Оригинальная статья
УДК 57.084.1
https://doi.org/10.57034/2618723X-2022-04-05

Специфика содержания голых землекопов (*Heterocephalus glaber*) в лабораторных условиях

О.А. Аверина[1,2*], М.А. Адрианов[1], О.А. Пермяков[2], Н.Н. Шкавро[3], М.Ю. Высоких[1,3]

[1] Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2] Институт функциональной геномики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[3] ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

** E-mail: averina.olga.msu@gmail.com*

Резюме. В последнее время в исследованиях по изучению механизмов продолжительности жизни на моделях животных внимание ученых всего мира привлекает *Heterocephalus glaber* — уникальный вид грызунов, происходящий из области Африканского Рога. Экстремальная продолжительность жизни и необыкновенная устойчивость к стрессовым воздействиям различного типа, делающая этого грызуна привлекательным объектом для изучения, сочетается с особенностями характеристик содержания данного животного, которые значительно отличаются от потребностей и характеристик других мелких лабораторных животных, используемых в исследованиях. Кроме того, для удовлетворения особых требований *Heterocephalus glaber* к макро- и микросреде необходимы нестандартные системы и режим содержания. Оказалось, поскольку чрезвычайно долгоживущие (до 37 лет) голые землекопы — один из двух известных эусоциальных видов млекопитающих [вторым является дамаралендский землекоп (*Cryptmuys damarensis*)] — активно роют норы и привыкли к подземной среде в отличие от типичных крыс и мышей, им нужна специальная, уникальная система содержания, которая имитирует их естественную подземную среду для поддержания эусоциальной структуры колонии, обеспечивающей их здоровое долголетие.
В данной статье представлены обзор методов содержания голых землекопов и наблюдения, которые можно использовать в исследовательских условиях, стандартизуя спектр ответных физиологических реакций и молекулярно-биологических/биохимический показателей у изучаемых животных.

Ключевые слова: самый долгоживущий грызун, социальная структура эусоциальной колонии, лабораторное содержание и уход, определение пола

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-14-00160.

Для цитирования: Аверина О.А., Адрианов М.А., Пермяков О.А., Шкавро Н.Н., Высоких М.Ю. Специфика содержания голых землекопов (*Heterocephalus glaber*) в лабораторных условиях. Лабораторные животные для научных исследований. 2022; 4. 38–45. https://doi.org/10.57034/2618723X-2022-04-05.

Original article

Naked Mole Rats (*Heterocephalus glaber*) housing specifics in laboratory conditions

O.A. Averina [1,2*], M.A. Adrianov[1], O.A. Permyakov[2], N.N. Shkavro[3], M.Y. Vysokikh[1,3]

[1] Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
[2] Institute of functional genomics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
[3] National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov of Ministry of Healthcare of Russian Federation, Moscow, Russia

** E-mail: averina.olga.msu@gmail.com*

© Аверина О.А., Адрианов М.А., Пермяков О.А., Шкавро Н.Н., Высоких М.Ю., 2022

Abstract. Recently, in studies on the mechanisms of lifespan in animal models, the attention of scientists around the world has attracted *Heterocephalus glaber*, a unique rodent species originating from the Horn of Africa. The extreme longevity and extraordinary resistance to stress of various types, which makes this rodent an attractive object for study, is combined with the characteristics of the characteristics of the maintenance of this animal, which differ significantly from the needs and characteristics of other small laboratory animals used in research. In addition, to meet the special requirements of *Heterocephalus glaber* for the macro- and microenvironment, non-standard systems and regimes are required. It turned out that since extremely long-lived naked mole rats (up to 37 years old) — one of two known eusocial mammalian species [and damaraland mole-rat (*Cryptomuys damarensis*)], actively dig holes and are accustomed to the underground environment, unlike typical rats and mice, they need special, unique housing systems that mimic their natural underground environment to maintain the eusocial structure of the colony, ensuring their healthy longevity. In this article, we provide an overview of the methods of keeping naked mole rats and our observations that can be used in research settings, standardizing the range of physiological responses and molecular biological/biochemical parameters in the studied animals.

Keywords: longest-living rodents, social structure of eusocial colony, laboratory housing and care, sexing identification

Acknowledgements. This work was supported by the Russian Science Foundation (grant N. 22-14-00160).

For citation: Averina O.A., Adrianov M.A., Permyakov O.A., Shkavro N.N., Vysokikh M.Y. Naked Mole Rats (*Heterocephalus glaber*) housing specifics in laboratory conditions. Laboratory Animals for Science. 2022; 4. 38–45. https://doi.org/10.57034/2618723X-2022-04-05.

