТОС»

Fig. 1. Mesh implants used in the experiment: left – manufactured by Futberg, right – FIATOS



Рис. 2. Шовные материалы (слева – ПГА, справа – Сургикрол, Даклон)

Fig. 2. Suture materials (left – PGA, right – Surgicryl, Dacron)

Кожу передней брюшной стенки лабораторным животным брили и обрабатывали антисептиком. Наркоз осуществляли путем внутривенного введения 1% раствора пропофола. Индукция осуществлялась в дозе 7 мг на 1 кг массы тела, поддержание – 0,5 мг/кг/мин. Хирургическое вмешательство выполняли фиксированному на операционном столике животному В установленных 4 участках выполняли продольное рассечение кожи, подкожной клетчатки, апоневроза, отделение париетальной брюшины без её вскрытия и формирование грыжевого дефекта площадью до 1 см². Затем выполняли пластику грыжевого дефекта в

зависимости от группы. После выполнения моделирующего воздействия послойно ушивали переднюю брюшную стенку и накладывали асептическую повязку. Методика подготовки животных, хирургического доступа и завершения моделирования была стандартной во всех группах (рис. 3). На каждом моделировалось четыре участка грыжевого дефекта с последующей пластикой.

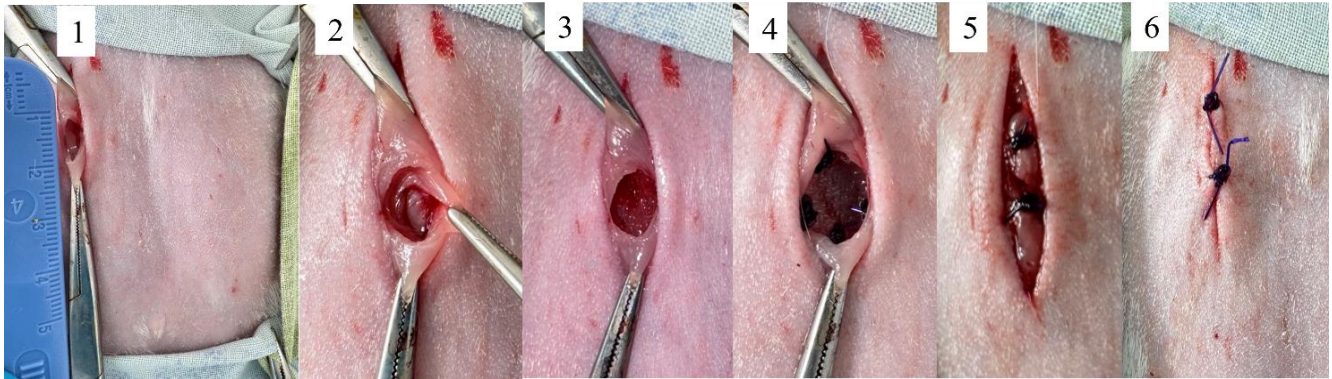


Рис. 3. Хирургическое вмешательство и пластика у морских свинок (1 участок)
Fig. 3. Surgical procedure and plasty in guinea pigs (area 1)

Животных случайным образом разделили на шесть групп по 20 особей в каждой (рис. 4).

