



## Модель грыжевого дефекта у лабораторной крысы в рамках стандартизованного подхода в медицинских исследованиях

©А.А. Ушанов\*, И.С. Иванов, Е.С. Мишина, Е.А. Землякова

Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия

\* А.А. Ушанов, Курский государственный медицинский университет, 305041, Курск, ул. К. Маркса, 3, [ushanovaa@kursksmu.net](mailto:ushanovaa@kursksmu.net)

Поступила в редакцию 13 мая 2025 г. Исправлена 2 августа 2025 г. Принята к печати 25 августа 2025 г.

### Резюме

**Актуальность:** Вентральные грыжи продолжают оставаться актуальной проблемой в практической медицине во всём мире. В сфере герниологии активно ведутся научные исследования, нацеленные на совершенствование методов герниопластики и уменьшение числа периоперационных осложнений. На данный момент отсутствие единых стандартов доклинического тестирования имплантатов на лабораторных животных препятствует объективному сопоставлению полученных результатов и выбору оптимального подхода.

**Цель исследования:** Разработать и обосновать модель грыжевого дефекта при пластиках грыж передней брюшной стенки. **Материалы и методы:** Разработан алгоритм моделирования грыжи передней брюшной стенки для исследований в сфере герниологии. Эксперимент проводился на лабораторных крысах породы Вистар. После хирургического вмешательства выполнялось ультразвуковое сканирование передней брюшной стенки в сроки 30, 60 и 120 сут. Далее животных выводили из опыта, после чего механические испытания образцов производились на универсальном оборудовании РЭМ-0,2-1 производства ООО «Метротест» (Россия). Для статистической обработки полученных результатов использовались программы Excel (Microsoft Corporation, США) и Statistica 13 (Dell Software Company, США); применялся непараметрический критерий Манна-Уитни. Дополнительно проведены гистологические исследования биоптатов передней брюшной стенки исследуемых групп.

**Выводы:** Предложенная модель грыжи передней брюшной стенки может служить основой для проведения доклинических исследований новых герниопротезов.

**Ключевые слова:** грыжа передней брюшной стенки, послеоперационная грыжа, модель грыжи, лабораторные животные

**Цитировать:** Ушанов А.А., Иванов И.С., Мишина Е.С., Землякова Е.А. Модель грыжевого дефекта у лабораторной крысы в рамках стандартизованного подхода в медицинских исследованиях. *Инновационная медицина Кубани*. 2025;10(4):95–100. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2025-10-4-95-100>

## A Hernia Defect Model in Laboratory Rat within the Framework of a Standardized Approach in Medical Research

© Alexander A. Ushanov\*, Iliia S. Ivanov, Ekaterina S. Mishina, Ekaterina A. Zemlyakova

Kursk State Medical University, Kursk, Russian Federation

\* Alexander A. Ushanov, Kursk State Medical University, ulitsa Karla Marksa 3, Kursk, 305041, Russian Federation, [ushanovaa@kursksmu.net](mailto:ushanovaa@kursksmu.net)

Received: May 13, 2025. Received in revised form: August 2, 2025. Accepted: August 25, 2025.

### Abstract

**Background:** Ventral hernias remain a significant challenge in clinical practice worldwide. Scientific research in herniology focuses on improving the efficacy of hernioplasty and reducing perioperative complications. Currently, the absence of standardized protocol for preclinical studies on implantable materials in laboratory animals complicates the comparison of results and the selection of the optimal approach.

**Objective:** To develop and validate a hernia defect model for anterior abdominal wall hernia repair.

**Materials and methods:** An algorithm for modeling anterior abdominal wall hernia for experiments in herniology is proposed. The model was developed using laboratory Wistar rats. After surgical procedure, ultrasound examinations of the anterior abdominal wall were performed on days 30, 60 and 120. Subsequently, the rats were euthanized, and mechanical testing was conducted using a universal testing machine РЭМ-0,2-1 (Metrotest, Russia). Statistical analysis was performed using Excel (Microsoft Corporation, USA) and Statistica 13 software (Dell Software Company, USA) with the application of the nonparametric Mann-Whitney test. Furthermore, histological examination of anterior abdominal wall biopsy samples was conducted in the study groups.



