

УЛЬТРАСТРУКТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АКСОДЕНДРИТИЧЕСКИХ И АКСОСОМАТИЧЕСКИХ СИНАПСОВ В ОРБИТОФРОНТАЛЬНОЙ КОРЕ БЕЛЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС НА ФОНЕ МАЛОБЕЛКОВОЙ ПИЩИ ПОСЛЕ ОСТРОГО ЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

М.Э. Султанлы

*Научно-исследовательский институт физиологии им. акад. А. Караева
Национальной академии наук Азербайджана
AZ1100, Азербайджанская Республика, Баку, ул. Шариф-заде, 2*

Цель работы — изучить состояние аксодендритических (ADS) и аксосоматических (ASS) синапсов в I–IV слоях орбитофронтальной коры (ОФК) половозрелых белых лабораторных крыс в условиях сбалансированной и малобелковой пищи после острого звукового воздействия. Опыты выполнены на 64-х белых нелинейных половозрелых лабораторных крысах-самцах массой 180–230 г (8 — интактных, 56 — экспериментальных). После непрерывного звонка интенсивностью 120 дБ в течение 120 с 56 крыс разделены на 2 группы: с сбалансированной пищей (контрольная — 28) и малобелковой пищей (основная — 28); с двумя подгруппами, в каждой из них: стресс-устойчивые (по 12) и стресс-неустойчивые (по 16 животных). Приём воды — без ограничений. Животные из эксперимента выведены на 10-е, 20-е, 30-е и 40-е сут после звукового воздействия. Параллельно с гистологическими и иммуногистохимическими анализами образцы I–IV слоёв ОФК изучены также трансмиссионной электронной микроскопией. Электронно-микроскопические изменения строения ADS и ASS выявлены во всех слоях ОФК. Отмечены нарушения тонкой структуры как пресинаптического, так и постсинаптического полюсов. Максимальная выраженность ультраструктурных изменений присуща ADS поверхностного (I, молекулярного), наружного зернистого (II), пирамидного (III) и внутреннего зернистого (IV) слоёв ОФК. Дезорганизация ASS отмечена преимущественно в контактах, постсинаптический полюс которых сформирован телами мелких пирамидных нейронов III слоя, а также пирамидных и звёздчатых нейронов IV слоя ОФК. Во всех сроках наблюдений нарушения тонкой организации наиболее выражены у стресс-неустойчивых животных основной группы опытов, особенно на 10-е и 20-е сут после воздействия. Острое звуковое воздействие инициирует нарушения тонкой организации аксодендритических и аксосоматических синапсов в I–IV слоях ОФК белых лабораторных крыс. Очаговая деструкция части отмеченных синапсов у крыс с малобелковой пищей после острого аудиогенного стресса имеет необратимый характер.

Ключевые слова: орбитофронтальная кора, мозг, электронная микроскопия, крыса, стресс, малобелковая пища

Для цитирования: Султанлы М.Э. Ультраструктурная характеристика аксодендритических и аксосоматических синапсов в орбитофронтальной коре белых лабораторных крыс на фоне малобелковой пищи после острого звукового воздействия. *Биомедицина*. 2022;18(4):94–101. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-18-4-94-101>

Поступила 25.02.2022

Принята после доработки 15.06.2022

Опубликована 10.12.2022

ULTRASTRUCTURAL CHARACTERISTICS OF AXODENDRITIC AND AXOSOMATIC SYNAPSES IN THE ORBITOFRONTAL CORTEX OF WHITE LABORATORY RATS ASSOCIATED WITH LOW-PROTEIN FOOD AFTER ACUTE SOUND EXPOSURE

Maya E. Sultanly

*Research Institute of Physiology named after Acad. A. Karaev
of the National Academy of Sciences of Azerbaijan
AZ1100, Republic of Azerbaijan, Baku, Sharif-zade Str., 2*

