Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры, 2021, Т. 98, №1, с. 47-52 https://doi.org/10.17116/kurort20219801147

Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy= Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kultury 2021, Vol. 98. no. 1, pp. 47-52 https://doi.org/10.17116/kurort20219801147

Особенности действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения на раннем этапе развития экспериментального метаболического синдрома, индуцированного диетой с высоким содержанием углеводов и жиров

© Ю.Н. КОРОЛЕВ[1], Е.Е. БРАГИНА[2, 3], Л.А. НИКУЛИНА[1], Л.В. МИХАЙЛИК[1]

[1]ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, Москва, Россия;
[2]Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия;
[3]ФГБНУ «Медико-генетический научный центр им. акад. Н.П. Бочкова», Москва, Россия

Резюме

Метаболический синдром (МС) представляет собой комплекс взаимосвязанных метаболических нарушений, приводящих к развитию абдоминального ожирения, гипергликемии, инсулинорезистентности, дислипидемии. Для разработки новых методов профилактики и лечения МС представляется целесообразным провести моделирование этого заболевания с применением высококалорийной диеты, которая индуцирует многие его симптомы. В качестве лечебно-профилактического средства перспективно использовать низкоинтенсивное электромагнитное излучение (ЭМИ) сверхвысокой частоты (СВЧ), способное оказывать стимулирующее влияние на метаболические и регенеративные процессы и укреплять механизмы их регуляции.

Цель исследования. Выявить особенности действия низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ на развитие адаптационных метаболических и ультраструктурных сдвигов в печени и крови крыс на раннем этапе развития МС.

Материал и методы. Работа выполнена на 40 нелинейных крысах-самцах массой 180—220 г. В опытной группе крысы в течение 2 мес содержались на высококалорийной диете, действие ЭМИ СВЧ проводили на фоне развития МС; в контрольной группе воспроизводили только модель без действия ЭМИ СВЧ; в интактной группе животных никаким воздействиям не подвергали. Курс ЭМИ СВЧ (10 процедур) осуществляли ежедневно по 2 мин на поясничную область в зоне проекции надпочечников при помощи аппарата Акватон-2 (плотность потока мощности менее 1 мкВт/см^2, частота около 1000 МГц). Объектами исследования являлись печень и кровь. Применялись биохимические методы (содержание РНК, ДНК, общего белка, антиоксидантная активность печени, уровень инсулина и глюкозы в крови), трансмиссионная электронная микроскопия, морфометрический анализ митохондрий (количество, средняя и суммарная их площадь).

Результаты и обсуждение. Применение низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ на фоне развития МС вызывало усиление ряда адаптационных сдвигов: в крови повышался уровень инсулина, в печени возрастало содержание общего белка, уменьшалась выраженность жировой дистрофии. Ультраструктурная реорганизация гепатоцитов проявлялась в активации аппарата белкового синтеза (явления гиперплазии гранулярной эндоплазматической сети, а также рибосом и полисом). При этом происходило уменьшение суммарной площади митохондрий, хотя биоэнергетический их потенциал возрастал за счет конденсации матрикса. Выявленные адаптационные сдвиги были обусловлены антиоксидантным и мембраностабилизирующим действием ЭМИ СВЧ на общие нейроэндокринные и местные механизмы.

Заключение. Низкоинтенсивное ЭМИ СВЧ может являться перспективным фактором в разработке новых методов лечения и профилактики МС. С целью оптимизации адаптационно-защитных и компенсаторных процессов, а также с учетом уменьшения численности митохондрий целесообразно использовать ЭМИ СВЧ в более адекватных режимах.

