https://doi.org/10.17238/2072-3180-2025-3-145-149

УДК: 617.5–007.64:611.018.5

© Колесник В.Я., 2025

ОБЗОР/Review

ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛЯЦИИ ВЫЖИВАЕМОСТИ АУТОЖИРА В ХОДЕ ТРАНСПЛАНТАЦИИ

В.Я. КОЛЕСНИК

Медицинский институт непрерывного образования ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)». 125080, Москва, Россия

Резюме

Введение. Одной из ключевых задач трансплантации тканей в ходе хирургических вмешательств является обеспечение их жизнеспособности в реципиентной зоне. В связи с этим все этапы оперативного вмешательства, включая забор, обработку и имплантацию трансплантата, должны быть направлены на максимальное сохранение его структурно-функциональных свойств. Современные исследования демонстрируют высокую перспективность использования аутологичной жировой ткани как с регенеративной, так и с объемообразующей целью в рамках реконструктивных операций.

Цель исследования. Оценить потенциал различных искусственных растворов для временного хранения аутотрансплантата жировой ткани с целью повышения его жизнеспособности и сохранности клеточных структур, а также обосновать необходимость дальнейших экспериментальных и клинических разработок в данном направлении.

Материалы и методы исследования. Для сравнения были взяты 3 образца жировой ткани, помещенных в растворы с различным химическим содержанием для каждой группы (0,9 % раствор NaCl, 0,5 % раствор глюкозы, 15 % раствор диметилоксобутилфосфонилдиметилата). Далее производилась выдержка в течение 5 часов и оценка ионного состава при помощи электронной микроскопией в низком вакууме и энергодисперсионного рентгеновского спектрального анализа (EDX) с использованием программного обеспечения EDAX TEAM.

Результаты. В ходе исследования проведена количественная оценка внутриклеточного содержания ионов Na^+ и K^+ в адипоцитах, инкубированных в различных растворах. По данным электронной микроскопии и спектрального анализа установлено, что в образцах, обработанных 0,9 % раствором NaCl, наблюдается значительное накопление ионов натрия и хлора как на поверхности, так и внутри клеток. Это сопровождалось нарушением ионного баланса. Лучший показатель по соотношению наблюдали в образцах, обработанных 15 % раствором диметилоксобутилфосфонилдиметилата.

Заключение. Путём модификации химического состава раствора, в котором содержится жировая ткань, возможно добиться повышения жизнеспособности клеток, а также снижения их чувствительности к неблагоприятным внешним воздействиям в процессе трансплантации. Добавление в раствор компонентов, стабилизирующих клеточные мембраны, антиоксидантов и ионных регуляторов способствует снижению уровня апоптоза, поддержанию осмотического баланса и улучшению метаболической стабильности клеток, что приводит к выводу о необходимости дальнейших исследований в данной области. Такая адаптация микроокружения создает более благоприятные условия для приживления аутотрансплантата, способствует сохранению его функциональной целостности и реализации потенциала жировой ткани в реципиентной зоне.

Ключевые слова: аутологичная жировая ткань, транплантат, апоптоз, ионный обмен, клеточная адаптация

Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Колесник В.Я. Возможность регуляции выживаемости аутожира в ходе трансплантации. *Московский хирургический журнал,* 2025. № 3. С. 145–149. https://doi.org/10.17238/2072-3180-2025-3-145-149

Вклад авторов: Колесник В.Я. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, обработка данных, написание текста, редактирование.

POSSIBILITIES OF REGULATING AUTOGRAFT SURVIVAL DURING TRANSPLANTATION

VASILIY YA. KOLESNIK

Medical Institute of Continuing Education, Russian Biotechnology University (ROSBIOTECH); Moscow, Russia

Abstract

Intoduction. One of the key tasks of tissue transplantation during surgical interventions is to ensure its viability in the recipient area. In this regard, all stages of surgical intervention, including the collection, processing and implantation of the graft, should be aimed at the maximum preservation of its structural and functional properties. Modern researches demonstrate high perspectivity of using autologous adipose tissue both for regenerative and volume-forming purposes within the framework of reconstructive surgeries.

