

ВЛИЯНИЕ РИТМИЧЕСКИХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ХОЛОДОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ (-120 °С) НА ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАСТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НЕЙРОНОВ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА МОЛОДЫХ И СТАРЫХ КРЫС

Институт проблем криобиологии и криомедицины НАН Украины (г. Харьков)

ГУ Институт общей и неотложной хирургии АМН Украины (г. Харьков)

biovladimir91@mail.ru

Данная работа выполнена в рамках научной темы ИПК и К НАН Украины на 2016-2020 гг. шифр 2.2.6.103 «Формування адапційних реакцій організму експериментальних тварин в умовах дії штучного охолодження та криоконсервованих ядровмісних клітин кордової крові при старінні і патологічних станах».

Вступление. Ритмические экстремальные холодные воздействия (РЭХВ) (-120°C) представляют собой высокоэффективную физиотерапевтическую процедуру позволяющую оказывать на организм неспецифическое стимулирующее действие [1]. В отдельных случаях ее использование дает возможность корректировать состояние важнейших функциональных систем организма. Холодовые воздействия сопровождаются активацией адаптационно-компенсаторных реакций, направленных на повышение интенсивности метаболических внутриклеточных восстановительных процессов [2]. Положительное влияние ритмического экстремального охлаждения на организм обусловлено увеличением функциональной подвижности регуляторных процессов в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах, стимуляцией прямых и обратных связей между ними, активацией симпатопарасимпатических переключений с дальнейшей оптимизацией центрального и периферического действия первичных (КА, АХ), вторичных (цАМФ, цГМФ) и ретроградных (NO, СО) мессенджеров, восстановлением фрактальных свойств биоритмов мозга и организма [3,4,7].

В то же время многие аспекты использования РЭХВ в медицинской практике требуют дальнейшего пристального изучения.

Известно, что РЭХВ (-120°C) действуют на центры терморегуляции, что приводит к изменению функционального статуса организма. Степень выраженности этих изменений зависит от глубины и длительности воздействия низкими температурами. Они в значительной степени обусловлены ответной реакцией центров терморегуляции, расположенных в гипоталамусе [5]. При РЭХВ кора головного мозга является главным интегративным звеном центральной нервной системы. До настоящего времени особенности влияния РЭХВ на морфофункциональное

состояние коры головного мозга и подкорковые образования изучены недостаточно. Данные исследования, по нашему мнению, представляют большой практический интерес, поскольку дадут возможность обосновать целесообразность применения этой методики экстремального охлаждения в медицинской практике.

Цель исследования – изучить влияние ритмических экстремальных холодных воздействий (-120°C) на особенности субмикроскопической организации нейронов коры головного мозга молодых и старых крыс.

Объект и методы исследования. Эксперименты выполнены на 6 и 24 месячных нелинейных крысах самцах. Исследования на животных проведены в соответствии с Общими принципами работы на животных, одобренными 1-м Национальным конгрессом по биоэтике (Киев, Украина, 2001) и согласованными с положением Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей (Страсбург, Франция, 1985).

Каждая возрастная группа животных была разделена на две подгруппы (по 7 крыс в каждой): первая подгруппа – 6 и 24 месячные интактные крысы; вторая подгруппа – 6 и 24 месячные крысы после 9 сеансов РЭХВ.

РЭХВ проводились в криокамере для экстремального охлаждения экспериментальных животных [6]. Крыс охлаждали по следующей программе. В условиях криокамеры при температуре (-120°C) животные находились в течение 2 минут. По истечении 2 мин крыс вынимали из камеры и содержали при комнатной температуре (+24°C) 5 мин, после процедуру охлаждения повторяли, согревали на протяжении 5 мин., затем по аналогичной программе проводили цикл охлаждения. Таким образом, в течение короткого периода времени животные получали три процедуры РЭХВ. Через день РЭХВ повторяли, с последующим повторением процедуры охлаждения еще через день. Всего животные охлаждались 9 раз по 2 мин.

На следующие сутки после последнего сеанса РЭХВ крыс выводили из эксперимента путем декарпитации и производили забор кусочков ткани коры

головного мозга, которые подвергали предварительной фиксации в 2.5%-ном забуференном растворе глутарового альдегида в течении 5-6 часов при температуре 4°C. Окончательную фиксацию проводили в 1%-ном забуференном растворе тетрагидрокси осмия в течении 2-3 часов при температуре 4°C. Затем ткань обезживали в спиртах возрастающей концентрации и ацетоне и заключали в смесь эпоксидных смол (эпон-аралдит) по общепринятым методикам. Полимеризацию блоков осуществляли в термостате при температуре 60°C в течении двух суток.

