



## Грыжа или грыжевой дефект? Экспериментальные модели на лабораторных животных в герниологии

©В.А. Лазаренко, И.С. Иванов, А.А. Ушанов\*, Е.С. Мишина, Е.Г. Обьедков, В.С. Костин

Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия

\* А.А. Ушанов, Курский государственный медицинский университет, 305041, Курск, ул. К. Маркса, 3, ushanovaa@kursksmu.net

Поступила в редакцию 14 марта 2023 г. Исправлена 27 апреля 2023 г. Принята к печати 21 мая 2023 г.

### Резюме

Грыжи передней брюшной стенки остаются одной из наиболее часто встречаемых хирургических патологий. В мировом научном сообществе отсутствует единый подход к моделированию грыж передней брюшной стенки.

С целью систематизации имеющихся знаний в этой сфере и для формирования единого представления о способе создания модели грыжи у лабораторного животного, необходимо изучить накопленный опыт исследователей в области экспериментальной герниологии.

В рассмотренных статьях наиболее часто грыжевые дефекты моделируются на самцах лабораторных крыс. Для выяснения тканевой реакции на протезирующий материал выполняется окончательный дефект на всю глубину передней брюшной стенки, включая брюшину, за исключением кожи и подкожно-жировой клетчатки. Замещающий или протезирующий материал аналогичного с дефектом размера имплантировался в ткани по типу «конец-в-конец» без наслоения на окружающие ткани. Использование именно лабораторных крыс связано с оптимальными условиями их содержания, невысокой их стоимостью относительно более крупных животных.

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

**Цитировать:** 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>

## Hernia or Hernia Defect? Experimental Herniology Models in Laboratory Animals

©Viktor A. Lazarenko, Iliia S. Ivanov, Alexander A. Ushanov\*, Ekaterina S. Mishina, Evgenij G. Obedkov, Viktor S. Kostin

Kursk State Medical University, Kursk, Russian Federation

\* Alexander A. Ushanov, Kursk State Medical University, ulitsa K. Marksa 3, Kursk, 305041, Russian Federation, ushanovaa@kursksmu.net

Received: March 14, 2023. Received in revised form: April 27, 2023. Accepted: May 21, 2023.

### Abstract

Hernias of the anterior abdominal wall remain one of the most common surgery pathologies. There is no unified approach to modeling anterior abdominal wall hernias in the world scientific community.

In order to systematize the available knowledge in this field and to contribute to the formation of a unified idea of how to create a hernia model in a laboratory animal, it seems logical to study the accumulated experience of researchers in the field of experimental herniology.

We found out that hernia defects generally modeled on male laboratory rats. To understand the tissue reaction to the prosthetic material a fenestration was performed in the anterior abdominal wall (including peritoneum) except for the skin and subcutaneous fat. A replacement or prosthetic material tailored to the fenestration was sutured end-to-end into the abdominal wall. We chose laboratory rats because they are easy to take care of and cheaper than larger laboratory animals.

**Keywords:** anterior abdominal wall hernia, incisional hernia, hernia repair, hernia model, laboratory animals.

**Cite this article as:** Lazarenko VA, Ivanov IS, Ushanov AA, Mishina ES, Obedkov EG, Kostin VS. Hernia or hernia defect? Experimental herniology models in laboratory animals. *Innovative Medicine of Kuban.* 2023;(3):114–120. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-3-114-120>



## Введение

Проблема грыж передней брюшной стенки остается одной из ведущих в современной абдоминальной хирургии. Согласно статистическим данным, от 3,9 до 20,9% всех людей в общемировой популяции страдают от этого заболевания [1–3]. В отдельных группах больных с фоновыми заболеваниями этот показатель может достигать высоких значений – до 60% [4]. При этом мнение научного сообщества заключается в том, что грыжи передней брюшной стенки являются полиэтиологическим заболеванием, требующим системного подхода в лечении [5]. К настоящему времени стало очевидно, что грыжи передней брюшной стенки являются одним из проявлений дисколлагенных состояний, имеющих вариабельную клиническую картину [6]. В связи с этим повышается необходимость в большем количестве диагностических манипуляций при грыжах с целью установления непосредственной причины их возникновения в каждом конкретном случае [7]. По этой причине растет потребность в новых методах и методиках исследований в экспериментальной герниологии.

