

УДК 612.821

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ ВО ВРЕМЯ ДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Чуян Е.Н., Трибрат Н.С., Раваева М.Ю., Древетняк Н.А.

Показано, что в процессе однократного воздействия мм-волн происходит изменение показателей микроциркуляции в области непосредственного локального КВЧ-воздействия. Выявлено, что в области КВЧ-воздействия происходит перераспределение потока крови в пользу доминирования нутритивного кровотока. Показано, что первыми на воздействие ЭМИ КВЧ реагируют тонус-зависимые компоненты регуляции микроциркуляторного русла.

Ключевые слова: низкоинтенсивное электромагнитное излучение крайне высокой частоты, микроциркуляция крови, метод лазерной доплеровской флоуметрии.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что электромагнитные излучения (ЭМИ) различных диапазонов обладают выраженной биологической активностью, в частности способствуют изменению процессов микроциркуляции. Однако сведения, представленные в литературе по этому вопросу весьма немногочисленны и крайне противоречивы. Так, ряд работ свидетельствует о вазодилататорном эффекте влияния ЭМИ [1], другие сообщают о вазоконстрикторном действии [2]. Существуют и такие исследования, в которых не было отмечено изменения перфузии [3]. Эти противоречия и невоспроизводимость результатов, вероятно, связаны с рядом факторов. Во-первых, известно, что величина биологического эффекта, или биотропность, связана с параметрами ЭМИ (частота, интенсивность, экспозиция, модуляция). Во-вторых, биологическая эффективность ЭМИ зависит от биологического объекта: ткани и органы человека и животных *in vitro* [4], организма – *in vivo*. Однако следует отметить, что в полной мере чувствительность к ЭМИ проявляется только у целостных организмов и значительно снижается у изолированных органов и тканей [5]. В-третьих, указанные противоречия могут быть вызваны с использованием различной измерительной аппаратуры для оценки показателей микроциркуляции и, как следствие, различными исследуемыми параметрами капиллярного кровотока. Кроме того, при изучении влияния ЭМИ на капиллярный кровоток во многих исследованиях применялись инвазивные методы исследования микроциркуляторного русла, что потребовало фиксации исследуемого объекта и/или дополнительного применения различных анестетиков, которые, в свою очередь, вполне могли исказить ответ со стороны капиллярного кровотока на действие ЭМИ. Таким образом, исследования, посвященные влиянию ЭМИ на микроциркуляторное русло, являются трудновоспроизводимыми и

несопоставимыми. Отсюда и большой процент скептицизма среди ученых в отношении терапевтического использования ЭМИ.

Обращает на себя внимание и тот факт, что подавляющее большинство исследований проводилось после воздействия ЭМИ [6]. Во многом это обусловлено методическими трудностями, связанными как с использованием инвазивных или косвенных методов измерения показателей микрокровотока, так и вмешательством сигналов со стороны ЭМИ на измерительную аппаратуру, что требует разделения во времени облучения ЭМИ и регистрации микроциркуляторного ответа. Вместе с тем, регистрация изменений процессов микроциркуляции, происходящих непосредственно во время облучения ЭМИ, способствовала выявлению времени возникновения и характера, что могло бы привнести определенный вклад в более глубокое понимание механизмов биологического действия этого физического фактора. Поэтому актуальным является поиск нового методического подхода, позволяющего проводить исследования микроциркуляции крови во время облучения ЭМИ. Поставленная задача может быть реализована в случае применения в экспериментальной работе низкоинтенсивного ЭМИ, которое не оказывает влияния на формирование сигналов измерительной аппаратуры, в частности, использования низкоинтенсивного ЭМИ крайне высокочастотного (КВЧ) или миллиметрового (мм) диапазона, которое, как было показано в наших предыдущих исследованиях [7], при курсовом применении оказывает выраженное влияние на процессы микроциркуляции.

Среди измерительных методов, не оказывающих влияние на течение микроциркуляторных процессов, признаны оптические методы исследования кровотока [8]. В настоящее время большую популярность в клинической и экспериментальной практике приобретает метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), позволяющий неинвазивно получить информацию как о параметрах перфузии микрососудов, так и о их регуляции со стороны активных и пассивных механизмов [9]. Особое значение имеет тот факт, что проникающая способность КВЧ-излучения (до 1 мм внутрь кожи) и лазерного луча при оптическом зондировании методом ЛДФ (1 мм³) практически совпадают, что позволяет считать данный метод наиболее предпочтительным для выявления биологических эффектов мм излучения в микроциркуляторном русле. В связи с вышеизложенным, целью данной работы явилось изучение изменений процессов микроциркуляции во время действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ методом ЛДФ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 20 студентов-волонтеров женского пола в возрасте 18-20 лет, условно здоровых. Все испытуемые подвергались однократному экспериментальному действию низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ с помощью терапевтического генератора «КВЧ. РАМЕД. ЭКСПЕРТ-01» (длина волны = 7,1 мм, плотность потока мощности – 0,1 мВт/см²) (регистрационное свидетельство № 783/99 от 14.07.99, выданное КНМТ МОЗ Украины о праве на применение в медицинской практике в Украине). Воздействие осуществлялось однократно в течение 30 минут, волновод накладывался на область биологически активной точки

(БАТ) GI-4 правой руки (рис. 1), поскольку как показано в наших [10] и других исследованиях [11], существует функциональная асимметрия, связанная с тем, что биологические эффекты ЭМИ КВЧ более выражены при воздействии на правую руку (правый плечевой устав).

Известно, что точки акупунктуры как локальные кожные образования, имея определенную структуру, и, обладая определенными функциональными и биофизическими свойствами, выполняют сенсорную функцию и запускают сложные рефлекторные механизмы [12]. Современные анатомо-морфологические исследования кожи в области БАТ показали присутствие здесь сосудов микроциркуляторного русла, инкапсулированных миелинизированных нервных окончаний, соединительной ткани с высоким содержанием тучных клеток, тканевых базофилов, богатых гранулами [13], т.е. тех образований, которые и являются основными мишенями для мм-волн [14]. Кроме того, выбор точки GI-4 обусловлен тем, что данная точка является одной из основных общеукрепляющих БАТ, причем стимуляция данной точки регулирует работу центральной и вегетативной нервных систем, в частности управляет артериальным давлением, сердечным ритмом [12].

В целях изучения изменения процессов микроциркуляции крови под влиянием КВЧ-воздействия использовался метод ЛДФ, основанный на оптическом зондировании тканей монохроматическим излучением и анализе частотного спектра сигнала, отраженного от движущихся эритроцитов. ЛДФ-метрию осуществляли лазерным анализатором кровотока «ЛАКК-02» во втором исполнении (производство НПП «Лазма», Россия) с двумя источниками лазерного излучения, работающими на длине волны 0,8 мкм, причем один из ЛДФ-зондов фиксировался в области БАТ GI-4 левой руки (контрольно-измерительная точка (КИТ)), а второй – на области БАТ GI-4 правой руки (экспериментально измерительная точка (ЭИТ)) – область воздействия ЭМИ КВЧ (рис. 1, А).