Ключевые слова: *низкоинтенсивное электромагнитное излучение, метаболический синдром, метаболические и ультраструктурные сдвиги, адаптация, печень, кровь, крысы, митохондрии.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:
Королев Ю.Н. — https://orcid.org/0000-0001-5530-1538; eLibrary SPIN: 8071-8284
Брагина Е.Е. — https://orcid.org/0000-0002-5530-8422-4962; eLibrary SPIN: 7469-0750
Никулина Л.А. — https://orcid.org/0000-0003-2200-868x; eLibrary SPIN: 4988-7892
Михайлик Л.В. — https://orcid.org/0000-0002-9717-4749
Автор, ответственный за переписку: Королев Ю.Н. — e-mail: korolev.yur@yandex.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:
Королев Ю.Н., Брагина Е.Е., Никулина Л.А., Михайлик Л.В. Особенности действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения на раннем этапе развития экспериментального метаболического синдрома, индуцированного диетой с высоким содержанием углеводов и жиров. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2021;98(1):47—52. https://doi.org/10.17116/kurort20219801147

Action features of the of low-intensity electromagnetic radiation at an early stage of the experimental metabolic syndrome development induced by a diet high in carbohydrates and fats

© YU.N. KOROLEV[1], E.E. BRAGINA[2, 3], L.A. NIKULINA[1], L.V. MIKHAILIK[1]

[1]National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia;
[2]Scientific Research Institute of Physical and Chemical Biology named after A.N. Belozersky; Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia;
[3]Medical Genetic Research Center named after acad. N.P. Bochkov, Moscow, Russia

Abstract
Metabolic syndrome (MS) is a complex of interrelated metabolic disorders leading to the development of abdominal obesity, hyperglycemia, insulin resistance, and dyslipidemia. To develop new methods for the prevention and treatment of MS, it seems appropriate to simulate this disease using a high-calorie diet that induces many of its symptoms. As a therapeutic and prophylactic agent, it is promising to use low-intensity electromagnetic radiation (EMR) of ultra-high frequency (UHF), which can have a stimulating effect on metabolic and regenerative processes and strengthen the mechanisms of their regulation.
Purpose of the study. To reveal the features of the effect of low-intensity microwave EMR/UHF on the development of adaptive metabolic and ultrastructural changes in the liver and blood of rats at an early stage of MS development.
Material and methods. The work was carried out on 40 nonlinear male rats weighing 180—220 g. In the experimental group, the rats were kept on a high-calorie diet for 2 months; in the control group, only the model was reproduced without the action of EMR/UHF; in the intact group, the animals were not exposed to any influences. The course of EMR/UHF (10 procedures) was carried out daily for 2 minutes on the lumbar region in the adrenal gland projection area using the Aquaton-2 device (power flux density less than 1 μW / cm2, frequency about 1000 MHz). The objects of the study were the liver and blood. Biochemical methods were used (RNA, DNA, total protein content, liver antioxidant activity, insulin and glucose levels in the blood), transmission electron microscopy, morphometric analysis of mitochondria (number, average and total area).
Results and discussion. The use of low-intensity EMR/UHF at the background of the MS development caused an increase in a number of adaptive changes: the level of insulin in the blood increased; the content of total protein in the liver increased, and the severity of fatty degeneration decreased. The ultrastructural reorganization of hepatocytes was manifested in the activation of the protein synthesis apparatus (the phenomenon of hyperplasia of the granular endoplasmic reticulum, as well as ribosomes and polysomes). At the same time, the total area of mitochondria decreased, although their bioenergetic potential increased due to the condensation of the matrix. The revealed adaptive shifts were due to the antioxidant and membrane-stabilizing effects of EMR/UHF on general neuroendocrine and local mechanisms.
Conclusion. Low-intensity EMR/UHF microwave can be a promising factor in the development of new methods of treatment and prevention of MS. In order to optimize the adaptive-protective and compensatory processes, as well as taking into account the decrease in the number of mitochondria, it is advisable to use EMR/UHF in more adequate modes.

