



Оценка эксплуатационных свойств полимерных тканеинженерных матриц на основе коллагена *in vitro*

©В.А. Липатов¹, А.А. Денисов^{1*}, Т.Н. Кудрявцева², А.С. Ванина², Е.В. Руссу¹, Н.Д. Прасолов¹

¹ Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия

² Курский государственный университет, Курск, Россия

* А.А. Денисов, Курский государственный медицинский университет, 305041, Курск, ул. К. Маркса 3,
d.artiom21@gmail.com

Поступила в редакцию 5 марта 2025 г. Исправлена 28 мая 2025 г. Принята к печати 18 июня 2025 г.

Резюме

Актуальность: Разработка и внедрение в медицинскую практику материалов, способных реструктурировать поврежденные ткани, является одним из перспективных направлений тканевой инженерии и регенеративной медицины.

Цель: Изучить физико-механические и химические свойства тканеинженерных матриц на основе коллагена морского происхождения в сериях опытов *in vitro*.

Материал и методы: В качестве материала исследования выступили 2 опытных образца матриц на основе коллагена морского происхождения: при изготовлении одного из них в качестве сшивающего агента применяли 10%-й глутаровый альдегид (1-я группа), при производстве второго был добавлен 10%-й глиоксаль (2-я группа). В качестве группы контроля выступил матрикс на основе коллагена крупного рогатого скота (3-я группа). Определяли степень деформации, сорбционную способность единицы массы и объема, степень адгезии, pH. Статистическую обработку данных осуществляли при помощи ПО Statistica 13.0 Pro (Dell Software Comp., США).

Результаты: Степень деформации образцов 3-й группы была на 8,11% ниже, чем в 1-й группе ($p=0,99$), и на 31,88% ниже, чем во 2-й группе ($p=0,0053$). Сорбционная способность единицы массы в 3-й группе в 7,2 раза выше, чем в 1-й группе ($p=0,0144$) и в 18,22 раза выше, чем во 2-й группе ($p=0,0001$). Сорбционная способность единицы объема в 3-й группе была в 4 раза выше, чем в 1-й группе ($p=0,0102$) и в 7,88 раз выше, чем во 2-й группе ($p=0,0001$). Степень адгезии образцов 1-й группы в 1,32 раза выше, чем во 2-й группе ($p\geq 0,05$), и в 1,09 раз выше, чем в 3-й группе ($p\geq 0,05$). Уровень pH образцов 3-й группы был в 1,12 раз выше, чем в 1-й группе ($p\geq 0,05$), и в 1,17 раз выше, чем во 2-й группе ($p=0,0383$).

Заключение: Таким образом, анализ эксплуатационных свойств выявил множество недостатков экспериментальных образцов с добавлением 10%-го глиоксаля, что дает убедительные доводы исключить данную группу из дальнейших этапов исследования. Образцы с добавлением 10%-го глутарового альдегида не уступают, а по некоторым показателям идентичны или превосходят манипуляционные показатели в группе контроля.

Ключевые слова: скаффолд-технологии, тканевая инженерия, эксплуатационные свойства, физико-механические свойства, химические свойства, коллаген

Цитировать: Липатов В.А., Денисов А.А., Кудрявцева Т.Н., Ванина А.С., Руссу Е.В., Прасолов Н.Д. Оценка эксплуатационных свойств полимерных тканеинженерных матриц на основе коллагена *in vitro*. *Инновационная медицина Кубани*. 2025;10(3):76–82. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2025-10-3-76-82>

In Vitro Assessment of the Performance of Collagen-Based Polymer Matrices for Tissue Engineering

©Viacheslav A. Lipatov¹, Artyom A. Denisov^{1*}, Tatyana N. Kudryavtseva², Anastasia S. Vanina²,
Elizaveta V. Russu¹, Nikolai D. Prasolov¹

¹ Kursk State Medical University, Kursk, Russian Federation

² Kursk State University, Kursk, Russian Federation

* Artyom A. Denisov, Kursk State Medical University, ulitsa Karla Marksa 3, Kursk, 305041, Russian Federation,
d.artiom21@gmail.com

Received: March 5, 2025. Received in revised form: May 28, 2025. Accepted: June 18, 2025.

Abstract

Background: The development of materials capable of regenerating damaged tissues and their implementation in medical practice is a promising direction in tissue engineering and regenerative medicine.