Известно, что регистрация биофизических показателей в репрезентативных точках акупунктуры предоставляет информацию как об исходном функциональном состоянии организма, так и об изменениях, происходящих в процессе применения ЭМИ КВЧ [15].

Испытуемые во время исследования находились в положении лежа. Исследование состояния микроциркуляции проводили в течение 50-ти минут. Этот временной период включал в себя 10-тиминутную фоновую запись ЛДФ-граммы (до КВЧ-воздействия), последующую 30-тиминутную запись ЛДФ-граммы непосредственно во время КВЧ-воздействия и регистрацию эффекта последствия сразу после облучения мм-волнами в течение 10-ти минут (рис. 1, Б.). Зарегистрированная во время действия ЭМИ КВЧ 30-тиминутная ЛДФ-грамма, была разделена на три 10-тиминутных интервала с целью дальнейшей детальной обработки осцилляций тканевого кровотока в разные временные периоды КВЧ-воздействия.



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

В целях изучения изменения процессов микроциркуляции исследовали следующие показатели базального кровотока:

М (перф.ед.) – показатель микроциркуляции, характеризующий общую (капиллярную и внекапиллярную) усредненную стационарную перфузию микрососудов за время исследования [16];

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

Кв (%) – коэффициент вариации, который вычисляли по формуле:

$$K_v = \text{СКО} / M * 100\% \quad (1)$$

Метод ЛДФ представляет уникальные диагностические возможности оценить микрососудистый тонус, применяя амплитудно-частотный анализ колебаний кровотока [17].

С помощью вейвлет-анализа, позволяющего более точно оценить усредненную максимальную амплитуду низкочастотных осцилляций [18] определяли нормированные по σ амплитуды колебаний кровотока разных частотных диапазонов (табл. 1), которые связаны с активными и пассивными механизмами регуляции микрокровотока. Величины нормированных амплитуд рассчитывали по формуле:

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

где А – амплитуда колебаний в любом диапазоне от 0,02 – 2 Гц [9].

Нейрогенный тонус резистивных микрососудов (НТ), отображающий активность α -адренорецепторов мембраны ключевых и отчасти сопряженных

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ ВО ВРЕМЯ

гладкомышечных клеток рассчитывали по формуле:

$$HT = \frac{\sigma \cdot P_{cp}}{A_n \cdot M}, \quad (3)$$

где σ - среднее квадратичное отклонение показателя микроциркуляции, P_{cp} – среднее артериальное давление, A_n – наибольшее значение амплитуды колебаний перфузии в нейрогенном диапазоне.

Таблица 1.

Амплитудно-частотные характеристики осцилляций кожного кровотока

Механизмы регуляции микрокровотока	Название основных ритмов колебаний тканевого кровотока	Частотный диапазон	Физиологическое значение
Пассивные	Пульсовые волны (сердечные волны, cardio frequency), Ас	0,8-0,16 Гц [9, 22]	Присутствуют как в приносящем звене микрососудистого русла, так и в капиллярах. Их амплитуда отражает перфузионное давление в микрососудах, обусловленное как сердечным выбросом, перепадами систолического и диастолического давления, так и влиянием посткапиллярного сопротивления [19].
	Дыхательные волны (респираторно-связанные колебания, high frequency), Ад	0,15-0,4 Гц [9]	Связаны с дыхательной модуляцией веноулярного кровотока, так и с респираторными влияниями на вегетативное обеспечение деятельности сердца. [19]
Активные	Эндотелиальные колебания, Аэ	0,0095-0,02 Гц [19]	Обусловлены секреторной активностью эндотелия, а именно выбросом вазодилатора NO [20].
	Нейрогенные колебания, Ан	0,02-0,046 Гц [21, 17]	Связаны с симпатическими адренергическими (в основном терморегуляторными) влияниями на гладкие мышцы артериол и артериолярных участков артериоло-веноулярных анастомозов [17, 21].
	Миогенные колебания, Ам	0,07-0,15 Гц [22]	Обусловлены внутренней активностью прекапиллярных сфинктеров и прекапиллярных метартериол [19]

Миогенный тонус (МТ) метартериол и прекапиллярных сфинктеров определяли следующим образом:

$$MT = \frac{\sigma \cdot P_{\text{ср}}}{A_m \cdot M}, \quad (4)$$

где A_m – наибольшее значение амплитуды колебаний перфузии в миогенном диапазоне.

Кроме того, для оценки шунтового кровотока использовали показатель шунтирования (ПШ), который вычислялся по формуле:

$$ПШ = MT/HT = A_n/A_m \quad (5)$$

Одним из недостатков показателей микроциркуляции, выявляемых методом ЛДФ-метрии, является то, что они характеризует общую микрососудистую перфузию, а не только ее транскапиллярный нутритивный компонент. Это ограничивает использование и затрудняет трактовку показателей ЛДФ в клинико-физиологических исследованиях. Поэтому были предложены формулы для расчета объемных показателей микрокровотока, используя данные метода ЛДФ [9]. Причем при сравнении объемных показателей, рассчитанных на основе показателей ЛДФ-метрии, с результатами капилляроскопии показана достоверная положительная корреляция [16], что позволяет использовать объемные параметры ЛДФ в экспериментальной и клинической практике.

Оценивали следующие объемные показатели микроциркуляции: общий объемный кровоток (ООК, перф.ед./мм.рт.ст.), объемный нутритивный кровоток (ОНК, перф.ед./мм.рт.ст), объемный шунтовой кровоток (ОШК, перф.ед./мм.рт.ст.) по следующим формулам:

$$ООК = (M \cdot A_{\text{макс}} \cdot A_c) / \text{СКО}, \quad (6)$$

где $A_{\text{макс}}$ – максимальное значение амплитуды осцилляций тканевого кровотока в активном диапазоне, A_c – наибольшее значение амплитуды пульсовых колебаний;

$$\text{ОНК} = \text{ООК} / \text{ПШ} \quad (7)$$

$$\text{ОШК} = \text{ООК} - \text{ОНК} \quad (8)$$

Для сглаживания влияния исходного уровня значений исследуемых показателей микроциркуляции на их изменение при действии ЭМИ КВЧ оценивали величину сдвига зарегистрированных величин к фоновым значениям, рассчитывая коэффициент сдвига (К, %) по формуле:

$$K = (X_{\text{э}} - X_{\text{ф}}) / X_{\text{ф}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где $X_{\text{э}}$ – значения показателей микроциркуляции, зафиксированные при действии ЭМИ КВЧ; $X_{\text{ф}}$ – значения показателей микроциркуляции, зафиксированные до КВЧ-воздействия.

