

ОБЩАЯ
РАДИОБИОЛОГИЯ

УДК 576.385.34:599.323.4:57.084:539.1.047

ВОЗДЕЙСТВИЕ НАНОСЕКУНДНОГО
ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ЭПИДИДИМАЛЬНУЮ ЖИРОВУЮ ТКАНЬ МЫШЕЙ:
НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

© 2018 г. А. В. Керей^{1,2,*}, Л. П. Жаркова^{1,3}, М. А. Большаков^{1,3}, А. Е. Купцова³,
О. П. Кутенков¹, В. В. Ростов¹

¹ Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

² Сибирский государственный медицинский университет, Томск, Россия

³ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

* E-mail: kereya21@mail.ru

Поступила в редакцию 10.05.2017 г.

Эпидидимальная жировая ткань лабораторных мышей подвергалась воздействию наносекундного импульсно-периодического рентгеновского излучения (ИПРИ, частоты повторения импульсов 8, 13 и 22 Гц, суммарные поглощенные дозы 0.2 и 1 Гр). Эффект воздействия оценивали по изменению поведенческих реакций мышей в “открытом поле”, отображавшем изменение деятельности мозга, а также по изменению массы эпидидимальной жировой ткани и ряда внутренних органов. Десятидневное облучение наносекундным ИПРИ (4000 импульсов ежедневно) снижает у животных двигательную активность, массу жировой ткани и тела. Выявленные эффекты воздействия зависят от частоты повторения импульсов ИПРИ и поглощенной дозы. В результате воздействия возможно развитие стресса в организме.

Ключевые слова: эпидидимальная жировая ткань, импульсно-периодическое рентгеновское излучение, наносекундные импульсы, поведение мышей

DOI: 10.1134/S0869803118040070

К настоящему времени формируется представление, что жировая ткань является не только важнейшим источником энергии в организме, но и нейроэндокринным органом [1, 2]. При этом полагают, что передача нейроэндокринных сигналов опосредована состоянием самой жировой ткани, оказывая влияние на функционирование других, связанных с ней органов и тканей организма, в том числе головного мозга [3]. Как было показано в экспериментах с прямым воздействием импульсно-периодическим микроволновым излучением (ИПМИ) на жировую ткань мышей, изменяются не только ее морфометрические параметры [4], но и деятельность головного мозга [5]. По аналогии вполне можно допустить, что головной мозг способен реагировать и на воздействие ИПРИ при облучении эпидидимальной жировой ткани. В экспериментах после воздействия ИПРИ на головной мозг было выявлено изменение поведения животных, повышение уровня нейрональной активности вентромедиальных ядер гипоталамуса, контролирующих энергетический обмен, изменение массы тела и эпидидимального жира, а также содержание гормона леп-

тина в сыворотке крови [6]. То есть, согласно полученным результатам, воздействие ИПРИ способно вмешиваться в функциональную связь между мозгом и жировой тканью. При этом связующим звеном в регуляции состояния жировой ткани и деятельности головного мозга выступает гормон лептин. Он продуцируется адипоцитами и участвует в нейроэндокринных процессах посредством лептиновых рецепторов, присутствующих в ядрах гипоталамуса [7]. В таком качестве лептин снижает аппетит и участвует в регуляции обмена веществ в периферических органах и тканях, а также расходовании энергии [8]. Поэтому облучение ионизирующим излучением жировой ткани потенциально может изменять функциональное состояние гипоталамуса и чувствительность к лептину [9], что должно сопровождаться изменением деятельности мозга или его отдельных структур.

Возможность прямого действия рентгеновского излучения на жировую ткань подкрепляется данными, полученными в работе [10]. В исследовании было показано изменение массы жировой ткани и размеров адипоцитов, изменение в про-

лиферации и дифференцировке преадипоцитов после облучения мышц рентгеновским излучением в летальных и сублетальных дозах. Такие реакции, по мнению авторов, могут быть обусловлены перекисным окислением липидов и последующим развитием окислительного стресса в адипоцитах. Применительно к ИПРИ можно предположить, что оно, даже в меньших дозах, может прямо влиять на жировую ткань, это должно сопровождаться изменением деятельности головного мозга и эффект будет зависеть от частоты повторения импульсов.

