

# Особенности распределения электролитов в различных тканях у миниатюрных свиней

А.В. Фатьянова<sup>1, 2</sup>✉, В.А. Лавриненко<sup>1</sup>, О.В. Трапезов<sup>1, 2</sup>, Н.С. Юдин<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

Использование миниатюрных свиней в качестве биологических моделей основывается на большом сходстве их анатомии и физиологии сердечно-сосудистой системы, морфологии и физиологии кожи, органов пищеварения в сравнении с человеком и способствует решению проблем ксенотрансплантации. Однако, несмотря на широкий интерес к данной породе животных, остаются малоизученными особенности распределения воды и электролитов в тканях мини-свиней, что явилось целью настоящего исследования. Изучено распределение катионов натрия, калия и воды в скелетных мышцах, миокарде, гладкомышечных элементах сосудистой системы, печени и коже мини-свиней, различающихся по полу и поведенческой реакции по отношению к человеку. Количественное содержание катионов натрия и калия определяли методом атомно-адсорбционной спектроскопии. Показано, что скелетные и гладкие мышцы отличаются по электролитному составу. При этом в скелетных мышцах выявлена зависимость содержания электролитов от типа поведения по отношению к человеку. Полученные данные подтверждаются и двухфакторным дисперсионным анализом. Обнаружено накопление воды в образцах мышечной ткани ручных самцов по сравнению с трусливыми, что также доказывается результатами исследования дисперсионного комплекса. Изучение распределения электролитов в коже свидетельствует о влиянии типа поведения на содержание натрия. Пол животных и тип поведения не повлияли на распределение калия и массовую долю воды в коже и печени исследованных животных. В ходе работы не выявлено влияния пола и типа поведения животных на содержание натрия в печени, однако обнаружено значительное содержание калия по сравнению с натрием, что, возможно, связано с высокой плотностью клеточных элементов. Установлены некоторые различия распределения основных катионов внеклеточного и внутриклеточного секторов, а также зависимость содержания электролитов от функциональных особенностей тканей. Полученные данные демонстрируют, что мини-свиньи ИЦиГ могут являться информативной моделью для исследования влияния генетических (пол) и фенотипических (тип поведения) особенностей на параметры водно-электролитного гомеостаза.

Ключевые слова: мини-свиньи; атомно-адсорбционная спектроскопия; натрий; калий; образцы тканей.

## КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:

Фатьянова А.В., Лавриненко В.А., Трапезов О.В., Юдин Н.С. Особенности распределения электролитов в различных тканях у миниатюрных свиней. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(7):795-797. DOI 10.18699/VJ17.295

## HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Fatianova A.V., Lavrinenko V.A., Trapezov O.V., Yudin N.S. Features of the electrolyte distribution in various tissues in miniature pigs. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(7):795-797. DOI 10.18699/VJ17.295 (in Russian)