По аналогичной формуле вычисляли коэффициент сдвига значений каждого показателя микроциркуляции в ЭИТ по отношению к значениям, зарегистрированным в области КИТ:

$$K = (K_{\text{эит}} - K_{\text{кит}}) / K_{\text{кит}} \cdot 100\% \quad (10)$$

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием пакета «STATISTICA 5.5». Оценка достоверности для внутригрупповых различий осуществлялась с использованием критерия Вилкоксона, для сравнения межгрупповых различий – с использованием критерия Манна-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первые 10 мин ЛДФ-метрии в области КИТ не было зарегистрировано достоверных изменений за исключением снижения уровня СКО на 5,56 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с фоновым значением данного показателя (рис. 2). Так как СКО отражает вариабельность тканевого кровотока, уменьшение значения данного показателя свидетельствует о снижении модуляции кожной микроциркуляции в области КИТ, что может быть связано с длительным положением покоя, в котором находились испытуемых.

Совершенно другие изменения показателей микроциркуляции по отношению к исходным значениям наблюдались в области ЭИТ, на которую осуществлялось КВЧ-воздействие. В частности, было показано увеличение амплитуды миогенных колебаний на 28,21% ($p \leq 0,05$) (рис. 4), на фоне которого происходило снижение МТ и ПШ на 17,86% ($p \leq 0,05$) и 27,29% ($p \leq 0,05$) соответственно (рис. 3).

Полученные результаты свидетельствуют, что изменения показателей микроциркуляции в ЭИТ наблюдались не только по отношению к фоновым значениям, но и к значениям, зафиксированным в области КИТ (рис. 5). Следует отметить, что изменения исследуемых показателей в ЭИТ по отношению к КИТ в большинстве своем повторяли изменения, зафиксированные в области ЭИТ в сравнении с фоновыми данными. Так, было показано, что в течение первых 10-ти минут КВЧ-воздействия в области ЭИТ наблюдалось увеличение амплитуды миогенных колебаний на 36,09 ($p \leq 0,05$), на фоне которого происходило снижение МТ и ПШ на 26,28% ($p \leq 0,05$) и 32,98% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Известно, что осцилляции миогенного диапазона отображают активность миоцитов прекапиллярных сфинктеров и прекапиллярных метартериол и являются ведущим механизмом регуляции числа функционирующих кожных капилляров [19, 23]. Кроме того, выявлена положительная корреляция числа функционирующих капилляров, по данным капилляроскопического исследования, с амплитудой миогенных колебаний по ЛДФ-метрии [16]. Поэтому увеличение данного показателя свидетельствует об увеличении числа функционирующих капилляров, вазодилатации прекапилляров, и, как следствие, [16], усилении нутритивного кровотока. Подтверждение этому является снижением МТ, который является последним звеном контроля микрокровотока перед капиллярным руслом [9], следовательно, снижение данного показателя, наблюдавшееся в первые 10 мин КВЧ-воздействия, указывает на преобладание нутритивного кровотока. В связи с этим, закономерным явилось и снижение ПШ, отражающего относительную долю шунтового кровотока в общей локальной гемодинамике, отмечавшееся в этот же временной период.

Таким образом, результаты, полученные во время 10-тиминутного КВЧ-воздействия в области ЭИТ в сравнении с данными, зарегистрированными в области КИТ указывают на доминирование нутритивного кровотока. О целенаправленном движении крови в нутритивное звено свидетельствует и достоверное снижение объемного параметра - ОШК на 94,81% ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям соответствующих показателей, зарегистрированных в области КИТ.

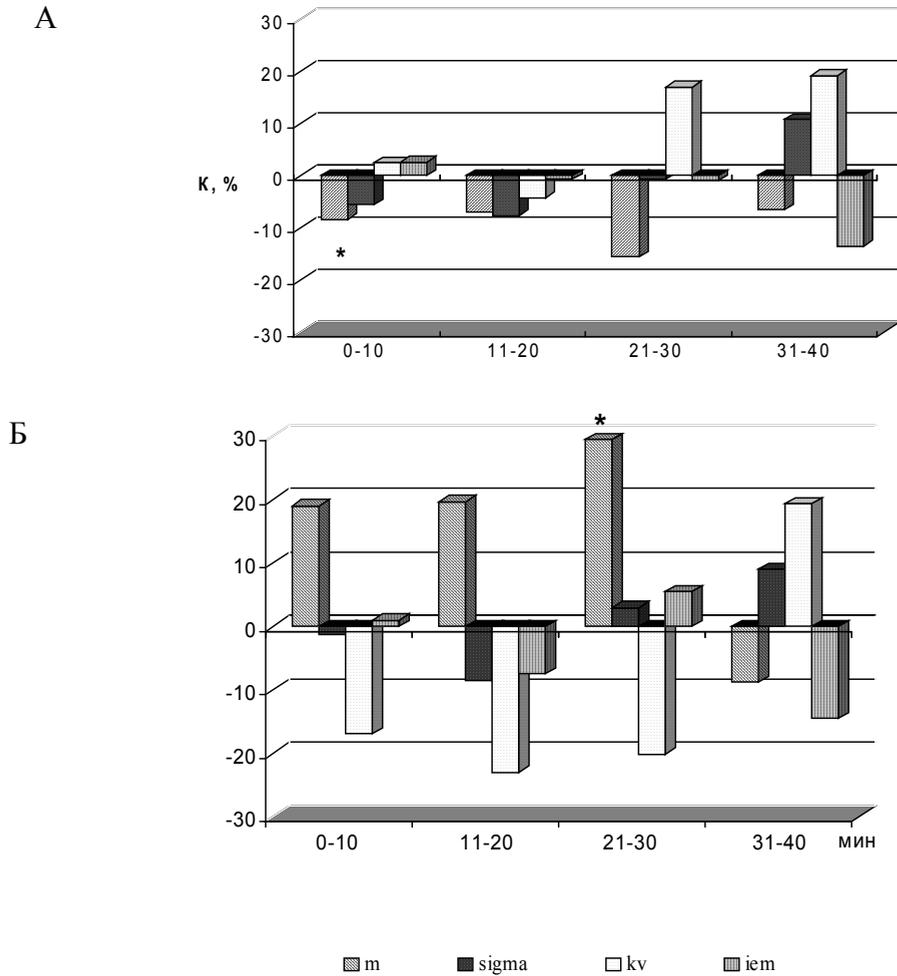


Рис. 2. Коэффициент сдвига (K, %) показателей базального кровотока в области контрольной (А) и экспериментальной (Б) БАТ относительно значений, зарегистрированных до КВЧ-воздействия.

