

УДК 616.831-005:613.288
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-9-157-163

О ВОЗМОЖНОСТИ РЕСТИТУЦИИ РЕМОДЕЛИРОВАНИЯ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПОСЛЕ ЗАМЕНЫ ЖИРОВОЙ ДИЕТЫ НА СТАНДАРТНУЮ

A.T. Исраилова

Аннотация. Рассматривается возможность обратимого ремоделирования сосудов головного мозга, вызванного жировой диетой, при переходе на стандартный режим питания. Исследование направлено на выявление степени восстановительных процессов в структуре и функции церебральных сосудов, а также оценки влияния модифицированного питания на метаболические и сосудистые показатели. Полученные данные могут способствовать более глубокому пониманию роли диеты в патогенезе сосудистых заболеваний головного мозга и возможностях их профилактики.

Ключевые слова: жировая диета; цереброваскулярная система; ремоделирование сосудов; реституция; питание; мозговое кровообращение.

МАЙДЫ КӨП КАМТЫГАН ДИЕТАДАН СТАНДАРТТУУ ТАМАКТАНУУГА ӨТКӨНДӨН КИЙИН МЭЭНИН КАН ТАМЫРЛАРЫНДА РЕМОДЕЛДӨӨНҮН РЕСТИТУЦИЯ МУМКҮНЧҮЛҮГҮ ЖӨНҮНДӨ

A.T. Исраилова

Аннотация. Бул изилдөөдө майлуу диетанын таасириинен улам мээнин кан тамырларындагы өзгөрүүлөрдү стандарттуу тамактанууга өткөндөн кийин кайра калыбына келтируү мүмкүнчүлүгү каралат. Изилдөө церебралдык кан тамырларынын түзүлүшү жана функциясы боюнча калыбына келүү процесстеринин деңгээлин аныктоого, ошондой эле өзгертулген тамактануунун метаболизм жана кан тамыр көрсөткүчтерүнө тийгизген таасирин баалоого багытталган. Алынган жыйынтыктар мээнин кан тамыр ооруларынын патогенезинде тамактануунун ролун жана алардын алдын алуу мүмкүнчүлүктөрүн терецирээк түшүнүүгө өбөлгө түзүшү мүмкүн.

Түүнчүү сөздөр: майлуу диета; цереброваскулярдык система; кан тамыр ремоделдөө; реституция; тамактануу; мээ кан айлануусы.

ON THE POSSIBILITY OF RESTITUTION OF CEREBRAL BLOOD VESSEL REMODELING AFTER SWITCHING FROM A HIGH-FAT DIET TO A STANDARD DIET

A.T. Israilova

Abstract. This study examines the potential for reversible remodeling of cerebral blood vessels caused by a high-fat diet upon transitioning to a standard diet. The research aims to determine the extent of restorative processes in the structure and function of cerebral vessels and to assess the impact of dietary modification on metabolic and vascular parameters. The findings may contribute to a deeper understanding of the role of diet in the pathogenesis of cerebrovascular diseases and the possibilities for their prevention.

Keywords: high-fat diet; cerebrovascular system; vascular remodeling; restitution; nutrition; cerebral circulation.

Введение. В конце XIX века И.П. Павлов писал: “Далеко, очень далеко до такого можно сказать, цветущего состояния учению об обратной стороне жизненного процесса – учению о восстановлении. Кажется, что здесь главные вопросы даже не всегда еще и формулируются достаточно ясно и удобно для исследователя” [1].

В настоящее время проблема, поставленная на повестку дня знаменитым физиологом, приобрела особую актуальность: с одной стороны, в связи с удлинением продолжительности жизни населения, увеличением количества людей с хроническими заболеваниями, и с другой – усовершенствованием методов диагностики и лечения этих заболеваний [2].

Однако клиницистов и большинство экспериментаторов по-прежнему интересуют, главным образом, вопросы этиологии, патогенеза, модуляция симптомов в результате лечения, неожели механизмы выздоровления и саногенеза [3]. Не прошла эта участь мимо заболеваний, связанных с питанием и диетой человека. Современная литература изобилует сведениями о патологических состояниях – ожирении, сахарном диабете 2-го типа, метаболическом синдроме, гипертонической болезни, неалкогольной жировой болезни печени, различных дистрофиях и др., связанных с диетой как ключевым факторе экспозома [4]. По существу, в литературе отсутствуют данные об обратимости морффункциональных нарушений при этих состояниях после перехода на нормальный режим питания.