Keywords: *low-intensity electromagnetic radiation, metabolic syndrome, metabolic and ultrastructural changes, adaptation, liver, blood, rats, mitochondria.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Korolev Yu.N. — https://orcid.org/0000-0001-5530-1538; eLibrary SPIN: 8071-8284
Bragina E.E. — https://orcid.org/0000-0002-5530-8422-4962; eLibrary SPIN: 7469-0750
Nikulina L.A. — https://orcid.org/0000-0003-2200-868X; eLibrary SPIN: 4988-7892
Mikhailik L.V. — https://orcid.org/0000-0002-9717-4749
Corresponding author: Korolev Yu.N. — e-mail: korolev.yur @yandex.ru

TO CITE THIS ARTICLE:
Korolev YuN, Bragina EE, Nikulina LA, Mikhailik LV. Action features of the of low-intensity electromagnetic radiation at an early stage of the experimental metabolic syndrome development induced by a diet high in carbohydrates and fats. *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy.* 2021;98(1):47—52. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/kurort20219801147

Введение

Метаболический синдром представляет собой комплекс взаимосвязанных метаболических нарушений, приводящих к развитию абдоминального ожирения, гипергликемии, инсулинорезистентности, дислипидемии [1]. Для выявления и уточнения некоторых патогенетических механизмов метаболического синдрома, а также для разработки новых методов профилактики и лечения представляется важным провести моделирование метаболического синдрома с применением высококалорийной диеты. Наиболее адекватной для этих целей является комбинированная модель с высоким содержанием углеводов и жиров, которая способна более точно воспроизвести основные признаки и механизмы развития этого заболевания [2—4]. При этом представляет интерес развитие более ранних изменений в формировании метаболического синдрома, которые еще мало изучены, особенно

с позиций развития защитно-адаптационных реакций. В качестве лечебно-профилактического средства перспективно использовать низкоинтенсивное электромагнитное излучение (ЭМИ) сверхвысокой частоты (СВЧ), способное оказывать стимулирующее влияние на защитно-адаптационные механизмы организма за счет развития антиоксидантного и мембраностабилизирующего эффектов [5, 6]. С учетом того, что развитие метаболического синдрома сопровождается изменениями активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, участвующей, в частности, в регуляции углеводного и жирового обменов [7], воздействие низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ целесообразно осуществлять на поясничную область в зоне проекции надпочечников. Предполагается, что этот фактор сможет оказать адаптогенное влияние на печень — центральный орган метаболизма с многочисленными и жизненно важными функциями.

Цель исследования — выявить особенности действия низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ на развитие адаптационных метаболических и ультраструктурных сдвигов в печени и крови крыс на раннем этапе развития метаболического синдрома.

Материал и методы

Работа выполнена на 40 нелинейных крысах-самцах массой 180—220 г. Все крысы были разделены в случайном порядке на 3 группы: в 1-й группе (опытная) крысы в течение 2 мес содержались на высококалорийной диете, которая состояла из насыщенных жиров и углеводов [8] (добавление 20% маргарина к стандартному корму и 20% раствора фруктозы в качестве питья), действие ЭМИ СВЧ начинали проводить на фоне развития метаболического синдрома на 47-е сутки от начала воспроизведения модели и заканчивали на 60-е сутки — в день ее окончания; во 2-й группе (контрольная) крысы также содержались на высококалорийной диете, но вместо действия ЭМИ СВЧ получали ложные процедуры без включения аппарата; в 3-й группе (интактная) животные получали стандартный корм и никаким воздействиям не подвергались.

Исследования проводили в соответствии с правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных (приложение к приказу Минздрава СССР от 12.08.97 №755 и требованиям Европейской конвенции по защите экспериментальных животных (Страсбург, 1986). Все животные содержались в стандартных условиях вивария при свободном доступе к воде и пище. Воздействие ЭМИ СВЧ (курс из 10 процедур) проводили ежедневно на поясничную область в зоне проекции надпочечников с помощью аппарата Акватон-2 (плотность потока мощности менее 1 мкВт/см^2, частота около 1000 МГц) на фоне применяемой высококалорийной диеты. Облучение проводили с расстояния 2—3 см от поверхности кожи. Животных декапитировали путем дислокации шейного отдела позвоночника на следующий день после окончания курса процедур.

