

© Team of authors, 2025 / © Коллектив авторов, 2025

3.1.16. Plastic surgery, 3.3.3. Pathological physiology, 1.5.22 Cell Biology / 3.1.16. Пластическая хирургия, 3.3.3. Патологическая физиология, 1.5.22 Клеточная биология

## Assessment of hair follicle viability in artificial media before transplantation

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

FSEI HE Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

Contacts: Vasily Yaroslavovich Kolesnik – e-mail: v.kolesnik@bk.ru

## Оценка жизнеспособности волосяных фолликулов в искусственных средах перед трансплантацией

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

ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Контакты: Колесник Василий Ярославович – e-mail: v.kolesnik@bk.ru

## 移植前在人工培养基中评估毛囊存活力

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

俄罗斯生物技术大学 (ROSBIOTECH), 莫斯科, 俄罗斯

联系方式: Vasily Yaroslavovich Kolesnik – 邮箱: v.kolesnik@bk.ru

Currently, the number of men suffering from androgenetic alopecia is increasing every day and, according to various sources, has reached 80%.

The aim of the study was to compare the condition of hair follicles (HF) that had not been exposed to the external media and those that had been exposed to various artificial media by assessing the function of the sodium-potassium pump in the cell membrane using electron microscopy.

**Material and methods.** We studied HF that were extracted from the human body immediately before the study and kept for 6 hours in the three most common artificial solutions. All samples underwent electron microscopy of the follicles using the QUANTAX 70 software and spectral assessment of the chemical composition.

**Results.** We found a correlation between the ionic composition of the HF and the composition of the solutions, which can affect cell viability. We found that standard saline solution, which is traditionally the agent of choice for short-term preservation of harvested grafts, had the greatest effect on the ratio of potassium and sodium ions inside the cell. However, a high concentration of sodium in the environment leads to an increase in its concentration inside the cell and to the "washout" of potassium ions. When comparing three solutions for preserving harvested follicles, the best results were obtained using the Dimphosphone solution, in which the "washout" of ions was insignificant, and the potassium-sodium ratio was practically preserved.

**Conclusions.** According to the observed changes in the HF, it is possible to indirectly assess the processes occurring during storage and, accordingly, determine the degree of viability for further transplantation. A neutral solution purified from sodium ions is required to preserve the grafts.

**Key words:** androgenetic alopecia, ionic composition, hair transplantation, electron microscopy, chemical analysis, hair follicle, sodium-potassium pump ion transport system, follicle sampling, follicular unit

**Conflicts of interest.** The authors have no conflicts of interest to declare.

**Financing.** The paper was done without sponsorship.

**For citation:** Pakhomova R.A., Kolesnik A.A., Kolesnik V.Ya. Assessment of hair follicle viability in artificial media before transplantation. Head and neck. Russian Journal. 2025;13(3):62–69

**Doi:** 10.25792/HN.2025.13.3.62-69

The authors are responsible for the originality of the data presented and the possibility of publishing illustrative material – tables, drawings, photographs of patients.

На текущий момент число мужчин, страдающих андрогенной алопецией, увеличивается с каждым днем и достигает, по данным различных источников, 80%.

**Цель исследования:** сравнить состояние волосяных фолликулов (ВФ), не подвергшихся влиянию внешней среды и после пребывания в различных искусственных средах, путем оценки функции натриево-калиевого насоса в мембране клеток методом электронной микроскопии.

**Материал и методы.** Проведено исследование ВФ, которые непосредственно перед исследованием извлекли из организма человека и которые пробыли в течение 6 часов в трех самых распространенных искусственных растворах. Во всех образцах проводилась электронная микроскопия фолликулов с помощью программы QUANTAX 70 и спектральная оценка химического состава.

**Результаты.** В ходе работы обнаружена корреляция между ионным составом ВФ и составом растворов, что может повлиять на жизнеспособность клеток. Выявлено, что наибольшее влияние на соотношение ионов калия и натрия внутри клетки оказал стандартный физиологический раствор, который традиционно является препаратом выбора для кратковременного сохранения забранных трансплантатов. Однако большая концентрация натрия в окружающей среде приводит к повышению его концентрации внутри клетки и к «вымыванию» из нее ионов калия. При сравнении трех растворов для сохранения забранных фолликулов наилучшие результаты были получены при использовании раствора Димефосфона, в котором «вымывание» ионов было незначительным и соотношение калия и натрия практически сохранялось.

**Заключение.** По полученным изменениям ВФ можно косвенно судить и о процессах, происходящих во время хранения и, соответственно, проводить определение степени выживаемости для дальнейшей трансплантации. Для сохранения трансплантатов необходим раствор нейтрального состава, очищенный от ионов натрия.

**Ключевые слова:** андрогенная алопеция, ионный состав, трансплантация волос, электронная микроскопия, химический анализ, волосяной фолликул, ионтранспортная система натрий-калиевый насос, забор фолликулов, фолликулярная единица

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Работа выполнена без спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Пахомова Р.А., Колесник А.А., Колесник В.Я. Оценка жизнеспособности волосяных фолликулов в искусственных средах перед трансплантацией. *Head and neck. Голова и шея. Российский журнал.* 2025;13(3):62–69

**Doi:** 10.25792/HN.2025.13.3.62-69

Авторы несут ответственность за оригинальность представленных данных и возможность публикации иллюстративного материала – таблиц, рисунков, фотографий пациентов.

