

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского

Серия «Биология, химия». Том 24 (63). 2011. № 2. С. 30-49.

УДК 612.135:528.811+537-96

КОЖНАЯ МИКРОЦИРКУЛЯЦИЯ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ У ИСПЫТУЕМЫХ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПОЛОГИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ПОД ВЛИЯНИЕМ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО МИЛЛИМЕТРОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ананченко М.Н., Чуян Е.Н.

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

Методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) выявлены определенные различия в механизмах регуляции тканевого кровотока у условно здоровых девушек с разными микроциркуляторными типами в возрасте 18-23 лет. Показано, что в механизмах действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ), или миллиметрового (мм) диапазона, на микрогемодинамику кожи человека основную роль играют эндотелий-зависимый, миогенный эндотелий-независимый и нейрогенный компоненты регуляции тканевого кровотока, однако их выраженность зависит от типологических особенностей микроциркуляторных процессов испытуемых. При этом, курсовое воздействие низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ приводит к нивелированию межгрупповых различий и приближению значений показателей функциональных проб у испытуемых с гипо- и гиперемическими типами 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, функциональные пробы, нормо-, гипо-, гиперемический типы микроциркуляции.

ВВЕДЕНИЕ

Низкоинтенсивное электромагнитное излучение (ЭМИ) миллиметрового (мм) диапазона или крайне высокой частоты (КВЧ), обладающее высокой биологической эффективностью и применяющееся в настоящее время в медицинской практике для лечения широкого круга заболеваний, оказывает положительный вазотропный эффект на процессы микроциркуляции [1–4]. В наших предыдущих исследованиях [5] методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) были изучены индивидуально-типологические реакции микроциркуляторных процессов на ЭМИ КВЧ.

Однако известно, что приспособительные механизмы и реакции адаптации и компенсации наиболее отчетливо выявляются при повышенной функциональной нагрузке, поскольку в условиях физиологического покоя работа всех систем

организма направлена на поддержание гомеостаза, а во время функциональной нагрузки наблюдается напряжение всех вегетативных функций, обусловленное необходимостью оксигенации рабочих органов на оптимальном уровне. Одним из факторов, обеспечивающих работоспособность организма, является функциональное состояние сердечно-сосудистой системы. Между тем, сосуды магистрального типа контролируют лишь распределение крови между органами, а способностью регулировать взаимодействие крови и паренхимы органов обладает система микроциркуляции (МЦ) крови [6–9].

Очевидно, что микроциркуляторное русло (МЦР) не является стабильной системой путей транспортного кровотока, его функциональное состояние постоянно меняется, приспосабливается к потребностям органов, что обеспечивается многочисленными структурными механизмами, условиями местного тканевого метаболизма и особенностями гемодинамики в сосудистой системе в целом. Так, итоговый эффект регуляторных механизмов определяется не только интенсивностью и природой действующих факторов, в том числе электромагнитной природы, но и активностью регуляторных компонентов, функциональным состоянием реагирующих структур, обусловленными индивидуально-типологическими особенностями процессов микроциркуляции [10, 11].

Вместе с тем, данных о действии ЭМИ на систему МЦ крови при проведении нагрузочных проб с учетом индивидуальных особенностей в доступной литературе не встречается.

Таким образом, целью данного исследования явилось изучение влияния низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на параметры кожной микроциркуляции в условиях функциональной нагрузки у испытуемых с различными типологическими особенностями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 49 студентов-волонтеров женского пола в возрасте 18-23 лет, условно здоровых, в межменструальном периоде. ЛДФ осуществляли лазерным анализатором кровотока «ЛАКК-02» (производство НПП «Лазма», Россия) с источником лазерного излучения, работающим на длине волны 0,8 мкм. Испытуемые во время исследования находились в положении сидя. Головка оптического зонда фиксировалась на вентральной поверхности второго пальца правой руки. Определялись следующие показатели ЛДФ-граммы: параметр перфузии (ПМ), среднее квадратическое отклонение (СКО), а с помощью вейвлет-преобразования ЛДФ-грамм — амплитуды эндотелиальных (Аэ, 0,0095-0,02 Гц), нейрогенных (Ан, 0,02-0,046 Гц), миогенных (Ам, 0,07-0,15 Гц), дыхательных (Ад, 0,15-0,4 Гц) и пульсовых (Ас, 0,8-1,6 Гц) колебаний, нейрогенный (НТ) и миогенный (МТ) тонусы микрососудов, значения которых обратно пропорциональны амплитудам осцилляций соответственного диапазона [16, 17]. Методика определения этих показателей подробно описана в наших предыдущих статьях [5, 12].

По данным ЛДФ-метрии определяли типологические отличия показателей микроциркуляции на основе которого было выделено три типа ЛДФ-грамм: аperiодический (36,8% испытуемых), монотонный с низкой (31,6% испытуемых) и

высокой перфузией (31,6% испытуемых), соответствующие нормо-, гипо-, гиперемическому микрогемодинамическим типам и отражающие вегетативный статус испытуемых [12], что позволило разделить их на три группы.

Экспериментальное воздействие ЭМИ КВЧ осуществлялось на протяжении десяти 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 – 0,1 мВт/см², 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) в течение 30-ти минут на симметричные биологически активные точки E-36, RP-6, G-14 и несимметричную GI-15. Выбор этих точек обусловлен их рефлексогенным общеукрепляющим и стимулирующим действием на организм [13].

Для оценки функционального состояния, выявления механизмов регуляции тканевого кровотока, а также определения реактивности и резервов МЦР применялись функциональные пробы, представляющие искусственно вызванную нагрузку на сосуды: дыхательная, постуральная, окклюзионная и фармакологическая. Пробы осуществлялись в первые сутки исследования до воздействия ЭМИ КВЧ (контроль), а также повторялись после пяти- и десятикратного воздействия мм излучения. Во время исследования испытуемые находились в положении лежа, ЛДФ-зонд фиксировался на вентральной поверхности второго пальца правой руки.

Дыхательная проба служит для оценки функции рефлексорной активности симпатических волокон, поскольку известно, что глубокий вдох сопровождается активацией суживающих эфферентных симпатических волокон и снижением перфузии [14].

При проведении дыхательной пробы регистрировали фоновую величину перфузии, затем, не прерывая запись, реакцию перфузии в ходе 15-секундной задержки дыхания на высоте глубокого вдоха, после чего испытуемый делал выдох и постепенно восстанавливал спокойное дыхание. После того, как ритм и глубина дыхательных движений приходила к исходному уровню, а ЛДФ-грамма обретала исходный паттерн, регистрацию тканевого кровотока прекращали и фиксировали данные дыхательной пробы.

Трактовка результатов осуществлялась по двум параметрам – исходному НТ в покое и относительной величине снижения ПМ при дыхательной пробе (Δ ПМд).

Амплитуду спада при дыхательной пробе оценивали по формуле:

$$\Delta\text{ПМд} = (\text{ПМ}_{\text{исх}} - \text{ПМ}_{\text{мин}}) / \text{ПМ}_{\text{исх}} * 100\%, \quad (1)$$

где ПМ_{мин.} – минимальная величина ПМ, зарегистрированная в период глубокого вдоха, а ПМ_{исх} – исходная величина ПМ.