This paper investigates the state of axodendritic (ADS) and axosomatic (ASS) synapses in orbitofrontal cortex (OFC) layers I–IV of adult white laboratory rats associated with balanced and low-protein food after acute sound exposure. Experiments were performed on 64 white non-linear sexually mature laboratory male rats weighing 180–230 g (eight intact, 56 experimental). After a continuous call with an intensity of 120 db for 120 seconds, 56 rats were divided into two groups: those receiving balanced (control — 28) and low-protein food (basic — 28). Each of these two groups was divided into two subgroups: stress-resistant (12 animals in each) and stress-unstable animals (16 animals in each). Water intake was unlimited. The animals were removed from the experiment on the 10th, 20th, 30th, and 40th day after sound exposure. Along with histological and immunohistochemical analysis, the samples of OFC layers I–IV were studied by transmission electron microscopy. Electron microscopic changes in the structure of ADS and ASS were found in all OFC layers. Violations of the fine structure of both the presynaptic and postsynaptic poles were noted. The maximum severity of ultrastructural changes was observed in the ADS of the surface (I, molecular), outer granular (II), pyramidal (III), and inner granular (IV) OFC layers. ASS disorganization was noted mainly in contacts, the postsynaptic pole of which was formed by the bodies of small pyramidal neurons of layer III, as well as pyramidal and stellate neurons of layer IV of the OFC. During all periods of observation, violations of fine organization were most pronounced in stress-unstable animals of the main experimental group, especially on the 10th and 20th day after exposure. Acute sound exposure initiates disturbances in the fine organization of axodendritic and axosomatic synapses in OFC layers I–IV of white laboratory rats. Focal destruction of a part of the noted synapses in rats with a low-protein diet after acute auditory stress is irreversible.

Keywords: orbitofrontal cortex, brain, electron microscopy, rat, stress, low-protein food

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

For citation: Sultanly M.E. Ultrastructural Characteristics of Axodendritic and Axosomatic Synapses in the Orbitofrontal Cortex of White Laboratory Rats Associated with Low-Protein Food After Acute Sound Exposure. *Journal Biomed.* 2022;18(4):94–101. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-18-4-94-101>

Submitted 25.02.2022

Revised 15.06.2022

Published 10.12.2022

Введение

Орбитофронтальная кора (ОФК) — часть сложной интегративной функциональной системы, регулирующей также поведенческие реакции у различных млекопитающих. В настоящее время комплексно изучаются морфологические, нейрохимические и физиологические особенности ОФК в динамике адаптации центральной нервной системы к стрессу [4, 5, 6]. При этом

недостаточно освещены вопросы тонкой (ультраструктурной) организации различных морфологических типов межнейрональных контактов в условиях различных экстремальных воздействий, в частности — синаптических связей в I–IV слоях ОФК у белых лабораторных крыс — важнейших объектов при моделировании различных патологических состояний [3, 4, 8]. Не систематизированы ультраструктурные

нарушения двух основных морфологических типов синапсов — аксодендритических синапсов (axodendritic synapses, ADS) и аксосоматических синапсов (axosomatic synapses, ASS) — в ОФК, а также динамика их восстановления у крыс с малобелковым пищевым рационом после острого звукового воздействия.

Учитывая вышеизложенное, **целью** настоящего исследования явилось электронно-микроскопическое изучение аксодендритических и аксосоматических синапсов в I–IV слоях ОФК половозрелых белых лабораторных крыс в условиях балансированной и малобелковой пищи после острого звукового воздействия.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили 64 самца белых нелинейных половозрелых лабораторных крыс массой 180–230 г. Из них 8 животных содержались в условиях вивария с достаточной шумоизоляцией, адекватным освещением и вентиляцией, без ограничения приёма пищи и воды, выводились из опытов в аналогичном режиме с контрольной и основной группами (интактные животные; «норма»). Остальные 56 крыс в специальной камере-клетке были подвержены непрерывному звуковому воздействию звонком интенсивностью 120 дБ в течение 120 с. При подборе фактора-раз-

дражителя за основу были взяты данные о стрессогенности острого звука у крыс. Показателями неустойчивости к острому стрессорному звуковому воздействию послужили появление судорог у животных, избегание освещённых участков клетки, избегание центральных квадратов в клетке, резкое увеличение продолжительности неподвижности, уменьшение числа пищевых болюсов, уменьшение числа вертикальных стоек и вращательных движений головы, хаотичный и продолжительный груминг [1, 3]. По совокупности вышеперечисленных параметров подопытные животные после звукового воздействия были разделены на «стресс-устойчивые» (n=24) и «стресс-неустойчивые» (n=32). Далее были сформированы две группы опытов по 28 животных в каждой (12 — стресс-устойчивые; 16 — стресс-неустойчивые): контрольная (с сбалансированным пищевым рационом) и основная (с малобелковой пищей).

