

**УДК 612.135:528.811+537-96**

## **ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ: ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Чуян Е.Н., Ананченко М.Н.*

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина,  
e-mail: Elena-chuyan@rambler.ru*

Методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) изучены индивидуально-типологические реакции микроциркуляторных процессов на низкоинтенсивное электромагнитное излучение крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ), или миллиметрового (мм) диапазона, у условно здоровых девушек-волонтеров в возрасте 18-23 лет. Показано, что низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ оказывает эффективное корректирующее дифференцированное влияние на показатели периферической микрогемодинамики, вызывая компенсаторно-приспособительные реакции. Курсовое воздействие ЭМИ КВЧ приводит к нивелированию межгрупповых различий и приближению значений показателей микроциркуляции у испытуемых с гипо- и гиперемическим типами микроциркуляции к наиболее сбалансированному в функциональном отношении нормоемическому, что свидетельствует о его гомеостатическом действии. **Ключевые слова:** низкоинтенсивное электромагнитное излучение миллиметрового диапазона, микроциркуляция крови, метод лазерной доплеровской флоуметрии, гипо-, гиперемический, нормоемический типы микроциркуляции.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из актуальных проблем современной физиологии является проблема исследования микроциркуляции крови, так как состояние микроциркуляции определяет адекватность трофического обеспечения тканей и органов, а также резервы поддержания гомеостаза всех систем организма человека. Изменения в системе микроциркуляции крови коррелируют со сдвигами в центральной гемодинамике, что позволяет использовать параметры микроциркуляции в качестве прогностических и диагностических критериев в оценке общего функционального состояния организма. Известно, что в микроциркуляторном русле помимо обеспечения трансапиллярного обмена реализуется и его реакция на воздействие факторов внешней и внутренней среды [1 – 4]. Однако отклик системы микроциркуляции на действие этих факторов и корректирующих мероприятий различной природы и интенсивности, в том числе и электромагнитной, может быть различным.

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что электромагнитные излучения (ЭМИ) различных диапазонов обладают выраженной биологической активностью, в частности, положительным вазотропным действием, влекущим

изменения процессов микроциркуляции. Однако сведения, представленные в литературе по этому вопросу весьма немногочисленны и крайне противоречивы, даже при условии совпадения используемых методов воздействия, регистрируемых параметров и схем проведения исследований. Так, ряд работ свидетельствует о вазодилататорном эффекте влияния ЭМИ [5 – 7], другие сообщают о вазоконстрикторном действии [8 – 10]. Существуют и такие исследования, в которых не было отмечено изменения перфузии при действии ЭМИ [11 – 13]. Такая неоднозначность ответа со стороны тканевого кровотока, возможно, обусловлена различным исходным состоянием функционирования микроциркуляторного русла, которое в проводимых исследованиях чаще всего не учитывается. Вместе с тем, в настоящее время при изучении морфофункциональных особенностей организма человека с помощью различных диагностических и прогностических параметров все большее развитие получает индивидуально-типологический подход к их оценке.

В связи с этим, целью данной работы явилось изучение индивидуально-типологических реакций микроциркуляторных процессов на низкоинтенсивное электромагнитное излучения миллиметрового (мм) диапазона или крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ), которое в настоящее время широко используется для лечения заболеваний, в патогенезе которых присутствуют нарушения процессов микроциркуляции.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 49 студентов-волонтеров женского пола в возрасте 18-23 лет, условно здоровых, которые были разделены на две группы: контрольную (n=20) и экспериментальную (n=19).

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-миканальном аппарате «РАМЕД. ЭКСПЕРТ-04» ( $\lambda=7,1$  мм, частота излучения 42,4 ГГц, плотность потока мощности – 0,5 мВт/см<sup>2</sup>, частота модуляции 8 Гц) (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 в течение 30-ти минут на области биологически активных точек, а именно: G-I15 правого плечевого сустава, на симметричные E-34, RP-6 и GI-4. Выбор этих точек обусловлен их рефлексогенным общеукрепляющим и стимулирующим действием на организм [14].

В целях исследования микроциркуляции крови использовался метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), который позволяет оценивать индивидуальную изменчивость кровотока и механизмы его регуляции. Этот метод основан на оптическом зондировании тканей монохроматическим излучением и дает возможность реализовать интегральную неинвазивную оценку состояния микроциркуляторной гемодинамики в органах и тканях, тесно коррелирующую со сдвигами в центральной гемодинамике. Эта технология не только успешно внедряется в медицинскую

практику, но и широко используется в медико-биологических исследованиях организма человека [3, 17, 21, 22, 31]. ЛДФ осуществляли лазерным анализатором кровотока «ЛАКК-02» (производство НПП «Лазма», Россия) с двумя источниками лазерного излучения, работающими на длине волны 0,8 мкм. При флоуметрии зондирующее лазерное излучение позволяет получить отраженный сигнал из тонкого слоя кожи толщиной до 1 мм, который содержит структуры микроциркуляторного русла, то есть артериолы, терминальные артериолы, капилляры, посткапиллярные венулы, венулы и артериоло-венулярные анастомозы [4]. Особо необходимо отметить, что глубина проникновения лазерного луча при ЛДФ-метрии совпадает с таковой для мм излучения, что представляется важным для исследований изменений микроциркуляторных процессов под влиянием ЭМИ КВЧ.

Испытуемые во время исследования находились в положении сидя. Головка оптического зонда фиксировалась на вентральной поверхности второго пальца правой руки. Исследование состояния микроциркуляции проводили на 1, 3, 5, 7, 10-е сутки эксперимента в утреннее время сразу после КВЧ-воздействия.

Регистрируемый при ЛДФ-метрии сигнал представляет собой интегральную характеристику подвижности эритроцитов в зондирующем объеме ткани. С помощью компьютерной программы обработки ЛДФ-граммы определяли основные статистические показатели.

Параметр микроциркуляции (ПМ; перф. ед.) – отражает степень перфузии преимущественно эритроцитарной фракцией в единице объема ткани за единицу времени и позволяет проследить ее динамику при реакции кровотока на различные воздействия. Указанная величина выражается формулой [3]:

$$ПМ = N_{кп} * N_{к} * V_{ср}, \quad (1)$$

где  $N_{кп}$  – капиллярный гематокрит, представляет собой объемное содержание эритроцитов капиллярной крови, выраженное в процентах;  $N_{к}$  – количество функционирующих в данный момент капилляров в исследуемом объеме;  $V_{ср}$  – усредненная скорость эритроцитов.

Среднее квадратическое отклонение (флакс, СКО,  $\sigma$ ; перф.ед.) – средние колебания перфузии относительно среднего значения ПМ, характеризующие временную изменчивость перфузии, а также отражающие среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах [4]. Фундаментальной особенностью микроциркуляции является ее постоянная изменчивость, как во времени, так и в пространстве, что и проявляется в спонтанных флуктуациях тканевого кровотока. Изменчивость микроциркуляции и связанная с ней колеблемость кровотока, по сути своей, есть объективная характеристика уровня жизнедеятельности тканей. Средняя амплитуда колебаний потока эритроцитов, именуемая в микрососудистой семантике как флакс (“flux”), оценивается величиной среднего квадратического отклонения (СКО) также в перфузионных единицах [3, 4].