для основной популяции испытуемых норматив Δ пмд кожи подушечки 2-го пальца – 40% [15, 16].

Постуральная (ортостатическая) проба отражает веноартериолярные реакции, осуществляющие регуляцию кожного кровотока, и позволяет определить активность миогенных механизмов веноулярного звена [16, 17].

В процессе проведения пробы регистрировали фоновую запись лдф-граммы, после чего руку испытуемого опускали ниже уровня сердца под углом 90° по отношению к туловищу. в свешенном состоянии рука находилась в течение одной минуты, после чего испытуемый возвращал руку в исходное положение. регистрация потока крови осуществлялась в течение всего периода проведения пробы вплоть до полного восстановления тканевого кровотока. во избежание артефактов, запись лдф-граммы временно приостанавливали на момент опускания и поднятия конечности в исходное положение.

В ходе постуральной пробе оценивали:

Δ ПМП – показатель микроциркуляции, характеризующий снижение уровня перфузии, отмечаемый в период, когда рука находилась в свешенном состоянии относительно фоновых значений пм.

$$\Delta\text{ПМП} = (\text{ПМИСХ} - \text{ПМП}) / \text{ПМИСХ} * 100\%, \quad (2)$$

где ПМП – уровень перфузии, зарегистрированный во время опускания конечности ниже уровня сердца; ПМисх – исходная величина ПМ.

Согласно литературным данным, снижение уровня пм у здоровых лиц в ходе проведения постуральной пробы достигает 30-45% [15, 16].

Окклюзионная проба позволяет оценить функциональные резервы капиллярного русла, реактивность гладкомышечных клеток прекапиллярного звена, а также выявить особенности эндотелиальной и миогенной активности [7, 11, 16-18].

При окклюзионной пробе манжета тонометра фиксировалась на плече правой руки. проба проводилась по следующей схеме: в течение одной минуты осуществлялась регистрация исходного уровня кровотока, затем создавалась окклюзия путем быстрого нагнетания давления в манжете до уровня 250 мм рт. ст. и дальнейшая регистрация потока крови в течение трех минут периода окклюзии. по истечении трехминутной окклюзии воздух из манжеты быстро выпускался, в течение последующих шести минут регистрировалась реакция перфузии в ходе восстановления кровотока [16, 17].

При интерпретации результатов окклюзионной пробы оценивались следующие показатели:

РККо (%) – резерв кожного кровотока, регистрируемый в окклюзионной пробе который рассчитывается по формуле:

$$\text{РККо} = \text{ПМисх} / \text{ПМмакс} * 100\%, \quad (3)$$

где ПМисх – исходная величина показателя перфузии;

ПМмакс – максимальное значение показателя перфузии, зарегистрированное в период постокклюзионной гиперемии.

Параметр РККо, регистрируемый после трехминутной окклюзии, характеризует степень сохранности NO-синтазного механизма вазодилатации [19] и составляет в норме, по мнению различных авторов, около 200% [7, 16].

T1/2 (с) – интервал времени от момента достижения ПМ макс до момента полувосстановления, определяемого как время достижения половины величины разности ПМмакс - ПМисх. Данный параметр характеризует реактивность микрососудов прекапиллярного звена [16].

Согласно литературным данным, показатель T1/2 у здоровых лиц в ходе проведения окклюзионной пробы достигает 25-40 с [17].

Фармакологическая проба с ацетилхолином и нитропруссидом является методом оценки эндотелиальной активности, основанной на сравнении сосудистых реакций в ответ на введение специфических агентов, вызывающих эндотелий-зависимую (ЭЗВ) (в случае с ацетилхолином-хлоридом (АХ), стимулирующим локальное высвобождение по эндотелием) и эндотелий-независимую (ЭНЗВ) (в случае с нитропруссидом натрия (НП), являющимся донором по и вызывающим расслабление гладкомышечных клеток) вазодилатацию [20-22].

Проведение фармакологической пробы реализовывалось с помощью блока для организации функциональных проб «ЛАКК-ТЕСТ» (Россия, «Лазма») с использованием ионофоретического пробника, к которому подводились растворы апплицируемых веществ. При этом пробник фиксировался на наружной поверхности правого предплечья вблизи лучезапястного сустава. Электрод противоположной полярности фиксировался на запястье другой руки. Аппликацию АХ и НП проводили последовательно на расстоянии не менее 5 см друг от друга.

Фармакологическую пробу проводили по следующей схеме: регистрация исходного уровня тканевого кровотока в течение 1-ой минуты → регистрация кровотока во время проведения ионофореза 1% раствором АХ в течение 3-ех минут при силе тока 5 мкА → регистрация динамики перфузии в период восстановления после ионофореза в течение 6-ти минут. Затем по аналогичной схеме проводили фармакологическую пробу с 1% раствором НП.

По результатам фармакологической пробы оценивали реакцию кожного кровотока (РКК), характеризующую максимальный прирост показателя микроциркуляции в процентах при ионофоретическом введении АХ (РКК(АХ)) и НП (РКК(НП)) относительно исходных значений показателя перфузии, который рассчитывали по формуле:

$$\text{РКК} = \text{ПМмакс} / \text{ПМисх} * 100\%, \quad (4)$$

где ПМмакс – максимальное значение показателя микроциркуляции;
ПМисх – исходное значение уровня перфузии.

Известно, что АХ вызывает активацию ферментных систем, локализованных в эндотелии, приводя к высвобождению NO эндотелиоцитами, который, воздействуя на гладкомышечные клетки сосудов, приводит к вазодилатации и увеличению потока крови. Реакция на НП, как донор NO, отражает релаксацию сосудов, вызванную непосредственным действием препарата на гладкую мускулатуру. Следовательно, степень выраженности прироста уровня перфузии при введении АХ в сравнении с таковым при введении НП отражает функциональную активность эндотелия (ФАЭ), выражающуюся в способности его к выработке вазодилатора NO. Данный показатель рассчитывали по формуле:

$$\text{ФАЭ} = ((\text{РКК}(\text{АХ}) - \text{РКК}(\text{НП})) / \text{РКК}(\text{НП})) * 100\% \quad (5)$$

Оценивали амплитудные значения эндотелиальных колебаний кожного кровотока, регистрируемые в ЛДФ-грамме, полученные при действии АХ (Аэ(АХ)) и НП (Аэ(НП)), в результате вейвлет-преобразования [16, 23, 24].

Рассчитывали показатель, характеризующий соотношение амплитудных значений эндотелиальных ритмов, полученных при аппликации АХ, относительно данных этого показателя, полученных при введении НП, который вычисляли по формуле:

$$\Delta A_{\text{Э}}(\text{АХ/НП}) = ((A_{\text{Э}}(\text{АХ}) - A_{\text{Э}}(\text{НП})) / A_{\text{Э}}(\text{НП})) * 100\% \quad (6)$$

Для анализа амплитуды эндотелиальных ритмов, полученных во время записи доплерограммы при проведении фармакологической пробы, ЛДФ-граммы были разделены на два периода: период собственно проведения ионофореза и период восстановления.