Примечание:

*- достоверность различий ($p \leq 0,05$) в области ЭИТ относительно значений, зарегистрированных до КВЧ-воздействия по критерию Вилкоксона

Следовательно, в первые 10 минут КВЧ-воздействия наблюдалось увеличение амплитуды миогенных колебаний на фоне снижения МТ и ПШ, что свидетельствует о вазодилатации и увеличении количества функционирующих капилляров и, как следствие, перераспределении крови в нутритивное русло.

При дальнейшем исследовании в период с 10-ой по 20-ую мин в области КИТ

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ ВО ВРЕМЯ

достоверных изменений не было обнаружено, в то время как в области ЭИТ правой руки были зафиксированы изменения относительно фоновых значений. В частности, наблюдалось снижение МТ и ПШ на 7,72% ($p \leq 0,05$) и 12,88% ($p \leq 0,05$), что на 10,14% и 14,41% меньше, чем снижение значений данных показателей в первые 10 мин соответственно (рис. 3). Наряду с этим, происходило увеличение амплитуды миогенных колебаний на 15,51% ($p \leq 0,05$) по сравнению с исходными значениями, зафиксированными в ЭИТ (рис. 4).

В то же время в ЭИТ наблюдалась активация иного регуляторного компонента – амплитуд осцилляций эндотелиального генеза, которые в среднем увеличивались на 18,85% ($p \leq 0,05$) по отношению к данным этого показателя в области КИТ (рис. 3).

Известно, что медленные колебания вблизи 0,01 Гц обусловлены выделением эндотелием сосудов оксида азота (NO) [20], обеспечивающего физиологическую регуляцию тонуса гладких мышц сосудов и играющего важную роль в регуляции давления и распределении потока крови.

Временные интервалы	области локализации	НТ	МТ	ПШ
0-10 мин	КИТ	↓	↑	↑
	ЭИТ	↑		
10-20 мин	КИТ	↓	↑	↑
	ЭИТ	↑		
20-30 мин	КИТ	↓	↑	↑
	ЭИТ	↓		
40-50 мин	КИТ	↓	↓	↓
	ЭИТ	↓		↑

Рис. 3. Схема изменения тонусов микроциркуляции в обследуемых областях в разные временные интервалы.

Примечание:

↓, ↑ - – тенденция к изменению показателей микроциркуляции во время эксперимента

 – достоверные изменения показателей микроциркуляции ($p_2 \leq 0,05$), зарегистрированные в ЭИТ по отношению к КИТ во время КВЧ-воздействия.

 – достоверные изменения показателей микроциркуляции ($p_2 \leq 0,05$), по отношению к фоновым значениям как в области КИТ, так и в области ЭИТ во время эксперимента.

Таким образом, с 10-ой по 20-ую мин воздействие мм-волнами способствовало достоверному увеличению амплитуды эндотелиальных колебаний

относительно значений этого показателя, зарегистрированного в области КИТ, и росту миогенных колебаний (рис. 5) на фоне снижения МТ и ПШ относительно исходных значений, зарегистрированных в области ЭИТ правой руки, что способствует увеличению объемных показателей.

При увеличении времени ЛДФ-метрии до 30-ти мин в области КИТ левой руки было зарегистрировано увеличение ПШ на 21,34% ($p \leq 0,05$) по отношению к фоновым значениям, что указывает на преобладание шунтового кровотока в области контрольной БАТ.

Временные интервалы	области локализации	АЭ	АН	АМ	АД	АС
0-10 мин	КИТ	↑	↑	↑	↓	↑
	ЭИТ	↓	↓	↑	↑	↓
10-20 мин	КИТ	↓	↑	↑	↓	↑
	ЭИТ	↑	↓	↑	↑	↑
20-30 мин	КИТ	↓	↑	↓	↑	↑
	ЭИТ	↑	↓	↑	↑	↑
40-50	КИТ	↓	↑	↑	↓	↑
	ЭИТ	↓	↑	↑	↑	↑

Рис. 4 Схема изменения амплитудных осцилляций показателей микроциркуляции в обследуемых областях в разные временные интервалы.

Примечание: подписи те же, что и в рис. 3.

В области ЭИТ правой руки были зафиксированы более значительные изменения показателей микроциркуляции по отношению к исходным данным. Так, было зарегистрировано увеличение уровня перфузии на 29,43% ($p \leq 0,05$), отражающего усредненную величину перфузии в капиллярах, артериолах и венулах. Известно, что характер изменения величины М определяется различными факторами, в частности физическими характеристиками прибора, скоростью движения эритроцитов, величиной тканевого гематокрита, а также количеством функционирующих капилляров [23]. Последнее, в частности, обуславливается вариациями изменений внутреннего диаметра сосудов, что, в свою очередь, контролируется активными механизмами контроля капиллярного кровотока, реализуемых через ее мышечный компонент [21]. Поэтому такое увеличение перфузии, вероятно, связано с максимальным увеличением вклада эндотелиальных колебаний, увеличение которых составило 39,81% ($p \leq 0,05$), а также со значительным ростом амплитуды миогенных колебаний на 26,17% ($p \leq 0,05$) относительно исходных значений этих показателей. Кроме того, в период с 20-ой по 30-ую минуты наблюдалось снижение ПШ на 12,08% ($p \leq 0,05$).

Подобные изменения были зарегистрированы в ЭИТ и по отношению к значениям, зафиксированным в КИТ. Так, наблюдалось увеличение уровня

перфузии М на 23,86% ($p \leq 0,05$). Прирост амплитуд эндотелиальных и миогенных колебаний составил 39,97% ($p \leq 0,05$) и 44,06% ($p \leq 0,05$ соответственно (рис 5). Очевидно, что медленные эндотелиальные колебания, осуществляющие модуляцию мышечного тонуса сосудов секрецией в кровь периодически изменяющихся концентраций вазоактивных субстанций, в частности NO, привели к вазорелаксации, что привнесло свой вклад в увеличение уровня перфузии, наблюдавшегося в этот временной период КВЧ-воздействия. Увеличение амплитуд миогенных колебаний, в свою очередь, свидетельствует о снижении периферического сопротивления, прекапиллярной вазорелаксации и, следовательно, об увеличении количества функционирующих капилляров [9].

Следствием увеличения амплитуд миогенных колебаний явилось снижение МТ на 27,91% ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям этого показателя, зарегистрированным в области КИТ (рис. 5). Наряду с этим происходило снижение ПШ на 32,36% ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям соответствующих показателей в контрольной области.

