

ХИРУРГИЯ SURGERY

ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАНОПРОТЕКТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ПОВЫШЕНИЯ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ АУТОЛОГИЧНОГО ЖИРОВОГО ТРАНСПЛАНТАТА

**Колесник В.Я.,
Пахомова Р.А.,
Колесник А.А.**

ФГБОУ ВО «Российский
биотехнологический университет
(РОСБИОТЕХ)» (125080, г. Москва,
Волоколамское шоссе, д. 11, Россия)

Автор, ответственный за переписку:
Колесник Василий Ярославович,
e-mail: v.kolesnik@bk.ru

РЕЗЮМЕ

Обоснование. Трансплантация аутологичной жировой ткани становится все более популярна в реконструктивной хирургии, однако основной нерешенной проблемой на текущий момент является высокий процент частичной потери объема из-за резорбции аутотрансплантата.

Цель исследования. Оценка жизнеспособности адипоцитов в условиях инкубации в растворах различного биохимического состава и клиническая апробация эффективности оптимизированного жирового трансплантата.

Методы. Производился сравнительный спектральный анализ содержания ионов (преимущественно кислорода) в цитоплазме жировых клеток, высаженных из образцов растворов на твердую подложку при помощи растрового электронного микроскопа в низком вакууме. Исследовался состав в 3 образцах, которые провели 6 часов в искусственных растворах. Для анализа данных энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии использовалась программа EDAX TEAM.

Результаты. Статистический и морфологический анализ полученных результатов выявил различия в составе жизнеспособных клеток в исследуемых образцах, варьирующиеся в пределах до 50 %. Наиболее эффективным оказался раствор с диметилкобобутилфосфонилдиметилатом, продемонстрировавший оптимальный уровень содержания ионов кислорода (O), а также выраженную целостность клеточной мембраны по сравнению с другими образцами в ходе проведения электронной микроскопии, а также гистологического исследования.

Заключение. Одним из ключевых факторов является медикаментозная поддержка жировой ткани на начальных этапах приживления после трансплантации. Путем измерения содержания ионов во внутриклеточном матрикс мы смогли рассмотреть в лабораторных условиях влияние растворов различных веществ для достижения данной цели. Для сохранения аутотрансплантата лучшим вариантом является раствор с мембранопротектором диметилкобобутилфосфонилдиметилата по способности сохранения гомеостаза клетки.

Ключевые слова: реконструктивная хирургия, ионный состав, электронная микроскопия, гипоксия, липофилинг

Статья поступила: 08.06.2025
Статья принята: 09.10.2025
Статья опубликована: 26.11.2025

Для цитирования: Колесник В.Я., Пахомова Р.А., Колесник А.А. Применение мембранопротекторов в процессе повышения жизнеспособности аутологичного жирового трансплантата. *Acta biomedica scientifica*. 2025; 10(5): 224-232. doi: 10.29413/ABS.2025-10.5.24

APPLICATION OF MEMBRANE-PROTECTANT IN THE PROCESS OF INCREASING THE VIABILITY OF AUTOLOGOUS FAT GRAFT

**Kolesnik V.Ya.,
Pakhomova R.A.,
Kolesnik A.A.**

Russian Biotechnological University
(Volokolamskoe highway, 11, 125080
Moscow, Russian Federation)

Corresponding author:
Vasilii Ya. Kolesnik,
e-mail: v.kolesnik@bk.ru

RESUME

Background. Autologous adipose tissue transplantation is becoming increasingly popular in reconstructive surgery, but the main unsolved problem at the moment is the high percentage of partial volume loss due to autograft resorption.

The aim. Evaluation of the viability of adipocytes under incubation in solutions of different biochemical compositions, and clinical testing of the effectiveness of an optimized fat graft.

Materials and methods. The comparative spectral analysis of the content of ions (mainly oxygen) in the cytoplasm of fat cells grown from solution samples on a solid substrate using a scanning electron microscope in low vacuum was performed. The composition in 3 samples that spent 6 h in artificial solutions was investigated. The EDAX TEAM program was used to analyze the energy dispersive X-ray spectroscopy data.

Results. Statistical and morphological analysis of the obtained results revealed differences in the composition of viable cells in the studied samples, varying up to 50%. The most effective was the solution with dimethyloxobutylphosphonyldimethylate, which demonstrated an optimal level of oxygen ion content (O), as well as pronounced integrity of the cell membrane compared to other samples during electron microscopy and histological examination.

Conclusion. One of the key factors is the medication support of the autograft during the initial stages of engraftment after transplantation. By measuring the ionic content of the intracellular matrix, we were able to examine in vitro the effect of solutions of different substances to achieve this goal. For autograft preservation, the best option is a solution with a membrane protector dimethyloxobutylphosphonyldimethylate for its ability to preserve cell homeostasis.