Оценка достоверности межгрупповых различий полученных данных проводилась с использованием критерия парных сравнений U-теста Манна-Уитни (Mann-Whitney U Test); различия считались достоверными при $p \leq 0,05$ [25, 26].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что у испытуемых с разными типами ЛДФ-грамм, а, следовательно, с разными типами МЦ наблюдались определенные отличия показателей, зарегистрированных при проведении функциональных проб. Так, у испытуемых с аperiodическим типом ЛДФ-граммы во время проведения постуральной пробы значение $\Delta\text{ПМп}$, которое характеризует реактивность гладкомышечных клеток веноулярного звена и активность веноуло-артериолярных реакций [16, 17], составило $38,35 \pm 1,37\%$. При дыхательной пробе $\Delta\text{ПМд}$, отражающее рефлекторную активность симпатических адренергических волокон [14], было равным $35,21 \pm 2,51\%$, а значение НТ в покое - $2,44 \pm 0,15$. В ходе окклюзионной пробы значения ПМисх , ПМмакс и ПМмин были относительно невысокими и составили $23,38 \pm 1,96$, $8,39 \pm 0,21$, $37,52 \pm 2,57$ перф.ед. соответственно, величина показателя РККо, определяющего резерв капиллярного кровотока [7], была равной $151,91 \pm 3,45\%$, а время полувосстановления тканевого кровотока после окклюзии $T_{1/2}$, позволяющее оценить реактивность гладкомышечных клеток прекапиллярного звена [16], составило $27,45 \pm 2,03$ с. При осуществлении фармакологической пробы значение РКК(АХ) , указывающего на реактивность сосудистого эндотелия при аппликации АХ [16], составило $212,71 \pm 8,23\%$, что на $14,8\%$ больше ($p \leq 0,05$), чем РКК(НП) при введении НП. Такая разница свидетельствует о нормальной реакции микрососудистого эндотелия у испытуемых на ионофоретическое введение АХ и НП [23, 24]. ФАЭ оказалась равной $19,43 \pm 2,00\%$. $A_{\text{Э}}(\text{АХ})$ в период собственно проведения ионофореза ($14,64 \pm 0,67$ перф. ед.) и в период восстановления ($16,41 \pm 0,65$ перф. ед.) была достоверно большей ($p \leq 0,05$), чем $A_{\text{Э}}(\text{НП})$ перф. ед. на $12,36\%$ и $20,72\%$ соответственно. Соотношение амплитуд эндотелиальных колебаний при введении АХ и НП, в период собственно проведения ионофореза составило $15,99 \pm 1,19\%$, а в период восстановления $23,20 \pm 1,99\%$. Такие данные указывают на адекватную реактивность микрососудов при стимулированной модуляции кровотока у испытуемых данной группы и соответствуют норме, характерной для здоровых людей [16]. Таким образом, аperiodический тип ЛДФ-граммы (нормоемический тип микроциркуляции) характеризуется оптимальным уровнем взаимодействия эндотелий-зависимого, эндотелий-независимого и нейрогенного компонентов регуляции процессов микроциркуляции.

У испытуемых с монотонным типом ЛДФ-граммы и низкой перфузией (гипоэмический тип микроциркуляции) уровень реактивности веноулоартериолярных реакций не отличался от такового у испытуемых первой группы, на что указывает отсутствие достоверных отличий в значениях $\Delta\text{ПМп}$ ($p \geq 0,05$) при постуральной пробе (рис. 1-А). Однако наблюдалась более низкая реакция микрососудов на активацию симпатических адренергических волокон, проявившаяся в меньшем значении $\Delta\text{ПМд}$ на 26,81% ($p \leq 0,01$) (рис. 1-А) при дыхательной пробе на фоне увеличенного НТ (на 18,03%; $p \leq 0,05$). Известно, что величина снижения кровотока при проведении вазоконстрикторного дыхательного теста зависит от реакции сосуда на активацию адренергических волокон, которая обусловлена как влияниями со стороны симпатической иннервации, так и реактивностью сосудистой стенки [16]. Сосудистый нейрогенный компонент связан с поступлением вазоконстрикторных импульсов по постганглионарным адренергическим симпатическим волокнам. Однако следует отличать тоническую активность нервных центров в условиях физиологического покоя, в поддержании которой основную роль играет бульбарный вазомоторный центр, от фазической рефлекторной в ответ на афферентные влияния, регулируемой спинальным центром, а также учитывать возможность их независимых изменений [16]. Таким образом, $\Delta\text{ПМд}$ зависит от состояния вегетативной регуляции, в частности, отражает симпатическую активность, которая у испытуемых с монотонным типом и низкой перфузией, по всей видимости, была повышена.

У испытуемых данной группы зарегистрированы также низкие значения ПМисх (на 28,70%; $p \leq 0,05$) и высокие значения РККо (на 46,19%; $p \leq 0,05$). При этом значение $T1/2$ было ниже на 49,03% ($p \leq 0,01$) по сравнению с таковыми у испытуемых с аperiодическим типом и сопровождалось повышенной $A\alpha$ (на 21,78%; $p \leq 0,05$) (рис. 1-А). Как известно, реактивная гиперемия является защитным адаптивным феноменом, при котором происходит быстрое восстановление кровотока вслед за периодом его остановки. В основе этого явления лежит вазодилатация гладкой мускулатуры сосудов, обеспечиваемая эндотелиальным NO, синтез которого индуцируется секрецией нейропептида КГРП (кокальцигенина) и нейронального оксида азота (NO) афферентными ноцицептивными С-волоконками [8, 16, 18]. Согласно современным данным, вазодилатация в период постокклюзионной гиперемии возникает за счет миогенной активности в результате падения внутрисосудистого давления во время остановки кровотока, а также обеспечивается метаболическими механизмами, активируемыми в связи с гипоксией и накоплением метаболитов в течение окклюзии [8, 27, 28]. При этом также необходимо учитывать понятие “сдвигового напряжения” на эндотелий, возникающего в продольном направлении из-за трения между потоком крови и эндотелиальными клетками, повышение которого увеличивает вазодилатацию сосудов [8, 16, 27]. Такие реакции, вызванные с помощью окклюзионного теста, позволяют исследовать резервные возможности микроциркуляторного русла, миогенную активность, реакцию и компенсаторные возможности эндотелия на функциональную нагрузку [7, 16, 17, 21, 29, 30]. Так, исходно малое количество функционирующих капилляров, большой резерв капиллярного кровотока и высокая реактивность микрососудов прекапиллярного звена, на которую указывает короткий период полувосстановления тканевого

кровотока, выявленные у испытуемых с монотонным типом ЛДФ-граммы и низкой перфузией, свидетельствуют о наличии спазма микрососудов, связанного с возможной повышенной нейрогенной или миогенной активностью [7, 16, 17], а повышенные амплитуды эндотелиальных колебаний, в свою очередь, могут свидетельствовать о компенсаторной роли эндотелий-зависимого компонента [27, 31].