Введение

Голый землекоп (*Heterocephalus glaber*) — грызун, проживающий в засушливых районах Африканского Рога, является очень интересным объектом для изучения процессов старения, так как продолжительность жизни этого животного не укладывается на восходящую прямую «продолжительность жизни — масса организма» наряду с человеком. Действительно, этот грызун массой тела от 20 до 80 г способен прожить до 37 лет, при этом проявляя устойчивость к широкому спектру старческих заболеваний [1, 2]. Как было показано в наших исследованиях, интересной особенностью его организма является неотения, то есть сохранность ювенильных черт в зрелом возрасте. Действительно, некоторые ткани и органы голых землекопов представлены в недоразвитом состоянии или работают в режиме, характерном для новорожденных мелких грызунов [1, 3]. Голые землекопы живут колониями и формируют эусоциальную среду, в которой только одна самка (называемая в литературе «королева» — по аналогии с общественными насекомыми) с некоторыми самцами может давать потомство, в то время как остальные особи являются рабочими, представляя различные касты. У группы рабочих особей определяется высокий уровень пролактина [4, 5] и низкий уровень половых гормонов [6, 7], что подавляет полноценное развитие репродуктивной системы. Так, у самок рабочих каст отсутствует эстральный цикл, слабо развиты яичники, матка меньшего размера, у самцов недоразвитые семенники, в которых происходит сперматогенез, однако сперматозоиды неподвижны [8]. Гиперпролактинемия среди рабочих особей также рассматривается как фактор, опосредующий кооперативную компоненту. Данная эусоциальная структура существования в суровых климатических условиях позволяет поддерживать оптимальную численность популяции и избегать инбридинга [9–11].

Условия содержания

В естественной среде голые землекопы обитают в системе нор, состоящей из множества камер, соединенных между собой серией тоннелей по принципу лабиринта. Эта особенность учитывается и при проектировании систем содержания в лабораторных условиях (рис. 1). Количество камер в лабиринте должно коррелировать с численностью животных, так как перенаселенность может привести к снижению фертильности «королевы». При этом, несмотря на размер лабиринта и количество камер, в нем должны быть организованы гнездо, туалетный и кормовой отсеки, обнаруживаемые в норах в дикой природе. Ключевой деталью, которую следует учитывать при выборе материалов при проектировании системы содержания, является врожденное стремление вида расширять свою систему нор, то есть лабиринт должен быть изготовлен из достаточно прочного материала, например, из плексигласа, чтобы животные не могли его прогрызть [9, 12, 13].

Голые землекопы не способны эффективно стабилизировать температуру своего тела, отличную от температуры окружающей среды, поэтому в выбранном помещении необходимо поддерживать температуру в узком диапазоне 27–29 °C, соответствующем их термотолерантной зоне. В случае нарушения температурного режима у животных наблюдаются ожирение, пролапс ануса, снижение фертильности и ухудшение общего состояния вплоть до летального исхода [9, 12, 13].

В связи с необходимостью имитации естественного подземного образа жизни в лабораторных условиях следует поддерживать влажность воздуха в пределах 50%, в противном случае могут развиваться грибковые поражения при переувлажнении или повреждение кожных покровов и хвоста при пересыхании [9, 12, 13].

Основной рацион голых землекопов составляют корнеплоды при полном отсутствии сво-

Рис. 1. *Вариант проекта лабиринта из плексигласа для содержания голых землекопов в лабораторных условиях*

Рис. 2. *Диета голых землекопов: а — в основном корнеплоды (кроме картофеля) и яблоки твердых несладких сортов при полном отсутствии свободной воды; б — твердый корм для стачивания зубов*

бодной воды (рис. 2*а*). Для предотвращения малокклюзии животным необходимо предоставлять твердый комбикорм и/или специализированные минеральные камни для стачивания зубов (рис. 2*б*) [9, 12, 13].

Экспериментальные наблюдения нашей исследовательской группы продемонстрировали, что у голых землекопов прослеживается циркадная ритмика двигательной активности с постепенным снижением в течение ночи и подъемом днем, сохранявшаяся как при световом режиме (12 ч — день, 12 ч — ночь), так и при содержании в полной темноте. Полученные результаты позволяют заключить, что для благополучного состояния голых землекопов подходит стандартный световой режим 12/12 содержания лабораторных грызунов, несмотря на их подземную природу существования [14].