Objective: To investigate physicomachanical and chemical properties of marine collagen-based matrices for tissue engineering through in vitro experiments.

Materials and methods: The study materials included two experimental marine collagen-based matrices: one was produced using 10% glutaraldehyde as a cross-linking agent (Group 1), while 10% glyoxal was added during the production of the second sample (Group 2). A bovine collagen-based matrix served as the control (Group 3). The deformation degree, sorption capacity, adhesion degree, and pH were determined. Statistical analysis was performed using Statistica 13.0 Pro (Dell Software, USA).

Results: The deformation degree in group 3 was 8.11% lower than in group 1 ($P=.99$) and 31.88% lower than in group 2 ($P=.0053$). The sorption capacity (mass) in group 3 was 7.2 times higher than in group 1 ($P=.0144$) and 18.22 times higher than in group 2 ($P=.0001$). The sorption capacity (volume) in group 3 was 4 times higher than in group 1 ($P=.0102$) and 7.88 times higher than in group 2 ($P=.0001$). The adhesion degree in group 1 was 1.32 times higher than in group 2 ($P\geq .05$) and 1.09 times higher than in group 3 ($P\geq .05$). The pH level in group 3 was 1.12 times higher than in group 1 ($P\geq .05$) and 1.17 times higher than in group 2 ($P=.0383$).

Conclusions: The performance analysis revealed numerous shortcomings of the pilot samples with 10% glyoxal, warranting their exclusion from further studies. The samples with 10% glutaraldehyde demonstrated comparable or superior performance to the control group.

Keywords: scaffold technology, tissue engineering, performance, physicomachanical properties, chemical properties, collagen

Cite this article as: Lipatov VA, Denisov AA, Kudryavtseva TN, Vanina AS, Russu EV, Prasolov ND. In vitro assessment of the performance of collagen-based polymer matrices for tissue engineering. *Innovative Medicine of Kuban*. 2025;10(3):76–82. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2025-10-3-76-82>

Введение

Актуальным вопросом современной медицины является разработка и внедрение в хирургическую практику тканеинженерных 3D конструкций, способных восстановить целостность поврежденных тканей и органов, персонифицированно влиять на течение раневого процесса пациентов, перенесших оперативное вмешательство на органах брюшной полости [1–3].

Разработка и модификация технологических процессов получения полимеров, а также создание медицинских изделий на их основе, открывают перспективы для решения приоритетных задач в области тканевой инженерии в Российской Федерации. В качестве основы для создания матриц, предназначенных для культивирования клеточных колоний, коллаген является одним из наиболее предпочтительных материалов [2, 4, 5].

Однако разработка, экспериментальная оценка и внедрение перспективных тканеинженерных конструкций на основе коллагена, обладающих оптимальным сочетанием физико-механических и химических свойств, необходимых для культивирования клеток, таких как фибробласты, и пригодных для интраоперационного применения, остается актуальной проблемой медицинской биотехнологии [6–9].

Тканеинженерные трехмерные конструкции (скаффолды, матриксы) представляют собой медицинские изделия с волокнистой структурой, характеризующиеся высокой пористостью с размером пор, достаточным для поддержания жизнедеятельности конкретных клеточных культур, и удовлетворительными сорбционными свойствами. Матриксы на основе коллагена обладают выраженными биогенными свойствами. Помимо этого, скаффолды должны обеспечивать хорошую адгезию к зоне применения, а также не проявлять цитотоксичности и пирогенности [10–16].

В настоящее время недостаточно изучено влияние коллагеновых скаффолдов на уровень pH. Кислотность среды играет ключевую роль в различных био-

химических процессах, протекающих в живых системах. Таким образом, тканеинженерные конструкции должны обладать характеристиками, не оказывающими негативного воздействия на функциональную и синтетическую активность культивируемых клеток [17, 18].

Цель

В сравнительном аспекте изучить физико-механические и химические свойства тканеинженерных матриц на основе коллагена морского происхождения в сериях опытов *in vitro*.

Материалы и методы

Исследование выполнялось на базе лаборатории экспериментальной хирургии и онкологии НИИ экспериментальной медицины КГМУ и кафедры химии КГУ. Для формирования групп исследования использовали скаффолды на основе коллагена, полученного из глубоководного кальмара вида *Dosidicus gigas*, семейства *Ommastrephinae* и предоставленный ООО «АС РС» (Россия) с добавлением 10%-го глутарового альдегида в 1-й группе (СКМ 10% ГА) и 10%-го глиоксала во 2-й группе (СКМ 10% ГЛИО). В качестве контрольной группы использовали скаффолд на основе коллагена, полученный из тканей крупного рогатого скота (СККРС) (табл. 1).

