



Оригинальное исследование
УДК 612.821:599.324.4-092.9
<http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2024-1-6>

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГИППОКАМПА КРЫС В ВОЗРАСТЕ 5 И 60 СУТОК ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АКСЕЛЕРАЦИИ

Ольга Владимировна Лазинская^{1✉}, Дмитрий Игоревич Жильников², Борис Яковлевич Рыжавский³

¹⁻³Дальневосточный государственный медицинский университет, Хабаровск, Россия

^{1✉}tkach-olga@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2695-9722>

²aesius@zhilnikov.com, <https://orcid.org/0000-0002-8376-9813>

³19151943@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4320-8341>

Аннотация. Проведено морфометрическое изучение нейронов полей CA1, CA2, CA3 и зубчатой извилины гиппокампа 5- и 60-суточных крыс-акселераторов и контрольных животных. Экспериментальную акселерацию вызывали сокращением численности пометов крыс Вистар через одни сутки после родов. Контролем служили животные, родившиеся и развивавшиеся в пометах средней численности. Установлено, что гиппокамп 5-суточных крыс-акселераторов не имел отличий толщины полей CA1-CA3 и зубчатой извилины от этого показателя у крыс контрольной группы. У 60-суточных крыс опытной группы толщина среза поля CA3 была статистически достоверно больше, чем в контроле. Размеры нейронов, их цитоплазмы, ядер и ядрышек в полях CA1-CA3 и зубчатой извилины у 5-суточных крыс-акселераторов превышали их у животных контрольной группы. У 60-суточных крыс межгрупповые различия размеров нейронов и их компонентов проявлялись большими размерами нейронов зубчатой извилины, их ядер и ядрышек, а также ядрышек в нейронах поля CA1 в гиппокампе крыс-акселераторов по сравнению с таковыми у крыс контрольной группы. В целом полученные данные свидетельствуют о том, что сокращение численности крысят в помете, меняя условия развития животных, обуславливают их акселерацию и отражаются на морфометрических показателях нейронов гиппокампа, причем неодинаково в разном возрасте и в его различных отделах.

Ключевые слова: гиппокамп, морфометрия, акселерация, онтогенез

Для цитирования: Лазинская О.В. Морфометрические особенности гиппокампа крыс Вистар в возрасте 5 и 60 суток при экспериментальной акселерации / О.В. Лазинская, Д.И. Жильников, Б.Я. Рыжавский // Дальневосточный медицинский журнал. – 2024. – № 1. – С. 32-37. <http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2024-1-6>.

MORPHOMETRIC FEATURES OF THE HIPPOCAMPUS OF RATS 5- AND 60-DAYS OF AGE WITH EXPERIMENTAL ACCELERATION

Olga V. Lazinskaya^{1✉}, Dmitrii I. Zhilnikov², Boris Ya. Ryzhavskii³

¹⁻³Far Eastern State Medical University Khabarovsk, Russia

^{1✉}tkach-olga@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2695-9722>

²aesius@zhilnikov.com, <https://orcid.org/0000-0002-8376-9813>

³19151943@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4320-8341>

Abstract. A morphometric study of neurons in fields CA1, CA2, CA3 and the dentate gyrus of the hippocampus was carried out in 5- and 60-day-old accelerated rats and control animals. Experimental acceleration was caused by reducing the number of litters of Wistar rats one day after birth. Animals born and raised in litters of average size served as controls. It was found that the hippocampus of 5-day-old accelerator rats had no differences in the thickness of fields CA1-CA3 and the dentate gyrus from this indicator in rats of the control group. In 60-day-old rats of the experimental group, the slice thickness of the CA3 field was statistically significantly bigger than in the control group. The sizes of neurons, their cytoplasm, nuclei and nucleoli in areas CA1-CA3 and the dentate gyrus in 5-day-old accelerator rats exceeded them in animals of the control group. In 60-day-old rats, intergroup differences in the sizes of neurons and their components were manifested by larger sizes of neurons in the dentate gyrus, their nuclei and nucleoli, as well as nucleoli in neurons of the CA1 field in the hippocampus of accelerated rats compared to those in rats of the control group. In general, the data obtained indicate that a reduction in the number of rat pups in a litter, changing the conditions of animal development, determines their acceleration and is reflected in the morphometric indicators of hippocampal neurons, and unequally at different ages and in its different parts.