При проведении фармакологической пробы у испытуемых с гипоемическим типом МЦ РКК(АХ) оказалась достоверно выше ($p \leq 0,05$), чем РКК(НП) на 46,83%, что свидетельствует о нормальной реакции микрососудистого эндотелия на введение данных веществ [7, 16]. Показатели РКК(АХ) и ФАЭ, характеризовались достоверно большими значениями относительно таковых у испытуемых с аperiодической ЛДФ-граммой (на 88,59% и 398,04% соответственно). Также достоверно высокой была Аэ(АХ): в период проведения собственно ионофореза разница составила 36,33% ($p \leq 0,05$) относительно значений у испытуемых первой группы, а в период восстановления – 107,63% ($p \leq 0,05$) (рис. 1-А). Такие значения показателей фармакологической пробы отображают увеличенную чувствительность микрососудов к АХ, а, соответственно, повышенную активность эндотелия и усиление стимулированной секреции NO при его введении, что также может быть связано с компенсаторной ролью эндотелий-зависимого компонента [27, 31].

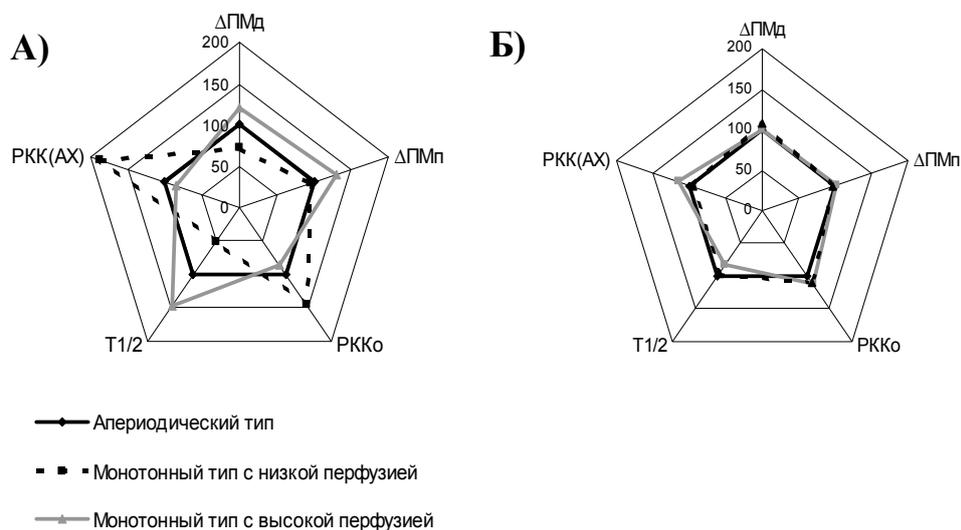


Рис. 1. Различия показателей, зарегистрированных при проведении функциональных проб, у испытуемых с разными типами микроциркуляции до (А) и их изменения после (Б) курсового КВЧ-воздействия (в % относительно значений показателей у испытуемых с нормоемическим типом, принятых за 100%).

Примечание: сокращения указаны в тексте.

Следовательно, испытуемые с монотонным типом ЛДФ-граммы и низкой перфузией обладают чрезмерной активностью нейрогенного компонента,

проявляющейся наличием спазма артериального звена МЦ и высокой реактивностью сосудов при стимулированной модуляции кровотока, что подтверждает соответствие этого типа ЛДФ-граммы гипоемическому типу микроциркуляции.

У испытуемых с монотонным характером ЛДФ-граммы и высокой перфузией реакция микрососудов на активацию симпатических адренергических волокон не отличалась от таковой у испытуемых с аperiodическим типом, на что указывает отсутствие достоверных отличий в значениях $\Delta\text{ПМд}$ ($p \geq 0,05$) при дыхательной пробе (рис. 1-А). Однако была снижена реактивность веноартериолярных реакций при постуральной пробе, о чем свидетельствуют более низкие значения $\Delta\text{ПМп}$: на 26,77% ($p \leq 0,05$) по сравнению со значениями в первой группе и на 31,63% ($p \leq 0,01$) – во второй (рис. 1-А). В понятие сосудистой реактивности, исследуемой при постуральной пробе, включена чувствительность реагирующих структур, в частности, миоцитов к различным воздействиям [32]. Вазоконстрикция в ходе постурального теста осуществляется за счет собственной чувствительности прекапиллярных сфинктеров к повышению внутрисосудистого давления (миогенная эндотелий-независимая реакция) [16]. Поэтому, пониженные значения $\Delta\text{ПМп}$ у испытуемых с монотонным типом и высокой перфузией отражают низкую активность веноартериолярных реакций, обусловленную слабой миогенной реактивностью гладкомышечных клеток венолярного звена в ответ на моделируемое увеличение внутрисосудистого давления [8, 16].

Окклюзионная проба показала, что для испытуемых этой группы характерны и более низкие значения показателя РКК_о, чем у испытуемых первой и второй групп на 14,60% ($p \leq 0,05$) и 60,77% ($p \leq 0,01$) соответственно и высокие значения T1/2 (на 47,47% и 96,50% соответственно; $p \leq 0,01$) на фоне высокой амплитуды миогенных осцилляций по сравнению с таковой у испытуемых с аperiodическим типом ЛДФ-граммы на 21,98% ($p \leq 0,05$) и с монотонным типом и низкой перфузией - на 36,26% ($p \leq 0,01$). При этом ПМисх был выше, чем у испытуемых первой и второй группы на 37,55% ($p \leq 0,05$) и 66,25% ($p \leq 0,01$) соответственно (рис. 1-А). Сниженный резерв кожного кровотока в окклюзионном тесте свидетельствует о слабом возникновении постокклюзионной гиперемии, причиной чего может являться исходно повышенное венозное давление, возникшее в связи с затрудненным венозным оттоком, в пользу чего также свидетельствует исходно увеличенное количество функционирующих капилляров у испытуемых данной группы [7, 8, 16, 17]. Увеличенное время восстановления кровотока после окклюзии на фоне повышенных амплитуд миогенных осцилляций отражает низкую миогенную активность микрососудов, что обуславливает слабую реактивность прекапиллярного звена [16].