Из полученных блоков, на ультрамикротоме УМТП-3, изготавливали ультратонкие срезы, которые после контрастирования цитратом свинца, изучали под электронным микроскопом ЭМВ-100БР.

Результаты исследований и их обсуждение. Электронно-микроскопическое исследование нейронов коры головного мозга молодых контрольных крыс подтвердило наличие в них высокой структурно-функциональной активности. В нейронах располагалось светлое ядро, заполненное деконденсированным хроматином, ядерная мембрана была четко контурирована и содержала мелкие очаги деформации. В цитоплазме, присутствовали различной формы и размеров митохондрии, которые имели множество крист и мелко гранулярный матрикс. В препаратах встречались митохондрии находящиеся в стадии деления, имеющие «гантелевидную» форму и перетяжки. На мембранах гранулярного эндоплазматического ретикула располагались многочисленные рибосомы. В отдельных нейронах наблюдалась гиперплазия мембран гранулярной эндоплазматической сети. Цитоплазма содержала множество свободных рибосом и полисом. Пластинчатый цитоплазматический комплекс Гольджи был представлен параллельно ориентированными, собранными в стопки, гладкими мембранами, окруженными множеством мелких везикул, заполненных веществом различной электронной плотности.

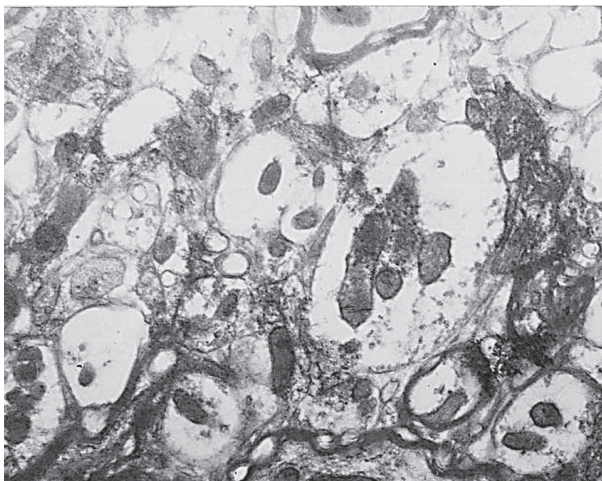


Рис. 1. Ультраструктура пирамидных нейронов коры головного мозга молодых интактных крыс. Скопления митохондрий в аксоплазме. x44 000. Контрастировано цитратом свинца.

Цитоплазматическая мембрана имела типичную для этих клеток структуру и электронную плотность. В аксоплазме концентрировались митохондрии различной формы и размеров (**рис. 1**). В саркоплазме выявлялись пучки микротрубочек.

В ультраструктурной организации пирамидных нейронов коры головного мозга молодых крыс после 9 сеансов РЭХВ, обнаруживались гиперпластические перестройки органелл и внутриклеточных мембранных систем. Степень их выраженности свидетельствовала об увеличении синтетических, метаболических и репаративных внутриклеточных резервов.

Ядра пирамидных нейронов имели округлую форму. Небольшое количество глыбок конденсированного хроматина концентрировалось преимущественно на внутренней поверхности мембраны ядра. В некоторых нейронах они имели вид плотного кольца состоящего из скопления осмиофильного гранулярного вещества высокой электронной плотности. В центральной части матрикса ядра образовывались области, заполненные прозрачной субстанцией и диффузно рассеянными гранулами деконденсированного хроматина и рибосом (**рис. 2**).

Ядерная мембрана обладала средней электронной плотностью, была умеренно утолщена и мелкоочагово разрыхлена. Встречались нейроны, ядра которых имели расширенные перинуклеарные пространства.

В препаратах наблюдалось увеличение количества различных по размеру митохондрий, заполненных мелко гранулярным матриксом средней электронной плотности. Часть из них содержала множество крист. Обнаруживались митохондрии с электронно-прозрачным матриксом и единичными кристами.