Received 29.09.2017  
Accepted for publication 20.10.2017  
© AUTHORS, 2017

✉ e-mail: allium@list.ru

## Features of the electrolyte distribution in various tissues in miniature pigs

A.V. Fatianova<sup>1, 2</sup>✉, V.A. Lavrinenko<sup>1</sup>,  
O.V. Trapezov<sup>1, 2</sup>, N.S. Yudin<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Striking similarities between human and miniature pig anatomy and physiology of the cardiovascular system, skin and digestive organs have made miniature pigs a successful animal model for addressing problems of xenotransplantation. However, despite the widespread interest in this breed of animals, the distribution of water and electrolytes in the tissues of miniature pigs remains poorly understood, which led us to conduct this study. The distribution of sodium, potassium cations and water in skeletal muscles, myocardium, smooth muscle elements of the vascular system, liver and skin of mini-pigs differing in gender and behavioral response to humans has been studied. Quantitative determination of sodium and potassium cations was performed by atomic absorption spectroscopy. It was shown that skeletal and smooth muscles differ in electrolyte content. The impact of behavioral response to humans on the electrolyte level in skeletal muscle was detected. The data are confirmed by two-factor dispersion analysis. The accumulation of water in muscle samples of "tame" males as compared with cowardly animals was shown. The impact of different behavioral types on the amount of sodium in the skin was revealed. The impact of the gender of animals or the type of behavior on the sodium level in the liver was not detected. However, a significant amount of potassium was found in the liver as compared with sodium level, which is possibly associated with a high density of cellular elements. The gender and behavioral type of animals did not have an impact on the distribution of potassium and the mass fraction of water in the skin and liver. Some differences in the distribution of the main extracellular and intracellular sectors' cations were revealed, and so was the dependence of the electrolyte content on the functional characteristics of the tissues. The data obtained demonstrate that miniature pigs can be an informative animal model for studying the influence of genetic (gender) and phenotypic (behavioral response) aspects on the parameters of water-electrolyte homeostasis.

Key words: miniature pigs; atomic absorption spectroscopy; sodium; potassium; tissue samples.

В настоящее время за рубежом и в России широко внедряются в практику медико-биологических исследований миниатюрные свиньи как новый вид лабораторных животных (Mogisson et al., 2000; Никитин и др., 2014). Многие системы мини-свиней (сердечно-сосудистая, пищеварительная, кожа) имеют значительное анатомическое и физиологическое сходство с системами человека, что позволяет использовать этот вид в качестве биологической модели, а также в процессах ксенотрансплантации (Капанадзе, 2006; Айтназаров и др., 2014).

Для медико-биологических целей впервые в Российской Федерации в ИЦиГ СО РАН выведена порода мини-свиней путем отдаленной гибридизации и сложным воспроизводительным скрещиванием домашних и диких свиней европейского и азиатского происхождения (Тихонов, 2010). Несмотря на активное изучение данной породы животных, особенности локализации воды и электролитов в тканях мини-свиней остаются малоизученными, что послужило целью настоящего исследования.

## Материалы и методы

Работа выполнена на 40 миниатюрных свиньях в возрасте 1 мес., массой 8–12 кг, полученных из питомника ИЦиГ СО РАН. Животные были разделены на четыре группы по полу и реакции поведения по отношению к человеку (трусливо-оборонительная и ручная). Исследование проведено с соблюдением Хельсинкской декларации о гуманном отношении к животным.

Для анализа содержания электролитов были отобраны образцы мышечной ткани (скелетная бедренная мышца, сердечная мышца (миокард левого желудочка), аорта, полая вена), а также кожи и печени. Кусочки ткани высушивали до постоянной массы при температуре 100 °С. Количественное содержание катионов натрия и калия определяли методом атомно-адсорбционной спектроскопии (Hitachi Z-8000, Япония). Массовую долю воды рассчитывали как отношение массы воды к массе образца во влажном состоянии.

Достоверность различий показателей между группами животных оценивали в пакете программ Statistica 8.0 с использованием теста Дункана и двухфакторного дисперсионного анализа ANOVA, где в качестве независимых переменных взяты пол животного и реакция поведения на человека.

## Результаты и обсуждение

Известно, что натрий является основным внеклеточным катионом и обеспечивает, наряду с участием в поддержании водно-солевого гомеостаза, а также процессов трансмембранного транспорта, процесс возбуждения в нервных и мышечных клетках (Nehrke, 2014). В табл. 1 представлены данные о распределении катионов натрия в образцах ткани, в зависимости от пола животных и типа поведения по отношению к человеку. Сравнение разных типов мышечной ткани показало, что в гладкомышечных элементах сосудистого русла (аорта и полая вена) натрия содержится больше, чем в миокарде. Меньше всего натрия определяется в скелетной мышце. В скелетных мышцах ручных самцов выявлено достоверно более высокое содержание натрия по сравнению с самцами с трусливой реакцией