При проведении фармакологической пробы у испытуемых с монотонным характером ЛДФ-граммы и высокой перфузией достоверных различий между РКК(АХ) и РКК(НП), Аэ(АХ) и Аэ(НП) выявлено не было ($p \geq 0,05$), что свидетельствует о сниженной реакции микрососудистого эндотелия на ионофоретическое введение АХ. Однако РКК(АХ) был достоверно ниже такового у испытуемых первой группы на 14,66% ($p \leq 0,05$), а второй - на 103,25% ($p \leq 0,01$), различия в значениях показателя ФАЭ были подобными, и разница составила 40,09% ($p \leq 0,05$) и 438,13% ($p \leq 0,01$) соответственно (рис. 1-А). Аналогичные

различия наблюдались и в значениях амплитуд эндотелиальных осцилляций: в период собственно проведения ионофореза $A\Delta(A\Delta X)$ и $\Delta A\Delta(A\Delta X/HP)$ оказались ниже на 17,14% ($p \leq 0,05$) и 81,06% ($p \leq 0,01$) соответственно, чем у испытуемых первой группы и на 53,47% ($p \leq 0,01$) и 111,89% ($p \leq 0,01$), чем у испытуемых второй группы; в период восстановления $A\Delta(A\Delta X)$ была ниже на 17,55% ($p \leq 0,05$), чем у испытуемых первой группы и на 125,18% ($p \leq 0,01$), чем у испытуемых второй группы. Эти результаты отражают сниженную чувствительность сосудов к $A\Delta X$, низкий уровень стимулированной секреции NO эндотелием, что, вероятно, обусловлено исходно повышенной вазодилатацией сосудов и затрудненным венозным оттоком, о чем свидетельствуют и данные постуральной и окклюзионной проб.

Таким образом, испытуемые с монотонной ЛДФ-граммой и высокой перфузией характеризуются сниженной активностью миогенного эндотелий-независимого компонента, о чем свидетельствует слабая реактивность веноулоартериолярных реакций и затрудненный венозный отток периферической крови, что подтверждает соответствие гиперемическому типу микроциркуляции.

Следовательно, для испытуемых с разными микроциркуляторными типами характерны определенные различия в механизмах регуляции тканевого кровотока: нормоемический тип характеризуется оптимальным уровнем взаимодействия эндотелий-зависимого, эндотелий-независимого и нейрогенного компонентов регуляции процессов микроциркуляции, гипоемический тип отличается повышенной активностью симпатических адренергических влияний, а гиперемический - сниженными влияниями миогенного эндотелий-независимого компонента.

После курсового воздействия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ у испытуемых с разными типами МЦ произошли определенные изменения изученных показателей. Так, у испытуемых с нормоемическим типом микроциркуляции под влиянием ЭМИ КВЧ показатели постуральной, дыхательной и окклюзионной проб относительно исходных значений достоверно не изменялись ($p \geq 0,05$). Однако происходили статистически значимые изменения показателей фармакологической пробы: наблюдался рост РКК($A\Delta X$) на 19,34% ($p \leq 0,05$) относительно исходных значений и на 9,98% ($p \leq 0,01$) относительно РКК(HP), коэффициент ФАЭ увеличился на 80,57% ($p \leq 0,05$) (рис. 2). Также происходило повышение $A\Delta(A\Delta X)$ и $\Delta A\Delta(A\Delta X/HP)$ в период собственно проведения ионофореза на 36,33% и 30,83% ($p \leq 0,05$) соответственно; в период восстановления на 11,51% и 60,20% ($p \leq 0,05$) соответственно.

Известно, что колебания эндотелиального диапазона вблизи 0,01 Гц обусловлены функционированием эндотелия (выбросом вазодилатора NO), так как из ряда вазоактивных субстанций, выделяемых эндотелием - NO и простангландинов (PGs) – только NO ответственен за сокращение миоцитов с частотой около 0,01 Гц, регистрируемых в доплерограмме [24, 33]. Следовательно, увеличение РККо и ФАЭ на фоне повышения амплитуд эндотелиальных осцилляций при введении $A\Delta X$, отмечаемые у испытуемых с нормоемическим типом МЦ после сеансов КВЧ-воздействия, свидетельствует об увеличении реактивности микроваскулярного эндотелия и повышении уровня стимулированной секреции вазодилатора NO [23].

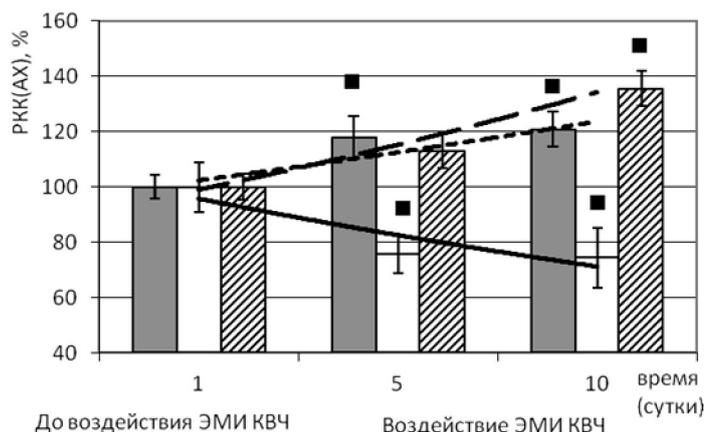


Рис. 2. Динамика реакции кожного кровотока (РКК(АХ), %) под влиянием ЭМИ КВЧ при ионофорезе ацетилхолина во время фармакологической пробы у испытуемых с различными типами ЛДФ-грамм (в % относительно исходных значений, принятых за 100%).

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

Таким образом, у испытуемых с нормоемическим типом МЦ в механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляторные процессы основную роль играет эндотелий-зависимый компонент регуляции тканевого кровотока, в пользу чего свидетельствует увеличение функциональной активности эндотелия и повышение стимулированной секреции NO.

У испытуемых с гипоемическим типом МЦ в результате курсового воздействия ЭМИ КВЧ значения показателей постуральной пробы достоверно не изменялись ($p \geq 0,05$). Однако наблюдалось статистически значимое увеличение реакции кожного кровотока при дыхательной пробе, на что указывает повышение Δ ПМд (на 49,92%; $p \leq 0,05$) по отношению к исходным значениям на фоне снижения НТ (на 28,30%; $p \leq 0,05$) (рис. 3).

Поскольку, при дыхательной пробе оценивается фазическая активность симпатического преганглионарного нейрона [16], то отмечаемое увеличение Δ ПМд при курсовом воздействии ЭМИ КВЧ связано со снижением симпатической рефлекторной регуляции. К тому же, как известно, нейрогенный тонус в покое отражает артериолярный тонус микрососудов, снижение которого связано с ослаблением прессорных симпатических влияний при тонической активности. В результате происходит снижение жесткости сосудистой стенки, сопровождающееся уменьшением периферического сопротивления и увеличением притока крови в микроциркуляторное русло [34-36], что, по-видимому, и наблюдалось у испытуемых с гипоемическим микрогемодинамическим типом при многократном воздействии ЭМИ КВЧ. Следовательно, в результате мм терапии у испытуемых данной группы наблюдалось повышение реактивности микрососудов на активацию симпатических адренергических волокон, что отражается в уменьшении Δ ПМд и нейрогенного тонуса микрососудов.