Животные контрольной группы с момента звукового воздействия до конца опытов (40-е сут) получали сбалансированную или богатую белками пищу по рецепту, предложенному в работе [11] (табл. 1).

Физиологическая потребность в белке у крыс составляет 5–15 г на 100 г массы животного, что обеспечивает нормальное развитие, рост и способность к размножению. [10]. Поскольку для нашего исследования основополагающим фактором являлось именно содержание белка, остальные ингредиенты рациона соответствовали физиологическим потребностям как в основной, так и в контрольной группах.

В основной группе опытов в пищевом рационе 80% белка казеина (16 г из 20 г на 100 г массы животного) было заменено крахмалом и растительной клетчаткой. Следовательно, животные основной группы с момента звукового воздействия до конца опытов — 40-е сут — содержались на бедной белками пище. Как и у животных

Таблица 1. Состав пищи у животных контрольной группы (из расчёта на 100 г массы животного)

Table 1. Food composition of animals in the control group (based on 100 g of animal weight)

Ингредиенты	Количество
Казеин, г	20
Крахмал, г	65
Растительное масло, мл	5
Клетчатка (целлюлоза), г	5
Комплекс витаминов, г	1
Пищевая соль (NaCl), г	0,4

Примечание: приём воды — без ограничений (свободный доступ к резервуару воды).

Note: water intake is unlimited (free access to a water tank).

контрольной группы, ограничений в приёме воды не было.

Животные выводились из эксперимента внезапной массивной воздушной эмболизацией на 10-е, 20-е, 30-е и 40-е сут после звукового воздействия. Изменения фиксировались в каждой точке, однако сравнение проводилось в крайних точках наблюдения (10-е и 40-е сут). Сразу после умерщвления животных извлекались орбитофронтальные области обоих полушарий головного мозга. При уходе за животными и их умерщвлении были соблюдены принципы декларации Европейского сообщества о животных (86/609/ЕЕС), используемых в экспериментах, а также для других научных целей [7]. Руководствуясь атласами и стереотаксическими картами головного мозга белой лабораторной крысы [5, 13], в каждом случае были обозначены три зоны ОФК с обеих сторон: медиальная, вентральная и латеральная. Наряду с гистологическими и иммуногистохимическими анализами часть материала была взята на электронно-микроскопические исследования. Так, кусочки ОФК объёмом 1–2 мм³ были зафиксированы в смеси 2,5% глутарового альдегида, 2% параформальдегида, 4% глюкозы и 0,1% пикриновой кислоты на 0,1 М фосфатном буфере (рН 7,4) с последующей промывкой 0,1 М фосфатным буфером (рН 7,4) и постфиксацией 1% четырёхокисью осмия (OsO₄) и 1,5% красной кровяной солью в течение 1,5 ч. В дальнейшем, после очередной промывки 0,1 М фосфатным буфером (рН 7,4), кусочки были проведены через ряд спиртов 50–96°, ацетона и залиты в эпон-аральдитовую смесь. На основе предварительного (ориентировочного) изучения окрашенных 0,5% метиленовой синью + 0,1% фуксином полутонких срезов (0,5–1 мкм) соответствующих блоков были отобраны наиболее информативные участки, и из них на микротоме «Leica EM UC7» нарезаны ультратонкие срезы (50–60 нм). Последние были окрашены 2% уранил-

ацетатом и 0,6% цитратом свинца. Готовые контрастированные ультратонкие срезы были исследованы в трансмиссионном электронном микроскопе JEM-1400 (JEOL) при напряжении катода 80,0 кВ. При выполнении электронно-микроскопических процедур обработки материала и интерпретации результатов анализа руководствовались общепринятыми научно-методическими изданиями [9, 12].