Объектами исследования являлись печень и кровь. Для исследования антиоксидантной активности использовали модельную систему в виде суспензии липопротеидов желтка куриного яйца [9]. Содержание белка определяли биуретовым методом [10], РНК и ДНК — двухволновым спектрофотометрическим методом в модификации [11]. В сыворотке крови определяли уровень инсулина и глюкозы с помощью биохимического анализатора KONELAB PRIME 30 i («Термофишер», Япония) и наборов Вектор-Бест (Россия). Для светооптических исследований кусочки печени фиксировали в нейтральном формалине, заливали в парафин, срезы окрашивали гематоксилином Эрлиха с докраской эозином. В печени подсчитывали число двуядерных гепатоцитов (100 клеток у каждого животного). Для электронно-микроскопических исследований образцы печени фиксировали в 2,5% растворе глютаральдегида, постфиксировали в 1% растворе OsO_4. После обезвоживания образцы заключали в смесь эпона и аралдита. Исследование образцов проводили с помощью электронного микроскопа Libra 120 (Германия) с программой Carl Zeiss STM Nano Technology system Division, которая включает как режим трансмиссионных исследований, так и математическую обработку внутриклеточных структур. Осуществляли морфометрический анализ митохондрий (число, средняя и суммарная площади на стандартную площадь клетки). Продолжительность эксперимента составляла 60 сут.

Для статистической обработки данных использовали параметрический *t*-критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение

При забое животных масса тела крыс в контрольной группе возрастала по сравнению с исходным уровнем на 85,8%. Применение низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ не оказало влияния на снижение массы тела по сравнению с контролем (увеличение на 86,0%). В брюшной полости у ряда животных контрольной и опытной групп наблюдалось накопление жировой ткани.

В контрольной группе животных при светооптическом исследовании печени обнаруживались отчетливая тенденция к снижению содержания ДНК, белка и усиление антиоксидантной активности по сравнению с интактной группой. Микроскопически часто обнаруживались зоны с выраженными дистрофическими изменениями гепатоцитов в виде просветлений их цитоплазмы. На ультраструктурном уровне во многих клетках, особенно в перипортальных отделах долек, выявлялось высокое содержание гликогена в форме розеток или в виде отдельных частиц