Об увеличении нутритивного кровотока в период с 20-ой по 30-ую минуту КВЧ-воздействия свидетельствует увеличение ОНК на 70,56% ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям соответствующих показателей, зарегистрированных в области КИТ (рис. 5). Показано, что величина ОНК прямо коррелирует с капилляроскопическими параметрами - объемной скоростью венолярного отдела капилляров, средней объемной скоростью капиллярной петли в целом [16]. Указанные корреляционные связи подтверждают, что ЛДФ-показатель ОНК отражает объемную скорость кровотока в нутритивных микрососудах, увеличение которой свидетельствует об активации обменных процессов.

Следовательно, наибольшие изменения показателей микроциркуляции в зоне КВЧ-воздействия были зарегистрированы при увеличении экспозиции до 30-ти минут, что проявилось в максимальном увеличении нутритивного кровотока, вследствие усиления миогенных и эндотелиальных осцилляций микроциркуляторного русла кожи, что обусловило депрессию шунтового кровотока, и наряду с возрастанием перфузии привело к росту объемных характеристик микрогемодинамики, в частности ОНК. Указанные изменения свидетельствуют об увеличении притока крови в капиллярное русло, существенной модуляции микроциркуляторных процессов, усилению обменных процессов под влиянием мм-излучения.

Интенсификация нутритивного кровотока продолжала сохраняться и после КВЧ-воздействия, что подтверждается увеличением амплитуды миогенных колебаний в области ЭИТ не только по отношению к исходным значениям на 23,69% ($p \leq 0,05$), но и при сравнении с данным, зарегистрированными в КИТ на 47,45% ($p \leq 0,01$). Закономерным явилось снижение МТ на 32,94% ($p \leq 0,02$) и ОШК на 93,59% ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям соответствующих показателей, зарегистрированных в области КИТ (рис 5). В то же время в КИТ подобных изменений показателей микроциркуляции по отношению к фоновым значениям зафиксировано не было.

Таким образом, как показали результаты настоящего исследования, под

влиянием ЭМИ КВЧ происходят изменения показателей микроциркуляторного русла, что согласуется как с нашими предыдущими исследованиями [7], так и с немногочисленными литературными данными. Однако постановка эксперимента, предпринятая в данном исследовании, позволила впервые выявить изменения, происходящие в микроциркуляторном русле непосредственно во время КВЧ-воздействия.

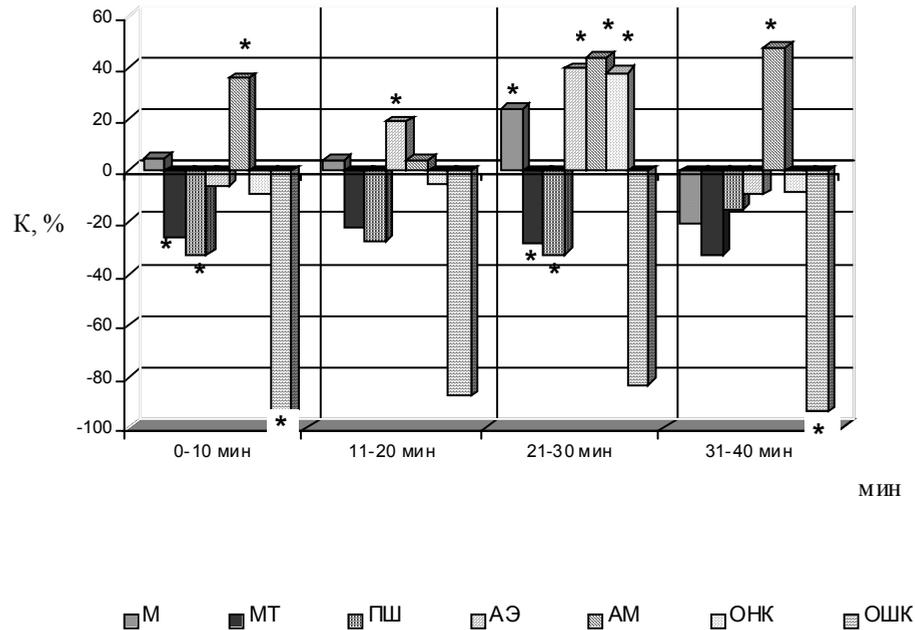


Рис. 5. Коэффициент сдвига (K, %) показателей микроциркуляции в области экспериментальной БАТ во время и после КВЧ-воздействия, относительно значений, зарегистрированным в области КИТ (приведены только достоверные различия) в разные временные периоды.

Примечание:

остальные обозначения представлены в тексте раздела «Материалы и методы»

*- достоверность различий ($p \leq 0,05$) относительно значений в области КИТ определяли по критерию Манна-Уитни.

Первая группа единичных изменений была зарегистрирована в области КИТ и имела достоверные отличия по отношению к исходным значениям. К этим изменениям относятся снижение уровня флакса, наблюдаемое в первые 10 мин исследования и увеличение ПШ, зафиксированное к 30-ой минуте. Возможно, такие изменения в области КИТ были обусловлены длительным состоянием покоя испытуемых, что привело к закрытию прекапиллярных сфинктеров.

Основные изменения показателей микроциркуляции были выявлены в ЭИТ, то есть в зоне непосредственного КВЧ-воздействия, как относительно исходных значений, так и в сравнении со значениями, изученных показателей в КИТ. Важно

отметить, что изменения, выявленные в ЭИТ носили противоположную направленность тем изменениям, которые были зарегистрированы в КИТ. В частности, в первые 20 минут воздействия мм-волнами наблюдалось увеличение нутритивного кровотока, что выразилось в снижении МТ и ПШ за счет интенсификации миогенных и эндотелиальных осцилляций. Это привело к релаксации прекапиллярных сфинктеров, снижению шунтового кровотока, как следствие, к перераспределению потока крови в нутритивное русло, что, несомненно, способствует улучшению трофической функции сосудистой системы. К 30-ой минуте КВЧ-воздействия отмечалась активация эндотелиального компонента в регуляции микрососудистого тонуса. Таким образом, максимальное увеличение амплитуд тонус-зависимого генеза наблюдалось при более продолжительном действии мм волн, что повлекло за собой не только эффект доминирования капиллярного кровотока, но и увеличение притока крови в микроциркуляторное русло в целом, что и обусловило увеличение уровня перфузии, наблюдавшееся в этот временной период, формирование которого обусловлено количеством и скоростью движения эритроцитов в различных сосудах микроциркуляторного русла. Эффект доминирования нутритивного кровотока на фоне депрессии шунтового сохранялся и после КВЧ-воздействия.

В виду того, что указанные изменения наблюдались в зоне непосредственного КВЧ-воздействия и не наблюдались в КИТ, это свидетельствует о локальном характере ответа со стороны капиллярного русла на действие данного низкоинтенсивного физического фактора.

Исходя из собственных и литературных данных механизм действия ЭМИ КВЧ на систему микроциркуляции нам представляется следующим.