Keywords: reconstructive surgery, ionic composition, electron microscopy, hypoxia, lipofilling

Received: 08.06.2025
Accepted: 09.10.2025
Published: 26.11.2025

For citation: Kolesnik V.Ya., Pakhomova R.A., Kolesnik A.A. Application of membrane-protectant in the process of increasing the viability of autologous fat graft. *Acta biomedica scientifica*. 2025; 10(5): 224-232. doi: 10.29413/ABS.2025-10.5.24

ВВЕДЕНИЕ

Пересадка аутологичной жировой ткани становится все более популярной – статистика указывает на 10 % ежегодный прирост количества проведенных операций с участием липофилинга в России [1]. Помимо эстетических коррекций данная ткань все чаще начинает использоваться в различных реконструктивных методиках, в частности, выступая заменой синтетических имплантов или препаратов с объемообразующими функциями (например, на основе гиалуроновой кислоты) [2, 3, 4]. Либо в комплексе имплант-аутоотрансплантат для получения лучших результатов [5].

Особое внимание обращено на закрытие глубоких дефектов мягких тканей при помощи аутоотрансплантации жировой ткани. Данный способ является предпочтительным на фоне длительно незаживающих ран с дном в виде кости, имея преимущества в виде простоты выполнения и хорошего эстетического результата после дальнейшей дермопластики [6].

Вследствие этого можно говорить о все большей популярности использовании жировой ткани. К сожалению, как и у любого метода, у липофилинга имеются собственные недостатки. Ключевыми осложнениями липофилинга являются ишемия, гипоксия и некроз пересаженной жировой ткани. Эти состояния развиваются вследствие недостаточного неоангиогенеза и ограниченного диффузионного снабжения трансплантата кислородом и питательными веществами. Нарушение микроциркуляции приводит к каскаду ишемических изменений, которые проявляются прогрессирующей клеточной гипоксией и гибелью адипоцитов. В клинической практике это выражается частичной резорбцией трансплантата, формированием кистозных полостей и очагов жирового некроза, что существенно снижает прогнозируемость и стабильность результата. Резорбция жировой ткани после пересадки периодически может достигать 80 % [7]. И на текущий момент имеются исследования по увеличению жизнеспособности клеток при помощи добавления собственных мезенхимальных стволовых клеток или обработкой липоаспирата радиочастотной гелиевой плазмой [8, 9].

В связи с этим, в ходе данного исследования были рассмотрены растворы, повышающие выживаемость клеток трансплантата. Создание оптимального микроокружения необходимо для потенцирования антиоксидантного эффекта, ускорения приживления, сокращения сроков реваскуляризации, увеличения стабильности мембран клеток за счет цитопротекторных свойств.

Для этого необходимо понимание механизмов питания жировой ткани после трансплантации, включая источники веществ и пути их доставки к клеточным структурам.

Изначально считалось, что пересаженная ткань ускоренно реваскуляризируется за счет формирования сосудистых анастомозов между капиллярами жирового трансплантата и сосудистой сетью реципиентной зоны [10]. То есть выживаемость определялась

их реваскуляризацией и обеспечением адекватного кровоснабжения из сосудистой сети реципиентной зоны. Было показано, что только поверхностный слой липографта толщиной около 300 мкм доступен микроциркуляции из капилляров реципиентной зоны, с дальнейшим восстановлением кровотока за счет неоангиогенеза. В связи с этим как раз лучшую выживаемость показывают небольшие жировые конгломераты, а не крупные объемные участки трансплантируемой ткани, вводимые в реципиентную зону единым массивом без равномерного распределения [11]. По генетическим исследованиям свободные трансплантаты жировой ткани подвергаются метаболическому перепрограммированию в сторону гликолитического пути [12]. Переход с аэробного энергетического обмена на гликолитический позволяет клеткам выживать в условиях дефицита кислорода. В результате гликолитической утилизации глюкозы формируются 2 молекулы АТФ, а не 36, как при аэробном пути. Что при недостаточном кровоснабжении приводит к быстрому опустошению собственных клеточных запасов. Также при недостатке кислорода прерывается превращение лактата в пируват, что приводит к накоплению лактата и последующему развитию локального тканевого ацидоза [13].

Оптимизация микроокружения трансплантата путем применения специализированных растворов, обеспечивающих клеточный гомеостаз и метаболическую активность (антиоксиданты (глутатион, маннитол), мембранопротекторы (Диметилкоксобутилфосфонилдиметилат) [14], субстраты энергетического обмена (аденозин) и другие), является ключевым подходом к предотвращению или компенсаторной коррекции данных патологических механизмов.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплексная оценка жизнеспособности адипоцитов в условиях инкубации в растворах различного биохимического состава и клиническая апробация эффективности оптимизированного жирового трансплантата в реконструкции дефектов мягких тканей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках настоящего исследования была проведена количественная оценка внутриклеточного ионного состава, в частности содержания кислорода и других элементов, в цитоплазме клеток жировой ткани, подвергнутой воздействию различных сред хранения. В качестве биологического материала использовали жировую ткань, полученную у 3 пациентов (женский пол, 30–35 лет, без хронических заболеваний) в ходе плановой эстетической верхней блефаропластики. Все образцы были отобраны в асептических условиях и не подвергнуты дополнительной обработке. После получения материал был разделён на три идентичных по объему и массе части (Образцы № 1–3), каждая

из которых подвергалась воздействию одной из исследуемых сред хранения.

Характеристика экспериментальных групп:

Образец № 1 (контроль) — хранился в стандартном растворе для инъекций без дополнительных ионных добавок. Использовался в качестве контрольной среды с минимальным ионным воздействием.

Образец № 2 — инкубировался в 0,9 % растворе натрия хлорида (физиологический раствор), что имитирует наиболее часто применяемую среду в клинической практике.

