

УДК 612.821

Чуян Е.Н., Трибрат Н.С., Раваева М.Ю., Ананченко М.Н.

АКТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ ПРОЦЕССОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ: ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Центр
коррекции функционального состояния человека, г. Симферополь,
Украина;

E-mail: elena-chuyan@gambler.ru

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

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 [2, 8, 12, 17, 26]. Именно этим объясняется выраженный клинический эффект КВЧ-терапии при облитерирующем эндартериите [4], остеомиелите [24]. Исследование микроциркуляции в бульбарной конъюнктиве больных ишемической болезни 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 агрегантов в венулах. В.А. Люсовым и др. [18] 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 [28]. Воздействие мм волнами показало свою эффективность и при нормализации микроциркуляторных расстройств у больных пародонтозом [11]. Однако, в целом, данные о влиянии ЭМИ КВЧ на процессы микроциркуляции, исследуемые методом ЛДФ, единичны [5, 6].

Однако данные исследований о влияния 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 [15]. 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 [13]. Другой важной особенностью ЛДФ является возможность получения большого количества измерений (тысячи в минуту), их регистрации и обработки в реальном масштабе времени [1, 15, 32, 34], что, в частности, позволяет создавать мониторинговые системы ЛДФ. Последние в перспективе дают возможность анализировать весь спектр ритмических процессов в микрососудах от пульсовых до циркадных [13]. Метод ЛДФ на основе спектрального анализа и вейвлет-преобразования позволяет выявить активные и пассивные механизмы регуляции микроциркуляции. К активным относятся очень низкочастотные (или эндотелиальные, VLF), низкочастотные (или вазомоторные, LF) – эти факторы контроля регуляции модулирующие кровотоки со стороны сосудистой стенки и реализующиеся через ее мышечный компонент. К пассивным относятся дыхательные (быстрые, парасимпатические, HF) и пульсовые (или кардиальные, CF) колебания кожного кровотока, являющиеся составной частью системы кровообращения, топографически расположенной между артериями и венами. В целом, в процессе регуляции вклады активных механизмов наиболее важны для понимания механизмов регуляции нормального кровотока. В связи с этим, нам представлялось актуальным выявить особенности влияния ЭМИ КВЧ на активные механизмы регуляции микрокровотока.

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 GI15 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 [19] указанная зона является зоной Захарьина-Геда сердца, бедна артерио-венулярными 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 [16, 20];

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) колебания кожного кровотока. 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 артериолярных участков артерио-венулярных анастомозов [14, 15], 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 осцилляций тканевого кровотока | Частотный диапазон | Физиологическое значение |
|---|---------------------------------------|---|
| Эндотелиальные колебания (very low frequency, VLF) | 0,0095-0,02 Гц [21, 23] | Обусловлены функционированием эндотелия, а именно выбросом вазодилатора NO [33] |
| Вазомоторные колебания, LF | 0,02-0,2Гц 1,2-12 кол/мин. [24] | Связаны с работой вазомоторов (гладкомышечных клеток в прекапиллярном звене резистивных сосудов) [31, 35] |

Ввиду разброса колебаний амплитуд ритмов, анализировались их нормированные характеристики:

$$A_{\max} * 100\% / 3\text{СКО} \quad (2)$$

Такая нормировка позволяет исключить влияние нестандартных условий проведения исследований.

Статистическая обработка материала проводилась путем вычисления среднего значения исследуемых величин (M), средней ошибки (m) 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 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 [16], то увеличение этого параметра свидетельствует о более глубокой модуляции микрокровотока. Повышение СКО может быть обусловлено интенсивным функционированием механизмов активного контроля микроциркуляции.

