

УДК 612.821

МОДУЛЯЦИЯ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (ЧАСТЬ I)

Трибрат Н.С., Чуян Е.Н.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: tribratnatalia@rambler.ru*

Методом лазерной доплеровской флоуметрии показано, что низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ оказывает выраженное действие на процессы микроциркуляции крови в коже человека, что выражается в изменении неосцилляторных и осцилляторных характеристик базального кровотока и показателей микрососудистого тонуса. Однократное воздействие ЭМИ КВЧ приводит к местному снижению периферического сопротивления и доминированию нутритивного кровотока на фоне депрессии шунтового, в пользу чего свидетельствуют увеличение амплитуд миогенных и эндотелиальных осцилляций тканевого кровотока на фоне снижения миогенного тонуса и показателя шунтирования только в области локализации КВЧ-воздействия. Многократное воздействие ЭМИ КВЧ оказывает выраженное влияние на изменение как неосцилляторных, так и осцилляторных показателей, характеризующих активные и пассивные факторы регуляции микроциркуляторных процессов, следствием чего является увеличение выработки вазодилаторов, снижение периферического сопротивления в области артериол и прекапилляров, увеличение притока крови в микрососудистое русло на фоне улучшения веноулярного оттока. В механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляторные процессы основную роль играют эндотелий-зависимый, миогенный эндотелий-независимый и нейрогенный компоненты регуляции тканевого кровотока.

Ключевые слова: низкоинтенсивное электромагнитное излучение миллиметрового диапазона, микроциркуляция, лазерная доплеровская флоуметрия.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема изучения процессов микроциркуляции и их регуляции стала мультидисциплинарной, в решении которой заинтересованы физиология, биофизика, клиническая медицина.

Известно, что электромагнитные излучения (ЭМИ) различных диапазонов и интенсивностей обладают выраженной биологической эффективностью, в связи с чем применяются в медицинской практике с целью коррекции расстройств различного генеза [1-6], в том числе, и тех, что сопровождаются изменением функционального состояния микрососудистого русла [7-11]. Исследованиями последних десятилетий установлено, что в электромагнитобиологии наибольший интерес представляют эффекты низкоинтенсивных или информационных, воздействий, которые, не вызывая структурных изменений в организме, сопровождаются выраженными биологическими ответами при минимальной затрате энергии [12, 13]. Среди электромагнитных факторов низкой интенсивности в настоящее время широко исследуется биологическое действие ЭМИ

миллиметрового (мм) или крайневисокоочастотного (КВЧ) диапазона. Однако литературные данные о влиянии ЭМИ КВЧ на процессы микроциркуляции представлены единичными и, подчас, противоречивыми данными [8, 14]. Кроме того, большинство исследований действия ЭМИ на тканевой кровотоке проводится после воздействия физического фактора, а потому не дает полной информации о количественных и качественных изменениях микроциркуляторных процессов, происходящих во время экспозиции. Большой интерес представляет также исследование возможных мишеней ЭМИ КВЧ в системе микроциркуляции, что позволит значительно расширить представления о механизмах биологического действия этого физического фактора.

Очевидно, для решения этих и других вопросов необходимо, с одной стороны, значительно расширить число регистрируемых параметров, характеризующих основные механизмы регуляции системы микроциркуляции, а, с другой – разработать новый методический прием, позволяющий судить о результатах воздействия. Таким приемом, в частности, может быть постановка эксперимента, в котором регистрация изменений показателей тканевой микрогемодинамики осуществляется непосредственно во время действия ЭМИ КВЧ.

Наиболее объективным методом для регистрации показателей микроциркуляции при действии ЭМИ КВЧ является сравнительно новый неинвазивный метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), позволяющий оценить не только уровень периферической перфузии, но и выявить основные механизмы регуляции микрокровотока [16, 17]. Этот метод является объективным и точным, благодаря возможности длительной экспозиции, воспроизводимым и высокочувствительным по отношению к малейшим изменениям кровотока [18]. Особое значение имеет и тот факт, что проникающая способность КВЧ-излучения и лазерного луча при ЛДФ-метрии в кожу практически совпадают (до 1 мм), что позволяет считать данный метод наиболее предпочтительным для выявления биологических эффектов мм-излучения в микроциркуляторном русле.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования процессов микроциркуляции при действии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ проведены на 60 студентах-волонтерах женского пола в возрасте 18-23 лет без патологии сердечно-сосудистой системы, в межменструальном периоде. Все волонтеры дали добровольное согласие на проведение исследований.

