

УДК 577.1:612.821

НИЗКОИНТЕНСИВНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА: ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ

Чуян Е.Н., Раваева М.Ю., Трибрат Н.С.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского,
 Центр коррекции функционального состояния человека
 e-mail: elena-chuyan@rambler.ru*

Поступила в редакцию 12.03.2008

В статье описаны изменения в системе микроциркуляции, возникающие под влиянием низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты, исследуемые методом лазерной доплеровской флоуметрии. Показано, что курсовое воздействие данного физического фактора приводит к улучшению функционирования микроциркуляторного русла, выражающееся в увеличении функционирования активных механизмов контроля микрокровотока.

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

ВВЕДЕНИЕ

Нарушения микроциркуляции служат одним из стереотипных признаков поврежденной функции органов и тканей. Многими экспериментальными и клиническими исследованиями показано, что под влиянием электромагнитных излучений крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) происходит нормализация процессов микроциркуляции, выражающаяся в уменьшении периваскулярных нарушений и неравномерности диаметра венул и артериол [1-4]. Именно этим объясняется выраженный клинический эффект КВЧ-терапии при облитерирующем эндартериите [5], остеомиелите [6]. Исследование микроциркуляции в бульбарной конъюнктиве больных ишемической болезнью сердца на фоне миллиметровой-терапии (мм-терапии) показало значительное снижение общего конъюнктивального индекса, индекса сосудистых и внутрисосудистых изменений. Отмечено увеличение калибра артериол, числа функционирующих петель лимба, уменьшение количества эритроцитарных агрегатов в венулах. В.А. Люсовым и др. [7] было отмечено улучшение микроциркуляции в сердечной мышце у больных нестабильной стенокардией, получавших курс КВЧ-терапии. Причем, мм воздействие оказалось более эффективно при коррекции артериального мозгового кровотока, нежели венозного оттока у больных гипертонической болезнью [8]. Воздействие мм волнами

показало свою эффективность и при нормализации микроциркуляторных расстройств у больных пародонтозом [9].

Однако данные исследований о влиянии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на процессы микроциркуляции достаточно противоречивы. Вероятно, это связано с разнообразием методов исследования микрокровотока. Так, существует множество методов, позволяющих изучить особенности структуры и функционирования микроциркуляторного русла, которые при этом не позволяют выявить особенности регуляции микрокровотока.

Вместе с тем, в настоящее время в клиническую и экспериментальную практику внедряется новый неинвазивный метод исследования микроциркуляции – лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ), позволяющая не только оценить общий уровень периферической перфузии, но и выявить особенности регуляции микрокровотока. Достоинством метода ЛДФ является его возможность измерения показателей микрокровотока *in vivo* и безконтактно, что очень важно для тестирования микрогемодинамики, которая изменяет свои показатели при любой попытке подключения датчиков к капиллярам [10]. Другой важной особенностью ЛДФ является возможность получения большого количества измерений (тысячи в минуту), их регистрации и обработки в реальном масштабе времени [11-13], что, в частности,

позволяет создавать мониторинговые системы ЛДФ. Последние в перспективе дают возможность анализировать весь спектр ритмических процессов в микрососудах от пульсовых до циркадных [10].

Однако данные о влиянии ЭМИ КВЧ на процессы микроциркуляции, исследуемые методом ЛДФ, единичны [14-15]. Поэтому целью данной работы является оценка влияния низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на процессы микроциркуляции методом ЛДФ. Изучение этого вопроса имеет как практическое значение, поскольку расстройства микроциркуляции являются одним из основных звеньев патогенеза многих заболеваний, так и теоретическое. Это связано, во-первых, с тем, что объемно-скоростные характеристики процесса гемомикроциркуляции служат важнейшим источником информации о состоянии тканей, органов и организма в целом [14], а, во-вторых, рецепция ЭМИ КВЧ, помимо периферических элементов нервной системы, клеток диффузной нейроэндокринной и иммунной систем, также может осуществляться и микроциркуляторной системой кожи [5]. Поэтому исследования изменений процессов микроциркуляции под влиянием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ вносит определенный вклад в понимание механизма действия этого физического фактора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на 40 студентах-волонтерах женского пола в возрасте 18-23 лет, условно здоровых. Испытуемые были разделены на две равноценные группы по 20 человек в каждой. Испытуемые экспериментальной группы подвергались действию низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ, а волонтеры контрольной – ложному воздействию данного физического фактора (плацебо). Экспериментальное воздействие ЭМИ КВЧ осуществлялось на протяжении 10 дней, ежедневно, в утреннее время суток на 7-ми канальном аппарате «РАМЕД. ЭКСПЕРТ-04» ($\lambda=7,1$ мм, частота излучения 42,4 ГГц, плотность потока мощности – 0,1 мВт/см²) (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). Воздействие осуществлялось по 30 минут на области биологически активных точек, а именно G15 правого плечевого сустава и на симметричные E-34, RP-6, GI-4. Выбор этих точек обусловлен их общеукрепляющим и стимулирующим действием на организм.