**Conclusions:** The proposed anterior abdominal wall hernia model can be used as a basis for preclinical research on new hernioprotheses.

**Keywords:** anterior abdominal wall hernia, postoperative hernia, hernia model, laboratory animals

**Cite this article as:** Ushanov AA, Ivanov IS, Mishina ES, Zemlyakova EA. A hernia defect model in laboratory rat within the framework of a standardized approach in medical research. *Innovative Medicine of Kuban.* 2025;10(4):95–100. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2025-10-4-95-100>

### Актуальность

Проблема грыж передней брюшной стенки на настоящий момент остается ведущей в абдоминальной хирургии. От 3,9 до 20,9% всех людей в общемировой популяции страдают от этого заболевания. У отдельных групп пациентов с тяжелым коморбидным фоном показатель достигает значений вплоть до 60% [1, 2]. Вентральная грыжа представляет собой сложное заболевание, обусловленное множественными факторами и системами организма, что требует комплексного подхода к терапии. Доказано, что грыжи передней брюшной стенки часто выступают проявлением коллагенопатии, характеризующейся разнообразием клинических признаков [3].

Основной метод оперативной коррекции вентральных грыж – герниоэндопротезирование (ГЭП) с использованием сетчатых имплантов [4]. Однако внедрение инородного материала может привести к различным нежелательным последствиям вследствие реакции окружающих тканей на трансплантат [5].

Таким образом, актуальным представляется совершенствование как хирургической техники, так и качества самих протезов, предназначенных для устранения дефектов брюшной стенки [6]. Важнейшей частью таких исследований становится создание адекватных моделей вентральной грыжи в экспериментальных условиях, что активно изучается учёными [7, 8].

Остается нерешённым вопрос стандартизации в медицинских исследованиях, направленных на установление эффективности и безопасности применения

новых герниопротезов. Одним из аспектов таких работ является моделирование грыжевого дефекта у лабораторных животных – задача, требующая дополнительного изучения и поиска консенсуса [9].

### Цель и задачи исследования

Разработка универсальной модели грыжевого дефекта у лабораторной крысы. Задачами исследования являлись:

- 1) Разработка поэтапной методики оперативного вмешательства для моделирования грыжевого дефекта у крысы.
- 2) Экспериментальное обоснование предлагаемой методики.

### Материалы и методы

Проведение данного эксперимента одобрено региональным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет» Минздрава РФ (протокол № 3 от 17 октября 2022 г.). Серии экспериментов, проведенные на животных, соответствовали принципам Страсбургской конвенции по защите прав животных (Франция, 1986) и ГОСТу 33044–2014 «Принципы надлежащей лабораторной практики» (Приказ №1700-ст от 01.08.2015 г.), в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18 марта 1986 г.) ETS N123.

Исследование выполнялось на базе ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет», НИИ экспериментальной медицины. Исследование проводилось на 70 самцах лабораторной крысы линии Вистар, массой от 150 до 200 мг. Грыжевой дефект моделировался слева, справа или с двух сторон. Были сформированы экспериментальные группы (табл. 1).

Перед началом процедуры лабораторную крысу вводили в состояние медикаментозной комы путем ингаляционного введения анестетика в специальной камере. По достижении необходимого уровня анестезии животное переносили на операционный стол, где поддерживали наркоз посредством масочного дыхания изофлюраном в минимальной эффективной концентрации, обеспечивающей обезболивание. Для надежной фиксации конечностей использовали специальные резиновые крепления, предотвращающие движения животного во время операции.