Таблица 1
Перечень групп исследования
Table 1
Study groups

№ п/п	Группа	Производитель
1	СКМ 10% ГА	Совместно КГМУ, КГУ (г. Курск)
2	СКМ 10% ГЛИО	Совместно КГМУ, КГУ (г. Курск)
3	СККРС	ООО «Зеленая Дубрава» (г. Москва)

Алгоритм исследования физико-механических свойств выбранных материалов выстраивали в следующей последовательности: изучение степени деформации при полном сжатии, сорбционной способности, степени адгезии и определение pH.

Для изучения степени деформации при полном сжатии использовали стенд универсальный электромеханический РЭМ-0.2-1 (ООО «Метротест», Россия). Измеряли толщину изучаемых образцов 30×30 мм при помощи цифрового электронного микрометра iGaging® 0–1/0.00005 (iGaging, США). Затем изучаемые изделия помещали на верхней траверсе электромеханического стенда, а индентор устанавливали так, чтобы он касался верхней поверхности образцов. Затем индентор приводили в движение со скоростью 3 мм/мин до полной деформации образцов. Фиксировали силу, при которой произошло разрушение скаффолдов, а также толщину в области дефекта. Степень деформации вычисляли по формуле:

$$\varepsilon_{\text{ост}} = \frac{h_0 - h_{\text{ост}}}{h_0} \times 100 \%,$$

где $\varepsilon_{\text{ост}}$ – остаточная деформация сжатия,

h_0 – толщина образца до сжатия,

$h_{\text{ост}}$ – толщина образца после сжатия.

Для определения сорбционных свойств единицы массы и объёма скаффолдов на дно пробирок помещали металлическую конструкцию высотой 30 мм, прикрывая фильтровальной бумагой. Затем укупоривали пробирки. Рассчитывали необходимый размер образцов: длина – 10 мм, ширина – 10 мм, толщина – 1 мм и взвешивали. Образцы выдерживали в подогретой (37 °C) дистиллированной воде в течение 5 мин, затем помещали в пробирки, центрифугировали с ускорением 1500 в течение 5 мин. После центрифугирования фильтровальную бумагу и образец извлекали, снимали образец с последней и измеряли его массу. После чего рассчитывали коэффициент сорбционной способности единицы массы и объёма матрикса:

$$C_{H_2O}^m = \frac{\frac{m_{\text{обр.цен.}} - m_0}{M_{H_2O}}}{m_0}$$

$$C_{H_2O}^V = \frac{\frac{m_{\text{обр.цен.}} - m_0}{\rho_{H_2O}}}{V_0},$$

где: C_{H_2O} – сорбционная способность в отношении воды,

$m_{\text{обр.цен.}}$ – масса образца после центрифугирования,

m_0 – масса образца губки,

ρ_{H_2O} – плотность воды,

V_0 – объём образца губки.

Для оценки адгезионных свойств разработанных матриксов использовали метод *ex vivo*, позволяющий получить результаты, приближенные к реальным условиям применения. Суть метода заключалась в измерении силы, необходимой для отделения исследуемых образцов полимерных матриксов от париетальной брюшины трупа крысы. Данный этап исследования был одобрен Региональным этическим комитетом (протокол № 4 от 15 декабря 2022 г.). На первом этапе эксперимента проводили подготовку исследуемых образцов полимерных матриксов. Затем у трупа крысы выполняли П-образный разрез брюшной стенки, формируя лоскут размером 2×2 см (рис. 1).

После формирования лоскута тушка крысы была зафиксирована на предметном столике разрывной машины. После пробоподготовки выполняли измерения. Для этого на подвижной траверсе испытательного стенда устанавливали исследуемый образец, затем производили сближение образца с париетальной брюшной со скоростью 35 мм/мин. Данная скорость, по мнению авторов, является наиболее оптимальной для испытания, поскольку более высокая скорость может спровоцировать разрушение образца и повреждение тканей биоматериала. Для лучшей адгезии матрикса к брюшине их оставляли сближенными на 30 сек. По истечении заданного времени подвижную траверсу с опытным