Большинство митохондрий, имели округлую и цилиндрическую формы. Для матрикса была характерна мелкозернистая структура и средняя электронная плотность (**рис. 3**). Иногда обнаружи-

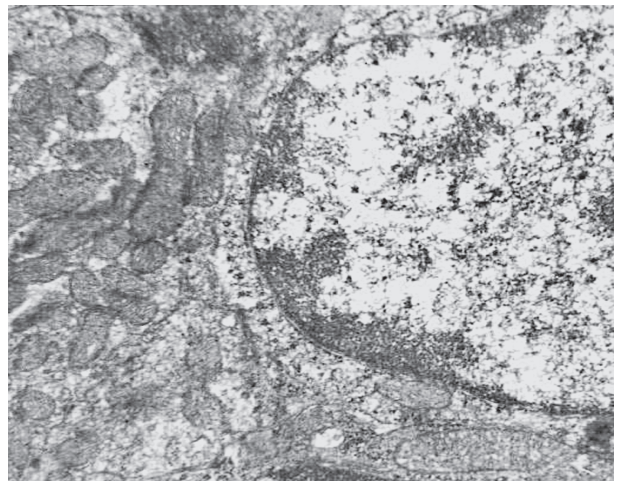


Рис. 2. Ультраструктура пирамидных нейронов коры головного мозга молодых крыс после 9 сеансов РЭХВ. Диффузно рассеянные гранулы деконденсированного хроматина и рибосомы в центральной области матрикса. x 38 000. Контрастировано цитратом свинца.

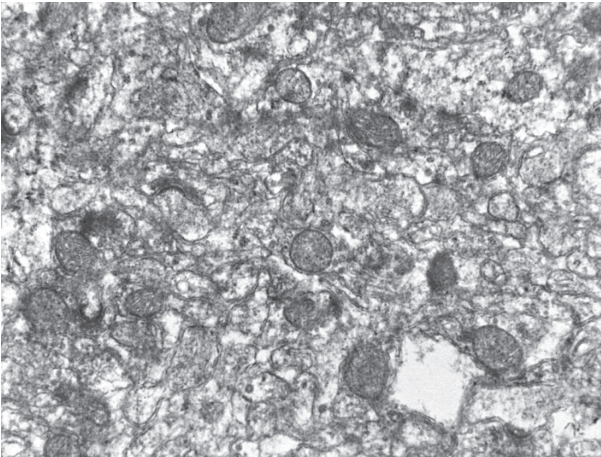


Рис. 3. Ультраструктура пирамидных нейронов коры головного мозга молодых крыс после 9 сеансов РЭХВ. Мелкозернистый матрикс митохондрий. x 37 000. Контрастировано цитратом свинца.

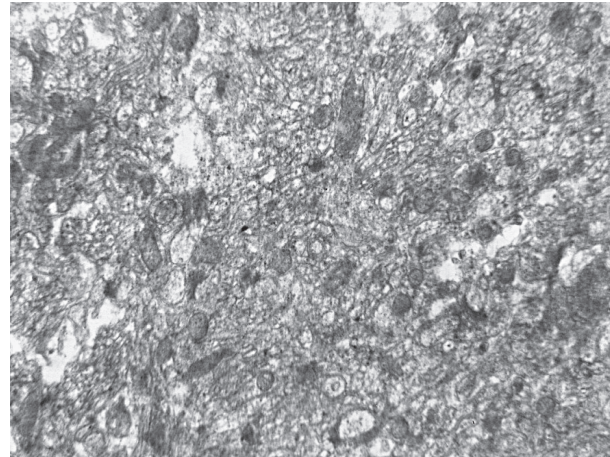


Рис. 4. Ультраструктура пирамидных нейронов коры головного мозга молодых крыс после 9 сеансов РЭХВ. Умеренное расширение цистерн гранулярной эндоцеллюлярной сети. x 36 000. Контрастировано цитратом свинца.

вались митохондрии умеренно набухшие и находящиеся в стадии деления, имеющие «гантелевидную» форму и перетяжки.

В некоторых нейронах коры головного мозга цитоплазма в перинуклеарной области содержала небольшое количество цитоплазматических органелл и внутриклеточных включений. В этой области цитоплазмы располагалась аморфная субстанция, состоящая из осмиофильного и тонко филаментозного вещества, различной электронной плотности.

Цистерны гранулярного эндоплазматического ретикулума несколько расширились и заполнялись мелко гранулярным веществом средней электронной плотности. На его мембранах обнаруживалось большое количество рибосом (**рис. 4**).