Были проведены две экспериментальные серии. В первой серии испытуемые были разделены на две группы: контрольную (n=20), подвергавшуюся ложному КВЧ-воздействию (плацебо) и экспериментальную (n=20), подвергавшуюся истинному воздействию низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ, которое осуществляли с помощью одноканального терапевтического генератора «КВЧ. РАМЕД. ЭКСПЕРТ-01» (регистрационное свидетельство № 783/99 от 14.07.99, выданное КНМТ МОЗ Украины о праве на применение в медицинской практике в Украине) на протяжении 10-ти дней ежедневно с экспозицией 30 минут на область биологически активной точки (БАТ) GI-4 правой руки, поскольку, как показано в некоторых исследованиях

[19, 20], существует функциональная асимметрия, связанная с тем, что биологические эффекты ЭМИ КВЧ более выражены при воздействии на правую руку.

Для исследования изменений показателей микроциркуляции под влиянием ЭМИ КВЧ использовался метод ЛДФ, предоставляющий широкие возможности оценки как состояния тканевого кровотока, так и механизмов, регулирующих микрогемодинамику, в том числе и при действии факторов различной природы [21-23].

ЛДФ-метрию проводили на двухканальном анализаторе микроциркуляции «ЛАКК-02», работающем на длине волны 0,8 мкм во втором исполнении (производство НПП «Лазма», Россия). Двухканальное исполнение анализатора позволяет провести сравнительный анализ тканевого кровотока в различных, например, симметричных тестируемых областях. В нашем исследовании это позволило провести одновременный мониторинг тканевого кровотока в том случае, когда одна из симметричных областей ЛДФ-метрии являлась зоной, на которую осуществлялось воздействие ЭМИ КВЧ, в то время как вторая область тестирования являлась контрольной (рис. 1. А). Такой подход позволил исключить воздействие неконтролируемых факторов.

ЛДФ-метрию проводили у волонтеров как экспериментальной, так и контрольной групп в области симметричных БАТ: первый ЛДФ-зонд фиксировали в области БАТ GI-4 правой руки. Таким образом, области локализации КВЧ-волновода и ЛДФ-зонда совпадали, а данная область ЛДФ-метрии являлась экспериментально-измерительной точкой (ЭИТ). Второй ЛДФ-зонд фиксировался в области симметричной БАТ контролатеральной кисти – GI-4 левой руки (контрольно-измерительная точка – КИТ) (рис. 1. А). Такой подход позволил выявить и дифференцировать как локальные процессы, протекающие только в области КВЧ-воздействия, так и генерализованные или системные, протекающие и в симметричной области.



Рис. 1. Схема наложения КВЧ-волновода и ЛДФ-зондов (А) и времени проведения ЛДФ-метрии (Б).

Примечание: ЭИТ – экспериментально-измерительная точка; КИТ – контрольно-измерительная точка; БАТ – биологически активная точка.

Исследование показателей базального кровотока проводили до КВЧ-воздействия (фон), а также в течение 1, 3, 5, 7 и 10 сеансов по следующей схеме: регистрация 30-тиминутной записи ЛДФ-граммы непосредственно во время КВЧ-воздействия в течение 30-ти минут; регистрация эффекта последствия сразу после облучения КВЧ-терапии в течение 10-ти минут (см. рис. 1.Б). Зарегистрированные во время действия ЭМИ КВЧ 30-тиминутные ЛДФ-граммы были разделены на три 10-тиминутных интервала с целью дальнейшей детальной обработки осцилляций тканевого кровотока в разные временные периоды КВЧ-воздействия. По аналогичной схеме проводилась ЛДФ-метрия у испытуемых контрольной группы при плацебо-воздействии.

Среди параметров, анализируемых при ЛДФ-метрии, рассматривали следующие показатели базального кровотока:

М (перф.ед.) – показатель микроциркуляции, характеризующий общую (капиллярную и внекапиллярную) усредненную стационарную перфузию микрососудов за время исследования [22-23].