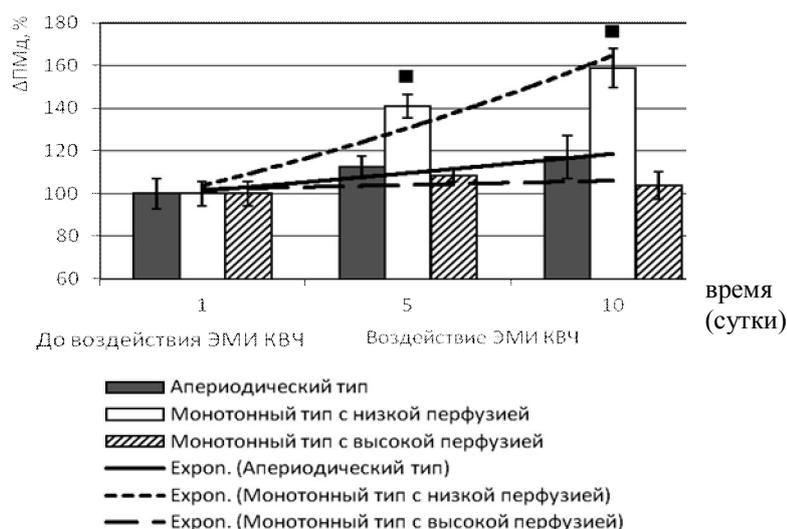


Рис. 3. Динамика изменения уровня перфузии (Δ ПМд) под влиянием ЭМИ КВЧ при проведении дыхательной пробы у испытуемых с различными типами ЛДФ-грамм (в % относительно исходных значений, принятых за 100%).

Примечание: обозначения те же, что и на Рис. 2.

Кроме того, у испытуемых данной группы зарегистрировано увеличение ПМисх (на 83,81%; $p \leq 0,05$) и уменьшение РККо (на 14,35%; $p \leq 0,05$) (рис. 4-А), что, вероятно, связано с увеличением количества исходно функционирующих капилляров и притока крови в микроциркуляторное русло. Удлинение периода полувосстановления кровотока после окклюзии (на 49,93%; $p \leq 0,05$) (рис. 4-Б) указывает на снижение реактивности микрососудов прекапиллярного звена, обусловленное уменьшением миогенной активности гладкомышечных клеток [34-36]. Понижение A_z (на 12,78%; $p \leq 0,05$), а, соответственно, снижение релизинга NO эндотелием при реактивной постокклюзионной гиперемии, возможно, связано с уменьшением необходимости его компенсаторной роли при модулированном кровотоке в результате ослабления симпатических влияний у испытуемых данной группы при воздействии ЭМИ КВЧ.

В результате КВЧ-воздействия у испытуемых с гипоемическим типом МЦ происходили изменения значений показателей в фармакологической пробе, а именно снижение РКК(АХ) на 25,21% ($p \leq 0,05$) относительно исходных значений, при этом разница по сравнению с РКК(НП) уменьшилась на 12,98% ($p \leq 0,05$); ФАЭ понизился в среднем на 44,25% ($p \leq 0,05$) (рис. 2). Кроме того, происходило снижение A_z (АХ) и ΔA_z (АХ/НП) в период собственно проведения ионофореза на 14,05% и 9,25% ($p \leq 0,05$) соответственно; в период восстановления на 15,37% и 23,74% ($p \leq 0,05$) соответственно. Такие изменения данных показателей, возможно, также связаны с уменьшением компенсаторной роли эндотелий-зависимого компонента у испытуемых данной группы, что подтверждает результаты окклюзионной пробы.

Следовательно, у испытуемых с гипоемическим типом МЦ наиболее чувствительным звеном при действии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ является нейрогенный компонент регуляции микрогемодинамики, о чем свидетельствует снижение прессорных симпатических влияний на гладкие мышцы сосудов как при тонической, так и фазической активности, что привело к увеличению вазодилатации микрососудов и артериального притока крови.

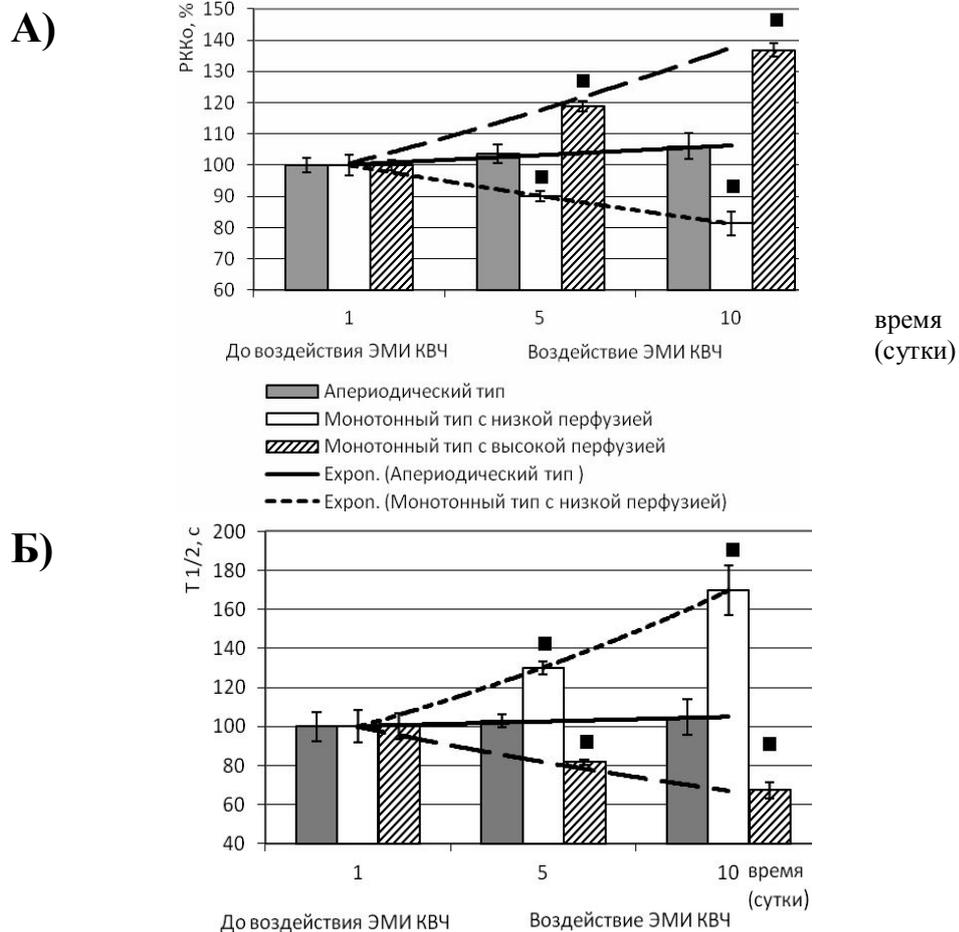


Рис. 4. Динамика значений А) резерва капиллярного кровотока (РККо, %) и Б) периода полувосстановления тканевого кровотока ($T_{1/2}$, с) под влиянием ЭМИ КВЧ в окклюзионной пробе у испытуемых с различными типами ЛДФ-грамм (в % относительно исходных значений, принятых за 100%).

Примечание: обозначения те же, что и на Рис. 2.