поведения ( $p < 0.05$ ). У экспериментальных животных женского генотипа с ручным типом поведения обнаружено достоверное уменьшение содержания натрия в миокарде по сравнению с трусливыми особями ( $p < 0.05$ ). Также в миокарде трусливых самок выявляется повышенное содержание натрия по сравнению с трусливыми самцами ( $p < 0.05$ ). Дисперсионный анализ полученных данных показал достоверное влияние типа поведения на содержание натрия в аорте ( $F_{1,36} = 6.21, p < 0.05$ ). В остальных экспериментальных группах достоверного влияния факторов пола, типа поведения и их взаимодействия не обнаружено.

Основной путь поступления воды и электролитов в организм – желудочно-кишечный тракт. Кровь, оттекающая от тонкой кишки, поступает в печень, одной из важных функций которой является участие в минеральном обмене. Для поддержания водно-солевого гомеостаза важны не только пути поступления воды и электролитов, но и размеры потерь, основную роль в этом играет кожа. Размеры потерь воды через кожу определяются скоростью диффузии через заполненный липидами ороговевший протекторный слой (Иванова, 2009). Анализ двухфакторного дисперсионного комплекса выявил влияние типа поведения на распределение натрия в коже ( $F_{1,36} = 11.03, p < 0.01$ ): наблюдается уменьшение содержания натрия у ручных животных по сравнению с трусливыми (самцы:  $p < 0.05$ , самки:  $p < 0.05$ ). В ходе исследования не обнаружено эффектов пола и типа поведения животных на содержание натрия в печени.

Важнейшим ионом внутриклеточной жидкости по сравнению с внеклеточной является калий (см. табл. 1). При сравнении разных тканей отмечено преобладание калия в скелетной мышце и миокарде. Выявлено, что в гладкомышечных элементах сосудистой системы самцов содержание калия выше у ручных животных ( $p < 0.05$ ), что подтверждается влиянием фактора типа поведения при анализе дисперсионного комплекса ( $F_{1,36} = 5.21, p < 0.05$ ). В печени обнаружено значительное содержание калия по сравнению с натрием, что, возможно, связано с высокой плотностью клеточных элементов. Пол и тип поведения животных не повлияли на распределение калия в печени и коже исследованных животных.

Натрий и калий, являясь осмотически активными ионами, способствуют перераспределению воды между клеткой и внеклеточной жидкостью. Анализ полученных данных показал накопление воды в скелетных и гладкомышечных образцах ручных самцов по сравнению с трусливыми (табл. 2), что подтверждается результатами дисперсионного анализа: фактор типа поведения достоверно влияет на обводненность аорты ( $F_{1,36} = 4.94, p < 0.05$ ) и полой вены ( $F_{1,36} = 10.27, p < 0.01$ ). На содержание воды в скелетной мышце оказали влияние фактор пола ( $F_{1,36} = 10.00, p < 0.01$ ) и взаимодействие факторов пола и типа поведения ( $F_{1,36} = 14.25, p < 0.001$ ). Факторы пола и типа поведения не влияют на массовую долю воды в коже и печени.

Анализ результатов исследования позволил выявить некоторые различия распределения основных катионов внеклеточного и внутриклеточного секторов, а также зависимость содержания электролитов от функциональных особенностей тканей.