Интенсивность (выраженность) электронно-микроскопических изменений была оценена визуально-полуколичественно по 4-балльной шкале, отображённой в виде «–» (отсутствие изменения); «+» (до 25% изученных синапсов); «++» (26–50% изученных синапсов); «+++» (51–75% изученных синапсов); «++++» (более 75% изученных синапсов).

Для статистической обработки результатов исследования при нормальном распределении использовался t-критерий Стьюдента, при распределении, отличном от нормального, использовали U-критерий Вилкоксона при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Полученные нами изображения по ультраструктурной организации ADS и ASS в ОФК у интактных белых лабораторных крыс в целом совпадают с результатами ранее проведённых работ [2, 8].

У подопытных животных электронно-микроскопические изменения строения ADS и ASS с той или иной частотой и степенью выраженности выявлены во всех слоях исследованных зон ОФК. Отмечены нарушения тонкой структуры составных частей как пресинаптического, так и постсинаптического полюсов обоих типов синапсов. В синапсах аксодендритического типа максимальная выраженность ультраструктурных изменений присуща синапсам в поверхностном (I, молекулярном), наружном зернистом (II), пирамидном (III) и внутреннем зернистом (IV) слоях во всех изученных

зонах ОФК. Дезорганизация ASS же отмечена преимущественно в контактах, постсинаптический полюс которых сформирован телами мелких пирамидных нейронов III слоя, а также пирамидных и звёздчатых нейронов IV слоя ОФК. Обнаруженные изменения синапсов касаются как электронной плотности матрикса аксоплазмы, дендроплазмы, перикариона, так и тонкого строения их субструктур.

Различные проявления нарушений электронно-микроскопической организации ADS и ASS частично отражены в сводной таблице (табл. 2).

Как видно из табл. 2, наиболее выраженные ультраструктурные изменения обоих

типов синапсов отмечены у животных, содержащихся на малобелковом пищевом рационе после звукового воздействия. Так, у стресс-неустойчивых животных основной группы опытов выявлены сложные сочетания просветления (набухания) и уплотнения матрикса, очаговой деструкции и «тёмной» дегенерации структур пре- и постсинаптического полюсов, а также размеров, форм, электронной плотности и количества (плотности распределения) синаптических везикул в динамике эксперимента. У животных данной подгруппы, начиная с 20-х сут наблюдений, обнаружены относительно многочисленные аморфные и кристаллоидные осмиофильные отложения размерами

Таблица 2. Динамика основных электронно-микроскопических нарушений тонкого строения аксодендритических (ADS) и аксосоматических (ASS) синапсов в орбитофронтальной коре головного мозга у белых лабораторных крыс после острого звукового воздействия

Table 2. Dynamics of the main electron-microscopic disturbances in the fine structure of axodendritic (ADS) and axosomatic (ASS) synapses in the orbitofrontal cortex of the brain in white laboratory rats after acute sound exposure

Показатель	Группа							
	Контрольная группа (сбалансированная пища)				Основная группа (малобелковая пища)			
	Стресс- устойчивые		Стресс- неустойчивые		Стресс- устойчивые		Стресс- неустойчивые	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Набухание пресинаптического конца (терминаля) аксона	+	–	++	–	++	+	+++	++
Отёк и просветление матрикса пре- и постсинаптических полюсов	+	–	++	+	++	+	+++	++
Агглютинация, перераспределение и частичная деструкция синаптических везикул	++	–	++	+	++++	++	++++	+++
Отёк, просветление матрикса и частичная фрагментация крипт митохондрий	++	–	++	–	+++	+	++++	++
Сморщивание и уплотнение матрикса митохондрий	+	–	++	+	+++	+	+++	++
Накопление электронно-плотных остаточных микротелец	–	–	–	+	+	++	+	+++
Частичная или точечная фрагментация пресинаптической мембраны	–	–	+	–	++	+	+++	++
Частичная или точечная фрагментация постсинаптической мембраны	–	–	+	+	++	+	+++	+++
Деформация и редукция синаптической щели	–	–	+	–	++	–	++	+
Расширение синаптической щели с отложениями аморфного электронно-плотного субстрата в ней	–	–	+	+	+	+	+	+

Примечание: I — 10-е сут после острого звукового воздействия; II — 40-е сут после острого звукового воздействия.