На сегодняшний день основным способом планового оперативного лечения грыж передней брюшной стенки является герниоэндопротезирование (ГЭП) сетчатым протезом [8]. Хотя такие операции и обладают рядом существенных преимуществ перед пластикой грыжевого дефекта собственными тканями, наличие осложнений, связанных как непосредственно с имплантацией инородного тела, так и с возможными техническими трудностями при таком оперативном приеме, не позволяет назвать эту методику идеальной. Тем не менее, отказ от нее нельзя считать рациональным ввиду ее преимуществ [4]. В этой связи логичными являются исследования в области совершенствования как самого оперативного приема, так и материалов, применяемых для пластики грыжевого дефекта. С этой целью необходимо моделирование грыж передней брюшной стенки в рамках эксперимента, чему посвящено множество исследований.

## Цель исследования

С целью систематизации имеющихся знаний в этой сфере и для формирования единого представления о способе создания модели грыжи у лабораторного животного, необходимо изучить накопленный опыт исследователей в области экспериментальной герниологии.

## Результаты исследования

В настоящий момент нет единого подхода к выбору лабораторного животного, на котором будет воспроизводиться модель грыжи. Ими могут выступать кролики, крысы, свиньи, собаки, мыши, морские свинки и некоторые другие [6].

## Грыжи и грыжевые дефекты у крупных животных

Если перед исследователем стоит задача по непосредственной выработке модели, репрезентируемой к организму человека, то предпочтение отдается животным более крупных размеров. Например, Г.М. Исмаилов и соавт. (2022) моделировали грыжевой дефект на 12 собаках. После обработки операционного поля выполнялся доступ к мышцам передней брюшной стенки. Затем производился разрез длиной 15 см по белой линии живота с разведением прямых мышц живота, фиксированных на держалках с подшиванием их к передней брюшной стенке и созданием грыжевого дефекта. Брюшина при этом не вскрывалась. На формирование грыжи передней брюшной стенки отводилось 6 мес. У всех лабораторных животных после указанного срока она считалась сформированной [9].

Одним из важных патогенетических звеньев образования вентральных грыж является морбидное ожирение [1, 3]. Его моделирование стало одним из возможных направлений в разработке моделей грыж в ходе эксперимента. И.Р. Тешаев и И.Б. Хайитов (2016) провели исследование на 24 кроликах породы шиншилла, были сформированы 2 группы по 12 кроликов, в обеих группах у животных моделировался грыжевой дефект передней брюшной стенки. Выполнялся разрез кожи, подкожно-жировой клетчатки длиной 6 см. После этого рассекался апоневроз по белой линии живота таким образом, чтобы длина разреза составляла 5 см. Далее в экспериментальной группе кролики содержались в условиях гиподинамии, а также в их рацион в качестве питья вводился 5%-й раствор глюкозы, что сопровождалось инъекциями инсулина в расчете 0,1 ЕД на 100 г веса. Авторы отмечали достоверный рост массы тела за счет подкожно-жировой клетчатки и увеличение размера грыжевого выпячивания в экспериментальной группе [10].

G. Pascual и соавт. (2020) осуществляли эксперимент на 20 кроликах новозеландской породы. Авторы предложили выполнять дефект передней брюшной стенки, заключающийся в ее ослаблении, но не сплошном иссечении на всю глубину. После разреза кожи и подкожно-жировой клетчатки проводилось двустороннее иссечение, симметричное относительно белой линии живота, наружной и внутренней косой мышц живота размерами 3×3 см. После выполнения дефекта передней брюшной стенки производилась имплантация сетчатого герниопротеза по типу in lay аналогичного размера. Такой тип моделирования грыжевого дефекта интересен моделированием «слабых» участков стенки живота. Таким образом можно выяснять потенциальные возможности превентивного эндопротезирования [11].