目前，患有雄激素性脱发的男性人数每天都在增加，并且据不同来源，其比例已达80%。本研究的目的是通过电子显微镜评估细胞膜中钠钾泵的功能，比较未暴露于外部培养基的毛囊（HF）与暴露于各种人工培养基的毛囊的状况。

**材料与方法：**我们研究了在人体验证前即刻取出的毛囊（HF），并将其在三种最常见的人工溶液中置放6小时。所有样本均使用QUANTAX 70软件对毛囊进行电子显微镜检查，并进行化学成分的光谱评估

**研究结果：**我们发现毛囊的离子组成与溶液的组成之间存在相关性，这可能影响细胞的存活力。我们发现，作为短期保存获取移植物的传统首选剂的标准生理盐水，对细胞内钾、钠离子比例的影响最大。然而，环境中高浓度的钠会导致其在细胞内的浓度升高，并引起钾离子的“洗脱”。在比较三种用于保存获取毛囊的溶液时，使用二甲磷酸（Dimethosphone）溶液获得了最佳结果，其中离子的“洗脱”不显著，且钾-钠比例几乎得以保持。

**结论：**根据在毛囊中观察到的变化，可以间接评估储存期间发生的过程，从而确定进一步移植所需的存活度。为保存移植物，需要一种去除钠离子的中性溶液。

**关键词：**雄激素性脱发，离子组成，毛发移植，电子显微镜，化学分析，毛囊，钠钾泵离子转运系统，毛囊取样，毛囊单位。

**利益冲突声明：**作者声明不存在利益冲突。

**资助声明：**本研究由作者团队资助。

**引用格式：** Pakhomova R.A., Kolesnik A.A., Kolesnik V.Ya. Assessment of hair follicle viability in artificial media before transplantation. *Head and neck. Russian Journal.* 2025;13(3):62–69

**Doi:** 10.25792/HN.2025.13.3.62-69

**作者声明：**作者对所提供数据的原创性及插图（表格、图片、患者照片）的发表合法性负责。

## Введение

На текущий момент число мужчин, страдающих андрогенной алопецией, увеличивается с каждым днем и достигает, по данным различных источников, 80% [1]. Отношение к внешнему виду в наше время становится все более требовательным. Первоначально для лечения алопеции применялись исключительно терапевтические методы [2–3]. К сожалению, все имеющиеся терапевтические методы лечения на приводят к удовлетворенности пациента конечным результатом [4–7]. Это заставляет все больше мужчин прибегать к хирургическим методам лечения. Наиболее популярным методом лечения становится трансплантация волос [8–9]. Относительная новизна данной технологии подразумевает высокую степень точности проводимой операции и необходимость внедрения новых технологий [10]. Особенно это касается забора и консервации трансплантата. Основным методом забора трансплантата является иссечение фолликулярной единицы (FUE – Follicular Unit Extraction) [11–13]. Данный метод позволяет достичь отличных результатов трансплантации, что в конечном итоге приводит к положительным косметическому и эстетическому результатам, к чему так стремятся пациенты.

В качестве донорской зоны используют волосы, расположенные на задней или боковой частях головы. Волосы указанных областей устойчивы к воздействию гормонов, вызывающих андрогенную алопецию. В ходе операции производят извлечение фолликулов волос (трансплантатов) из зоны донорства с последующим внедрением их в область облысения, где в дальнейшем они начинают расти и создавать новый волосяной покров, не подвергаясь гормональному воздействию [14].

Однако между забором трансплантата и пересадкой в зону облысения, как правило, существует промежуточный этап порядка 5–6 часов, во время которого извлеченные волосяные фолликулы (ВФ) хранятся в определенной среде и должны сохранить собственную жизнеспособность для дальнейшей пересадки в реципиентную зону [15]. В связи с этим возникает необходимость подбора оптимального искусственного раствора для максимального сохранения извлеченных ВФ, в котором они будут находиться до начала трансплантации [16–17].

Одной из основных причин гибели клеток является нарушение ионтранспортной системы и ионного баланса, необходимого для нормальной клеточной активности [18]. Окислительный стресс является последствием многих патологических состояний, во время которых происходит повреждение клеток тканей. Активные формы кислорода приводят к утрате способности протомеров фермента  $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATP}$ -азы взаимодействовать друг с другом [19]. То есть можно говорить, что клетки с нарушением в работе данного мембранного белка являются поврежденными.

Как известно, фосфолипидный слой клетки непроницаем. Для того чтобы ионы могли проникать через мембрану, необходимо создать разность концентраций ионов снаружи и внутри клетки, т.е. создать концентрационный градиент. Если он есть, то ион начинает двигаться из той части, где высокая концентрация, в ту часть, где концентрация низкая. Ионов натрия снаружи больше в 12 раз, ионов калия больше внутри примерно в 30 раз, анионов хлора больше снаружи примерно в 15 раз. Активность  $\text{Na}/\text{K}$ -насоса регулируется внутриклеточной концентрацией ионов натрия. Скорость работы насоса замедляется при снижении концентрации ионов натрия, подлежащих выводу из клетки [20]. В связи с этим можно сказать, что изменение содержания калия и натрия внутри клетки являются маркером ее поврежде-

ния [21]. Функция клеток волоса подчиняется общим законам функционирования всех клеток организма [22]. Следовательно, нарушение активности  $\text{Na}/\text{K}$ -насоса может привести к гибели ВФ. Одним из методов количественного определения содержания ионов калия и натрия в клетках ВФ является электронная микроскопия [23–25].