Подготовительный этап включал полное удаление волосяного покрова с передней брюшной стенки

**Таблица 1**  
Экспериментальные группы и распределение лабораторных животных по ним

**Table 1**  
Experimental groups and distribution of laboratory animals

группа \ сутки	28	60	120
Контрольная группа	К (7 ед.)		
Грыжевой дефект моделировался справа	A1 (6+1 ед.)	A2 (6+1 ед.)	A3 (6+1 ед.)
Грыжевой дефект моделировался слева	B1 (6+1 ед.)	B2 (6+1 ед.)	B3 (6+1 ед.)
Грыжевой дефект моделировался с двух сторон	C1 (6+1 ед.)	C2 (6+1 ед.)	C3 (6+1 ед.)

и трехкратную антисептирующую обработку кожи, после которой операционная область была изолирована стерильными материалами. Процесс проведения манипуляции иллюстрирован соответствующими изображениями.

Методика моделирования послеоперационной вентральной грыжи на передней брюшной стенке начиналась с выполнения кожного разреза, протяжённость которого может варьироваться в зависимости от габаритов устанавливаемого сетчатого импланта, однако в ходе нашего эксперимента равнялась 30 мм по центральной оси проекции прямой мышцы живота с левой или правой сторон (рис. 1а). После рассечения кожного покрова и подкожно-жировой клетчатки, по достижении прямой мышцы, производили разрез мышечных волокон протяжённостью до 25 мм с проникновением в ретроректальное пространство без вскрытия брюшной полости. Ориентиром служила белая линия живота (рис. 1б).

Затем с помощью анатомических щипцов осторожно разделяли ткани между поперечными и внутренними косыми мышцами живота, обеспечивая доступ к рабочему пространству. Внутреннюю косую мышцу аккуратно отслаивали, одновременно останавливая кровотечение комбинированным методом: механически, используя тампоны, и химически, обрабатывая раны раствором перекиси водорода (рис. 1с).

Следующим этапом было рассечение свободного фрагмента мышц, состоящего из наружной и внутренней косых мышц живота, непосредственно посередине операционной зоны под прямым углом относительно срединной линии тела (рис. 1д). Полученные фрагменты закреплялись отдельно узловыми швами, формируя новый слой мышечной структуры латеральнее основного комплекса, при этом свободные края мышечных пластов поворачивались наружу.

После этого производили непрерывное прошивание медиального края прямой мышцы живота (рис. 1ф). В результате последовательного выполнения хирургических манипуляций формировали грыжевой дефект, дном которого являлась брюшина. Завершающим этапом являлось закрытие операционной раны отдельными кожными швами (рис. 1г). Идентичная хирургическая процедура повторялась с противоположной стороны в группах  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ .

После истечения заданного периода времени лабораторные крысы выводились из эксперимента путём передозировки ингаляционного анестетика. Выполнялось иссечение участка передней брюшной стенки, отступив от края области оперативного вмешательства 5 мм с целью фиксации образца (рис. 2). Транспортировку биоптатов осуществляли в ёмкости, заполненной раствором натрий-фосфатного буфера.

С целью оценки формирования грыжевого мешка, изменения размеров грыжевого дефекта выполняли