Целью настоящего сообщения является изложение результатов исследования обратимости алиментарно-индуцированных изменений кривеносных сосудов головного мозга крыс при жировой диете после их перевода на стандартный лабораторный корм.

Материал и методы исследования. Исследование проведено на базе лаборатории экспериментального моделирования патологических процессов Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ) в соответствии с правилами проведения лабораторной практики, утвержденными приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации № 708Н от 23 августа

2010 года “Об утверждении Правил лабораторной практики” и принципами гуманности, изложенными в директивах Европейского сообщества (86/609/EEC). Уход за животными, их кормление производились персоналом вивария согласно международным нормам проведения экспериментальных работ на животных, используемых в научных целях (Consensus Guidelines on Animal Ethics and Welfare 2010).

Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом Кыргызской государственной медицинской академии им. И.К. Ахунбаева от 27.05.2023 г.

Объектом исследований послужили 40 белых беспородных лабораторных крыс-самцов 7–9-месячного возраста весом 200–250 граммов.

Материалом исследования явились образцы головного мозга крыс.

Животные случайным образом были разделены на 2 группы: первую группу (1, n = 40) кормили исключительно курдючным салом в течение 30 дней, после этого срока 20 животных были выведены из эксперимента путем забоя. А оставшиеся 20 животных были переведены на стандартный корм, который состоял из следующего состава: пшеничная мука второго сорта, овсяные хлопья, коровье молоко, повышенная соль, зелень и мясо – молодая свинина. Оставшиеся животные из 1-й группы находились на стандартном корме в течение 30 дней, после чего животные были забиты для изучения головного мозга после отмены исключительно жировой диеты. 2-ю группу (2, n = 20) составили животные, находящиеся с первого дня эксперимента на стандартном корме.

Результаты исследования. Установлено, что через 30 дней после отмены жировой (результаты изучения которой были представлены в ранее опубликованных нами работах) [5] и назначения стандартной диеты на серийных гистологических срезах уже редко встречаются деформированные артерии мягкой мозговой (сосудистой) оболочки головного мозга, которые содержат в просвете цельную кровь в отличие от данных, полученных на 30-й день содержания животных на жировой диете. Рециркуляция крови в крупных артериях сосудистой оболочки эластомышечного типа происходит на фоне

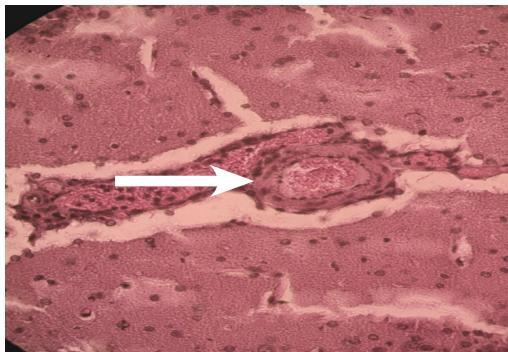


Рисунок (микрофото) 1 – Артерия и вена мягкой мозговой оболочки. В просвете артерии содержится цельная кровь, дефектов эндотелия и отека сосудистой стенки нет, но отмечается усиление эластической прослойки.
Вена полнокровная, среди форменных элементов встречаются “соринки”. Сосудистая стенка истончена, шероховатая. Заливка в парафин. $\times 400$

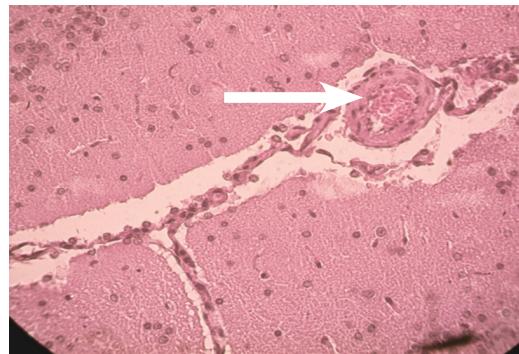


Рисунок (микрофото) 2 – Артерия мышечного типа и ее ветви в продольной щели между двумя полушариями головного мозга.
Отмечается сочетание спазма и дилатации мелких артериальных ветвей.
Окраска гематоксилин-эозином.
Заливка в парафин. $\times 400$

эндотелиозации дефектов интимы, вызванных жировой диетой. Данный факт, несомненно, имеет компенсаторное значение, так как позволяет артериям этого типа выполнять транспорт крови в разные отделы поверхности головного мозга.