У испытуемых с гиперемическим микрогемодинамическим типом в результате курсового воздействия ЭМИ КВЧ изменений в значениях показателей дыхательной

пробы обнаружено не было ($p \geq 0,05$). Однако отмечалось повышение реактивности веноартериолярных реакций, о чем свидетельствует увеличение $\Delta\text{ПМп}$ (на 20,68%; $p \leq 0,05$) (рис. 5). Известно, что показатель $\Delta\text{ПМп}$ характеризует реактивность гладкомышечных клеток веноулярного звена и активность веноуло-артериолярных реакций [7, 16, 17]. Следовательно, его повышение у испытуемых с гиперемическим типом в результате мм воздействия может быть обусловлено увеличением чувствительности гладкомышечных клеток к изменению гидростатического давления и усилением их сократительной активности при стимулированной модуляции кровотока. Следствием таких изменений является активизация миогенных реакций, позволяющая облегчить венозный отток, ограничить уровень перфузионного давления на внутреннюю поверхность микрососудов, а, соответственно, избежать развития периваскулярного отека и трофических нарушений [8].

В ходе окклюзионного теста в результате КВЧ-воздействия у испытуемых данной группы было зарегистрировано снижение ПМисх (на 20,37% относительно исходных значений; $p \leq 0,05$) на фоне снижения Ам (на 17,76; $p \leq 0,05$). Согласно литературным данным, осцилляции миогенного диапазона отображают активность миоцитов прекапиллярных сфинктеров и прекапиллярных метартериол и являются ведущим механизмом регуляции числа функционирующих кожных капилляров [17, 24]. Кроме того, выявлена положительная корреляция между числом функционирующих капилляров по данным капилляроскопического исследования, и амплитудой миогенных колебаний по данным ЛДФ-метрии [36]. Следовательно, уменьшение ПМисх на фоне снижения амплитуд миогенных осцилляций при окклюзионной пробе в результате мм-терапии свидетельствует о некоторой вазоконстрикции прекапилляров. Увеличение РККо (на 27,9%; $p \leq 0,05$) (рис. 4-А), вероятно, является следствием уменьшения количества исходно функционирующих капилляров. Сокращение периода полувосстановления кровотока после окклюзии (на 25,65%; $p \leq 0,05$) (рис. 4-Б) происходит за счет повышения миогенной реактивности микрососудов при экспериментально моделируемом увеличении потока крови.

К тому же у испытуемых с гиперемическим типом МЦ в результате мм терапии наблюдались статистически значимые изменения значений показателей фармакологической пробы: происходило увеличение РКК(АХ) на 35,54% ($p \leq 0,05$) относительно исходного уровня значений, разница по сравнению с РКК(НП) увеличилась на 12,73%; ФАЭ увеличился в среднем на 46,31% ($p \leq 0,05$) (рис. 2). Происходило и повышение Аэ(АХ) и $\Delta\text{Аэ(АХ/НП)}$ как в период собственно проведения ионофореза на 32,98% и 148,73% ($p \leq 0,05$) соответственно, так и в период восстановления, когда Аэ(АХ) увеличилась на 25,20% ($p \leq 0,05$). Причиной увеличенной реактивности микрососудистого эндотелия и стимулированной секреции НО может являться повышение “напряжения сдвига” на микрососуды, возникающего в связи с усилением миогенной активности у испытуемых данной группы при КВЧ-воздействии [16].

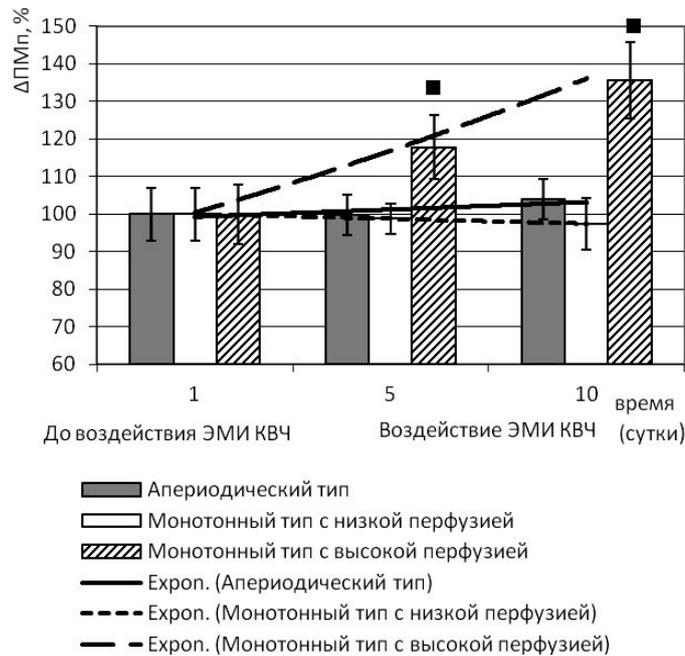


Рис. 5. Динамика изменения уровня перфузии ($\Delta\text{ПМп}$) под влиянием ЭМИ КВЧ при проведении постуральной пробы у испытуемых с различными типами ЛДФ-грамм (в % относительно исходных значений, принятых за 100%).
 Примечание: обозначения те же, что и на Рис. 2.

Следовательно, в механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляторные процессы у испытуемых с гиперемическим типом микрогемодинамики основную роль играют миогенный эндотелий-независимый механизм регуляции микроциркуляторных процессов, в пользу чего свидетельствует увеличение уровня реакции кожного кровотока при постуральной и окклюзионной пробах, сокращение периода полувосстановления и снижение амплитуд миогенных осцилляций при регистрации постокклюзионной реактивной гиперемии, что приводит к повышению миогенной активности микрососудов, а, следовательно, снижению артериального притока и облегчению венозного оттока крови.

В механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микрогемодинамику кожи человека основную роль играют эндотелий-зависимый, миогенный эндотелий-независимый и нейрогенный компоненты регуляции тканевого кровотока, однако их выраженность зависит от типологических особенностей микроциркуляторных процессов испытуемых. Наименее выраженные изменения изученных показателей в результате курсового воздействия ЭМИ КВЧ отмечены у испытуемых, имеющих наиболее сбалансированный нормоемический тип микроциркуляции (апериодическую ЛДФ-грамму), максимально выраженный вазотропный, однако разнонаправленный, эффект наблюдался у испытуемых с исходно выраженными отклонениями показателей микрогемодинамики, то есть, имеющих монотонные типы ЛДФ-граммы (гипо- и

гиперемический типы микроциркуляции). Обращает на себя внимание тот факт, что в результате курсового КВЧ-воздействия происходило постепенное сближение значений изученных показателей у волонтеров разных групп (рис. 1-Б).

При этом изменение величины физиологических реакций, направленность и механизмы их обеспечивающие на действие мм излучения у испытуемых с различными типами микроциркуляции были разными и зависели 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 [Wilder, 1967]. Как известно, основной действующей силой низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ является информационная составляющая данного фактора, которая запускает собственные системы регуляции нарушенного гомеостаза [37–39]. Следовательно, именно избирательное действие ЭМИ КВЧ преимущественно на измененные параметры без влияния на исходно нормальные и являлась его отличительной особенностью, связанной с механизмом действия.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что в результате курсового воздействия ЭМИ КВЧ произошла эффективная модуляция процессов МЦ, что выразилось в отсутствии статистически значимых межгрупповых различий и приближении значений изученных показателей у испытуемых с гипо- и гиперемическим типами микроциркуляции к таковым у испытуемых с нормоемическим типом микроциркуляции, как наиболее сбалансированному, что свидетельствует о гомеостатическом действии этого физического фактора.