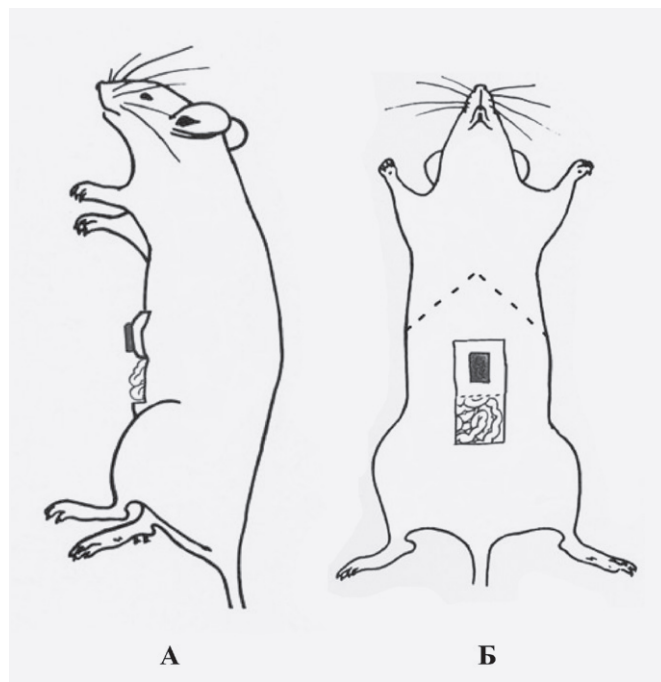


Рисунок 1. Схема выделения лоскута на тушке крысы
Прим.: А – боковая проекция, Б – прямая проекция
Figure 1. Schematic diagram of the flap isolation in a rat
Note: A, lateral view; B, frontal view

Таблица 2

Результаты исследования эксплуатационных свойств полимерных матриц в серии экспериментов *in vitro*, Me [25; 75]

Table 2

Performance of the polymer matrices in a series of *in vitro* experiments, Me [Q1; Q3]

№	Наименование образца	Характеристика				
		Степень деформации, %	Сорбционная способность		Степень адгезии, Н	рН
			Единицы массы, моль/г	Единицы объема мл/см ³		
1	СКМ 10 % ГА	38,74 [15,16; 48,56]	0,052 [0,035; 0,065]	0,1065 [0,087; 0,14]	0,61 [0,45; 0,89]	4,62 [4,54; 4,83]
2	СКМ 10 % ГЛИО	62,01 [49,68; 69,13]	0,02 [0,015; 0,031]	0,055 [0,04; 0,092]	0,46 [0,355; 0,585]	4,43 [4,32; 4,72]
3	СККРС	30,13 [14,07; 46,37]	0,371 [0,256; 0,45]	0,4335 [0,394; 0,516]	0,56 [0,45; 0,85]	5,18 [4,62; 5,3]

образцом поднимали с той же скоростью, визуально контролируя отделение образца от брюшины. После полного отделения образца на монитор разрывной машины выводили данные, основным из которых была максимальная сила, зарегистрированная в момент отрыва и измеряемая в ньютонах. После каждого измерения лоскут брюшины возвращали в исходное положение. Увлажнение участка брюшины обеспечивалось контактом с внутренними органами брюшной полости.

Для определения pH раствора после погружения в него образцов в химический стакан вместимостью 50 мл заливали 30 мл дистиллированной воды, погружали исследуемый объект и периодически помещивали при комнатной температуре 5 мин. Опыт повторяли 10 раз указанным выше способом. Уровень pH полученных растворов измеряли на pH-метре PH-2011/200 ATC (KL-911) (Kelilong, Китай), откалиброванном при помощи буферных растворов.

Полученные результаты подвергали статистической обработке при помощи лицензионного пакета Statistica 13.0 Pro (Dell Software Comp., США). Вычисляли медианные значения, в качестве доверительных интервалов указывали 25 и 75 процентиля. Для определения уровня статистической значимости различий между экспериментальными группами применяли критерий Крускала-Уоллиса. Уровень значимости при статистической обработке принимали 0,05 – допустимое значение для биомедицинских исследований.

Результаты и обсуждение

В результате внутригруппового анализа степени деформации при полном сжатии наилучший результат продемонстрировали образцы 3-й группы, деформация образцов составила 30,13%. Данный результат на 8,61% ниже, чем в 1-й группе ($p=0,99$) и на 31,88% ниже, чем в 2-й группе ($p=0,0053$). При сравнительном анализе степени деформации между 1-й и 2-й груп-

пами обнаружены статистически значимые различия ($p=0,0144$) (табл. 2, рис. 2 А).