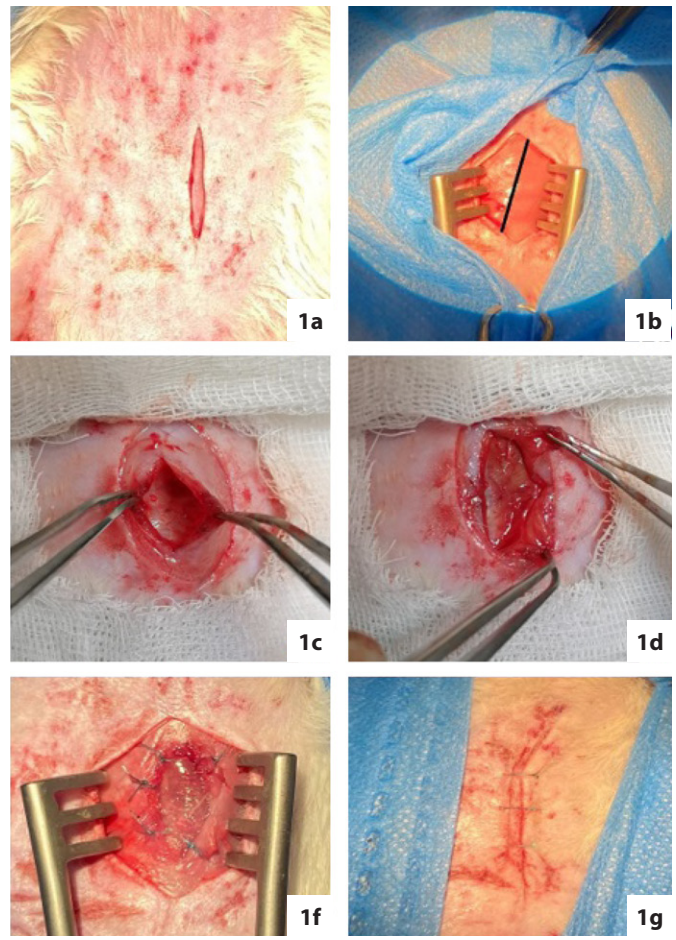


Рисунок 1. Этапы формирования грыжевого дефекта у лабораторной крысы

Figure 1. Stages of hernia defect formation in a laboratory rat



Рисунок 2. Биоптаты передней брюшной стенки перед транспортировкой, иллюстративный образец

Figure 2. Anterior abdominal wall biopsy samples before transportation, illustrative sample

ультразвуковое исследование передней брюшной стенки крысы на стандартизованных сроках 30, 60 и 120 сут. Исследование проводили под ингаляционным наркозом после предварительной индукции в положении на спине.

Изучение механических свойств брюшной стенки крысы осуществляли на универсальной испытательной машине РЭМ-0,2-1. Биоптат располагали между-клеммами – зажимами, производили разрыв тканей в поперечном и продольном направлениях, тест на продавливание участка передней брюшной стенки через все слои в контрольной группе и в

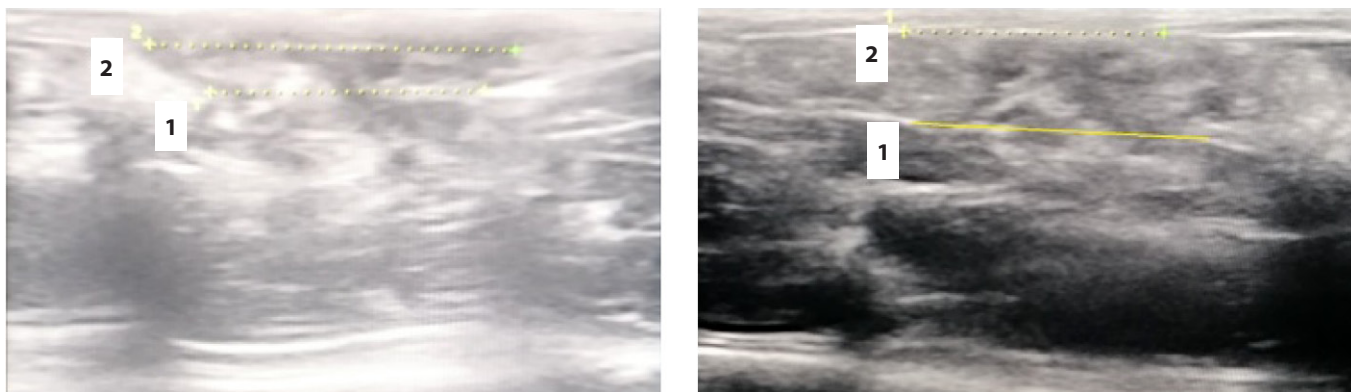


Рисунок 3. Сонографическая картина грыжи слева на 30-е сут.; продольное сканирование на иллюстрации слева, поперечное – справа. 1 – грыжевой дефект, 2 – грыжевой мешок с содержимым в максимальном измерении  
 Figure 3. Sonographic image of the left-sided hernia on day 30; longitudinal scan on the left, transverse scan on the right. 1 – hernia defect, 2 – hernia sac with contents at maximum dimension

экспериментальных группах через смоделированный грыжевой дефект. Перед проведением опыта в группах C<sub>1</sub>-C<sub>3</sub> биоптат предварительно рассекался по белой линии живота. Механическое напряжение измеряли в мПа.