Образец № 3 — помещён в 15 % раствор диметилноксобутилфосфонилдиметилата, обладающего потенциальными антиоксидантными и мембраностабилизирующими свойствами.

Все образцы хранились при температуре $+22 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение строго фиксированного времени – 6 часов.

По завершению данного периода каждая проба подвергалась анализу методом сканирующей электронной микроскопии в условиях низкого вакуума (Low Vacuum Scanning Electron Microscopy, LVSEM). Для количественной оценки ионного состава использовался энергодисперсионный рентгеновский спектральный анализ (EDX), реализованный с применением программного обеспечения EDAX TEAM™. Путём количественного элементного анализа, проведённого методом энергетически-дисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX) с использованием алгоритма eZAF (ZAF-коррекция), была осуществлена проверка на наличие характерных пиков на спектральном графике, которые могли бы свидетельствовать об увеличении концентрации дополнительных ионов, не включенных в программу данного исследования.

Количественные показатели представлены в виде среднего значения (M) \pm стандартной ошибки среднего (m), а также медианы (Me) и межквартильного размаха ($Q1-Q3$). Нормальность распределения проверялась с помощью критерия Шапиро – Уилка. Для сравнения использовали t -критерий Стьюдента или U -критерий Манна – Уитни (в зависимости от распределения). При анализе более двух групп применялся дисперсионный анализ (ANOVA) с апостериорной проверкой по Тьюки. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Измерения проводились на репрезентативных участках цитоплазмы диаметром 25 микрометров. Повторные сканирования ($n = 3$ на образец) позволили определить средние значения содержания ключевых ионов, включая кислород, натрий, калий и хлор. Полученные данные подвергались сравнительному анализу с целью выявления изменений ионного профиля в зависимости от состава среды хранения.

Было проанализировано 103 иностранных и отечественных источников литературы, индексированных в РИНЦ, PubMed, Scopus, SSCI. Для статьи использовано 22 источника, из них 18 – опубликованные за последние 5 лет.

Далее у пациента получено информированное согласие на использование данных в виде фотографий,

публикацию клинического случая, пациент предупрежден о возможных рисках и осложнениях и проведено клиническое исследование.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основной целью являлась оценка влияния химического состава среды на сохранность внутриклеточного ионного состава, который может служить индикатором клеточной жизнеспособности в трансплантируемой жировой ткани и может существенно меняться в ходе их хранения, обработки и трансплантации [15, 16]. Уровень кислорода может служить диагностическим маркером при оценке жизнеспособности клеток [17, 18], который может быть исследован при помощи электронной микроскопии со спектральным анализом адипоцитов.

В каждом образце были выбраны визуально интактные клетки (рис. 1):

Поверхностные контуры клеток: клетка имеет правильную округлую или овальную форму, контур чёткий, без разрывов, складок и деформации.

Клеточная мембрана: гладкая или с равномерной мелкозернистой структурой, отсутствуют дефекты – трещины, поры, зоны деструкции.

Артефакты плазмолиза/повреждения: отсутствуют морщинистые и коллапсированные клетки, нет признаков «расплывания» мембраны или её фрагментации.

Равномерность поверхности: интактные клетки имеют однородную поверхность.

На фото отмечены:

1. Волокна твердой подложки (целлюлоза);
2. Остатки соединительной ткани;
3. Капли раствора;
4. Адипоцит.

Визуальный анализ путем электронной микроскопии был взят в качестве метода оценки морфологии [19, 20]. И показал, что наилучшее сохранение клеточной структуры продемонстрировал Образец № 3, инкубированный в течение 6 часов в растворе, содержащем диметилноксобутилфосфонилдиметилат (рис. 1С). При исследовании методом сканирующей электронной микроскопии отмечается равномерность и целостность поверхностных контуров клеток, отсутствие значимых признаков плазмолиза и мембранной деструкции, что может свидетельствовать о мембраностабилизирующем действии компонента раствора.

В отличие от него, Образцы № 1 и № 2, находившиеся соответственно в растворе для инъекций и физиологическом растворе NaCl (0,9 %), соответственно, демонстрировали очаговые изменения морфологии клеточных оболочек с локальными зонами деформации и неровностями периметра. Подобные изменения могут указывать на снижение структурной целостности клеточных мембран в условиях отсутствия специфического мембранопротектора, которым, вероятно, обладает диметилноксобутилфосфонилдиметилат.

Далее в ходе исследования проведен анализ количественного содержания ионов (рис. 2) и спектральный анализ (табл.) в образцах. Полученные данные позволили сопоставить влияние различных растворов на уровень ионного гомеостаза в адипоцитах и выявить предпочтительную среду для кратковременного хранения жировой ткани с целью трансплантации.