Мембраны гранулярного эндоплазматического ретикулума, формирующие тельца Ниссля были хорошо развиты и приобретали четко контурированную структуру.

В цитоплазме пирамидных нейронов коры головного мозга молодых крыс после РЭХВ присутствовали митохондрии с большим количеством крист, а также наблюдалось существенное увеличение свободных рибосом и полисом.

Наружные мембраны митохондрий имели большое количество мелких деформаций и четко контурированную структуру, присущую элементарной мембране. Изредка в цитоплазме обнаруживались мелкие вторичные лизосомы, в структуре которых выявлялись дегенеративно измененные органеллы, фрагменты мембранных структур и аморфная субстанция различной электронной плотности.

Пластинчатый цитоплазматический комплекс Гольджи умеренно гипертрофировался. Его параллельно ориентированные, собранные в стопки, гладкие мембраны были окружены большим количеством мелких и крупных, как электронно-прозрачных везикул, так и заполненных мелко гранулярной субстанцией средней электронной плотности.

Цитоплазматическая мембрана тела нейронов подвергалась мелким деформациям. Она умеренно утолщалась и обладала повышенной степенью осмиофилии. Очаги деструкций цитоплазматической мембраны не выявлялись.

На поперечных срезах аксонов (**рис. 5**), обнаруживались митохондрии с кристами, ориентированные вдоль короткой оси этих органелл. Матрикс митохондрий в большинстве случаев мелкозернистый и осмиофильный.

Синаптические пузырьки, равномерно распределялись по аксоплазме. В большом количестве аксонов, аксоплазма имела электронно-прозрачный вид, в ней присутствовали единичные митохондрии, группы синаптических пузырьков и пучки микротрубочек ориентированных вдоль направления аксонов.

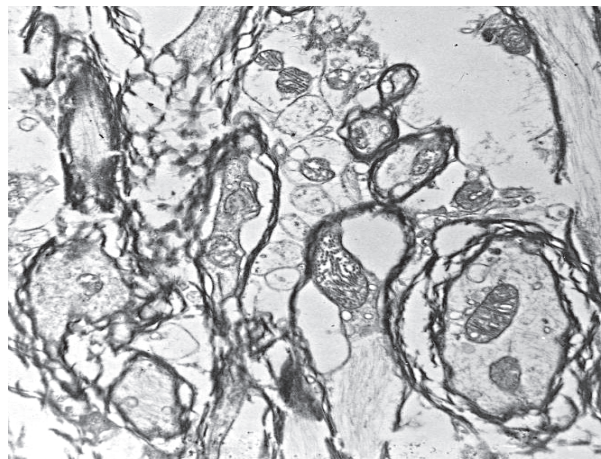


Рис. 5. Ультраструктура аксонов пирамидных нейронов коры головного мозга молодых крыс после 9 сеансов РЭХВ. Чётко контурированные наружные мембраны митохондрий и многочисленные кристы. x 68 000. Контрастировано цитратом свинца.

В группе старых интактных животных обнаруживались субмикроскопические изменения пирамидных нейронов коры головного мозга, характерные для развития дистрофического процесса, сопровождающегося снижением функциональной, метаболической и репаративной активности внутриклеточных процессов.

Ядра нейронов имели разрыхленную, гладкую, без деформаций, осмиофильную ядерную мембрану, которая иногда образовывала глубокие инвагинации. Глыбки конденсированного хроматина концентрировались, как по периферии матрикса ядра, так и были равномерно рассеяны по матриксу. Ядерная мембрана очагово разрушалась. Отдельные ядра содержали осмиофильные включения (рис. 6).

Цитоплазма пирамидных нейронов содержала небольшое количество митохондрий, форма и размеры которых варьировали в широких пределах. Преобладали митохондрии сферической формы. Наружные мембраны и кристы были не только раз-