Коэффициент вариации ( $K_v$ , %) – характеризует соотношение между изменчивостью перфузии (флаксом) и средней перфузией (ПМ) в зондируемом участке тканей и вычисляется по формуле [3]:

$$K_v = СКО/ПМ * 100\%. \quad (2)$$

Расчетные параметры ПМ, СКО и Kv дают лишь общую оценку состояния микроциркуляции крови. Более детальный анализ функционирования микроциркуляторного русла может быть проведен на втором этапе обработки ЛДФ-грамм базального кровотока при исследовании структуры ритмов колебаний перфузии крови [3]. Наиболее точным и корректным является вейвлет-преобразование ЛДФ-грамм. Это связано с тем, что данный метод анализа имеет сравнительно лучшее разрешение по частоте и по времени; более приспособлен к анализу нестационарных сигналов, которыми являются медицинские физиологические сигналы; позволяет анализировать получаемый сигнал в виде амплитудно-частотных характеристик; в несколько раз снижает вариабельность исследуемых параметров и упрощает трактовку получаемых сигналов; дает возможность более детально определить вклад отдельных механизмов регуляции, модулирующих микрокровооток. Вейвлет-преобразование позволяет наилучшим образом по сравнению с другими математическими методами (быстрое преобразование Фурье, Butterworth) выявить периодичность коротких и длинных процессов, представленных в одной реализации и проводить анализ нормированных характеристик ритмов колебаний кровотока: эндотелиального, нейрогенного, миогенного, дыхательного и пульсового компонентов [3, 4, 15].

Среди выделяемых колебаний микрокровоотка наиболее физиологически значимыми являются эндотелиальные колебания, которые регистрируются в пределах 0,0095-0,02 Гц. Они связаны с периодическими сокращениями эндотелиоцитов, обусловленными сокращением их цитоскелета и характеризуют влияние гуморально-метаболических факторов на состояние микроциркуляции. Миогенные колебания (0,07-0,15 Гц) обусловлены спонтанной периодической активностью гладких миоцитов в стенке артериол, вызывающей периодические изменения их диаметра (вазомоции). На миогенные модуляции тканевого кровотока посредством вазомоторного механизма накладываются нейрогенные флуксуации (0,02-0,046 Гц), отражающие влияние симпатического звена регуляции. Снижение амплитуд нейрогенных колебаний может свидетельствовать об угнетении вазомоторного механизма. Эндотелиальный, миогенный и нейрогенный компоненты относятся к активным механизмам регуляции процессов микроциркуляции, пассивными являются дыхательные и пульсовые влияния [3, 4]. Дыхательные колебания (0,15-0,4 Гц) представлены периодическими изменениями давления в венозном отделе сосудистого русла, вызываемыми дыхательными экскурсиями грудной клетки [16]. Пульсовые колебания (0,8-1,6 Гц) кровотока обусловлены перепадами внутрисосудистого давления, которые в большей или меньшей степени синхронизированы с кардиоритмом [3, 17].

Ввиду значительных колебаний амплитуд ритмов (A), их нормированные характеристики анализировались по формуле [3]:

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

где A – амплитуда колебаний в диапазоне от 0,02 – 2 Гц.

Такая нормировка позволяет перейти к безразмерным величинам и исключить влияние нестандартных условий проведения исследований.

Вклад различных ритмических составляющих оценивался по мощности их спектра (Р) в процентном отношении к общему спектру флуксуций [17]:

$$P = Aэ(н, м, д, с)^2 / (Aэ^2 + Aн^2 + Aм^2 + Ад^2 + Aс^2) * 100\%, \quad (4)$$

где Аэ – амплитуды эндотелиальных, Ан – нейрогенных, Ам – миогенных, Ад – дыхательных, Ас – пульсовых ритмов колебаний тканевого кровотока.

Таким образом, математический аппарат Вейвлет позволяет наилучшим образом выявлять периодичность процессов микроциркуляции, представленных в ЛДФ-грамме, но наиболее значимым при Вейвлет-анализе является возможность оценить влияние миогенных и нейрогенных компонентов тонуса микрососудов [3, 17]. Природа нейрогенного тонуса связана с активностью α-адренорецепторов мембран гладкомышечных клеток мышечного слоя сосудистых стенок, возбуждение которых приводит к вазоконстрикции. Природу миогенного тонуса связывают с активностью гладкомышечных клеток-пейсмекеров, способных к спонтанной деполяризации и обуславливающих миогенную автоматию сосудистых гладких мышц в артериолах, прекапиллярах, сфинктерах. Также на гладкую мускулатуру и соответственно на миогенный тонус влияют внесинаптические факторы гормональной и местной гуморальной регуляции, в том числе нейропептиды, эндотелиальные метаболиты, растяжение циркулирующей кровью и др [3].

Регистрируемые амплитуды осцилляций кровотока эндотелиального, нейрогенного и миогенного эндотелиально-независимого происхождения прямо связаны с величинами просвета микрососудов, а, следовательно, и с мышечным тонусом.

Нейрогенный тонус прекапиллярных резистивных микрососудов определяется по формуле [3]:

$$НТ = (\sigma * P_{ср}) / (Aн * ПМ), \quad (5)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение показателя микроциркуляции, P<sub>ср</sub> – среднее артериальное давление, Ан – наибольшее значение амплитуды колебаний перфузии в нейрогенном диапазоне, ПМ – среднее арифметическое значение показателя микроциркуляции.

Миогенный тонус (МТ) метартериол и прекапиллярных сфинктеров определяется по формуле [3]:

$$МТ = (\sigma * P_{ср}) / (Aм * ПМ). \quad (6)$$

Следовательно, значения нейрогенного и миогенного тонусов обратно пропорциональны амплитудам осцилляций соответственного диапазона. Снижение амплитуды данных осцилляций сочетается с повышением тонуса и жесткости самой сосудистой стенки и, наоборот, повышение амплитуд является следствием снижения сосудистого тонуса [3].

Соотношение активных модуляций кожного кровотока, обусловленных эндотелиальным, миогенным, нейрогенным механизмами и дополнительных парасимпатических влияний на него рассчитывалось как индекс флуксуций, или индекс эффективности микроциркуляции (ИЭМ) [3]:

$$ИЭМ = (Aэ + Aн + Ам) / (Ад + Ас). \quad (7)$$

Для сравнения изменений показателей под влиянием ЭМИ КВЧ у испытуемых с различными типами микроциркуляции был введен коэффициент сравнения (КС), вычисляемый по формуле:

$$КС=(X-Y)/X*100\%, \quad (8)$$

где X и Y - это значения показателей микроциркуляции у испытуемых разных групп.

Оценка достоверности внутригрупповых различий полученных данных проводилась с использованием критерия Вилкоксона (Wilcoxon matched pairs test), межгрупповых различий – с помощью критерия парных сравнений U-теста Манна-Уитни (Mann-Whitney U Test) [18, 19]. Внутри- и межгрупповые различия считались достоверными при  $p \leq 0,05$ . Для выявления связей между показателями микроциркуляции использовался метод кластерного анализа с построением дендрограмм (Joining (tree clustering)), являющийся многомерным статистическим методом, позволяющим находить скрытые связи как внутри функциональных систем, так и между ними [19].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ЛДФ-метрия у испытуемых выявила определенные индивидуально-типологические отличия показателей микроциркуляции, которые свидетельствуют о значительной неоднородности величин изучаемых параметров в выборке и отражают вегетативный статус испытуемых. В качестве критериев индивидуально-типологических особенностей состояния микроциркуляции нами были выбраны основные статистические показатели, получаемые при ЛДФ-метрии, а именно М, СКО,  $K_v$ , что позволило выявить три типа ЛДФ-грамм: аperiodический (36,8% испытуемых), монотонный с низкой (31,6% испытуемых) и высокой перфузией (31,6% испытуемых) [20].