В целях изучения микроциркуляции крови использовался метод ЛДФ, основанный на оптическом зондировании тканей монохроматическим излучением и анализе частотного спектра, отраженного от движущихся

эритроцитов сигнала. ЛДФ 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. Исследование состояния микроциркуляции проводили на 1, 3, 5, 7, 10 сутки эксперимента в утреннее время, сразу после КВЧ-воздействия. Испытуемые во время исследования находились в положении сидя. Головка оптического зонда (датчика прибора) фиксировалась на наружной поверхности левого предплечья на 4 см выше шиловидных отростков; рука располагалась на уровне сердца. Согласно мнению некоторых авторов [16] указанная зона является зоной Захарьина-Геда сердца, бедна артерио-веноулярными анастомозами, поэтому в большей степени отражает кровоток в нутритивном русле и в меньшей степени подвержена воздействиям окружающей среды, в связи с этим рекомендуется для исследования микроциркуляции. Длительность стандартной записи составляла 4 мин.

Оценивали следующие показатели микроциркуляции:

M (перф.ед.) – показатель постоянной составляющей средней перфузии в микроциркуляторном русле за определенный промежуток времени исследований, представляющий собой среднее арифметическое значение показателя микроциркуляции; характеризуется изменчивостью, которая зависит от индивидуальных особенностей, временной вариабельности, физической активности, температурного режима [17];

σ (флакс, СКО, перф.ед.) – средние колебания перфузии относительно среднего значения потока крови M , характеризующие временную изменчивость перфузии; данный показатель отражает среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах;

K_v (%) – коэффициент вариации, который характеризует соотношение между изменчивостью перфузии (флаксом) и средней перфузией (M) в зондируемом участке тканей, который вычисляется по формуле:

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

Амплитудный анализ частотного спектра колебаний кожного кровотока производился на основе использования математического аппарата Фурье-преобразования и специальной компьютерной программы цифровой фильтрации регистрируемого ЛДФ-сигнала. Анализировались следующие характеристики амплитудно-частотного спектра: очень низкочастотные (или эндотелиальные, VLF), низкочастотные (или вазомоторные, LF), дыхательные (быстрые, парасимпатические, HF) и пульсовые (или кардиальные, CF) колебания кожного кровотока (табл.1). Необходимо отметить, что низкочастотные колебания включают в свой частотный диапазон как

нейрогенные колебания (0,02-0,05Гц) [18-20], обусловленные низкочастотным симпатическим адренергическим влиянием на гладкие мышцы артериол и артериоларных участков артерио-

венулярных анастомозов, так и миогенные колебания (0,06-0,2 Гц) [21], контролирующие мышечный тонус волокон прекапилляров.

Таблица 1

Амплитудно-частотные характеристики-осцилляций кожного кровотока

	Название характеристик ритмов колебаний тканевого кровотока	Частотный диапазон	Физиологическое значение
Пассивные механизмы регуляции микрокровотока	Пульсовые волны (сердечные волны, cardio frequency, CF)	0,8-0,16 Гц 50-90 кол/мин	Обусловлены изменением скорости движения эритроцитов в микрососудах, вызываемым перепадами систолического и диастолического давления. Амплитуда отражает тонус резистивных сосудов.
	Дыхательные волны (респираторно-связанные колебания, high frequency, HF)	0,15-0,4 Гц 12-24 кол/мин	Связаны с веноулярным звеном. Обусловлены динамикой венозного давления при легочной механической активности, присасывающим действием «дыхательного насоса».
Активные механизмы модуляции микрокровотока	Эндотелиальные колебания (very low frequency, VLF)	0,0095-0,02 Гц [21, 23]	Обусловлены функционированием эндотелия, а именно выбросом вазодилататора NO
	Вазомоторные колебания, LF	0,02-0,2Гц 1,2-12 кол/мин. [24]	Связаны с работой вазомоторов (гладкомышечных клеток в прекапиллярном звене резистивных сосудов)

Такая нормировка позволяет исключить влияние нестандартных условий проведения исследований.

Интегральным показателем, характеризующим соотношение механизмов активной и пассивной модуляции является индекс эффективности микроциркуляции (ИЭМ), который вычислялся по формуле

$$\text{ИЭМ} = A(\text{LF}) / A(\text{CF}) + A(\text{HF}), \quad (3)$$

где A – амплитуды ритмов VLF, LF, CF, HF (см. табл.1).

Статистическая обработка материала проводилась путем вычисления среднего значения исследуемых величин ($\bar{\sigma}$), среднего квадратического отклонения (δ), средней ошибки ($S\bar{\sigma}$) для каждого показателя. Оценка достоверности различий между данными, полученными в исследуемых группах, проводилась с использованием t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты проведенного исследования, изученные показатели микроциркуляции у испытуемых контрольной группы на протяжении эксперимента достоверно не изменялись по отношению к исходным значениям. Однако у волонтеров экспериментальной группы происходили достоверные изменения этих

показателей по отношению к значениям их у испытуемых контрольной группы. Так, показатель перфузии (M) у испытуемых экспериментальной группы при воздействии ЭМИ КВЧ достоверно увеличивался показателя микроциркуляции с 3-их по 10-ые сутки наблюдения в среднем на 16,16% ($p \leq 0,05$) по отношению к значениям этого показателя у испытуемых контрольной группы. Максимальное увеличение показателя M на 18,62% ($p \leq 0,01$) зарегистрировано на 5-е сутки воздействия ЭМИ КВЧ в сравнении с соответствующим показателем у волонтеров контрольной группой (рис.1). Критерий M связан с концентрацией эритроцитов в зондируемом объеме в единице времени и поэтому указывает лишь на уровень перфузии, поэтому, для более полной оценки состояния микроциркуляции необходим анализ флакса, коэффициента вариации и амплитудно-частотного спектра.