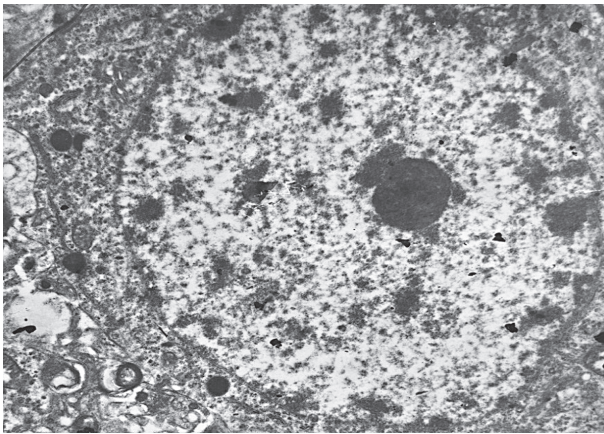


Рис. 6. Ультраструктура пирамидных нейронов коры головного мозга интактных старых крыс. Диффузно рассеянные глыбки конденсированного хроматина и осмиофильные включения в центральной области матрикса ядра. $\times 39\ 000$. Контрастировано цитратом свинца.

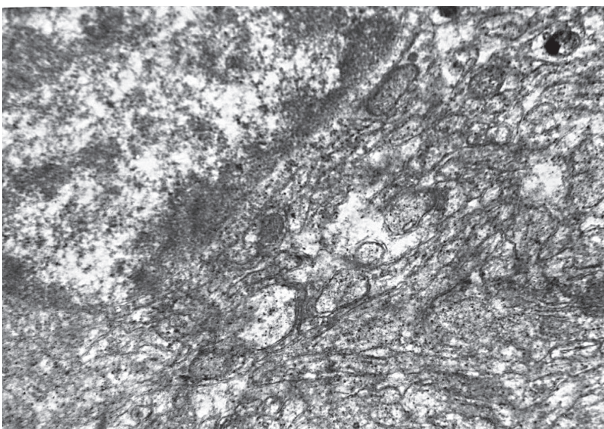


Рис. 7. Ультраструктура пирамидных нейронов коры головного мозга интактных старых крыс. Разрыхление наружных мембран и крист митохондрий, очаговый лизис мембран. $\times 37\ 000$. Контрастировано цитратом свинца.

рыхлены, но и очагово разрушены (рис. 7). Количество крист в митохондриях существенно уменьшалось, по сравнению с группой молодых контрольных животных.

Гиалоплазма нейронов имела низкую электронную плотность, в ней располагалось небольшое количество рибосом и полисом.

Гранулярный эндоплазматический ретикулум слабо развит, его цистерны сильно расширились, а на мембранах выявлялось небольшое число рибосом. Нередко встречались очаги разрыхления и деструкции мембран. Зачастую наблюдалась фрагментация мембран гранулярной эндоплазматической сети.

Пластинчатый цитоплазматический комплекс Гольджи был существенно редуцирован и представлен небольшим количеством хаотически ориентированных, гладких мембран, окружённых единичными крупными электронно-прозрачными вакуолями. Очень часто в цитоплазме обнаруживались включения липидов, липофусцина и вторичные лизосомы, содержащие конгломераты дегенеративно изменённых мембран (рис. 8).

После 9 сеансов РЭХВ у старых экспериментальных животных наблюдались умеренно выраженные перестройки ультраструктурной организации пирамидных нейронов коры головного мозга.

В цитоплазме отдельных нейронов обнаруживаются митохондрии гантелевидной формы с перетяжками, что свидетельствует о процессе их деления. Ядра имели обычную форму и размеры. Ядерная мембрана была умеренно разрыхлена без очагов деструкции. Перинуклеарные пространства не расширялись (рис. 9).

Несколько расширенными оставались цистерны гранулярной эндоплазматической сети. Значительно увеличивалось количество связанных с мембранами гранулярной эндоплазматической сети рибосом, а также число свободно лежащих в цитоплазме полисом и рибосом. Значительно уменьшалось

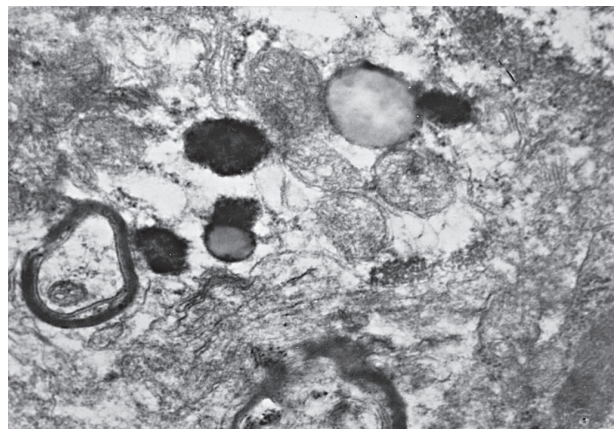


Рис. 8. Ультраструктура пирамидных нейронов коры головного мозга интактных старых крыс. Включения липидов и вторичные лизосомы в цитоплазме. $\times 42\ 000$. Контрастировано цитратом свинца.