Помимо создания моделей грыж при проведении исследований, распространена практика выполнения грыжевых дефектов. Отличие от описанных ранее методик заключается в необходимости протезирования в момент создания модели с целью исключения эквентрации органов у лабораторного животного.

T. Terazawa и соавт. (2019) разработали модель грыжевого дефекта у двух собак породы Бигль без полового разделения. Отступив от мечевидного отростка 2 см, выполнили разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки длиной 10 см. После этого создали окончательный дефект мышечно-соединительнотканного массива с брюшиной размерами 5×5 см с имплантацией экспериментального покрытия, представляющего из себя биоинженерную бесклеточную ткань. В связи с этим удаление брюшины в данном эксперименте являлось необходимой частью эксперимента, т. к. оценивалась биологическая совместимость тканей [12].

N. Overbeck и соавт. (2020) в своем эксперименте в качестве лабораторных животных использовали приматов верветок (*Cercopithecus aethiops*) в количестве 73 шт. без полового разделения. Выполняли разрез через все слои передней брюшной стенки длиной 7 см с последующим формированием окончательного грыжевого дефекта в мышечно-соединительнотканном массиве размерами 7×3 см. При этом иссекались прямые мышцы живота с их влагалищами и брюшиной. Дефект закрывали сетчатыми имплантатами аналогичного размера «конец-в-конец» [13].

A.L. Aramayo и соавт. (2013) производили моделирование грыжевого дефекта передней брюшной стенки на 40 новозеландских белых кроликах мужского пола по сходному с предыдущим принципу. После обработки операционного поля кожа и подкожно-жировая клетчатка рассекались с обнажением мышц передней брюшной стенки и разрезом белой линии живота длиной 5 см. После этого в верхнем и нижнем краях раны делали разрез, перпендикулярный прямым мышцам живота, длиной 1 см с формированием «окончатого» дефекта. При этом мобильные края загибались под мышечный массив и подшивались транскутанеально одиночными швами с целью формирования устойчивого грыжевого дефекта. На формирование грыжи в эксперименте отводилось 30 дней, после чего производилось ГЭП. В указанный срок грыжи у всех лабораторных животных считались сформировавшимися [14].

V. East и соавт. (2019) создавали модель грыжевого дефекта на 27 двухмесячных кроликах породы шиншилла без полового разделения. Выполняли разрез кожи длиной 6 см, отступив от мечевидного отростка на 3 см, достигали фасциальных структур белой линии живота, где делали разрез длиной 5 см на всю глубину передней брюшной стенки. После этого ушивали соединительнотканые структуры и фиксировали сетчатый герниопротез как при методике onlay [15].

D. Heise и соавт. (2019) выполняли модель грыжевого дефекта на 10 самках минипиггов. Сначала осуществлялся разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки по средней линии, после чего проводилась срединная лапаротомия, затем иссекался эллипсоидный участок (20×10 см) брюшной стенки. Впоследствии иссеченная передняя брюшная стенка была протезирована сетчатым герниопротезом с фиксацией сетки нитью ПДС 0 «конец-в-конец» [16].

J.C. Chan и соавт. (2016) выполняли модель грыжи на 15 новозеландских белых кроликах, моделируя пластику послеоперационного грыжевого дефекта сетчатым эндопротезом по методу inlay. После подготовки операционного поля производился разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки с обеспечением доступа к передней брюшной стенке. После этого осуществлялся разрез по белой линии живота с последующим иссечением мышц передней брюшной стенки и моделированием прямоугольного дефекта, длинный край которого, величиной в 4 сантиметра, был расположен параллельно прямым мышцам живота. Соотношение сторон грыжевого дефекта – 4:1. Эндопротез имплантировался непосредственно в смоделированную грыжу передней брюшной стенки и фиксировался непрерывным швом по всему периметру [17].