Note: I — 10th day after acute sound exposure; II — 40th day after acute sound exposure.

40–380 нм. Возможно, указанные отложения представляют собой скопления остаточных телец после аутофагосомии в пре- и постсинаптических структурах, особенно в подмембранной полосе перикариона ASS пирамидных нейронов III слоя ОФК у животных, содержащихся на малобелковой пище после острого звукового воздействия. Вместе с тем данное предположение нуждается в дальнейшем подкреплении в комплексных исследованиях.

Некоторые признаки — как по качественным параметрам, так и по частоте выявления — достоверно чаще обнаруживались среди животных в основной группе, чем в контрольной. К таким признакам относились агглютинация, перераспределение и частичная деструкция синаптических везикул (75% в основной группе против 57,1% в контрольной, $p < 0,05$); отёк, просветление матрикса и частичная фрагментация крипт митохондрий (71,4 и 46,4% соответственно, $p < 0,01$); частичная или точечная фрагментация пресинаптической мембраны (67,9 и 39,3% соответственно, $p < 0,01$).

Достоверная межгрупповая разница в частоте выявления имела место и среди некоторых структурных параметров у стресс-устойчивых и стресс-неустойчивых животных, находящихся на малобелковом рационе. Так, набухание пресинаптического конца (терминаля) аксона встречалось у 33,3% стресс-устойчивых и 56,3% стресс-неустойчивых животных ($p < 0,05$), а такие изменения, как отёк и просветление матрикса пре- и постсинаптических полюсов — у 41,7 и 75% соответственно ($p < 0,01$).

В целом, к 40-м сут эксперимента, при частичном восстановлении электронной плотности, продолжают оставаться фокусы уплотнения («тёмной» дегенерации) синапсов, особенно на телах (постсинапти-

ческих полюсах) звёздчатых и пирамидных нейронов II–IV слоёв ОФК.

Установлено, что некоторые электронно-микроскопические нарушения строения ASS и ADS в ОФК у стресс-неустойчивых животных основной группы остаются даже спустя 40 сут от начала эксперимента и, скорее всего, приобретают необратимый характер. Функциональные проявления же выявленных остаточных ультраструктурных изменений части ADS и ASS I–IV слоёв различных зон ОФК нуждаются в дополнительном комплексном нейрофизиологическом и морфологическом исследовании.

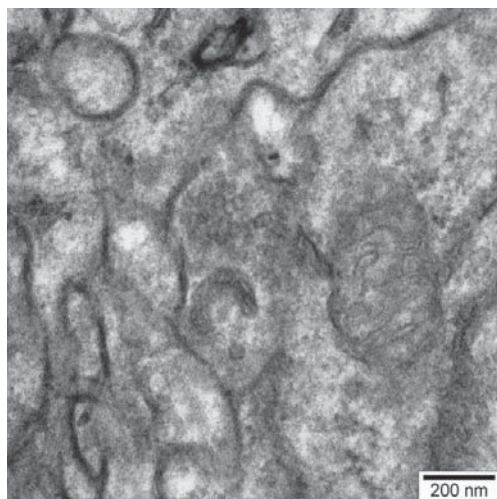
Электронно-микроскопическая организация аксодендритических и аксосоматических синапсов в различных слоях ОФК у крыс с малобелковым пищевым рационом после острого звукового воздействия частично представлена на рисунке.

Выводы

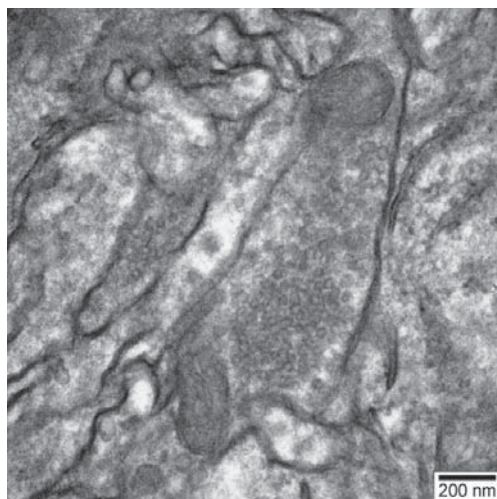
Острое звуковое воздействие инициирует нарушения тонкой организации аксодендритических и аксосоматических синапсов в I–IV слоях различных зон орбитофронтальной коры белых лабораторных крыс.