Кроме того, дополнительно проведено гистологическое изучение тканей в зоне формирования моделируемого грыжевого дефекта. С этой целью каждая группа была дополнена одной дополнительной лабораторной особью.

Статистическая обработка выполнялась с использованием программы Statistica 13 (Dell Software Company, USA). В связи с малым объёмом выборки для оценки достоверности использовали непараметрический критерий Манна-Уитни (U-критерий).

### Результаты исследования и обсуждение

При выполнении ультразвукового исследования передней брюшной стенки крысы в указанные сроки

были локализованы структуры грыжи передней брюшной стенки: грыжевые ворота, формирующийся грыжевой мешок, пролабирующие в него внутренние органы (рис. 3). При анализе изменений компонентов грыжи в разные временные интервалы среди различных экспериментальных групп мы не смогли установить значимую тенденцию роста её структур. Исследование выявило лишь незначительные отличия, обусловленные особенностями техники операций у отдельных особей.

Согласно нашим данным, использование ультразвукового исследования мягких тканей и органов брюшной полости у лабораторных крыс в рамках создаваемой модели грыжи не показало диагностической ценности ввиду значительных трудностей в диагностике и интерпретации полученных результатов, что снижает значимость такого метода обследования.

По результатам проведённых тестов были получены результаты, представленные на рисунках 4, 5.

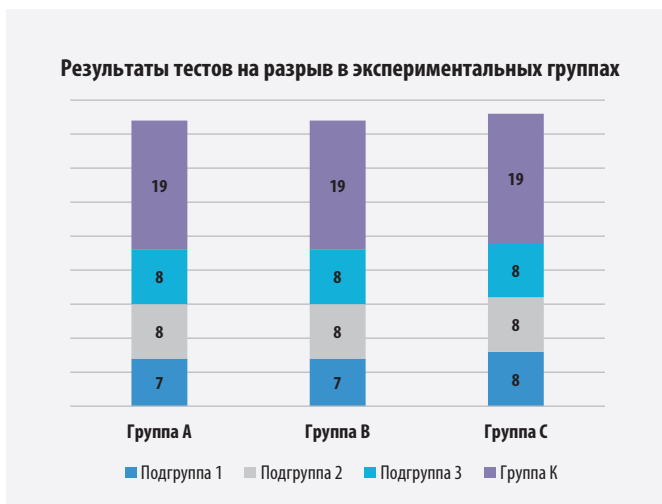


Рисунок 4. Результаты тестов на разрыв в экспериментальных группах (мПа, средняя, Q25–Q75)  
 Figure 4. Results of tensile strength in the experimental groups (MPa, M, Q25–Q75)

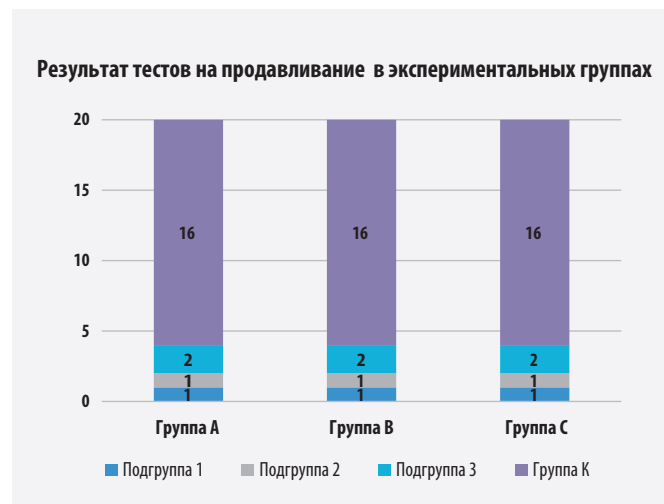


Рисунок 5. Результаты тестов на продавливание в экспериментальных группах (мПа, средняя, Q25–Q75)  
 Figure 5. Results of the indentation tests in the experimental groups (MPa, M, Q25–Q75)