Анализ спектрального состава клеточной среды показал, что в Образцах № 2 и № 3 регистрируется достоверное повышение концентрации ионов кислорода по сравнению с Образцом № 1 (контроль). Повышенная доля O по данным EDX может отражать более

высокую метаболическую активность или улучшенные условия тканевого дыхания в результате воздействия компонентов исследуемых растворов, в частности — физиологического раствора NaCl и диметилноксобутилфосфонилдиметилата. Однако одновременно с этим выявлено повышение концентрации ионов натрия, особенно в растворе NaCl. Данный факт требует особого внимания, так как натрий является основным внеклеточным катионом, и его внутриклеточное накопление может служить маркером нарушения ионного гомеостаза. Избыточное поступление Na^+ в клетку способно приводить к осмотическому дисбалансу,

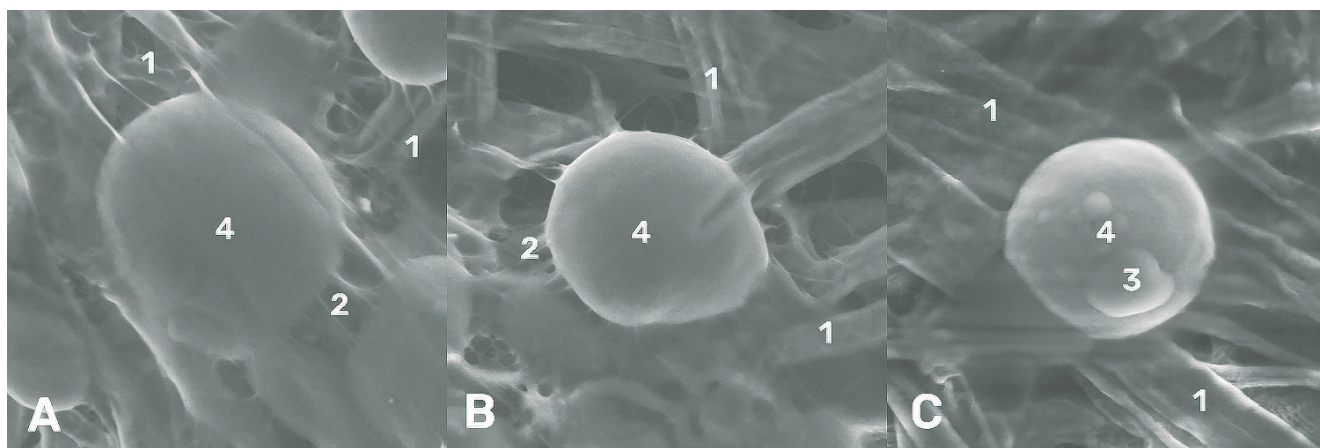


РИС. 1. Исследование адипоцитов посредством растровой электронной микроскопии в режиме низкого вакуума (A – раствор для инъекций, B – 0,9 % NaCl, C – 15 % Диметилноксобутилфосфонилдиметилат)

FIG. 1. Study of adipocytes by electron microscopy (A – solution for injection, B – 0.9 % NaCl, C – 15 % Dimethylnoxobutylphosphonyldimethylate)

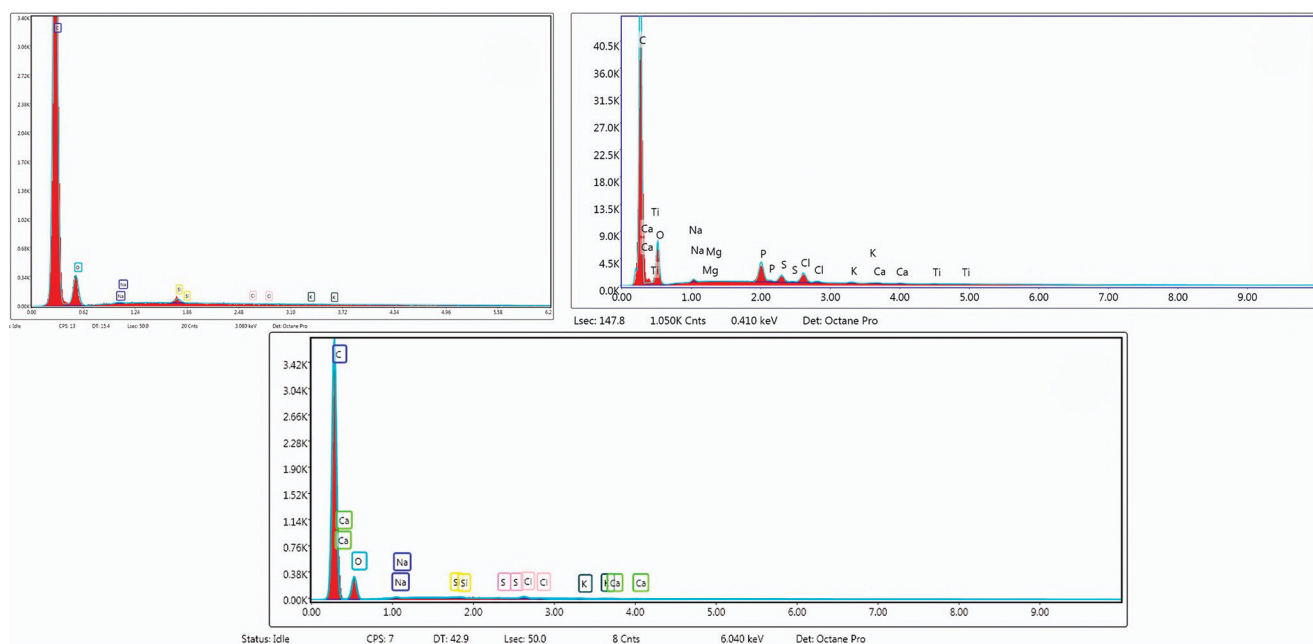


РИС. 2. eZAF Smart Quant Results. (A – раствор для инъекций, B – 15 % диметилноксобутилфосфонилдиметилат, C – 0,9 % NaCl)

FIG. 2. eZAF Smart Quant Results. (A – injectable solution, B – 15 % dimethylnoxobutylphosphonyldimethylate, C – 0.9 % NaCl)

дестабилизации мембранного потенциала и активации каскадов, связанных с нарушением клеточной функции и гибелью [21, 22, 23]. Это указывает на важность подбора среды, обеспечивающей как мембранную стабильность, так и физиологически сбалансированное ионное окружение для сохранения жизнеспособности трансплантируемых клеток.