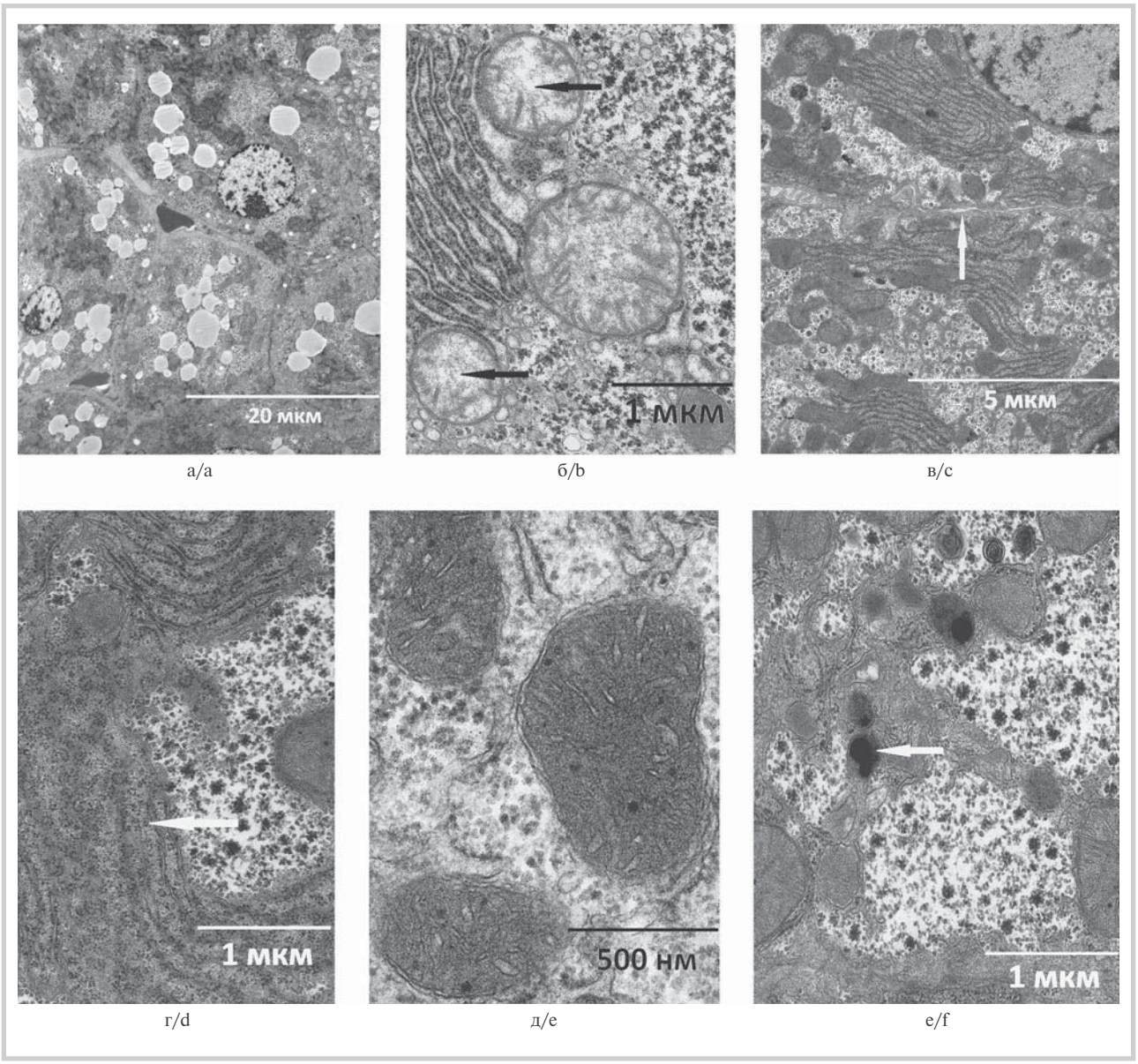

Рис. 1. **Ультраструктурные изменения гепатоцитов при действии низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ в условиях развития метаболического синдрома.**

а — контрольная группа. Жировая дистрофия гепатоцитов; б — контрольная группа. Деструкция крист и просветление матрикса митохондрий (стрелки), неравномерное расширение цистерн гранулярной эндоплазматической сети. Гликоген в виде розеток и гранул; в — опытная группа. Фрагменты двух клеток. Локальные скопления удлиненных цистерн гранулярной эндоплазматической сети. Граница между клетками (стрелка); г — опытная группа. Гиперплазия рибосом и полисом. Формирование гранулярной эндоплазматической сети (стрелка); д — опытная группа. Митохондрии с конденсированным матриксом и расширенными кристами; е — опытная группа. Лизосомы и фаголизосомы (стрелка).

Fig. 1. **Ultrastructural changes in hepatocytes under the action of low-intensity EMR UHF in the conditions of metabolic syndrome development.**

a — control group. Lipid degeneration of hepatocytes; b — control group. Destruction of cristae and lightening of the mitochondrial matrix (arrows), uneven expansion of the cisterns of the granular endoplasmic reticulum. Glycogen in rosettes and granules; c — experimental group. Fragments of two cells. Local accumulations of elongated cisterns of the granular endoplasmic reticulum. Border between cells (arrow); d — experimental group. Hyperplasia of ribosomes and polisomes. Formation of the granular endoplasmic reticulum (arrow); e — experimental group. Condensed-matrix mitochondria with dilated cristae; f — experimental group. Lysosomes and phagolysosomes (arrow).