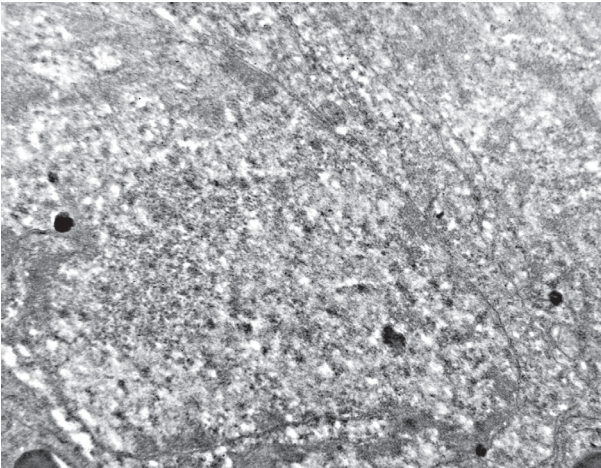


Рис. 9. Ультраструктура пирамидных нейронов коры головного мозга интактных старых крыс после 9 сеансов РЭХВ. Деконденсированный хроматин ядра. x 39 000. Контрастировано цитратом свинца.

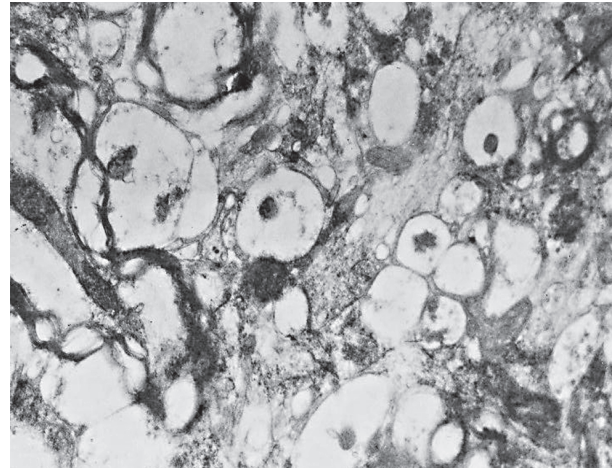


Рис. 10. Ультраструктура пирамидных нейронов коры головного мозга старых крыс, после 9 сеансов РЭХВ. Окаймлённые везикулы в цитоплазме. x 41 000. Контрастировано цитратом свинца.

количество очагов деструкции мембран гранулярного эндоплазматического ретикулума.

У подавляющего числа нейронов отсутствовали очаги лизиса мембран гранулярного эндоплазматического ретикулума. Часто обнаруживалась гиперплазия мембран гранулярной эндоплазматической сети.

Пластинчатый цитоплазматический комплекс Гольджи был умеренно гипертрофирован. Сохранялась дезорганизация его гладких мембран, окруженных мелкими электронно-прозрачными везикулами. В области его локализации увеличивалось количество первичных лизосом, а вторичные лизосомы практически отсутствовали. В цитоплазме уменьшалось число включений липидов и липофусцина, появлялись окаймлённые везикулы (рис. 10).

Выводы

1. Субмикроскопическая организация пирамидных нейронов коры головного мозга молодых интактных крыс свидетельствовала о их высокой структурно-функциональной активности, что подтверждалось просветлением матрикса ядра, в котором преимущественно содержались гранулы деконденсированного хроматина. В цитоплазме обнаруживался хорошо развитый гранулярный эндоплазматический ретикулум, с многочисленными, связанными с его мембранами рибосомами. Деструкции внутриклеточных мембранных структур и органелл клеток в этой группе животных практически отсутствовали.

2. Электронно-микроскопическое исследование пирамидных нейронов коры головного мозга молодых крыс после 9 сеансов РЭХВ продемонстрировало умеренно выраженную активацию биоэнергетики, за счет увеличения, как числа митохондрий, так и крист в них. Кроме того, повышение функционального состояния митохондрий подтверждалось наличием в препаратах делящихся форм.