Хотя моделирование грыжи на крупных животных и обладает рядом преимуществ, основным из которых является простота оперативного доступа и его большая схожесть с таковым у человека, исследователь может столкнуться с трудностями, не имеющими непосредственного отношения к проводимому эксперименту. К таким относятся и более затратное содержание лабораторных животных (большое количество расходных материалов, связанных с оперативным вмешательством, цена корма, большее пространство, необходимое для жизнедеятельности и т. п.), и низкие показатели иммунитета, требующие обязательного использования антибактериальных препаратов в периоперативном периоде, и более высокая цена при закупке лабораторных животных. В связи с этим исследователи прибегают к использованию животных меньшего размера с лучшими параэкспериментальными характеристиками [18-23].

### **Грыжи и грыжевые дефекты у мелких лабораторных животных**

Процесс моделирования грыжевого дефекта или грыжи, в частности, у крыс имеет объективные ограничения, одним из которых является малая, относительно крупных лабораторных животных, площадь передней брюшной стенки и связанная с этим ограниченность в способах оперативного вмешательства. Тем не менее, исследователи продолжают выбирать этих животных для моделирования различных способов грыжесечений.

А.Т. Anastasio и соавт. (2020) с целью моделирования грыжевого дефекта у 63 крыс мужского пола породы Левис производили продольный разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки по средней линии живота длиной 3 см с последующей острой остеопаровкой их от подлежащего мышечно-соединительнотканного массива передней брюшной стенки. После этого выполнялся разрез по белой линии живота длиной 2 см с разделением мышечно-апоневротического слоя передней брюшной стенки и брюшины. В эксперименте авторы ушивали исключительно кожу. У всех лабораторных животных грыжа считалась сформированной на 28-е сутки наблюдения [24].

W. Qiu и соавт. (2018) создавали модель грыжи на 60 самцах крыс линии Спрег-Доули. После разреза кожи по средней линии живота длиной 5 см, брюшная фасция и наружные и внутренние косые мышцы были разделены. Парамедиальный дефект передней брюшной стенки был создан путем удаления внутренних и наружных косых мышц 1×1 см без повреждения поперечной фасции и брюшины. Правая сторона брюшной стенки была отделена от подкожной клетчатки без резекции тканей. Сетчатый протез размещали параллельно средней линии живота. Продольная ось максимального натяжения сетки была параллельна средней линии живота [25].

K.G. Cornwell и соавт. (2016) предложили методику, основанную на элементах сепарационной пластики при моделировании грыжевого дефекта. После обработки операционного поля производился разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки длиной 5 см с последующим разведением краев раны. Затем, отступив 1 см от мечевидного отростка, производился разрез по белой линии живота длиной 4 см с последующей отсепаровкой наружной косой мышцы живота от окружающего мышечного массива до полулунной линии на ее протяжении от края реберной дуги до паховой связки книзу. После этого рану ушивали послойно. Грыжевое выпячивание было обнаружено у всех прооперированных животных на 7-е сут. [26].

Стоит упомянуть способ моделирования послеоперационной вентральной грыжи, предложенный А.Н. Дудинским и соавт. (2022). Оригинальность предложенной методики заключается в рассечении влагалищ прямых мышц живота, разведении мышечного массива этих мышц и подшивании их к кожному и подкожно-жировому слоям с обеспечением постоянного диастаза шириной до 2 см, с последующим выполнением разреза по белой линии живота и глухим ушиванием задних листков влагалищ указанных мышц. Способ выгоден тем, что при моделировании грыжевого дефекта у экспериментатора уменьшается шанс травмировать париетальный листок брюшины. Исследование выполняли на крысах [27].

М.А. Suckow и соавт. (2017) предложили способ моделирования ГЭП у лабораторных крыс по следующей методике: после 3–4 см разреза кожи и подкожно-жировой клетчатки производилось рассечение белой линии живота с выполнением острой отсепаровки тканей и формированием полости в предбрюшинном пространстве, необходимой для последующего иссечения мышечно-соединительнотканного массива (2×2 см) без повреждения брюшины. Получившийся послеоперационный дефект передней брюшной стенки закрывался сетчатым герниопротезом с одиночной фиксацией по периферии. По своему принципу такая модель довольно точно отражает суть пластики sublay [28].