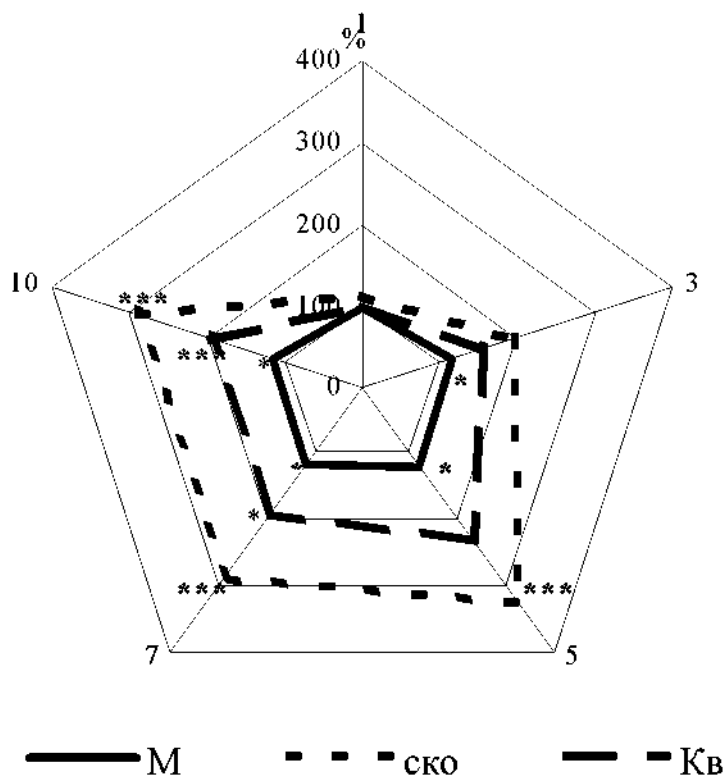


Рисунок 1 Динамика показателя перфузии (М), флакса (СКО), коэффициента вариации (Кв) (в % относительно значений у испытуемых контрольной группы, принятых за 100%).

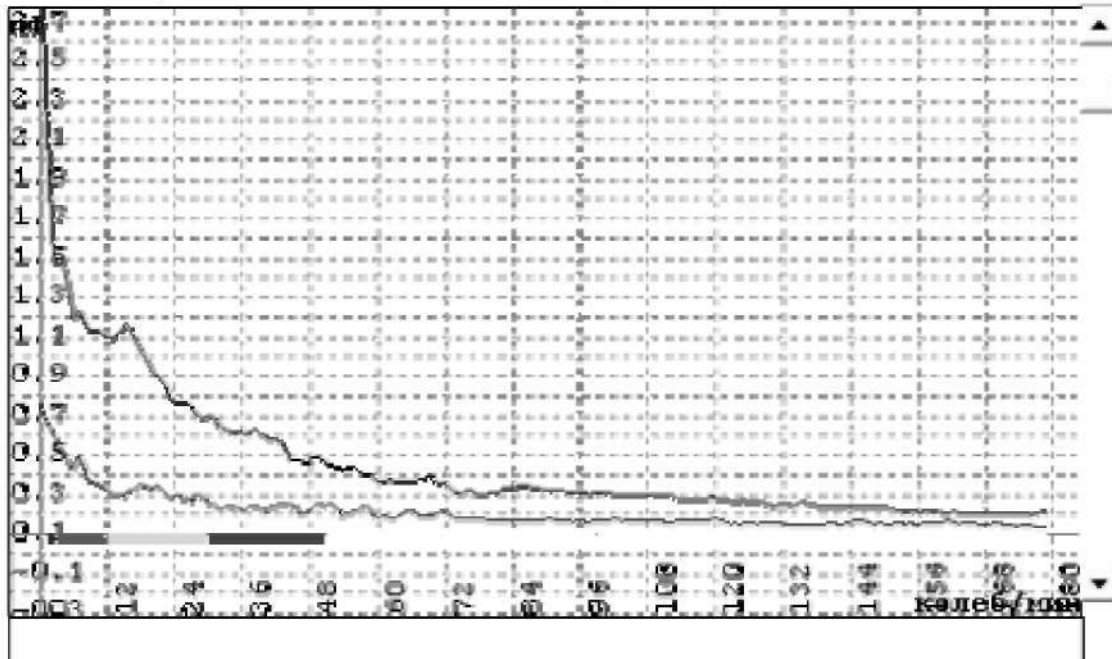
Примечание: * - $p \leq 0,05$; *** - $p \leq 0,01$, достоверность по отношению к значениям у испытуемых контрольной группы по t-критерию Стьюдента.

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 [16], 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 флаксмоций, выявляемая с помощью амплитудно-частотного анализа, есть результат суперпозиции различных эндотелиальных, вазомоторных и других влияний на состояние микроциркуляции [20].

А.

