

УДК 612.135:528.811+537-96

**АДАПТАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ РЕАКЦИИ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО
РУСЛА КОЖИ В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО ХОЛОДОВОГО
ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭМИ КВЧ**

*Чуян Е.Н., Трибрат Н.С., Джелдубаева Э.Р., Раваева М.Ю., Заячникова Т.В.,
Туманянц Е.Н., Древетняк Н.А., Передкова И.С.*

*Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: delviza@mail.ru*

Целью данной работы явилось выявление адаптационно-защитных реакций микрососудов в условиях локального холодого тестирования при воздействии низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) (длина волны – 7,1 мм, частота излучения – 42,2 ГГц, плотность потока мощности – 0,1 мВт/см). Показано, что при одно- и многократном КВЧ-воздействии отмечается сокращение времени достижения первого вазодилатационного пика и регистрируется увеличивается амплитудные значения эндотелиальных и пульсовых ритмов. Также воздействие ЭМИ КВЧ вызывает снижение как показателя микроциркуляции при первоначальной вазоконстрикции, так и амплитуды нейрогенных ритмов, что свидетельствует об уменьшении влияния симпатических адренергических вазомоторов в период локального холодого тестирования.

Ключевые слова: низкоинтенсивное электромагнитное излучение крайне высокой частоты, холодое тестирование, показателя микроциркуляции, адаптационно-защитные реакции микрососудов.

ВВЕДЕНИЕ

Холодовая проба – это один из распространенных тестов, используемых для функциональной оценки микрососудистого русла [1]. Существуют две разновидности проведения пробы: охлаждение большой площади поверхности кожи и локальное холодое тестирование. В первом случае массивное охлаждение используется для оценки функции симпатической нервной системы, обильно иннервирующей микрососудистое русло кожи человека. Второй вариант исследования – локальное холодое охлаждение, обусловленное клиническими потребностями, позволяет исследовать в большей степени адаптационно-защитные реакции микрососудистого русла кожи.

Вместе с тем, известно, что электромагнитное излучение крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) применяется для коррекции заболеваний, в патогенезе которых отмечаются расстройства микроциркуляции [2, 3]. Весьма эффективна КВЧ-терапия для коррекции микроциркуляторных расстройств, сопровождающихся изменениями симпатотонуса [4, 5], модельным экспериментом которого является массивное охлаждение дистальных отделов конечностей. Вместе с тем, адаптационные реакции микрососудов в условиях холодого воздействия при действии ЭМИ КВЧ не исследованы.

Таким образом, целью настоящей работы явилось выявление адаптационно-защитных реакций микрососудов в условиях локального холодого тестирования при воздействии ЭМИ КВЧ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 30 студентов-волонтеров женского пола в возрасте 20-25 лет, которые дали добровольное согласие на участие в исследовании. Отбор проводился на основании обследования врачом-терапевтом Центра коррекции функционального состояния человека при Таврическом национальном университете имени В.И. Вернадского.

Холодого тестирование проводили с помощью блока «ЛАКК-ТЕСТ», имеющего холодого пробник. Испытуемые предварительно находились в течение 15 минут в спокойном состоянии, адаптируясь к температурному фону 21⁰С. Локальное холодого тестирование проводили на области вентральной поверхности указательного пальца правой руки, размещая при этом холодого пробник на дистальной фаланге пальца. Выбор именно этой зоны для проведения холодого пробы обусловлена наличием артериоло-венулярных анастомозов, в связи с чем, эта область используется для оценки нейрососудистой функции у больных с диабетом [6], болезнью Рейно [7], эритромелалгией [8], лепрой [6]), при нарушениях иннервации конечностей и после трансплантации [9, 10]. Начальная температура пробника составляла 32⁰С. Охлаждение проводили со скоростью 4⁰С в минуту до достижения температуры пробника 5⁰С.

Исследование показателей микроциркуляции оценивали с помощью лазерного анализатора микроциркуляции «ЛАКК-02» (НПП «Лазма», Россия), размещая оптический волновод непосредственно в области охлаждения. Локальное холодого тестирование проводили по следующей схеме: регистрация исходного уровня перфузии при температуре 32⁰С в течение 1-й минуты→ регистрация перфузии в течение охлаждения до температуры 5⁰С→ регистрация показателя микроциркуляции в течение 5-ти минут при температуре пробника 5⁰С.

В основе ЛДФ лежит использование эффекта Допплера, который заключается в изменении длины волны, отраженной от движущихся частиц, в данном случае от эритроцитов, движущихся в микрососудах поверхностного слоя кожи, глубиной около 1 мм [11]. Этот слой зондирования может содержать в зависимости от типа ткани все звенья гемомикроциркуляторного русла [10].

Зависимость сигнала от состояния микроциркуляции можно описать следующим образом:

$$ПМ = N_{эр} * V_{ср}, \quad (1)$$

где ПМ – показатель микроциркуляции, N_{эр} – концентрация эритроцитов, V_{ср} – средняя скорость движения эритроцитов в зондируемом объеме.

По результатам локального холодого тестирования оценивали следующие показатели:

1. степень снижения показателя микроциркуляции (ПМ) при первоначальной вазоконстрикции (\square ПМх) в %,

2. время T_x (с) от начала охлаждения до начала первого вазодилатационного подъема.

Кроме того, в период собственно охлаждения оценивали спектральный анализ осцилляций тканевого кровотока, соответствующих активным и пассивным факторам регуляции микрогемодинамики. Спектральный анализ получали в результате вейвлет-преобразования зарегистрированного ПМ в период охлаждения, определяя нормированные по среднему квадратичному отклонению - σ амплитуды колебаний кровотока разных частотных диапазонов, соответствующие различным механизмам управления микрососудистого тонуса: эндотелиальные, синхронизированные с периодическим рилингом эндотелием оксида азота (NO) [12], нейрогенные, обусловленные активностью симпатических адренергических вазомоторов [13], миогенные, характеризующие активность миоцитов прекапиллярного звена [14], а также дыхательные, отражающие кровенаполнение венолярного отдела [15] и пульсовые, характеризующие приток крови в микрососудистое русло [1].