Аperiodический тип ЛДФ-грамм характеризовался высокими значениями СКО,  $K_v$ , ИЭМ, доминированием в системе регуляции низкочастотных компонентов на фоне сниженного влияния высокочастотных волн, что указывает на полноценный приток крови в капиллярное русло и своевременный отток периферической крови и свидетельствует о высокой сбалансированности активных и пассивных регуляторных механизмов [20]. Все это позволило сделать вывод о том, что данный тип ЛДФ-грамм соответствует нормоемическому типу микроциркуляции.

Монотонный тип ЛДФ-грамм с низкой перфузией достоверно отличался от аperiodического более низкими значениями ПМ, СКО, ИЭМ, амплитуд дыхательной волны и преобладанием симпатических нейрогенных влияний, что свидетельствует о слабом притоке крови в микроциркуляторное русло за счет спазма приносящих сосудов и меньшей по сравнению с аperiodическим типом, сбалансированностью активных и пассивных регуляторных механизмов [20] (табл. 1). Следовательно, данный тип ЛДФ-грамм соответствует гипоемическому, или спастическому типу микроциркуляции.

Монотонный тип ЛДФ-граммы с высокой перфузией характеризовался высокими значениями ПМ на фоне низких СКО,  $K_v$  и ИЭМ, высокими значениями амплитуд всех ритмов по сравнению с таковыми у двух предыдущих типов, что свидетельствует об угнетении вазомоторного механизма в регуляции микрокровотока, следствием чего является повышенный приток крови со стороны артериол и затрудненный отток со стороны венул [20] (табл. 1). Поэтому этот тип ЛДФ-грамм соответствует гиперемическому типу микроциркуляции.

## ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ

Полученные данные об индивидуально-типологических особенностях микроциркуляторных процессов согласуются с литературными [3, 4, 21, 22].

Как показали результаты настоящего исследования, у испытуемых всех трех групп реакция на действие ЭМИ КВЧ была не одинакова. Наименее выраженные изменения показателей микроциркуляции были выявлены у испытуемых первой группы с аperiodическим типом ЛДФ-граммы. Так, под влиянием ЭМИ КВЧ у испытуемых данной группы показатели М, СКО и Kv достоверно не изменялись, однако происходило статистически значимое увеличение амплитудных значений эндотелиального и нейрогенного компонентов на фоне снижения НТ и МТ на 10-е сутки наблюдения (рис. 1; табл. 2).

**Таблица 1.**

**Различия значений (в %) показателей микроциркуляции у испытуемых с монотонными типами ЛДФ-грамм по сравнению с таковыми у испытуемых с аperiodическим типом**

Показатели	Типы ЛДФ-грамм	
	Монотонный с низкой перфузией	Монотонный с высокой перфузией
ПМ	↓ (-37,7%)	↑ (+36,4%)
СКО	↓ (-35,2%)	↓ (-49,7%)
Kv	↑ (+16,6%)	↓ (-59,4%)
ИЭМ	↓ (-19,6%)	↓ (-31,9%)
Аэ вклад	↓ (-10%)	↑ (+15,7%)
	↑ (+8%)	↓ (-30,8%)
Ан вклад	↓ (-20,8%)	↑ (+32,3%)
	↓ (-13%)	↓ (-5,6%)
НТ	↑ (+17,8%)	↓ (-25,4%)
Ам вклад	↓ (-14%)	↑ (+64,8%)
	↑ (+13,3%)	↑ (+64%)
МТ	↑ (+18,7%)	↓ (-16,9%)
Ад вклад	↓ (-36%)	↑ (+62%)
	↓ (-29%)	↑ (+80,6%)
Ас вклад	↓ (-5%)	↑ (+142,7%)
	↑ (+33%)	↑ (+212,1%)

Примечание: ↑↓ – достоверные увеличения/снижения значений показателей микроциркуляции у испытуемых с монотонными типами ЛДФ-грамм по отношению к таковым у испытуемых с аperiodическим типом ( $p \leq 0,05$ );

↑↓ – тенденция к увеличению/снижению значений показателей микроциркуляции у испытуемых с монотонными типами ЛДФ-грамм по отношению к таковым у испытуемых с аperiodическим типом, принятых за 100% ( $p \geq 0,05$ ); остальные обозначения в тексте.

Наблюдаемый рост амплитудных значений эндотелиального компонента свидетельствует об увеличении секреции в кровь вазоактивных субстанций, что способствует возрастанию транспортной функции крови и обменных процессов [23, 24]. По-видимому, изменение амплитуд этих ритмов под влиянием ЭМИ КВЧ

связано с работой микроваскулярного эндотелия, обуславливающего выброс вазодилатора NO. 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. Возможно, это и явилось причиной снижения миогенного тонуса у испытуемых данной группы, так как известно, что эндотелиальный выброс NO включен в физиологическую регуляцию мышечного тонуса и играет важную роль в регуляции давления и распределения потока крови [11].

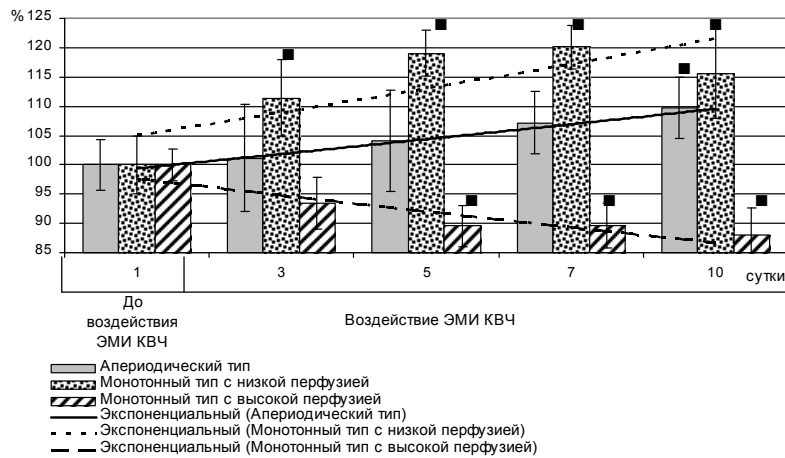


Рис. 1. Динамика амплитудных значений эндотелиального компонента у испытуемых с различными типами микроциркуляции под влиянием ЭМИ КВЧ (в % относительно контрольных значений, принятых за 100%).

Примечание: ■ – достоверность по отношению к контрольным значениям ( $p \leq 0,05$ ).

Увеличение амплитуд нейрогенного компонента, наряду с понижением его тонуса, отражает снижение активности симпатической нервной системы на микрососуды и, следовательно, увеличение вазодилатации на путях притока крови в систему микроциркуляции [25]. Таким образом, у испытуемых с аperiодическим типом ЛДФ-граммы, в результате КВЧ-воздействия произошла активация эндотелиального компонента, а также снижение симпатических влияний нейрогенного компонента регуляции микрокровотока, что привело к повышению ИЭМ на 12,7% ( $p \leq 0,05$ ) относительно значений в контрольной группе испытуемых.