**Цель исследования:** сравнить состояние ВФ, не подвергшихся влиянию внешней среды и после пребывания в различных искусственных средах, путем оценки функции натриево-калиевого насоса в мембране клеток методом электронной микроскопии.

## Материал и методы

Проведено исследование здоровых ВФ, которые только забрали из организма пациента в затылочной области, и фолликулов, находящихся в течение 6 часов в различных искусственных средах. Для сравнения изучалось содержание калия, натрия, серы и хлора.

Основными показателями, которые сравнивали в ходе исследования, являлись натрий и калий внутри сосочка ВФ, т.е. в той части, которая является наиболее метаболически активной, а значит и в большей части подверженной факторам внешней среды. Область исследования локализовалась в районе сосочка ВФ, как можно ближе к корню, где и находятся метаболически активные клетки с ядрами. Для отделения активной части волоса исследовали содержание серы, т.к. основным протеином волосяного стержня является кератин, который содержит большое количество дисульфидных групп, состоящих из ионов серы, что обуславливает его прочность.

В качестве контрольной группы взяли образец №1, который извлекли из организма непосредственно перед исследованием. В качестве образцов для сравнения были использованы волосы того же пациента, погруженные в 3 разных раствора, отличающиеся по составу.

Первый раствор состоял из физиологического раствора (натрия хлорида 0,9%) со вспомогательными веществами (образец №2): вода для инъекций до 1 л, натрия хлорид – 9 г; вспомогательные вещества: 0,1 М раствор хлористоводородной кислоты – рН 5,0–7,5, 0,1 М раствор натрия гидроксида – рН 5,0–7,5.

Второй раствор – Димефосфон, относящийся к группе метаболических и обладающий антиацидотическим и антиоксидантным действиями (образец №3). Один литр раствора содержит: действующее вещество диметилноксобутилфосфонилдиметилат (димефосфон) – 150 г, вспомогательные вещества: дистиллированная вода – до 1 л.

Третий раствор – раствор с АТФ (образец №4), в состав которого входит: динатрия аденозинтрифосфата тригидрат, в пересчете на аденозинтрифосфорную кислоту – 10,0 мг, натрия карбонат безводный – 4,4 мг, натрия гидрокарбонат – 8,0 мг, динатрия эдетата дигидрат – 0,2 мг, пропиленгликоль – 0,1 мл, вода для инъекций – до 5,0 мл, натрия хлорид – 2,25 мг.

Все четыре образца ВФ подвергли электронной микроскопии с помощью программы QUANTAX 70 и провели спектральную оценку химического состава.

## Результаты

Для наглядного определения правильности выбора волосяного участка для исследования провели сравнение содержания серы на различных уровнях волоса. После структурного

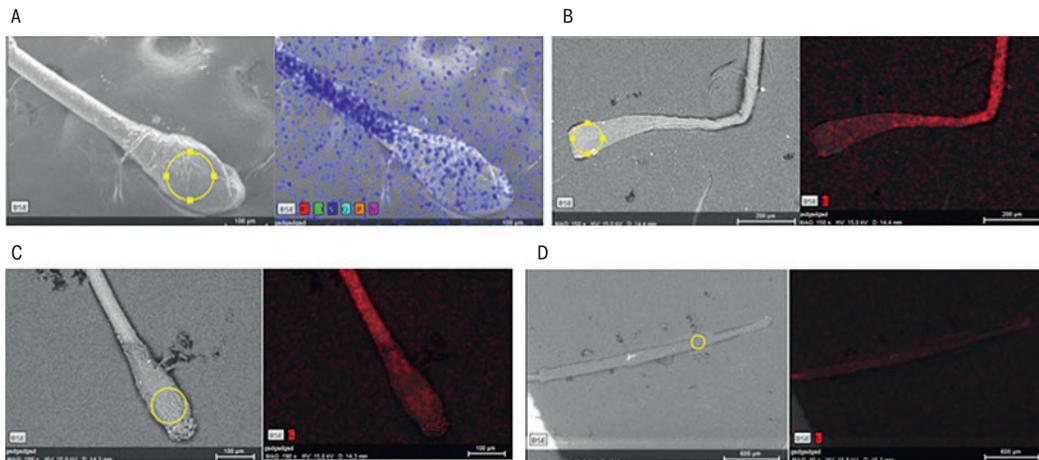


Рис. 1. Трехмерное спектральное изображение выделенной области для исследования качественного и количественного химического состава (слева в паре) и визуализация содержания серы (справа в паре)

A – образец №1, B – образец №2 (0,9% NaCl), C – образец №3 (Димефосфон), D – образец №4 (АТФ).

Fig. 1. Three-dimensional spectral image of the selected area for studying the qualitative and quantitative chemical composition (left side) and visualization of sulfur content (right side)

A – sample No. 1, B – sample No. 2 (0.9% NaCl), C – sample No. 3 (Dimephosphone), D – sample No. 4 (ATP).

разделения было проведено исследование качественного и количественного химического состава волос в образцах. На рис. 1 представлены спектральные изображения образцов ВФ, полученные при электронной микроскопии.