Keywords: hippocampus, morphometry, acceleration, ontogenesis

For citation: Lazinskaya O.V. Morphometric features of the hippocampus of rats aged 5- and 60-days with experimental acceleration / O.V. Lazinskaya, D.I. Zhilnikov, B.Ya. Ryzhavskii // Far Eastern medical journal. – 2024. – № 1. – P. 32-37. <http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2024-1-6>.

Акселерация, определяемая как ускоренное соматическое развитие, более раннее половое созревание, наблюдалась в течение многих лет у населения разных стран, в том числе, в России [3]. Установлено, что акселерация имела место и у животных [8]. Морфологических данных об особенностях головного мозга (ГМ) человека при акселерации нами не обнаружено. Изучение развития ГМ крыс-акселераторов проводилось в нашей лаборатории. При этом изучался ГМ крыс с экспериментальной акселерацией. Ее моделирование проводилось преимущественно путем уменьшения численности пометов, осуществленного через одни сутки после родов [9, 11-13]. Экспериментальные животные в неонатальном, молочном периодах имели большие, чем контрольные, массу тела. В молочном и препубертатном периодах они отличались также большей массой гонад, а также ГМ и его полушарий [9, 11-13].

Морфометрическое и гистохимическое изучение неокортекса показало его опережающее развитие у крыс с экспериментальной акселерацией. Морфометрические и гистохимические признаки опережающего развития выявлялись у крыс-акселераторов также в поле СА1 гиппокампа [9, 11-13]. Данных о морфометрических особенностях нейронов других отделов гиппокампа у животных-акселераторов нами не выявлено. В то же время, известно, что поля СА1, СА2, СА3 гиппокампа и его зубчатая извилина (ЗИ) имеют как морфологические, так и функциональные отличия, неодинаково реагируют на действие различных агентов [1, 4-7, 10, 14, 17]. Так поля СА1 и СА3 различаются по морфологии нейронов, входящих

в их состав, а поле СА2 – рассматривается как переход между полем СА1 и СА3 [10]. Для пирамидных нейронов поля СА1 характерно восприятие сенсорной информации, поступающей от мамиллярных тел, атриовентрикулярного ядра таламуса, цингулярной коры. Нейроны поля СА3 входят в гиппокампально-ретикулярную систему [5]. У крыс с высокой двигательной активностью в «открытом поле» нейроны поля СА3 отличаются от таковых у крыс с низкой двигательной активностью – они имели меньшие размеры ядер и цитоплазмы, содержание и концентрацию в них белка, активность моноаминоксидазы [4].

В ЗИ, входящей в состав гиппокампальной формации, наблюдается нейрогенез у взрослых млекопитающих, включая человека. В ней имеются молодые нейроны, мигрирующие из субвентрикулярной зоны. Важной функцией нейронов ЗИ является передача импульсов в пирамидные клетки поля СА3 гиппокампа. Она является также мишенью получаемых гиппокампом неокортикальных и субкортикальных афферентов, что служит морфологической основой ее участия в таких когнитивных процессах как внимание и память [1, 7, 14, 15, 17]. Приведенные данные обуславливают интерес к изучению особенностей различных структур гиппокампа у животных-акселераторов.

Целью настоящей работы явилось изучение морфометрических особенностей нейронов разных отделов гиппокампа у крыс-акселераторов в возрасте 5 и 60 суток, то есть в неонатальном периоде и в начале репродуктивного периода онтогенеза животных данного вида.

Материалы и методы

Опытная группа состояла из крыс Вистар 5- и 60-дневного возраста (по 3 помета каждой возрастной группы), родившихся в пометах средней численности (по 9-13 крысят) и уменьшенных до 4 особей в каждом помете через одни сутки после родов. Проведено морфометрическое изучение гиппокампа 11 крысят 5-суточного возраста и 11 60-суточного возраста. В группе контроля морфометрическое изучение гиппокампа проведено в ГМ крыс, родившихся и содержавшихся в пометах средней численности (9-13 крысят) в возрасте 5 суток (2 помета, исследован ГМ 16 крыс) и 60 суток (2 помета, исследован ГМ 9 крыс). Все животные содержались в условиях одного вивария, контрольные и опытные группы каждой возрастной группы – одновременно. Животные получали воду и разнообразный корм *ad libitum* в свободном доступе. Содержание и последующая эвтаназия (декапитация) животных проводилась согласно ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и

уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами». Левое полушарие фиксировали в жидкости Карнуа, разрезали в области собственно теменной доли строго перпендикулярно поверхности полушария и его длиннику, заливали в парафин. На ротационном микротоме фирмы Leica готовили срезы толщиной 7 мкм, окрашивали их 1 % метиленовым синим и галлоцианином по Эйнарсону. Локализацию срезов гиппокампа и его различных зон определяли по [16]. Проводилось обзорное изучение препаратов, их фотографирование цифровой камерой Sony, импортирование в программу Видеотест Морфология 5,0, в которой измеряли толщину среза полей СА 1, СА 2, СА 3 и ЗИ, образованных телами их нейронов (перикарионами). На аппарате Мекос (Медицинские компьютерные системы) определяли, как описано ранее [13], размеры (площадь сечения) перикарионов, цитоплазмы, ядер и ядрышек нейронов этих зон гиппокампа. Все

морфометрические показатели гиппокампа рассчитывали суммарно у животных обоего пола, т. к. они не имели достоверных гендерных различий [13]. Статистическая обработка материала с помощью программы Statistica 10.0, StatSoft, Inc. 2011 показала, что распределение в исследованных

рядах было близким к нормальному. Изучение результатов проводили, с использованием опции дескриптивной статистики. Определялись средняя арифметическая и ошибка средней ($M \pm m$). Межгрупповые различия считали статистически достоверными при $P < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Измерение толщины среза полей CA1, CA2, CA3 (рис. 1а, б) в контрольной группе показало, что у 5- и 60-суточных животных она не имеет возрастных отличий. В то же время, в ЗИ у 60-суточных крыс этот показатель (табл.) статистически достоверно превышал его у 5-суточных ($P < 0,05$). Таким образом, хотя в течение возрастного интервала от 5 до 60 суток у крыс происходит интенсивный рост массы ГМ (таблица), толщины неокортекса [2, 6, 13], толщина полей CA1-CA3 гиппокампа не имеет достоверных различий, то есть обладает высокой стабильностью. Оценивая это, следует принимать во внимание, что, по мере онтогенетического увеличения массы полушария [2, 6, 11-13] происходит также увеличение «длины» полей CA1-CA3 гиппокампа и ЗИ (рис. 1а, б) и, как следствие, увеличение объема данных структур. При этом заслуживает внимания, что, в отличие от толщины полей CA1-CA3, толщина ЗИ гиппокампа 60-суточных крыс статистически достоверно превышает ее у 5-суточных животных ($P < 0,05$, таблица). С другой стороны, значительно большие размеры нейронов полей CA1-CA3 у 60-суточных крыс, по сравнению с 5-суточными (рис. 1а, б, таблица), свидетельствуют о том, что численная плотность данных клеток у них ниже, чем у 5-суточных. Эти возрастные изменения полей CA1-CA3 гиппокампа аналогичны выявленным в разных отделах неокортекса крыс-акселератов [2, 6, 9, 13].

Сравнение толщины полей гиппокампа у 5-суточных крыс опытной и контрольной групп не обнаружило достоверных межгрупповых различий ($P < 0,05$, табл.). У 60-суточных крыс-акселератов толщина среза гиппокампа в поле CA1, CA2 и ЗИ не имела отличий от этого показателя в контроле. В то же время, в поле CA3 гиппокампа животных опытной группы она была больше (таблица), чем у крыс контрольной группы ($P < 0,05$). Таким образом, в различных отделах гиппокампа толщина среза, прошедшего через тела нейронов разных его отделов, неодинаково изменяется при акселерации, обусловленной сокращением численности пометов.