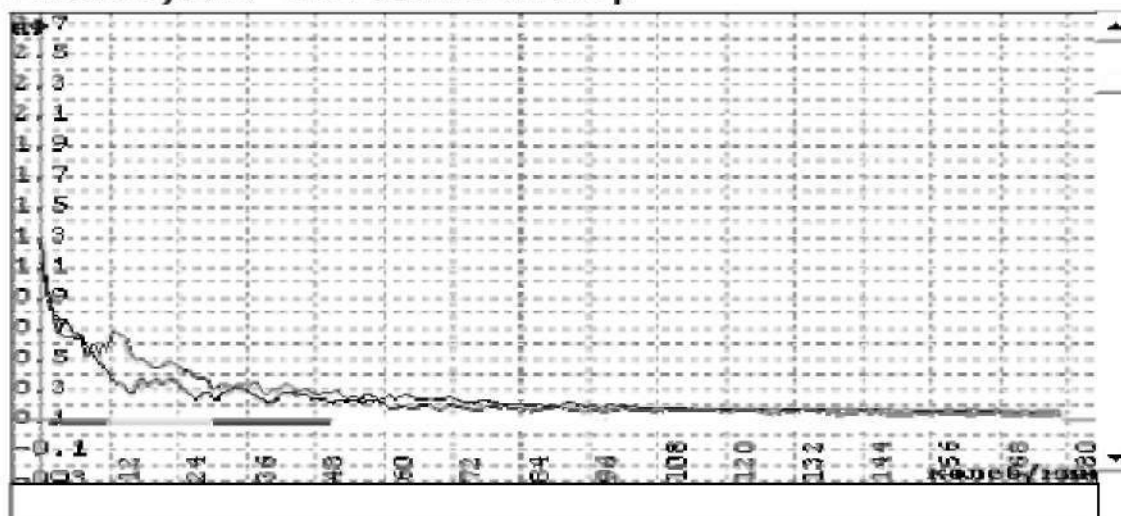
Амплитудно-частотный спектр



| Диапазон частот | α 2..3 | LF 4..12 | HF1 13..30 | HF2 31..49 | CF1 50..99 | CF2 100..180 |
|---|------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| Fmax | 1.80 | 3.60 | 18.00 | 50.40 | 52.20 | 102.00 |
| Amax | 0.53 | 0.41 | 0.25 | 0.15 | 0.15 | 0.08 |
| (Amax/3s) *100% | 50.14 | 38.79 | 23.65 | 14.19 | 14.19 | 7.57 |
| (Amax/M) *100% | 68.03 | 51.39 | 39.56 | 21.81 | 12.94 | 7.76 |
| | 13.12 | 9.91 | 7.63 | 4.21 | 2.50 | 1.50 |
| $\frac{A_{max\ CF1}}{A_{max\ LF}} = 0.37$ | | | | | | |
| HT = 0.66 | | | | | | |
| 0.49 | | | | | | |
| $\frac{A_{max\ HF1}}{A_{max\ LF}} = 0.61$ | | | | | | |
| MT = 0.86 | | | | | | |
| 0.65 | | | | | | |
| ИЭМ= 1.02 | | | | | | |
| 0.98 | | | | | | |
| ПШ = 1.29 | | | | | | |
| 1.32 | | | | | | |

Б.

Амплитудно-частотный спектр



| Диапазон частот | α 2..3 | LF 4..12 | HF1 13..30 | HF2 31..49 | CF1 50..99 | CF2 100..180 |
|------------------------------------|------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
| Fmax | 1.80 | 3.60 | 13.20 | 37.80 | 52.20 | 100.20 |
| Amax | 0.80 | 0.55 | 0.57 | 0.24 | 0.18 | 0.10 |
| (Amax/3s) *100% | 53.78 | 36.97 | 38.32 | 16.13 | 12.10 | 6.72 |
| (Amax/M) *100% | 11.48 | 7.89 | 8.18 | 3.44 | 2.58 | 1.43 |
| | 5.65 | 4.96 | 2.01 | 1.63 | 0.93 | 0.62 |
| $\frac{A_{max\ CF1}}{A_{max\ LF}}$ | 0.33 | 0.19 | HT = 0.62 | 0.57 | | |
| $\frac{A_{max\ HF1}}{A_{max\ LF}}$ | 1.04 | 0.41 | MT = 0.90 | 0.65 | | |
| ИЭМ= | 0.73 | 1.68 | ПШ = 1.45 | 1.14 | | |

Рисунок 2. Амплитудно-частотный спектр осцилляций тканевого кровотока у испытуемого К. до (А) и после 10-ти дневного облучения низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ (Б).