The purpose of the study. To evaluate the potential of various artificial solutions for temporary preservation of autologous fat grafts in order to enhance their viability and maintain cellular integrity, as well as to provide a scientific rationale for further experimental and clinical research in this field.
Materials and methods of research. For comparison, 3 adipose tissue samples were taken and placed in solutions with different chemical contents for each group (0,9 % NaCl solution, 0,5 % glucose solution, and 15 % dimethyloxobutylphosphonyl dimethylate solution). Then, they were aged for 5 h and the ionic composition was evaluated by low vacuum electron microscopy and energy dispersive X-ray spectral analysis (EDX) using EDAX TEAM software.
Treatment results. The study quantified the intracellular content of Na′ and K′ ions in adipocytes incubated in different solutions. According to electron microscopy and spectral analysis, it was found that in samples treated with 0,9 % NaCl solution, there was a significant accumulation of sodium and chlorine ions both on the surface and inside the cells. This was accompanied by disturbance of ionic balance. The best ratio was observed in samples treated with 15 % dimethyloxobutylphosphonyl dimethylate solution.
Conclusion. By modifying the chemical composition of the solution containing adipose tissue, it is possible to increase the viability of cells and reduce their sensitivity to unfavorable external influences in the process of transplantation. Addition of components stabilizing cell membranes, antioxidants and ionic regulators to the solution contributes to the reduction of apoptosis, maintenance of osmotic balance and improvement of metabolic stability of cells, which leads to the conclusion that further research in this area is necessary. Such adaptation of microenvironment creates more favorable conditions for autograft engraftment, promotes preservation of its functional integrity and realization of adipose tissue potential in the recipient area.

Key words: autologous adipose tissue, transplant, apoptosis, ion exchange, cellular adaptation.

Conflict of interests: none.

For citation: Kolesnik V.Ya. Possibilities of regulating autograft survival during transplantation.*Moscow Surgical Journal*, 2025, № 3, pp. 145–149. https://doi.org/10.17238/2072-3180-2025-3-145-149

Contribution of the authors: Kolesnik V.Ya. – research concept and design, collection and processing of material, data processing, writing, editing.

Введение

Несмотря на устоявшееся мнение, согласно которому липофилинг рассматривается преимущественно как метод эстетической хирургии, используемый в качестве основного или вспомогательного этапа оперативного вмешательства, уникальные биологические свойства жировой ткани всё активнее привлекают внимание хирургов различных специальностей [1]. Если ранее основными направлениями её применения были увеличение объёма молочных желез [2], коррекция периорбитальной области (например, в ходе блефаропластики [3]), а также другие процедуры в рамках пластической и реконструктивной хирургии, то в настоящее время аутологичный жир всё чаще используется и в других клинических методиках:

– В спинальной хирургии в ходе профилактики рубцово спаечного-процесса после микродискэктомии [4].

– В колопроктологии при недержании кала у детей [5].

– В ревматологии при лечении линейной склеродермии [6–7].

– В гинекологии при вульвовагинальной атрофии [8].

В целом жировая ткань имеет большой потенциал в связи со своими высокими регенераторными и объемообразующими свойствами. В связи с чем усиление результата пересадки липотрансфера через подготовку и рост устойчивости трансплантата к воздействию внешних факторов является одним из приоритетных направлений исследования.

Оценка жизнедеятельности клетки будет проводиться на основе активности Na^+/K^+-АТФазы, ключевого мембранного транспорта, поддерживающего электрохимический градиент. Помимо обеспечения электрического потенциала, данный фермент участвует в регуляции клеточного объема, возбудимости, вторичного активного транспорта, а также выполняет цитопротекторные функции, участвуя в сигнальных путях, связанных с апоптозом [9–10].

Нарушение соотношения K+ и Na+ внутри клетки и является маркером нарушения работы Na/K-насоса [11]. Для исследования содержания ионов в клетке будет использоваться электронная микроскопия, которая поможет визуализировать и получить статистические данные [12].

Цель исследования. Провести анализ изменений ионного состава жировых клеток в зависимости от химического состава окружающей среды. Рассмотреть в рамках исследования перспективность использования различных искусственных растворов, в которых содержится аутотрансплантат, для усиления жизнеспособности. Сформировать научное обоснование для дальнейших экспериментальных и клинических исследований в данной области.