Изучение размерных характеристик нейронов разных отделов гиппокампа крыс контрольной группы показало, что у 60-суточных животных размеры тел нейронов полей CA1, CA2, CA3 значительно и статистически достоверно превышают их у 5-суточных животных. В отличие от этого, их размеры в ЗИ у 5- и 60-суточных крыс практически не различались. При этом выявленные возрастные различия размеров перикарионов клеток CA1-CA3 обуславливались в основном большими размерами цитоплазмы нейронов гип-

покампа у 60-суточных крыс, тогда как достоверное превышение размеров ядер у 60-суточных крыс, по сравнению с 5-суточными, имелось только в нейронах поля CA3 (таблица). Выявленное увеличение размеров цитоплазмы нейронов в полях CA1-CA3 гиппокампа 60-суточных крыс при отсутствии достоверного увеличения размеров ядер (таблица) свидетельствует о том, что в этих клетках с возрастом происходит уменьшение ядерно-цитоплазматического соотношения. Размеры ядрышек в нейронах полей CA1-CA3 гиппокампа у 60-суточных крыс были больше, чем их размеры у 5-суточных. В ЗИ данные возрастные изменения ядрышек не наблюдались (таблица).

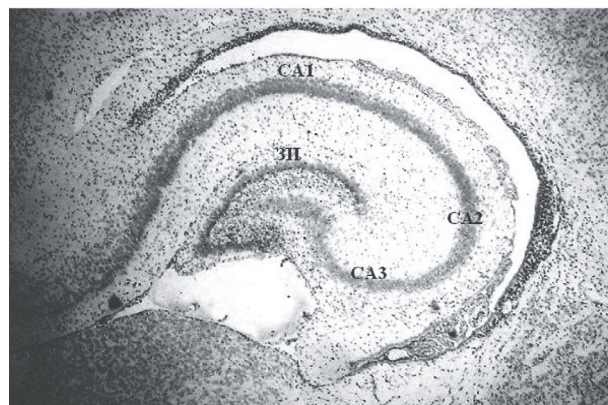


Рис. 1а. Гиппокамп 5-суточной крысы

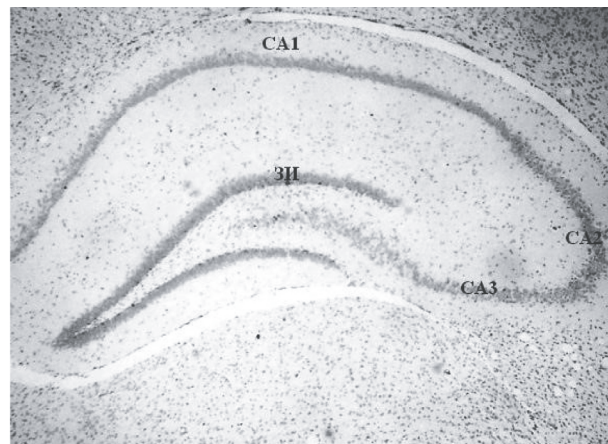


Рис. 1б. Гиппокамп 60-суточной крысы

Примечание. Окраска галлоцианином. Увеличение 4×15 . Обозначения: CA1, CA2, CA3 – поля гиппокампа, ЗИ – зубчатая извилина.

Сопоставление размеров нейронов, их цитоплазмы, ядер и ядрышек у крыс-акселератов и крыс контрольной группы показало, что у 5-суточных животных опытной группы они превосходят



контрольные показатели во всех исследованных отделах гиппокампа (таблица). У 60-суточных животных межгрупповых морфометрических различий было значительно меньше. Они включали в себя статистически достоверное увеличение размеров только нейронов ЗИ, их ядер и ядрышек, а также ядрышек нейронов поля СА1 (таблица).

Таблица – Морфометрическая характеристика разных структур гиппокампа 5- и 60-суточных крыс-акселератов