Выявлено, что уровень флакса достоверно увеличивался по отношению к значениям у испытуемых контрольной группы с 5-ых суток на 220,1% ($p \leq 0,01$) по 10-е сутки на 193,88% ($p \leq 0,01$), достигая при этом максимальной статистической значимости на 7-е сутки эксперимента (186,08%; $p \leq 0,001$).

Поскольку флакс отражает среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах [17], то увеличение этого параметра

свидетельствует о более глубокой модуляции микрокровотока. Повышение СКО может быть обусловлено интенсивным функционированием механизмов активного контроля микроциркуляции.

Вместе с тем, в течение эксперимента наблюдалось увеличение Кв на 7-е и 10-е сутки в среднем на 94,74% ($p \leq 0,05$) в сравнении со значениями у испытуемых, не подвергавшихся действию низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ. Поскольку увеличение этого коэффициента связано с активацией эндотелиальной секреции, вазомоторного механизма контроля микроциркуляторного русла [17], то можно говорить об улучшении состояния микроциркуляции под влиянием ЭМИ КВЧ за счет увеличения активных механизмов регуляции микрокровотока.

Наиболее полное представление о функционировании механизмов контроля микроциркуляторного русла дает анализ ритмических составляющих амплитудно-частотного спектра ЛДФ-граммы. Ритмическая структура флуксуций, выявляемая с помощью амплитудно-частотного анализа, есть результат суперпозиции различных эндотелиальных, вазомоторных, дыхательных, сердечных и других косвенных влияний на состояние микроциркуляции [22]. Очень низкочастотный эндотелиальный (VLF), низкочастотный вазомоторный (LF) механизмы регуляции тонуса сосудов относят к активным факторам контроля микроциркуляции, они модулируют поток крови со стороны сосудистой стенки, создают поперечные колебания мышц кровотока в результате чередования сокращения и расслабления мышц сосудов и реализуются через ее мышечный компонент. Факторы, вызывающие колебания кровотока вне системы микроциркуляции называют пассивными, они организуют продольные колебания, выражающиеся в периодическом изменении объема крови в сосуде, к ним относят пульсовую волну (CF) со стороны артерий и респираторные колебания (HF) со стороны вен [17].

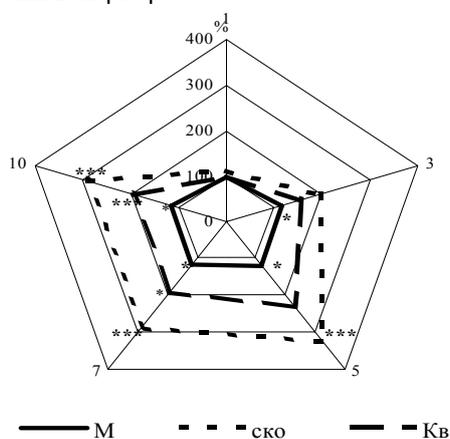


Рис. 1. Динамика показателя перфузии (М), флукса (СКО), коэффициента вариации (Кв) (в % относительно

значений у испытуемых контрольной группы, принятых за 100%).

Примечания: * - $p \leq 0,05$; *** - $p \leq 0,01$, достоверность по отношению к значениям у испытуемых контрольной группы по t-критерию Стьюдента.

Результаты исследований показали, что у волонтеров экспериментальной группы происходило достоверное увеличение амплитуды эндотелиальных (VLF) колебаний на с 3-их по 10-е сутки в среднем на 25,09% ($p \leq 0,01$) относительно значений амплитуд VLF у испытуемых контрольной группы (рис. 2). Известно, что колебания с частотой около 0,01 Гц обусловлены функционированием эндотелия (выбросом основного вазодилатора NO) [21]. Повышение амплитуды колебаний VLF под влиянием ЭМИ КВЧ свидетельствует о модуляции мышечного тонуса сосудов увеличением секреции в кровь вазоактивных субстанций, что способствует увеличению транспортной функции крови и обменных процессов. По-видимому, увеличение амплитуд VLF под влиянием ЭМИ КВЧ обусловлено работой микровазкулярного эндотелия, обуславливающего выброс NO. Увеличение продукции NO в клетках, связано с активацией Ca^{2+} -независимой изоформой фермента NO-синтазы, основного фермента участвующего в образовании NO путем окисления L-аргинина. Известно, что NO-синтаза легко активируется в клетках при действии цитокинов, в частности интерферона, эффект которого может быть усилен фактором некроза опухолей [25]. Показано, что при воздействии ЭМИ КВЧ в результате эффекта прайминга происходит увеличение функционального статуса лимфоцитов и нейтрофилов, что приводит к увеличению интенсивности освобождения интерферона, фактора некроза опухоли, интерлейкинов из иммунокомпетентных клеток [26]. Следовательно, воздействие ЭМИ КВЧ, возможно, является естественным регулятором активности эндогенного NO в физиологических системах организма и/или увеличения его продукции в клетках вследствие активации NO-синтазы.