Структура колонии

Как уже упоминалось выше, животные в эусоциальной колонии формируют различные касты. Разделение на касты условно — нет четких морфологических, физиологических, генетических признаков. Определение структуры колонии также осложняется тем, что животное в течение жизни способно менять свой статус. Обнаружение критериев разделения на касты и определение структуры колоний — очень важные аспекты исследования долгожительства голых землекопов. Сегодня на основании специфики поведения, размера животных и способности к размножению выделяют касты так называемых «рабочих», «нянек», «солдат», «разведчиков-основателей» и «королевы» с «мужьями» [9, 12, 13].

«Королева» является единственной размножающейся самкой, при этом ее фертильность

не снижается с возрастом (рис. 3). Одним из интересных фактов считается ее способность подавлять половое развитие неразмножающихся особей своим агрессивным поведением в большей степени, чем за счет феромонов, из-за слаборазвитого у голых землекопов вомероназального органа [7, 15]. К размножающейся касте относятся и «самцы-мужья», их количество варьирует от 1 до 3 [9], однако недавние исследования анализа родства на основе микросателлитной ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) показали полную моногамию по крайней мере в лабораторных условиях [16]. Они считаются более агрессивными по сравнению с неразмножающимися особями, но менее, чем «королева». Было замечено, что при своем становлении размножающиеся самцы меняют конституцию тела, становясь более астеничными. Интересным наблюдением стала прямая корреляция между высоким статусом особей в колонии, продолжительностью жизни и размером селезенки, ответственной за протекторные свойства организма [17].

Неразмножающиеся рабочие особи выполняют задачи по расширению тоннелей и поиску еды, среди них в касту «нянек» выделяют самых мелких и спокойных животных, им отводится роль заботы о потомстве, так как «королева» задействована только в процессе грудного вскармливания. «Солдатами» становятся самые крупные и агрессивные среди неразмножающихся особей, они первыми появляются на месте вторжения в колонию, сигнализируют об опасности и атакуют хищников [9, 12, 13].

«Разведчики-распространители» — малочисленная обособленная группа крупных особей, способных покидать подземные тоннели и перемещаться по поверхности на расстояния около 2 км [18] с целью обнаружения особей иных колоний голых землекопов для создания новой колонии [19]. Следовательно, эти особи должны быть готовы к изменяемым температурным условиям, не свойственной им нормоксии и нормокапнии наземных животных, иметь крупный жировой запас и способность запускать спящую репродуктивную систему [19, 20]. Именно из данной касты перспективно выделять особей для создания новой колонии в лабораторных условиях, при этом придерживаясь естественной стратегии социальной изоляции до этапа встречи с особью противоположного пола [21, 22] (рис. 4).

Определение пола у голых землекопов

У голых землекопов очень слабо выражен половой диморфизм. Только «королеву» можно отличить от других представителей колонии по перфорированному влагалищу (рис. 5*б*), выраженным молочным железам, а также она имеет самую большую длину тела из всех животных, так как у нее происходит растягивание поясничных позвонков на уровне L_{IV}–L_V во время репродуктивной активности [21]. У остальных представителей колонии, даже у размножающихся самцов, отсутствуют вторичные половые признаки.

Рис. 3. *«Королева» с пометом*

Из характеристик, которые можно определить визуально, выделяются аногенитальное расстояние (рис. 5*в*) и наличие красной мембраны на месте предполагаемой вагины у самок (рис. 5*а*). Наши наблюдения подтверждают данные литературы о том, что аногенитальное расстояние у голых землекопов больше у самок, чем у самцов (см. рис. 5*в*), что является исключением, так как у всех грызунов аногенитальное расстояние больше у самцов, чем у самок. Однако измерения не продемонстрировали достоверных различий, поэтому этот метод нельзя использовать как основной способ определения пола у голых землекопов. Красная мембрана достоверно обнаруживается в области предполагаемой вагины у большинства самок голых землекопов (см. рис. 5*а*), тем не менее были зафиксированы исключения и спорные случаи, что может привести к ошибке идентификации пола [23].

В итоге самым надежным прижизненным методом определения пола является ПЦР-анализ (полимеразная цепная реакция) биологического материала. Проводится мультиплексный ПЦР-анализ ДНК, выделенной из кожи животного, для выявления гена *DBY* (163 п.о.), который специфичен для самцов, и 16S-митохондриальной рибосомальной ДНК (446 п.о.), характерной и для самцов, и для самок [24] (рис. 6).