Показатели	5-суточные		60-суточные	
	опыт	контроль	опыт	контроль
Толщина (мкм)				
поле СА 1	61±3,1	59±3,8	62±4,5	50±6,1
поле СА 2	80±6,1	82±6,3	82±10,5	77±7,7
поле СА 3	43±2,3	42±1,8	57±4,3	44±5,4
ЗИ	39±1,2	41±2,2	56±3,5	60±3,6*
Площадь сечения (мкм²) нейроны				
поле СА 1	77±2,0**	70±2,5	106±2,4	102±2,5*
поле СА 2	121±5,0**	94±5,7	136±10,3	128±5,9*
поле СА 3	125±6,5**	89±4,5	153±13,7	131±3,2*
ЗИ	69±2,8**	54±2,4	70±1,6**	56±2,7
цитоплазма				
поле СА 1	32±1,0	30±1,0	60±1,6**	54±1,2*
поле СА 2	51±1,7**	38±2,1	64±3,5	67±3,8*
поле СА 3	53±2,0**	39±2,5	78±6,3	69±2,6*
ЗИ	33±1,7**	27±0,9	33±1,2**	28±1,0
ядра				
поле СА 1	45±1,4**	40±1,6	45±1,5	42±1,6
поле СА 2	70±3,7**	56±4,5	72±7,2	61±3,0
поле СА 3	71±5,3**	52±3,6	75±7,8	62±2,6*
ЗИ	36±1,6**	28±1,3	37±1,1**	29±2,1
ядрышки				
поле СА 1	3,7±0,1**	3,3±0,1	5,2±0,1**	4,7±0,1*
поле СА 2	4,9±0,2**	3,4±0,2	5,4±0,3	4,9±0,4*
поле СА 3	4,7±0,3**	3,4±0,1	5,0±0,2	4,7±0,2*
ЗИ	3,3±0,2**	2,4±0,1	3,0±0,2**	2,4±0,1

Примечание. * – различия статистически достоверны с контрольной группой 5-суточных животных. ** – различия статистически достоверны между опытной и контрольной группами.

Полученные морфометрические результаты согласуются с данными, свидетельствующими о том, что в неокортексе 5-суточных крыс-акселератов количество достоверных отличий от контроля больше, чем у 14- и 30-суточных животных контрольной группы [13]. Уменьшение количества морфометрических отличий коры ГМ крыс-акселератов от показателей контроля, выявленное у животных по мере их взросления, можно объяснить тем, что в неонатальном периоде крысята в наибольшей степени зависят от матери.

В уменьшенных пометах они воспитываются при большем ее внимании, в менее стрессогенной среде, они лучше обеспечены материнским молоком. По мере их взросления зависимость от матери уменьшается, происходит постепенный переход на «смешанное» питание. Тем не менее, как показано в работе, гиппокамп животных-акселератов и в 60-суточном возрасте имеет ряд морфометрических отличий от гиппокампа контрольных крыс, причем степень их выраженности неодинакова в его различных отделах.

Так, у 5-суточных крыс толщина среза полей СА1-СА3 и ЗИ не имела достоверных межгрупповых различий. В то же время, размеры нейронов, их цитоплазмы, ядер и ядрышек были увеличены во всех исследованных структурах гиппокампа. У 60-суточных крыс межгрупповые различия в наибольшей степени были присущи ЗИ. В гиппокампе крыс-акселератов они проявлялись статистически достоверным увеличением размеров нейронов, их цитоплазмы, ядер и ядрышек (таблица). Нейроны поля СА1 имели большие, чем в контроле, размеры цитоплазмы и ядрышек. В то же время, нейроны поля СА2 и СА3 не имели достоверных различий в ГМ контрольных животных и крыс-акселератов (таблица).

При оценке этих результатов мы учитывали, что исследованные в работе показатели связаны, с одной стороны, с онтогенетическим развитием ГМ, а с другой – со степенью функциональной активности нейронов [2, 4, 5, 6, 11, 13]. Подтверждением связи больших размеров нейронов и их различных структур в гиппокампе крыс-акселератов, прежде всего в 5-суточном возрасте, с темпами развития ГМ, является сочетание выявленных морфометрических различий с большей массой ГМ, показанной в работе (таблица), а также данные литературы о большей массе ГМ, полушария, толщине неокортекса у 14- и 30-суточных крыс-акселератов [13]. При этом и в 60-суточном возрасте, когда происходит уменьшение выраженности межгрупповых гравиметрических различий, морфометрические различия продолжают сохраняться в ЗИ и, в меньшей степени, в поле СА1.

Таким образом, полученные в работе новые данные свидетельствуют о том, что изменение средовых условий, обусловленное сокращением численности пометов у крыс в неонатальном периоде, приводящее к акселерации, оказывает влияние на развитие гиппокампа, неодинаковое в его различных отделах. Мы полагаем, что эти результаты могут представлять интерес для исследователей, изучающих влияние средовых факторов на онтогенетическую динамику функций гиппокампа, которые определяются его различными структурами.