Поэтому целью настоящей работы было изучить поведение животных, массу эпидидимальной жировой ткани, тела, а также состояние ряда внутренних органов после многократного облучения эпидидимальной жировой ткани наносекундным импульсно-периодическим рентгеновским излучением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Эксперименты выполнены на половозрелых белых мышках самцах массой 25–30 г. Животных содержали в клетках при комнатной температуре, постоянной влажности и режиме освещения 12:12, на стандартном рационе питания со свободным доступом к воде и пище. Исследование проводилось в соответствии с этическими нормами работы с лабораторными животными и санитарными правилами по устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник [11]. Мыши были разделены на облученных и ложнооблученных (ЛО или контроль), по шесть животных для каждого из использованных режимов воздействия. Контрольные мыши подвергались всем аналогичным манипуляциям, что и облученные, но без включения источника рентгеновского излучения. Процедуры облучения проводили в одно и то же время суток (9–11 час.). Во время воздействия мышей размещали в пластиковых контейнерах таким образом, что паховая область, где сосредоточена вся масса эпидидимальной жировой ткани, располагалась вблизи источника рентгеновского излучения. Остальная часть тела размещалась в защитных свинцовых экранах для устранения возможности облучения всего организма. Подобным образом эпидидимальный жир животных в течение 10 дней подвергался ежедневному однократному воздействию 4000 импульсов ИПРИ за сеанс, и суммарные поглощенные дозы за 10 дней облучения составили 0,2 или 1 Гр. Облучение проводили с частотами повторения импульсов 8, 13 и 22 Гц. Выбор частот повторения был обусловлен результатами предыдущих экспериментов, в которых воздействие ИПРИ на мозг с этими частотами наиболее эффективно изменяло поведенческие реакции мышей [6]. Продолжительность облуче-

ния варьировала от 3 до 9 мин в зависимости от частоты повторения импульсов. В качестве источника рентгеновского излучения использовали сильноточный ускоритель электронов “Синус 150” (Россия), тормозное излучение электронного пучка на аноде которого при ускоряющем напряжении 240 кВ с током электронного пучка 2,5 кА и длительности импульса на полувысоте 4 нс обеспечивало эмиссию фотонов с энергией вблизи максимума 90–120 кэВ [12]. Экспозиционные дозы ИПРИ измеряли с помощью индивидуального дозиметра серии “Arrow-Tech W 138” (PEN 200 mR, США). В эксперименте использовали импульсные дозы рентгеновского излучения от 0,5 до 2,5 мР/имп.

Для оценки нейробиологического эффекта воздействия ИПРИ на эпидидимальную жировую ткань использовались поведенческие реакции мышей в “открытом поле”. Использованная установка “открытое поле” представляла собой круглую камеру с основанием 50 см в диаметре и бортами высотой 25 см, расчерченную на сектора. В местах пересечений линий секторов в полу имелись отверстия – “норки” (16 шт.). Тестирование животных проводили при уровне освещенности арены “открытого поля” 180 лк, что оценивали с помощью измерителя потока света (Pocket light meter 8581, Тайвань). Непосредственно перед проведением тестирования мышей, в соответствии с общепринятыми технологиями [13], предварительно выдерживали в течение 3 мин в затемненном пространстве клеток, в которых животные содержались. Затем животное помещали в центр «открытого поля» и в течение 5 мин отслеживали их поведение. В качестве мониторинговых показателей были выбраны горизонтальная активность (количество пересеченных секторов), вертикальная активность (стойки на задних лапах), норковый рефлекс (количество заглядываний в норки), эмоциональность (количество дефекаций и уринаций), груминг, продолжительность актов фризинга (время замирания). Количество пересеченных секторов, вертикальных стоек и заглядываний в норки характеризовало суммарную общую двигательную активность, количество дефекаций/уринаций и груминг – эмоциональную составляющую поведения и тревожность у мышей [13]. При изучении нейробиологического эффекта воздействия наносекундным ИПРИ на жировую ткань процедуру тестирования в “открытом поле” проводили в утренние часы (9.00–12.00) у экспериментальных и ложнооблученных животных дважды – за день до начала 10-дневного облучения и на следующий день после окончания воздействий.