Величины нормированных амплитуд рассчитывали по формуле:

$$A_{\text{норм}} = A/3\sigma, \quad (2)$$

где A – амплитуда колебаний в любом диапазоне от 0,02 – 2 Гц (Крупаткин, 2005), σ – среднее квадратичное отклонение.

Воздействие низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ осуществляли ежедневно в течение 10-ти суток с помощью 6-тиканального аппарата «РАМЕД. ЭКСПЕРТ-04» (производство научно-исследовательской лаборатории «Рамед», г. Днепропетровск; регистрационное свидетельство МЗ №783/99 от 14.07.99, выданное КНМТ МОЗ Украины о праве на применение в медицинской практике в Украине). Технические характеристики генератора: длина волны – 7,1 мм, частота излучения – 42,2 ГГц, плотность потока мощности – 0,1 мВт/см². Воздействие осуществлялось в течение 30-ти минут на области симметричных биологически активных точек E-36, MC-6 и GI-4. Выбор этих точек обусловлен их общеукрепляющим, стимулирующим и рефлексогенным действием на организм испытуемых [16]. Во время исследования испытуемые находились в положении сидя в удобном кресле. Кисти и предплечья верхних конечностей размещались на валике, что обеспечивало их дополнительную фиксацию и расслабленное состояние рук.

Холодовую пробу проводили до воздействия низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ (контроль), а также после первого и десятого сеансов КВЧ-воздействия.

Исследование проводилось в утреннее время суток с 9.00 до 12.00 часов. За 2 часа до исследования было запрещено принимать пищу, кофе, чай и табак, а также препараты, влияющие на сосудистый тонус. Информированное согласие на проведение исследования было получено у всех участников.

Статистическая обработка экспериментальных данных производилась с помощью компьютерных программ (Microsoft Excell, Statistica 8.0). При статистической обработке данных использовали описательную статистику и непараметрические методы статистического анализа (критерий Вилкоксона) [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты настоящего исследования, показатель T_x , характеризующий время от начала охлаждения до начала подъема уровня перфузии, составил у испытуемых в контроле 315 с (рис. 1; табл. 1). Показатель \square ПМх, характеризующий снижение уровня перфузии в ответ на холодовое воздействие составил 43,34%. Известно, что при холодовом воздействии снижающаяся температура кожи инициирует терморегуляторный рефлекс для сохранения тепла. Этот рефлекс опосредуется повышением норадренергического вазоконстрикторного тонуса, приводящего к повышению артериолярной констрикции и, соответственно, снижению потока крови. Результаты спектрального анализа, полученные до воздействия низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ, свидетельствуют о преобладании переходных эндотелиально-нейрогенных ритмов, подтверждающих большую роль дилатации иннервируемых мышечно-содержащих сосудов в ходе холодовой вазодилатации. Амплитудны пульсовых и дыхательных ритмов отличались низкими значениями, что свидетельствует о значительном гипертонусе приносящих микрососудов при локальном холодовом воздействии.

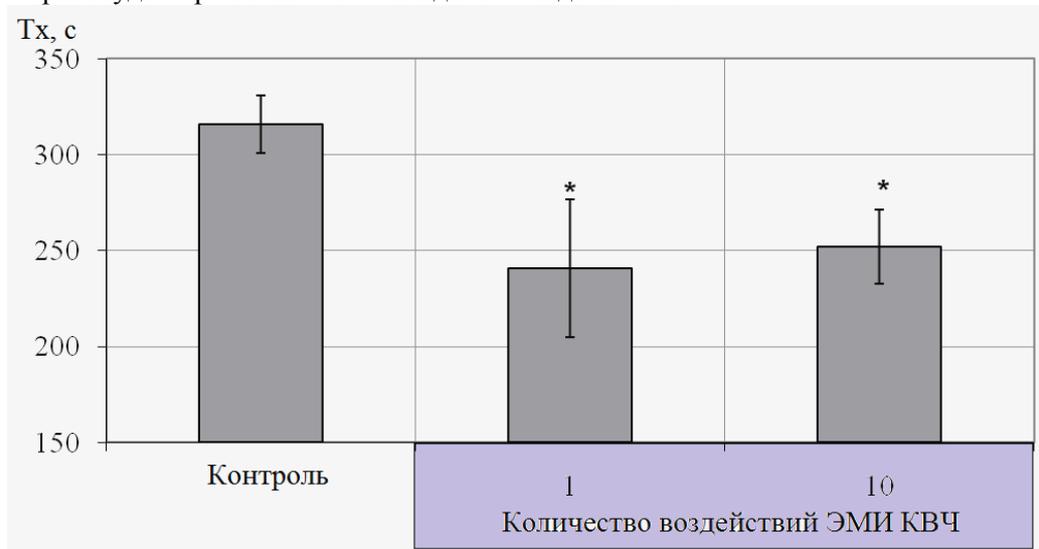


Рис. 1. Динамика показателя (T_x), характеризующего время до наступления первого вазодилатационного пика в период охлаждения, зарегистрированного до (контроль), а также после первого и десятого сеансов КВЧ-воздействия.

После однократного КВЧ-воздействия временной показатель T_x уменьшился на 23,83% ($p \leq 0,05$) относительно контроля, достигая значения 240 с (см. рис. 1). Десятикратное воздействие ЭМИ КВЧ привело к сокращению времени достижения первого вазодилатационного пика на 20,24% ($p \leq 0,05$) относительно контроля, достигая значения 252 с. Таким образом, время, затраченное на инициацию холодовой вазодилатации, под влиянием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ сократилось.