В виду того, что практически всё ЭМИ КВЧ поглощается в кожных покровах на глубине до 1 мм [24 – 26], рецепция мм-волн может осуществляться образованиями, локализованными в коже, в частности, микроциркуляторной системой, которая располагается на глубине около 150 мкм [26] и поэтому попадает в область КВЧ-воздействия.

Роль кровеносных капилляров в реализации биологических эффектов ЭМИ КВЧ сводится к резонансному поглощению в них мм волн и изменению динамики протекания жидкости при одновременном уменьшении сил адгезии жидкости с внутренней стенкой капилляра [26]. При низкой интенсивности КВЧ-излучения (менее 10 мВт/см^2) интегральный нагрев облучаемых объектов в эксперименте не превышает обычно $0,1^{\circ} \text{C}$, однако даже в случае таких низких интенсивностей излучения при неоднородности удельной поглощенной мощности в плоскости объекта могут возникать микронагревы отдельных участков облучаемого объекта, которые, вероятно, и явились причиной местной реакции со стороны капиллярного кровотока на КВЧ-воздействие.

Одними из наиболее чувствительных к действию мм-волн, первыми реагирующими на локальное КВЧ-воздействие, явились миогенные осцилляции тканевого кровотока. Колебания миогенного диапазона, как правило, синусоидальные, целесообразность которых обосновывается тем, что при синусоидальном изменении мышечного тонуса сопротивление сосуда току

жидкости меньше, чем сопротивление сосуда, имеющего постоянный диаметр [22]. Следовательно, возрастание миогенных колебаний в ЛДФ-грамме свидетельствует о вазодилатации [9]. Эти данные согласуются с литературными, в которых было показано, что низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ приводит к вазодилатации, наблюдавшейся уже после однократного КВЧ-воздействия [24], что свидетельствует о прямом влиянии ЭМИ на гемодинамику в облученном участке.

Происхождение вазомоций в этом диапазоне связывают с локальными пейсмекерами внутри гладких мышечных волокон. Авторы А. Stefanovska, М. Bracic [19], В.И. Маколкин [23] придерживаются мнения, что миогенные колебания вызваны осцилляциями концентрации ионов Ca^{2+} через мембраны мышечных клеток.

В пользу влияния ЭМИ КВЧ на кальций-регулируемые процессы свидетельствует концепция, базирующаяся на экспериментальных данных [33], которая заключается в том, что внешнее ЭМИ может воздействовать на биологическую систему на уровне трансдукции внутриклеточных сигналов, что напрямую связано с изменением кальций-регулируемых процессов в клетке. Предполагается, что первичным звеном рецепции низкоинтенсивных ЭМИ являются нелинейные осцилляции, свойственные биологическим системам, в частности, осцилляции цитозольного кальция [28] и осцилляции потенциалов действия. Так, нетепловые эффекты обнаружены на Ca^{2+} -активируемых калиевых и хлорных каналах [29]. Известно, что стимуляция открытия Ca^{2+} -активируемых калиевых каналов вызывает расслабление гладкомышечных клеток и, как следствие, вазорелаксацию. Некоторые авторы отмечают гиперполяризацию мембран возбудимых клеток при облучении ЭМИ КВЧ, что, возможно, и могло явиться причиной дилатации прекапиллярных артериол.

В работе Н. Schmid-Shonbein с соавт. [21] прекапиллярную вазорелаксацию связывают с «гистамино» похожей субстанцией. Наряду с этим, показано, что под влиянием ЭМИ КВЧ [25, 30] происходит дегрануляция тучных клеток (ТК) кожи с выделением биологически активных веществ (БАВ), например, гистамина, протеазы серотонина, гепарина. Показано, что уровень гистамина в зоне дегрануляции ТК под действием ЭМИ КВЧ увеличивается в 30 раз, что вызывает пролонгированное расширение капилляров. Вероятно, это может стимулировать ответ прекапиллярных сфинктеров на действие низкоинтенсивного фактора. Таким образом, миогенные осцилляции тканевого кровотока могут быть одним из акцепторов биологического действия ЭМИ КВЧ.

В то же время в данном исследовании показано, что изменения в системе микроциркуляции под влиянием КВЧ-воздействия во многом детерминированы изменением функциональной активности микроваскулярного эндотелия, обладающего рядом важных функций, в частности, регуляцией сосудистого тонуса, посредством высвобождения эндотелиальных релаксирующих (простациклин, оксид азота (NO), фактор гиперполяризации и т.д.) и констрикторных факторов (эндотелин, ангиотензин II и т.д.), что обеспечивает динамическое равновесие между ними и влияет на сосудистую проницаемость [31]. Механизм действия ЭМИ на сосуды микроциркуляции может быть прямым или косвенным. В первом случае ЭМИ действует непосредственно на эндотелий и, вероятно, это как раз случай

локального КВЧ-воздействия. Предполагается, что эндотелиальные клетки являются главной мишенью для воздействия ЭМИ путем изменения их функциональной активности [4]. В последнее время в литературе широко обсуждается вопрос о посреднической роли NO, как главного паракринного вазодилататора, регулятора сосудистого тонуса, при действии ЭМИ. Ряд авторов [1, 8]; считают, что именно через усиление выработки NO сосудистым эндотелием опосредуется действие ЭМИ на процессы микроциркуляции.

Кроме того известно, что внутриклеточным стимулом для активации NO является увеличение внутриклеточного Ca^{2+} . При этом показано, что мм-излучение может влиять на осцилляции концентрации внутриклеточного свободного Ca^{2+} [32], а следовательно, способствует активации и высвобождению NO из сосудистого эндотелия.

Механизм действия ЭМИ на эндотелий микрососудов может быть и опосредованным, например, клетками крови, которые также могут принимать участие в реализации вазотропного биологического эффекта ЭМИ КВЧ. Большой чувствительностью к действию ЭМИ КВЧ обладают лейкоциты и макрофаги, активация которых способствует продукции факторов неорганической природы, обладающие высокой реактивностью, в частности NO.

Существуют немногочисленные данные об увеличении Ca^{2+} -независимой изоформы NO-синтазы, активирующейся при действии интерферона, фактора некроза опухоли [Новоселова, 2002], которые интенсивно высвобождаются в результате эффекта прайминга при КВЧ-воздействии [33].

Кроме того, действие ЭМИ КВЧ опосредуют выделяемые в тканях метаболически активные вещества. В частности, гистамин, выделяемый при дегрануляции ТК, оказывает влияние на микроваскулярный эндотелий посредством увеличения сократительной активности эндотелиальных клеток, что играет определенную роль в транскапиллярном обмене. Причем отклик сосудистого эндотелия, возникающего под влиянием БАВ наступает с большим скрытым периодом, чем сокращение миоцитов микрососудов. Вероятно, этим обусловлена первичная реакция именно миоцитов гладкомышечных клеток на КВЧ-воздействие, наблюдавшаяся в первые 10 минут и более поздняя реакция эндотелиальных клеток на 20-30 минутах воздействия. Кроме того, гистамин вызывает пролонгированное расширение капилляров, наблюдавшееся к 30-ой минуте действия мм-волн.

