

**УДК 612.821**

## **МОДУЛЯЦИЯ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (ЧАСТЬ II)**

*Трибрат Н.С., Чуян Е.Н.*

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

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

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

При десятикратном воздействии ЭМИ КВЧ отмечается увеличение неосцилляторных показателей тканевого кровотока: интегрального показателя микроциркуляции – уровня перфузии (максимально на 66,81%;  $p < 0,05$ ), флакса (максимально на 104,69%;  $p < 0,05$ ) и коэффициента вариации (максимально на 45,81%;  $p < 0,05$ ), характеризующих увеличение вариабельности тканевого кровотока.

Таким образом, локальные изменения показателей тканевого микрокровотока под влиянием мм-излучения проявлялись в повышении уровня перфузии и флакса во время первого сеанса, а системные изменения неосцилляторных показателей микроциркуляции – начиная с пятого сеанса мм-терапии.

Анализ осцилляторных показателей микроциркуляции свидетельствует о том, что, что в отличие от однократного сеанса мм-терапии при многократном КВЧ-воздействии изменения осцилляторных показателей регистрировались как в области локализации КВЧ-воздействия (ЭИТ), так и в дистантной симметричной области (КИТ), что свидетельствует о системном проявлении изменений.

Так, уже в течение третьего сеанса отмечались изменения со стороны

нейрогенного фактора контроля тканевого кровотока, что выражалось в увеличении  $A_n$  течение всего периода ЛДФ-метрии в среднем на 26,33% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ и 26,99% ( $p < 0,05$ ) в КИТ в сравнении с исходными данными этого показателя (рис. 3). Известно, что физиологическая природа нейрогенных колебаний связана с симпатическими адренергическими влияниями на гладкие мышцы артериол и артериоларных участков артерио-венулярных анастомозов (АВА) [1]. Увеличение  $A_n$  наблюдается при снижении симпатической импульсации, приводя к снижению прессорных симпатических влияний [1, 2] и как следствие, снижению жесткости сосудистой стенки, а, соответственно, и снижению периферического сопротивления в области артериол и АВА, что и отмечалось в обеих областях ЛДФ-метрии, начиная с третьего сеанса КВЧ-воздействия.

Кроме того, в течение третьего сеанса КВЧ-воздействия у испытуемых экспериментальной группы отмечалось снижение  $A_d$ , 54,44% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ и 37,54% ( $p < 0,05$ ) в КИТ в сравнении с данными этого показателя, зарегистрированными в группе плацебо (рис. 3). Поскольку показатель  $A_d$  обусловлен динамикой венозного давления при легочной механической активности, а местом локализации дыхательных ритмов в системе микроциркуляции являются вены [3], то снижение  $A_d$ , отмечаемое у волонтеров экспериментальной группы в обеих областях ЛДФ-метрии свидетельствует о снижении кровенаполнения венул, а следовательно, об улучшении веноулярного оттока, отмечаемого при КВЧ-воздействии.

Поскольку изменения нейрогенных и дыхательных осцилляторных показателей отмечались в обеих областях ЛДФ-метрии, что указывает на системный характер проявления описываемых изменений.

Наряду с системными изменениями продолжали отмечаться и местные изменения тканевого кровотока, что выражалось в увеличении  $A_э$  в ЭИТ на 23,30% ( $p < 0,05$ ) и  $A_m$  на 17,96% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ в сравнении с данными этого показателя, зарегистрированными в КИТ.

Пятый сеанс КВЧ-воздействия характеризовался вовлечением иного осцилляторного компонента – пульсовой волны, а именно отмечалось увеличение  $A_p$  на 19,71% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ и 15,80% ( $p < 0,05$ ) в КИТ в сравнении с данными этого показателя, зарегистрированными до воздействия ЭМИ КВЧ (рис. 3). Поскольку  $A_p$ , приносящейся в микроциркуляторное русло со стороны артерий, является параметром, который изменяется в зависимости от состояния тонуса резистивных сосудов [4], очевидно, что при снижении сосудистого тонуса, увеличивается объем притока артериальной крови в микроциркуляторное русло, модулированной пульсовой волной. Наряду с этим, в течение пятого сеанса продолжало отмечаться увеличение  $A_n$  на 32,31% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ и 15,81% ( $p < 0,05$ ) в КИТ относительно исходных данных этого показателя. Кроме того, у волонтеров, подвергавшихся действию ЭМИ КВЧ продолжало отмечаться снижение  $A_d$  на 47,36% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ и 43,19% ( $p < 0,05$ ) в КИТ относительно данных этого показателя, зарегистрированных у испытуемых контрольной группы. Вероятно, увеличение  $A_p$  и  $A_n$  способствовало увеличению притока крови в микрососудистое русло, что способствовало улучшению веноулярного оттока и находило свое выражение в снижении  $A_d$ . Поскольку изменения  $A_n$ ,  $A_p$  и  $A_d$  отмечались в обеих областях ЛДФ-метрии, это