По данным электронной микроскопии отмечается выраженное отличие между метаболически активными и пассивными участками. Наличие в стержне волоса – образец №4 (АТФ) – ионов серы позволяет визуально отдифференцировать его от корня.

В связи с тем, что баланс натрия и калия является важным показателем метаболизма клеток, особое внимание было уделено их соотношению. Спектральное изображение волоса при электронной микроскопии позволяет судить о содержании Na и K. На рис. 2 представлены спектральные изображения образцов с исследованием содержания ионов натрия и калия.

Образец №1, использованный в качестве контроля (норма), характеризуется высоким внутриклеточным содержанием калия и относительно низкой концентрацией натрия. На изображениях, полученных с помощью электронной микроскопии, отчетливо визуализируется преобладание  $K^+$  в области фолликула по сравнению со стержнем волоса и окружающей средой. Средняя концентрация  $Na^+$  соответствует внешней среде. Следует подчеркнуть, что исследование проводилось *in vitro* в условиях относительного вакуума и сниженной концентрации натрия, что отличает экспериментальные условия от физиологических условий организма человека, где межклеточная жидкость является основным депо данного иона.

В образце №2 наблюдается выраженное повышение концентрации  $Na^+$  внутри фолликула с одновременным снижением

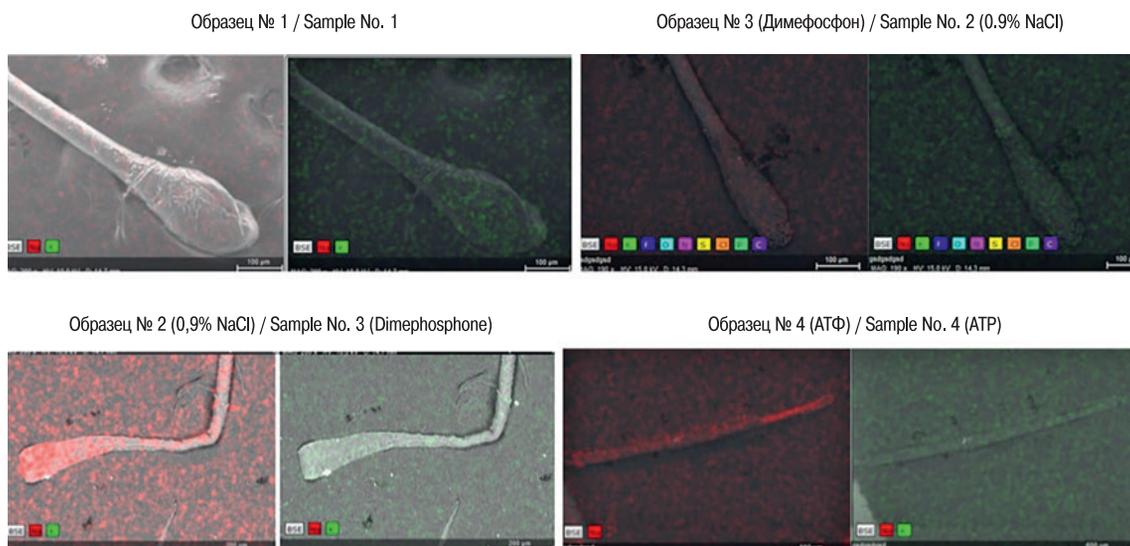


Рис. 2. Трехмерное спектральное изображение с исследованием содержания ионов натрия и калия

Слева в паре – натрий, справа – калий.

Fig. 2. Three-dimensional spectral image with analysis of sodium and potassium ion content Left: sodium, right: potassium.

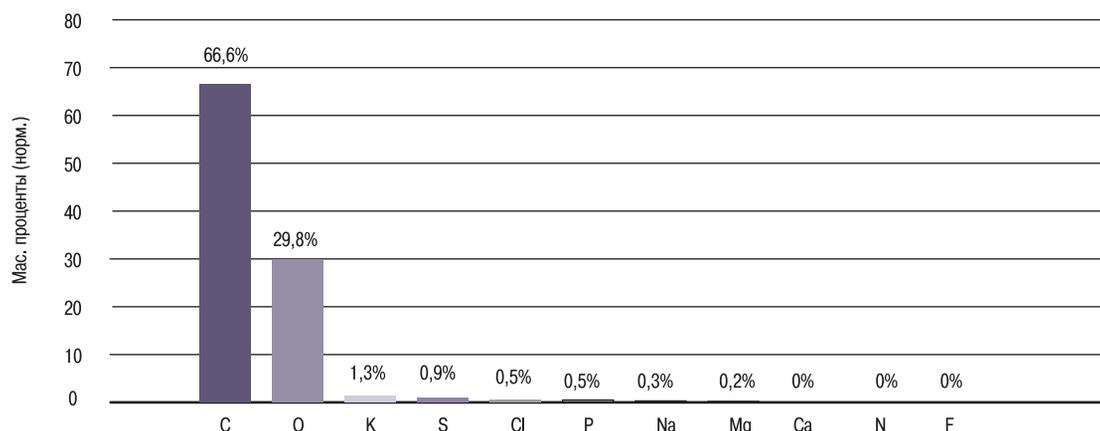


Рис. 3. Образец №1 (оценочный анализ химического состава в норме)

Fig. 3. Sample No. 1 (results of the assessment of chemical composition within normal limits)

уровня  $K^+$ , что указывает на существенное нарушение работы натриево-калиевого насоса после 6 часов хранения волос в стандартном физиологическом растворе. Такое изменение ионного баланса свидетельствует о снижении жизнеспособности клеток и потере контроля мембранного потенциала.