Наряду с увеличением амплитуды VLF, под влиянием ЭМИ КВЧ наблюдалось достоверное увеличение амплитуд вазомоторных колебаний (LF) с 3-их по 10-е сутки наблюдения в среднем на 24,28% ($p \leq 0,01$) по сравнению со значениями этого показателя у испытуемых контрольной группы. Увеличение амплитуды LF свидетельствует о снижении периферического сопротивления (вазодилатации) и, следовательно о повышении нутритивного кровотока.

В механизмах управления микрокровотоком именно тонус прекапиллярных гладкомышечных

клеток является последним звеном контроля микрокровотока перед капиллярным руслом. Известно, что среди химических факторов, регулирующих состояние сосудистой стенки, особая роль принадлежит физиологически активным пептидам, в частности цитокинам, интерлейкинам, интерферонам, фактору некроза опухоли, хемокинам и низкомолекулярным соединениям, которые, как показано в наших [26-27] и других исследованиях [28-31], увеличиваются под влиянием ЭМИ КВЧ. Роль пептидов в регуляции периферических сосудов сводится к модулированию регуляторных механизмов центральной нервной системы путем пептидергической иннервации сосудистых стенок [17]. Вероятно, с этим связано увеличение вклада вазомоторного компонента в реализацию ЛДФ-граммы под влиянием ЭМИ КВЧ.

На фоне повышения функционирования активных механизмов контроля перфузии, происходило снижение пассивных, создающих продольные колебания кровотока, выражающиеся в изменении объема крови в сосуде. Было показано, что экспериментальное воздействие ЭМИ КВЧ приводило к статистически значимому снижению амплитуды дыхательной волны на с 5-ых по 10-ые сутки воздействия ЭМИ КВЧ с 22,18% до 31,43% ($p \leq 0,05$) соответственно по отношению к данным у испытуемых контрольной группы. Дыхательная волна в микроциркуляторном русле обусловлена распространением в микрососуды со стороны путей оттока крови волн перепадов давления в венозной части кровеносного русла и преимущественно связана с дыхательными экскурсиями грудной клетки. Местом локализации дыхательных волн в системе микроциркуляции являются венулы. Чаще всего увеличение амплитуды дыхательной волны указывает на снижение микроциркуляторного давления. Ухудшение оттока крови из микроциркуляторного русла может сопровождаться увеличением объема крови в венулярном звене, что приводит к росту амплитуды дыхательной волны в ЛДФ-грамме [17]. Таким образом, уменьшение амплитуды дыхательной волны под влиянием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ способствует улучшению венозного оттока, а, следовательно, уменьшению застойных явлений в микроциркуляторном русле.

Кроме того, на фоне действия ЭМИ КВЧ происходило снижение другого пассивного компонента регуляции микрокровотока, а именно

амплитуды пульсовой волны (CF) на 7-е и 10-е сутки эксперимента на 22,81% и 27,5% ($p \leq 0,05$) соответственно относительно значений этого показателя у волонтеров контрольной группы (рис. 3). Амплитуда пульсовой волны, приносящейся в микроциркуляторное русло со стороны артерий, является параметром, который изменяется в зависимости от состояния тонуса резистивных сосудов. Увеличение амплитуды пульсовой волны означает увеличение притока крови в микроциркуляторное русло. Часто увеличение амплитуды наблюдается у пожилой группы индивидуумов вследствие снижения эластичности сосудистой стенки (например, при ангиосклерозе), а также у пациентов с гипертонической болезнью. Значительный рост амплитуд пульсовой волны может наблюдаться при тепловой гиперемии (при температуре нагрева около 42⁰C) [17].

Таким образом, снижение амплитуды пульсовой волны под влиянием КВЧ-воздействия свидетельствует об увеличении эластичности стенки периферических сосудов, и, как следствие, уменьшении притока крови в микроциркуляторное русло.

Таким образом, на 10-е сутки эксперимента наблюдалось значительное перераспределение характеристик амплитудно-частотного спектра в сторону увеличения эндотелиального и вазомоторного компонентов на фоне снижения влияния дыхательных и пульсовых ритмов на осцилляции тканевого кровотока (рис. 4). В норме низкочастотный вазомоторный ритм занимает доминирующее значение в амплитудно-частотном спектре, который задается пейсмейкерами в прекапиллярном звене микроциркуляторного русла. На него накладываются влияния метаболических факторов, обусловленных накоплением в тканях промежуточных продуктов обмена веществ [22], оказывающих также существенное влияние на осцилляции тканевого кровотока, путем периодически изменяющейся концентрации вазоактивных субстратов [17]. Наряду с этим, снижение вклада парасимпатических и пульсовых влияний отображает сбалансированность активных вазомоторных и пассивных высокочастотных и сердечных колебаний на модуляцию тканевого кровотока. Такие изменения в амплитудно-частотном спектре ЛДФ-граммы обусловили повышение уровня ИЭМ (рис.5).