Максимально выраженный вазотропный эффект в процессе КВЧ-терапии наблюдался у испытуемых второй и третьей группы с исходно выраженными отклонениями показателей микрогемодинамики, то есть имеющих монотонный тип ЛДФ-граммы, причем динамика этих показателей происходила разнонаправлено (табл. 2). У испытуемых второй группы с монотонным типом ЛДФ-граммы и низкой перфузией в результате курсового воздействия ЭМИ КВЧ произошло увеличение ПМ, СКО, амплитуд активных (Аэ, Ан, Ам) и пассивных (Ад, Ас) компонентов регуляции на фоне снижения К<sub>v</sub>, НТ и МТ (рис. 1 - 3; табл. 2).



Таблица 2.

Изменение показателей ЛДФ-граммы (в %) под влиянием курсового воздействия ЭМИ КВЧ относительно значений в контрольной группе испытуемых

Показатели	Типы ЛДФ-грамм		
	Апериодический	Монотонный с низкой перфузией	Монотонный с высокой перфузией
ПМ	↑ (+8,9%)	↑ (+64%)	↓ (-21,7%)
СКО	↑ (+4,7%)	↑ (+53,3%)	↑ (+78,6%)
Кv	↓ (-9,7%)	↓ (-12,9%)	↑ (+108,8%)
ИЭМ	↑ (+12,7%)	↑ (+24,2%)	↑ (+47,6%)
Аэ вклад	↑ (+9,7%)	↑ (+15,6%)	↓ (-12%)
	↓ (-19,2%)	↓ (-27,6%)	↑ (+26%)
Ан вклад	↑ (+26%)	↑ (+54,7%)	↓ (-17,8%)
	↑ (+17,3%)	↑ (+33,8%)	↑ (+10,8%)
НГ	↓ (-17%)	↓ (-30,4%)	↑ (+19,6%)
Ам вклад	↑ (+11,5%)	↑ (+31,6%)	↓ (-32,6%)
	↑ (+3,8%)	↓ (-3,5%)	↓ (-26,7%)
МГ	↓ (-3,5%)	↓ (-20,3%)	↑ (+18,2%)
Ад вклад	↑ (+0,5%)	↑ (+51,7%)	↓ (-46%)
	↑ (+2,3%)	↑ (+28%)	↓ (-54%)
Ас вклад	↑ (+19,5%)	↑ (+59%)	↓ (-49,5%)
	↑ (+4,7%)	↑ (+42,2%)	↓ (-40,2%)

Примечание: ↑↓ - достоверные увеличения/снижения показателей ЛДФ-граммы под влиянием ЭМИ КВЧ относительно значений в контрольной группе испытуемых, принятых за 100% ( $p \leq 0,05$ ); ↑↓ - тенденция к увеличению/снижению показателей ЛДФ-граммы под влиянием ЭМИ КВЧ относительно значений в контрольной группе испытуемых, принятых за 100% ( $p \geq 0,05$ ); остальные обозначения в тексте.

Причем достоверное изменение данных показателей у испытуемых этой группы регистрировалось гораздо раньше, чем у волонтеров с нормоемическим типом микроциркуляции – уже после 3-5-го воздействия КВЧ-воздействия. Особо следует обратить внимание на существенное повышение ПМ (на 64%;  $p \leq 0,05$ ) (рис. 2), СКО (на 53,3%;  $p \leq 0,05$ ), Ан (на 54,7%;  $p \leq 0,05$ ) и Ад (на 51,7%;  $p \leq 0,05$ ) (табл. 2), которые у испытуемых этой группы были исходно ниже (см. табл. 1).

Таким образом, в результате воздействия ЭМИ КВЧ у испытуемых с монотонным типом ЛДФ-граммы и низкой перфузией (гипоемическим типом микроциркуляции) произошло снижение симпатических влияний за счет увеличения амплитудных значений и снижения тонуса нейрогенного компонента, аналогично тому, как это наблюдалось у испытуемых первой группы. Снижение миогенного тонуса прекапиллярных гладкомышечных клеток, являющегося последним звеном контроля микрокровотока перед капиллярным руслом, свидетельствует об уменьшении жесткости сосудистой стенки резистивных сосудов (мелких артерий, артериол, прекапиллярных сфинктеров) и снижении периферического сопротивления кровотока, что приводит к вазодилатации на входе системы, а также открытию и увеличению функциональной активности латентных

капилляров [4, 25]. Следствием этого является возрастание количества функционирующих капилляров и увеличение их диаметра (за счет адекватного кровенаполнения), обуславливающее благоприятное повышение притока крови в микроциркуляторное русло [26, 27]. О модуляции мышечного тонуса под влиянием мм излучения также свидетельствует повышение амплитуды эндотелиальных колебаний, которое приводит к увеличению секреции NO, вызывающего вазодилатацию микрососудов [3]. Уменьшение спастических явлений вследствие снижения сосудистого тонуса артериол, вероятно, способствовало увеличению локальной фракции сердечного выброса и притока артериальной крови, привносящей пульсовую волну, что проявилось в возрастании сердечного ритма в микроциркуляторном русле и повышении амплитуд пульсовых волн [27, 28]. Повышение амплитуд осцилляций дыхательной волны указывает на снижение венозного сопротивления периферических сосудов [25]. Таким образом, повышение активности эндотелиального компонента, снижение тонусов вазомоторных компонентов в результате КВЧ-воздействия, привело к уменьшению спазма микрососудов и значительному притоку артериальной крови в микрососудистое русло, чем и обусловлено повышение ПМ. Также в результате КВЧ-воздействия произошло увеличение СКО, что свидетельствует о повышении активности колебательных процессов микроциркуляторного русла [3, 4], которое может происходить при нарастающем влиянии не только активных механизмов, но и при увеличении пассивных модуляций тканевого кровотока [27], что и произошло в данном случае. Снижение Kv у испытуемых данной группы, очевидно, является следствием изменения ПМ и СКО, так как Kv отражает соотношение между изменчивостью перфузии (СКО) и ее средним значением ПМ [3, 4].

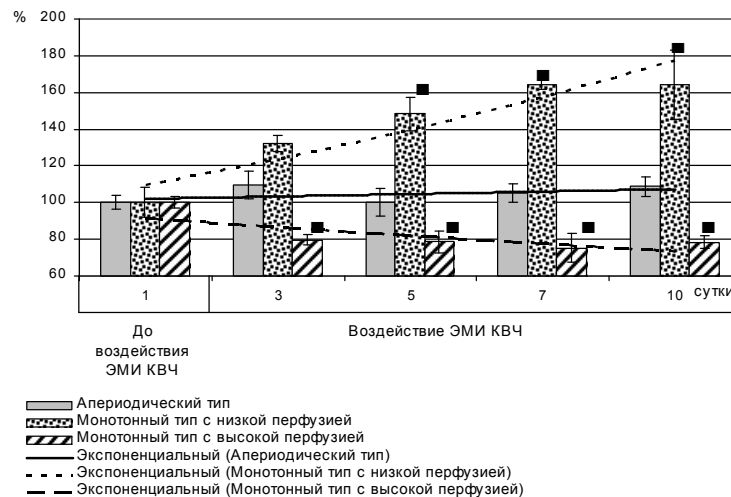


Рис. 2. Динамика показателя перфузии у испытуемых с различными типами микроциркуляции под влиянием ЭМИ КВЧ (в % относительно контрольных значений, принятых за 100%).

Примечания: обозначения те же, что и на рис.1.