При изучении сорбционной способности единицы массы наиболее высокий результат зафиксирован в 3-й группе (0,3713), наиболее низкий – во 2-й группе (0,02037). Статистическая значимость различий выявлена между 1-й и 3-й группами ($p=0,0018$), а также между 2-й и 3-й группами ($p=0,0001$). Рассматривая данный показатель по единице объема лучшие результаты также продемонстрировали образцы 3-й группы (0,4335), наиболее низкие значения выявлены во 2-й группе (0,055). Статистически значимые различия определяются между 1-й и 3-й группами ($p=0,0102$), а также между 2-й и 3-й группами ($p=0,0001$) (табл. 2, рис. 2 Б, В).

При исследовании усилия, необходимого для отрыва объекта исследования от брюшины *ex vivo*, выраженной адгезией обладают образцы 1-й группы (0,61 Н), самый низкий показатель демонстрируют образцы 2-й группы (0,46 Н). При этом статистически значимые различия между группами не выявлены ($p \geq 0,05$) (табл. 2, рис. 2 Г).

Наиболее высокий уровень pH зарегистрирован в 3-й группе (5,18), а наименьший – во 2-й группе (4,43). Статистически значимые различия обнаружены между 2-й и 3-й группами ($p=0,0383$) (табл. 2, рис. 2Д).

При оценке деформационных свойств образцы расположились в порядке возрастания следующим образом: 3, 1, 2. Это может указывать на большую стабильность коллагена, полученного из тканей крупного рогатого скота (3-я группа) либо на более эффективное действие сшивающего агента в составе этих образцов. Однако производитель матриц из 3-й группы не раскрывает состав и концентрацию сшивающего агента. Среди экспериментальных образцов наименьшую деформацию продемонстрировал скаффолд на основе “морского” коллагена с добавлением 10%-го глутарового альдегида. Этот кросс-линкер, вероятно, обеспечил более устойчивую к нагрузке