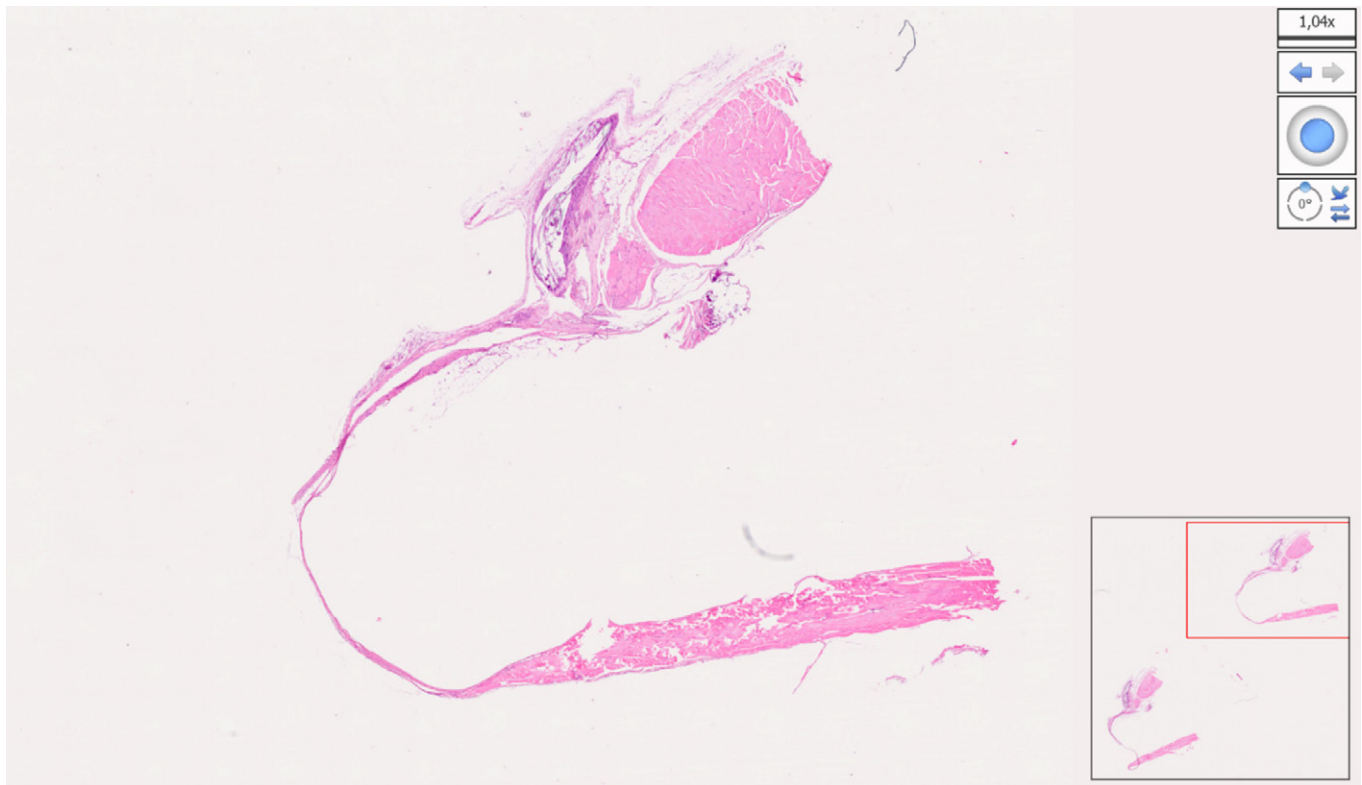


Рисунок 6. Результат гистологического исследования биопсийного материала передней брюшной стенки с моделированным грыжевым дефектом, ув.  $\times 41,6$ , просмотр с помощью Hamamatsu Digital Pathology (Hamamatsu Photonics, Япония)