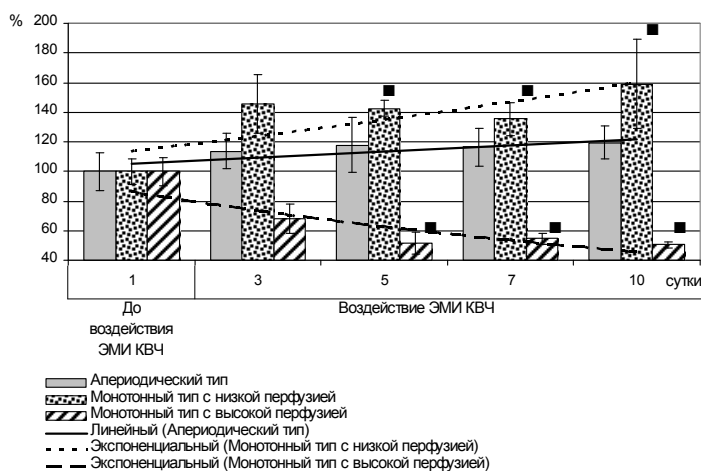


Рис. 3. Динамика амплитудных значений пульсового компонента у испытуемых с различными типами микроциркуляции под влиянием ЭМИ КВЧ (в % относительно контрольных значений, принятых за 100%).

Примечания: обозначения те же, что и на рис.1.

Следовательно, у испытуемых с монотонным типом ЛДФ-граммы и низкой перфузией, с исходно повышенным влиянием вазомоторных механизмов регуляции микроциркуляторных процессов, низкоинтенсивное воздействие ЭМИ КВЧ оказало модулирующее действие на показатели микроциркуляции, проявившееся в уменьшении спазма микрососудов и повышение притока крови в систему микроциркуляции в результате снижения функционирования активных механизмов контроля микрокровотока и увеличения пассивных. Такие изменения, вероятно, обусловили повышение ИЭМ на 24,2% ( $p \leq 0,05$ ) относительно значений в контрольной группе испытуемых (табл. 2).

Полученные данные согласуются с литературными [26, 29, 30], которые указывают на выраженный нейротропный эффект ЭМИ КВЧ, проявляющийся как в непосредственном влиянии на периферические нервные волокна, так и в действии на центральную нервную систему, что влечет за собой улучшение психоэмоционального состояния, вегетативной регуляции, а также ослабление психогенных расстройств кровообращения (констрикторные реакции со стороны мелких сосудов периферического сопротивления).

У испытуемых третьей группы с монотонным типом ЛДФ-граммы и высокой перфузией в результате КВЧ-терапии перераспределение гемодинамических осцилляций происходило иначе: отмечалось снижение ПМ, повышение СКО, К<sub>v</sub>, НТ, МТ, а также уменьшение амплитуд всех компонентов активной (Аэ, Ан, Ам) и пассивной (Ад, Ас) регуляции микрокровотока (рис. 1-3; табл. 2). Следует отметить, что у испытуемых этой группы снижение ПМ и исходно высоких амплитуд всех осцилляций микрокровотока (см. табл. 1), происходило, начиная с 5-7 суток КВЧ-воздействия.

Вероятно, в данном случае зарегистрировано избирательное действие ЭМИ КВЧ на измененные параметры системы, проявляющееся в снижении амплитуд

эндотелиального компонента и, соответственно, меньшей секреции вазодилатора NO; нейрогенного компонента наряду с повышением его тонуса, а, следовательно, активации симпатических влияний, способствующих увеличению вазоконстрикции артериол [3]. Снижение амплитудных значений и повышение тонуса миогенного компонента отражает повышение миогенной активности на регуляцию микрососудов, что свидетельствует об увеличении эластичности стенки периферических сосудов и, как следствие, уменьшении притока крови в микроциркуляторное русло [31 – 34]. Увеличение СКО и Kv также подтверждает повышение влияний на кровоток активных механизмов регуляции, происходящих за счет увеличения спазма сосудов при нарастающей вазомоторной активности [3, 4, 35]. Такая динамика осцилляций активных компонентов регуляции микрокровотока, способствующих снижению вазодилатации, наряду с понижением амплитуд пульсовых колебаний, отражающим уменьшение притока артериальной крови в микроциркуляторное русло, вероятно, и обусловили снижение ПМ. Известно, что повышение исходно сниженного тонуса венул, о чем свидетельствует снижение амплитуд дыхательной волны в результате КВЧ-воздействия, приводит к сокращению их диаметра, компрессии и выдавливанию содержимого периферических емкостных венул, вследствие чего, происходит перераспределение объема крови и облегчение венозного оттока [21, 26, 27].

Таким образом, в результате воздействия ЭМИ КВЧ у испытуемых с гиперемическим типом микроциркуляции произошло повышение влияний активных и снижение пассивных механизмов регуляции, что привело к снижению притока и улучшению оттока крови, а также увеличению ИЭМ на 47,6% относительно значений у испытуемых контрольной группы (табл. 2). Следовательно, наблюдаемые изменения обусловлены нормализацией симпато-вагусного баланса путем увеличения симпатической активности у испытуемых с исходно сниженными симпатическими влияниями микрососудистого тонуса.

Таким образом, ЭМИ КВЧ оказывает выраженное модулирующее влияние на процессы микроциркуляции у испытуемых всех выделенных групп, однако наименее выраженные изменения показателей микроциркуляции были выявлены у испытуемых с наиболее функционально сбалансированным аperiodическим типом ЛДФ-граммы, а максимально выраженный, однако разнонаправленный, вазотропный эффект в процессе КВЧ-терапии наблюдался у испытуемых, имеющих монотонный тип ЛДФ-граммы, то есть с исходно выраженными отклонениями показателей микрогемодинамики. При этом, обращает на себя внимание тот факт, что в результате курсового КВЧ-воздействия происходило постепенное сближение значений исследуемых показателей у волонтеров разных групп, на что указывает КС (рис. 4 – 6).

Следовательно, полученные данные свидетельствуют о том, что в результате курсового воздействия ЭМИ КВЧ произошла эффективная модуляция гемодинамических осцилляций тканевого кровотока, что выразилось в отсутствии статистически значимых межгрупповых различий и приближении значений показателей у испытуемых с гипо- и гиперемическими типами микроциркуляции к функциональному состоянию испытуемых с нормоемическим типом микроциркуляции, как наиболее сбалансированному (рис. 7; табл. 2), что

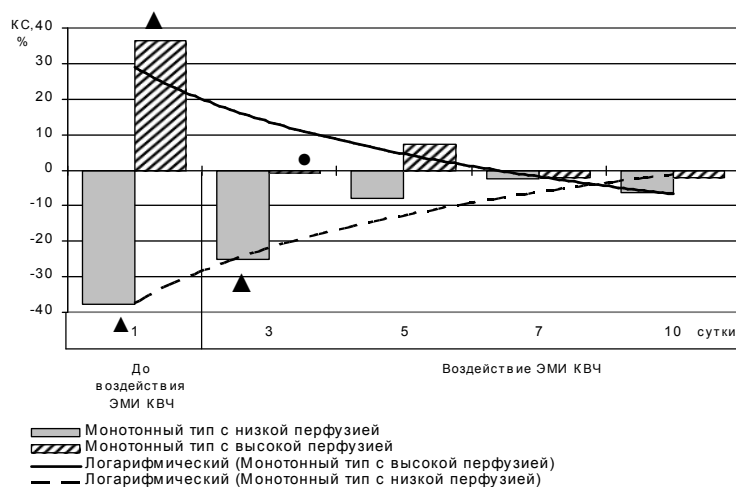


Рис. 4. Динамика коэффициента сравнения изменений показателя перфузии у испытуемых с монотонными типами ЛДФ-грамм и аperiodическим типом ЛДФ-граммы под влиянием ЭМИ КВЧ.