Особенности периода беременности и лактации

С этапом создания новой семьи сложности в разведении голых землекопов не заканчиваются. По сравнению с другими мелкими лабора-

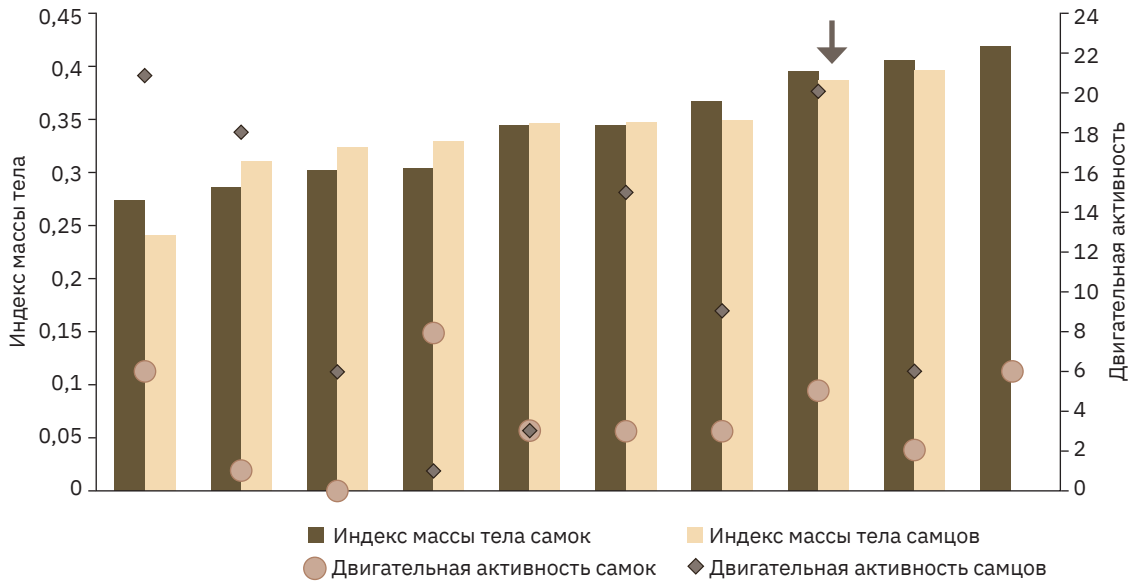
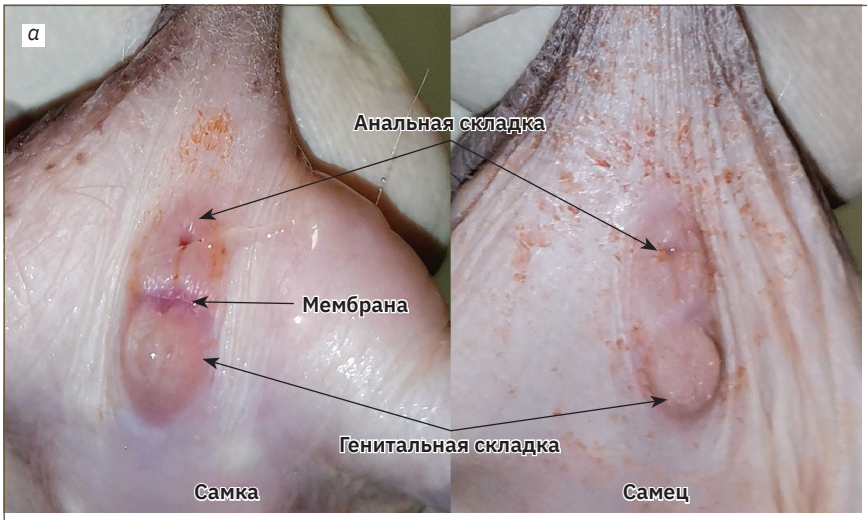
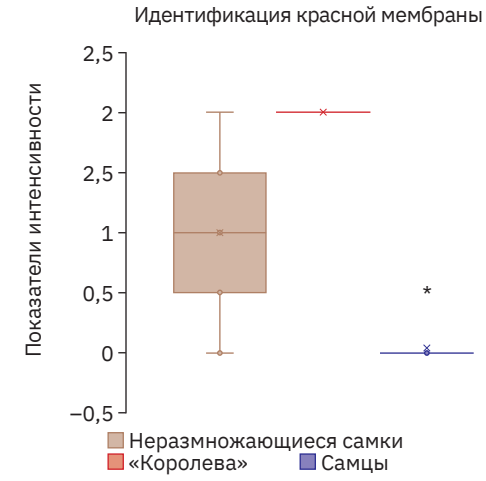
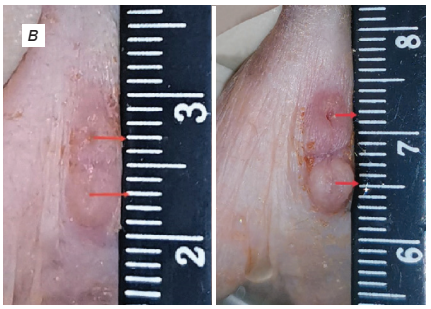