Т. Фатхудинов и соавт. (2019) моделировали грыжевой дефект у 72 самцов крыс линии Спрег-Доули. Выполнялся 4-сантиметровый продольный разрез кожи по средней линии живота. Прямоугольный участок передней брюшной стенки 1,5 см шириной и 2 см длиной был иссечен по оси живота, параллельно белой линии. Грыжевой дефект закрывался сетчатым протезом аналогичного размера «конец-в-конец» и фиксировался непрерывным швом (Викрил 2/0) по периметру, после чего кожная рана ушивалась [29].

J. Burcharth и соавт. (2013) ставили эксперимент на 86 крысах мужского пола линии Спрег-Доули. Оперативное вмешательство проводилось следующим образом: после обработки операционного поля выполняли разрез кожи П-образной формы 6×3 см таким образом, чтобы основание этого разреза располагалось параллельно срединной линии живота на расстоянии 2 см от нее. Получившийся кожно-подкожно-жировой лоскут отводился влево с обеспечением доступа к белой линии живота, через которую выполнялся разрез длиной 5 см, затрагивающий все подлежащие слои, включая брюшину. Поскольку главной задачей исследования было определение наиболее эффективного способа ушивания передней брюшной стенки, мышечно-апоневротический слой ушивался двумя способами: одиночным узловым швом и непрерывным зигзагообразным швами. Кожный дефект ушивался во всех экспериментальных группах [30].

М. Suzuhigashi и соавт. (2016) моделировали грыжевые дефекты на самцах крыс серии Вистар. После подготовки операционного поля выполнялся разрез кожи, подкожно-жировой клетчатки по срединной линии живота длиной 4 см, отсепаровка ее от подлежащих структур. После этого производилось циркулярное иссечение мышечного массива, соединительнотканых структур и брюшины с формированием круглого грыжевого дефекта, центральная точка которого располагалась по белой линии живота. Такую модель авторы использовали для сравнительной оценки эффективности новых типов матричных структур на основе коллагена [31].

S. van Steensel и соавт. (2020) исследовали возможность превентивного ушивания брюшной стенки для предотвращения троакарных грыж. Во избежание влияния гормонального цикла эстрогена и прогестерона в исследование были включены только самцы крыс линии Вистар в количестве 33 особей. С целью моделирования грыжевого дефекта производили разрез по срединной линии живота длиной 6 см на толщину кожи и подкожно-жировой клетчатки. После выполняли два разреза по белой линии живота на глубину соединительнотканых структур и брюшины длиной 1 см и на расстоянии не менее 2 см друг от друга. Сформированные грыжевые дефекты были ушиты непрерывным швом с помощью трех типов шовного материала (пролен 4/0, викрил 4/0 и ПДС 4/0) с последующим забором гистологического материала на 7-е и 21-е сут. Таким образом выяснялась гистологическая реакция на шовный материал. Ни у одного из прооперированных животных не зафиксировано появления послеоперационных грыж [32].

Помимо проблемы универсальности моделей грыжевого дефекта у лабораторных животных, существует проблема репрезентативности исследований на животных в целом. Хотя на текущий момент исследователи сходятся во мнении, что течение патологических процессов у людей и используемых в экспериментах животных во многом сходно, окончательная точка в этом вопросе еще не поставлена [33–36].