Примечание: ▲ - достоверность отличий относительно значений испытуемых 1-ой группы; ● - достоверность отличий относительно значений испытуемых 2-ой группы.

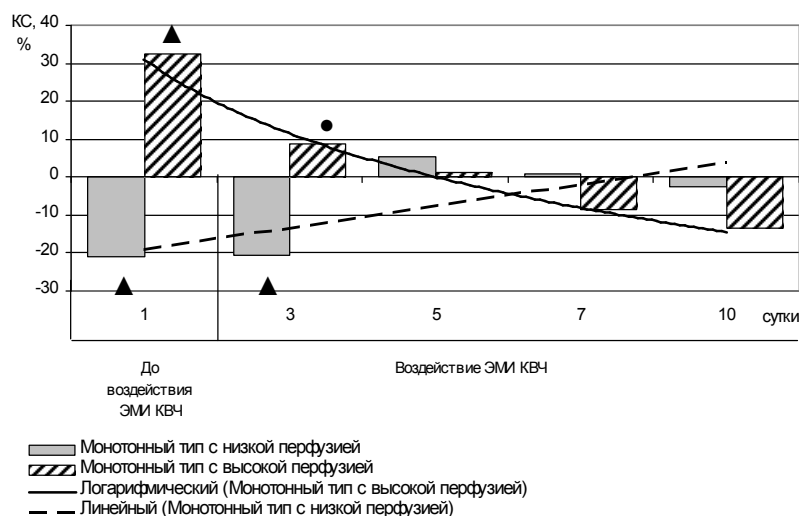


Рис. 5. Динамика коэффициента сравнения изменений амплитуд нейрогенных колебаний у испытуемых с монотонными типами ЛДФ-грамм и аperiodическим типом ЛДФ-граммы под влиянием ЭМИ КВЧ.

Примечания: обозначения те же, что и на рис. 4.

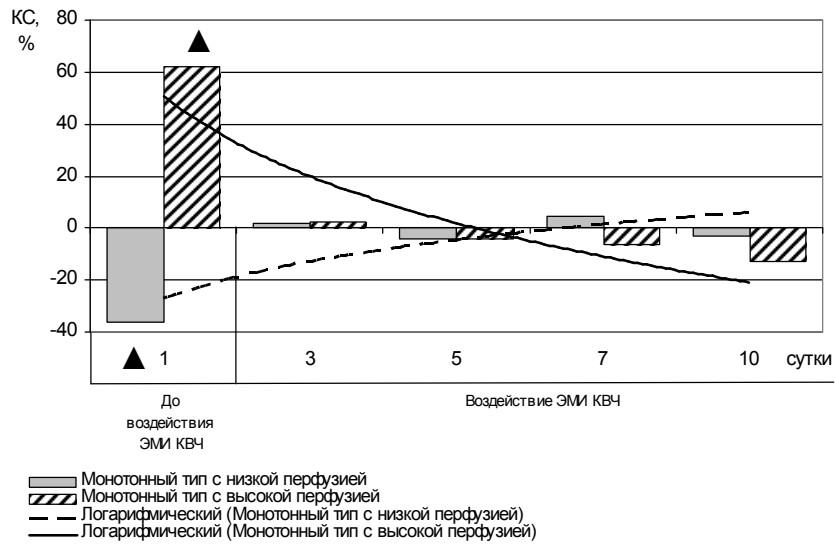


Рис. 6. Динамика коэффициента сравнения изменений амплитуд дыхательных колебаний у испытуемых с монотонными типами ЛДФ-грамм и аперiodическим типом ЛДФ-граммы под влиянием ЭМИ КВЧ.

Примечания: обозначения те же, что и на рис. 4.

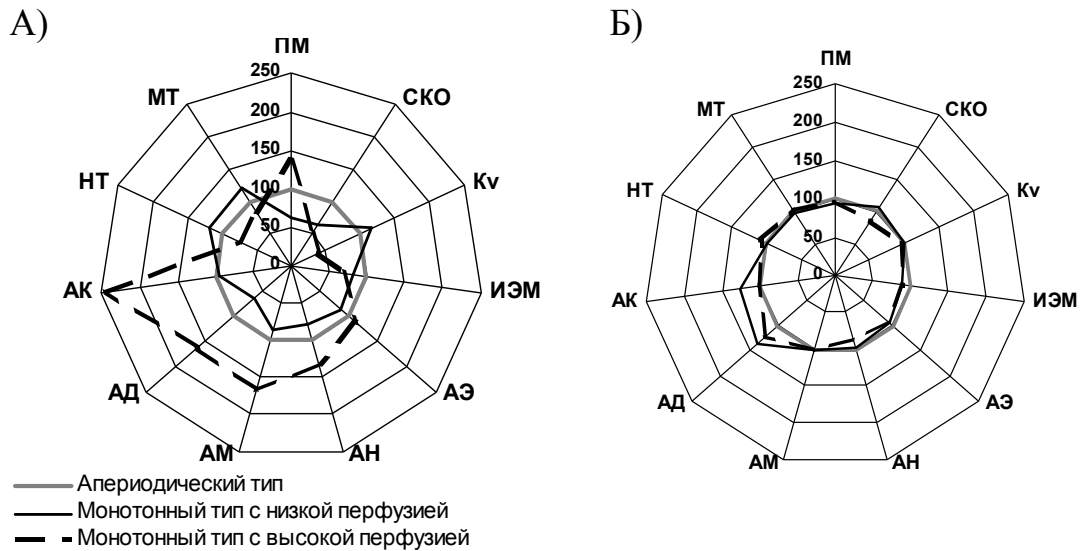


Рис. 7. Изменения показателей микроциркуляции у испытуемых с разными типами ЛДФ-грамм до (А) и после (Б) курсового КВЧ-воздействия.

подтверждается кластерным анализом (рис. 8). Дендрограммы кластерного анализа наглядно иллюстрируют перестройку показателей микроциркуляции под влиянием мм излучения, особенно выраженную у испытуемых третьей группы. После курсового КВЧ-воздействия дендрограммы у испытуемых всех типологических групп приблизились к таковой у испытуемых первой группы.