Figure 6. Histological examination result of anterior abdominal wall biopsy material with a simulated hernial defect. Magnification  $\times 41,6$ , viewed using Hamamatsu Digital Pathology (Hamamatsu Photonics, Japan)

Анализируя итоги проведенного исследования, можем заключить, что наши данные согласуются с результатами аналогичных предшествующих исследований [10]. Выявленные различия между опытными группами и контрольной группой оказались статистически значимы ( $p=0,01$ ), что объясняется спецификой строения передней брюшной стенки крыс, направлением мышечных и соединительнотканых волокон, а также характером нанесенной операционной травмы, значительно влияющей на структуру указанной области [11].

В результате тестов достоверно ( $p=0,01$ ) выявлено, что для продавливания на разрыв через сформированный в эксперименте грыжевой дефект необходимо меньшее усилие, нежели в группе контроля с интактной передней брюшной стенкой.

Гистологический анализ образца передней брюшной стенки с искусственно созданным грыжевым дефектом позволил выявить следующее: патологоанатомический материал представляет собой участок мышечно-фиброзной ткани с образованием мешкообразной структуры, образованной утонченными коллагеновыми волокнами, покрытой слоем мезотелия. Морфологическая структура ткани не имела значимых различий ни между группами, ни на протяжении всех сроков наблюдения (рис. 6).

### Заключение

Полученные результаты подтверждают применимость разработанной модели для изучения эффективности новых экспериментальных герниопротезов, базирующейся на особенностях развития грыжевых дефектов. Исследователь имеет возможность внедрить дополнительный аспект анализа реакций тканевых структур, вовлечённых в формирование грыжи, включая взаимодействие с установленным протезом. Грыжевой дефект развивается уже к 30-м сут. и далее остаётся стабильным вплоть до 120-х сут., практически не демонстрируя существенного прогресса. Данная особенность позволяет эффективно оценивать долговременную эффективность материалов и реакцию тканей на них.

### Вклад авторов

Разработка концепции и дизайна исследования: А.А. Ушанов, И.С. Иванов, Е.С. Мишина

Сбор, анализ и интерпретация данных: А.А. Ушанов, И.С. Иванов, Е.С. Мишина, Е.А. Землякова

Подготовка и редактирование текста: А.А. Ушанов, И.С. Иванов, Е.С. Мишина, Е.А. Землякова

Проведение статистического анализа: А.А. Ушанов, И.С. Иванов, Е.С. Мишина, Е.А. Землякова

### Author contributions

Concept and design: Ushanov, Ivanov, Mishina

*Acquisition, analysis, or interpretation of data:* Ushanov, Ivanov, Mishina, Zemlyakova

*Manuscript drafting and revising:* Ushanov, Ivanov, Mishina, Zemlyakova

*Statistical analysis:* Ushanov, Ivanov, Mishina, Zemlyakova

## Литература/References

1. Лазаренко В.А., Иванов С.В., Иванов И.С., и др. Биопсия кожи как метод определения показаний к превентивному эндопротезированию передней брюшной стенки. *Человек и его здоровье*. 2020;(4):46-53. <https://doi.org/10.21626/vestnik/2020-4/06>

Lazarenko VA, Ivanov SV, Ivanov IS, et al. Skin biopsy as a method for determining indications for preventive endoprosthetics of the anterior abdominal wall. *Kursk Scientific and Practical Bulletin "Man and His Health"*. 2020;(4):46-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.21626/vestnik/2020-4/06>

2. Norov FX. Results of an experimental developed improved approach to the treatment of ventral hernias. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*. 2022;10(8):169-176.

3. Исмаилов Г.М., Магомедов М.М., Магомедов А.А. Моделирование вентральной грыжи и ее результаты в эксперименте. *Medicus*. 2022;(3):55-59.