Результаты исследований показали, что у волонтеров экспериментальной группы происходило достоверное увеличение амплитуды эндотелиальных (VLF) колебаний на с 3-их по 10-е стуки 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 вазодилататора NO) [36]. 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 микроваскулярного 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 [22]. 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 [27, 29]. 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 микрокровоотком именно тонус прекапиллярных гладкомышечных клеток является последним звеном контроля микрокровоотка 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 [29, 30] и других исследованиях [9, 21, 22, 25], увеличиваются под влиянием ЭМИ КВЧ. Роль пептидов в регуляции периферических сосудов сводится к модулированию регуляторных механизмов центральной нервной системы путем пептидергической иннервации сосудистых стенок [16]. Вероятно, с этим связано увеличение вклада вазомоторного компонента в реализацию ЛДФ-граммы под влиянием ЭМИ КВЧ.

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

микроциркуляторного русла, проявляющееся в увеличении функционирования активных механизмов контроля микрокровотока.

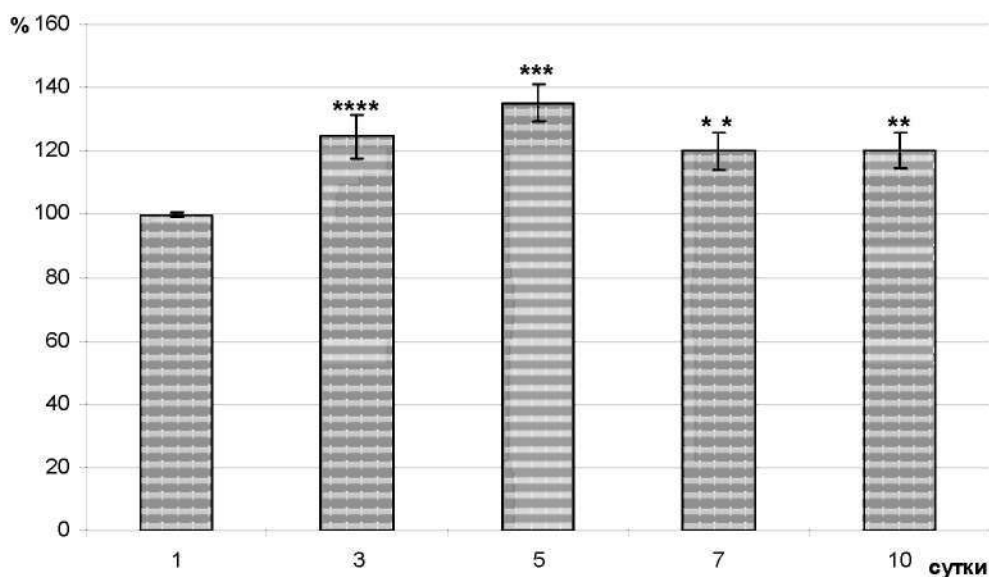


Рисунок 3. Динамика изменения очень низкочастотных колебаний микрокровотока (в % относительно значений у испытуемых контрольной группы, принятых за 100%).