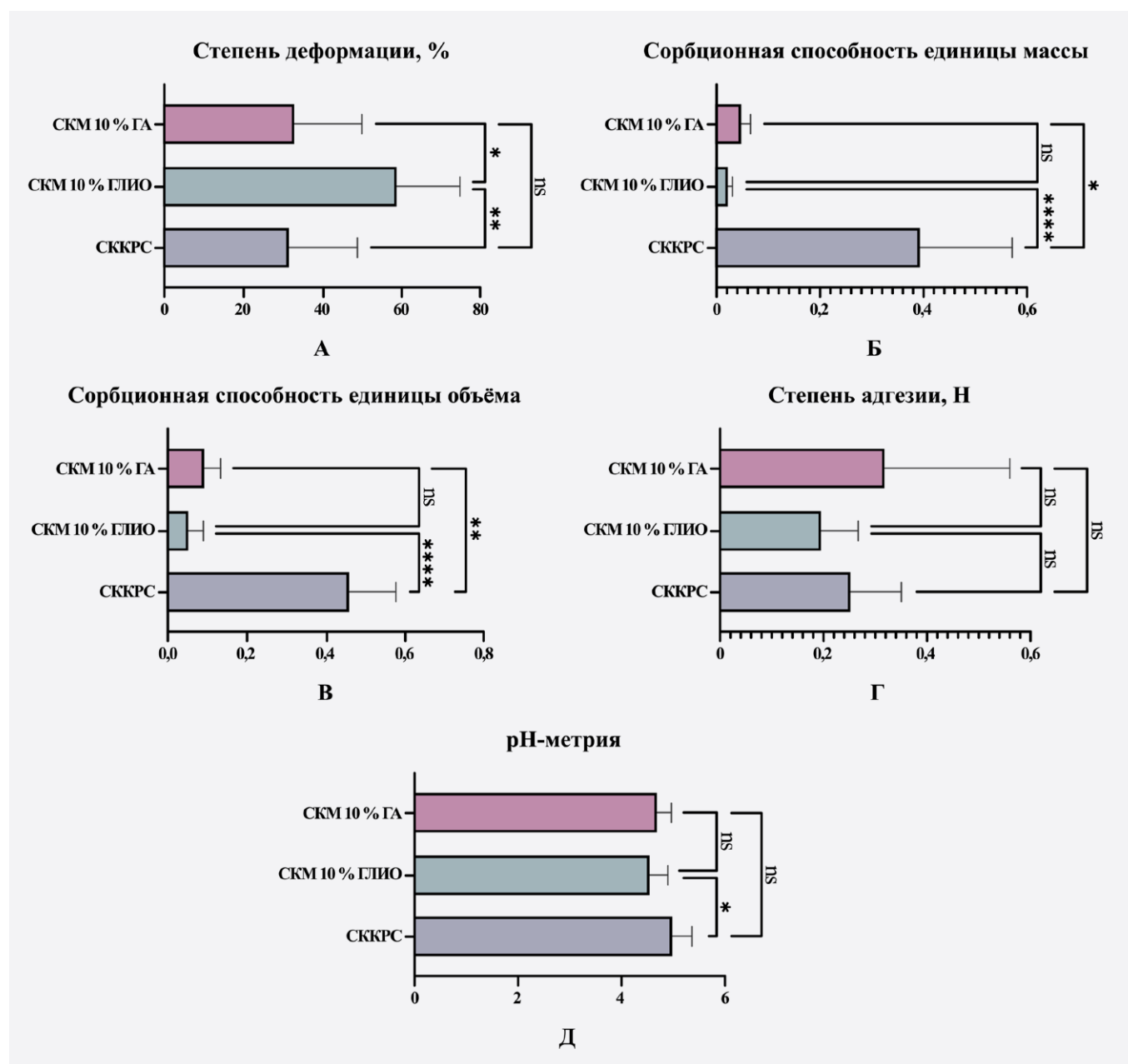


Рисунок 2. Показатели уровня статистически значимых различий исследуемых групп

Прим.: А – степень деформации, Б – сорбционная способность единицы массы, В – сорбционная способность единицы объёма, Г – степени адгезии, Д – рН

Figure 2. Statistically significant differences between the study groups

Note: А, deformation degree; Б, sorption capacity (mass); В, sorption capacity (volume); Г, adhesion degree; Д, pH

структуру изделия, что подтверждается статистически значимыми различиями в физико-механических показателях.

Сорбционная способность единицы массы и единицы объёма увеличивалась в последовательности 2, 1, 3. Вероятно, это связано с большей пористостью структуры скаффолдов из 3-й группы, что также подтверждается статистически значимыми различиями.

Исследование адгезионных свойств показало, что образцы располагаются по возрастанию адгезии в последовательности 2, 3, 1. Однако все образцы продемонстрировали приблизительно равные результаты,

не достигающие уровня статистической значимости, что позволяет предположить схожие адгезивные свойства коллагена крупного рогатого скота и морского коллагена.

При оценке рН результаты распределились по возрастанию в последовательности 2, 1, 3. Статистически значимые различия обнаружены только между 2-й и 3-й группами.

В целом данные показатели позволяют применять данные образцы на живых объектах, согласно требованиям Государственной фармакопеи 15 издания от 20 июля 2023 г. Помимо прочего, данные значения

формируют благоприятные условия для заселения матриц клетками и их функционирования.

Заключение

Таким образом, сравнительный анализ полученных данных позволяет исключить из дальнейших исследований, включая опыты на живых объектах, образцы на основе коллагена морского происхождения с 10%-м глиоксалем в качестве сшивающего агента. В то же время, аналогичный образец с 10%-м глутаровым альдегидом по ряду параметров не уступает, а по некоторым даже превосходит характеристики контрольных образцов на основе коллагена крупного рогатого скота.