СКО (σ , перф.ед.) – среднее квадратичное отклонение амплитуды колебаний кровотока во всех частотных диапазонах от среднего М, отражающее вариабельность тканевого кровотока;

Кв (%) – коэффициент вариации, характеризующий соотношение флукса к среднему уровню перфузии, который вычисляли по формуле:

$$Кв = \frac{СКО}{М} * 100\%. \quad (1)$$

С помощью вейвлет-анализа, определяли осцилляторные показатели тканевого кровотока, которые связаны с активными и пассивными факторами регуляции микрокровотока: эндотелиальные (Аэ), синхронизированные с периодическим релизингом эндотелием оксида азота (NO) [24], нейрогенные (Ан), обусловленные активностью симпатических адренергических вазомоторов, миогенные (Ам), характеризующие активность миоцитов прекапиллярного звена, а также дыхательные (Ад), отражающие кровенаполнение веноулярного отдела и пульсовые (Ап), характеризующие приток крови в микрососудистое русло [23].

Кроме того, оценивали показатели микрососудистого тонуса, а именно: нейрогенный тонус (НТ) резистивных микрососудов, отображающий активность α -адренорецепторов мембраны ключевых и отчасти сопряженных гладкомышечных клеток и миогенный тонус (МТ) метартериол и прекапиллярных сфинктеров [23]. Для оценки шунтового кровотока использовали показатель шунтирования (ПШ).

Для каждого показателя рассчитывали коэффициент сдвига (в %) по формуле:

$$К = \frac{Х_{эит} * 100}{Х_{кит}}, \quad (2)$$

где $X_{эит}$ – значения показателей микроциркуляции, зафиксированные в ЭИТ; $X_{кит}$ – значения показателей микроциркуляции, зафиксированные в КИТ.

Во второй серии экспериментальных исследований у волонтеров (n=20) проводили функциональные нагрузочные пробы: фармакологическую, дыхательную, окклюзионную и постуральную пробы. Флоуметрия, дополненная функциональными пробами, позволяет получить характеристики, отражающие не только факт динамики показателей тканевого кровотока, но и более детально проследить состояние их регуляторных механизмов [23].

Фармакологическая проба является эффективным методом оценки эндотелиальной функции, основанной на сравнении сосудистых реакций в ответ на введение специфических агентов, вызывающих эндотелий-зависимую (ЭЗВ) (в случае с ацетилхолином (АХ), стимулирующим локальное высвобождение NO эндотелием) и эндотелий-независимую (ЭНЗВ) (в случае с нитропруссидом натрия (НП), являющимся донором NO и вызывающим расслабление гладкомышечных клеток) вазодилатацию [2-27]. Среди параметров, оцениваемых в фармакологической пробе рассматривали: резерв капиллярного кровотока (РКК), характеризующий максимальный прирост показателя микроциркуляции в процентах, отмечаемый при ионофоретическом введении АХ (РКК(АХ)) и НП (РКК(НП)), амплитудные значения эндотелиальных колебаний кожного кровотока, регистрируемые в ЛДФ-грамме, полученные при действии АХ (Аэ(АХ)) и НП (Аэ(НП)), в результате вейвлет-преобразования [17, 28], а также уровень функциональной активности эндотелия (ФАЭ, %), который вычисляли по формуле:

$$\text{ФАЭ} = \text{РКК(АХ)} / \text{РКК(НП)} * 100 \quad (3)$$

Нефармакологической неинвазивной функциональной нагрузочной пробой, позволяющей выявить NO-синтазную активность эндотелиоцитов, является окклюзионная проба, основанная на способности к эндотелиальной дилатации сосудов в ответ на моделируемое увеличение напряжение сдвига [29-31]. Среди анализируемых параметров в окклюзионной пробе оценивали: реакцию кожного кровотока, (РККоп), а также осцилляции эндотелиального генеза регистрируемые во время постокклюзионной реактивной гиперемии. Кроме того, оценивали параметр, характеризующий реактивность микрососудов прекапиллярного звена, определяемый как T1/2 (с) – интервал времени от момента достижения максимального уровня перфузии до момента полувосстановления, регистрируемого в реактивной постокклюзионной гиперемии.