В ходе исследования для поиска «пиков» ионов, не входящих в структуру исследования, но которые могут повлиять на жизнеспособность, отмечалось только появление ионов фосфора в образце с Диметилкобутилфосфонилдиметилатом, что происходит из-за состава самого препарата.

В рамках клинического наблюдения (одобрено Локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «РОСБИО-ТЕХ» (Москва, Волоколамское шоссе, дом 11) протокол № 9/4-6 от 28 апреля 2025 г.) дополнительно была проведена пересадка жирового ауто трансплантата с подтверждением лабораторных результатов (рис. 3).

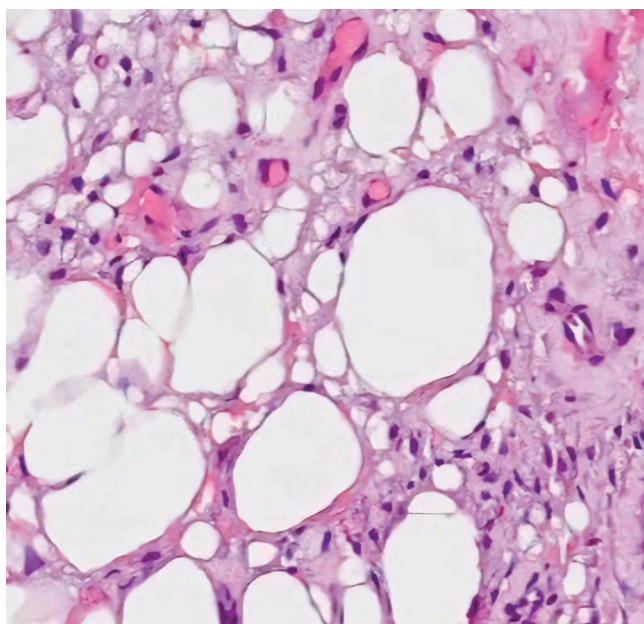
Объективный статус пациента: дефект мягких тканей размером 5 × 3 см с обнажением мышечных волокон, с умеренными признаками воспаления. Периферический отёк и гиперемия кожи, наличие фибрина. Общие показатели крови в пределах умеренного воспалительного ответа.

Ход лечения: после проведения хирургической обработки раны был получен жировой трансплантат из области передней брюшной стенки, с соблюдением стандартной методики липоаспирации, проведённой с применением инфильтрационного раствора (0,9 % NaCl с добавлением лидокаина и адреналина). Полученный липоаспират был разделён на две равные части: одна часть трижды промывалась стандартным изотоническим раствором, вторая – трижды раствором с 15 % содержанием диметилкобутилфосфонилдиметилата. И далее добавление исследуемых растворов в соотношении 1:10 – 1 часть раствора к 10 частям промытого липоаспирата (добавление производится

ТАБЛИЦА
КОЛИЧЕСТВЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ
(SUM SPECTRUM)

TABLE
QUANTITATIVE ION CONTENT (SUM SPECTRUM)

Element	Образец	Repeats (n=3)	M ± m	Me (Q1–Q3)
C	1	83,9; 84,7; 85,2	84,60±0,38	84,70 (83,90–85,20)
C	2	79,1; 80,2; 81,0	80,10±0,48	80,20 (79,10–81,00)
C	3	75,5; 76,4; 77,5	76,47±0,59	76,40 (75,50–77,50)
O	1	14,3; 14,9; 15,4	14,87±0,33	14,90 (14,30–15,40)
O	2	18,5; 19,2; 20,0	19,23±0,37	19,20 (18,50–20,00)
O	3	21,8; 22,5; 23,0	22,43±0,33	22,50 (21,80–23,00)
Na	1	0,10; 0,13; 0,16	0,13±0,03	0,13 (0,10–0,16)
Na	2	0,22; 0,28; 0,34	0,28±0,06	0,28 (0,22–0,34)
Na	3	0,15; 0,19; 0,23	0,19±0,04	0,19 (0,15–0,23)
S	1	0,08; 0,11; 0,16	0,12±0,04	0,11 (0,08–0,16)
S	2	0,02; 0,05; 0,08	0,05±0,02	0,05 (0,02–0,08)
S	3	0,45; 0,55; 0,65	0,55±0,10	0,55 (0,45–0,65)
Cl	1	0,01; 0,03; 0,05	0,03±0,02	0,03 (0,01–0,05)
Cl	2	0,15; 0,24; 0,32	0,24±0,09	0,24 (0,15–0,32)
Cl	3	0,18; 0,21; 0,25	0,21±0,04	0,21 (0,18–0,25)
K	1	0,02; 0,04; 0,06	0,04±0,02	0,04 (0,02–0,06)
K	2	0,05; 0,07; 0,09	0,07±0,02	0,07 (0,05–0,09)
K	3	0,10; 0,16; 0,18	0,15±0,04	0,16 (0,10–0,18)
Ca	1	0,04; 0,05; 0,06	0,05±0,01	0,05 (0,04–0,06)
Ca	2	0,03; 0,05; 0,08	0,05±0,02	0,05 (0,03–0,08)
Ca	3	0,07; 0,10; 0,11	0,09±0,02	0,10 (0,07–0,11)



А

РИС. 3.