3. В группе старых интактных животных при исследовании ультраструктурной архитектоники пирамидных нейронов коры головного мозга уста-

новлено, что в них развиваются внутриклеточные катаболические процессы. Органеллы имели признаки, дистрофических и деструктивных нарушений мембранных структур.

На наш взгляд ведущим фактором, приводящим к данным изменениям, является прогрессирование митохондриальной дисфункции, сопровождающейся очаговым лизисом наружных мембран, набуханием митохондрий с просветлением матрикса и уменьшением количества крист. Наблюдались нарушения структуры гранулярного эндоплазматического ретикулума. Появлялись очаги деструкции мембран, что является характерным признаком резкого снижения синтетической активности внутриклеточных процессов.

4. В субмикроскопической организации пирамидных нейронов коры головного мозга старых крыс после 9 сеансов РЭХВ сохраняются дистрофические и деструктивные изменения возрастного характера.

Наряду с этим, имело место увеличение функциональной активности нейронов, что структурно проявлялось в гиперплазии мембран гранулярного эндоплазматического ретикулума, появлении делящихся форм митохондрий и увеличении количества, как связанных с мембранами рибосом, так и свободно лежащих рибосом и полисом в цитоплазме.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что РЭХВ на организм молодых и старых животных стимулируют синтетические, биоэнергетические и метаболические функции коры головного мозга.

Перспективы дальнейших исследований

В дальнейших экспериментальных исследованиях планируется изучить влияние ритмических экстремальных холодовых воздействий (-120°C) на морфофункциональное состояние гипоталамуса и гиппокампа молодых и старых животных.

Литература

1. Клинико-физиологические аспекты применения криотерапии / [авт. текста А. Шиман, В. Кирьянова] // Вестник СПб Гос. Мед. Академии им. И. И. Мечникова. – 2001. – № 1. – С. 27.
2. Лечение холодом / [авт. текста А. Баранов] // СПб. – 2000. – 160 с.
3. Применение метода фрактального анализа для оценки структурно-функционального состояния печени крыс *in vivo* / А.А. Олефиренко, Д. Г. Луценко, И. В. Слета, В. С. Марченко // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2009. – Т. 147, № 2. – С. 237-240.
4. Теорія хаосу та злоякісні лімфоми / В. Е. Орел, С. О. Сівкович, Л. О. Зотіков [та ін.] // Журнал АМН України. – 2006. – Т. 12, № 2. – С. 209-228.
5. Обоснование оптимальных режимов краниоцеребральной гипотермии при проведении хирургических операций / Г. А. Бабийчук, А. В. Козлов, В. Л. Коцарь // Вісник проблем біології і медицини. – 2009. – Вип. 4.
6. Пат. 40168 Україна, МПК А61В 18/00. Кріокамера для експериментального охолодження лабораторних тварин / Бабійчук Г. О., Козлов О. В., Ломакін І. І., Бабійчук В. Г.; власник Інститут проблем кріобіології і кріомедицини НАН України. – u200812930; заявл. 06.11.2008; опубл. 25.03.2009. – Бюл. № 6.
7. Lapi D. Geometric characteristics of arterial network of rat pial microcirculation / D. Lapi, P. L. Marchiafava, A. Colantuoni // J. Vasc. Res. – 2008. – V. 45. – P. 69-77.

УДК 616.8-091.81:612.086.3:616-001.18

ВПЛИВ РИТМІЧНИХ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ХОЛОДОВИХ ВПЛИВІВ (-120°C) НА ОСОБЛИВОСТІ УЛЬТРАСТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ НЕЙРОНІВ КОРИ ГОЛОВНОГО МОЗКУ МОЛОДИХ І СТАРИХ ЩУРІВ

Кулик В. В., Бабійчук В. Г., Невзоров В. П., Чернявська О. А.

Резюме. Електронно-мікроскопічне дослідження пірамідних нейронів кори головного мозку молодих щурів після 9 сеансів РЕХВ продемонструвало помірну активацію біоенергетики. Збільшилася кількість мітохондрій і крист в них. Підвищення функціонального стану мітохондрій підтверджувалося наявністю в препаратах форм що діляться. У субмікроскопічній організації пірамідних нейронів кори головного мозку старих щурів після 9 сеансів РЕХВ, мало місце збільшення функціональної активності нейронів, що структурно проявлялося в гіперплазії мембран гранулярного ендоплазматичного ретикулула, появі мітохондрій що діляться і збільшенні кількості рибосом і полісом у цитоплазмі.