В постуральной пробе, позволяющей оценить активность миогенных механизмов, анализировали ΔПМп – показатель микроциркуляции, характеризующий снижение уровня перфузии, отмечаемый в период, когда рука находилась в свешенном состоянии относительно фоновых значений ПМ:

$$\Delta\text{ПМп} = (\text{ПМисх} - \text{ПМп}) / \text{ПМисх} * 100\%, \quad (4)$$

где ПМп – уровень перфузии, зарегистрированный во время опускания конечности ниже уровня сердца; ПМисх – исходная величина показателя М.

Для оценки функции рефлекторной активности симпатических волокон, проводили дыхательную пробу, в которой анализировали величину снижения уровня перфузии, регистрируемого во время глубокого вдоха (ΔПМд).

Величину спада перфузии при дыхательной пробе оценивали по формуле:

$$\Delta\text{ПМд} = (\text{ПМисх} - \text{ПМмин}) / \text{ПМисх} * 100\%, \quad (5)$$

где ПМмин. – минимальная величина показателя М, зарегистрированная в момент глубокого вдоха, а ПМисх – исходная величина показателя М.

Функциональные пробы проводились до КВЧ-воздействия, а также после первого и десятого сеансов ЭМИ КВЧ, исключение составила фармакологическая проба, которая дополнительно проводилась после пятого сеанса мм-терапии.

Все исследования проводились в утреннее время суток в условиях физического и психологического покоя у испытуемых после предварительной адаптации к температуре помещения 230 С в положении лежа на спине. При проведении исследований показателей микроциркуляции методом ЛДФ были соблюдены условия стандартизации, разработанные группой по стандартизации ЛДФ Европейского Общества по контактному дерматиту (European Contact Dermatitis Society, 1994). Все исследования проводились на оборудовании, прошедшем метрологическую поверку.

Статистическая обработка данных осуществлялась с расчетом среднего значения изучаемых показателей (M) и его ошибки (m). Оценка достоверности внутригрупповых различий полученных данных проводилась с использованием критерия Вилкоксона, межгрупповых различий – с помощью U-теста Манна-Уитни. Внутри- и межгрупповые различия считались достоверными при $p \leq 0,05$ [32]. Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel и программного пакета «STATISTICA – 8.0».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что однократное воздействие мм-излучения приводит к локальным изменениям процессов микроциркуляции, то есть к тем изменениям, которые отмечались лишь в области локализации КВЧ-волновода (ЭИТ). В частности, в ЭИТ отмечалось увеличение A_m в течение всего периода экспозиции, начиная с первых минут в среднем на 42,00% ($p \leq 0,01$) в сравнении с данными, зарегистрированными в КИТ (рис. 2). Поскольку A_m характеризует активность миоцитов прекапиллярных сфинктеров и прекапиллярных метартериол и является ведущим механизмом регуляции числа функционирующих кожных капилляров [17], следовательно, увеличение этого показателя указывает на снижение периферического сопротивления в прекапиллярах и увеличение количества функционирующих кожных капилляров под влиянием мм-излучения. Подтверждением этому является снижение M_T в первые 20 минут экспозиции ЭМИ КВЧ и ПШ на 27,70% ($p \leq 0,01$) и 21,00% ($p \leq 0,01$) соответственно, в сравнении с данными, зарегистрированными в КИТ. Поскольку M_T является последним звеном контроля микрокровотока перед капиллярным руслом [22], то его снижение, также как и снижение ПШ, указывает на увеличение диаметра прекапилляров, что при определенном давлении потока крови содействует направленному току крови в капиллярное русло.

Кроме того, начиная с 20-ой минуты однократного воздействия ЭМИ КВЧ, в ЭИТ отмечалось увеличение A_z на 18,85% ($p \leq 0,05$) (рис. 2). Поскольку известно, что медленные колебания вблизи 0,01 Гц ритма синхронизированы с периодическим релизингом NO эндотелием сосудов [24], обеспечивающим физиологическую регуляцию тонуса гладких мышц сосудов, следовательно, увеличение A_z свидетельствует об увеличении функциональной активности микрососудистого эндотелия, а, соответственно, и о большем выбросе NO в микрососудистое русло [22].