Рис. 4. *Пример идентификации в лабораторных условиях фаундера — рабочей особи способной, по преодолению периода изоляции, стать родоначальником новой колонии. На графике отображено соотношение индивидуальных параметров ИМС и двигательной активности голых землекопов разного пола в колонии, где особь, имеющая максимальные значения, будет выбрана в качестве фаундера*







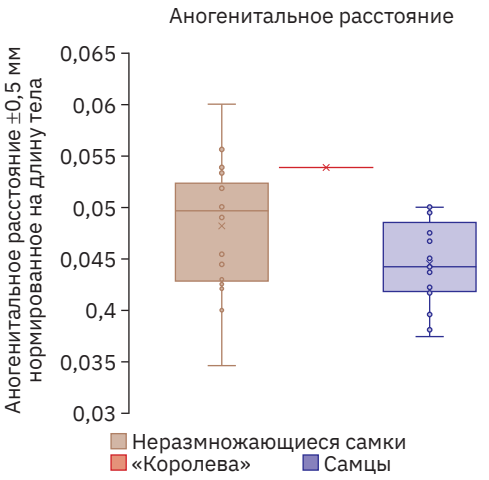


Рис. 5. *Визуальная половая идентификация голых землекопов демонстрирует, что у самок по сравнению с самцами чаще встречается красная мембрана между анальной и генитальной складками (а) и больше аногенитальное расстояние (в), что ярче выражено у «королевы» (б). Справа представлено графическое отображение визуальной оценки половых различий голых землекопов*

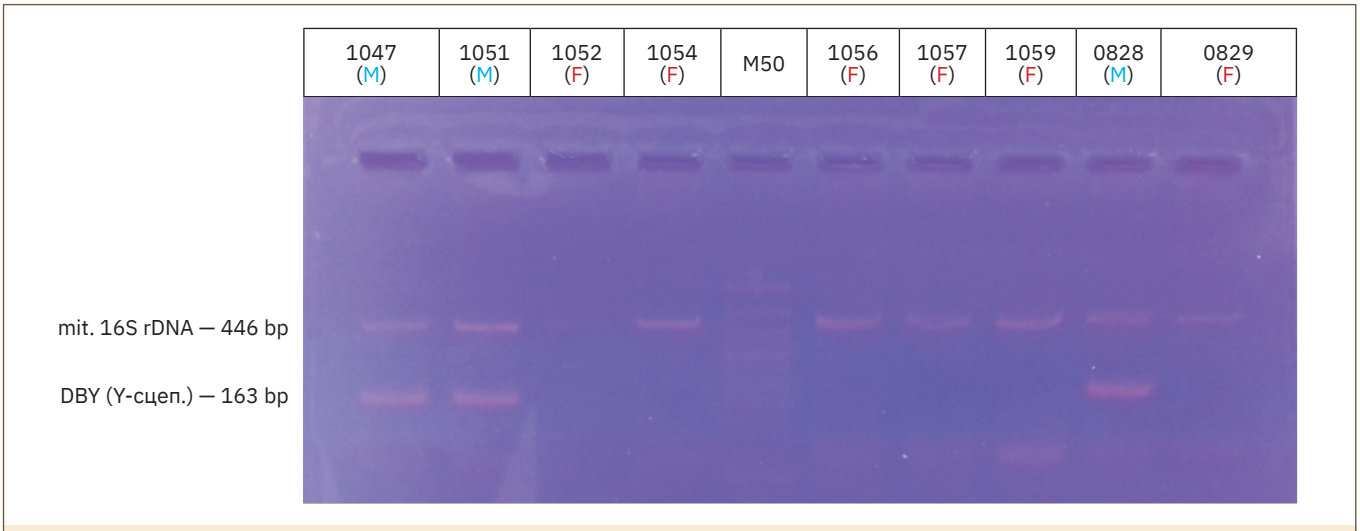


Рис. 6. *Половая идентификация голых землекопов по результатам электрофореза ПЦР-продуктов*

торными грызунами период беременности у голых землекопов длится около 70 дней, и размер помета крупнее, чем у других грызунов, и может достигать 27 щенят, однако младенческая смертность аномально высокая и может достигать более 50%. Причиной смертности могут являться отказ «королевы» кормить часть щенят, а также каннибализм со стороны взрослых особей из-за стресса или других явлений [25, 26]. К сожалению, критерии отбора щенят в колонии пока неясны, и наша исследовательская группа работает в данном направлении. Однако мы уже выработали режим послеродового ухода за колонией, при котором смертность в раннем возрасте снизилась в разы. Он заключается в минимальном вторжении исследователей в гнездовой отсек, предоставлении минерального камня с добавлением кальция и белковой пищи, например, вареной говядины. Важно отметить, несмотря на данные о том, что фертильность «королевы» с возрастом не снижается, по нашим наблюдениям, размножение и появление новых членов могут прерываться на несколько лет.