Гистологическое исследование. Окраска гематоксилин-эозин. Увеличение $\times 20$. (А – липоаспират, обработанный 15 % раствором диметилхобутилфосфонилдиметилатом, Б – липоаспират, обработанный 0,9 % NaCl)

к тому образцу, который промывался тем же раствором). После подготовки трансплантаты были распределены по всей глубине дефекта. Обе зоны пересадки были покрыты сетчатой асептической повязкой с использованием раневого средства «Воскопран», после чего наложена система вакуумной терапии (VAC) для повышения приживаемости и создания контролируемой среды заживления.

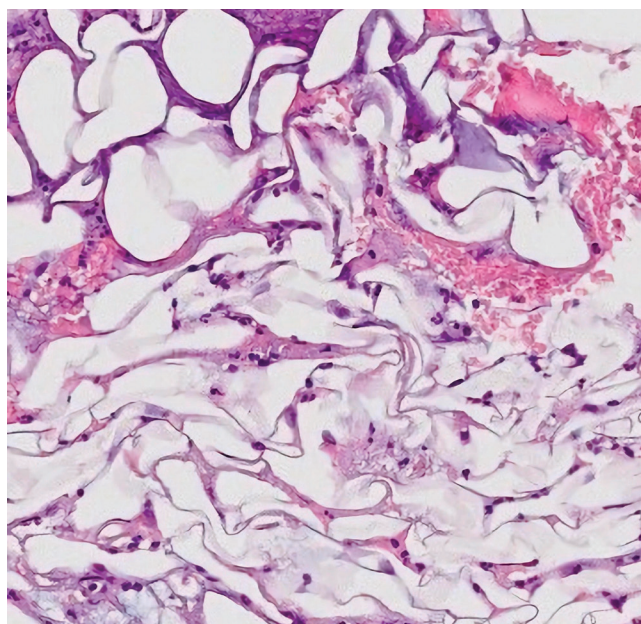
На 5-е сутки проведена перевязка с визуальной оценкой состояния трансплантата и динамики заживления. Также произведен забор образцов ткани для гистологического исследования (рис. 3).

Результаты гистологии продемонстрировали наличие зрелых адипоцитов с сохранённой морфологической структурой в зоне, где применялся Димефосфон. В контрольной зоне 0,9 % NaCl отмечалась фрагментарность клеточных структур, признаки частичной деструкции мембран.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Помимо технических аспектов трансплантации жировой ткани (объём инъекции, анатомические особенности реципиентной области, высокое давление при введении), ключевым фактором является подготовка ауто трансплантата. В настоящем исследовании изучалось влияние различных методов обработки забранной ткани на жизнеспособность адипоцитов.

Наиболее благоприятные результаты были получены для Образца № 3, инкубированного в растворе



Б

FIG. 3.

Histological examination. Hematoxylin and eosin staining. Magnification $\times 20$. (A – lipoaspirate treated with 15 % dimethylxobutylphosphonyldimethylate, Б – lipoaspirate treated with 0.9 % NaCl)

с диметилхобутилфосфонилдиметилатом, что проявлялось как в высоком уровне кислородного насыщения, так и в сохранности клеточных мембран. Образец № 2, находившийся в изотоническом растворе NaCl, демонстрировал удовлетворительные показатели кислородной концентрации, однако отличался повышенным содержанием внутриклеточных ионов натрия и хлора и меньшей стабильностью мембран.

Гистологическое исследование подтвердило преимущество использования специализированного раствора: в группе с диметилхобутилфосфонилдиметилатом преобладали зрелые адипоциты с интактной морфологической структурой и минимальными признаками липонекроза, тогда как в группе с NaCl наблюдалась выраженная фрагментация клеток и обширные зоны некроза, что свидетельствует о снижении жизнеспособности трансплантата.