Вероятно, именно эти изменения показателей тканевого кровотока способствовали увеличению уровня перфузии в среднем на 31,28% ($p \leq 0,05$).

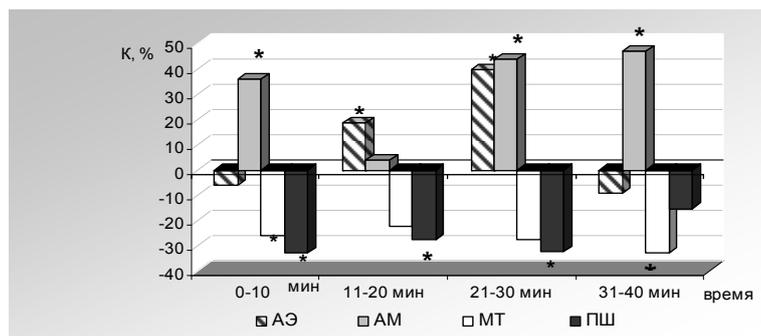


Рис. 2. Коэффициент сдвига (К, %) показателей микроциркуляции в области ЭИТ во время и после однократного сеанса КВЧ-воздействия относительно значений, зарегистрированных в контрольно-измерительной точке.

Примечание: АЭ – амплитуды эндотелиальных ритмов, АМ – амплитуды миогенных ритмов, МТ – миогенный тонус, ПШ – показатель шунтирования.

Вместе с тем, отмечаемое увеличение АМ на 40,00% ($p < 0,05$) при регистрации последствия ЭМИ КВЧ, свидетельствует о том, что интенсификация нутритивного кровотока отмечалась и после воздействия физическим фактором.

ВЫВОД

Таким образом, однократное воздействие ЭМИ КВЧ приводит к местному (локальному) увеличению количества функционирующих кожных капилляров, снижению периферического сопротивления и доминированию нутритивного кровотока на фоне депрессии шунтового, а также увеличению функциональной активности микрососудистого эндотелия.

Список литературы

- 1 Использование глубинной интегральной радиотермометрии для оценки изменения микроциркуляции при КВЧ-терапии у больных с деформирующим артрозом тазобедренного сустава и болезнью Переса / Н.Б. Капустина, А.В. Корнаухов, А.Г. Полякова [и др.] // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского. – 2001. – №2 (4). – С. 46–52.
- 2 Rubik B. The biofield hypothesis: Its biophysical basis and role in medicine. / B. Rubik // J. Altern. Complement Med. – 2002. – № 8. – P. 703–717.
- 3 Shupak N. Therapeutic uses of pulsed-magnetic-field exposure: A review. / N. Shupak // Radio Sci Bull. – 2003. – № 307. – P. 9–32.
- 4 Smith T. Microcirculatory effects of pulsed electromagnetic fields. / T. Smith, D. Wong-Gibbons, J.J. Maultsby // Orthop. Res. – 2004. – № 22. – P. 80–84.
- 5 Eccles N. A critical review of randomized controlled trials of static magnets for pain relief. / N. Eccles // J. Altern. Complement Med. – 2005. – № 11. – P. 495–509.
- 6 Carpenter L. Neurostimulation in resistant depression. / L. Carpenter // J. Psychopharmacol. – 2006. – № 20. – P. 35–40.
- 7 Силантьева Е.С. Лечение хронического воспаления придатков матки (гемодинамические аспекты КВЧ-терапии) : автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. мед. наук: спец. 14.00.01 "Акушерство и гинекология" / Е.С. Силантьева – М., 2000. – 20 с.