Образец №3, хранившийся в растворе с Димефосфоном, практически не продемонстрировал утраты калия, а концентрация натрия оставалась низкой, близкой к контрольным значениям. Это указывает на более стабильное поддержание ионного гомеостаза и, вероятно, на большую сохранность метаболически активного участка фолликула по сравнению с образцом №2.

В образце №4 также отмечается увеличение содержания  $Na^+$ , связанное с присутствием солей натрия в растворе. Однако данное повышение выражено значительно слабее, чем в образце №2, где фолликулы содержались в чистом растворе 0,9%  $NaCl$ . Концентрация  $K^+$  снижается за счет выхода ионов из области сосочка фолликула, но полного «вымывания» калия не происходит, что указывает на частичное сохранение жизнеспособности клеток.

Помимо визуального анализа, проводилась качественная оценка содержания ключевых химических элементов фолликула (калий, натрий, сера и хлор). Процентное соотношение химических веществ в метаболически активном участке волоса представлено на рис. 3.

При оценочном анализе данных спектроскопии содержание калия превышает количество хлора в 2,6 раза, а натрия в 4,3 раза, что закономерно, т.к. калий является основным внутриклеточным катионом клетки. При углубленном исследовании на количественное соотношение исследуемых ионов отмечается, что в ВФ содержится больше всего ионов калия, превышающие ионы хлора на 63%, а натрия на 89% (табл. 1). Аналогичный анализ проведен по трем другим образцам (рис. 4):

Также была проведена количественная оценка ионов в экспериментальных группах (таблица).

Анализ химического состава образца №2 показал выраженное нарушение ионного баланса ВФ. Концентрация ионов калия снизилась более чем в 7 раз по сравнению с контролем (контроль:  $93,2 \pm 3,8$ , образец №2:  $13,1 \pm 4,5$ ;  $p < 0,001$ ), тогда как

Таблица Содержание ионов в экспериментальных группах ( $M \pm SD$ ,  $n=5$ )  
Table Ion content in experimental groups ( $M \pm SD$ ,  $n=5$ )

Элемент Element	Группа Group		Mean $\pm$ SD	CV (%)	95% ДИ 95% CI	t vs Контроль t vs Control	Значимость ( $\alpha=0,05$ ) Significance ( $\alpha=0,05$ )
Na	Контроль	Control	54,80 $\pm$ 5,50	10,03	47,96–61,64	–	–
		NaCl	163,70 $\pm$ 4,10	2,51	158,59–168,81	35,48	***
		Димефосфон	15,90 $\pm$ 4,60	28,93	10,19–21,61	-12,10	***
		АТФ	51,20 $\pm$ 2,90	5,66	47,61–54,79	-1,29	н/д / n/s
K	Контроль	Control	93,20 $\pm$ 3,80	4,08	88,69–97,71	–	–
		NaCl	13,10 $\pm$ 4,50	34,35	7,11–19,09	-27,58	***
		Димефосфон	19,40 $\pm$ 3,50	18,04	15,73–23,07	-34,98	***
		АТФ	9,70 $\pm$ 1,30	13,40	7,90–11,50	-33,11	***
Cl	Контроль	Control	49,40 $\pm$ 3,40	6,88	44,69–54,11	–	–
		NaCl	28,50 $\pm$ 2,30	8,07	25,10–31,90	-11,54	***
		Димефосфон	0,50 $\pm$ 3,10	620,00	-4,78–5,78	-16,70	***
		АТФ	11,30 $\pm$ 4,50	39,82	5,52–17,08	-10,30	***

Примечание. CV – коэффициент вариации, ДИ – 95% доверительный интервал для среднего, t vs Контроль – значение t-критерия Стьюдента, значимость: \*\*\* –  $p < 0,001$ , н/д – незначимо.

Note. CV – coefficient of variation, CI – 95% confidence interval for the mean, t vs Control – value of Student's t-test, significance: \*\*\* –  $p < 0,001$ , n/s – not significant.