Примечание: см. рис 1

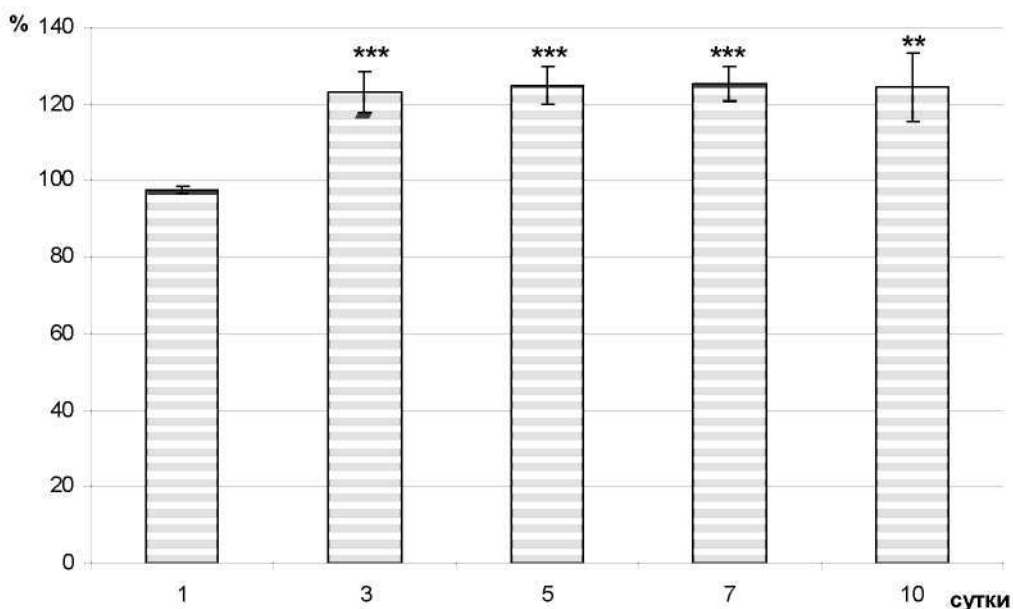


Рисунок 4. Динамика изменения низкочастотных колебаний микрокровотока (в % относительно значений у испытуемых контрольной группы, принятых за 100%).

Примечание: см. рис 1

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, 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.

Полученные данные об изменении показателей микроциркуляции под влиянием ЭМИ КВЧ согласуются с литературными данными. В частности, И. Детлавс с соавторами [10] 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 [5]. 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 [3]. Температурный порог расширения кожных сосудов довольно низок и составляет всего $0,06^{\circ}\text{C}$ [23], т.е. находится в границах нагрева тканей, обусловленного действием ЭМИ КВЧ. В.Н. Воронков и Е.П. Хижняк [7] гистологическими методами показали, что облучение кожи экспериментальных животных (52 ГГц ; ППМ 50 мВт/см^2) в течение 15 мин вызывает расширение капилляров кожи, диапедез 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 [3, 4], 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 под влиянием ЭМИ КВЧ происходит увеличение вклада активных механизмов (эндотелиальных и вазомоторных) по сравнению с контролем в регуляцию микроциркуляции.

2. 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арефьев И.М., Еськов Л.П. Метод спектроскопии оптического смещения в диагностике микроциркуляции крови // Бюлл. эксперим. биологии и медицины. – 1981. – №2. – С.244.
2. Бецкий О.В. Механизмы первичной рецепции низкоинтенсивных миллиметровых волн у человека // Сб. докладов 10-го Российск. симпоз. с междун. участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине» – М.: ИРЭ РАН. – 1995. – С. 135-137.
3. Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004. – 107с.
4. Бецкий О.В., Яременко Ю.Г. Кожа и электромагнитные волны // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1998. – №1 (11). – С. 3-14.
5. Брискин Б.С., Букатко В.Н. Исследование микроциркуляции методом лазерной доплеровской флоуметрии при остром панкреатите /Лазерная доплеровская флоуметри микроциркуляции крови / Под редакцией Крупаткина А.И., Сидорова В.В. – М.: Медицина, 2005. – С. 220-241.
6. 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.
7. Воронков В.Н., Хижняк Е.П. Морфологические изменения в коже при действии КВЧ ЭМИ // Сб. докл. межд. симпоз. «Миллиметровые волны

- нетепловой интенсивности в медицине». – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – С. 635-638.
8. Гедымин Л.Е., Голант М.Б., Колпикова 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.
 9. 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 мышей с различной скоростью опухолевого роста // Биофизика. – 2002. – Т. 47, вып. 2. – С. 376-381
 10. Детлавс И., Лавенделс Ю., Мурнице 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
 11. 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.
 12. 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.
 13. 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.
 14. Крупаткин А.И. Клиническая нейроангиофизиология конечностей (периваскулярная иннервация и нервная трофика). – М.: Научный мир, 2003. – 328 с.
 15. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. – М.: Медицина, 2005. – 254 с.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии. Пособие для врачей / Под ред. В.И. Маколкина, В.В. Бранько, С.А. Богдановой и др. – М.: Россельхозакадемия, 1999. – 48 с.
 20. Метод лазерной доплеровской флоуметрии. Пособие для врачей / Под ред. В.И. Козлова, Э.С. Мача, Ф.Б. Литвина, О.А. Термана, В.В. Сидорова – М. – 1999. – 48 с.