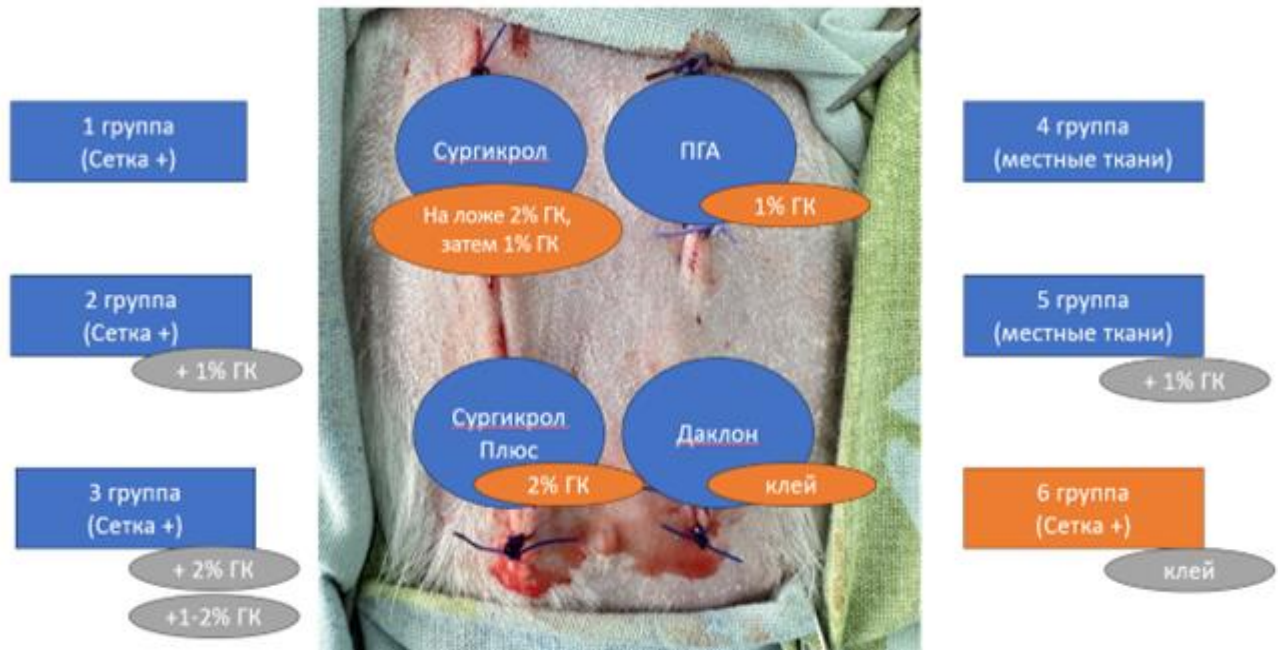


Рис. 4. Схема фиксации имплантатов в различных группах

Fig. 2. Scheme of implant fixation in different groups

Примечание: 1 участок – фиксация сетчатого имплантата осуществлялась ПГА (полигликолид), 2 – Сургикрол. 3 – Сургикрол Плюс. 4 – Даклон.

В 6 группе локализация участков такая же, но в 1 участке: фиксация сетчатого имплантата осуществлялась клеем с последующим применением 1% раствора гиалуроната натрия (ГК), 2 участок – предварительная обработка ложа сетчатого имплантата 2% раствором ГК, затем фиксация клеем + 1% ГК, 3 участок – сетка+клей+ 2% ГК, 4 участок – сетка фиксировалась только клеем.

Примечание: в группе 3 – сетка+шов, 10 животных только 2% ГК, 10 животных в комбинации ГК (2% ГК на ложе, а сверху сетки 1% ГК).

Метод диагностики послеоперационных осложнений с использованием биоимпедансного анализа

После завершения оперативного вмешательства ежедневно (до дня эвтаназии) регистрировали наличие послеоперационных осложнений, а также измеряли биоимпеданс морской свинки при фиксированной позе животного и стабильном контакте тетраполярных электродов, которые накладывали на проксимальные отделы конечностей, затем проводили измерение импеданса тканей на низкой частоте 28 кГц и высокой частоте 115 кГц, получая значения Z_{28} и Z_{115} (заявка на изобретение № а 20250252) (рис. 5). Для регистрации биоимпеданса использовали комплекс мониторный кардио-респираторной системы и гидратации компьютеризированный КМ-АР-01 «Диамант» (соответствует требованиям Технического регламента Таможенного союза "Электромагнитная совместимость технических средств" (ТР ТС 020/2011) декларация Евразийского экономического союза о соответствии № ЕАЭС N RU Д-RU.PA01.B.).



Рис. 5. Проведение биоимпедансного анализа у морской свинки
Fig. 5. Bioimpedance analysis in a guinea pig

Метод моделирования интраабдоминальной гипертензии и морфофункциональной оценки тканей брюшной стенки

Подготовительный этап заключался в том, что резиновая трубка присоединялась к груше с манометром, вводилась в эластичный резиновый баллон, который у основания фиксировался лигатурой. В качестве баллона могли использоваться такие промышленные изделия, как резиновые надувные шары, презервативы и т.д. Затем в апикальной части баллона на расстоянии 2-3 см фиксировался эндоскоп/камера, подключающийся к смартфону для визуализации.