### Обсуждение

На данный момент времени у исследователей всего мира нет единой позиции касательно моделирования грыжевого дефекта у лабораторных животных, причем это касается почти всех аспектов – от видовой принадлежности до длины разреза любого из слоев передней брюшной стенки. В абсолютном большинстве рассмотренных способов пластики грыжевого дефекта при ГЭП авторы производили удаление участка передней брюшной стенки на всю его глубину, включая брюшину, что не отражает принципа герметизации брюшной полости при ГЭП. Соответственно, при таких методиках моделирования грыж передней брюшной стенки после оперативного лечения невозможно достоверно оценить реакцию брюшины на материал протеза. Такой способ моделирования пластики можно было бы сравнить с вариантом оперативного лечения, при котором сетчатый протез располагается «стык-в-стык» с рассеченными краями апоневроза (как при пластике inlay) без герметизации брюшной стенки, но с ограничением органов брюшной полости за счет расположения над ними большого сальника, хотя ни в одной из рассмотренных работ такой прием не описывался. Необходимо отметить, что в тех случаях, когда авторы используют технику эндопротезирования грыжевого дефекта с закрытием

брюшной полости сплошным швом через все слои брюшной стенки, протез располагается по аналогии с техникой onlay, т. е. над апоневрозом. Методики же inlay и sublay авторами практически не рассматриваются, что также не отражает полный спектр имеющихся в арсенале современного хирурга оперативных техник.

### Заключение

В большинстве случаев с целью оценки тканевой реакции на ГЭП исследования выполнялись на крысах. Несмотря на множество имеющихся методик, отличающихся своей близостью к используемым в хирургии методикам протезирования при грыжах передней брюшной стенки, авторы предпочитают выполнять более простые модели грыжевого дефекта без ограничения протеза от органов брюшной полости. Такой способ экономит время, которое может быть потрачено на оперативный прием. Однако в таком случае оценка гистологической реакции на ГЭП не может считаться полной, так как задействованы не все вентральные структуры.

Таким образом, авторы настоящей статьи считают, что моделирование именно грыжи с последующей ее пластикой сетчатым протезом является наиболее приближенной к выполняемым у человека оперативным вмешательствам.

### Литература/References

- Кириенко А.И., Никишков А.С., Селиверстов Е.И., Андрияшкин А.В. Эпидемиология грыж передней брюшной стенки. *Эндоскопическая хирургия*. 2016;22(4):55-60. <https://doi.org/10.17116/endoskop201622455-60>
- Kiriienko AI, Nikishkov AS, Seliverstov EI, Andriyashkin AV. Epidemiology of abdominal wall hernias. *Endoskopicheskaya Khirurgiya*. 2016;22(4):55-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/endoskop201622455-60>
- Helgstrand F. National results after ventral hernia repair. *Dan Med J*. 2016;63(7):B5258. PMID: 27399983.
- Винник Ю.С., Чайкин А.А., Назарьянц Ю.А., Петрушко С.И. Современный взгляд на проблему лечения больных с послеоперационными вентральными грыжами. *Сибирское медицинское обозрение*. 2014;(6):5–13.
- Vinnik YuS, Chaikin AA, Nazaryans YuA, Petrushko SI. Contemporary view on the problem of treatment the patients with post-operative ventral hernias. *Siberian Medical Review*. 2014;(6):5–13. (In Russ.).
- Лазаренко В.А., Иванов С.В., Иванов И.С. и др. Биопсия кожи как метод определения показаний к превентивному эндопротезированию передней брюшной стенки. *Курский научно-практический вестник «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 endoprosthesis 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>
- Hympanova L, Mori da Cunha MGMC, Rynkevic R, et al. Experimental reconstruction of an abdominal wall defect with