указывает на системный характер описываемых изменений и свидетельствует о системном снижении периферического сопротивления в области артериол и АВА.

Наряду с генерализованными изменениями продолжали отмечаться и локальные, среди которых наблюдался рост Аэ и Ам на 23,60% ( $p \leq 0,05$ ) и 28,48% ( $p < 0,05$ ) соответственно ЭИТ в сравнении с данными этого показателя, зарегистрированными в КИТ (рис. 3).

Сеансы ЭМИ КВЧ	<b>ОБЛАСТИ ЛДФ-МЕТРИИ</b>			
	<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТОЧКА</b>		<b>КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТОЧКА</b>	
1	МИОГЕННЫЕ РИТМЫ	ЭНДОТЕЛИАЛЬНЫЕ РИТМЫ		
3	МИОГЕННЫЕ РИТМЫ	ЭНДОТЕЛИАЛЬНЫЕ РИТМЫ		
	НЕЙРОГЕННЫЕ РИТМЫ	ДЫХАТЕЛЬНЫЕ РИТМЫ	НЕЙРОГЕННЫЕ РИТМЫ	ДЫХАТЕЛЬНЫЕ РИТМЫ
5-7	МИОГЕННЫЕ РИТМЫ	ЭНДОТЕЛИАЛЬНЫЕ РИТМЫ		
	НЕЙРОГЕННЫЕ РИТМЫ		НЕЙРОГЕННЫЕ РИТМЫ	
	ПУЛЬСОВЫЕ РИТМЫ	ДЫХАТЕЛЬНЫЕ РИТМЫ	ПУЛЬСОВЫЕ РИТМЫ	ДЫХАТЕЛЬНЫЕ РИТМЫ
10	МИОГЕННЫЕ РИТМЫ	ЭНДОТЕЛИАЛЬНЫЕ РИТМЫ		ЭНДОТЕЛИАЛЬНЫЕ РИТМЫ
	НЕЙРОГЕННЫЕ РИТМЫ		НЕЙРОГЕННЫЕ РИТМЫ	
	ПУЛЬСОВЫЕ РИТМЫ	ДЫХАТЕЛЬНЫЕ РИТМЫ	ПУЛЬСОВЫЕ РИТМЫ	ДЫХАТЕЛЬНЫЕ РИТМЫ

Рис. 3. Схема изменения осцилляторных показателей микроциркуляторного русла в зависимости от продолжительности воздействия ЭМИ КВЧ.

Седьмой сеанс КВЧ-воздействия характеризовался такими же изменениями, что отмечались в течение пятого сеанса КВЧ-воздействия. Так, среди системных изменений отмечалось увеличение Ан и Ап на 23,97% ( $p < 0,05$ ) и 43,09% ( $p < 0,05$ ) соответственно в ЭИТ, а также на 22,17% ( $p < 0,05$ ) и 20,80% ( $p < 0,05$ ) соответственно в КИТ на фоне снижения Ад в среднем на 46,88% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ и 44,42% ( $p < 0,05$ ) в КИТ относительно значений соответствующих показателей, зарегистрированных у испытуемых контрольной группы. Подобные изменения осцилляторных показателей сопровождаются снижением периферического сопротивления и увеличения потока крови в микрососудистое русло на фоне улучшения веноулярного оттока.

Наряду с системными изменениями осцилляторных параметров в течение седьмого сеанса мм-терапии наблюдались и локальные, среди которых отмечалось увеличение Ам на 35,91% ( $p < 0,05$ ) и Аэ на 24,39% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ в сравнении со значениями этих показателей, зарегистрированных в КИТ (рис. 3).