Вклад авторов

Разработка концепции и дизайна исследования: В.А. Липатов, А.А. Денисов

Сбор, анализ и интерпретация данных: А.А. Денисов, Т.Н. Кудрявцева, А.С. Ванина

Подготовка и редактирование текста: А.А. Денисов, Е.В. Руссу, Н.Д. Прасолов

Проведение статистического анализа: А.А. Денисов, Е.В. Руссу, Н.Д. Прасолов

Утверждение готовой версии: В.А. Липатов, А.А. Денисов

Author contributions

Concept and design: Lipatov, Denisov

Acquisition, analysis, or interpretation of data: Denisov, Kudryavtseva, Vanina

Manuscript drafting and revising: Denisov, Russu, Prasolov

Statistical analysis: Denisov, Russu, Prasolov

Final approval of the version to be published: Lipatov, Denisov

Литература/References

1. Vroman I, Tighertz L. Biodegradable polymers. *Materials*. 2009;2(2):307–344. <https://doi.org/10.3390/ma2020307>
2. Кусков А.Н., Адылина А.П., Тихонова Т.В., Пенкина Ю.А., Кухаренко А.В. *Аналитическая химия: физико-химические методы анализа, электрохимические методы*. Московский Политех; 2020.
3. Kuskov AN, Adylina AP, Tikhonova TV, Penkina YuA, Kukharenko AV. *Analytical Chemistry: Physico-Chemical Methods of Analysis, Electrochemical Methods*. Moskovskii Politekh; 2020. (In Russ.).
4. Газетдинов Р.Р., Исламова Д.Г. Определение значений pH водных растворов методом потенциометрии. *Заметки ученого*. 2021;(11–1):198–200.
5. Gazetdinov RR, Islamova DG. Determination of pH values of aqueous solutions by the method of potentiometry. *Zametki uchenogo*. 2021;(11–1):198–200. (In Russ.).
6. Панов А.А., Липатов В.А., Северинов Д.А., Денисов А.А., Мишустин В.Н. Сравнительная оценка эксплуатационных свойств кровоостанавливающих аппликационных имплантов. *Человек и его здоровье*. 2021;24(4):17–23. <https://doi.org/10.21626/vestnik/2021-4/03>
7. Panov AA, Lipatov VA, Severinov DA, Denisov AA, Mishustin VN. Comparative assessment of the performance properties of hemostatic applications implants. *Humans and Their Health*. 2021;24(4):17–23. (In Russ.). <https://doi.org/10.21626/vestnik/2021-4/03>
8. Лебедева А.И., Мараева Е.В. Основные тенденции создания композитных 3D-скаффолдов на основе поликапролактона и гидроксиапатита. *Наука настоящего и будущего*. 2021;1:98–101.
9. Lebedeva AI, Maraeva EV. Main trends in the creation of 3D composite scaffolds based on polycaprolactone and hydroxyapatite. *Nauka nastoyashchego i budushchego*. 2021;1:98–101. (In Russ.).
10. Егорихина М.Н., Алейник Д.Я., Рубцова Ю.П. и др. Скаффолд как искусственная ниша для мезенхимальных стволовых клеток. *Гены и клетки*. 2022;17(3):82–83.
11. Egorikhina MN, Aleinik DY, Rubtsova YuP, et al. Scaffold as an artificial niche for mesenchymal stem cells. *Genes & Cells*. 2022;17(3):82–83. (In Russ.).
12. Marolt Presen D, Traweger A, Gimona M, Redl H. Mesenchymal stromal cell-based bone regeneration therapies: from cell transplantation and tissue engineering to therapeutic secretomes and extracellular vesicles. *Front Bioeng Biotechnol*. 2019;7:352. PMID: 31828066. PMCID: PMC6890555. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00352>
13. Курков А.В., Гуллер А.Е., Истратов Л.П. и др. Структурные и механические особенности, биосовместимость, биодеградация и тканевая реакция на имплантацию коллагеновых скаффолдов для тканевой инженерии. *Гены и клетки*. 2019;14(S):132.
14. Kurkov AV, Guller AE, Istranov LP, et al. Structural and mechanical features, biocompatibility, biodegradation and tissue response to implantation of collagen scaffolds for tissue engineering. *Genes & Cells*. 2019;14(S):132. (In Russ.).
15. Sundar G, Joseph J, C P, John A, Abraham A. Natural collagen bioscaffolds for skin tissue engineering strategies in burns: a critical review. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*. 2021;70(9):593–604. <https://doi.org/10.1080/00914037.2020.1740991>
16. Файзуллин А.Л., Шехтер А.Б., Истратов Л.П. и др. Биорезорбируемые коллагеновые материалы в хирургии: 50 лет успеха. *Сеченовский вестник*. 2020;11(1):59–70. <https://doi.org/10.47093/2218-7332.2020.11.1.59-70>
17. Fayzullin AL, Shekhter AB, Istranov LP, et al. Bioresorbable collagen materials in surgery: 50 years of success. *Sechenov Medical Journal*. 2020;11(1):59–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.47093/2218-7332.2020.11.1.59-70>
18. Murphy CM, Haugh MG, O'Brien FJ. The effect of mean pore size on cell attachment, proliferation and migration in collagen-glycosaminoglycan scaffolds for bone tissue engineering. *Biomaterials*. 2010;31(3):461–466. PMID: 19819008. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.09.063>
19. Badylak SF, Freytes DO, Gilbert TW. Extracellular matrix as a biological scaffold material: structure and function. *Acta Biomater*. 2009;5(1):1–13. PMID: 18938117. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2008.09.013>
20. Derwin KA, Baker AR, Spragg RK, Leigh DR, Iannotti JP. Commercial extracellular matrix scaffolds for rotator cuff tendon repair. Biomechanical, biochemical, and cellular properties. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88(12):2665–2672. PMID: 17142417. <https://doi.org/10.2106/JBJS.E.01307>
21. Liu B, Tan XY, Liu YP, et al. The adjuvant use of stromal vascular fraction and platelet-rich fibrin for autologous adipose tissue transplantation. *Tissue Eng Part C Methods*. 2013;19(1):1–14. PMID: 22681647. <https://doi.org/10.1089/ten.TEC.2012.0126>
22. Brown B, Lindberg K, Reing J, Stolz DB, Badylak SF. The basement membrane component of biologic scaffolds derived from extracellular matrix. *Tissue Eng*. 2006;12(3):519–526. PMID: 16579685. <https://doi.org/10.1089/ten.2006.12.519>
23. Поляков А. В., Богданов С. Б., Марченко Д. Н. К вопросу о лечении донорских ран с использованием клеточных технологий и вакуумной терапии. *Инновационная медицина Кубани*. 2018;4(12):34–38