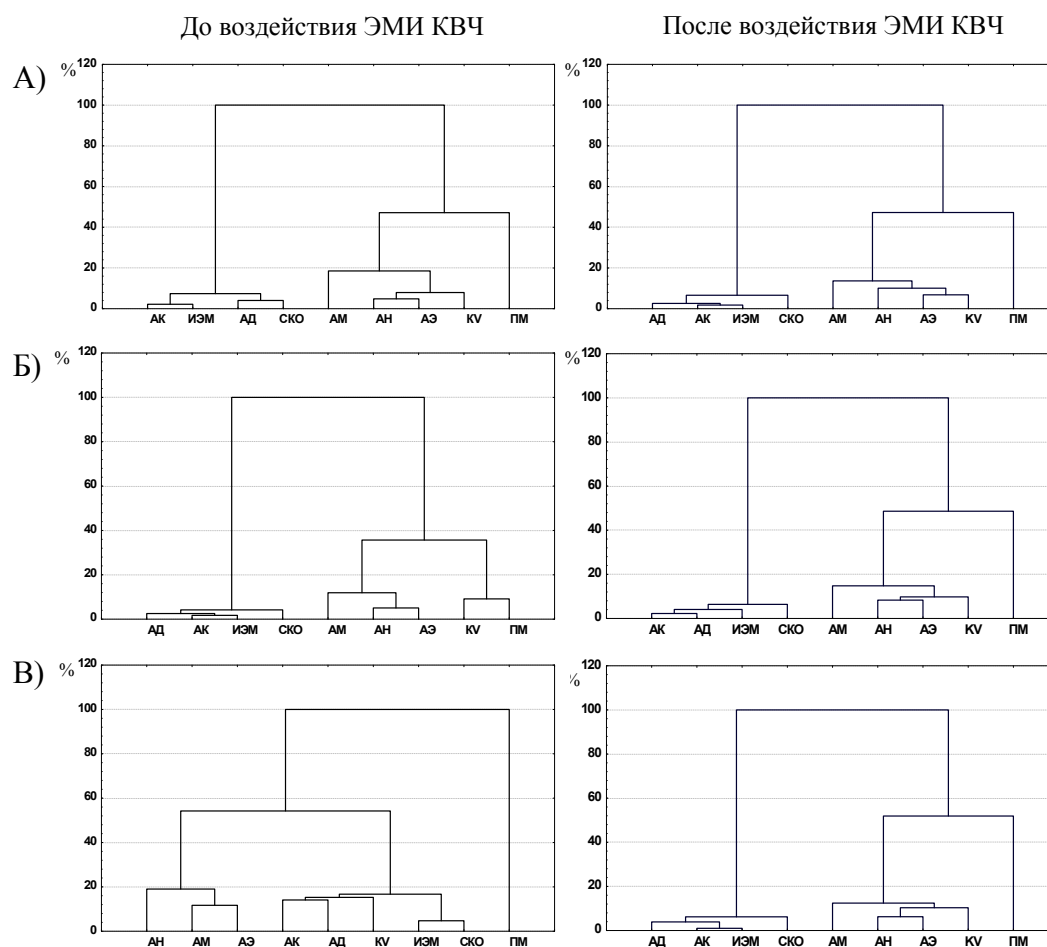


Рис. 8. Дендрограммы кластерного анализа показателей микроциркуляции у испытуемых с нормоемическим (А), гипоемическим (Б), гиперемическим (В), микрогемодинамическими типами до и после воздействия ЭМИ КВЧ.

Как известно, основной действующей силой низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ является информационная составляющая данного фактора, которая запускает собственные системы регуляции нарушенного гомеостаза [26, 29, 30]. При этом величина и направленность физиологических реакций на действие мм излучения зависит от исходного состояния биологической системы, что согласуется с законом

"начальных значений": чем выше исходная активность физиологического состояния, тем меньше ее относительное изменение при воздействии импульсов. Следовательно, изменения гемодинамических показателей тем более выражены, чем больше степень их отклонения от нормы. Возможно, именно избирательное действие ЭМИ КВЧ преимущественно на измененные параметры без влияния на исходно нормальные и является его отличительной особенностью, связанной с механизмом действия.

Таким образом, низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ оказывает эффективное корректирующее дифференцированное влияние на показатели периферической микрогемодинамики, вызывая компенсаторно-приспособительные реакции у испытуемых с разными индивидуально-типологическими особенностями микроциркуляторных процессов, приближая значения показателей микроциркуляции у испытуемых с гипо- и гиперемическими типами к наиболее сбалансированному в функциональном отношении нормоемическому типу, что свидетельствует о гомеостатическом действии этого физического фактора.

### **ВЫВОДЫ**

1. Низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ оказывает эффективное корректирующее дифференцированное влияние на показатели периферической микрогемодинамики, вызывая компенсаторно-приспособительные реакции у испытуемых с разными индивидуально-типологическими особенностями микроциркуляторных процессов.
2. В результате воздействия ЭМИ КВЧ наименее выраженные изменения показателей выявлены у испытуемых, имеющих наиболее сбалансированный аperiodический, или нормоемический, тип микроциркуляции: повышение амплитуды эндотелиального и нейрогенного компонентов на фоне снижения нейрогенного и миогенного тонуса, что привело к повышению индекса эффективности микроциркуляции.
3. Максимально выраженный вазотропный эффект в результате курсового воздействия ЭМИ КВЧ наблюдался у испытуемых с исходно выраженными отклонениями показателей микрогемодинамики, то есть, имеющих монотонный тип ЛДФ-граммы.
4. У испытуемых с гипоемическим типом микроциркуляции происходило снижение влияния активных вазомоторных (нейрогенных и миогенных) механизмов на регуляцию кровотока, а также увеличение пассивных модуляций кровотока, что привело к повышению притока крови в микроциркуляторное русло.
5. У испытуемых с гиперемическим типом микроциркуляции происходило увеличение влияния активных механизмов модуляций кровотока за счет обоих составляющих его факторов – эндотелиальной и вазомоторной активности на фоне снижения пассивных модуляций кровотока, что привело к облегчению венозного оттока.
6. Курсовое воздействие ЭМИ КВЧ привело к нивелированию межгрупповых различий и приближению значений показателей микроциркуляции у испытуемых с гипо- и гиперемическими типами к наиболее сбалансированному



в функциональном отношении нормоемическому, что свидетельствует о его гомеостатическом действии.

**Список литературы**

1. Куприянов В.В. Микроциркуляторное русло / Куприянов В.В., Караганов Я.Л., Козлов В.И. – М.: Медицина, 1975. – 213 с.
2. Чернух А.М. Микроциркуляция / Чернух А.М., Александров П.Н., Алексеев О.В. – М.: Медицина, 1975. – 456 с.
3. Крупаткин А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров – М.: Медицина, 2005. – 254 с.
4. Маколкин В.И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии / Маколкин В.И., Бранько В.В., Богданова Э.А. – Пособие для врачей. – М.: Россельхозакадемия, 1999. – 48 с.
5. Miura, M. Non-thermal vasodilatation by radio frequency burst-type electromagnetic field radiation in the frog / M. Miura, J. Okada // J. Physiol. – 1991. – №435. – P. 257–273.
6. Xu. S. Acute effects of whole-body exposure to static magnetic fields and 50-Hz electromagnetic fields on muscle microcirculation in anesthetized mice / S. Xu, H. Okano, C. Ohkubo // Bioelectrochemistry. – 2001. – №53. – P. 127–135.
7. Alteration of diurnal rhythms of blood pressure and heart rate to workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields / S. Szmigielski, A. Borkiewicz, E. Gadzicka [et al.] // Blood Press. Monit. – 1998. – №3(6). – P. 323–330.
8. Ueno, S. Effects of alternating magnetic fields and low-frequency electric currents on human skin blood flow / S. Ueno, P. Lövsund, P. Oberg // Med. Biol. Eng. Comput. – 1986. – №24. – P. 57–61.
9. Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field / S. Braune, C. Wrocklage, C. Wrocklage [et al.] // Lancet. – 1998. – №351(9119). – P. 1857–1858.
10. Skin temperature changes induced by strong static magnetic field exposure / S. Ichioka, M. Minegishi, M. Iwasaka [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2003. – №24. – P. 380–386.
11. Jauchem J.R. Exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields and radiofrequency radiation: cardiovascular effects in humans / J.R. Jauchem // Int. Arch. Occup. Environ. Health. – 1997. – №70(1). – P. 9–21.
12. Effects of acute exposure to a 1439 MHz electromagnetic field on the microcirculatory parameters in rat brain / H. Masuda, A. Ushiyama, S. Hirota [et al.] // In Vivo. – 2007. – Vol. 21. – №4. – P. 555–562.
13. Wenzel F. Cutaneous Microcirculation is not altered by a Weak 50 Hz Magnetic Field / F. Wenzel, J. Reißerweber, E. David // Biomedical Engineering. – 2006. – №50(1-2). – P. 14–18.
14. Мачерет Е. Л. Руководство по рефлексотерапии / Е. Л. Мачерет, И. З. Самосюк. – Киев: Вища шк., 1982. – 302 с.
15. Вейвлет-анализ общей и глазной микрогемодинамики у больных первичной открытоугольной глаукомой с нормализованным внутриглазным давлением / П.П. Бакшинский, А.Ю. Боголюбская, Г.А. Дроздова [и др.] // Глаукома. – 2006. – №3. – С. 7.
16. Bollinger A. Evaluation of flux motion in man by the laser Doppler technique / A. Bollinger, U. Hoffman, U.K. Franzekck // Blood vessels. – 1991. – Vol.28. – Suppl. 1. – P. 21.
17. Индивидуально-типологические особенности микроциркуляции у человека / В.И. Козлов, Ф.Б. Литвин, Т.И. Станишевская [и др.] // Official Journal of the International Academy of Integrative Anthropology. Biomedical and Biosocial Anthropology. – 2007. – №9. – С. 249.
18. Лакин Г.Ф. Биометрия / Лакин Г.Ф. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
19. Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере / В.П. Боровиков – СПб.: Питер, 2001. – 656 с. – (Для профессионалов)
20. Чуян Е.Н. Индивидуально-типологический подход к исследованию процессов микроциркуляции крови / Е.Н. Чуян, М.Н. Ананченко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2009. – Том 22 (61), №2. – С.160–188.
21. Литвин Ф.Б. Возрастные и индивидуально-типологические особенности микроциркуляции у мальчиков, подростков и юношей / Ф.Б. Литвин // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. – №1(17). – С. 44–50.