Материалы и методы

Для сравнения были взяты 3 образца, помещенных в растворы с различным химическим содержанием для каждой группы. Далее производилась выдержка в течение 5 часов и оценка ионного состава при помощи электронной микроскопией в низком вакууме и энергодисперсионного рентгеновского спектрального анализа (EDX) с использованием программного обеспечения EDAX TEAM. Отличия химического состава образцов:

Образец № 1 – 0,9 % раствор NaCl

Образец № 2 – 0,5 % раствор глюкозы

Образец № 3 – 15 % раствор диметилоксобутилфосфонилдиметилата (ДМОБФДМ)

В процессе проведения исследования была осуществлена количественная оценка внутриклеточного содержания

ионов натрия (Na^+) и калия (K^+) в цитоплазме адипоцитов. Идентификация зрелых жировых клеток осуществлялась на основании измерения их поперечного диаметра, превышающего 100 нм, что обусловлено характерными морфологическими особенностями данной клеточной популяции – адипоциты являются одними из крупнейших клеток как в составе жировой ткани, так и среди клеток организма в целом.

Результаты и обсуждение

Визуализация образцов с использованием электронной микроскопии позволила отметить следующие особенности (рис. 1):

На поверхности образца, обработанного физиологическим раствором, наблюдаются плотные кристаллические образования.

Предположительно, данные структуры представляют собой кристаллы хлорида натрия. Образование в виде водяных капель маловероятно, поскольку вода не обладает достаточной электронной плотностью для создания выраженного контраста на изображении, а также испаряется даже при минимально допустимом уровне вакуума, устанавливаемом в электронном микроскопе.

Указанные кристаллические образования выявлялись на всех участках исследуемого образца, что указывает на необходимость дополнительной проверки с целью установления их природы. Возникает вопрос: являются ли данные структуры артефактом, связанным с особенностями подготовки или состояния конкретного образца, либо же их наличие свидетельствует о возможном превышении локальной концентрации NaCl, даже при использовании стандартного 0,9 % физиологического раствора.

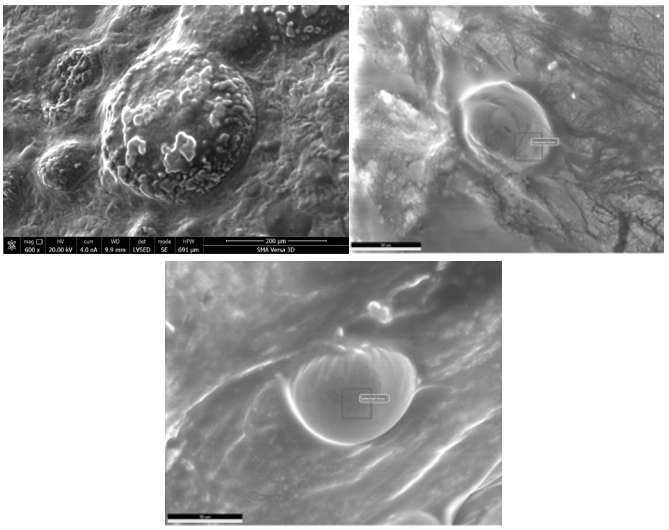

Рис. 1. Электронная микроскопия жировых клеток (слева – 0,9 % раствор NaCl, справа – 0,5 % раствор глюкозы, снизу – 15 % раствор диметилоксобутилфосфонилдиметилата)

Fig. 1. Electron microscopy of fat cells (left – 0,9 % NaCl solution, right – 0,5 % glucose solution, bottom – 15 % dimethyloxobutylphosphonyl dimethylate solution)

В дальнейшем, в ходе анализа ионного состава, было зафиксировано пиковое содержание целевых ионов, сопровождавшееся выявлением побочного увеличения концентрации других ионов, зависимого от химического состава среды, в которой находились клетки (рис. 2).