Ключові слова: ритмічні екстремальні холодові впливи, нейрони кори головного мозку, мітохондрії.

УДК 616.8-091.81:612.086.3:616-001.18

ВЛИЯНИЕ РИТМИЧЕСКИХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ХОЛОДОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ (-120°C) НА ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАСТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НЕЙРОНОВ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА МОЛОДЫХ И СТАРЫХ КРЫС

Кулик В. В., Бабийчук В. Г., Невзоров В. П., Чернявская Е. А.

Резюме. Электронно-микроскопическое исследование пирамидных нейронов коры головного мозга молодых крыс после 9 сеансов РЭХВ продемонстрировало умеренно выраженную активацию биоэнергетики. Увеличилось число митохондрий и крист в них. Повышенное функциональное состояние митохондрий подтверждалось наличием в препаратах делящихся форм. В субмикроскопической организации пирамидных нейронов коры головного мозга старых крыс после 9 сеансов РЭХВ, имело место увеличение функциональной активности нейронов, что структурно проявлялось в гиперплазии мембран гранулярного эндоплазматического ретикулула, появлении делящихся форм митохондрий и увеличении количества рибосом и полисом в цитоплазме.

Ключевые слова: ритмические экстремальные холодовые воздействия, нейроны коры головного мозга, митохондрии.

UDC 616.8-091.81: 612.086.3: 616-001.18

INFLUENCE OF RHYTHMIC EXTREME COLD EXPOSURE (-120°C) ON FEATURES ULTRASTRUCTURAL ORGANIZATION OF CEREBRAL CORTICAL NEURONS YOUNG AND OLD RATS

Kulik V. V., Babijchuk V. G., Nevzorov V. P., Chernyavskaya E. A.

Abstract. The rhythmic extreme cold exposure (RECE -120°C) on the body have a non-specific stimulatory effect. RECE are able to activate thermoregulatory centers, which leads to changes in the functional status of the organism. Intensity of these changes depends on the depth and duration of exposure low temperatures. They are largely attributable response of thermoregulatory centers located in the hypothalamus. The cerebral cortex is the connecting link between the effect of RECE on the CNS. As far RECE particular influence on the morphological and functional state of the cerebral cortex and subcortical structures are not well understood the purpose of the study was to examine the effect of rhythmic extreme cold exposures (-120°C) on the submicroscopic features of the organization of neurons of the cerebral cortex of young and old rats.

Materials and methods. The experiments were performed on the 6 and 24-month non-linear male rats. Each age group of animals was divided into two subgroups (7 rats each): one subgroup – 6 and 24-month intact rat; second subgroup – 6 and 24 month rat after 9 sessions RECE. RECE conducted in the cryochamber for extreme cooling of experimental animals. On the next day after the last session the rats were taken out and the experiment was

performed by decapitation fence cortex tissue. The resulting material was examined under an electron microscope EMW-100BR.

Results and discussion. The ultrastructure of pyramidal neurons in the cerebral cortex of young intact rats testified to their high structural and functional activity, which was confirmed by matrix-coated core, which mainly contain granules of decondensed chromatin. Degradation of intracellular membrane structures and organelles of cells in this group of animals is almost absent. Electron microscopic study of pyramidal neurons in the cerebral cortex of young rats after 9 sessions RECE demonstrated moderately pronounced activation of bioenergy. It became more mitochondria's and cristes in them. Increased functional state of mitochondria confirms that preparations fissile forms. In a group of old intact animals in the study of the ultrastructural architectonics pyramidal neurons of the cerebral cortex revealed that they are developing intracellular catabolic processes. Organelles were signs of dystrophic and destructive breaches of membrane structures.

The submicroscopic organization of pyramidal neurons in the cerebral cortex of old rats after 9 sessions RECE, had been an increase of the functional activity of neurons that are structurally manifested in hyperplasia of granular endoplasmic reticulum membranes, occurrence of fissile forms of mitochondria and an increase in the number of ribosomes and polysomes in the cytoplasm. The experimental data indicate that the effect of RECE on the young and old animals stimulate synthetic bioenergy metabolic functions and cerebral cortex.

Keywords: rhythmic extreme cold exposure, neurons of the cerebral cortex, mitochondria.

Рецензент – проф. Компаниец А. М.

Стаття надійшла 01.02.2016 року