Список источников

1. Баклаушев В.П., Юсубалиева Г.М., Самойлова Е.М., Белопасов В.В. Резидентные ниши нейтральных стволовых клеток и регенерация: блеск и нищета взрослого нейрогенеза // Онтогенез. – 2022. – Т. 53, № 3. – С. 173-195.
2. Бонь Е.И. Развитие неокортекса крысы в антенатальном и постнатальном онтогенезе / Е.И. Бонь // Хрономедицинский журнал. – 2021. – Т. 84, № 1. – С. 31-34.



3. Величковский Б.Г., Баранов А.А., Кучма В.Р. Рост и развитие детей и подростков в России // Вестник Российской академии наук. – 2004. – № 1. – С. 43-45.
4. Герштейн Л.М., Сергутина А.В. Некоторые гистохимические особенности гиппокампа крыс, различающихся по двигательной активности в «открытое поле» // Нейрохимия. – 2003. – Т. 20, № 2. – С. 116-119.
5. Герштейн Л.М., Татаринцева И.М., Сергутина А.В., Рахманова В.И. Морфохимические особенности реакции нейронов гиппокампа на гипофункцию дофаминергической системы // Журнал неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова. – 2012. – Т. 112, № 4. – С. 57-59.
6. Зиматкин С.М. Строение и развитие коры головного мозга крысы / С.М. Зиматкин, Д.А. Маслакова, Е.И. Бонь // Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Гродненский государственный медицинский университет. – Гродно: Гродненский государственный медицинский университет. – 2019. – 156 с.
7. Кичигина В.Ф., Шубина Л.В., Попова И.Ю. Роль зубчатой извилины в осуществлении функций гиппокампа // Журнал высшей нервной деятельности. – 2022. – Т. 2, № 3. – С. 317-342.
8. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Зубенкова Э.С., Вайнсон А.А., Андрианова И.Е., Лукьянова С.Н., Лягинская В.Н., Мальцев Л.А., Ильин А.С., Самойлов В.В., Уйба А.М. Акселерация лабораторных крыс: синтетическое исследование данных за столетие в аспекте возможной связи с радиочувствительностью // Медицинская радиология и радиационная безопасность // Радиационная биология. – 2018. – Т. 63, № 6. – С. 5-20.
9. Литвинцева Е.М., Жильников Д.И., Рыжавский Б.Я. Влияние экспериментальной акселерации крыс на показатели развития нейронов зрительной и слуховой коры // Дальневосточный медицинский журнал. – 2022. – № 4. – С. 41-46.
10. Мотавкин П.А. Введение в нейробиологию. – Владивосток: Медицина ДВ, 2003. – 251 с.
11. Рыжавский Б.Я. Опережающее развитие головного мозга: способствующие факторы и экспериментальные модели // Дальневосточный медицинский журнал. – 2020. – № 3. – С. 136-143.
12. Рыжавский Б.Я., Лазинская О.В., Камальдинова Е.А., Мухаморова Е.Б. Сашенко Я.В. Особенности нейронов моторной, соматосенсорной и поясной областей префронтальной коры крыс при экспериментальной акселерации // Дальневосточный медицинский журнал. – 2020. – № 2. – С. 42-45.
13. Рыжавский Б.Я., Ткач О.В. Морфологические особенности головного мозга крыс при акселерации в неонатальном и молочном периодах онтогенеза // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2016. – № 2. – С. 94-97.
14. Amaral D.G., Scharfman H.E., Lavenex P. The dentate gyrus: fundamental neuroanatomical organization (dentale gyrus for dummies) // Prog. Brain Res. – 2007. – Vol. 163. – P. 3-22.
15. Martig A.K., Mizumori S.J. Ventral Tegmental area disruption selectively affect CA1/CA3 place fields during a differential reward working memory task // Hippocampus. – 2010; DOI 1002/hipo.
16. Paxinos G., Watson C. The rat brain in Stereotaxic Coordinates. 6th Edition. Academic press. – 2006. – P. 456.
17. Witter M.P. The perforant path: projections from the entorhinal cortex to the dentate gyrus // Brain res. – 2007. – Vol. 163. – P. 43-61.