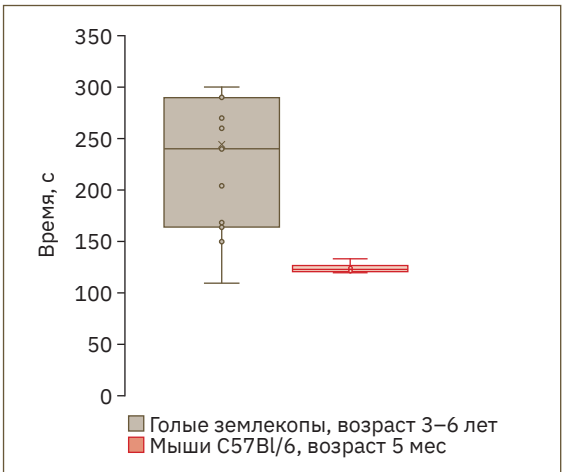


Рис. 7. *Сравнительный анализ продолжительности погружения в газовый наркоз, при стабильной подаче смеси воздуха и изофлурана, показал, что голые землекопы дольше входят в наркоз, чем мыши C57Bl/6*

Взятие биологических образцов для анализов

Все манипуляции по отбору образцов кожи на генетический анализ, биопсии различных тканей для научных исследований, чипированию (самый оптимальный метод маркировки голых землекопов), взятию крови у голых землекопов проводили под газовой анестезией и с использованием местных анальгетиков. Было отмечено, что голые землекопы более продолжительное время погружаются в наркоз по сравнению с мышами, это связано с особенностью их физиологии (рис. 7).

Отдельно стоит остановиться на вопросе отбора крови, так как классические методы, используемые для мелких лабораторных грызунов, не подходят для работы с голыми землекопами. В публикациях, где упоминается о заборе крови, всегда идет речь о взятии крови из латеральной подкожной вены задней лапы [5, 22]. Из хвостовой вены отбор крови у голых землекопов запрещен, так как хвост является важным органом в коммуникации и играет роль органа пространственного ориентирования в тоннелях. Взять кровь невозможно не только из лицевых вен из-за очень развитой жевательной мускулатуры голых землекопов, но и из-под языка тоже вследствие специфики строения ротовой полости: в нее отсутствует свободный доступ [13].

Заключение

Голые землекопы (*Heterocephalus glaber*) — уникальный и относительно молодой объект исследования. С каждым годом все больше выходит публикаций, посвященных этому долгоживущему грызуну. В Московском государственном университете под руководством директора НИИ ФХБ им. А.Н. Белозерского, профессора,