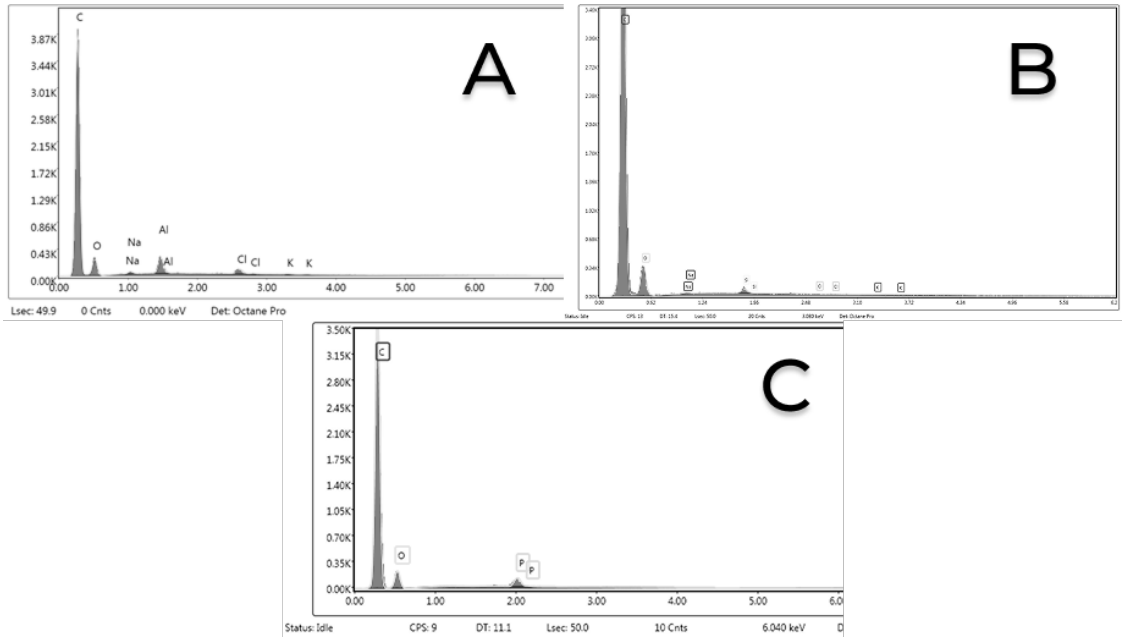

Рис. 2. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (A – 0,9 % раствор NaCl, B – 0,5 % раствор глюкозы, C – 15 % раствор диметилоксобутилфосфонилдиметилата)

Fig. 2. Energy dispersive X-ray spectroscopy (A – 0,9 % NaCl solution, B – 0,5 % glucose solution, C – 15 % dimethyloxobutylphosphonyl dimethylate solution)

Анализ графических данных (рис. 2) позволяет выделить следующие ключевые наблюдения:

1. Наиболее выраженный пик ионов натрия (Na^+) зафиксирован в образце, инкубированном в 0,9 % растворе хлорида натрия, по сравнению с двумя другими исследуемыми растворами.

2. В образце, обработанном раствором диметилоксобутилфосфонилдиметилата, наблюдается специфический пик, соответствующий ионам фосфора (P), что указывает на возможное проникновение или взаимодействие соединения с клетками.

3. В образце с 0,9 % NaCl также отмечается повышение содержания ионов хлора (Cl^-) внутри клеток (в отличие от других образцов), что может свидетельствовать о значительной диффузии ионов из внешней среды внутрь клетки в условиях заданной концентрации.

Таблица 1

Результаты спектрального анализа образцов

Table 1

Results of spectral analysis of samples

Element	Weight % (Образец № 1, Sample № 1)	Weight % (Образец № 2, Sample № 2)	Weight % (Образец № 3, Sample № 3)
C K	84,01	84,91	82,08
O K	14,65	14,94	17,69
NaK	0,54	0,13	0,12
ClK	0,69	0,01	0,06
K K	0,11	0,01	0,05

Спектральный анализ (табл.1) был выполнен с использованием полуколичественного метода eZAF Smart Quant. Наибольшая массовая доля приходится на углерод (C), что связано с органической природой исследуемого образца. Также зафиксировано наличие кислорода (O) и в малых концентрациях – элементов, входящих в состав раствора или компонентов клеточной среды, включая Na, Cl, K.

Анализ по каждому образцу:

Образец № 1 – 0,9 % NaCl (физиологический раствор):

– Высокие значения Na^+ (0,54 %) и Cl^- (0,69 %) соответствуют воздействию изотонического солевого раствора.

– Предполагается, что ионы Na^+ и Cl^- диффундировали внутрь клеток, что привело к их накоплению и нарушению физиологического соотношения ионного баланса, в частности – увеличению соотношения Na^+/K^+ по сравнению с нормой.

– Умеренное содержание калия (K) может быть связано с начальной клеточной утечкой в гипотетических стрессовых условиях.

Образец № 2 – 0,5 % раствор глюкозы:

– Практически отсутствуют ионы Na^+ и Cl^-, что ожидаемо для раствора без солевого компонента.

– Высокая доля C и O связана с органической природой как глюкозы, так и клеточной структуры.

– Этот образец может рассматриваться как контролируемое условие с минимальным ионным воздействием.

Образец № 3 – 15 % раствор диметилоксобутилфосфонилдиметилата:

– Наиболее выраженное содержание кислорода (17,69 %) и пониженный углерод, что, вероятно, связано с химической структурой диметилоксобутилфосфонилдиметилата, содержащего функциональные оксигенсодержащие группы.