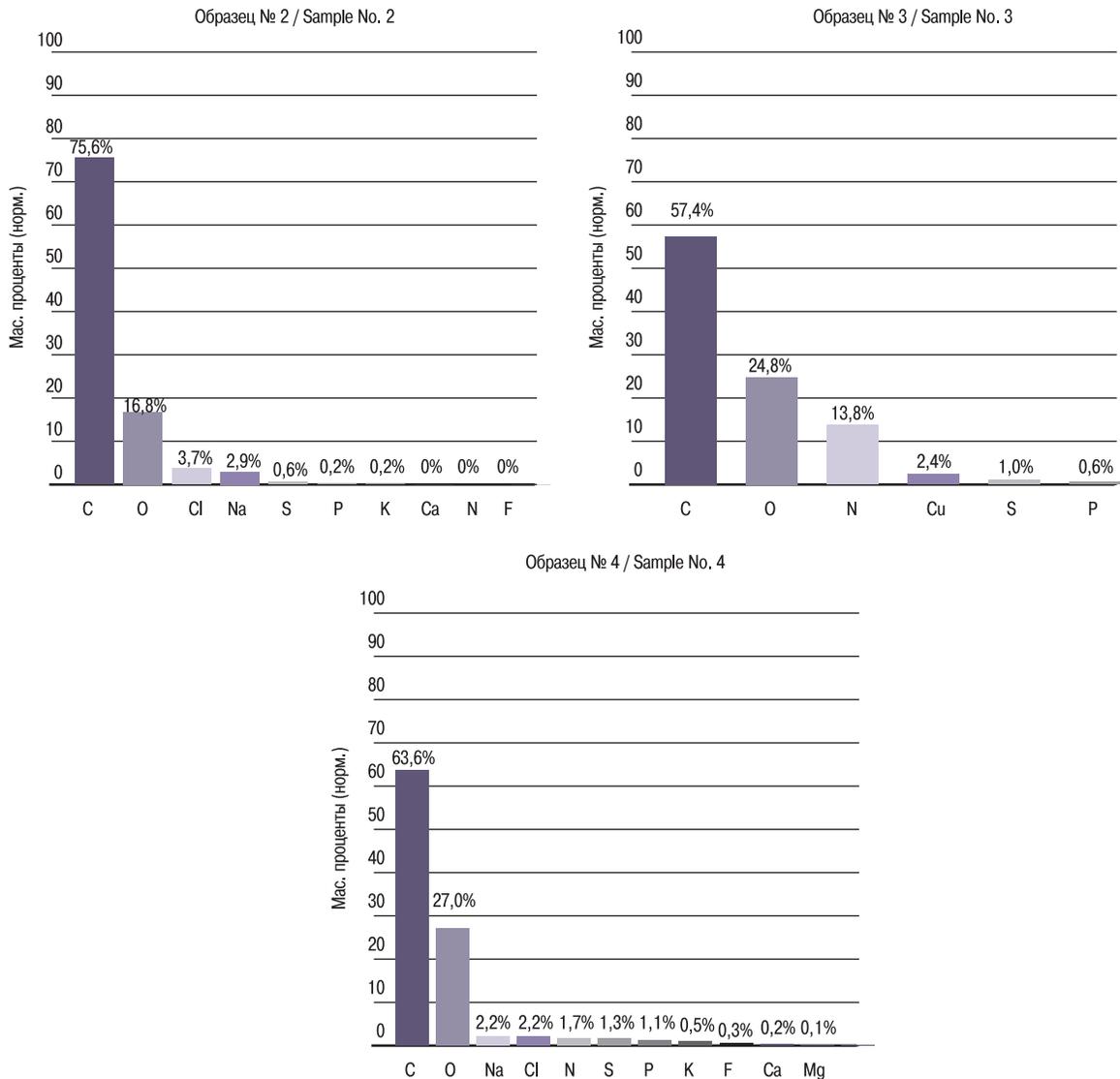


Рис. 4. Оценочный анализ химического состава

Fig. 4. Assessment of chemical composition

концентрации ионов натрия и хлора значительно возросли (Na:  $163,7 \pm 4,1$ , Cl:  $28,5 \pm 2,3$ ;  $p < 0,001$  для обоих). Соотношение  $Na^+/K^+$  достигло 5,8:1, а  $Na^+/Cl^-$  – 4,85:1. Такое соотношение указывает на выраженное нарушение работы натриево-калиевого насоса и электролитного гомеостаза, что может отражать потенциальную потерю жизнеспособности клетки. Повышение внутриклеточных концентраций  $Na^+$  и  $Cl^-$ , сопровождающееся падением уровня  $K^+$ , является характерным маркером осмотического стресса и нарушения мембранного потенциала, что прямо коррелирует с клеточной дисфункцией.

В образце №3 наблюдалось общее снижение концентраций всех исследованных ионов, в меньшей степени  $K^+$  (Na:  $15,9 \pm 4,6$ ; K:  $19,4 \pm 3,5$ ; Cl:  $0,5 \pm 3,1$ ;  $p < 0,001$  по сравнению с контролем).

Анализ образца №4, хранившегося в растворе с АТФ, выявил умеренное повышение концентрации ионов натрия ( $51,2 \pm 2,9$ ) и незначительное увеличение концентрации хлора ( $11,3 \pm 4,5$ ) при снижении уровня калия ( $9,7 \pm 1,3$ ) по сравнению с контролем. Соотношения  $Na^+/K^+$  и  $Na^+/Cl^-$ , несмотря на частичное

восстановление, остается выше физиологического уровня, что отражает частичное, но недостаточное поддержание работы натриево-калиевого насоса. Таким образом, присутствие АТФ в среде позволяет лишь частично стабилизировать ионный баланс, снижая экстремальное накопление натрия и хлора, но не полностью предотвращает потенциальную потерю жизнеспособности клетки.

В ходе исследования установлено, что наибольшее влияние на внутриклеточное соотношение ионов калия и натрия оказывают условия хранения фолликулов в стандартном физиологическом растворе, который традиционно используется для кратковременного поддержания трансплантатов. Высокая концентрация натрия в окружающей среде приводит к его значительному накоплению внутри клетки и одновременному вымыванию калия, что нарушает электролитный гомеостаз и может снижать жизнеспособность клеток.