Следовательно, сосудистый эндотелий вполне может быть, с одной стороны, первичной мишенью, а, с другой стороны, принимать непосредственное участие в механизмах биологического действия ЭМИ КВЧ.

Таким образом, локальный ответ со стороны микроциркуляторного русла на действие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ обусловлен активацией местных механизмов тканевого кровотока в виде усиления осцилляции миогенного и эндотелиального диапазонов, что влечет за собой более глубокую модуляцию тканевого кровотока, увеличение транспортной функции крови, интенсификацию транскапиллярного обмена как следствие, улучшение трофики тканей.

БАВ, выделяемые из ТК, оказывают действие и на многочисленные нервные окончания, что может быть причиной формирования ответа всего организма на

действие ЭМИ КВЧ [30, 34]. Кроме того, 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 и периферических волокон, расположенных в коже [35]. После первичной рецепции сигнал из периферических нервных окончаний и волокон поступает в ЦНС, что может быть причиной рефлекторного изменения тонуса кровеносных сосудов. В то же время на эндотелии могут быть специфические рецепторы не только к гистамину, но также и к ряду вазоактивных агентов, оказывающих свое влияние на перфузию. Однако нейрогуморальный контур в реализации биологических эффектов КВЧ-воздействия включается, как правило, при курсовом воздействии данного физического фактора. В то же время остается невыясненным вопрос о том, в какой последовательности и в какое время начинают вступать нейрогуморальные регуляторные компоненты при исследовании влияния низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляцию крови, что и является целью дальнейших исследований.

ВЫВОДЫ

1. Под влиянием ЭМИ КВЧ происходят изменения процессов микроциркуляции, что выражается в преобладании тонус-зависимых факторов регуляции микроциркуляторного русла, а также доминировании нутритивного кровотока в зоне локального КВЧ-воздействия в разные временные периоды. В виду того, что указанные изменения наблюдались в зоне непосредственного КВЧ-воздействия и не наблюдались в области контрольной БАТ, это свидетельствует о локальном характере ответа со стороны капиллярного русла на действие данного низкоинтенсивного физического фактора.
2. В первые 10 минут КВЧ-воздействия наблюдалось увеличение амплитуды миогенных колебаний на 36,09% на фоне снижения миогенного тонуса на 26,28% и показателя шунтирования на 32,98%, что свидетельствует о вазодилатации прекапиллярных сфинктеров и увеличении количества функционирующих капилляров и, как следствие, перераспределении крови в нутритивное русло.
3. В период с 10-ой по 20-ую мин воздействия мм-волнами наблюдалось достоверное увеличение амплитуды эндотелиальных колебаний относительно значений этого показателя, зарегистрированного в области контрольной БАТ на 18,85%, и росту миогенных колебаний на фоне снижения миогенного тонуса на 7,27% и показателя шунтирования на 12,88% относительно исходных значений, зарегистрированных в области экспериментальной БАТ правой руки.
4. Наибольшие изменения показателей микроциркуляции в зоне КВЧ-воздействия были зарегистрированы при увеличении экспозиции до 30-ти минут, что проявилось в максимальном увеличении нутритивного кровотока, вследствие усиления миогенных и эндотелиальных осцилляций микроциркуляторного русла кожи на 44,06% и 39,97% соответственно, что обусловило снижение шунтового кровотока на 32,36%, и наряду с возрастанием перфузии на 23,86% привело к росту объемных характеристик микрогемодинамики, в частности

объемного нутритивного кровотока на 70,56%. Указанные изменения свидетельствуют об увеличении притока крови в капиллярное русло, существенной модуляции микроциркуляторных процессов, усилению обменных процессов под влиянием мм-излучения.

5. Интенсификация капиллярного кровотока продолжала сохраняться и после КВЧ-воздействия, что выразилось в увеличении миогенных колебаний на 47,57% на фоне снижения как миогенного тонуса на 32,94%, так и объемного шунтового кровотока на 93,59%.

Список литературы

1. Okano C., Modulatory effects of static magnetic fields on pressure of blood in rabbits / C. Okano, H. Okubo // *Bioelectromagnetics*. – 2001. – №22. – P. 408-418.
2. Ichioka S. High-intensity static magnetic fields modulate skin microcirculation and temperature in vivo / S. Ichioka, M. Minegishi, M. Iwasaka, M. Shibata, T. Nakatsuka, K. Harii, Z. Kamiya, S. Ueno // *Bioelectromagnetics*. – 2000. – №21(3). – P. 183-188.
3. Mayrovitz H. Effects of permanent magnet sonresting skin blood perfusion in healthy persons assessed by laser Doppler flowmetry and imaging / H. Mayrovitz, E. Groseclose, M. Markov, A. Pilla // *Bioelectromagnetics*. – 2001. – №22. – P. 494-502.
4. Tepper O.M. Electromagnetic fields increase in vitro and in vivo angiogenesis through endothelial release of FGF-2 / O.M. Tepper, M.J. Callaghan, E.I. Chang, R.D. Galiano, K.A. Bhatt, S. Baharestani, J. Gan, B. Simon, R.A. Hopper, J.P. Levine, G.C. Gurtner // *FASEB J.* – 2004. – №11. – P. 1231-1233
5. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа / А.С. Пресман // – М.: Наука, 1968. – 288 с.
6. Okano C. Effects of neck exposure to 5.5 mT static magnetic field on pharmacologically modulated blood pressure in conscious rabbits / C. Okano, H. Okubo // *Bioelectromagnetics*. – 2005. – №26 – P. 469-480.
7. Чуян Е.Н. Изменение процессов микроциркуляции при воздействии низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона / Е.Н. Чуян, Н.С. Трибрат // «Миллиметровые волны в биологии и медицине», -2008. – №4. С. – 33-45.
8. Julia McKey C. Literature review: the effects of magnetic field exposure on blood flow and blood vessels in the microvasculature / C. Julia McKey, S. Frank Prato, W. Alex // *Bioelectromagnetics*. – 2007. – Vol.28. – P. 81-98.
9. Крупаткин А.И.. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М.: Медицина, 2005 – 254 с.
10. Чуян Е.Н., Функциональная асимметрия у человека и животных: влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона / Чуян Е.Н., Темурьянц Н.А., Пономарева В.П., Чирский Н.В // – Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2004. – 440 с.
11. Родштат И.В. Физиологическая концепция взаимодействия миллиметровых радиоволн с организмом человека / И.В. Родштат // Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине: междунар. симпоз., 1991 г.: сб. докл – М., 1991. – С. 548-553.
12. Мачерет Е.Л. 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 // Миллиметровые волны в биологии и медицине: 10 Российского симп. с между. Участием, 1995 г.: сборник докл. – М., 1995. – С. 58-59.
13. Вержбицкая Н.И. Морфофункциональные характеристики и реактивность структурных элементов точек акупунктуры и коррелирующих с ними внутренних органов / Н.И. Вержбицкая. – Калинин: ПИК ВИНТИ, 1988. – 105 с.
14. Бецкий О.В. Миллиметровые волны и живые системы / О.В. Бецкий, В.В. Кислов, Н.Н. Лебедева. – М.: «САЙНС-ПРЕСС», 2004. – 107с.
15. Полякова А.Г. Оптимизация восстановительного лечения больных путем применения КВЧ-терапии / А.Г. Полякова // Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине. – 2002. – № 1 (25). – С.57-61.