– Умеренное присутствие Cl^- и Na^+ и увеличенное содержание калия по сравнению с другими образцами указывает на стабильную работа Na/K-канала и целостность клеточных мембран.

Общие выводы:

1. Физиологический раствор (Образец № 1) приводит к накоплению ионов Na^+ и Cl^- в образце, что подтверждается спектральным профилем и визуальными кристаллическими отложениями.

2. Раствор глюкозы (Образец № 2) демонстрирует наименьшее ионное загрязнение, что делает его идеальным контролем для оценки фона.

3. Раствор диметилоксобутилфосфонилдиметилата (Образец № 3) влияет на элементный состав за счёт своей химической природы (пик фосфора на элементном составе) и может стабилизировать клеточную мембрану и поддерживать работу Na/K-канала.

Заключение

Путём модификации химического состава раствора, в котором содержится жировая ткань, возможно добиться повышения жизнеспособности клеток, а также снижения их чувствительности к неблагоприятным внешним воздействиям в процессе трансплантации. Добавление в раствор компонентов, стабилизирующих клеточные мембраны, антиоксидантов и ионных регуляторов способствует снижению уровня апоптоза, поддержанию осмотического баланса и улучшению метаболической стабильности клеток, что приводит к выводу о необходимости дальнейших исследований в данной области. Такая адаптация микроокружения создает более благоприятные условия для приживления аутотрансплантата, способствует сохранению его функциональной целостности и реализации потенциала жировой ткани в реципиентной зоне.

Список литературы:

1. Зикиряходжаев А.Д., Ермощенкова М.В., Сергеева Н.С., Сарибекян Э.К., Ueberreiter K. Липофилинг. Исторические аспекты и перспективы развития. Онкология. Журнал им. П.А. Герцена, 2015. Т. 4. № 4. С. 75–79.

2. Саидов М.С. Особенности применения аутожира с целью увеличения молочных желез у женщин. Вестник СурГУ. *Медицина,* 2023. Т. 16. № 3. С. 58–62. https://doi.org/10.35266/2304-9448-2023-3-58-62

3. Еленская Ю.М., Вербо Е.В., Мантурова Н.Е. Эффективность сочетанной методики блефаропластики и липофилинга средней трети лица. Пластическая хирургия и эстетическая медицина, 2024. № 3. С. 5–12. https://doi.org/10.17116/plast.hirurgia20240315

4. Захаров П.Д., Никитин А.С. Барьерные методы профилактики эпидурального фиброза на поясничном уровне после микродискэктомии. Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии, 2024. Т. 17. № 1(168). С. 9–20. https://doi.org/10.33920/med-01-2401-01

5. Пинигин А.Г., Кузьмичев П.П., Марочко Н.В., Ермолаева В.А., Березуцкий С.Н. Миниинвазивное хирургическое лечение детей с недержанием кала аутожиром. Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии, 2021. Т. 11. № 1. С. 55–62. https://doi.org/10.17816/psaic686

6. Мисбахова А.Р., Мантурова Н.Е., Мурашкин Н.Н., Стенько А.Г. Применение аутологичной жировой ткани (липофилинг) при лечении линейной склеродермии (обзор литературы). Медицинский алфавит, 2020. № 24. С. 15–17. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-24-15-17

7. Мисбахова А.Р., Мантурова Н.Е., Круглова Л.С. Применение липофилинга при лечении линейной склеродермии по типу «удар саблей» у ребенка. Эффективная фармакотерапия, 2024. Т. 20. № 28. С. 98–100. https://doi.org/10.33978/2307-3586-2024-20-28-98-100

8. Соколова А.В., Ушакова К.А., Борис Д.А., Аполихина И.А. Перспективы клеточной терапии в гинекологии. Женское здоровье и репродукция, 2024. 2(63). С. 22–31. https://doi.org/10.31550/2712-8598-2024-2-3-ZhZiR

9. Contreras RG, Torres-Carrillo A, Flores-Maldonado C, Shoshani L, Ponce A. Na+/K+-ATPase: More than an Electrogenic Pump. *Int J Mol Sci,* 2024, № 25(11), pp. 6122. https://doi.org/10.3390/ijms25116122

10. Huang S, Dong W, Lin X, Bian J. Na+/K+-ATPase: ion pump, signal transducer, or cytoprotective protein, and novel biological functions. *Neural Regen Res*, 2024, № 19(12), pp. 2684-2697. https://doi.org/10.4103/NRR.NRR-D-23-01175

11. Дорогина О.И. Нейрофизиология: учеб. пособие. М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та 2019. 100 с.