Таблица 1.
Показатели микроциркуляции, зарегистрированные при проведении холодовой пробы до, а также после одно- и многократного воздействия ЭМИ КВЧ

Показатели	Фон (контроль) (n=30)	Однократное ЭМИ КВЧ (n=30)	10-кратное ЭМИ КВЧ (n=30)
ΔПМ, %	43,34 ±2,68	46,41±6,89	51,41±1,93 (p≤0,05)
Tx, с	315±14,99	240±35,78 (p≤0,05)	252±19,41 (p≤0,05)
Аэ	9,53±0,63	14,20±1,04 (p≤0,05)	12,68±0,79 (p≤0,05)
Ан	8,99±0,75	9,95±1,24	14,07±0,99 (p≤0,05)
Ап	3,42±0,40	5,57±0,62 (p≤0,05)	5,39±0,61 (p≤0,05)

Примечание: достоверность значений по критерию Вилкоксона.

Рассматривая природу холодовой вазодилатации некоторые авторы связывают ее активностью артерио-венозных анастомозов [18], аксон-рефлексом [19], высвобождением дилатирующих субстанций, локальным параличом гладких мышц сосудистой стенки [20] или утратой способности кровеносных сосудов отвечать на норадреналин при низкой температуре [21]. Другие авторы полагают, что центральные механизмы могут быть вовлечены в появление холодиндуцированной вазодилатации в коже [22]. Известно, что модифицировать расширение сосудов может активация симпатической нервной системы [23]. Результаты недавних экспериментальных исследований указывают на то, что феномен холодовой вазодилатации обусловлен выделением гуморальных вазодилаторов в числе которых оксид азота (NO). Это предположение подтверждено экспериментальными данными с предварительным использованием ингибитора NO – L-NAME при проведении холодовой пробы [24]. Таким образом, сокращение времени достижения холодовой вазодилатации, отмеченное после одно- и многократного воздействия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ, вероятно, свидетельствует об увеличении реактивности микрососудов, обусловленной увеличением релизинга эндотелия NO в ответ на холодовой тест.

Это предположение подтверждается спектральным анализом ЛДФ-граммы, полученной в результате регистрации уровня ПМ при проведении холодовой пробы после одно- и многократного КВЧ-воздействия. Так, уже после первого КВЧ-воздействия отмечалось увеличение амплитуды эндотелиальных ритмов на 49,06% (p≤0,05), а после многократного на 33,11% (p≤0,05) относительно контрольных данных этого показателя, зарегистрированных до КВЧ-воздействия (рис. 2). Поскольку медленные колебания вблизи 0,01 Гц обусловлены выделением

эндотелием сосудов NO [24], следовательно, увеличение амплитуды эндотелиальных ритмов в холодной пробе после КВЧ-воздействия свидетельствует об увеличении продукции микрососудистым эндотелием NO.

Об увеличении реакции вазодилатации в ответ на холодовое воздействие свидетельствуют и амплитудные значения пульсовых ритмов, увеличение которых превзошло исходные данные после первого КВЧ-воздействия на 57,37% ($p \leq 0,05$), а после 10 сеанса – на 62,56% ($p \leq 0,05$) относительно контроля (рис. 2; табл. 1).

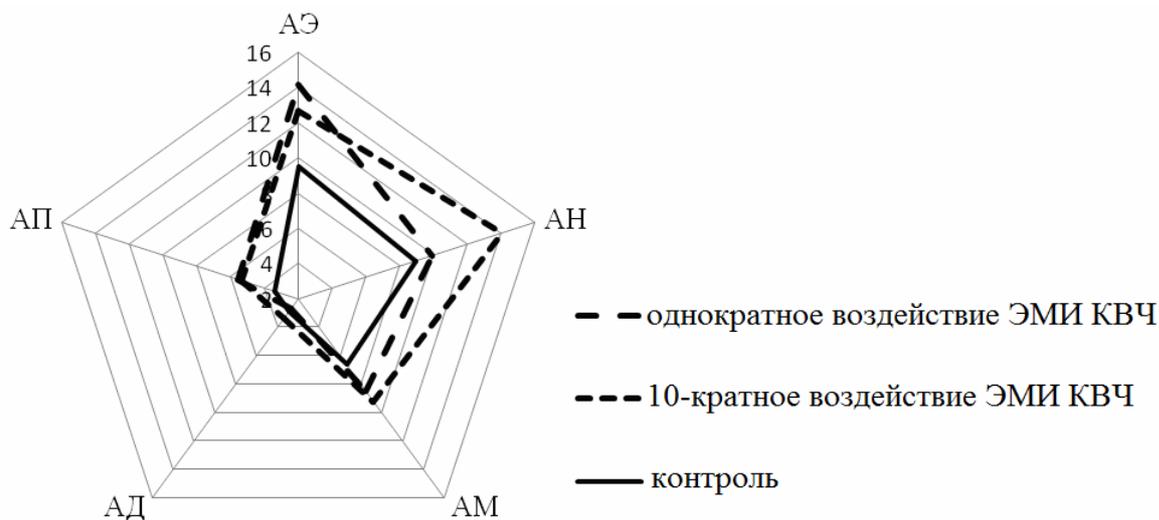


Рис. 2 Спектральный анализ осцилляций тканевого кровотока, полученный при локальном холодовом охлаждении, зарегистрированный до (контроль), а также после первого и десятого экспериментального воздействия ЭМИ КВЧ.

Примечание: АЭ — амплитуда эндотелиальных ритмов, АН - амплитуда нейрогенных ритмов, АМ - амплитуда миогенных ритмов, АД - амплитуда дыхательных ритмов, АП - амплитуда пульсовых ритмов

Амплитуда пульсовой волны является параметром, который изменяется в зависимости от состояния тонуса резистивных сосудов. Очевидно, что при снижении сосудистого тонуса, увеличивается объем притока артериальной крови в микроциркуляторное русло, модулированной пульсовой волной [1]. Поэтому увеличение амплитуды пульсовой волны при проведении холодной пробы после КВЧ-воздействия дополнительно свидетельствует об увеличении холодовой вазодилатации.