Изменения осцилляторных показателей, зарегистрированные в течение десятого сеанса мм-терапии во многом были аналогичны таковым, что и в предыдущих сеансах КВЧ-воздействия, но характеризовались большим вкладом системных факторов. Так, в течение десятого сеанса КВЧ-воздействия, в отличие от предыдущих сеансов, отмечалось увеличение Аэ не только в ЭИТ, но и в КИТ на 23,51% ( $p < 0,05$ ) и 20,72% ( $p < 0,05$ ) соответственно, что указывает на то, что увеличение эндотелиального компонента при длительном воздействии ЭМИ КВЧ также носит системный характер.

Наряду с этим, отмечалось увеличение Ан на 26,71% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ и 20,6% ( $p < 0,05$ ) в КИТ и Ап на 48,37% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ и 42,91% ( $p < 0,05$ ) в КИТ. На фоне чего отмечалось снижение Ад на 46,88% ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ и 44,42% ( $p < 0,05$ ) в КИТ в сравнении со значениями соответствующих показателей, зарегистрированными у испытуемых контрольной группы (рис. 3).

Локальные изменения осцилляторных показателей были характерны лишь для миогенных ритмов, и проявлялись в увеличении Ам на 35,91% ( $p < 0,05$ ) относительно значений этого показателя, зафиксированных в КИТ (рис. 3).

Таким образом, местные изменения показателей тканевой микрогемодинамики под влиянием мм-излучения характеризовались постепенным включением миогенного и эндотелиального осцилляторных компонентов регуляции во время первого сеанса, нейрогенного и дыхательного, начиная с третьего сеанса, пульсового – с пятого сеанса мм-терапии. Системные изменения показателей микроциркуляции происходили на более поздних этапах курсового КВЧ-воздействия: вовлечение нейрогенного и дыхательного осцилляторных компонентов регуляции, начиная с третьего КВЧ-воздействия (одновременно с локальными), кардиоритма – с пятого, а эндотелиального компонента регуляции – во время десятого сеанса мм-терапии.

Наряду с изменением неосцилляторных и осцилляторных показателей, многократное КВЧ-воздействие привело и к изменению показателей микрососудистого тонуса. В частности, произошло локальное снижение МТ, отмечаемое лишь в области КВЧ-воздействия в течение всех сеансов мм-терапии максимально на 34,15% ( $p < 0,05$ ), что свидетельствует о местном снижении периферического сопротивления в области гладкомышечных прекапилляров. Наряду с этим, отмечалось и снижение НТ, который аналогично показателю Ан, снижался в течение всего курса мм-терапии, начиная с третьего сеанса КВЧ-воздействия максимально на 21,19 ( $p < 0,05$ ) в ЭИТ и 31,34 ( $p < 0,05$ ) в КИТ, что дополнительно подтверждает снижение периферического сопротивления в области артериол и артериолярных участков АВА [4].

#### **Изменение функционального состояния микрососудистого эндотелия при действии ЭМИ КВЧ**

Увеличение функциональной активности эндотелия отмечалось как при однократном, так и при многократном действии мм-терапии. Доказательством этому служат результаты проведения фармакологической и окклюзионной проб. Так, при

проведении фармакологической пробы после однократного КВЧ-воздействия отмечалось увеличение уровня реакции кожного кровотока при введении АХ (РКК(АХ)) на 41,55% ( $p \leq 0,05$ ) (рис. 4), а также функциональной активности эндотелия (ФАЭ) на 48,39% ( $p \leq 0,05$ ). Прирост данных показателей, вероятно, отмечался за счет увеличения вклада Аэ, подтверждением чему служит рост показателей Аэ(АХ) на 13,82% ( $p \leq 0,05$ ) и Аэ(АХ/НП) на 35,20% ( $p \leq 0,05$ ) соответственно. Аналогичные, но более выраженные изменения отмечались и после пятого сеанса ЭМИ КВЧ. В частности, отмечалось увеличение РКК(АХ) и ФАЭ на 41,55 ( $p \leq 0,05$ ) и 78,76% ( $p \leq 0,05$ ) соответственно и Аэ(АХ) и Аэ(АХ/НП) на 48,17 ( $p \leq 0,05$ ) и 51,57 ( $p \leq 0,05$ ) соответственно.