12. Морозова К.Н. Основы электронной микроскопии: учебное пособие для вузов. М. : Юрайт, 2022. 84 с.

References:

1. Zikiryakhodzhaev A.D., Ermoshchenkova M.V., Sergeeva N.S., Saribekyan E.K., Ueberreiter K. Lipofilling. Historical aspects and prospects of development. *Oncology. Journal of P.A. Herzen*, 2015, vol. 4, № 4, pp. 75–79. (In Russ.)

2. Saidov M.S. Peculiarities of autogyrene application for the purpose of mammary gland enlargement in women. *Vestnik SURGU, Medicina,* 2023, vol. 16, № 3, pp. 58–62. (In Russ.) https://doi.org/10.35266/2304-9448-2023-3-58-62

3. Elenskaya Y.M., Verbo E.V., Manturova N.E. Effectiveness of the combined technique of blepharoplasty and lipofilling of the middle third of the face. *Plastic Surgery and Aesthetic Medicine,* 2024, № 3, pp. 5–12. (In Russ.) https://doi.org/10.17116/plast.hirurgia20240315

4. Zakharov P.D., Nikitin A.S. Barrier methods of epidural fibrosis prevention at the lumbar level after microdiscectomy. *Bulletin of neurology, psychiatry and neurosurgery,* 2024, vol. 17, № 1(168), pp. 9–20. (In Russ.) https://doi.org/10.33920/med-01-2401-01

5. Pinigin A.G., Kuzmichev P.P., Marochko N.V., Ermolaeva V.A., Berezutsky S.N. Mininivasive surgical treatment of children with fecal incontinence by autogyrene. *Russian journal of pediatric surgery, anesthesiology and resuscitation,* 2021, vol. 11, № 1, pp. 55–62. (In Russ.) https://doi.org/10.17816/psaic686

6. Misbakhova A.R., Manturova N.E., Murashkin N.N., Stenko A.G. Application of autologous adipose tissue (lipofilling) in the treatment of linear scleroderma (literature review). *Medical Alphabet,* 2020, № 24, pp. 15–17. (In Russ.) https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-24-15-17

7. Misbakhova A.R., Manturova N.E., Kruglova L.S. Application of lipofilling in the treatment of linear scleroderma by type “saber blow” in a child. *Efficient Pharmacotherapy,* 2024, vol. 20, № 28, pp. 98–100. (In Russ.) https://doi.org/10.33978/2307-3586-2024-20-28-98-100

8. Sokolova A.V., Ushakova K.A., Boris D.A., Apolikhina I.A. Prospects of cell therapy in gynecology. *Women's Health and Reproduction,* 2024, № 2(63), pp. 22–31. (In Russ.) https://doi.org/10.31550/2712-8598-2024-2-3-ZhZiR

9. Contreras RG, Torres-Carrillo A, Flores-Maldonado C, Shoshani L, Ponce A. Na+/K+-ATPase: More than an Electrogenic Pump. *Int J Mol Sci,* 2024, № 25(11), pp. 6122. https://doi.org/10.3390/ijms25116122

10. Huang S, Dong W, Lin X, Bian J. Na+/K+-ATPase: ion pump, signal transducer, or cytoprotective protein, and novel biological functions. *Neural Regen Res*, 2024, № 19(12), pp. 2684–2697. https://doi.org/10.4103/NRR.NRR-D-23-01175

11. Dorogina O.I. *Neurophysiology: textbook.* Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural Federal University. Federation, Ural Federal University. Yekaterinburg: Izd-voor Ural, un-ta 2019, 100 p. (In Russ.)

12. Morozova K.N. *Fundamentals of electron microscopy: textbook for universities.* Moscow: Yurait Publishing House, 2022, 84 p. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Колесник Василий Ярославович – аспирант кафедры пластической хирургии ФГБОУ ВО «Российский Биотехнологический Университет (РОСБИОТЕХ)», 125080, Волоколамское шоссе, д. 11, Москва, РФ. Email: v.kolesnik@bk.ru. ORCID: 0009-0001-6572-2392

Information about the authors:

Kolesnik Vasily Yaroslavovich – postgraduate student at the Department of Plastic Surgery of the Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), 11 Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, Russia. Email: v.kolesnik@bk.ru. ORCID: 0009-0001-6572-2392