Polyakov A. V., Bogdanov S. B., Marchenko D. N. On the issue of treating donor wounds using cellular technologies and vacuum therapy. *Innovative Medicine of Kuban*. 2018.;4(12):34–38 (In Russ.).

17. Коткас, И. Е., Земляной В. П. Оценка улучшения регенераторной способности печеночной ткани при использовании клеточных технологий после выполнения резекции печени. *Инновационная медицина Кубани*. 2020;№ 2(18): 51–56. <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2020-18-2-51-56>

Kotkas, I. E., Zemlyanoy V. P. Evaluation of the improvement of the regenerative capacity of liver tissue using cellular technologies after liver resection. *Innovative Medicine of Kuban*. 2020;№ 2(18): 51–56. (In Russ.). <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2020-18-2-51-56>

18. Мелконян К. И., Русинова Т. В., Асякина А. С. Разработка и экспериментальное обоснование использования ацеллюлярного дермального матрикса для герниопластики передней брюшной стенки. *Инновационная медицина Кубани*. 2023;8(3):71–79. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-3-71-79>

Melkonyan K. I., Rusinova T. V., Asyakina A. S. Development and experimental justification of the use of acellular dermal matrix for hernioplasty of the anterior abdominal wall. *Innovative Medicine of Kuban*. 2023;8(3):71–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2023-26-3-71-79>

Сведения об авторах

Липатов Вячеслав Александрович, д. м. н., проректор по научной работе и инновационному развитию, профессор кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0001-6121-7412>

Денисов Артем Александрович, ассистент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0001-5034-8580>

Кудрявцева Татьяна Николаевна, к. хим. н., доцент, руководитель научно-исследовательской лаборатории органического синтеза, Курский государственный университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-1009-3004>

Ванина Анастасия Сергеевна, ассистент кафедры химии, научно-исследовательская лаборатория органического синтеза, Курский государственный университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-2862-067X>

Руссу Елизавета Валерьевна, студент 6-го курса, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0009-0005-7445-7710>

Прасолов Николай Дмитриевич, студент 6-го курса, Курский государственный медицинский университет (Курск, Россия). <https://orcid.org/0009-0005-8211-4638>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Viacheslav A. Lipatov, Dr. Sci. (Med.), Vice-Rector for Scientific Work and Innovative Development, Professor at the Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-6121-7412>

Artyom A. Denisov, Assistant Professor at the Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-5034-8580>

Tatyana N. Kudryavtseva, Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Head of the Research Laboratory of Organic Synthesis, Kursk State University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-1009-3004>

Anastasia S. Vanina, Assistant Professor at the Department of Chemistry, Research Laboratory of Organic Synthesis, Kursk State University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-2862-067X>

Elizaveta V. Russu, 6th year student, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0005-7445-7710>

Nikolai D. Prasolov, 6th year student, Kursk State Medical University (Kursk, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0005-8211-4638>

Conflict of interest: none declared.