Десятый сеанс ЭМИ КВЧ также характеризовался подобными изменениями. В частности, отмечался прирост показателей РКК(АХ) и ФАЭ на 37,99 ( $p \leq 0,05$ ) и 63,98 ( $p \leq 0,05$ ) соответственно на фоне увеличения Аэ(АХ) на 42,68% ( $p \leq 0,05$ ) и Аэ(АХ/НП) на 33,97% Аэ(АХ/НП), что свидетельствует об увеличении функциональной активности эндотелия.

Данные окклюзионной пробы также указывают на увеличение функциональной активности эндотелия, в пользу чего свидетельствует рост во время реактивной постокклюзионной гиперемии таких показателей как реакция кожного кровотока (РККоп) на 41,76% ( $p \leq 0,05$ ) и 63,28% ( $p \leq 0,05$ ), наряду с увеличением Аэ на 22,40% ( $p \leq 0,05$ ) и 38,34% ( $p \leq 0,05$ ) после однократного и десятикратного сеансов КВЧ-воздействия соответственно.



Рис. 4. Динамика реакции кожного кровотока (РКК в %), при ионофорезе ацетилхолина (РКК(АХ)) и нитропруссиды НП (РКК(НП)) во время курсового воздействия ЭМИ КВЧ. Примечание: \* – достоверность различий ( $p \leq 0,05$ ), между показателями РКК(АХ) и РКК(НП) по критерию Манна-Уитни; Δ – достоверность различий ( $p \leq 0,05$ ) относительно значений показателя РКК(АХ), по критерию Вилкоксона.

Вероятно, полученные результаты связаны с тем, что КВЧ-воздействие затрагивает механизмы ЭЗВ путем изменения выработки главного паракринного вазодилатора NO, в том числе, за счет изменения активности конститутивных форм NOS [5, 6].

### **Изменение функциональной активности гладкомышечных клеток при действии ЭМИ КВЧ**

Данные окклюзионной пробы свидетельствуют о сокращении T1/2 во время реактивной постокклюзионной гиперемии после однократного и десятикратного КВЧ-воздействия на 28,57% ( $p \leq 0,05$ ) и 39,65% ( $p \leq 0,05$ ) соответственно, что свидетельствует об увеличении реактивности гладкомышечных клеток при моделируемом увеличении потока крови [4]. Результаты проведения постуральной пробы также подтверждают увеличение реактивности гладкомышечных клеток при моделируемом увеличении потока крови, что проявилось в увеличении РККпп при опускании конечности ниже уровня сердца на 59,06% ( $p \leq 0,05$ ) и 55,33% ( $p \leq 0,05$ ) после однократного и десятикратного КВЧ-воздействия соответственно в сравнении с данными, полученными до воздействия ЭМИ КВЧ. Полученные данные, по-видимому, связаны с тем, что низкоинтенсивное мм-воздействие оказывает влияние на различные сенсоры, участвующие в реализации миогенных реакций: изменение внутриклеточной концентрации ионов кальция [5-7] протеинкиназу С [8], метаболиты арахидоновой кислоты [8], фосфолипазу A<sub>2</sub> [7].

### **Оценка эффективности нейрогенного компонента при действии ЭМИ КВЧ**

При пролонгированном действии мм-терапии отмечались изменения и со стороны нейрогенного компонента, оказывающего значительное влияние уровень периферического сопротивления. Причем, начиная с третьего сеанса КВЧ-воздействия, отмечались изменения со стороны тонической активности нейрогенного компонента, что проявилось в увеличении An и свидетельствует о снижении прессорных симпатических адренергических влияний в покое [2], а изменения фазической симпатической активности регистрировались при проведении дыхательной пробы лишь после десятого сеанса КВЧ-воздействия, что выразилось в увеличении параметра ΔПМд на 46,53% ( $p \leq 0,05$ ).

Таким образом, изменения нейрогенного фактора, контролирующего тканевой кровотока, при действии ЭМИ КВЧ носили отсроченный характер и оказывали выраженное действие на снижение периферического сопротивления на системном уровне. Данные изменения нейрогенного компонента при действии ЭМИ КВЧ, возможно обусловлены модуляцией импульсной активности рецепторов и других нервных окончаний, расположенных в коже [9-11], в результате чего изменяется структура восходящего импульсного потока, что и может быть причиной рефлекторного изменения тонуса кровеносных сосудов [12].