академика Владимира Петровича Скулачева этот уникальный вид грызунов изучается с 2016 г. в широком формате, начиная с поведения, физиологии, генетики и заканчивая исследованием функционирования отдельных органов и органелл. Сведения, полученные при изучении особенностей природы голых землекопов, будут неоценимы и, возможно, сыграют значительную роль в развитии геронтологических исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Skulachev V.P, Holtze S., Vyssokikh M.Y. et al. Neoteny, Prolongation of Youth: From Naked Mole Rats to "Naked Apes" (Humans) // Physiol Rev. 2017. Vol. 97. N. 2. P. 699–720. DOI: 10.1152/physrev.00040.2015. PMID: 28202600.
2. Манских В.Н., Аверина О.А., Никифорова А.И. Спонтанная и экспериментальная патология голого землекопа // Биохимия. 2017. 82 (12). С. 1874–1884 [Manskikh V.N., Averina O.A., Nikiforova A.I. Spontaneous and Experimentally Induced Pathologies in the Naked Mole Rat (*Heterocephalus glaber*) // Biochemistry. 2017. 82(12). P. 1504–1512. (In Russ.)]. DOI: 10.1134/S0006297917120094.
3. Vyssokikh M.Y., Holtze S., Averina O.A. et al. Mild depolarization of the inner mitochondrial membrane is a crucial component of an anti-aging program // Proc Natl Acad Sci USA. 2020. Vol. 24; 117. N. 12. P. 6491–6501. DOI: 10.1073/pnas.1916414117.
4. Gilbert J.D., Rossiter S.J., Bennett N.C., Faulkes C.G. The elusive role of prolactin in the sociality of the naked mole-rat // Horm Behav. 2022. Vol. 143. 105196. DOI: 10.1016/j.yhbeh.2022.105196. Epub 2022 May 19. PMID: 35597054.
5. Medger K., Bennett N.C., Ganswindt S.B., Ganswindt A., Hart D.W. Changes in prolactin, cortisol and testosterone concentrations during queen succession in a colony of naked mole-rats (*Heterocephalus glaber*): a case study // Naturwissenschaften. 2019. Vol. 14. N. 106(5–6). P. 26. DOI: 10.1007/s00114-019-1621-1. PMID: 31089819.
6. Zhou S., Holmes M.M., Forger N.G. et al. Socially regulated reproductive development: analysis of GnRH-1 and kisspeptin neuronal systems in cooperatively breeding naked mole-rats (Heterocephalus glaber) // J. Comp. Neurol. 2013. Vol. 1. N. 521(13). P. 3003–3029. DOI: 10.1002/cne.23327. PMID: 23504961.
7. Bens M., Szafranski K., Holtze S. et al. Naked mole-rat transcriptome signatures of socially suppressed sexual maturation and links of reproduction to aging // BMC Biol. 2018. Vol. 2. N. 16(1). P. 77. DOI: 10.1186/s12915-018-0546-z.
8. Faulkes C.G., Abbott D.H., Jarvis J.U. Social suppression of ovarian cyclicity in captive and wild colonies of naked mole-rats, *Heterocephalus glaber* // J. Reprod. Fertil. 1990. Vol. 88. N. 2. P. 559–568. DOI: 10.1530/jrf.0.0880559. PMID: 2325019.
9. Braude S., Holtze S., Begall S. et al. Surprisingly long survival of premature conclusions about naked mole-rat biology // Biol. Rev. Camb. Philos. Soc. 2021. Vol. 96. N. 2. P. 376–393. DOI: 10.1111/brv.12660.
10. Chau L.M., Groh A.M., Anderson E.C. et al. Genetic diversity and sex ratio of naked mole rat, *Heterocephalus glaber*, zoo populations // Zoo Biol. 2018. Vol. 37. N. 3. P. 171–182. DOI: 10.1002/zoo.21417.
11. Ingram C.M., Troendle N., Gil C.A., Braude S., Honeycutt R.L. Challenging the inbreeding hypothesis in a eusocial mammal: population genetics of the naked mole-rat, *Heterocephalus glaber* // Mol. Ecol. 2015. Vol. 24. N. 19. P. 4848–4865. DOI: 10.1111/mec.13358.
12. Mwobobia R., Abelson K., Kanui T. Housing behaviour of the naked mole rat (*Heterocephalus glaber*) under laboratory conditions // Scandinavian Journal of Laboratory Animal Science. 2020. Vol. 46. N. 1. P. 98–101. DOI: 10.23675/sjlas.v46i1.1023.
13. Buffenstein R., Park T.J., Holmes M.M. Editors. The Extraordinary Biology of the Naked Mole-Rat. Book. 2021. Volume 1319.
14. Kovalzon V.M., Averina O.A., Vysokikh M.Y. Motor Activity and "Neotenic" Sleep in the Naked Mole Rat (*Heterocephalus glaber*) under Isolation // Dokl. Biol. Sci. 2021. Vol. 496. N. 1. P. 25–29. DOI: 10.1134/S0012496621010063.
15. Smith T.D., Bhatnagar K.P., Dennis J.C., Morrison E.E., Park T.J. Growth-deficient vomeronasal organs in the naked mole-rat (*Heterocephalus glaber*) // Brain Res. 2007. Vol. 9. N. 1132(1). P. 78–83. DOI: 10.1016/j.brainres.2006.11.021.
16. Szafranski K., Wetzel M., Holtze S. et al. The Mating Pattern of Captive Naked Mole-Rats Is Best Described by a Monogamy Model. Frontiers in Ecology and Evolution. 2022. Behavioral and Evolutionary Ecology. DOI: 10.3389/fevo.2022.855688.
17. Bégay V., Cirovic B., Barker A.J. et al. Immune competence and spleen size scale with colony status in the naked mole-rat // Open Biol. 2022. Vol. 12. N. 4. P. 210292. DOI: 10.1098/rsob.210292.
18. Stanton Braude. Dispersal and new colony formation in wild naked mole-rats: evidence against inbreeding as the system of mating // Behavioral Ecology. 2000. Vol. 11. N. 1. P. 7–12. DOI: 10.1093/beheco/11.1.7.
19. Deborah C. New colony formation in the "highly inbred" eusocial naked mole-rat: outbreeding is preferred // Behavioral Ecology. 2000. Vol. 11. N. 1. P. 1–6. DOI: 10.1093/beheco/11.1.1.
20. O'Riain M.J., Jarvis J.U., Faulkes C.G. A dispersive morph in the naked mole-rat // Nature. 1996. Vol. 18. N. 380(6575). P. 619–621. DOI: 10.1038/380619a0.
21. Henry E.C., Dengler-Crish C.M., Catania K.C. Growing out of a caste-reproduction and the making of the queen mole-rat // J. Exp. Biol. 2007. Vol. 210 (Pt 2). P. 261–268. DOI: 10.1242/jeb.02631.
22. Blecher A.S., Bennett N.C., Medger K. et al. Effect of colony disruption and social isolation on naked mole-rat endocrine correlates // Gen. Comp. Endocrinol. 2020. Vol. 1. N. 295. P. 113520. DOI: 10.1016/j.ygcen.2020.113520.
23. Seney M.L., Kelly D.A., Goldman B.D., Sumbera R., Forger N.G. Social structure predicts genital morphology in African mole-rats // PLoS One. 2009. Vol. 15. N. 4(10). P. e7477. DOI: 10.1371/journal.pone.0007477.
24. Katsushima K., Nishida C., Yosida S. et al. A multiplex PCR assay for molecular sexing of the naked mole-rat (*Heterocephalus glaber*) // Mol. Ecol. Resour. 2010. Vol. 10. N. 1. P. 222–224. DOI: 10.1111/j.1755-0998.2009.02742.x.
25. Roellig K., Drews B., Goeritz F., Hildebrandt T.B. The long gestation of the small naked mole-rat (*Hetero-*