округлой или удлиненной формы. Характерным также являлось наличие выраженных признаков жировой дистрофии, что проявлялось в увеличении содержания липидных включений от единичных до 10—20 и более в одной клетке **(рис. 1, а)**. Гранулярная эндоплазматическая сеть чаще располагалась вблизи митохондрий в виде небольших комплексов, местами выявлялось укорочение, дегрануляция и неравномерное расширение ее цистерн. В части митохондрий наблюдались изменение формы, увеличение размеров, деструкция крист и просветление матрикса **(см. рис. 1, б)**. При этом численность митохондрий снижалась (на 30%; $p<0,01$), а их средняя площадь, наоборот, возрастала (на 46,9%; $p<0,01$), в связи с чем суммарная площадь митохондрий практически не изменялась. В отдельных гепатоцитах обнаружи-

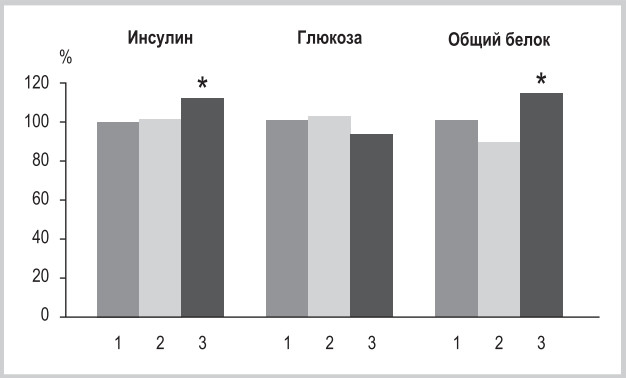

Рис. 2. **Изменение метаболических процессов в плазме крови и печени при действии низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ в условиях развития метаболического синдрома.**
1 — интактная группа; 2 — контрольная группа (метаболический синдром); 3 — опытная группа (метаболический синдром + ЭМИ СВЧ). * — $p<0,01$ по сравнению с контрольной группой.

Fig. 2. **Changes in metabolic processes in blood plasma and liver under the action of low-intensity microwave EMR in conditions of metabolic syndrome development.**
1 — intact group; 2 — control group (metabolic syndrome); 3 — experimental group (metabolic syndrome + EMR). * — $p<0.01$ in comparison with control group.

валось повышенное содержание лизосом и фагосом. Все эти данные свидетельствовали о существенных нарушениях метаболических и регенеративных процессов в печени при моделировании метаболического синдрома.

В опытной группе животных применение ЭМИ СВЧ на фоне высококалорийной диеты вызывало усиление ряда адаптационных сдвигов по сравнению с контролем. В крови это проявлялось в достоверном повышении уровня инсулина на 11,2% ($p<0,01$), что может свидетельствовать о повышении секреции этого гормона и усилении инсулиновой регуляции метаболических процессов. Уровень глюкозы в крови при этом снижался на 9,15% **(рис. 2)**. В печени регистрировалось достоверное увеличение содержания общего белка (на 22,4%; $p<0,05$) и ДНК (на 26,8%; $p<0,02$), антиоксидантная активность повышалась в виде тенденции. В разных зонах печени встречались единичные гипертрофированные гепатоциты с крупными ядрами, число двуядерных клеток повышалось на 11,0%. Жировая дистрофия сохранялась, однако она была менее выраженной, при этом местами отмечались полиморфизм и истощение липидных капель.