В сосудистой стенке признаки последствий 30-дневной жировой диеты проявляются следующими изменениями. Наблюдается неравномерность толщины интимы, наличие эндотелиоцитов округлой формы и больших размеров, выпирающих в просвет сосуда. В медиа усиливается содержание эластической прослойки, ядра гладкомышечных клеток мигрируют и неравномерно располагаются по окружности сосудистой стенки. В адвенции ретикулярная строма заменяется коллагеновой и выглядит грубой. В то же время в сосудистой стенке регрессируют признаки ее отека – щели и вакуоли, которые имели место до перевода животных с жирового на стандартный рацион (рисунок 1).

Иная картина отмечается со стороны артерий мышечного типа, выполняющих распределительную функцию. Здесь вазомотория отражается на состоянии сосуда. Одни из артерий находятся в состояние спазма, другие – дилатации; одни – “пустые”, остальные – заполнены кровью, что, в целом, соответствует перемежаю-

щейся активности функционирующих структур (рисунок 2).

Вены, сопровождающие крупные артерии в сосудистой оболочке мозга, как правило, полнокровные. В их просвете среди крови содержатся “соринки”, которые отторгаются от интимы в результате перевода животных с жировой диеты на стандартный корм. Стенки вен истончены, растянуты, шероховатые. Отличить отдельные ее слои не удается.

От артерий сосудистой оболочки головного мозга отходят ветви, вступающие в щели между долями и извилинами органа, где они, в свою очередь, делятся на более мелкие артериальные ветви, которые уже всупают в вещество мозга. Артерии, отходящие от сосудов мягкой мозговой оболочки и расположенные в щелях мозга, окружены этой оболочкой и омываются спинномозговой жидкостью. Изменения этих артерий и их реституция, по существу, не отличаются от данных, полученных относительно артерий, окружающих поверхность мозга в составе мягкой мозговой оболочки.

Иначе реагируют на жировую диету и последующую замену ее стандартной артерии, вступающие в вещество головного мозга, что в определенной степени зависит от их строения в норме. Прежде всего отметим,

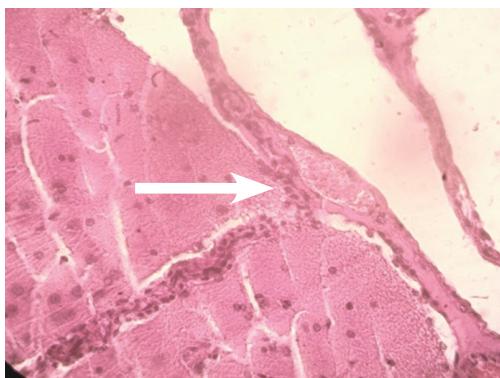


Рисунок (микрофото) 3 – На месте отхождения от материнской артерии внутриорганные ветви покрыты периваскулярной глиальной мембраной.
Окраска гематоксилином-эозином.
Заливка в парафин. $\times 400$



Рисунок (микрофото) 4 – Сочетание функционирующих и облитерированных внутриорганных артериальных ветвей. Окраска гематоксилином-эозином. Заливка в парафин. $\times 400$

что они непосредственно не прикасаются к веществу (клеткам) мозга. На месте их отхождения от материнской артерии они покрыты периваскулярной глиальной мембраной. Далее артерии располагаются в своеобразных каналах, стенка которых выстлана менинготелием, а их просвет заполнен спинномозговой жидкостью. На уровне микроциркуляции к стенке сосудов прикрепляются длинные отростки астроцитов которые участвуют в формировании гематоэнцефалического барьера, и обеспечивают нейроны нутриентами. При жировой диете появляется деструкция этой архитектуры, которая после перевода на стандартный корм устраняется, но не полностью (рисунок 3).

Как видно из рисунка, дать однозначную оценку ветвям одной и той же артерии, расположенной в сагиттальной борозде между полушариями мозга, невозможно. Часть из них облитерирована и превращена в соединительнотканную полоску. Другая – на своем протяжении имеет множество вздутий и перехватов. Одни ветви, входящие в вещество мозга, функционируют нормально, другие – облитерированы (рисунок 4).

Наряду с редуцированными кортикальными артериями встречаются полноценно функционирующие экземпляры с соответствующим состоянием серого вещества мозга.