Дополнительно регистрировали показатели массы тела животных, количество потребленной пищи, массы эпидидимальной жировой ткани, печени и селезенки. Эффект прямого влияния на

жировую ткань исследовали по ее электропроводности. Прирост массы тела рассчитывали как разность конечной и исходной масс животного. Далее проводили оценку удельного (относительного) прироста массы тела животных. Для корректной оценки прироста массы тела мышей учитывалось количество потребленного корма в течение всего эксперимента.

По завершении 10-дневного облучения и проведения поведенческих тестов животные всех исследуемых групп выводились из эксперимента путем декапитации. Эпидидимальную жировую ткань, печень и селезенку взвешивали с точностью до 0,1 мг на аналитических весах AND HR-200 (Япония). Электропроводность жировой ткани оценивали по активной компоненте ее сопротивления переменному электрическому току. Измерение проводили с помощью измерителя иммитанса E7-20 (Беларусь) на частотах переменного тока в диапазоне α - и β -дисперсии (до 10^4 Гц). Для этого навеску жировой ткани 100 мг помещали в измерительную ячейку с охлажденным физиологическим раствором (1 мл), подключаемую к измерителю иммитанса.

Полученные результаты подвергали статистической обработке с помощью пакета прикладных программ Statsoft STATISTICA for Windows 8.0. Рассчитывали среднюю арифметическую величину показателя и ошибку среднего. Значимость различий между показателями облученных и ложнооблученных животных определяли с помощью непараметрического U -критерия Манна–Уитни [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выполненные эксперименты показали, что после 10-дневного облучения эпидидимальной жировой ткани наносекундным ИПРИ показатели поведенческой активности мышей в «открытом поле» изменяются. Эффекты воздействия зависят от частоты повторения импульсов и поглощенной дозы излучения. Анализ реакций мышей показал, что после воздействия ИПРИ с частотой повторения 13 Гц в суммарной дозе 1 Гр наблюдается снижение горизонтальной (на 61%) и вертикальной (на 38%) активностей, а также норкового рефлекса (на 38%). Эти компоненты поведения животных, характеризующие суммарную общую двигательную активность [15], статистически значительно снижались и после воздействия с другими режимами. В частности, это наблюдалось после облучения жировой ткани мышей с частотой повторения 13 Гц в суммарной дозе 0.2 Гр, а также с частотой повторения 8 Гц в дозе 1 Гр (рис. 1, а). Помимо этого, также выявлено статистически значимое увеличение груминга на 50%, что характеризует развитие защитного поведения с соответствующим возрастанием уровня тревожности

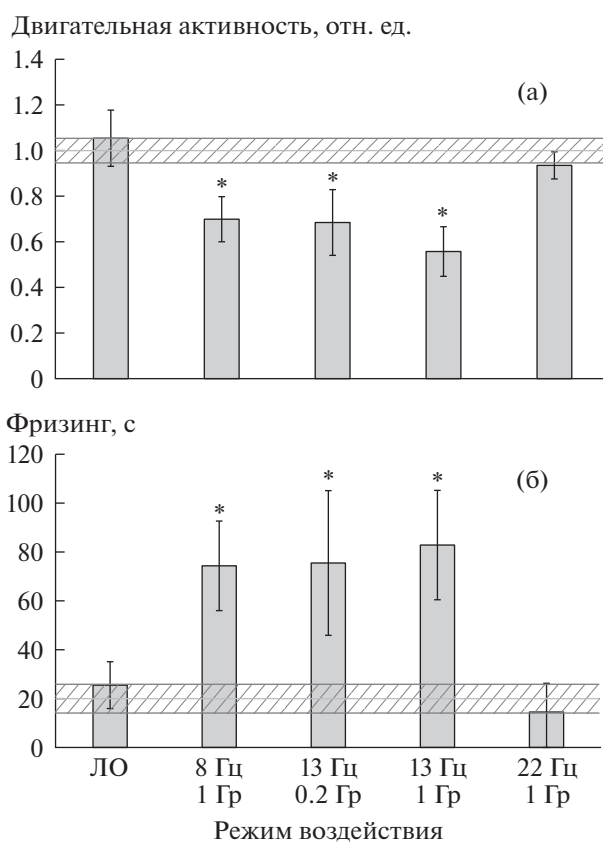


Рис. 1. Общая двигательная активность (а) и время замирания мышей (б) в «открытом поле» после облучения эпидидимальной жировой ткани ИПРИ. Примечание. Показатели нормированы относительно контрольной группы. Заштрихованное пространство – 95%-ный доверительный интервал среднего значения показателя в контрольной группе. * Различия статистически значимы по отношению к показателям ЛО животных ($p \leq 0.05$).