Полученные данные подтверждают положительное влияние специализированных растворов на сохранение жизнеспособности адипоцитов и подчеркивают необходимость дальнейших исследований с различными составами, включая клиническую оценку раствора с диметилхобутилфосфонилдиметилатом как перспективного мембраностабилизирующего средства.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Работа выполнена без спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Вобляя И.Н., Королева Н.В., Мореева Е.Г. Маркетинговый анализ рынка пластической хирургии в России. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2020; 28(2): 227-233. [Voblaya IN, Koroleva NV, Moreeva EG. Marketing analysis of the plastic surgery market in Russia. *Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine*. 2020; 28(2): 227-233. (In Russ.)]. doi: 10.32687/0869-866X-2020-28-2-227-233
2. Мартюшева А.С., Солдаткина Д.А. Перспективы пластической хирургии в 2020 году. *Вестник Совета молодых учёных и специалистов Челябинской области*. 2021; 1(32): 30-33. [Martyusheva AS, Soldatkina DA. Prospects of plastic surgery in 2020. *Bulletin of the Council of Young Scientists and Specialists of the Chelyabinsk Region*. 2021; 1(32): 30-33. (In Russ.)].
3. Лаврентьева Э.А., Хлысталов М.В., Мороз С.Е., Ходорович О.С., Королев А.Г., Ибадуллаева С.С., и др. Гистологическое сравнение липофилинга и препарата на основе гиалуроновой кислоты после введения крысам через 30 дней. *Доклады Российской академии наук. Науки о жизни*. 2025; 520(1): 57-62. [Lavrentyeva EA, Khlystalov MV, Moroz SE, Khodorovich OS, Korolev AG, Ibadullaeva SS, et al. Histological comparison of lipofilling and a hyaluronic acid-based drug after administration to rats after 30 days. *Reports of the Russian Academy of Sciences. Life Sciences*. 2025; 520(1): 57-62. (In Russ.)]. doi: 10.31857/S2686738925010101
4. Brébant V, Weiherer M, Noisser V, Seitz S, Prantl L, et al. Implants Versus Lipograft: Analysis of Long-Term Results Following Congenital Breast Asymmetry Correction. *Aesthetic Plastic Surgery*. 2022; 46: 2228-2236. doi: 10.1007/s00266-022-02843-5
5. Мариничева Е.В., Мариничева И.Г., Мантурова Н.Е., Ганьшин И.Б. Липофилинг или силиконовые имплантаты: композитная пластика нижних конечностей. *Пластическая хирургия и эстетическая медицина*. 2022; 4: 10-17. [Marinicheva EV, Marinicheva IG, Manturova NE, Ganshin IB. Lipofilling or silicone implants: composite plasty of the lower limbs. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine*. 2022; 4: 10-17. (In Russ.)]. doi: 10.17116/plast.hirurgia202204110
6. Марков С.Н., Спиридонов А.А., Слепов А.В. Возможность применения жировой аутокани для этапного закрытия раны голени. *Раны и раневые инфекции. Журнал имени проф. Б.М. Костюченко*. 2021; 8(3): 48-53. [Markov SN, Spiridonov AA, Slepov AV. Possibility of fat autotissue application for stage closure of the shin wound. *Wounds and wound infections. Journal of Prof. B.M. Kostyuchyonok*. 2021; 8(3): 48-53. (In Russ.)]. doi: 10.25199/2408-9613-2021-8-3-46-51
7. Храмова Н.И., Плаксин С.А., Соцков А.Ю., Пonomarev Д.Н. Применение методики аутооттрансплантации жировой ткани у пациентов с контурными деформациями, дефектами кожи и мягких тканей. *Пермский медицинский журнал*. 2022; 39(4): 97-107. [Khramtsova NI, Plaksin SA, Sotskov AY, Ponomarev DN. Application of the technique of autotransplantation of adipose tissue in patients with contour deformities, skin and soft tissue defects. *Perm Medical Journal*. 2022; 39(4): 97-107. (In Russ.)]. doi: 10.17816/pmj39497-107
8. Даштоян Г.Э., Старцева О.И. Исследование влияния мезенхимальных стволовых клеток на приживаемость жировых аутооттрансплантатов: актуальность, эффективность, онконастороженность. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки*. 2022; 08: 164-173. [Dashtoyan GE, Startseva OI. Investigation of the influence of mesenchymal stem cells on the engraftment of fat autotransplants: relevance, efficiency, oncologic precaution. *Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences*. 2022; 08: 164-173. (In Russ.)]. doi: 10.37882/2223-2966.2022.08.12
9. Sterodimas A. Helium Plasma Effect on Breast Stromal-Enriched Lipograft: A Case Report. *Aesthetic Surgery Journal Open Forum*. 2024; 6: ojae087. doi: 10.1093/asjof/ojae087
10. Peer LA. Cell survival theory versus replacement theory. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1955; 16(3): 161-168.
11. Eto H, Kato H, Suga H, Aoi N, Doi K, Kuno S, et al. The fate of adipocytes after nonvascularized fat grafting: evidence of early death and replacement of adipocytes. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2012; 129(5): 1081-1092. doi: 10.1097/PRS.0b013e31824a2b19
12. Lee K, Jeong W, Choi J, Kim J, Son D, Jo T. Fat graft survival requires metabolic reprogramming toward the glycolytic pathway. *Journal of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery*. 2023; 83: 23-31. doi: 10.1016/j.bjps.2023.04.010
13. Богданова Н.М., Новикова В.П., Хавкин А.И., Дехтярева Н.С. Лактат и лактоацидоз: основные патогенетические механизмы в развитии заболеваний. *Вопросы диетологии*. 2020; 10(1): 45-52. [Bogdanova NM, Novikova VP, Khavkin AI, Dekhtyareva NS. Lactate and lactoacidosis: the main pathogenetic mechanisms in the development of diseases. *Voprosy Dietologii*. 2020; 10(1): 45-52. (In Russ.)]. doi: 10.20953/2224-5448-2020-1-45-52
14. Визель А.А., Визель А.О., Щукина Л.И. Диметил-оксобутилфосфонилдиметилат (Димефосфон): применение в пульмонологии и фтизиатрии. *Атмосфера. Пульмонология и аллергология*. 2013; 3: 40-44. [Vizel AA, Vizel AO, Shchukina LI. Dimethyl oxobutylphosphonyl dimethylate (Dimephosphon): application in pulmonology and phthysiology. *Atmosfera. Pulmonologiya i allergologiya*. 2013; 3: 40-44 (In Russ.)].
15. Yang H, Acker J, Chen A, McGann L. In situ assessment of cell viability. *Cell Transplant*. 1998; 7(5): 443-51. doi: 10.1177/096368979800700503
16. Luze H, Einsiedler J, Nischwitz SP, Winter R, Kolb D, Kamolz LP, et al. Quality and Vitality of Autologous Fat Grafts Harvested by Different Techniques: A Clinical Comparison Study. *Aesthet Surg J*. 2022; 42(12): 1416-1424. doi: 10.1093/asj/sjac192
17. Urakov AL, Urakova AL, Shabanov PD. Hypoxic irreversible brain cells damage, associated risk factors and antihypoxants. *Reviews on Clinical Pharmacology*