В стерильных условиях после введения в наркоз, лабораторное животное фиксировалось на операционном столе. Скальпелем производилась минилапаротомия до 1 см, обычно в области мечевидного отростка. Через минилапаротомный доступ, под визуальным контролем эндоскопа/камеры,

производилось введение устройства (заявка на изобретение № а 20250253) на необходимую глубину до места расположения баллона. С помощью груши с клапаном в баллон нагнетался воздух до запланированного давления (100-110 мм рт. ст.), которое отражалось на манометре в мм рт. ст. (рис. 6).



Рис. 6. Моделирование интраабдоминальной гипертензии и измерение давления разрыва слева/справа

Fig. 6. Simulation of intra-abdominal hypertension and burst pressure measurement

Эксперименты проводились в течение 30 суток. Животных выводили из эксперимента постепенно: по 5 особей из каждой группы забирали для гистологического исследования на 7-е, 14-е, 21-е и 30-е сутки. При извлечении тканей фиксировали наличие серомы и измеряли её объём. Затем определяли давление, при котором происходил разрыв брюшной стенки (давление разрыва, мм рт. ст.). У животных, у которых разрыва не произошло, фиксировали достигнутое предельное давление в диапазоне 100–110 мм рт. ст. Для подсчета статистических данных была использована программа SPSS Statistics v.27.

Результаты

Средняя масса тела морских свинок в экспериментальных группах оставалась сопоставимой и находилась в диапазоне 860 ± 58 г ($p > 0,05$).

В первые сутки после операции показатели биоимпеданса существенно различались между группами. На частоте 28 кГц (1 день после операции), чувствительной к изменению объема и состава внеклеточной жидкости, высокие значения регистрировались у животных, которые не получали гиалуроновую кислоту: в группе 4 (пластика местными тканями) импеданс составлял $204,4 \pm 6,4$ Ом, а в группе 1 (пластика сетчатым имплантатом) – $191,1 \pm 5,4$ Ом. Разница между группами 4 и 1 – 7 %. В группах с применением ГК показатели были ниже: в группе 2 – $175,3 \pm 18,0$ Ом (на 8,2% ниже, чем в группе 1), в группе 3 – $165,8 \pm 12,2$ Ом (на 13,2% ниже, чем в группе 1). В группе 5 импеданс составил $184,5 \pm 5,9$ Ом (на 10,8% ниже, чем в группе 4). Наименьшее значение зарегистрировано в группе 6 – $135,9 \pm 26,2$ Ом (на 50,4% ниже, чем в группе 4, и на 40,6% ниже, чем в группе 1).

На частоте 115 кГц (1 день после операции), отражающей состояние внутриклеточных структур, максимальные значения импеданса зафиксированы в контрольных группах без применения гиалуроновой кислоты (ГК): в группе 1 – $171,50 \pm 4,1$ Ом, в группе 4 – $181,6 \pm 5,6$ Ом (разница 5,9%). Во всех опытных группах с ГК показатели были достоверно ниже: в группе 2 – $158,5 \pm 14,1$ Ом (на 7,6% ниже контроля 1), в группе 3 – $150,8 \pm 9,2$ Ом (на 12,1% ниже), в группе 5 – $165,0 \pm 4,6$ Ом (на 9,1% ниже контроля 4). Наиболее низкое значение отмечено в группе 6 – $126,55 \pm 21,71$ Ом, что на 30,3% ниже, чем в группе 4, и на 26,2% ниже, чем в группе 1. Статистический анализ подтвердил значимость различий ($p < 0,001$). Применение ГК во всех группах достоверно снижает биоимпеданс тканей ($p < 0,001$), что свидетельствует об уменьшении внутриклеточного отека и оптимизации ранних фаз заживления.

Послеоперационные осложнения в виде серомы были зафиксированы у 16 из 120 животных (13,3%). Её объём варьировал от 1 до 5 мл.

Таблица 1. Показатели биоимпеданса у животных с серомой и без неё**Table 1.** Bioimpedance parameters in animals with and without seroma

Показатель	Серома отсутствует (n=104)	Серома присутствует (n=16)
Импеданс 28 кГц, среднее \pm σ (Ом)	183,0 \pm 17,0	131,1 \pm 29,2
Импеданс 115 кГц, среднее \pm σ (Ом)	164,6 \pm 13,7	122,6 \pm 23,5

Как видно из табл. 1, у животных с послеоперационной серомой наблюдались существенно более низкие значения импеданса по сравнению со здоровыми животными. При наличии серомы средний импеданс на частоте 28 кГц снизился на 39,6%, а на 115 кГц – 34,3%.