**Table 1.** Concentrations of sodium and potassium ions in tissue samples, µg/mg dry tissue, M ± SEM

Tissue	Sodium				Potassium			
	Males		Females		Males		Females	
	cowardly animals	tame animals						
Skeletal muscle	2.60±0.11	3.30±0.30*	2.81±0.22	2.80±0.15	12.79±0.27	12.08±1.24	12.76±1.45	14.27±0.86
Cardiac muscle	4.67±0.17	4.34±0.21	7.78±1.67#	4.69±0.32*	12.62±1.05	13.78±0.93	12.22±1.37	13.05±0.78
Aorta	5.84±0.78	8.23±0.92	5.78±0.89	7.53±0.71	3.09±0.37	5.95±1.29*	3.96±0.54	4.66±0.57
Hollow vein	6.62±0.20	7.95±0.91	6.14±0.34	6.65±0.70	4.68±0.12	12.30±4.14*	5.01±0.43	4.99±0.31#
Skin	6.87±0.51	5.44±0.63*	7.10±0.44	5.32±0.29*	4.18±0.47	3.69±0.46	4.16±0.32	4.70±1.45
Liver	2.90±0.07	3.04±0.10	3.06±0.17	3.14±0.12	9.95±0.29	9.71±0.55	10.01±0.21	10.01±0.36

\*  $p < 0.05$  vs. same-sex cowardly animals; #  $p < 0.05$  vs. males of the same behavior type.

**Table 2.** Percentage of water in tissue samples, M ± SEM

Tissue	Males		Females	
	cowardly animals	tame animals	cowardly animals	tame animals
Skeletal muscle	75.50±0.37	77.64±0.71*	75.84±0.23	73.80±0.73*###
Cardiac muscle	77.56±0.34	77.72±0.55	77.58±0.27	74.83±1.88
Aorta	57.87±3.59	71.24±2.82*	57.55±4.80	60.12±2.74#
Hollow vein	65.02±0.85	70.77±1.28**	64.90±0.98	66.47±1.38#
Skin	72.40±3.09	66.26±2.27	70.21±1.18	64.62±1.29
Liver	70.25±0.44	71.42±0.62	70.20±0.44	69.51±0.53#

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$  in comparison to same-sex cowardly animals; #  $p < 0.05$ , ###  $p < 0.001$  in comparison to males of the same behavior type.

Полученные данные демонстрируют, что мини-свиньи ИЦиГ могут являться информативной моделью для исследования влияния генетических (пол) и фенотипических (тип поведения) особенностей на параметры водно-электролитного гомеостаза.

### Acknowledgments

This work is supported by the Russian Academy of Sciences, projects 0324-2016-0010 and 0324-2016-0002. Work in the Shared Access Center was supported by the Russian Ministry of Education and Science, project RFMEFI62117X0015.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### References

Aitnazarov R.B., Yudin N.S., Nikitin S.V., Ermolayev V.I., Voevoda M.I. Identification of whole genomes of endogenous retroviruses in Siberian miniature pigs. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;18(2):294-297. (in Russian)

Ivanova L.N. Regulatsiya vodno-solevogo balansa u cheloveka i zhivotnykh [Regulation of the water-salt balance in humans and animals]. *Izbrannye lektsii po sovremennoy fiziologii*. Pod red. M.A. Ostrovskogo, A.L. Zefirova [M.A. Ostrovsky and A.L. Zefirov (Eds.) Selected lectures on modern physiology]. Kazan: Art-Kafe Publ., 2009;303-326. (in Russian)

Kapanadze G.D. Use of miniature pigs in biomedical experiments. *Biomeditsina = Biomedicine*. 2006;2:40-51. (in Russian)

Morisson S.G., Dominguez J.J., Frascarolo P., Reiz S. A comparison of the electrocardiographic cardiotoxic effects of racemic bupivacaine, levobupivacaine, and ropivacaine in anesthetized swine. *Anesth. Analg.* 2000;90:1308-1314.

Nehrke K. Membrane ion transport in non-excitabile tissues. *Worm-Book*. 2014;23:1-22.

Nikitin S.V., Knyazev S.P., Shatokhin K.S. Miniature pigs of ICG as a model object for morphogenetic research. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014;18(2):279-293. (in Russian)

Tikhonov V.N. Laboratornye mini-svin'i: genetika i mediko-biologicheskoe ispolzovanie [Laboratory Minipigs: Genetics and Biomedical Use]. Novosibirsk: SO RAN Publ., 2010. (in Russian)