облученных животных [15]. Однако исследованные показатели поведения – дефекации и урикации – статистически значимо не изменялись после воздействия со всеми использованными режимами. Вся совокупность поведенческих реакций облученных животных отображает состояние тревожности и беспокойства, преобладающих над двигательными реакциями. Это согласуется со статистически значимым увеличением фризинга (времени замирания) (рис. 1, б). Именно развитие продолжительного фризинга, как следует из литературных данных, характеризует эмоциональный статус животных как формирование подавленного состояния и является показателем развития сильного стресса [15].

Для уточнения формирования нейробиологических эффектов после облучения эпидидимальной жировой ткани были оценены прирост массы тела животных, количество потребленной пищи в динамике 10-дневного облучения и массы эпиди-

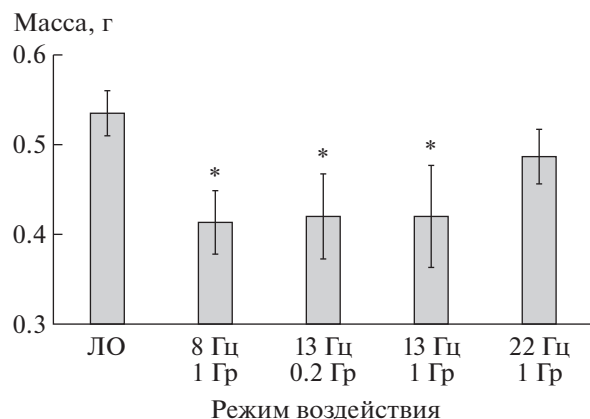


Рис. 2. Масса эпидидимальной жировой ткани мышей после облучения ИПРИ. Примечание. Представлены среднееарифметические значения показателя \pm ошибка среднего. * Различия статистически значимы по отношению к показателям ЛО животных ($p \leq 0.05$).

димальной жировой ткани как непосредственно участника метаболических процессов. Обнаружено, что после воздействия ИПРИ с частотой повторения 8 Гц в дозе 1 Гр и с частотой повторения 13 Гц в дозах 0.2 и 1 Гр масса эпидидимальной жировой ткани снижается на 30% относительно таковой у ложнооблученных животных (рис. 2), при отсутствии значимого эффекта после воздействия ИПРИ в аналогичной дозе с частотой повторения 22 Гц. Таким образом, подтвердилось предположение, что облучение ИПРИ влияет на состояние эпидидимальной жировой ткани мышей и снижает ее массу. Кроме того, возможно, происходили изменения энергетического метаболизма мышей на уровне целостного организма.

Полученные данные по изменению прироста массы тела и количеству потребленной пищи не вполне согласовались с результатами снижения массы жировой ткани, поскольку снижение прироста массы тела наблюдалось только после облучения с частотой 13 Гц в дозах 0.2 и 1 Гр и с частотой 22 Гц в суммарной дозе 1 Гр (рис. 3, а). Однако статистически значимое снижение потребления пищи животными наблюдалось после облучения при всех использованных режимах (рис. 3, б).

Одной из причин снижения массы жировой ткани может быть установленное уменьшение потребления пищи животными. Однако другая причина, по-видимому, связана с изменением морфологических параметров самих адипоцитов после облучения. Известно, что образованные в организме жировые клетки обратной трансформации не подлежат и сохраняются на всю жизнь. Поэтому снижение веса жировой ткани происходит вследствие сокращения размеров этих клеток [2, 10]. Подобные перестройки ткани сопровож-