- 8 Букатко В.Н. Лазерная доплеровская флоуметрия в изучении эффектов миллиметровой волновой терапии / В.Н. Букатко, С.А. Данилова // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2004. – №4(36). – С. 28–39.
- 9 Самойлова А.К. Улучшение микроциркуляции крови у больных диабетом после локального облучения полихроматическим видимым и сочетанным видимым и ближним инфракрасным светом / А.К. Самойлова, М.А. Меншутина, Н.А. Жеваго // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. – Т. 5. – С. 69–77.
- 10 Кораблин П.Н. Нарушения микроциркуляции у больных пневмонией и их коррекция с применением низкоинтенсивного лазерного излучения : автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. мед. наук: спец. 14.00.05 "Внутренние болезни" / П.Н. Кораблин. – Иваново, 2008. – 22 с.
- 11 Extremely low frequency pulsed electromagnetic field designed for antinociception does not affect microvascular responsiveness to the vasodilator acetylcholine / C.J. McKay, M. Corbacio, K. Tyml [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2009. – Vol. 31, №1. – P. 64–76.
- 12 Бурлакова Е.Б. Эффект сверхмалых доз / Е.Б. Бурлакова // Вестник РАН. – 1994. – Т. 64, № 5. – С. 425–431.
- 13 Терапия электромагнитными волнами миллиметрового диапазона (КВЧ-терапия, МРТ, ИВТ) / И.З.Самосюк, Н.В. Чухраев, Г.Е. Шишков [и др.] // Научно-практические материалы по применению физических факторов в клинической и курортной практике. – 1999. – №1, 2. – С. 22–34.
- 14 Субботина Т.И. Экспериментально-теоретическое исследование КВЧ-облучения открытой печени прооперированных крыс и поиск новых возможностей высокочастотной терапии / Т.И. Субботина, А.А. Яшин // Вестник новых медицинских технологий. – 1998. – Т. 5., №1. – С. 122–126.
- 15 Active and passive modulation of cutaneous red cell flux as measured by Laser Doppler anemometry / H. Schmid-Schonbein, S. Zied, W. Rutten [et al.] // VASA. – 1992. – Vol.34. – P. 38–47.
- 16 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. Microcir. – 1997. – №17. – P. 346–359.
- 17 Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system. / A. Stefanovska, M. Bracic // Contemporary Physics. – 1999. – Vol. 40, №1. – P.31–35.
- 18 Козлов В. И. Лазерная доплеровская флоуметрия и анализ коллективных процессов в системе микроциркуляции / В.И. Козлов, Л.В. Корси, В.Г. Соколов // Физиология человека. – 1998. – Т. 24., №6. – С.112.
- 19 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.
- 20 Пономарева В.П. Роль индивидуального профиля функциональной асимметрии человека и животных в реализации физиологического действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты : автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук: спец. 03.00.13 "Физиология человека и животных" / В.П. Пономарева – Симферополь, 2004. – 26 с.
- 21 Метод лазерной доплеровской флоуметрии. Пособие для врачей: [учеб. пособие/ Под ред. Козлов В.И., Мач Э.С., Литвин Ф.Б. и др.] – М.: Медицина, 1999. – 48 с.
- 22 Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии. Пособие для врачей / [В.И. Маколкин, В.В. Бранько, Э.А. Богданова и др.]. – М.: Россельхозакадемия, 1999. – 48 с.
- 23 Крупаткин А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М.: Медицина, 2005 – 254 с.
- 24 Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandins / P. Kvandal, A. Stefanovska, M. Veber [et al.] // Microvascular Research. – 2003. – Vol. 65. – P. 160–171.
- 25 Гомазков О.А. Молекулярные и физиологические аспекты эндотелиальной дисфункции. Роль эндогенных химических регуляторов / О.А. Гомазков // Успехи физиол. наук. – 2000. – Т. 31, № 4. – С. 48–62.
- 26 Функциональное состояние эндотелия у больных артериальной гипертензией и ишемической болезнью сердца / Д.А.Затейщиков, Л.О. Минушкина, О.Ю. Кудряшова [и др.] // Кардиология. – 2000. – Т. 40, №2. – С. 14–17.
- 27 Внутриклеточные сигнальные системы в эпителий- и эндотелийзависимых процессах расслабления гладких мышц. / Л.В. Капилевич, И.В. Ковалев, М.Б. Баскаков [и др.] // Успехи физиол. наук. – 2001. – Т. 32, № 2. – С. 88–98.