### **ВЫВОД**

1. Методом лазерной доплеровской флоуметрии показано, что низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ оказывает выраженное действие на процессы микроциркуляции крови в коже человека, что выражается в изменении неосцилляторных и осцилляторных характеристик базального кровотока и показателей микрососудистого тонуса. В механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляторные процессы основную роль играют эндотелий-зависимый, миогенный эндотелий-независимый и нейрогенный компоненты регуляции тканевого кровотока.

2. Однократное воздействие ЭМИ КВЧ приводит к местному снижению периферического сопротивления и доминированию нутритивного кровотока на фоне депрессии шунтового, в пользу чего свидетельствуют увеличение амплитуд миогенных (начиная с первых минут экспозиции мм-излучения максимально на 42,00%;  $p \leq 0,01$ ) и эндотелиальных осцилляций тканевого кровотока (с 10-ой по 30-ую минуты экспозиции максимально на 47,53%;  $p \leq 0,05$ ) на фоне снижения миогенного тонуса (на 27%;  $p \leq 0,05$ ) и показателя шунтирования (в первые 20 минут КВЧ-воздействия максимально на 32,67%;  $p \leq 0,05$ ) только в области локализации КВЧ-воздействия.
3. При десятикратном воздействии ЭМИ КВЧ отмечается увеличение неосцилляторных показателей тканевого кровотока: интегрального показателя микроциркуляции – уровня перфузии (максимально на 65,81%;  $p < 0,05$ ), флакса (максимально на 104,69%;  $p < 0,05$ ) и коэффициента вариации (максимально на 45,81%;  $p < 0,05$ ), характеризующих увеличение variability тканевого кровотока.
4. Курсовое воздействие ЭМИ КВЧ оказывает выраженное влияние на изменение осцилляторных показателей тканевого кровотока, характеризующих активные и пассивные факторы регуляции микроциркуляторных процессов, приводя к увеличению амплитуд эндотелиальных (максимально на 47,53%;  $p \leq 0,05$ ), миогенных (максимально на 56,24%;  $p \leq 0,01$ ) и нейрогенных (максимально на 29,03%;  $p < 0,05$ ), пульсовых (максимально на 48,37%;  $p < 0,05$ ) на фоне снижения амплитуд дыхательных (на 55,9%;  $p < 0,05$ ) ритмов, следствием чего является увеличение выработки вазодилаторов, снижение периферического сопротивления в области артериол и прекапилляров, увеличение притока крови в микрососудистое русло на фоне улучшения венолярного оттока.
5. Курсовое воздействие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ приводит к снижению микрососудистого тонуса: миогенного (максимально на 34,15%;  $p < 0,05$ ), начиная с первого сеанса только в области локализации КВЧ-воздействия и нейрогенного, начиная с третьего сеанса как в области КВЧ-воздействия (максимально на 19,32%;  $p < 0,05$ ), так и в дистантной симметричной области (максимально на 31,34%;  $p < 0,05$ ).
6. Локальные (местные) изменения показателей тканевой микрогемодинамики под влиянием мм излучения характеризовались постепенным включением миогенного и эндотелиального осцилляторных компонентов регуляции на фоне повышения уровня перфузии и флакса во время первого сеанса, нейрогенного и дыхательного, начиная с третьего сеанса, пульсового – с пятого сеанса мм-терапии. Системные изменения показателей микроциркуляции происходили на более поздних этапах курсового КВЧ-воздействия: вовлечение нейрогенного и дыхательного осцилляторных компонентов регуляции, начиная с третьего КВЧ-воздействия (одновременно с локальными), уровня перфузии и кардиоритма – с пятого, а эндотелиального компонента регуляции – во время десятого сеанса мм-терапии.
7. При действии ЭМИ КВЧ наблюдалось изменение функциональной активности микрососудистого эндотелия, в пользу чего свидетельствует увеличение амплитуд эндотелиальных колебаний базального кровотока и стимулированной NO-синтазной активности при фармакологической (увеличение уровня реакции