Большинство медуллярных артерий внешне имеют типичное строение, однако на поперечных

срезах отличаются толстой стенкой и узким просветом, когда толщина меди привышает диаметр просвета сосуда. Наряду с этим встречаются экземпляры с извилистыми очертаниями и редуцированным кровотоком. Особый интерес представляет процесс реканализации тромбов, образованных под действием жировой диеты. В отдельных случаях происходит рассасывание тромба в центре и на границе с интимой. Возникает картина двух кругов, вложенных один в другой, или “сосуд в сосуде”.

Не менее мозаично и состояние венозного русла. В мягкой мозговой оболочке наряду с венами, содержащими в просвете цельную кровь, встречаются спавшиеся экземпляры с пустым просветом. В последнем случае затрудняется отток венозной крови по внутриорганным венам, которые в результате этого начинают редуцироваться на стороне своих истоков. В толще мозговой ткани одни вены дилатированы, стенка их истончена с незначительным количеством крови в просвете. Другие – плотно заполнены кровью, несмотря на облитерацию части их протоков. Третьи – затромбированы (рисунки 5–7).

В головном мозге имеются гематоэнцефалический, гематоворсинчатый и ликвороэнцефалический барьеры. То или иное отношение к ним имеет спинномозговая жидкость, продуцируемая сосудистыми сплетениями желудочков головного мозга. В предудыщих наших собственных

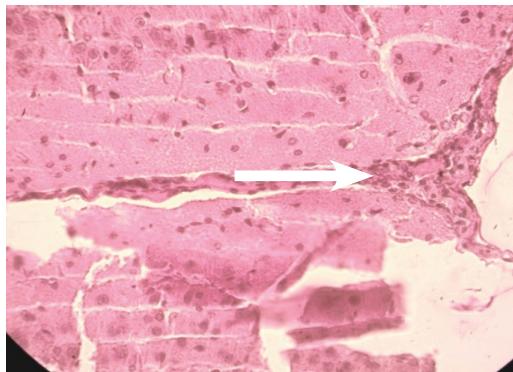


Рисунок (микрофото) 5 – Спавшаяся вена мягкой мозговой оболочки с редуцированным притоком. Окраска гематоксилин-эозином. Заливка в парафин. $\times 400$

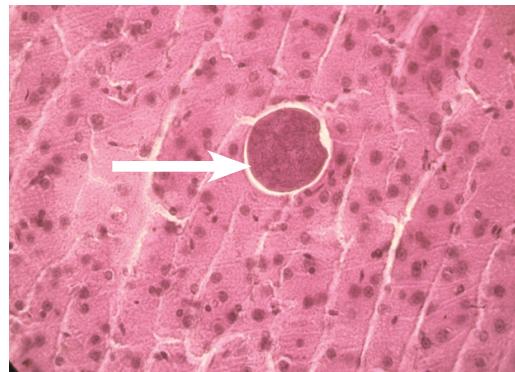


Рисунок (микрофото) 6 – Затромбированная интрамуральная вена. Окраска гематоксилин-эозином. Заливка в парафин. $\times 400$

наблюдениях обсуждались вопросы ремоделирования сосудистых сплетений при различных патологических состояниях, в экстремальных ситуациях, в том числе – влияние жировой диеты на гистофизиологию сосудистых сплетений [4].

Однако вопрос о возможности реституции изменений сосудистых сплетений, вызванных жировой диетой, остается открытым. Результаты настоящего исследования показали, что через 30 дней после замены жировой диеты стандартной ряд изменений в негроздьевидном и гроздьевидном отделах, сосудистой основы и эпендимоцитов проходят (восстанавливаются), другие – нет. Так, в негроздьевидном и гроздьевидном отделах восстанавливается кровоток, что превышает даже данные, полученные в норме. Отмечается реституция изменений эпендимоцитов, они увеличивается в размерах, что свидетельствует об их гиперфункции. Это, несомненно, имеет благотворное значение для всей центральной нервной системы, так как учащение смены спинномозговой жидкости способствует вымыванию различных отложений в полости черепа, желудочках головного мозга.

Одновременно, выше отмеченным положительным данным наблюдается коллагенизация стромы негроздьевидного и гроздьевидного отделов сосудистых сплетений. Отслоение эпендимального покрова стенок желудочков не восстанавливается (рисунки 8, 9).