and Drug Therapy. 2024; 22(3): 277-288. doi: 10.17816/RCF629408

18. Игнатенко Г.А., Бондаренко Н.Н., Туманова С.В. Факторы, индуцируемые гипоксией: детали создают «картину». Часть I. HIF-1. *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2023; 8(3): 93-106. [Ignatenko GA, Bondarenko NN, Tumanova SV. Hypoxia-Inducible Factors: Details Create a "Picture". Part I. HIF-1. *Fundamentalnaia i klinicheskaia meditsina*. 2023; 8(3): 93-106. (In Russ.)]. doi: 10.23946/2500-0764-2023-8-3-93-106

19. Артамонов А.А., Иванов А.М. Сканирующая электронная микроскопия в гематологии. *Лабораторная служба*. 2025; 14(1): 38-47. [Artamonov AA, Ivanov AM. Scanning electron microscopy in hematology. *Laboratornaia sluzhba*. 2025; 14(1): 38-47. (In Russ.)]. doi: 10.17116/labs20251401138

20. Максимова В.Д., Шакирова С.М. Особенности сканирующей микроскопии. *Студент и аграрная наука: материалы XVIII Всероссийской студенческой научной конференции 2024 года*. 2024: 318-321. [Maksimova VD, Shakirova SM. Features of scanning microscopy. *Student and agricultural science: Proceedings of the XVIII All-Russian student scientific conference of 2024*. 2024: 318-321. (In Russ.)].

21. Юрова Е.В., Расторгуева Е.В., Белобородова Е.А. Пептидный токсин, нацеленный на натриевые

каналы, в модели ишемически-реперфузионной клеточной гибели. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2025; 1: 93-103. [Yurova EV, Rastorgueva EV, Beloborodova EA. Peptide toxin targeting sodium channels in a model of ischemia-reperfusion cell death. *Ulianovskii mediko-biologicheskii zhurnal*. 2025; 1: 93-103. (In Russ.)]. doi: 10.34014/2227-1848-2025-1-93-103

22. Козлова М.И., Бушмакин И.М., Беляева Ю.Д. Экспансия «Натриевого мира» сквозь эволюционное время и таксономическое пространство. *Биохимия*. 2020; 85(12): 1788-1815. [Kozlova MI, Bushmakini IM, Belyaeva YuD. Expansion of the "Sodium World" through evolutionary time and taxonomic space. *Biochemistry*. 2020; 85(12): 1788-1815. (In Russ.)]. doi: 10.31857/S0320972520120052

23. Плахотная В.М., Мартынова Е.Ю., Потешкин Ю.Е. Натрий-глюкозный котранспортер 1: роль в патогенезе сахарного диабета 2 типа и других заболеваний и потенциальная мишень для терапевтического воздействия. *Эффективная фармакотерапия*. 2022; 18(2): 42-54. [Plakhotnaya VM, Martynova EY, Poteshkin YuE. Sodium-glucose cotransporter 1: role in the pathogenesis of type 2 diabetes mellitus and other diseases and a potential target for therapeutic intervention. *Effektivnaia farmakoterapiia*. 2022; 18(2): 42-54. (In Russ.)]. doi: 10.33978/2307-3586-2022-18-2-42-54

Сведения об авторах

Колесник Василий Ярославич – аспирант, Российский Биотехнологический Университет; e-mail: v.kolesnik@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6572-2392>

Пахомова Регина Александровна – доктор медицинских наук, доцент, руководитель кафедры пластической хирургии Российского Биотехнологического Университета; e-mail: pra5555@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3681-4685>

Колесник Анастасия Андреевна – аспирант, Российский Биотехнологический Университет; e-mail: bonfv802@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-9999-4107>

Information about the authors

Vasily Ya. Kolesnik – graduate student of the Russian Biotechnological University; e-mail: v.kolesnik@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6572-2392>

Regina A. Pakhomova – Dr. Sc. (Med.), Head of the Department of Plastic Surgery, Russian Biotechnological University; e-mail: pra5555@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3681-4685>

Anastasia A. Kolesnik – graduate student of the Russian Biotechnological University; e-mail: bonfv802@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-9999-4107>