Очаговая деструкция тонкой организации отдельных аксодендритических и аксосоматических синапсов у крыс с малобелковой пищей после острого аудиогенного стресса имеет необратимый характер и может рассматриваться как проявление нарушений межнейронных связей в орбитофронтальной коре у животных в условиях малобелковой пищи.

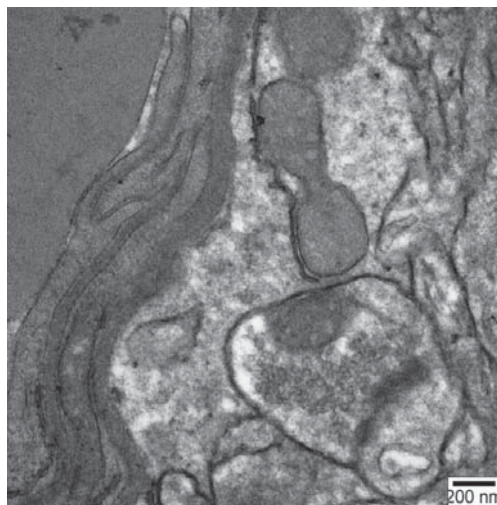
Полученные в ходе работы результаты могут быть использованы для прогнозирования нарушений межнейронных контактов в условиях звукового стресса, а также для разработки средств фармакологической коррекции острого или хронического звукового стресса.



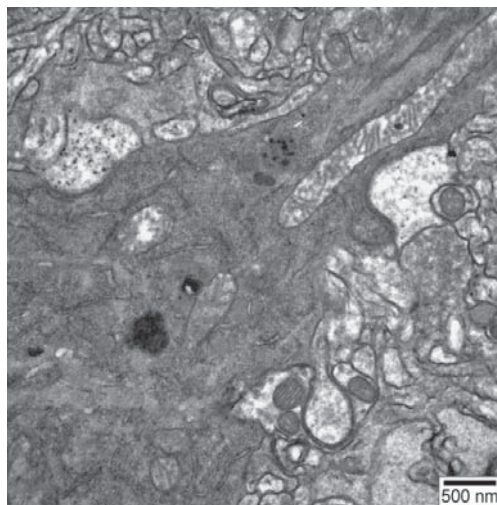
A



Б



B



Г

Рис. Электронно-микроскопические особенности синапсов в ОФК у стресс-неустойчивых белых лабораторных крыс на фоне малобелковой пищи после острого звукового воздействия. Набухание (просветление) матрикса, полиморфизм и частичное разрушение синаптических везикул в аксодендритических синапсах в I слое вентральной зоны ОФК (А, Б); деформация и уплотнение митохондрий, аномальное сосредоточение синаптических везикул в центре пресинаптического полюса, аномально зернистый матрикс в аксодендритическом синапсе в I слое медиальной зоны ОФК (В); мозаичные поля просветления и уплотнения аксодендритических и аксосоматических синапсов, осмиофильные включения на фоне уплотнения и тёмной дегенерации тела нейрона в I слое вентральной зоны ОФК. А — 10-е сут, Б — 20-е сут, В — 30 сут, Г — 40 сут эксперимента. Увеличение: см. масштабы на рисунках.