22. Станишевская Т.И. Индивидуально-типологические особенности микроциркуляции крови у девушек-студенток с разным соматотипом: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 03.00.13 / Станишевская Татьяна Ивановна. – Мелитополь, Москва, 2006 г. – 174 с.
23. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system / A. Stefanovska, M. Bracic // Contemporary Physics. – 1999. – V. 40. – №1. – P.31–35.
24. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines / P. Kvandal, A. Stefanovska, M. Veber [et al.] // Microvascular Research. – 2003. – V.65. – P. 160–171.
25. High-intensity static magnetic fields modulate skin microcirculation and temperature in vivo / S. Ichioka, M. Minegishi, M. Iwasaka [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2000. – №21(3). – P. 183–188.
26. Силантьева Е.С. Лечение хронического воспаления придатков матки (гемодинамические аспекты КВЧ-терапии): диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук: 14.00.01 / Силантьева Елена Суликовна. – Москва, 2000 г. – 128 с.
27. Фаткуллин И.Ф. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке динамики микроциркуляции при отеках беременных / И.Ф. Фаткуллин, Р.И. Габуллина, Л.В. Орлов // Казанский медицинский журнал. – 2002. – Т. 83. – №4. – С. 289–293.
28. Цехмистренко Т.А. Индивидуально-типологические особенности состояния микроциркуляции крови у девушек / Т.А. Цехмистренко, Т.И. Станишевская // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. – №1(17). – С. 51–57
29. Ковалев А.А. Неосознаваемые эффекты влияния нетепловых электромагнитных излучений миллиметрового диапазона на интегративные звенья саморегуляции гомеостаза человека / А.А. Ковалев // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1997. – Т. 9. – С. 18–24.
30. Дикке Г.Б. КВЧ-терапия в комплексном лечении вегетативно-невротических нарушений у женщин после гистерэктомии в репродуктивном возрасте: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. мед. наук: 14.00.34. / Г.Б. Дикке – Томск, 1996. – 25 с.
31. Pressure and risk of preeclampsia: a prospective study / R. Thadhani, J.L. Ecker, E. Kettyle [et al.] // Obstet. Gynecol. – 2001. – Vol. 97. – №4. – P. 515–520.
32. Шифман Е.М. Преэклампсия, эклампсия, HELLP-синдром / Шифман Е.М. – Петрозаводск: Издательство «ИнтелТек», 2002. – 432с.
33. Кораблин П.Н. Нарушения микроциркуляции у больных пневмонией и их коррекция с применением низкоинтенсивного лазерного излучения: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. мед. наук: 14.00.05. / Кораблин Павел Николаевич. – Иваново, 2008. – 47 с.
34. Respiration-dependence of cutaneous laser Doppler flow motion / M.E. Mack-Weymann, H.P. Albrecht, D. Hiller [et al.] // Vasa. – 1994. – Vol.23. – №4. – P.299–304.
35. Fagrell B. Microcirculation: its significance in clinical and molecular medicine / B. Fagrell, M. Inraglietta // J. Intern. Medicine. – 1997. – Vol. 241. – №5. – P.349–362.

**Чуян О.М. Індивідуально-типологічні особливості процесів мікроциркуляції: вплив низькоінтенсивного міліметрового випромінювання / О.М. Чуян, М.М. Ананченко. // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2009. – Т. 22 (61). – № 4. – С. 236-254.**

Методом лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ) вивчені індивідуально-типологічні реакції мікроциркуляторних процесів на низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання край високої частоти (ЕМВ КВЧ), або міліметрового (мм) діапазону, у умовно здорових дівчат-волонтерів у віці 18-23 років. Показано, що низькоінтенсивне ЕМВ КВЧ надає ефективний коригуючий диференційований вплив на показники периферичної мікрогемодинаміки, викликаючи компенсаторно-приспосовні реакції. Курсова дія ЕМВ КВЧ приводить до нівеляції міжгрупових відмінностей і наближення значень показників мікроциркуляції у випробовуваних з гіпо- і гіперемічним типами мікроциркуляції до найбільш збалансованого у функціональному відношенні нормоемічного, що свідчить про його гомеостатичну дію.

**Ключові слова:** низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання міліметрового діапазону, мікроциркуляція крові, метод лазерної доплерівською флоуметрії, гіпо-, гіперемічний, нормоемічний типи мікроциркуляції.

**Chuyan E.N. Individually-typological features of processes of microblood circulation: influencing of lowintensity electromagnetic radiation of the millimetric range / E.N. Chuyan, M.N. Ananchenko // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2009. – V.22 (61). – № 4. – P. 236-254.**

It has been studied specific-typological reactions of microblood circulation processes of extremely high-frequency, or millimetric range, at conditionally healthy girls-volunteers in the age of 18-23 years by metod laser Doppler flowmetry (LDF). It is shown that of lowintensity of electromagnetic radiation of extremely high-frequency renders effective correcting the differentiated influence on indicators peripheral of microblood circulation, causing indemnification-adaptive reactions. Course influence of of electromagnetic radiation of extremely high-frequency leads to levelling of intergroup distinctions and approach of values of indicators of microcirculation at examinees with hypoemical and hyperemic microcirculation types to the most balanced in the functional relation normoemical that testifies about it homeostatic action.

**Keywords:** of lowintensity electromagnetic radiation of the millimetric range, microblood circulation, a method laser Doppler flowmetry, hypoemical, hyperemic, normoemical microcirculation types.

*Поступила в редакцию 24.11.2009 г.*