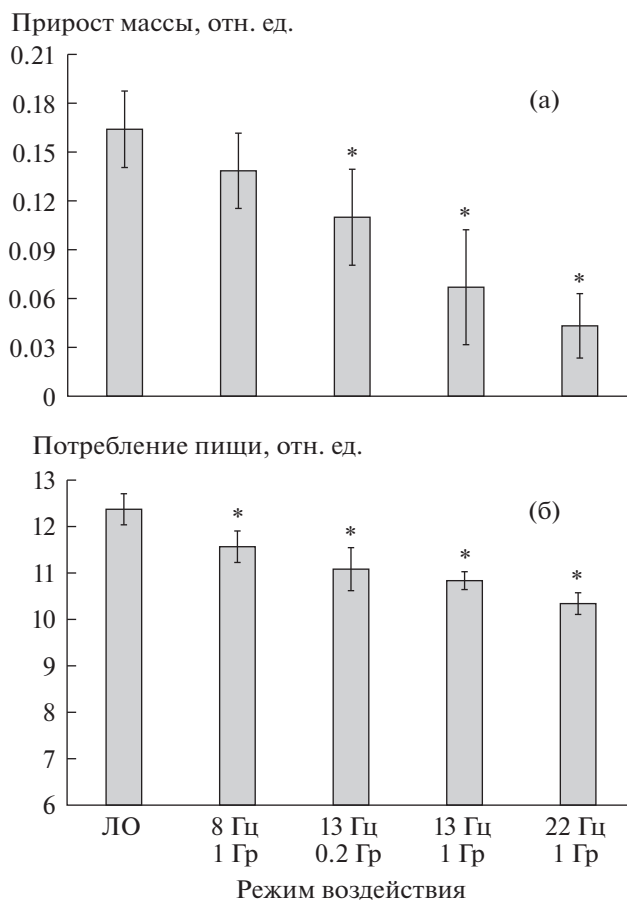


Рис. 3. Относительные показатели прироста массы тела (а) и суточного потребления пищи (б) облученных и ложнооблученных мышей. Примечание. Представлены среднееарифметические значения показателя \pm ошибка среднего. * Различия статистически значимы по отношению к показателям ЛО животных ($p \leq 0.05$).

даются изменением соотношения объема клеток и межклеточной жидкости, что можно определить по изменению электрического сопротивления (омического или емкостного) жировой ткани. Как известно [16], полное сопротивление ткани является результатом параллельно включенных омического сопротивления межклеточной жидкости и емкостного сопротивления клеток. Омическое сопротивление ткани, как правило, возрастает при уменьшении количества внеклеточной жидкости и ухудшении кровотока [16]. Емкостное сопротивление несет информацию о размерах клеток и может уменьшаться при увеличении размеров клеток [17]. При измерении сопротивления жировой ткани на частотах переменного тока 10^4 Гц было установлено, что воздействие ИПРИ значительно увеличивает омическое сопротивление облученной ткани на 7–12% по сравнению с сопротивлением в контрольной группе. Емкостное сопротивление при этом не изменялось (таблица 1).

Таблица 1. Изменение электрических характеристик жировой ткани после воздействия ИПРИ

Показатель	Режим воздействия (частота повторения импульсов (Гц) – доза (Гр))				
	контроль (ЛО)	13–0.2	8–1	13–1	22–1
Омическое сопротивление, Ом	460 ± 0.4	511 ± 2.8*	490 ± 4.0*	470 ± 4.0	490 ± 1.8*
Емкостное сопротивление, Ом	11 ± 0.2	10.8 ± 0.3	10 ± 0.15	10.5 ± 0.5	10 ± 0.2

Примечание. Представлены среднеарифметические значения показателя ± ошибка среднего.

* Различия статистически значимы по отношению к группе контроля, $p \leq 0.05$.