Был проведен расчет диагностического коэффициента согласно формуле:

$$K = Z_{115}/Z_{28},$$

где Z_{115} – импеданс на частоте 115 кГц, Z_{28} – импеданс на частоте 28 кГц.

Таким образом вычислен оптимальный порог диагностического индекса для 1 дня: $K_0 = 0,92$. Если $K > 0,92$, то высокая вероятность наличия серомы. Если $K \leq 0,92$, осложнение маловероятно. Точность диагностики при этом пороге согласно ROC-анализу: AUC=0,8504, Чувствительность (Se)=75%, Специфичность (Sp)=97,1%.

Давление разрыва. В общей выборке из 120 животных разрыв передней брюшной стенки в условиях моделируемой интраабдоминальной гипертензии был зарегистрирован у 28 особей (23,3%). Остальные 92 животных (76,7%) выдержали предельное тестовое давление (100-110 мм рт. ст.).

Распределение частоты разрывов демонстрировало статистически значимые межгрупповые различия ($p < 0,05$). Наибольшая доля повреждений наблюдалась в группе 4 (пластика местными тканями без гиалуроновой кислоты) – 32,1% (9/28) и группе 1 (пластика сеткой без ГК) – 28,6% (8/28). В группах с применением ГК

частота разрывов была ниже: 17,9% (5/28) в группе 6, 10,7% (3/28) в группе 2, 7,1% (2/28) в группе 3. Наименьший показатель зафиксирован в группе 5 – 3,6% (1/28). Локализация разрывов (по линии шва, в зоне шва или в области сетки) не имела группоспецифического характера.

Среднее давление в момент разрыва варьировало между группами: от $35,0 \pm 7,1$ мм рт. ст. в группе 3 до $81,3 \pm 24,2$ мм рт. ст. в группе 1. Однако эти различия не достигли уровня статистической значимости ($p > 0,05$). Многофакторный анализ (биномиальная логистическая регрессия) не выявил независимого влияния на риск разрыва таких факторов, как наличие сетчатого имплантата, применение ГК (1% или 2%) или тип шовного материала. Анализ давления разрыва в подгруппе животных с повреждением (многофакторная линейная регрессия) также не обнаружил значимых ассоциаций с исследуемыми параметрами.

Обсуждение

Проведенное исследование демонстрирует комплексное влияние применения растворов гиалуроната натрия и различных методов фиксации на биофизические и прочностные характеристики тканей в модели пластики передней брюшной стенки.

Полученные данные биоимпедансного анализа на 1-е сутки после операции выявили статистически значимую и содержательную закономерность. Снижение импеданса на частотах 28 кГц и 115 кГц во всех группах, получавших гиалуроновою кислоту (ГК), указывает на её выраженное модулирующее действие на ранние фазы репарации. Уменьшение значений Z_{28} свидетельствует о снижении патологического внеклеточного отека, в то время как снижение Z_{115} отражает уменьшение внутриклеточного набухания и воспалительной инфильтрации. Наиболее значимый эффект, наблюдаемый в группе 6 с адгезивной фиксацией, подтверждает концепцию синергизма между методом бесшовной фиксации и способностью ГК к гидратации матрикса. Этот эффект можно объяснить созданием оптимально увлажненной и менее травматичной для тканей среды, что способствует более физиологичному течению воспалительной и пролиферативной фаз заживления.

Что касается прочностных характеристик, однофакторный анализ показал различия в частоте разрывов между группами, однако эти различия не были подтверждены многофакторной логистической регрессией. Отсутствие статистически значимого влияния таких факторов, как наличие имплантата, применение ГК или тип шва, на давление разрыва позволяет сделать важный вывод. Полученные данные свидетельствуют о том, что применение ГК в исследованных концентрациях и методиках не оказывает негативного влияния на механическую прочность формирующегося рубца в условиях острой нагрузки, что согласуется с данными о её роли в модуляции, а не угнетении, репаративных процессов [5, 6].