- кожного кровотока при ионофоретическом введении ацетилхолина максимально на 78,76%;  $p \leq 0,05$ ) и окклюзионной (увеличение реакции кожного кровотока при регистрации постокклюзионной реактивной гиперемии на 63,28%;  $p \leq 0,05$ ) пробах.
8. Низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ оказывает выраженное действие на миогенные эндотелий-независимые механизмы регуляции микроциркуляторных процессов, доказательством чего является увеличение амплитуд миогенных ритмов базального кровотока и сокращение периода полувосстановления при регистрации реактивной постокклюзионной гиперемии (на 39,65%;  $p \leq 0,05$ ) на фоне снижения уровня перфузии при проведении постуральной пробы (на 59,06%;  $p \leq 0,05$ ), что свидетельствует о релаксации прекапилляров, увеличении реактивности гладкомышечных клеток в ответ на моделируемое увеличение потока крови.
  9. При курсовом действии ЭМИ КВЧ отмечалось снижение тонических симпатических адренергических влияний и увеличение фазической рефлекторной активности нейрогенного компонента на микроциркуляторное русло, о чем свидетельствуют увеличение амплитуд нейрогенных ритмов базального кровотока и снижение реакции кожного кровотока на 46,53% ( $p \leq 0,05$ ) во время проведения дыхательной пробы.

#### Список литературы

- 1 Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion: discrete effects of myogenic and neurogenic vasoconstriction as well as arterial and venous pressure fluctuations / H. Schmid-Schonbein, S. Ziege, R. Grebe [et al.] // *Int. J. Microcir.* – 1997. – №17. – P. 346–359.
- 2 Крупаткин А.И. Клиническая нейроангиофизиология конечностей (периваскулярная иннервация и нервная трофика) / А.И. Крупаткин – М.: Научный мир, 2003 – 328 с.
- 3 Is high-frequency flux motion due to respiration or to vasomotion activity? / A. Bollinger, A. Yanar, U. Hoffmann [et al.] // *Progress in Applied Microcirculation.* – 1993. – V. 20. – P. 52–58.
- 4 Крупаткин А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М.: Медицина, 2005 – 254 с.
- 5 Adey W.R. Physiological signaling across cell membranes and cooperative influences of extremely low frequency electromagnetic fields / W.R. Adey // In: Frohlich H. (ed.) *Biological coherence and response to external stimuli.* – Berlin Heidelberg, New York: Springer, 1988. – P.148–170.
- 6 Walleczek J. Electromagnetic field effects on the cells of the immune system: the role of calcium signaling / J. Walleczek // *FASEB J.* – 1992. –V. 6. – P. 3177–3185.
- 7 Gapeyev A.B. Mechanisms of Anti-Inflammatory Effects of Low-Intensity Extremely High-Frequency Electromagnetic Radiation / A.B. Gapeyev, E.N. Mikhailik, N.K. Chemeris // *Microwave & Telecommunication Technology : 17th International Crimean Conference, 10-14 Sept. 2007.* – CriMiCo, 2007. – P. 30–32.
- 8 Резонансное ингибирование активности перитонеальных нейтрофилов мыши при действии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ в ближней и дальней зонах антенны / А.А. Аловская, А.Б. Гапеев, В.Г. Сафронова [и др.] // *Вестник новых медицинских технологий.* – 1997. – Т. IV, №3. – С.38–45.
- 9 Алексеев С.И. Миллиметровые волны и нейрональные мембраны: эффекты и механизмы / С.И. Алексеев, М.С. Зискин // *Миллиметровые волны в медицине и биологии : 11 Российский симпозиум с международным участием : сб. докл.* – 1997. – М.: МТА КВЧ. – С. 136–139.
- 10 Search for frequency-specific effects of millimeter-wave radiation on isolated nerve function / A.G. Pakhomov, U.K. Prol, S.P. Mathur [et al.] // *Bioelectromagnetics.* – 1997. – V. 18. – P. 324–334.
- 11 Лебедева Н.Н. Электромагнитная рецепция и индивидуальные особенности человека / Н.Н. Лебедева, Т.И. Котровская // *Миллиметровые волны в медицине и биологии.* – 1996. – № 7. – С. 14–20.
- 12 Боголюбов В.М. Общая физиотерапия / В.М. Боголюбов, Г.Н. Пономаренко. – М. – С-Пб.: Правда, 1996. – 480 с.

**Трибрат Н.С. Модуляція мікроциркуляторних процесів за допомогою низькоінтенсивного міліметрового випромінювання / Н.С. Трибрат, О.М. Чуян // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62), № 4. – С. 207-215.**

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

**Tribrat N.S. Modulation of microcirculation processes with the help of low millimeter radiation / N.S. Tribrat, E.N. Chuyan // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – Vol. 23 (62), No 4. – P. 207-215.**

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

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

*Поступила в редакцію 15.11.2010 г.*