21. Новоселова Е.Г., Огай В.Б., Синотова О.А., Глушкова О.В., Сорокина О.В., Фесенко Е.Е. Влияние миллиметровых волн на иммунную систему мышей с экспериментальными опухолями // *Биофизика*. – 2002. – Т. 47, вып.5. – С. 933-942.
22. 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 мышей с экспериментальными опухолями // *Биофизика*, 2001. - Т. 46, вып. 1. – С. 131-135.
23. Родштат И.В. Новые физиологические подходы к оценке КВЧ-воздействия на биологические объекты // *Биомедицинская радиоэлектроника*. – 1998. - № 3. – С. 11-16.
24. Ситько С.П. Физика живого – новое направление фундаментального естествознания // *Вестник новых медицинских технологий*. – 2001. – Т. VIII, № 1. – С. 5-6.
25. 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.
26. 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.
27. Тарадий Н.Н., Багдасарова И.В., Узденова З.Х. и др. Экспрессия маркеров иммунокомпетентных клеток, уровень цитокинов и метаболизм L-аргинина при комплексной крайневысокочастотной и интерферонотерапии воспалительных заболеваний у женщин в высокогорье // *Фізіол. журнал*. – 2003. – Т. 49, № 3. – С. 80-89.
28. 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.
29. Чуян Е.Н. Нейроімуноендокринні механізми адаптації до дії низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання надто високої частоти // Автореф. дис... докт. біол. наук. – К., 2004. – 40 с.
30. 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.
31. Bollinger A., Yanar A., Hofmann U., Franzeck U.K. Is high-frequency flux motion due to respiration or to vasomotion activity? *Progress Appl. Microcirculation*. Basel: Karger. – 1993. – V. 20. – P. 52.
32. Bonner R.F., Nossal R., Modal for Laser Doppler measurements of blood flow in tissue microcirculation // *Appl. Optics*. – 1981. – V. 20. – P. 2097.
33. 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.

34. Nilsson G.E. Signal processor for Laser Doppler tissue flowmeters // Med. Biol. Eng. Comput. – 1981. – V.22. – P. 343.
35. Schmid-Schonbein H., Ziege S., Grebe R. et.al. Synergetic Interpretation of Patterned Vasomotor Activity in Microvascular Perfusion: Descrete Effects of Miogenic and Neurogenic Vasoconstriction as well as Arterial and Venous Pressure Fluctuation // Int. J. Micror. – 1997. – V.17. – P. 346-359.
36. Stefanovska A., Bracic M., Physics of the human cardiovascular system // Contemporary Physics. – 1999. – 40, N1. – P. 31-35.

**Chuyan E. N., Tribрат N.S., Ravaeva M.U., Ananchenko M.N.
ACTIVE MECHANISMS ADJUSTINGS OF PROCESSES OF
MICROCIRCULATION: INFLUENCE OF LOWINTENSITY OF
ELECTROMAGNETIC RADIATION OF MILLIMETRIC RANGE**

Keywords: electromagnetic radiation of very high frequency, method of laser Doppler flowmetry, microcirculation

In the article is described changes in the system of microcirculation, arising up under influence of lowintensity of electromagnetic radiation of extremely high-frequency, are explored of the method of laser doppler flowmetry. It is shown, 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.

**Чуян О.М., Трибрат Н.С., Раваєва М.Ю., Ананченко М.М.
АКТИВНІ МЕХАНІЗМИ РЕГУЛЯЦІЇ ПРОЦЕСІВ
МІКРОКРОВООБІГУ: ВПЛИВ НІЗЬКОІНТЕНСИВНОГО
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ
МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ**

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

У статті описані зміни в системі мікро кровообігу, що виникають під впливом низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання надто високої частоти, досліджувані методом лазерної доплерівської флоуметрії. Показано, що курсова дія даного фізичного чинника призводить до поліпшення функціонування мікро кровообігу, що виражається в збільшенні функціонування активних механізмів контролю мікро кровообігу.