Сравнение трех различных растворов для кратковременного сохранения забранных ВФ показало, что наилучшие результаты

достигаются при использовании раствора Димефосфона. В этом растворе «вымывание» ионов калия было минимальным, а соотношение калия и натрия сохранялось близким к физиологическому, что свидетельствует о более стабильной поддержке ионного баланса и потенциала жизнеспособности клеток.

## Заключение

На данный момент отсутствуют стандартизированные данные о выживаемости фолликулов при погружении в различные растворы, и клиницисты используют индивидуальные протоколы. Систематическое изучение влияния разных сред на ионный состав и жизнеспособность ВФ позволит выработать научно обоснованные рекомендации для оптимизации кратковременного хранения трансплантатов. По итогам проведенного исследования необходимо отметить, что наилучшим вариантом раствора для содержания забранных трансплантатов является раствор, не содержащий ионов натрия ни в каком виде. Это позволяет сделать вывод, что для сохранения трансплантатов необходим раствор нейтрального состава, очищенный от ионов натрия. Альтернативой (в качестве исходной точки для проведения дальнейших исследований) может быть использован раствор с повышенным содержанием калия для того, чтобы уравновесить соотношение ионов, и сохранить в клетке собственный потенциал покоя, что важно не только для возбудимости, но и для метаболизма.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Kanti V., Messenger A., Dobos G., et al. Evidence-based (S3) guideline for the treatment of androgenetic alopecia in women and in men - short version. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 2017;1(32):11–22. Doi: 10.1111/jdv.14624.
- Tamashunas N.L., Bergfeld W.F. Male and female pattern hair loss: treatable and worth treating. *Cleve Clin. J. Med.* 2021;88:173–82. Doi: 10.3949/ccjm.88a.20014.
- Kerure A.S., Deshmukh N., Agrawal S. Challenges in hair transplantation practice as a beginner. *Indian J. Dermatol. Venereol. Leprol.* 2021;2(87):303–5. Doi: 10.25259/IJDVL\_281\_20.
- Олисова О.Ю., Кочергин Н.Г., Вертиева Е.Ю. Андрогенная алопеция: патогенетические механизмы и подходы к лечению. *Косметология.* 2013;3:53–7. [Olisova O.Yu., Kochergin N.G., Vertieva E.Yu. Androgenic alopecia: pathogenetic mechanisms and treatment approaches. *Cosmetology.* 2013;3:53–7 (In Russ.)].
- Урюпина Е.Л. Особенности диагностики и лечения диффузной алопеции. *Клиническая дерматология и венерология.* 2017;16(3):41–5. [Urupina E.L. Features of the diagnosis and treatment of diffuse alopecia. *Rus. J. Clin. Dermatol. Venereol.* 2017;16(3):41–5 (In Russ.)]. Doi: 10.17116/klinderma201716341-45.
- Кардашова Д.З., Василенко И.А., Ли В.А., Карасев Е.А. Комплексный подход – основа эффективного лечения алопеции. *Экспериментальная и клиническая дерматокосметология.* 2012;1:58–63. [Kardashova D.Z., Vasilenko I.A., Li V.A., Karasev E.A. An integrated approach is the basis for effective treatment of alopecia. *Experiment. Clin. Dermatocosmetol.* 2012;1:58–63 (In Russ.)].
- Devjani S., Ezzemma O., Kelley K.J., et al. Androgenetic alopecia: therapy update. *Drugs.* 2023;83:701–15. Doi: 10.1007/s40265-023-01880-x.
- Bajoria P.S., Dave P., Rohit R., et al. Comparing Current Therapeutic Modalities of Androgenic Alopecia: A Literature Review of Clinical Trials. *Cureus.* 2023;15(7):e42768. Doi: 10.7759/cureus.42768.
- Фомина М.С., Радул Е.В. Трансплантация волос. Искусство FUE. *Университетская наука в решении задач национальной безопасности и технологического суверенитета: Материалы региональной (межвузовской) студенческой научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения С.И. Манякина. Омск, 2023. С. 380–7. [Fomina M.S., Radul E.V. Hair transplantation. The art of FUE. University science in solving problems of national security and technological sovereignty: Materials of the regional (interuniversity) student scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of S.I. Manyakin. Omsk, 2023. P. 380–7 (In Russ.)].*
- Othman S., Glat P. Surgical Management for Hair Restoration: A Review of Contemporary Techniques. *Aesthetic. Plast. Surg.* 2023;47(6):2415–24. Doi: 10.1007/s00266-023-03391-2.
- Collins K., Avram M. R. Hair Transplantation and Follicular Unit Extraction. *Dermatol. Clin.* 2021;3(87):463–78. Doi: 10.1016/j.det.2021.04.003.
- Jimenez F., Alam M., Vogel J.E., Avram M. Hair transplantation: Basic overview. *J. Am. Acad. Dermatol.* 2021;4(85):803–14. Doi: 10.1016/j.jaad.2021.03.124.
- Kaliyadan F., Nambiar A., Vijayaraghavan S: Androgenetic alopecia: an update. *Indian J. Dermatol. Venereol. Leprol.* 2013;79:613–25. Doi: 10.4103/0378-6323.116730.
- Бедретдинова А.А. Трансплантация волос как вариант решения алопеции волос. *Тенденции развития науки и образования.* 2022;85(2):39–42. [Bedretdinova A.A. Hair transplantation as a solution to hair alopecia. *Trends Develop. Sci. Educat.* 2022;85(2):39–42 (In Russ.)]. Doi: 10.18411/trnio-05-2022-60.
- Piraccini B.M., Blume-Peytavi U., Scarci F., et al. Efficacy and safety of topical finasteride spray solution for male androgenetic alopecia: a phase III, randomized, controlled clinical trial. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 2022;36:286–94. Doi: 10.1111/jdv.17738.
- Kristina Collins M.D., Marc R., Avram M.D. Hair Transplantation and Follicular Unit Extraction. *Dermatologic Clin.* 2021;39(3):463–78. Doi: 10.1016/j.det.2021.04.003.
- Memon R., Avram M. The pros and cons of follicular unit extraction (FUE) versus elliptical donor harvesting (FUT). *J. Cosmet. Laser Ther.* 2022;24:6–8.
- Kreffl-Trzcinińska K., Piętońska Z., Nowicka D., Szepletowski J.C. Human stem cell use in androgenetic alopecia: a systematic review. *Cells.* 2023;12:951. Doi: 10.3390/cells12060951.
- Петрушанко И.Ю., Симоненко О.В., Бурнышева К.М. и др. Способность клеток адаптироваться к условиям низкого содержания кислорода связана с глутатионилированием Na,K-АТРазы. *Молекулярная биология.* 2015;49(1):175. [Petrushanko I.Yu., Simonenko O.V., Burnyshcheva K.M., et al. The ability of cells to adapt to conditions of low oxygen content is associated with glutathionylation of Na,K-ATPase. *Mol. Boil.* 2015;49(1):175 (In Russ.)].
- Болдырев А.А. Роль Na/K-насоса в возбудимых тканях (обзор). *Журнал Сибирского Федерального Университета. Биология.* 2008;3:206–25. [Boldyrev A.A. The role of the Na/K pump in excitable tissues (review). *Journal of the Siberian Federal University. Biology.* 2008;3:206–25 (In Russ.)].
- Дорогина О.И. *Нейрофизиология: учеб. Пособие. М–во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. Екатеринбург, 2019. 100 с. [Dorogina O.I. Neurophysiology: studies. Stipend. M-in sciences and higher education. education grew. Federation, Ural. feder. un-ta. Yekaterinburg, 2019. 100 p. (In Russ.)].*
- Hoover E., Alhaji M., Flores J.L. *Physiology, hair. StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL).* 2023.
- Морозова К.Н. *Основы электронной микроскопии: учебное пособие для вузов. М., 2022. 84 с. [Morozova K.N. Fundamentals of electron microscopy: a textbook for universities M., 2022. 84 p. (In Russ.)].*
- Горячкина В.Л., Иванова М.Ю., Цомартова Д.А. и др. Физиология волосных фолликулов. *Российский журнал кожных и венерических болезней.* 2015;3:51–4. [Goryachkina V.L., Ivanova M.Yu., Tsomartova