References

1. Baklaushev V.P., Yusubalieva G.M., Samoilova E.M., Belopasov V.V. Resident Neural Stem Cell Niches and Regeneration: The Shine and Poverty of Adult Neurogenesis // Ontogenesis. – 2022. – Vol. 53, № 3. – P. 173-195.
2. Bon E.I. Development of the rat isocortex in antenatal and postnatal ontogenesis / E.I. Bon // Journal of Chronomedicine. – 2021. – Vol. 84, № 1. – P. 31-34.
3. Velichkovsky B.G., Baranov A.A., Kuchma V.R. Growth and development of children and teenagers in Russia // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. – 2004. – № 1. – P. 43-45.
4. Gershtein L.M., Sergutina A.V. Some morphochemical features of the hippocampus of rats that differ in motor activity in the open field test // Neurochemistry. – 2003. – Vol. 20, № 2. – P. 116-119.
5. Gershtein L.M., Tatarintseva I.M., Sergutina A.V., Rakhmanova V.I. Morphochemical characteristics of hippocampal neuron's response to the hypofunction of the dopaminergic system // Journal of Neurology and Psychiatry named after S.S. Korsakov. – 2012. – Vol. 112, № 4. – P. 57-59.
6. Zimatkin S.M. Structure and development of the rat cerebral cortex / S.M. Zimatkin, D.A. Maslakova, E.I. Bon // Ministry of Health of the Republic of Belarus, Grodno State Medical University. – Grodno: Grodno State Medical University. – 2019. – 156 p.
7. Kichigina V.F., Shubina L.V., Popova I.Yu. The role of the dentate gyrus in the implementation of hippocampal functions // Journal of Higher Nervous Activity. – 2022. – Vol. 2, № 3. – P. 317-342.
8. Koterov A.N., Ushenkova L.N., Zubenkova E.S., Vainson A.A., Andrianova I.E., Lukyanova S.N., Lyaginskaya V.N., Maltsev L.A., Ilyin A.S., Samoilov V.V., Uiba A.M. Acceleration of laboratory rats: a synthetic study of data for a century in the aspect of possible connection with radio sensitivity // Medical Radiology and Radiation Safety. Radiation Biology. – 2018. – Vol. 63, № 6. – P. 5-20.
9. Litvintseva E.M., Zhilnikov D.I., Ryzhavsii B.Ya. Influence of experimental acceleration of rats on the indicators of development of visual and audio cortex neurons // Far Eastern Medical Journal. – 2022. – № 3. – P. 35-40.



10. Motavkin P.A. Introduction to neurobiology. – Vladivostok: Medicine DV, 2003. – 251 p.
11. Ryzhavskii B.Ya. Advanced brain development: contributing factors and experimental models // Far Eastern Medical Journal. – 2020. – № 3. – P. 136-143.
12. Ryzhavskii B.Ya., Lazinskaya O.V., Kamal'dinova E.A., Mukhamorova E.B., Sashchenko Ya.V. Peculiarities of neurons of motor, somatosensory and cingulate areas of prefrontal cortex in rats under experimental acceleration // Far Eastern Medical Journal. – 2020. – № 2. – P. 42-45.
13. Ryzhavskii B.Ya., Tkach O.V. The morphological features of the rat brain at an acceleration in the neonatal dairy and periods of ontogenesis // Pacific Medical Journal. – 2016. – № 2. – P. 94-97.
14. Amaral D.G., Scharfman H.E., Lavenex P. The dentate gyrus: fundamental neuroanatomical organization (dentale gyrus for dummies) // Prog. Brain Res. – 2007. – Vol. 163. – P. 3-22.
15. Martig A.K., Mizumori S.J. Ventral Tegmental area disruption selectively affect CA1/CA3 place fields during a differential reward working memory task // Hippocampus. – 2010; DOI 1002/hipo.
16. Paxinos G., Watson C. The rat brain in Stereotaxic Coordinates. 6th Edition. – London: Academic Press. – 2006. – P. 456.
17. Witter M.P. The perforant path: projections from the entorhinal cortex to the dentate gyrus // Brain res. – 2007. – Vol. 163. – P. 43-61.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья принята к публикации 12.12.2023.

The article was accepted for publication 12.12.2023.