- 28 Oscillations in the human cutaneous blood perfusion signal modified by endothelium-dependent and endothelium-independent vasodilators / H.D. Kvermmo, A. Stefanovska, K.A. Kirkeboen [et al.] // *Microvascular Research*. – 1999. – Vol. 57. – P. 298–309.
- 29 Вильчук К.У. Функциональные пробы, применяемые в диагностике дисфункции эндотелия: метод. рекомендации / Вильчук К.У., Максимович Н.А., Максимович Н.Е. – Гродно, 2001. – 33с.
- 30 Early decrease of skin blood flow in response to locally applied pressure in diabetic subjects / B. Fromy, P. Abraham, C. Bouvet [et al.] // *Diabetes*. – 2002. – Vol. 51. – P. 1214–1217.
- 31 Mechanisms of the coetaneous vasodilator response to local external pressure application in rats: involvement of CGRP, neurokinins, prostaglandins and NO / B. Fromy, S. Merzeau, P. Abraham [et al.] // *British Journal of Pharmacology*. – 2000. – №131. – P. 1161–1171.
- 32 Боровиков В.П. *Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд.* / Боровиков В.П. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
- 33 Kvandal P. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostangladines / P. Kvandal, A. Stefanovska, M. Veber [et al.] // *Microvascular Research*. – 2003. – Vol. 65. – P. 160–171.

Трибрат Н.С. Модуляція мікроциркуляторних процесів за допомогою низькоінтенсивного міліметрового випромінювання / Н.С. Трибрат, О.М. Чуян // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62), № 3. – С. 167-175.

Методом лазерної доплерівської флоуметрії показано, що низькоінтенсивне ЕМВ НВЧ надає вираженого впливу на процеси мікроциркуляції крові в шкірі людини, що супроводжується змінами неосциляторних та осциляторних характеристик базального кровотоку й показників мікросудинного тону. Одноразова дія ЕМВ НВЧ призводить до місцевого зниження периферичного опору та домінування нутритивного кровотоку на тлі депресії шунтового на користь чого свідчать збільшення амплітуд міогенних та ендотеліальних осциляцій тканинного кровотоку на фоні зниження міогеного тону та показника шунтування лише в ділянці локалізації НВЧ-впливу. Багаторазова дія ЕМВ НВЧ надає вираженого впливу на зміну як неосциляторних, так і осциляторних показників, що характеризують активні й пасивні фактори регуляції мікроциркуляторних процесів, наслідком чого є збільшення вироблення вазодилаторів, зниження периферичного опору артеріол та прекапілярів, збільшення приливу крові до мікросудин на тлі поліпшення веноулярного відтоку. У механізмах дії низькоінтенсивного ЕМВ НВЧ на мікроциркуляторні процеси основну роль відіграють ендотеліальні, міогенні, ендотеліальні-незалежні й нейрогенні компоненти регуляції тканинного кровотоку.
Ключові слова: низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання міліметрового діапазону, мікроциркуляція, лазерна доплерівська флоуметрія.

Tribrat N.S. Modulation of microcirculation processes with the help of low millimeter radiation / N.S. Tribrat, E.N. Chuyan // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – Vol. 23 (62), No 3. – P. 167-175.

Using the method of laser Doppler flowmetry it was shown that low-intensity EHF EMR has a gross effect on the processes of microcirculation in human skin, wich expressed in a change of nonoscillatory and oscillatory characteristics of basal blood flow and indices of microvascular tone. Momentary influence of EHF EMR leads to a local decrease in peripheral resistance and domination of nutritional blood flow in the shunt one against depression in favor of which indicate an increase in the amplitudes of myogenic and endothelial tissue blood flow oscillations indicate the against background of a decrease myogenic tone and indicator shunt only in the localization of EHF exposure. Repeated exposure EHF EMR has a shiking effect on the change of nonoscillatory and oscillatory indicators of passive and active regulation factors of microcirculatory processes resulting in an increase in the production of vasodilators, decrease in peripheral resistance in the arterioles and precapillares, increase blood flow in the microvascular against the background improved venular outflow. In the mechanisms of action of low-intensity EHF EMR on microcirculatory processes the main role belongs to endothelium-dependent, endothelium-independent myogenic and neurogenic components of the regulation of tissue blood flow.

Keywords: microcirculation, electromagnetic radiation of the millimetric range, method of laser Doppler flowmetry.

Поступила в редакцію 11.10.2010 г.