- electrospun polycaprolactone-ureidopyrimidinone mesh conserves compliance yet may have insufficient strength. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2018;88:431–441. PMID: 30216933. <https://doi.org/10.1016/j.jmbm.2018.08.026>
6. Vogels RRM, Kaufmann R, van den Hil LCL, et al. Critical overview of all available animal models for abdominal wall hernia research. *Hernia*. 2017;21(5):667–675. PMID: 28466188. PMCID: PMC5608772. <https://doi.org/10.1007/s10029-017-1605-z>
7. Головнева Е.С., Николенко Е.С., Ревель-Муроз Ж.А. Особенности ответных реакций некоторых клеточных популяций соединительной ткани и коллагенообразования у крыс с моделью послеоперационной вентральной грыжи после лазерного воздействия на красный костный мозг. *Лазерная медицина*. 2019;23(3):45–49.
- Golovneva ES, Nikolenko ES, Revel-Muroz JA. Features of response reactions of some cell populations of connective tissue and collagen formation in a rat model with postoperative ventral hernia after laser irradiation on red bone marrow. *Laser Medicine*. 2019;23(3):45–49. (In Russ.).
8. 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.
9. 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.).
10. Yang S, Chen J, Shen Y, Wang M, Zou Z, Jin C. Establishment of a rabbit model of giant abdominal wall hernia. *Surg Innov*. 2019;26(3):376–380. PMID: 30472927. <https://doi.org/10.1177/1553350618814090>
11. 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>
12. Terazawa T, Furukoshi M, Nakayama Y. One-year follow-up study of iBTA-induced allogenic biosheet for repair of abdominal wall defects in a beagle model: a pilot study. *Hernia*. 2019;23(1):149–155. PMID: 30506241. <https://doi.org/10.1007/s10029-018-1866-1>
13. Overbeck N, Nagvajara GM, Ferzoco S, May BCH, Beierschmitt A, Qi S. In-vivo evaluation of a reinforced ovine biologic: a comparative study to available hernia mesh repair materials. *Hernia*. 2020;24(6):1293–1306. PMID: 32006122. PMCID: PMC7701079. <https://doi.org/10.1007/s10029-019-02119-z>
14. Aramayo AL, Lopes Filho Gde J, Barbosa Cde A, Amaral Vda F, Costa LA. Abdominal wall healing in incisional hernia using different biomaterials in rabbits. *Acta Cir Bras*. 2013;28(4):307–316. PMID: 23568239. <https://doi.org/10.1590/s0102-86502013000400011>
15. East B, Plencner M, Otahal M, Amler E, de Beaux AC. Dynamic creep properties of a novel nanofiber hernia mesh in abdominal wall repair. *Hernia*. 2019;23(5):1009–1015. PMID: 30953212. <https://doi.org/10.1007/s10029-019-01940-w>
16. Heise D, Eickhoff R, Kroh A, et al. Elastic TPU mesh as abdominal wall inlay significantly reduces defect size in a minipig model. *J Invest Surg*. 2019;32(6):501–506. PMID: 29469618. <https://doi.org/10.1080/08941939.2018.1436207>
17. Chan JC, Burugapalli K, Huang YS, Kelly JL, Pandit A. A clinically relevant in vivo model for the assessment of scaffold efficacy in abdominal wall reconstruction. *J Tissue Eng*. 2016;8:2041731416686532. PMID: 28228932. PMCID: PMC5308531. <https://doi.org/10.1177/2041731416686532>
18. Guyton AC. Measurement of the respiratory volumes of laboratory animals. *Am J Physiol*. 1947;150(1):70–77. PMID: 20252828. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1947.150.1.70>
19. Hackam DG, Redelmeier DA. Translation of research evidence from animals to humans. *JAMA*. 2006;296(14):1731–1732. PMID: 17032985. <https://doi.org/10.1001/jama.296.14.1731>
20. Schreinemacher M, Henatsch D, van Barneveld K, Bouvy N. The need for standardised animal models and scoring systems in assessing mesh biocompatibility. *Hernia*. 2010;14(3):335–336. PMID: 20191394. PMCID: PMC2878450. <https://doi.org/10.1007/s10029-010-0642-7>
21. Turner PV, Brabb T, Pekow C, Vasbinder MA. Administration of substances to laboratory animals: routes of administration and factors to consider. *J Am Assoc Lab Anim Sci*. 2011;50(5):600–613. PMID: 22330705. PMCID: PMC3189662.
22. Wolfensohn S, Lloyd M. *Handbook of Laboratory Animal Management and Welfare*. John Wiley & Sons; 2013.
23. Galef BG Jr. Imitation in animals: history, definition, and interpretation of data from the psychological laboratory. In: Zentall TR, Galef BG Jr, eds. *Social Learning*. Psychology Press; 2013:15–40.
24. 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. PMCID: PMC7225390. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100887>
25. Qiu W, Zhong C, Xu R, et al. Novel large-pore lightweight polypropylene mesh has better biocompatibility for rat model of hernia. *J Biomed Mater Res A*. 2018;106(5):1269–1275. PMID: 29314586. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.36326>
26. Cornwell KG, Zhang F, Lineaweaver W. Bovine fetal collagen reinforcement in a small animal model of hernia with component repair. *J Surg Res*. 2016;201(2):416–424. PMID: 27020827. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.10.049>
27. 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>
- Dudzinski AN. New method of abdominal wall surgery in case of incisional hernia: comparative experimental research. *Journal of the Grodno State Medical University*. 2022;20(5):531–536. (In Russ.). <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2022-20-5-531-536>
28. Suckow MA, Duke Boynton FD, Johnson C. Use of a rat model to study ventral abdominal hernia repair. *J Vis Exp*. 2017;(128):53587. PMID: 28994802. PMCID: PMC5752351. <https://doi.org/10.3791/53587>
29. Fatkhudinov T, Tsedik L, Arutyunyan I, et al. Evaluation of resorbable polydioxanone and polyglycolic acid meshes in a rat model of ventral hernia repair. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2019;107(3):652–663. PMID: 30091512. PMCID: PMC6585936. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.34158>
30. Burcharth J, Pommergaard HC, Klein M, Rosenberg J. An experimental animal model for abdominal fascia healing after surgery. *Eur Surg Res*. 2013;51(1–2):33–40. PMID: 23969725. <https://doi.org/10.1159/000353970>
31. Suzuhigashi M, Kaji T, Nakame K, et al. Abdominal wall regenerative medicine for a large defect using tissue engineering: an experimental study. *Pediatr Surg Int*. 2016;32(10):959–965. PMID: 27476152. <https://doi.org/10.1007/s00383-016-3949-3>
32. 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: 3111322. PMCID: PMC7007910. <https://doi.org/10.1007/s10029-019-01941-9>