16. Крупаткин А.И. Динамический колебательный контур регуляции капиллярной гемодинамики / А.И. Крупаткин // Физиология человека. – 2007. Т.3.–№5.– С. 93-101.
17. Крупаткин А.И. Клиническая нейроангиофизиология конечностей (периваскулярная иннервация и нервная трофика) / А.И. Крупаткин // – М.: Научный мир, 2003 – с. 328.
18. Kvernmo H.D. Oscillations in the Human Cutaneous Blood Perfusion Signal Modified by Endothelium-Dependent and Endothelium –Independent Vasodilators / H.D. Kvernmo, A. Stefanovska, K.A. Kirkeboen, K. Kvernebo // Microvascular Research. 1999. Vol. 57. P. 298-309.
19. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system / A. Stefanovska, M. Bracic // Contemporary Physics. 1999,. Vol. 40. №1. P. 31-35.
20. Kvandal P. 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, H.D. Kvernmo, K.A. Kirkeboen // Microvascular Research. 2003. Vol.65. P. 160-171.
21. Schmid – Schonbein H. 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, V. Blazek, R. Spielmann, F. Linzenich // Int J. Microcir. 1997/ выявлению времени возникновения и характера, выявлению времени возникновения и характера, Vol. 17. P. 346-359.
22. Mayer M.F. Impaired 0.1 – Hz vasomotion assessed by laser Doppler anemometry as an early index of peripheral sympathetic neuropathy in diabetes / M.F. Mayer, C.J. Rose, J.-O. Hulsman, H. Schatz, M. Pfohl //Microvascular Research. 2003. выявлению времени возникновения и характера, Vol.65. P. 88-95.
23. Маколкин В.И. 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.
24. Воронков В.Н. Морфологические изменения в коже при действии КВЧ ЭМИ / В.Н. Воронков, Е.П. Хижняк // Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине: межд. симпоз., 1991 г.: сб. докл. – М., 1991. – С. 635-638.
25. Хижняк Е.П. О роли пространственного распределения поглощения ЭМИ в формировании биоэффектов при КВЧ-облучении / Е.П. Хижняк, О.В. Бецкий, В.Н. Воронков // Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине: Межд. Симпоз., 1991 г.: сб. докл. – М., 1991. – С. 630-635.
26. Бецкий О.В. Кожа и электромагнитные волны / О.В. Бецкий, Ю.Г. Яременко // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1998. – № 1 (11). – С. 3-14
27. Walleczek J. Pulsed magnetic field effects on calcium signaling in lymphocytes: dependence on cell status and field intensity / J. Walleczek, T.F. Budinger // FEBS Lett. – 1992. – Vol. 314. – P. 351-355.
28. Berridge M.J. Cytoplasmic calcium oscillations: A two pool model / M.J. Berridge // Cell Calcium. - 1991. - Vol.12. - P.63-72.
29. 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.
30. 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, вып. 6. – С. 1096-1102.
31. Фролькис В.В. Механізми дії оксиду азоту на серцево-судинну систему та патогенетичне лікування захворювань серцево-судинної системи / Фролькис, В.В. Безрукова, Л.Т. Мала // Кровообіг та гемостаз. – 2003. – №2. – С. 42-43.
32. Walleczek J. Electromagnetic field effects on the cells of the immune system: the role of calcium signaling / J. Walleczek // FASEB J. – 1992. – Vol.6. – 3177-3185 p.
33. Чуян О.М. Нейроімуноендокринні механізми адаптації до дії низько інтенсивного електромагнітного випромінювання надто високої частоти: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. біол. наук / Е.Н Чуян.: спец. «Физиология человека» / О.М. Чуян. – Київ, 2004. – 40 с.
34. Струсов В.В. Хирургические аспекты применения КВЧ-терапии / В.В. Струсов, Д.В. Уткин, В.А. Дремучев // Миллиметровые волны в биологии и медицине.– 1995. – № 6. – С. 48-49.
35. Алексеев С.И. Электрофизиологическое исследование влияния миллиметровых волн на нервные

клетки / С.И. Алексеев, М.С. Зискин, Н.В. Кочеткова // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1997. – № 9-10. – С. 34-38.

Чуян О.М., Трибрат Н.С.б, Раваєва М.Ю., Древетняк Н.А. **Зміни процесів мікрокровообігу на період дії низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону** // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2009. – Т.22 (61). – № 2. – С. 175-193.

Показано, що в процесі однократної дії мм-хвиль відбувається зміна показників мікроциркуляції в галузі безпосередньої локальної НВЧ-дії. Виявлено, що в галузі НВЧ-дії відбувається перерозподіл потоку крові на користь домінування нутритивного кровотоку, що в ЛДФ-грамі відобразалося зниженням міогенного тону і показника шунтування. Показано, що першими на дію ЕМВ НВЧ реагують залежні для тону компоненти регуляції мікроциркуляторного русла, зокрема, міогенний та ендотеліальний частотні компоненти, а реакція носить локальний характер.

Ключові слова: низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання надто високої частоти, метод лазерної доплерівської флоуметрії.

Chuyan E.N., Tribрат N.C., Ravaeva M.U., Drevetnyak N.A. **Changes of blood microcirculation during the lowintensity millimetric-radiation** // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2009. – V.22 (61). – № 2. – P. 175-193.

It is rotined that in the process of single influence of milimetric-waves there is a change of indexes mikrocirculation in area of direct local ELF-influence. It is exposed, that in area of EHF-influence there is a redistribution of blood stream in behalf on prevailing of nutritive blood stream, that in a LDF-gramme the decline of miogenic tone and index of by-passing expressed. It is rotined that on influence EMR EHF tone-dependent components of adjusting of microvasculature react the first, in particular, miogenic and endothelial frequency components, and this reaction carries local character.

Keywords: lowintensity electromagnetic radiation extremely high frequency, microcirculation, method of laser Doppler flowmetry.

Поступила в редакцію 20.05.2009 г.