Обнаруженные изменения на фоне снижения массы жировой ткани свидетельствуют о сокращении объема межклеточной жидкости при сохранении размеров адипоцитов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Из полученных результатов следует, что 10-дневное воздействие наносекундным ИПРИ на эпидидимальную жировую ткань мышей инициирует нейробиологический эффект, который характеризуется изменением поведенческой активности, с одновременным формированием у животных тревожности и подавленного состояния. Кроме того, наблюдается снижение массы эпидидимального жира, снижение прироста массы тела и потребления пищи, изменение электропроводности ткани. Эти реакции отображают участие жировой ткани в формировании нейробиологических эффектов ИПРИ. Обнаруженные эффекты, а также изменение электропроводности указывают на прямое участие жировой ткани как нейроэндокринного органа в формировании ответных реакций организма на воздействие, в том числе опосредованное деятельностью головного мозга. Одним из объяснений подобного эффекта может быть то, что связующим звеном в регуляции состояния жировой ткани и деятельности головного мозга выступает гормон лептин. Он участвует в нейроэндокринных процессах посредством лептиновых рецепторов, присутствующих в аркуатном и вентромедиальном ядрах гипоталамуса [1, 2]. При этом лептин участвует в подавлении синтеза нейропептида-Υ, продуцируемого нейронами гипоталамуса, что приводит к снижению аппетита и изменению обмена веществ в периферических органах и тканях [8]. Облучение ионизирующим излучением жировой ткани, по-видимому, изменяет выработку и концентрацию лептина в крови, тем самым влияя на функциональное состояние гипоталамуса [9]. Если облучение ИПРИ оказывает модулирующее влияние на секрецию лептина, то, согласно приведенной выше схеме, изменяется взаимодействие гормона с рецепторами в гипоталамусе и соответственно изменяются поведенческие и метаболические показатели. Подобный характер реагирования, зависимый от

частоты повторения импульсов, был показан ранее, в ответ на облучение эпидидимальной жировой ткани наносекундным ИПМИ [5]. Это позволяет допустить аналогичную роль лептина в формировании изменений поведенческих реакций после облучения наносекундным ИПРИ.

Частотная зависимость эффектов часто объясняется с позиции модели Эйди, так называемых “частотных и энергетических окон” [18], в которой важную роль играет взаимодействие ионов Ca^{2+} с мембранами. Такая модель, возможно, справедлива и для воздействия ИПРИ на эпидидимальную жировую ткань. Было показано [19], что в адипоцитах эпидидимальной ткани мышей некоторые агонисты могут задействовать различные подсистемы кальциевой сигнализации, каждая из которых генерирует колебания, имеющие свой специфический временной ход. Если учесть наличие подобных процессов в жировой ткани, то ИПРИ может выступать частотно-зависимым образом в качестве модулятора состояния рецепторов, изменяющих кальциевые потоки, вызывая соответствующие изменения в функциональном состоянии адипоцитов.