Ультраструктура гепатоцитов имела ряд характерных особенностей. Обращали на себя внимание смещение органелл на периферию клетки или ближе к ядру и заполнение освободившихся пространств гранулами гликогена, что особенно было выражено в перипортальных гепатоцитах. При этом во многих зонах цитоплазмы гликоген подвергался лизису. Другая важная особенность проявлялась в увеличении содержания белоксинтезирующих органелл, что свидетельствовало об усилении их регенерации и гиперплазии. Наибольшего развития достигала гранулярная эндоплазматическая сеть, которая имела тесные контакты с митохондриями, образуя с ними морфофункциональные комплексы. Эти образования в основном состояли из увеличенного числа удлиненных параллельно расположенных цистерн гранулярной эндоплазматической сети с ассоциированными и свободными рибосомами и полисомами **(см. рис. 1, в, г)**. В контрольной группе подобные крупные комплексы не встречались. Характерным сдвигам подвергались митохондрии: их численность снижалась на 17,3% ($p<0,01$), а суммарная площадь — на 21,4% ($p<0,01$), при этом, что важно отметить, возрастал их биоэнергетический потенциал за счет конденсации матрикса **(см. рис. 1, д)**. Это означает, что выявленные количественные нарушения в процессе адаптации митохондрий к действию фактора сопровождались усилением качественных сдвигов, что, видимо, в той или иной степени обеспечивало необходимый уровень биоэнергетических реакций. Выявленные изменения, связанные с гиперплазией белоксинтезирующих органелл в комплексе с митохондриями, следует рассматривать как адаптационно-компенсаторную реакцию, направленную на повышение устойчивости гепатоцитов. При этом следует подчеркнуть, что деструктивные изменения со стороны ультраструктур, в том числе митохондрий, не имели выраженного развития, за исключением отдельных клеток в перипортальных отделах долек, которые обнаруживались также и в контрольной группе. В части гепатоцитов отмечалась умеренная активация лизосомальной системы в виде скопления вторичных лизосом и фагосом в основном в зоне билиарного полюса клеток **(см. рис. 1, е)**. Характерно, что плазматические мембраны гепатоцитов в этих зонах образовывали глубокие инвагинации, которые увеличивали поверхность клеток и их контакты между собой. Эти сдвиги, по-видимому, являлись структурными проявлениями адаптации и способствовали активации (улучшению) метаболических реакций в условиях развития метаболического синдрома.

Таким образом, применение низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ на фоне постоянно действующего фактора (высококалорийная диета) вызывало сдвиги, которые в большинстве своем имели анаболическую (адаптационную) направленность. Одной из важных особенностей действия ЭМИ СВЧ являлось усиление белоксинтезирующих процессов на тканевом и внутриклеточном уровнях, что ограничивало развитие нарушений, расширяло адаптационные возможности организма и повышало его резистентность. Выявленные адаптационно-защитные сдвиги в основном были обусловлены антиоксидантным и мембраностабилизирующим влиянием ЭМИ СВЧ на общие нейрогормональные и местные механизмы регуляции.

Заключение

На основании полученных данных можно сделать вывод, что низкоинтенсивное ЭМИ СВЧ является перспективным фактором в свете разработок новых методов профилактики и лечения метаболического синдрома. Вместе с тем с целью оптимизации адаптационно-защитных и компенсаторных процессов, а также с учетом ослабления биоэнергетических резервов в гепатоцитах целесообразно использовать ЭМИ СВЧ в более адекватном режиме, в том числе в сочетании с другими немедикаментозными средствами (натуральные питьевые минеральные воды и др.).