Отдельного внимания заслуживают результаты, касающиеся диагностики послеоперационной серомы. Установленная сильная обратная корреляция между объемом серомы и снижением показателей биоимпеданса, а также высокие значения AUC (0,8504) предложенного диагностического коэффициента ($K=Z_{115}/Z_{28}$) подтверждают клиническую ценность метода. Разработанный неинвазивный диагностический алгоритм на основе биоимпедансного анализа обладает высокой специфичностью (97,1%) и может служить эффективным инструментом для раннего выявления этого осложнения в послеоперационном периоде.

Заключение

1. Локальное применение растворов гиалуроната натрия (1% и 2%) статистически значимо снижает тканевой импеданс в раннем послеоперационном периоде.

2. Статистический анализ (многофакторная логистическая регрессия) не выявил независимого негативного влияния гиалуроновой кислоты, наличия сетчатого имплантата или типа шовного материала на риск разрыва тканей и величину давления разрыва. Наблюдаемые межгрупповые различия в частоте разрывов связаны с межиндивидуальной вариабельностью.

3. Метод биоимпедансного анализа продемонстрировал высокую чувствительность и специфичность для ранней неинвазивной диагностики послеоперационной серомы. Рассчитанный диагностический коэффициент ($K=Z_{115}/Z_{28}$) обладает высокой прогностической ценностью ($AUC=0,85$), а установленная сильная обратная корреляция между низкими исходными показателями импеданса и развитием серомы позволяет использовать метод для прогнозирования риска этого осложнения.

4. Результаты исследования создают теоретическую основу для внедрения биоимпедансного мониторинга в клиническую практику ведения пациентов после герниопластики. Это предоставляет возможность для объективной динамической оценки течения раневого процесса и доклинического выявления осложнений.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора:

А.Г. Рамков, Д.А. Ключко – разработка концепции и дизайна исследования, формулирование основной цели и задач, участие в проведении хирургического этапа эксперимента (имплантация сетчатых протезов), подготовка черновика рукописи и его окончательное редактирование, критический пересмотр содержания статьи на финальном этапе.

Ю.М. Гаин, В.Е. Корик – управление процессами и координация планирования и проведения исследования, анализ и интерпретация полученных данных (включая анализ биоимпеданса и показателей давления разрыва), подготовка черновика рукописи и его окончательное редактирование.

Ж.А. Макаревич, Л.В. Бутько – участие в исследовательском процессе: проведение экспериментов, обеспечение работы вивария, сбор и систематизация экспериментальных данных, уход за лабораторными животными в послеоперационном периоде.

Раскрытие интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Этическая экспертиза. Одобрено комитетом по биомедицинской этике УО БГМУ, протокол №12 от 18 сентября 2025 года

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Все данные, полученные в настоящем исследовании, доступны в статье.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента и член редакционной коллегии.

ADDITIONAL INFORMATION

Author Contributions. All authors made significant contributions to the concept development, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication. Each author contributed:

A.G. Ramkov, D.A. Klyuiko – development of the research concept and design, formulation of the main objective and tasks, participation in the surgical stage of the experiment (implantation of mesh prostheses), drafting of the manuscript and its final editing, critical revision of the article's content at the final stage.

Yu.M. Gain, V.E. Korik – process management and coordination of research planning and conduct, analysis and interpretation of the obtained data (including bioimpedance analysis and bursting pressure measurements), drafting of the manuscript and its final editing.

Zh.A. Makarevich, L.V. Butko – participation in the research process: conducting experiments, ensuring the operation of the vivarium, collection and systematization of experimental data, postoperative care for laboratory animals.

Disclosure of Interests. The authors declare no obvious or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding. The authors declare no external funding for the study.

Ethical Review. An ethics committee opinion is not required.

Originality. The authors did not use previously published information (text, illustrations, or data) in the creation of this work.

Data Access. All data obtained in this study are available in the article.

Generative Artificial Intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the creation of this article.