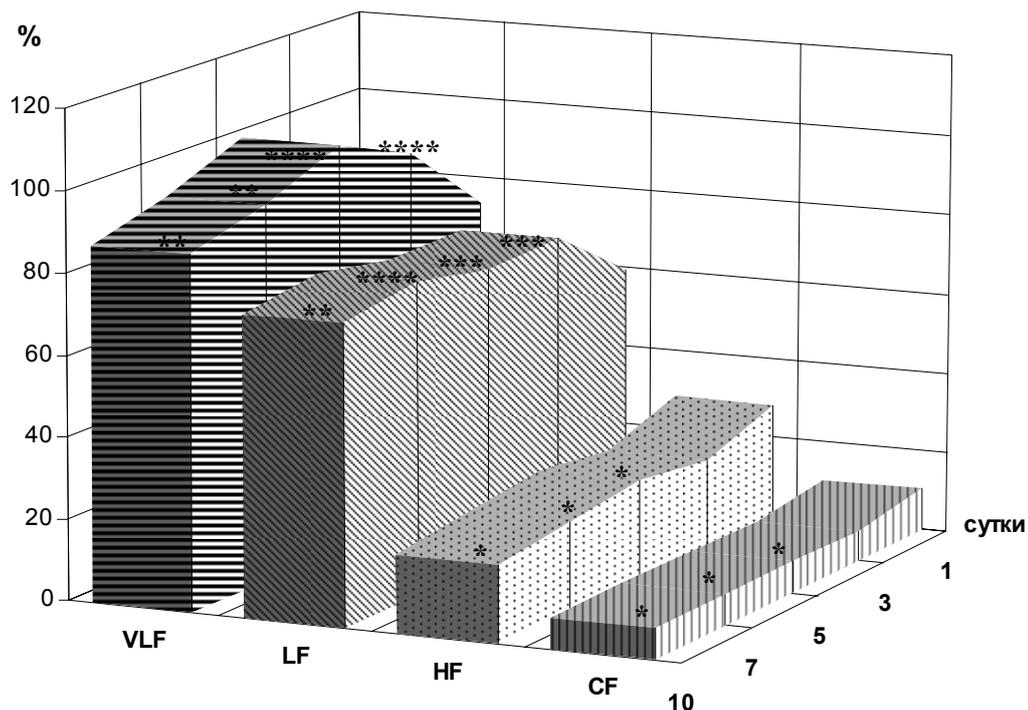


Рис. 2. Динамика изменения активных и пассивных факторов регуляции микропотока (в % относительно значений у испытуемых контрольной группы, принятых за 100%).

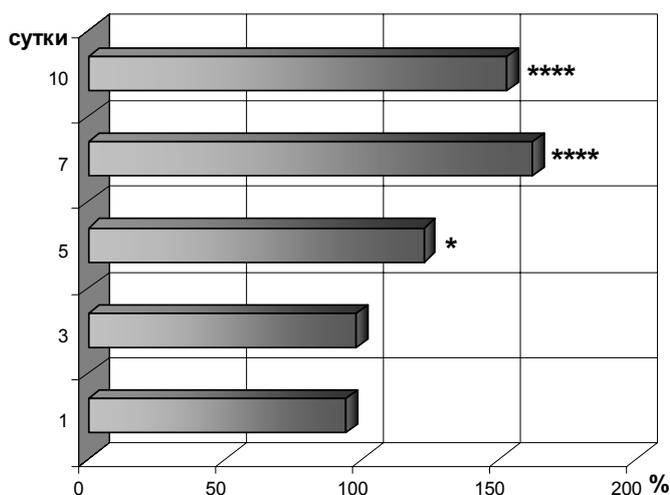


Рис. 3. Изменение показателя индекса эффективности микроциркуляции на протяжении 10 дней экспериментального воздействия ЭМИ КВЧ (в % относительно значений в контрольной группе испытуемых, принятых за 100%).

Примечания: * - $p \leq 0,05$; **** - $p \leq 0,001$, достоверность по отношению к значениям у испытуемых контрольной группы по t-критерию Стьюдента.

Анализ динамики ИЭМ показал, что в процессе действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ отмечалось повышение данного показателя, достигая достоверной значимости на 5-е по 10-е сутки воздействия ЭМИ КВЧ, увеличиваясь на 22,53% ($p \leq 0,05$) – 62,28% ($p \leq 0,001$) по сравнению с данными у испытуемых контрольной группы. Сравнительный анализ характеристик амплитудно-частотного

спектра выявил, что такое повышение ИЭМ обусловлено, с одной стороны, увеличением активности вазомоторного и эндотелиального компонентов в реализации ЛДФ-граммы, а, с другой стороны, снижением амплитудных характеристик дыхательных и пульсовых колебаний, отмечавшихся с 5-ых по 10-е сутки экспериментального воздействия низкоинтенсивного излучения по сравнению с таковыми у испытуемых контрольной группы.