Таким образом, при одно- и многократном КВЧ-воздействии происходит увеличение амплитуды эндотелиальных и пульсовых ритмов, а также сокращение времени достижения первого вазодилатационного пика, что свидетельствует в пользу увеличения адаптационных резервов микрососудов кожи в условиях холодового воздействия посредством высвобождения NO микрососудистым эндотелием с дальнейшей релаксацией микрососудов..

Полученные результаты согласуются с нашими более ранними исследованиями, в которых было показано увеличение базального и стимулированного рилизинга NO при действии ЭМИ КВЧ [25], но и дополняют их. В частности, в настоящем исследовании отмечается увеличение амплитуд эндотелиальных ритмов, синхронизированных с рилизингом NO, при локальном холодовом воздействии. Известно, что умеренная гипоксия может стимулировать эндотелий к высвобождению NO [26]. Таким образом, стимулируемая холодом вазоконстрикция может стать причиной ишемии и снижения парциального напряжения кислорода, что, вероятно, и обусловило, повышение функциональной активности эндотелия с последующей выработкой вазодилататоров. Однако увеличение амплитудных значений эндотелиальных ритмов после КВЧ-воздействия, возможно связано и с вовлечением дополнительных механизмов, стимулирующих микрососудистый эндотелий к увеличению его функциональной активности. Это может быть обусловлено следующими причинами. Так, литературные источники свидетельствуют о том, что низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ может способствовать увеличению активности eNOS - фермента, катализирующего превращение L-аргинина NO в физиологических концентрациях за счет увеличения внутриклеточной концентрации ионов кальция [27, 28].

Вместе с тем, известно, что под влиянием ЭМИ КВЧ (42,253 ГГц, плотность потока мощности от 100 мкВт/см² до 50 мВт/см²) [29] происходит дегрануляция тучных клеток кожи с выделением биологически активных веществ, в числе которых гистамин и серотонин. Показано, например, что уровень гистамина в зоне дегрануляции тучных клеток под действием КВЧ-излучения увеличивается в 30 раз [30], что вызывает, в свою очередь, пролонгированное расширение капилляров. Кроме того, в настоящее время известно, что гистамин стимулирует 90 kda тирозин-фосфорилированный eNOS-связанный протеин, который оказывает положительное влияние на активность эндотелиальной NO-синтазы [31], что также приводит к стимулированию продукции NO. Наряду с этим, серотонин, увеличение содержания которого также показано при КВЧ-воздействии [32], стимулирует эндотелий-зависимую вазодилатацию. Следовательно, согласно литературным и нашим данным, воздействие ЭМИ КВЧ-диапазона, возможно, является естественным физиологическим регулятором активности эндогенного NO в физиологических системах организма и/или увеличения его продукции в клетках вследствие активации NO-синтазы.

Таким образом, результаты, полученные в настоящем исследовании, позволяют оценить действие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на возможность увеличения адаптационно-защитных реакций микрососудов, опосредуемых NO, при холодовом воздействии.

После однократного КВЧ-воздействия показатель \square ПМх имел тенденцию к увеличению и составил 46,41%, не достигая при этом статистически значимых изменений. Вместе с тем, при многократном КВЧ-воздействии отмечалось увеличение показателя \square ПМх на 20,60% ($p \leq 0,02$) относительно контроля и составил 51,41 % (рис. 3). Таким образом, многократное КВЧ-воздействие способствовало изменению уровня перфузии при локальном холодовом воздействии. Известно, что

прилокальном холодовом тестировании возможно исследование симпатического рефлекторного ответа, так и изучения локальных резервов температурной регуляции микроциркуляции [1].

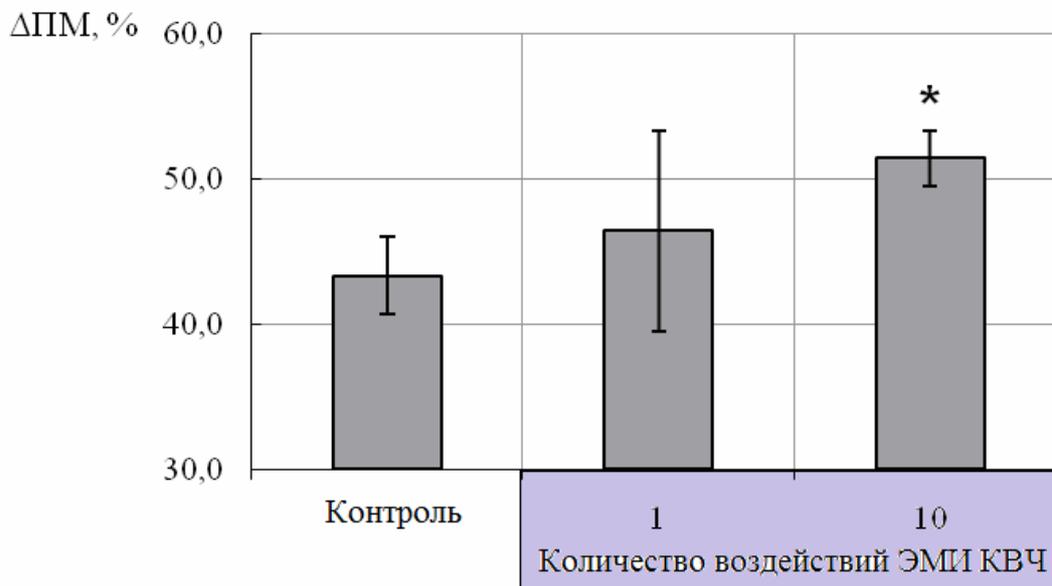


Рис. 3. Динамика показателя, характеризующего степень изменения уровня перфузии во время холодной пробы, зарегистрированная до, а также после 1- и 10-тикатного сеансов КВЧ-воздействия.