Обсуждение. Кровеносное русло головного мозга, являясь одним из звеньев сердечно-сосудистой системы, имеет с ней общие свойства и отличительные черты. В отличие от кровеносного русла других органов, в сосудистую сеть головного мозга, расположенную в закрытой черепной коробке, сколько крови входит в неё в единицу времени, столько же из неё и выходит. Следовательно, объемная скорость кровотока в головном мозге постоянная [6]. В экстремальных условиях, например, в высокогорье, происходит лишь перераспределение кровотока между белым веществом и корой головного мозга в пользу последней [7]. В результате этого

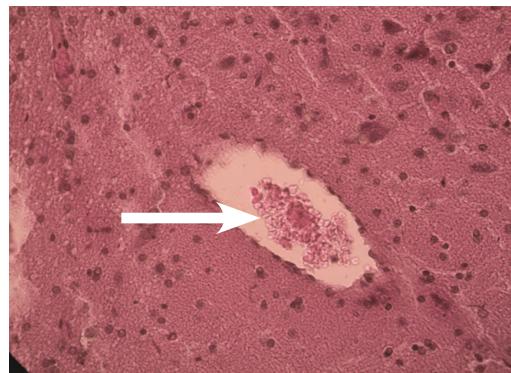


Рисунок (микрофото) 7 – Интрамуральная вена с истонченной стенкой резко расширена и с незначительным количеством крови в просвете. Окраска гематоксилин-эозином. Заливка в парафин $\times 400$

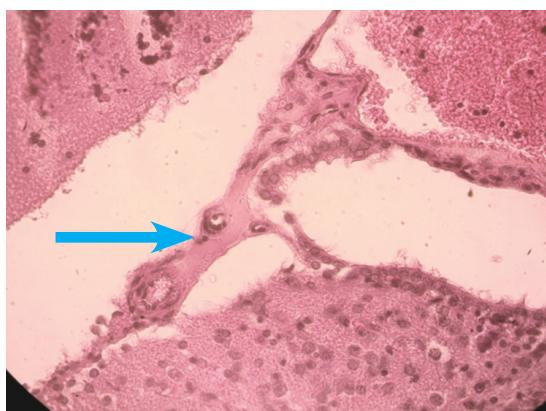


Рисунок (микрофото) 8 – Коллагенизация стромы негроздевидной части сосудистого сплетения.

Окраска гематоксилином-эозином.

Заливка в парафин. $\times 400$

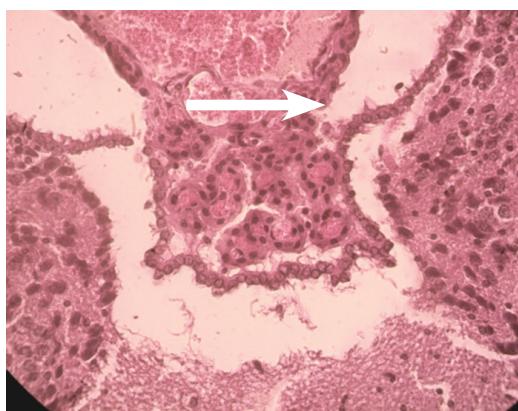


Рисунок (микрофото) 9 – Сосудистое сплетение III желудочка, гиперемия ворсинок, отторжение эпендемального покрова стенки желудочка, гипертрофия эпендимоцитов. Окраска гематоксилином-эозином. Заливка в парафин. $\times 400$

ремоделирование кровеносных сосудов в эксперименте и клинике характеризуется чрезвычайной мозаичностью, особенно на уровне микрочиркуляторного звена [8].

Именно на основе данных, полученных в результате изучения физиологии микроциркуляторного русла мозга пришлось отменять парадигму Крока, утверждающую, что обменные процессы между кровью и тканями совершаются только в капиллярах. Оказалось, что 30 % кислорода из крови переходит в паравазальное окружение уже на уровне артериол [9]. Следовательно, отсутствие функционирующих капилляров в отдельных участках мозга может компенсироваться кислородом, поступающим из артериол.

Данные, полученные во второй половине прошлого века, вынуждают отказаться от теории Старлинга о двух растворах коллоидов, разграниченных один от другого стенкой капилляра – это плазма крови и межтканевая жидкость. Но, в норме в интерстиции нет свободной жидкости. Там присутствует интерстициальный гель, а в головном мозге – спинномозговая жидкость, лишенная тканевой и видовой специфичности, которую отдельные авторы называют ошибочно паравазальным отеком. Спинномозговая жидкость омывает паренхиму мозга, глию и является средой, где совершаются метаболические

процессы в центральной нервной системе (ЦНС). Иначе говоря, состав спинномозговой жидкости является зеркалом физиологического состояния ЦНС и всего организма [10].