Ismailov GM., Magomedov MM., Magomedov AA. Modeling of ventral hernia and its experimental results. *Medicus*. 2022;(3):55-59. (In Russ.)

4. Pascual G, Rodríguez M, Pérez-Köhler B, et al. Long term comparative evaluation of two types of absorbable meshes in partial abdominal wall defects: an experimental study in rabbits. *Hernia*. 2020;24(6):1159-1173. PMID: 32388587. <https://doi.org/10.1007/s10029-020-02201-x>

5. Дудинский А.Н. Новый метод пластики послеоперационных вентральных грыж: сравнительное экспериментальное исследование. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2022;20(5):531-536. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2022-20-5-531-536>

Dudinsky AN. A new method of repair of postoperative ventral hernias: a comparative experimental study. *Journal of Grodno State Medical University*. 2022;20(5):531-536. (In Russ.) <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2022-20-5-531-536>

6. van Steensel S, van den Hil LCL, Bloemen A, et al. Prevention of incisional hernia using different suture materials for closing the abdominal wall: a comparison of PDS, Vicryl and Prolene in a rat model. *Hernia*. 2020;24(1):67-78. PMID: 31113322. PMID: PMC7007910. <https://doi.org/10.1007/s10029-019-01941-9>

7. Saïding Q, Chen Y, Wang J, et al. Abdominal wall hernia repair: from prosthetic meshes to smart materials. *Mater Today Bio*. 2023;21:100691. PMID: 37455815. PMID: PMC10339210. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2023.100691>

8. Лазаренко В.А., Иванов И.С., Ушанов А.А., Мишина Е.С., Обьедков Е.Г., Костин В.С. Грыжа или грыжевой дефект? Экспериментальные модели на лабораторных животных в герниологии. *Инновационная медицина Кубани*. 2023;(3):114-120. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-3-114-120>

Lazarenko VA, Ivanov IS, Ushanov AA, Mishina ES, Obiedkov EG, Kostin VS. Hernia or hernia Defect? Experimental herniology Models in Laboratory Animals. *Innovative Medicine of Kuban*. 2023;(3):114-120. (In Russ.) <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-3-114-120>

9. Anastasio AT, Van Eps JL, Fernandez-Moure JS. Surgical technique for development of a clinically-representative ventral hernia repair infection rat model. *MethodsX*. 2020;7:100887. PMID: 32426245. PMID: PMC7225390. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100887>

10. Ayubi FS, Armstrong PJ, Mattia MS, Parker DM. Abdominal wall hernia repair: a comparison of Permacol and Surgisis grafts in a rat hernia model. *Hernia*. 2008;12(4):373-378. PMID: 18330666. <https://doi.org/10.1007/s10029-008-0359-z>

11. Brown SH, Banuelos K, Ward SR, Lieber RL. Architectural and morphological assessment of rat abdominal wall muscles: comparison for use as a human model. *J Anat*. 2010;217(3):196-202. PMID: 20646108. PMID: PMC2919595. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2010.01271.x>

## Сведения об авторах

**Ушанов Александр Александрович**, аспирант кафедры хирургических болезней № 1, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-0876-0656>

**Иванов Илья Сергеевич**, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой хирургических болезней № 1, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-4408-961X>

**Мишина Екатерина Сергеевна**, к. м. н., доцент кафедры гистологии, эмбриологии, цитологии, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-3835-0594>

**Землякова Екатерина Александровна**, студент 4-го курса, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0009-0008-3524-3906>

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Author credentials

**Alexander A. Ushanov**, Postgraduate Student, Department of Surgical Diseases No. 1, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-0876-0656>

**Ilya S. Ivanov**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Surgical Diseases No. 1, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-4408-961X>

**Ekaterina S. Mishina**, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Histology, Embryology, Cytology, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-3835-0594>

**Ekaterina A. Zemlyakova**, 4th Year Student, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0008-3524-3906>

**Conflict of interest:** none declared.