Выраженность реакции снижения уровня перфузии в ответ на холодное воздействие определяется состоянием симпатических адренергических вазомоторов. В настоящем исследовании оценивалась тоническая активность симпатических адренергических вазомоторов (в основном темпорегуляторных) по амплитудным значениям нейрогенных ритмов в период собственно охлаждения. Так, после 10-го сеанса КВЧ-воздействия в период проведения холодной пробы отмечалось увеличение амплитуды нейрогенного компонента на 56,51% ($p \leq 0,05$) (см. рис. 2) относительно исходных значений, что свидетельствует о снижении прессорных влияний симпатических адренергических влияний на сосудистую стенку, а, соответственно, и о снижении ее жесткости. Вероятно, это обстоятельство и обусловило статистически значимое изменение уровня \square ПМх после 10-го сеанса КВЧ-воздействия за счет снижения исходного симпатотонуса.

Полученные данные согласуются как с нашими предыдущими исследованиями в которых было показано снижение активности со стороны симпатических адренергических вазомоторов при курсовом воздействии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ [25], так и с литературными данными, согласно которым, в основе биологического действия ЭМИ КВЧ лежит активация нервных волокон кожи,

обладающих тонической активностью. Многие исследователи делают вывод о том, что интенсивности ЭМИ КВЧ, используемые в терапии, достаточны для активации рецепторов (механо-, термо- и болевых рецепторов) и других нервных окончаний, расположенных в коже [33]. В результате модуляции их импульсной активности изменяется структура восходящего импульсного потока, что может быть причиной рефлекторного изменения тонуса кровеносных сосудов [34]. Согласно литературным данным, применение КВЧ-терапии у больных гипертонической болезнью оказывало корригирующее влияние на обмен катехоламинов, отмечалось достоверное снижение в крови концентраций норадреналина на фоне значительного увеличения его экскреции с мочой [1]. Таким образом, нейрогенный компонент также вовлекается в реализацию биологического действия ЭМИ КВЧ, однако его вовлеченность отмечается при прологнированном действии низкоинтенсивного фактора.

Вероятно, с указанными факторами связано изменение уровня \square ПМх и амплитудных значений нейрогенного диапазона в холодовом локальном тесте при действии ЭМИ КВЧ.

Таким образом, полученные результаты не только согласуются с нашими более ранними исследованиями и литературными источниками, но и значительно дополняют их, поскольку раскрывают механизмы увеличения адаптационно-защитных реакций микрососудов в локальном холодовом тестировании при воздействии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ приводит к изменению показателей, характеризующих адаптационно-защитные реакции микрососудов кожи: сокращению времени достижения первого вазодилатационного пика максимально на 23,83% ($p \leq 0,05$), увеличению амплитудных значений эндотелиальных и пульсовых ритмов на 49,06% ($p \leq 0,05$) и 57,37% ($p \leq 0,05$) соответственно.
2. Воздействие ЭМИ КВЧ приводит к снижению показателя Δ ПМх на 20,60% ($p \leq 0,05$), а также амплитуды нейрогенных ритмов на 56,51% ($p \leq 0,05$), что свидетельствует об уменьшении влияния симпатических адренергических вазомоторов в период локального холодового тестирования.

Список литературы

1. Крупаткин А.И.. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М.: Медицина, 2005 – 254 с.
2. Субботина Т.И. Экспериментально-теоретическое исследование КВЧ-облучения открытой печени прооперированных крыс и поиск новых возможностей высокочастотной терапии / Субботина Т.И., Яшин А.А. // Вестн. нов. мед. техн. – 1998. – Т. V, №1. – С.122-126.
3. Гемореология и электромагнитное облучение КВЧ-диапазона / В. Ф. Киричук, Л. И. Малинова, А. П. Креницкий, А. В. Майборodin, В. Д. Тупикин / Под ред. В. Ф. Киричука.- Изд-во СГМУ.- Саратов, 2003.- 190 с.