Review and Peer Review. This paper was submitted to the journal on an unsolicited basis and reviewed according to the standard procedure. Two external reviewers and a member of the editorial board participated in the review process.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ma Q, Jing W, Liu X, Liu J, Liu M, Chen J. The global, regional, and national burden and its trends of inguinal, femoral, and abdominal hernia from 1990 to 2019: findings from the 2019 Global Burden of Disease Study – a cross-sectional study. *Int J Surg.* 2023;109(3):333-342. doi: 10.1097/JS9.0000000000000217
2. HerniaSurge Group. International guidelines for groin hernia management. *Hernia.* 2018;22(1):1-165. doi: 10.1007/s10029-017-1668-x
3. Vorst AL, Kaoutzanis C, Carbonell AM, Franz MG. Evolution and advances in laparoscopic ventral and incisional hernia repair. *World J Gastrointest Surg.* 2015;7(11):293-305. doi: 10.4240/wjgs.v7.i11.293
4. See CW, Kim T, Zhu D. Hernia Mesh and Hernia Repair: A Review. *Engineered Regeneration.* 2020;1:19-33. doi: 10.1016/j.engreg.2020.05.002
5. Kumar S, Wong PF, Leaper DJ. Intra-peritoneal prophylactic agents for preventing adhesions and adhesive intestinal obstruction after non-gynaecological abdominal surgery. *Cochrane Database Syst Rev.* 2022;(3):CD005080. doi: 10.1002/14651858.CD005080.pub4
6. Anvari-Yazdi AF, MacPhee DJ, Badea I, Chen X. Gynecologic postoperative anti-adhesion barriers: From biomaterials to barrier development. *Biomater Biosyst.* 2025;19:100115. doi: 10.1016/j.bbiosy.2025.100115
7. Bostan M, et al. P-019 Bioelectric impedance analysis to determine the risk factors for inguinal hernia. *Br J Surg.* 2022;109. doi: 10.1093/bjs/znac308.119

ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

<p>* Рамков Антон Григорьевич, адъюнкт военно-медицинского института в Белорусском государственном медицинском университете. Адрес: Республика Беларусь, 220015, г. Минск, пр-т Пушкина, д. 8, Тел: +375336590836 ORCID: 0009-0002-3974-2952; eLibrary SPIN: 5107-5646; e-mail: anton.ramkov@gmail.com.</p>	<p>Anton G. Ramkov Adjunct at the Military Medical Institute of the Belarusian State Medical University address: 8 Pushkina Ave., Minsk, 220015, Republic of Belarus Tel: +375336590836 ORCID: 0009-0002-3974-2952 eLibrary SPIN: 5107-5646 e-mail: anton.ramkov@gmail.com</p>
<p>Клюйко Дмитрий Александрович, докт. мед. наук, доцент, eLibrary SPIN: 2436-5702; ORCID: 0000-0003-4090-500X; E-mail: fildsurg@bsmu.by.</p>	<p>Dmitry A. Klyuiko Doctor of Medical Sciences, Associate Professor eLibrary SPIN: 2436-5702 ORCID: 0000-0003-4090-500X e-mail: fildsurg@bsmu.by</p>
<p>Гаин Юрий Михайлович, докт. мед. наук, профессор, eLibrary SPIN: 3046-7202; ORCID: 0000-0001-7622-5642; E-mail: gain@tut.by</p>	<p>Yuri M. Gain Doctor of Medical Sciences, Professor eLibrary SPIN: 3046-7202 ORCID: 0000-0001-7622-5642 e-mail: gain@tut.by</p>
<p>Корик Владимир Евгеньевич, докт. мед. наук, профессор, eLibrary SPIN: 4875-2229; ORCID: 0000-0003-1851-0036; E-mail: fildsurg@bsmu.by.</p>	<p>Vladimir E. Korik Doctor of Medical Sciences, Professor eLibrary SPIN: 4875-2229 ORCID: 0000-0003-1851-0036 e-mail: fildsurg@bsmu.by</p>
<p>Макаревич Жанна Анатольевна, ORCID: 0009-0006-2409-5595; e-mail: fildsurg@bsmu.by.</p>	<p>Zhanna A. Makarevich ORCID: 0009-0006-2409-5595 e-mail: fildsurg@bsmu.by</p>
<p>Бутько Людмила Владимировна, ORCID: 0000-0003-2028-4381; e-mail: fildsurg@bsmu.by</p>	<p>Lyudmila V. Butko ORCID: 0000-0003-2028-4381 e-mail: fildsurg@bsmu.by</p>

Автор, ответственный за переписку*