cephalus glaber Rüppell, 1842) studied with ultrasound biomicroscopy and 3D-ultrasonography // PLoS One. 2011. Vol. 7. N. 6(3). P. e17744. DOI: 10.1371/journal.pone.0017744.

26. Ke Z., Vaidya A., Ascher J., Seluanov A., Gorbunova V. Novel husbandry techniques support survival of naked mole rat (*Heterocephalus glaber*) pups // J. Am. Assoc. Lab. Anim. Sci. 2014. Vol. 53. N. 1. P. 89–91.

Информация об авторах

О.А. Аверина[1,2*], старший научный сотрудник, averina.olga.msu@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-8244-526X

М.А. Адрианов[1], ведущий инженер

О.А. Пермяков[2], инженер

Н.Н. Шкавро[3], ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук

М.Ю. Высоких[1,3], заведующий лабораторией, доцент, кандидат биологических наук, https://orcid.org/0000-0002-4047-6201

[1] Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия;

[2] Институт функциональной геномики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия;

[3] ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. В.И. Кулакова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, 117997, Россия.

Information about the authors

O.A. Averina[1,2*], senior research assistant, averina.olga.msu@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-8244-526X

M.A. Adrianov[1], lead engineer

O.A. Permyakov[2], engineer

N.N. Shkavro[3], leading research scientist, PhD

M.Y. Vysokikh[1,3], head of lab., PhD, https://orcid.org/0000-0002-4047-6201

[1] Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia;

[2] Institute of functional genomics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia;

[3] National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after Academician V.I. Kulakov of Ministry of Healthcare of Russian Federation, Moscow, 117997 Russia.

Вклад авторов в написание статьи

М.Ю. Высоких, О.А. Аверина — существенный вклад в концепцию или дизайн работы.

О.А. Аверина, М.А. Адрианов, О.А. Пермяков — сбор, анализ данных.

М.Ю. Высоких, О.А. Аверина — интерпретация результатов работы.

О.А. Аверина, М.А. Адрианов — написание текста.

М.Ю. Высоких — утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

М.Ю. Высоких, О.А. Аверина — согласие нести ответственность за все аспекты работы, надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с достоверностью данных или целостностью всех частей статьи.

Authors contribution

M.Y. Vysokikh, O.A. Averina — formulation of a experimental design.

O.A. Averina, M.A. Adrianov, O.A. Permyakov — data collection and analysis.

M.Y. Vysokikh, O.A. Averina — interpretation of results.

O.A. Averina, M.A. Adrianov — copywriting.

M.Y. Vysokikh — approval and acceptance of the text for publication.

M.Y. Vysokikh, O.A. Averina — agreement to be responsible for all aspects of the work, proper study and resolution of issues related to the reliability of data or the integrity of all parts of the article.

Сведения о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Дата поступления рукописи в редакцию: 10.10.2022

Дата рецензии статьи: 09.11.2022

Дата принятия статьи к публикации: 14.11.2022

Received: 10.10.2022

Reviewed: 09.11.2022

Accepted for publication: 14.11.2022