4. Чуйн Е.Н. Нейроімуноендокринні механізми адаптації до дії низько інтенсивного електромагнітного випромінювання надто високої частоти // Автореф. дис... докт. біол. наук. – Київ, 2004. – 40 с
5. Некоторые механизмы влияния миллиметрового излучения на патогенез нестабильной стенокардии / Люсов В.А., Волов Н.А., Лебедева А.Ю. и др. // Сб. докл. 10го Российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: ИРЭ РАН, 1995. – С. 2627.
6. Abbot N.C. Vasomotor reflexes in the fingertip skin of patients with type 1 diabetes mellitus and leprosy / N.C. Abbot, J.S. Beck, S.B. Wilson, F. Khan // Clin.Auton. Res. – 1993. – Vol. 3(3). – P. 189-193.
7. Littleford R.C. Impaired skin vasomotor reflexes in patients with erythromelalgia/ Littleford R.C., Khan F., Belch J.J. // Clin Sci (Lond). – 1999. – Vol. 96(5). – P:507-512.
8. Wollersheim H. Laser Doppler evaluation of skin vasomotor reflexes during sympathetic stimulation in normals and in patients with primary Raynaud's phenomenon. / Wollersheim H, Droste H, Reyenga J, Thien T.// Int. J. Microcirc. Clin. Exp. – 1991. – Vol. 10(1). – P. 33-42.
9. Крупаткин, А.И. Клиническая нейроангиофизиология конечностей (периваскулярная иннервация и нервная трофика) [Текст] / А.И. Крупаткин. – М. : Научный мир, 2003. – 328 с.
10. Крупаткин, А.И. Функциональная оценка периваскулярной иннервации конечностей с помощью лазерной доплеровской флоуметрии [Текст] : пособие для врачей / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров, М.В. Меркулов и др. – М., 2004.– 26 с.
11. Fagrell B. Problems using laser Doppler on the skin in clinical practice, Laser Doppler / B. Fagrell // London : Med. Academic Publishers, 1994. – P. 127–134.
12. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines / P. Kvandal, A. Stefanovska, M. Veber [et al.] // Microvascular Research. – 2003. – Vol. 65. – P. 160–171.
13. Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion: discrete effects of myogenic and neurogenic vasoconstriction as well as arterial and venous pressure fluctuations / H. Schmid-Schonbein, S. Ziege, R. Grebe [et al.] // Int. J. Microcirc. – 1997. – №17. – P. 346–359.
14. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system. / A. Stefanovska, M. Bracic // Contemporary Physics. – 1999. –Vol. 40, №1. – P.31–35.
15. Bollinger A. Andreas Grüntzig's balloon catheter for angioplasty of peripheral arteries (PTA) is 25 years old. / Bollinger A, Schlumpf M. // Vasa. – 1999. – Vol. 28(1). – P. :58-64.
16. Опыт использования миллиметровых волн нетепловой интенсивности в комплексном лечении больных с закрытой черепно-мозговой травмой с использованием методики многозональной КВЧ-терапии / Е.Л. Мачерет, Б.Н. Филялка, А.О. Коркушко [и др.] // Миллиметровые волны в биологии и медицине : сб. докл. 10 Российского симпозиума с междунар. участием. – М., 1995. – С. 58–59.
17. Гланц С. Медико-биологическая статистика. Пер. с англ./ Гланц С. – М. Практика, 1999. – 459 с.
18. Fox R.H. Cold-induced vasodilatation in various areas of the body surface of man. / R.H. Fox, H.T. Wyatt // J. Physiol. – 1962. – Vol. 162. – P. :289-297.
19. Lewis T. Remarks on early signs of cardiac failure of the congestive type / T. Lewis // Br. Med. J. – 1930. – Vol. 1(3618). – P. :849-852.
20. Vanggaard L. Physiological reactions to wet-cold.// Aviat Space Environ Med. – 1975. – Vol. 46(1). – P. 33-36.
21. Keatinge W.R. Hypothermia during saturation diving in the North Sea / Br. Med. J. – 1980. –Vol. 280(6210). – P. 291.
22. Kunitomo M. p-Chloromercuribenzoate-induced dissociation of cytoskeletal proteins in red blood cells of rats / Biochim. Biophys. Acta. – 1987. – Vol. 905(2). – Vol. 257-267.
23. Sympathetic stimulation induced by hand cooling alters cold-induced vasodilatation in humans / Sendowski I, Savourey G., Launay J.C., Besnard Y., Cottet-Emard J.M., Pequignot J.M., Bittel J. // Eur. J. Appl. Physiol. – 2000. – Vol. 81(4). – P. 303-309.
24. Звездин, М.С. Реактивность сосудов кожи при дистантном тепловом воздействии [Текст] / М.С. Звездин, В.В. Ачкасова // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. - 2006. - Том6, N4. - С. 107-110.

25. Механизмы действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения на тканевую микрогемодинамику / Чуян Е. Н., Трибрат Н. С., Ананченко М. Н., Раваева М. Ю. – Симферополь : Информ.-изд. отдел ТНУ им. В. И. Вернадского, 2011. – 324 с.
26. Роль свободного и депонированного оксида азота в адаптации к гипоксии сердечно-сосудистой системы // Е.Б. Манухина, С.Ю. Машина, М.А. Власова [и др.] // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2004. – Т.3. –С.4–11.
27. Massion P.V. Nitric oxide and cardiac function: ten years after, and continuing / P.V. Massion, O. Feron, C. Dessy // Circ. Res. – 2003. – V. 93. – P. 388–398.
28. Гапеев А.Б. Действие непрерывного и модулированного ЭМИ КВЧ на клетки животных. Обзор Часть I. Особенности и основные гипотезы о механизмах биологического действия ЭМИ КВЧ / А.Б. Гапеев, Н.К. Чемерис // Вестник новых медицинских технологий. – 1999. – Т. 6, № 1.– С. 15–22.
29. Попов В.И. Дегрануляция тучных клеток кожи под действием низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты / В.И. Попов, В.В. Рогачевский, А.Б. Гапеев // Биофизика. – 2001. – Т. 46. В. – 6. – С. 1096–1102.
30. Родштат И.В. Новые физиологические подходы к оценке КВЧвоздействия на биологические объекты // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. № 3. – С. 1116.
31. Дослідження ролі ендотеліязалежних факторів у реалізації кардіогенних рефлексів за нормальних і патологічних умов / О. О. Мойбенко, В. Б. Павлюченко, В. В. Даценко, М. Я. Юзьків, В. І. Азаров // Фізіол. журн . - 2000. - 46, № 2. - С. 19-32.
32. Чуян Е.Н. Роль опиоидных пептидов в изменении концентрации цитокинов в плазме крови крыс при действии низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты / Е.Н. Чуян , М.М. Махонина // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2006. – Т. 19 (58). – № 2. – С. 131136.
33. Лебедева Н.Н. Электромагнитная рецепция и индивидуальные особенности человека / Н.Н. Лебедева, Т.И. Котровская // Миллиметровые волны в медицине и биологии. – 1996. – № 7. – С. 14–20.
34. Чайло П.П. Биохимическое обоснование применения микроволновой резонансной терапии при гастродуоденальной патологии / П.П. Чайло, Б.П. Грубник, В.А. Куценок// Фізика живого. – 2002. – Т. 10, N2. – С.113118.

Чуян О.М. Адаптаційно-захисні реакції мікроциркуляторного руслу шкіри в умовах локального холодового тестування при дії низькоінтенсивного ЕМВ НВЧ / О.М. Чуян, Н.С. Трибрат, Е.Р. Джелдубаева, М.Ю. Раваева, Т.В. Заячникова, О.М. Туманянц, Н.А. Древетняк, І.С. Передкова // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2013. – Т. 26 (65), № 3. – С. 232-245.