*D.A., et al. Physiology of hair follicles. Rus. J. Skin Venereal Dis. 2015;3:51–4 (In Russ.)].*

25. Неофитова Е.А., Пушкина К.В., Неофитова Н.Н. Исследование влияния экзогенных факторов на состояние и свойства волос на голове человека с использованием различных методов микроскопии. *Интерактивная наука. 2016;10:46–53. [Nefedova E.A., Pushkina K.V., Neofitova N.N. Investigation of the influence of exogenous factors on the condition and properties of human hair using various microscopy methods. Interactive Sci. 2016;10:46–53 (In Russ.)]. Doi 10.21661/r-115105.*

*Поступила 07.10.2024*

*Получены положительные рецензии 01.06.25*

*Принята в печать 24.07.25*

*Received 07.10.2024*

*Positive reviews received 01.06.25*

*Accepted 24.07.25*

### **Информация об авторах:**

*Пахомова Регина Александровна — д.м.н., заведующая кафедрой пластической хирургии ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ). Адрес: 125080 Москва, Волоколамское шоссе, д. 11; e-mail: pra5555@mail.ru. ORCID 0000-0002-3681-4685.*

*Колесник Анастасия Андреевна — аспирантка кафедры пластической хирургии ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ). Адрес: 125080 Москва, Волоколамское шоссе, д. 11; e-mail: bonfv802@gmail.com. ORCID: 0009-0002-9999-4107.*

*Колесник Василий Ярославович — аспирант кафедры пластической хирургии ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ). Адрес: 125080 Москва, Волоколамское шоссе, д. 11; e-mail: v.kolesnik@bk.ru. ORCID: 0009-0001-6572-2392.*

### **Information about the authors:**

*Pakhomova Regina Aleksandrovna — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Plastic Surgery, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH University). Address: 11 Volokolamskoe shosse, 125080 Moscow, Russia; e-mail: pra5555@mail.ru. ORCID: 0000-0002-3681-4685.*

*Kolesnik Anastasia Andreevna — Postgraduate Student, Department of Plastic Surgery, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH University). Address: 11 Volokolamskoe shosse, 125080 Moscow, Russia; e-mail: bonfv802@gmail.com. ORCID: 0009-0002-9999-4107.*

*Kolesnik Vasily Yaroslavovich — Postgraduate Student, Department of Plastic Surgery, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH University). Address: 11 Volokolamskoe shosse, 125080 Moscow, Russia; e-mail: v.kolesnik@bk.ru. ORCID: 0009-0001-6572-2392.*