В принципе, нельзя исключить, что схема формирования ответной реакции организма на облучение жировой ткани ИПРИ может реализовываться при воздействии другими физическими факторами с модуляцией. Возможно, это станет актуальным для процедур, используемых в современной косметологии и медицине при воздействиях различными факторами на жировую ткань человека (RF-липолиз, электролиполиз, ультразвуковой липолиз, лазерная терапия, миостимуляция), которые, помимо желаемого эффекта уменьшения массы избыточной жировой ткани, будут сопровождаться и непрогнозируемыми эффектами со стороны центральной нервной системы, в том числе развитием стресса. Возникновение подобного неблагоприятного результата в настоящее время никак не учитывается. Поэтому исследование функций организма после различных воздействий на жировую ткань сохраняет свою актуальность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fruhbeck G., Gomes-Ambrosi J., Muruzabal F.J. et al.* The adipocyte: a model for integration of endocrine and metabolic signaling in energy metabolism regulation // *Am. J. Physiol. Endocrin. Metab.* 2001. V. 280. P. E827–E847.
2. *Шварц М.В.* Жировая ткань как эндокринный орган // *Проблемы эндокринологии.* 2009. Т. 55. № 1. С. 38–44.
3. *Чубриева С.Ю., Глухов Н.В., Зайчик А.М.* Жировая ткань как эндокринный регулятор (обзор литературы) // *Вестн. Санкт-Петербургского ун-та.* Сер. 11. 2008. Вып. 1. С. 32–43.
4. *Керея А.В., Большаков М.А., Жаркова Л.П. и др.* Эффект воздействия наносекундного импульсно-периодического микроволнового излучения на эпидидимальную жировую ткань мышей // *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2014. Т. 54. № 6. С. 606–612.
5. *Керея А.В., Большаков М.А., Кутенков О.П., Ростов В.В.* Физиологические реакции мышей после прямого воздействия наносекундным импульсно-периодическим микроволновым излучением на эпидидимальную жировую ткань // *Международ. науч.-исслед. журн.* 2016. № 2 (44). С. 13–19.
6. *Керея А.В., Большаков М.А., Ростов В.В.* Действие наносекундных рентгеновских импульсов на мозг мышей: Монография. LAP Lambert Acad. Publ., 2016. 116 с.
7. *Schwartz M.W., Seeley R.J.* Neuroendocrine responses to starvation and weight loss // *New Engl. J. Med.* 1997. № 336. P. 1802–18011.
8. *Leibowitz S.F.* Specify city of hypothalamic peptides in the control of behavioral and physiological processes // *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1994. V. 739. P. 12–35.
9. *Cohen L.E.* Endocrine late effects of cancer treatment // *Curr. Opin. Pediatr.* 2003. № 15. P. 3–9.
10. *Poglio S., Galvani S., Bour S. et al.* Adipose tissue sensitivity to radiation exposure // *Amer. J. Pathol.* 2009. V. 174. № 1. P. 44–53.
11. Euro guide on the accommodation and care of animals used for experimental and other scientific purposes (Based on the revised Appendix A of the European Convention ETS 123) FELASA: Federation of European Laboratory Animal Science Associations. London, UK, 2007. 17 p. www.felasa.eu.
12. *Артемов К.П., Ельчанинов А.А., Кутенков О.П. и др.* Импульсно-периодический источник рентгеновского излучения // *Приборы и техника эксперимента.* 2004. № 5. С. 166–167.
13. *Буреш Я., Бурешова О., Хьюстон Д.П.* Методики и основные эксперименты по изучению мозга и поведения. М.: Высш. шк., 1991. 399 с.
14. *Ефимов В.М., Ковалева В.Ю.* Многомерный анализ биологических данных. СПб., 2008. 86 с.
15. *Майоров О.Ю.* Оценка индивидуально-типологических особенностей поведения и устойчивости интактных белых крыс самцов на основе факторной модели нормального этологического спектра показателей в тесте “открытое поле” // *Клин. информат. и телемедицина.* 2011. Т. 7. Вып. 8. С. 21–32.
16. *Пиголкин Ю.И., Коровин А.А.* Способ оценки морфофункциональной сохранности клеток биологического материала: Патент РФ № G01N33/483, 1999.
17. *Новицкая-Усенко Л.В., Шифрин А.Г., Заяц А.Н.* Способ оценки гидратации мозговой ткани: Патент РФ № 2013986, 1994.
18. *Adey W.R.* Biological effects of electromagnetic fields // *J. Cell Biochem.* 1993. V. 51. № 4. P. 410–416.
19. *Туровский Е.А., Каймачников Н.П., Туровская М.В. и др.* Два механизма кальциевых колебаний в адипоцитах // *Биол. мембр.* 2011. Т. 28. № 6. С. 463–472.

Nanosecond Repetitive Pulsed X-Ray Irradiation of the Epididymal Adipose Tissue of Mice: Neurobiological Effect

A. V. Kereya^{a,b,#}, L. P. Zharkova^{a,c}, A. E. Kuptsova^c, M. A. Bolshakov^{a,b},
O. P. Kutenkov^a, and V. V. Rostov^a

^a Institute of High-Current Electronics, Siberian Division, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

^b Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

^c National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

[#]E-mail: kereya21@mail.ru

The epididymal adipose tissue of laboratory mice was exposed to nanosecond repetitive pulsed x-ray radiation (pulse repetition frequency – 8, 13 and 22 Hz, total absorbed doses – 0.2 and 1 Gy). Both the changes in behavioral responses of mice in the “open field” (a test to provide indication of changes in the brain activity) and the changes in the mass of epididymal adipose tissue and internal organs were estimated. The value of the motor activity, fat mass and body mass of the animals after ten-day nanosecond repetitive pulsed X-ray irradiation (4000 pulses daily) was found to be reduced. The effect of exposure depended on the pulse repetition frequency and the absorbed dose. The increased stress in the body is possible as a result of exposure.

Keywords: epididymal adipose tissue, repetitively pulsed X-ray, nanosecond pulses, behavioral components of mice