Метою даної роботи стало виявлення адаптаційно-захисних реакцій мікросудин в умовах локального холодового тестування під впливом низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання надто високої частоти (ЕМВ НВЧ) (довжина хвилі - 7,1 мм , частота випромінювання - 42,2 ГГц). Показано, що при одно- та багаторазовому НВЧ- впливу відзначається скорочення часу досягнення першого вазодилататорного піку та реєструється збільшення амплітуд ендотеліальних і пульсових ритмів. Також вплив ЕМВ НВЧ викликає зниження як показника мікроциркуляції при первісній вазоконстрикції, так і амплітуди нейрогенних ритмів, що свідчить про зменшення впливу симпатичних адренергічних вазомоторов у період локального холодового тестування.

Ключові слова: низкоинтенсивное електромагнітне випромінювання надвисокої частоти, холодове тестування, показники мікроциркуляції, адаптаційно-захисні реакції мікросудин.

ADAPTIVE-PROTECTIVE REACTIONS OF THE MICROVASCULAR VESSELS OF SKIN IN CONDITIONS OF LOCAL COLD TEST UNDER THE INFLUENCE OF LOW INTENSITY EMR EHF

Chuan E.N., Tribirat N.S., Dzheldybaeva E.R., Ravaeva M.Yu., Zayachnikova T.V., Tumanyants E.N., Drevetnyak N., Peredkova I.S.

*Taurida V.I. Vernadsky National University, Simferopol, Ukraine
E-mail: delviza@mail.ru*

This research is dedicated to the identification of adaptive-protective reactions of microvessels in the conditions of local cold testing with single and multiple exposures of low-intensity electromagnetic radiation of extremely high frequency (EHF EMR) (wave length – 7,1 mm, frequency radiation – 42,2 GHz, the power flux density - 0,1 mW / cm). According to the results of local tests the degree of reduction of microcirculation index (IM) at the initial vasoconstriction ($\Delta\Pi Mx$, %) and time T_x (s) from the start of cooling to the start of the first vasodilatory lifting were evaluated. In addition, during the actual cooling we evaluated spectral analysis of oscillations of tissue blood flow corresponding to the active and passive factors of regulating of microhemodynamics.

The results of the investigation showed that at the single-and multiple low-intensity EHF EMR leads to changes of the indexes, which characterize the adaptive-protective reactions of skin microvessels: reduce the time required to reach the first vasodilatory peak maximum on 23.83 % ($p \leq 0,05$), an increase of the amplitude values of endothelial and pulse rhythms on 49.06 % ($p \leq 0,05$) and 57.37 % ($p \leq 0,05$), respectively. These changes allow to estimate the effects of low-intensity EHF EMR on the possibility of increasing adaptive- protective reactions of microvessels mediated by NO, during cold exposure.

In the present investigation we also evaluated the tonic activity of the sympathetic adrenergic vasomotors (mostly temroregulator's) on the amplitude values of neurogenic rhythms during the own cooling. So, after the 10th EHF -influence during the cold test it was showed an increase of the amplitude of the neurogenic component on 56.51 % ($p \leq 0,05$) above baseline, that indicating about decrease in the pressor effects of sympathetic adrenergic effects on the vascular wall, and, respectively, and about reduction of its stiffness. Perhaps this circumstance led to the statistically significant change of the level $\Delta\Pi Mx$ after the 10th EHF -influence by reducing of the initial simpatotonus.

Thus, this investigation reveals the mechanism of increasing adaptive-protective reactions of microvessels in the local cold testing under the influence of low-intensity EHF EMR

Keywords: low-intensity electromagnetic radiation of extremely high frequency, cold testing, indexes of microcirculation, adaptive- protective reactions of microvessels.

References

1. Krupatkin A.I., Sidorov V.V. *Lazernaya dopplerovskaya floumetriya mikrotsirkulyatsii krovi* (Moskva, Meditsina, 2005)
2. Subbotina T.I., Yashin A.A. Eksperimental'no-teoreticheskoye issledovaniye KVCH-oblucheniya otkrytoy pecheni prooperirovannykh krysi i poisk novykh vozmozhnostey vysokochastotnoy terapii , *Vestn. nov. med. Tekhn.*, 5 (1), 122-126 (1998).