Известно, что микроциркуляторное русло находится под многоуровневым контролем, который организован через систему обратной связи. Активные и пассивные механизмы контроля микроциркуляторного русла образуют положительные и отрицательные обратные связи. Работа активных механизмов обусловлена локальными физиологическими потребностями тканей. Возрастное или снижение амплитуд пассивных ритмов является следствием проявления функционирования активных механизмов контроля и наоборот [17]. Так, зарегистрированное в наших исследованиях смещение доминанты колебаний по амплитуде в высокочастотную область под влиянием ЭМИ КВЧ, свидетельствует об усилении вазомоторного биогенного механизма и уменьшении дыхательных и пульсовых влияний в регуляции кровотока.

Таким образом, низкоинтенсивное воздействие ЭМИ КВЧ оказывает модулирующее действие на показатели микроциркуляторного русла,

проявляющееся в увеличении функционирования активных механизмов контроля микрокровотока.

Увеличение параметра перфузии M , под влиянием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ, вероятно, обусловлено увеличением амплитуды вазомоторных колебаний, что, с одной стороны, свидетельствует о повышении амплитуды в прекапиллярном звене резистивных сосудов, а с другой стороны, связано с ослаблением влияния со стороны симпатической нервной системы. Кроме того, данные амплитудно-частотного спектра свидетельствуют о перераспределении крови в системе микроциркуляции. Так, уменьшение амплитуды дыхательной волны свидетельствует об улучшении венозного оттока, а наряду с этим, увеличение амплитуд в области прекапиллярных вазомоторов способствует открытию и увеличению функциональной активности латентных капилляров. Кроме того, увеличение выброса эндотелием NO посредством модуляции мышечного тонуса влияет на транспортную функцию крови и содействует обменным процессам. Снижение амплитуды пульсовой волны указывает на уменьшение притока крови в микроциркуляторное русло и на увеличение эластичности сосудистой стенки.

Полученные данные об изменении показателей микроциркуляции под влиянием ЭМИ КВЧ согласуются с литературными данными. В частности, И. Детлавс с соавторами [34] методом реографии показано нормализующее воздействие мм терапии на нарушенную микроциркуляцию (увеличение числа функционирующих капилляров и увеличение наполнения их кровью), независимо от конкретной патологии у больных некоторыми нейрососудистыми расстройствами — ангиоветгососудистой дистонией, гипертонией, синдромом Рейно и др. Миллиметровая терапия весьма результативна при коррекции микроциркуляторных расстройств у больных острым деструктивным панкреатитом [15]. Авторы использовали метод ЛДФ, при помощи которого была выяснена роль КВЧ-воздействия в нормализации показателей перфузии, вариабельности кровотока и др.

Таким образом, собственные экспериментальные и литературные данные свидетельствуют о том, что низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ оказывает выраженное действие на процессы микроциркуляции. Возможный механизм этого следующий. Рецепция ЭМИ КВЧ может осуществляться микроциркуляторной системой кожи, которая располагается на глубине около 150 мкм [32]. Температурный порог расширения кожных сосудов довольно низок и составляет всего $0,06^{\circ}\text{C}$ [33], т.е. находится в границах нагрева тканей, обусловленного действием ЭМИ КВЧ. В.Н.

Воронков и Е.П. Хижняк [35] гистологическими методами показали, что облучение кожи экспериментальных животных (52 ГГц; ППМ 50 мВт/см^2) в течение 15 мин вызывает расширение капилляров кожи, диapedез эритроцитов в экстравазальное пространство, дегрануляцию тучных клеток. Роль кровеносных капилляров в реализации биологических эффектов сводится к резонансному поглощению в них мм волн и изменению динамики протекания жидкости при одновременном уменьшении силы сцепления (адгезии) жидкости с внутренней стенкой капилляра [32; 36], однако механизм этого феномена до сих пор остаётся невыясненным. Таким образом, сосуды кожи вполне доступны для непосредственного воздействия ЭМИ КВЧ.

Изучение микроциркуляции при различных воздействиях позволяет выявить приспособительные возможности организма. Известно, что микроциркуляторное русло является тем отделом сердечно-сосудистой системы, в котором реализуется основная задача кровообращения — обеспечение тканевого гомеостаза. Поэтому вполне очевидно, что система микроциркуляции организма одна из первых включается в процессы адаптации к низкоинтенсивному ЭМИ КВЧ.

ВЫВОДЫ

1. Методом лазерной доплеровской флоуметрии выявлено, что низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ оказывает выраженное влияние на показатели микроциркуляции.

2. Под влиянием ЭМИ КВЧ происходит увеличение вклада активных механизмов (эндотелиальных и вазомоторных) на фоне снижения пассивных (пульсовой и дыхательной волн) в регуляцию микроциркуляции.

3. Под влиянием ЭМИ КВЧ происходит активизация эндотелиального и вазомоторного механизмов регуляции микрокровотока, что способствует увеличению активности микроциркуляторного эндотелия (выбросу NO), транспортной функции крови, снижению периферического сопротивления и повышению нутритивного кровотока.

4. При воздействии ЭМИ КВЧ происходит снижение активности пульсовых и дыхательных механизмов в регуляции микроциркуляции, что приводит к увеличению эластичности стенки периферических сосудов, уменьшению притока крови в микроциркуляторное русло, улучшению венозного оттока, и, следовательно, уменьшению застойных явлений в микрососудах.