33. Bryan N, Ahswin H, Smart N, Bayon Y, Wohler S, Hunt JA. The in vivo evaluation of tissue-based biomaterials in a rat full-thickness abdominal wall defect model. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2014;102(4):709–720. PMID: 24155173. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.33050>
34. Chatzimavroudis G, Kalaitzis S, Voloudakis N, et al. Evaluation of four mesh fixation methods in an experimental model of ventral hernia repair. *J Surg Res*. 2017;212:253–259. PMID: 28550915. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.01.013>
35. Lyons M, Mohan H, Winter DC, Simms CK. Biomechanical abdominal wall model applied to hernia repair. *Br J Surg*. 2015;102(2):e133–e139. PMID: 25627126. <https://doi.org/10.1002/bjs.9687>
36. Simón-Allué R, Montiel JM, Bellón JM, Calvo B. Developing a new methodology to characterize in vivo the passive mechanical behavior of abdominal wall on an animal model. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2015;51:40–49. PMID: 26209832. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.06.029>

### Сведения об авторах

**Лазаренко Виктор Анатольевич**, д. м. н., профессор, ректор, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-2069-7701>

**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>

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

**Мишина Екатерина Сергеевна**, к. м. н., доцент кафедры гистологии, эмбриологии, цитологии, Курский государствен-

ный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-3835-0594>

**Объедков Евгений Геннадьевич**, к. м. н., ассистент кафедры хирургических болезней № 1, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-0566-1476>

**Костин Виктор Станиславович**, студент 5-го курса, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0001-8374-6200>

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Author credentials

**Viktor A. Lazarenko**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Rector, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-2069-7701>

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

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

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

**Evgenij G. Obedkov**, Cand. Sci. (Med.), Assistant Professor at Surgical Diseases Department No. 1, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-0566-1476>

**Viktor S. Kostin**, 5th Year Student, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-8374-6200>

**Conflict of interest:** none declared.