Fig. Electron microscopic features of synapses in OFC in stress-unstable white laboratory rats associated with low-protein food after acute sound exposure. Swelling (clearance) of the matrix, polymorphism, and partial destruction of synaptic vesicles in axodendritic synapses in layer I of the ventral zone of the OFC (A, B); deformation and compaction of mitochondria, abnormal concentration of synaptic vesicles in the center of the presynaptic pole, abnormally granular matrix in the axodendritic synapse in layer I of the medial OFC zone (B); mosaic fields of clarification and compaction of axo-dendritic and axo-somatic synapses, osmiophilic inclusions against the background of thickening and dark degeneration of the neuron body in layer I of the ventral zone of OFC. A — day 10; Б — day 20; В — day 30; Г — day 40 of the experiment. Magnification is shown on the pictures.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Кузнецова Г.Д. Аудиогенные судороги у крыс разных генетических линий. *Журнал ВНД*. 1998;48(1):143–152. [Kuznetsova G.D. Audiogenyie sudorogi u krysy raznykh geneticheskikh liniy [Audiogenic seizures in rats of different genetic lines]. *Zhurnal VND [Journal of Higher Nervous Activity]*. 1998;48(1):143–152. (In Russian)].
2. Никитина Е.А. Функциональные ансамбли в мозге человека и животных. *Физиология человека*. 2021;47(5):118–127. [Nikitina E.A. Funktsional'nye ansambl'i v mozge cheloveka i zhivotnykh [Functional ensembles in the brain of humans and animals]. *Fiziologiya cheloveka [Human physiology]*. 2021;47(5):118–127. (In Russian)]. DOI: 10.31857/S0131164621050039.
3. Полетаева И.И., Зорина З.А. *Формирование поведения животных в норме и патологии. К 100-летию со дня рождения Л.В. Крушинского*. М.: Языки славянских культур, РФФИ, 2013:489. [Poletaeva I.I., Zorina Z.A. *Formirovaniye povedeniya zhivotnykh v norme i patologii. K 100-letiyu so dnya rozhdeniya L.V. Krushinskogo [Formation of animal behavior in normal and pathological conditions. To the 100th anniversary of the birth of L.V. Krushinsky]*. Moscow: Yazyki slavyanskikh kul'tur, RFFI Publ., 2013:489. (In Russian)].
4. Dalley J.W., Cardinal R.N., Robbins T.W. Prefrontal executive and cognitive functions in rodents: Neural and neurochemical substrates. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2004;28(7):771–784. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2004.09.006.
5. Fuster J.M. *The prefrontal cortex. Fourth Ed.* London, Burlington, San Diego: Academic Press, 2008:410.
6. *Guidelines for accommodation and care of animals (article 5 of the convention) approved by the multilateral consultation*. Strasbourg, 2006, cons. 123.
7. Harris K.M., Weinberg R.J. Ultrastructure of synapses in the mammalian brain. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 2012;4(5):a005587. DOI: 0.1101/cshperspect.a005587.
8. Holmgren C., Harkany T., Svennerfors B., Zilberter Y. Pyramidal cell communication within local networks in layer 2/3 of rat neocortex. *J. Physiol.* 2003;551(1):139–153. DOI: 10.1113/jphysiol.2003.044784.
9. Kuo J. *Electron microscopy: methods and protocols*. Tokyo: Humana Press, 2007:625.
10. *National Research Council (US) Subcommittee on Laboratory Animal Nutrition. Nutrient Requirements of Laboratory Animals: Fourth Revised Ed.* Washington, DC: National Academies Press, 1995. DOI: 10.17226/4758.
11. Nikinorov M., Urbanek-Karlowska B., Karlowska K. Protein deficient diets. Activity of selected enzymes of protein and carbohydrate metabolism. *Toxicology*. 1973;1(4):263–276. DOI: 10.1016/0300-483x(73)90033-4.
12. *Springer Handbook of Microscopy*. Ed. by P. Hawkes, J.C.H. Spence. Springer Nature Switzerland AG, 2019:1543.
13. Watson C., Paxinos G. *The rat brain in stereotaxic coordinates*. London, San Diego: Academic Press, 2007:456.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ | INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Султанлы Мая Эльхан гызы, Научно-исследовательский институт физиологии им. акад. А. Караева Национальной академии наук Азербайджана;
e-mail: msultanli80@gmail.com

Maya E. Sultanly, Research Institute of Physiology named after Acad. A. Karaev of the National Academy of Sciences of Azerbaijan;
e-mail: msultanli80@gmail.com