3. Kirichuk V.F., Malinova L.I., Krenitskiy A.P., Mayborodin A.V., Tupikin V.D. *Gemoreologiya i elektromagnitnoye oblucheniye KVCH-diapazona* (Saratov, Izd-vo SGMU, 2003).
4. Chuyan E.N. *Neuroimmunoyendokrinni mekhanizmi adaptatsii do dii niz'ko intensivnogo yelektromagnitnogo vipromunyuvannya nadto visoki chastoti* (Kiev, 2004)
5. Lyusov V.A., Volov N.A., Lebedeva A.Yu. Nekotoryye mekhanizmy vliyaniya millimetrovogo izlucheniya na patogenez nestabil'noy stenokardii, *Sb. dokl. 10go Rossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiyem «Millimetrovyye volny v biologii i meditsine»* (Moskva, IRE RAN, 1995).
6. Abbot N.C., Beck J.S., Wilson S.B., Khan F. Vasomotor reflexes in the fingertip skin of patients with type 1 diabetes mellitus and leprosy, *Clin.Auton. Res.*, **3** (3), 189-193 (1993).
7. Littleford R.C., Khan F., Belch J.J. Impaired skin vasomotor reflexes in patients with erythromelalgia, *Clin Sci (Lond.)*, **96** (5), 507-512 (1999).
8. Wollersheim H., Droste H., Reyenga J., Thien T. Laser Doppler evaluation of skin vasomotor reflexes during sympathetic stimulation in normals and in patients with primary Raynaud's phenomenon., *Int. J. Microcirc. Clin. Exp.*, **10** (1), 33-42 (1991).
9. Krupatkin A.I. *Klinicheskaya neyroangiofiziologiya konechnostey (perivaskulyarnaya innervatsiya i nernvaya trofika)* (Moskva, Nauchnyy mir, 2003).
10. Krupatkin A.I., Sidorov V.V., Merkulov M.V. *Funktsional'naya otsenka perivaskulyarnoy innervatsii konechnostey s pomoshch'yu lazernoy dopplerovskoy floumetrii, rupatkin*, (Moskva, Nauchnyy mir, 2004).
11. Fagrell B. *Problems using laser Doppler on the skin in clinical practice* (London, Med. Academic Publishers, 1994).
12. Kvandal P., Stefanovska A., Veber M. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines, *Microvascular Research*, **65**, 160-171 (2003).
13. Schmid-Schonbein H., Ziege S., Grebe R. Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion: discrete effects of myogenic and neurogenic vasoconstriction as well as arterial and venous pressure fluctuations, *Int. J. Microcirc.*, **17**, 346-359 (1997).
14. Stefanovska A., Bracic M.S. Physics of the human cardiovascular system., *Contemporary Physics*, **40** (1), 31-35 (1999).
15. Bollinger A., Schlumpf M. Andreas Gruntzig's balloon catheter for angioplasty of peripheral arteries (PTA) is 25 years old, *Vasa*, **28** (1), 58-64 (1999).
16. Macheret Ye.L., Filyalka B.N., Korkushko A.O. Opyt ispol'zovaniya millimetrovyykh voln neteplovoy intensivnosti v kompleksnom lechenii bol'nykh s zakrytoy cherepno-mozgovoy travmoy s ispol'zovaniyem metodiki mnogoazonal'noy KVCH-terapii, *Millimetrovyye volny v biologii i meditsine : sb. dokl. 10 Rossiyskogo simpoziuma s mezhdunar. uchastiyem* (Moskva, 1995).
17. Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika* (Moskva, Praktika, 1999).
18. Fox R.H., Wyatt H.T. Cold-induced vasodilatation in various areas of the body surface of man, *J. Physiol.*, **162**, 289-297 (1962).
19. Lewis T. Remarks on early signs of cardiac failure of the congestive type, *Br. Med. J.*, **1** (3618), 849-852 (1930).
20. Vangaard L. Physiological reactions to wet-cold, *Aviat Space Environ Med.*, **46** (1), 33-36 (1975).
21. Keatinge W.R. Hypothermia during saturation diving in the North Sea, *Br. Med. J.*, **280** (6210), 291 (1980).
22. Kunimoto M. p-Chloromercuribenzoate-induced dissociation of cytoskeletal proteins in red blood cells of rats, *Biochim. Biophys. Acta*, **905** (2), 257-267 (1987).
23. Sendowski I., Savourey G., Launay J.C., Besnard Y., Cottet-Emard J.M., Pequignot J.M., Bittel J. Sympathetic stimulation induced by hand cooling alters cold-induced vasodilatation in humans, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **81** (4), 303-309 (2000).
24. Zvezdin M. S., Achkasova V. V. Reaktivnost' sudov kozhi pri distantnom teplovom vozdeystvii, *Regionarnoye krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya*, **6** (4), 107-110 (2006).
25. Chuyan Ye. N., Tribat N. S., Ananchenko M. N., Ravayeva M. Yu. *Mekhanizmy deystviya nizkointensivnogo millimetrovogo izlucheniya na tkanevuyu mikrogedinamiku* (Simferopol', Inform.-izd. otdel TNU im. V. I. Vernadskogo, 2011).

26. Manukhina Ye.B., Mashina S.Yu., Vlasova M.A. Rol' svobodnogo i deponirovannogo oksida azota v adaptatsii k gipoksii serdechno-sosudistoy sistemy, *Regionarnoye krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya*, **3**, 4-11 (2004).
27. Massion P.B. , Feron O., Dessy C. Nitric oxide and cardiac function: ten years after, and continuing, *Circ. Res.*, **93**, 388-398 (2003).
28. Gapeyev A.B., Chemeris N.K. Deystviye nepreryvnogo i modulirovannogo EMI KVCH na kletki zhyvotnykh. Obzor Chast' I. Osobennosti i osnovnyye gipotezy o mekhanizмах biologicheskogo deystviya EMI KVCH, *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*, **6** (1), 15-22 (1999).
29. Popov V.I., Rogachevskiy V.V., Gapeyev A.B Degranulyatsiya tuchnykh kletok kozhi pod deystviyem nizkointensivnogo elektromagnitnogo izlucheniya krayne vysokoy chastoty, *Biofizika*, **46** (6), 1096–1102 (2001).
30. Rodshtat I.V. Novyye fiziologicheskiye podkhody k otsenke KVChvozdeystviya na biologicheskiye ob"yekty, *Biomeditsinskaya radioelektronika*, **3**, 11-16 (1998).
31. Moybenko O. O., Pavlyuchenko V.B., Datsenko V. V., Yuz'kiv M. YA, Azarov V. Í. Doslídzhennya rolí yendotelíyazalezhnikh faktorív u realizatsíi kardíogennikh refleksív za normal'nikh í patologíchnikh umov, *Fízíol. Zhurn.*, **46** (2), 19-32 (2000).
32. Chuyan Ye.N., Makhonina M.M. Rol' opioidnykh peptidov v izmenenii kontsentratsii tsitokinov v plazme krovi krysa pri deystvii nizkointensivnogo elektromagnitnogo izlucheniya krayne vysokoy chastoty, *Uchenyye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya «Biologiya, khimiya»*, **19** (2), 131-136 (2006).
33. Lebedeva N.N., Kotrovskaya T.I. Elektromagnitnaya retseptsiya i individual'nyye osobennosti cheloveka, *Millimetrovyye volny v meditsine i biologii*, **7**, 14-20 (1996).
34. Chayalo P.P., Grubnik B.P., Kutsenok V.A. Biokhimicheskoye obosnovaniye primeneniya mikrovolnovoy rezonansnoy terapii pri gastroduodenal'noy patologii, *Fizika zhivogo*, **10** (2), 113-118 (2002).

Поступила в редакцию 22.08.2013 г.