Ликворная или спинномозговая жидкостная система является своеобразной раковиной, смывающей загрязнения в полости черепа (оболочках, сосудах, в веществе мозга). Учитывая вышеизложенное, при анализе изменений кровообращения головного мозга представляется важным обратить внимание на состояние сосудистых сплетений желудочков головного мозга, которые секретируют спинномозговую жидкость.

Заключение. При 30-дневном содержании животных на жировой диете наблюдаются приспособительные (адаптивные), заместительные (компенсаторные), патологические изменения. Патологические изменения подразделяются на обратимые и необратимые.

Через 30 дней после перевода животных с жировой диеты на стандартный корм приспособительные и компенсаторные изменения в большинстве случаев восстанавливаются. Необратимые патологические изменения менее выражены, чем до перевода животных на стандартный корм.

Поступила: 26.06.2025;
рецензирована: 10.07.2025; принята: 11.07.2025.

Литература

1. Павлов И.П. Сборник сочинений / И.П. Павлов. М.; Л., 1951. Т. 2., Кн. 1. С. 142.
2. Fedotova A.A. Tichlyak A.V. Semyanov A.V. The influence of diet as an exposome factor on brain function // I.M. Sechenov Russian Journal of Physiology. 2021. Vol. 107.No. 4-5. Pp. 533–567.
3. Altynbekova A.T., Mamytova E.M., Shidakov Yu.Kh.-M., Israilova A.T., Alymjan ulu B., Tuhvatshin R.R. The effect of an isolated fat diet on the blood vessels of the rat's brain (experimental randomized study) // Heart Vessels Transplant. 2024; 8: DOI: 10.24969/hvt.2024.527.
4. Alymzhan uulu B., Mamytova E.M., Shidakov Yu.Kh.-M., Israilova A.T., Mamytova A.J., Tukhvatshin R.R. et al. Remodeling of the microcirculation of the small intestine with a fatty diet in rats: an experimental randomized study // Heart Vessels Transplant. 2024; 8: DOI: 10.24969/hvt.2024.483.
5. Шидаков Ю.Х.-М. Эффекты жировой диеты на кровеносные сосуды головного мозга крыс / Ю.Х.-М. Шидаков, А.Т. Исраилова, А.Т. Алтынбекова [и др.] // Вестник КРСУ. 2025. Т. 25. № 1. С. 146–151. DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-1-146-151.
6. Fifield K.E., Rowe T.M., Raman-Nair J.B., Hirasawa M., Vanderluit J.L. Prolonged High Fat Diet Worsens the Cellular Response to a Small, Covert-like Ischemic Stroke // Neuroscience. 2019 May 15; 406: 637–652. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2019.01.050. Epub 2019 Feb 4. PMID: 30731155.
7. Zimmerman B., Kundu P., Rooney W.D., Raber J. The Effect of High Fat Diet on Cerebrovascular Health and Pathology: A Species Comparative Review // Molecules. 2021 Jun 4; 26 (11): 3406.
8. Wu P., Zhu T., Huang Y., Fang Z., Luo F. Current understanding of the contribution of lactate to the cardiovascular system and its therapeutic relevance. // Front Endocrinol (Lausanne). 2023 Jun 15; 14: 1205442. DOI: 10.3389/fendo.2023.1205442. PMID: 37396168; PMCID: PMC10309561.
9. Israilova A.T., Mamytova E.M., Shidakov Yu.Kh.-M., Mamytova A.D. The effect of an isolated fat diet on the remodeling of the functional system «lungs – heart» under experimental conditions // Vestnik KRSU. 2023. Vol. 23. No 5. P. 176–182.
10. Tristano Pancani, Katie L. Anderson, Lawrence D. Brewer, Inga Kadish, Chris DeMoll, Philip W. Landfield, Eric M. Blalock, Nada M. Porter, Olivier Thibault. Effect of high-fat diet on metabolic indices, cognition, and neuronal physiology in aging F344 rats // Neurobiology of Aging. 2013. Vol. 34. Issue 8. Pages 1977–1987. ISSN 0197-4580. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2013.02.019>.