5. Под влиянием ЭМИ КВЧ происходит увеличение индекса эффективности микроцирку-

ляции, что свидетельствует о доминирующем влиянии активных механизмов модуляции нутритивного кровотока.

Литература

1. Лукьянов В.Ф., Захаров Е.И., Лукьянова С.В. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на микроциркуляторное русло при гипертонической болезни // Сб. докл. Междунар. симпозиум «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине» – Т. 1. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – С. 124-127.
2. Жуков Б.Н., Лысов Н.А., Махлин А.Э. Влияние ММ-волн на микроциркуляцию в эксперименте // Сб. докл. 10 Российс. симпоз. с Международным участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии». – М.: МТА КВЧ. – 1995. – С. 129-130.
3. Субботина Т.И., Яшин А.А. Экспериментально-теоретическое исследование КВЧ-облучения открытой печени прооперированных крыс и поиск новых возможностей высокочастотной терапии // Вестник новых медицинских технологий. – 1998. – Т. 5, № 1. – С. 122-126.
4. Гедымин Л.Е., Голант М.Б., Колтикова Т.В., Балакирева Л.З. КВЧ-терапия в клинической практике / Сб. докл. 12-го Российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: ИРЭ РАН. – 2000. – С. 45-49.
5. Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. – М.: «САЙНС-ПРЕСС», 2004. – 107с.
6. Ситько С.П. Физика живого – новое направление фундаментального естествознания // Вестник новых медицинских технологий. – 2001. – Т. VIII, № 1. – С. 5-6.
7. Люсов В.А., Волов Н.А., Лебедева А.Ю. и др. Некоторые механизмы влияния миллиметрового излучения на патогенез нестабильной стенокардии / Сб. докл. 10-го Российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: ИРЭ РАН. – 1995. – С. 26-27.
8. Царев А.А., Лебедева А.Ю. Состояние мозгового кровотока и обмена катехоламинов у больных гипертонической болезнью на фоне терапии электромагнитным излучением миллиметрового диапазона // Сб. докладов 12 российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии». – М.: ИРЭ РАН. – 2000. – С. 6-9.
9. Ефанов О.И., Волков А.Г. Влияние КВЧ-терапии различных длин волн на клиническое течение пародонтита / Сб. докл. 11-го Российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: ИРЭ РАН. – 1997. – С. 43-44.
10. Козлов В. И., Корси Л.В., Соколов В.Г. Лазерная доплеровская флоуметрия и анализ коллективных процессов в системе микроциркуляции // Физиология человека. – 1998. – Т. 24. – №6. – С.112.
11. Bonner R.F., Nossal R., Modal for Laser Doppler measurements of blood flow in tissue microcirculation // Appl. Optics. – 1981. – V. 20. – P. 2097.
12. Арефьев И.М., Еськов Л.П. Метод спектроскопии оптического смещения в диагностике микроциркуляции крови // Бюлл. эксперим. биологии и медицины. – 1981. – №2. – С. 244.
13. Nilsson G.E. Signal processor for Laser Doppler tissue flowmeters // Med. Biol. Eng. Comput. – 1981. – V.22. – P. 343.
14. Букатко В.Н., Данилова С.А. Лазерная доплеровская флоуметрия в изучении эффектов миллиметровой волновой терапии // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2004. – N 4(36). – С. 28-39.
15. Брискин Б.С., Букатко В.Н. Исследование микроциркуляции методом лазерной доплеровской флоуметрии при остром панкреатите // Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / Под редакцией Крупаткина А.И., Сидорова В.В. – М. "Медицина", 2005. – С.220.-241.
16. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии. Пособие для врачей / Под ред. Маколкин В.И., Бранько В.В., Богданова С.А. и др. – М.: Россельхозакадемия, 1999. – 48 с.
17. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. – М.: Медицина. – 2005 – 254с.
18. Schmid-Schonbein H., Ziege S., Grebe R. et.al. Synergetic Interpretation of Patterned Vasomotor Activity in Microvascular Perfusion: Discrete Effects of Myogenic and Neurogenic Vasoconstriction as well as Arterial and Venous Pressure Fluctuation // Int. J. Micror. – 1997. – V.17. – P. 346-359.
19. Крупаткин А.И. Клиническая нейроангиофизиология конечностей (периваскулярная иннервация и нервная трофика). – М.: Научный мир. – 2003. – 328с.
20. Крупаткин А.И., Сидоров В.В., Меркулов М.В. и др. Функциональная оценка периваскулярной иннервации конечностей с помощью лазерной доплеровской флоуметрии. Пособие для врачей. – М. – 2004. – 26 с.
21. Stefanovska A., Bracic M., Physics of the human cardiovascular system // Contemporary Physics. – 1999. – 40, N1. – P. 31-35.
22. Метод лазерной доплеровской флоуметрии. Пособие для врачей / Под ред. Козлов В.И., Мач Э.С., Литвин Ф.Б., Терман О.А., Сидоров В.В. – М. – 1999. – 48 с.
23. Kvandal P. Stefanovska A., Veber M. et. al. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler Flowmetry, iontophoresis and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandins //Microvascular Research. – 2003. – 65. – P. 160-171.
24. Bollinger A., Yanar A., Hofmann U., Franzeck U.K. Is high-frequency flux motion due to respiration or to vazomotion activity? Progress Appl. Microcirculation. Basel: Karger. – 1993. – V. 20. – P. 52.
25. Новоселова Е.Г., Огай В.Б., Синотова О.А., Глушкова О.В., Сорокина О.В., Фесенко Е.Е. Влияние миллиметровых волн на иммунную систему мышцей с