Участие авторов: концепция и дизайн исследования — Ю.Н. Королев; сбор и обработка материала — Л.В. Михайлик, Л.А. Никулина, Е.Е. Брагина; статистическая обработка данных — Л.А. Никулина, Л.В. Михайлик; написание текста — Ю.Н. Королев; редактирование — Ю.Н. Королев.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. *Метаболический синдром*. Под ред. чл.-корр. РАМН Ройтберга Г.Е. М.: МЕДпресс-информ; 2007.
Metabolic syndrome. Ed. Corr. RAMS. Roytberg G.E. M.: MEDpess-inform; 2007. (In Russ.).
2. Corbachisky I, Akpinar H, Assimor DG. Metabolic syndrome and urological diseases. *Rev Urol*. 2010;12(4):157-180.
3. Wada T, Kenmochi H, Myashita Y, Sasaki M, Ojima M, Sasahara M, Koya D, Tsuneki H, Sasaoka T. Spironolactone improves glucose and lipid metabolism by ameliorating hepatic steatosis and inflammation and suppressing enhanced gluconeogenesis induced by high-fat and high-fructose diet. Endocrinology. 2010;151(5):2040-2049.
https://doi.org/10.1210/en.2009-0869
4. Panchal SK, Poudyal H, Lyer A, Nazer R, Alam A, Diwan V, Kauter K, Sernia C, Campbell F, Ward L, Gobe G, Fenning A, Brown L. High-carbohidrate, high-fat diet-induced menabolic syndrome and cardiovascular remodeling in rats. J Cardiovasc Pharmocol. 2011;47(5):611-624.
https://doi.org/10.1097/FJC.0b013e3181feb90a
5. Королев Ю.Н., Михайлик Л.В., Никулина Л.А., Гениатулина М.С. Особенности развития метаболических и регенеративных процессов при действии низкоинтенсивных электромагнитных излучений в условиях радиационного облучения (экспериментальное исследование). *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2017;94(4):54-58.
Korolev YuN, Mikhailik LV, Nikulina LA, Geniatulina MS. Features of metabolic and regenerative processes under the action of low-intensity electromagnetic radiation under radiation exposure (experimental study). *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy.* 2017;94(4):54-58. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/kurort201794454-58
6. Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Михайлик Л.В. Метаболические и ультраструктурные механизмы адаптации при первично-профилактическом действии низкоинтенсивного электромагнитного излучения в условиях нормы и радиации. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культур*ы. 2019;96(5):37-43.
Korolev YuN, Nikulina LA, Mikhailik LV. Metabolic and ultrastructural mechanisms of adaptation under the primary-preventive action of low-intensity electromagnetic radiation under normal and radiation conditions. *Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy.* 2019;96(5):37-43. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/kurort20199605144
7. Душкин М.И., Храпова М.В., Ковшик Г.Г., Часовских М.И., Селятицкая В.Г., Пальчикова Н.А. Резистентность крыс гипертензивной линии НИСАГ к развитию метаболического синдрома индуцированного жировой диетой. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2013;3:593-597.
Dushkin MI, Khrapova MV, Kovshik GG, Chasovskih MI, Selyatickaya VG, Pal'chikova NA. Resistance of ISIAH rats to the development of the metabolic syndrome induced by a fat diet. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2013;3:593-597. (In Russ.).
8. Кирпатовский В.И., Мудрая И.С., Греков Е.А., Кабанова И.В., Голованов С.А., Дрожжева В.В., Надточий О.Н. Влияние экспериментально вызванного метаболического синдрома на функциональное состояние мочевого пузыря крыс. *Экспериментальная и клиническая урология*. 2013;1:8-13.
Kirpatovsky VI, Wise IS, Grekov EA, Kabanova IV, Golovanov SA, Drozhzheva VV, Nadtochij ON. Effect of experimentally induced metabolic syndrome on the functional state of the rat bladder. *Experimental and Clinical Urology*. 2013;1:8-13. (In Russ.).
9. Клебанов Г.И., Бабенков И.В., Теселкин Ю.О. Оценка антиокислительной активности плазмы крови с применением желточных липопротеидов. *Лабораторное дело*. 1977;5:59-62.
Klebanov GI, Babenkov IV, Teselkin YuO. Evaluation of blood plasma antioxidant activity with the use of yolk lipoproteins. *Laboratory business*. 1977;5:59-62. (In Russ.).
10. Досон Р., Эллиотт Д., Эллиотт У., Джонс К. *Справочник биохимика*. М.: Мир; 1991.
Dawson R, Elliott D, Elliott U, Dzhons K. *Handbook of biochemist.* M.: World; 1991. (In Russ.).
11. Трудолюбова М.Г. *Количественное определение РНК и ДНК в субклеточных фракциях животных*. Современные методы в биохимии. Под ред. Орехович В.Н. М.: Медицина; 1997.
Trudolubov MG. *Quantitative determination of RNA and DNA in subcellular fractions of animals.* Modern methods in biochemistry. Under the ed. Orekhovich V.N. M.: Medicine; 1997. (In Russ.).

Получена 22.06.2020
Received 22.06.2020
Принята в печать 04.10.2020
Accepted 04.10.2020