- експериментальними опухолями // *Биофизика*. – 2002. – Т. 47, вып.5. – С. 933-942.
26. Чуян Е.Н. Нейроімуноендокринні механізми адаптації до дії низько інтенсивного електромагнітного випромінювання надто високої частоти // Автореф. дис... докт. біол. наук. – Київ, 2004. – 40 с.
 27. Чуян Е.Н., Махонина М.М. Изменение функциональной активности лимфоцитов крови крыс как отражение модифицирующих эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ и гипокинетического стресса // *Таврический медико-биологический вестник*. – 2005. – Т. 8, № 3. – С. 142-145.
 28. Тарадий Н.Н., Багдасарова И.В., Узденова З.Х. и др. Экспрессия маркеров иммунокомпетентных клеток, уровень цитокинов и метаболизм L-аргинина при комплексной крайне высокочастотной и интерферонотерапии воспалительных заболеваний у женщин в высокогорье // *Фізіол. журнал*. – 2003. – Т. 49, № 3. – С. 80-89.
 29. Новоселова Е.Г., Огай В.Б., Сорокина О.В., Новиков В.В., Фесенко Е.Е. Влияние электромагнитных волн сантиметрового диапазона и комбинированного магнитного поля на продукцию фактора некроза опухолей в клетках мышечной с экспериментальными опухолями // *Биофизика*, 2001. – Т. 46, вып. 1. – С. 131-135.
 30. Глушкова О.В., Новоселова Е.Г., Синотова О.А., Врублевская В.В., Фесенко Е.Е. Иммуномодулирующее действие низкоинтенсивных электромагнитных волн на продукцию фактора некроза опухолей у мышечной с различной скоростью опухолевого роста // *Биофизика*. – 2002. – Т. 47, вып. 2. – С. 376-381
 31. Струсов В.В., Уткин Д.В., Дремучев В.А. Хирургические аспекты применения КВЧ-терапии // *Миллиметровые волны в биологии и медицине*. – 1995. – № 6. – С. 48-49.
 32. Бецкий О.В. Механизмы первичной рецепции низкоинтенсивных миллиметровых волн у человека // *Сб. докладов 10-го Российск. симпоз. с междуна. участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине»* – М.: ИРЭ РАН. – 1995. – С. 135-137.
 33. Родитат И.В. Новые физиологические подходы к оценке КВЧ-воздействия на биологические объекты // *Биомедицинская радиоэлектроника*. – 1998. – № 3. – С. 11-16.
 34. Детлавс И., Лавенделс Ю., Мурниец М., Турауска А. Коррекция нейрососудистых расстройств электромагнитным полем ММ диапазона / 11-й Российский симпозиум с международным участием "Миллиметровые волны в квантовой медицине". – М.: ИРЭ РАН. – 1997. – С.78-79
 35. Воронков В.Н., Хиженяк Е.П. Морфологические изменения в коже при действии КВЧ ЭМИ // *Сб. докл. междуна. симпоз. «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине»*. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – С. 635-638.
 36. Бецкий О.В., Яременко Ю.Г. Кожа и электромагнитные волны // *Миллиметровые волны в биологии и медицине*. – 1998. – Т. 11, №1. – С. 3-14.

НИЗЬКОІНТЕНСИВНЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ: ВПЛИВ НА ПРОЦЕСИ МІКРОЦІРКУЛЯЦІЇ

Чуян О.М., Трибрат Н.С., Раваєва М.Ю.

У статті описані зміни в системі мікроциркуляції, що виникають під впливом низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання надвисокої частоти, досліджені методом лазерної доплерівської флоуметрії. Показано, що курсова дія даного фізичного чинника призводить до поліпшення функціонування мікроциркуляторного русла, що супроводжується збільшенням функціонування активних механізмів контролю мікроциркуляції.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання надвисокої частоти, метод лазерної доплерівської флоуметрії, мікроциркуляція.

CHANGE OF PROCESSES OF MICROCIRCULATION AT INFLUENCE OF LOWINTENSITY ELECTROMAGNETIC RADIATION OF THE MILLIMETRIC RANGE

Chuyan E. N., Tribрат N.S., Ravaeva M.U.

In the article is described changes in the system of microcirculation, arising up under influence of lowintensity of electromagnetic radiation of very high frequency, are explored of the method of laser Doppler flowmetry. It is rotined that course influence of this physical factor brings to the improvement of functioning of microvasculature, expressed in multiplying functioning of active mechanisms of control of blood microcirculation.

Key words: electromagnetic radiation of very high frequency, method of laser Doppler flowmetry, microcirculation.