ВЫВОДЫ

1. Для испытуемых с разными микроциркуляторными типами характерны определенные различия в механизмах регуляции тканевого кровотока: нормоемический тип характеризуется оптимальным уровнем взаимодействия эндотелий-зависимого, эндотелий-независимого и нейрогенного компонентов регуляции процессов микроциркуляции; гипоемический тип отличается повышенной активностью симпатических адренергических влияний, а гиперемический - сниженными влияниями миогенного эндотелий-независимого компонента.
2. В механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микрогемодинамику кожи человека основную роль играют эндотелий-зависимый, миогенный эндотелий-независимый и нейрогенный компоненты регуляции тканевого кровотока, однако их выраженность зависит от типологических особенностей микроциркуляторных процессов испытуемых. Наименее выраженные изменения изученных показателей в результате курсового воздействия ЭМИ КВЧ отмечены у испытуемых, имеющих наиболее сбалансированный нормоемический тип микроциркуляции (апериодическую ЛДФ-грамму), максимально выраженный вазотропный, однако разнонаправленный, эффект наблюдался у испытуемых с исходно выраженными отклонениями показателей микрогемодинамики, то есть, имеющих монотонные типы ЛДФ-граммы (гипо- и гиперемический типы микроциркуляции).

3. В механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляторные процессы у испытуемых с нормоемическим типом микроциркуляции основную роль играет эндотелий-зависимый компонент регуляции тканевого кровотока, на что указывает увеличение амплитуд эндотелиальных колебаний базального кровотока на 9,7% ($p \leq 0,05$) и стимулированной NO-синтазной активности (увеличение уровня реакции кожного кровотока на 19,34% ($p \leq 0,05$) при ионофоретическом введении ацетилхолина) в фармакологической пробе.
4. В механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляторные процессы у испытуемых с гипоемическим типом микрогемодинамики ведущую роль играет нейрогенный компонент тканевого кровотока, в пользу чего свидетельствует снижение нейрогенного тонуса на 30,4% ($p \leq 0,05$) и уровня реакции кожного кровотока на 42,92% ($p \leq 0,05$) в дыхательной пробе, что приводит к снижению тонических симпатических адренергических влияний и физической рефлекторной активности нейрогенного компонента, релаксации прекапилляров и увеличению артериального притока крови в микрососуды.
5. В механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляторные процессы у испытуемых с гиперемическим типом микрогемодинамики основную роль играют миогенный эндотелий-независимый механизм регуляции микроциркуляторных процессов, в пользу чего свидетельствует увеличение уровня реакции кожного кровотока при постуральной (на 20,68%; $p \leq 0,05$) и окклюзионной (на 27,9%; $p \leq 0,05$) пробах, сокращение периода полувосстановления (на 25,65%; $p \leq 0,05$) и снижение амплитуд миогенных осцилляций (17,76%; $p \leq 0,05$) при регистрации постокклюзионной реактивной гиперемии, что приводит к повышению миогенной активности микрососудов, а, следовательно, снижению артериального притока и облегчению венозного оттока крови.
6. ЭМИ КВЧ обладает избирательным действием на показатели микроциркуляции, оказывая влияние преимущественно на исходно измененные без влияния на исходно нормальные, что приводит 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 гомеостатическом действии этого физического фактора.

Список литературы

1. A Manual of Acarology/ [edited by G.W.Krantz, D.E.Walter]. – Texas Tech University Press, 2009. – 595 p.
2. Трибрат Н.С. Модуляция микроциркуляторных процессов с помощью низкоинтенсивного миллиметрового излучения: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 03.00.13 / Трибрат Наталья Сергеевна. – Симферополь, 2010 г. – 198 с.
3. 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.
4. Skin temperature changes induced by strong static magnetic field exposure / S. Ichioka, M. Minegishi, M. Iwasaka [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2003. – №24. – P. 380–386.

5. Jauchem JR. Exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields and radiofrequency radiation: cardiovascular effects in humans / JR. Jauchem // *Int. Arch. Occup. Environ. Health.* – 1997. – №70(1). – P. 9–21.
6. Чуян Е.Н. Индивидуально-типологические особенности процессов микроциркуляции: влияние низкоинтенсивного миллиметрового излучения / Е.Н. Чуян, М.Н. Ананченко // *Учёные записки Таврического Национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия».* – 2009. – Том 22 (61). – № 4. – С. 236–254.
7. Залмаев Б.Е. Методологические аспекты изучения микроциркуляторного русла крови у спортсменов / Б.Е. Залмаев, Т.М. Соболева // *Труды ученых ГЦОЛИФКа: 75 лет: Ежегодник.* – М. – 1993. – С. 280–292.
8. Козлов В.И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии: пособие для врачей / Козлов В.И. – М., 2001. – 22 с.
9. Поленов С.А. Основы микроциркуляции / С.А. Поленов // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция.* – 2008. – №1(25). – С. 5–19.
10. Чернух А.М. Микроциркуляция / Чернух А.М., Александров П.Н., Алексеев О.В. // М.: Медицина. – 1984. – 456 с.
11. Куприянов В.В. Микроциркуляторное русло / Куприянов В.В., Караганов Я.Л., Козлов В.И. // М.: Медицина. – 1975. – 213 с.
12. Лукьянов В.Ф. Состояние вазомоторики и реактивность микроциркуляторных сосудов при гипертонической болезни / В.Ф. Лукьянов // *Применение лазерной доплеровской флоуметрии в медицинской практике.* – 1996. – № 5. – С. 24.
13. Чуян Е.Н. Индивидуально-типологический подход к исследованию процессов микроциркуляции крови / Е.Н. Чуян, М.Н. Ананченко // *Учёные записки Таврического Национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия».* – 2009. – Том 22 (61). – №3. – С. 166–180.
14. Мачерет Е.Л. Руководство по рефлексотерапии / Е.Л. Мачерет, И.З. Самосюк // Киев: Вища шк., 1982. – 302 с.
15. Mück-Weymann M.E. Respiration dependence of cutaneous laser Doppler flow motion / M.E. Mück-Weymann, H.P. Albrecht, D. Hiller // *Vasa.* – 1994. – V. 23, № 4. – P. 229–304.
16. Азизов Г.А. Функциональные пробы в оценке нарушений микроциркуляции в оценке заболеваний сосудов нижних конечностей / Г.А. Азизов // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция.* – 2006. – Т. 5. – С. 37–43.
17. Крупаткин А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров // М.: Медицина, 2005. – 254 с.
18. 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.
19. Fromy V. Early decrease of skin blood flow in response to locally applied pressure in diabetic subjects / V. Fromy, P. Abraham, C. Bouvet // *Diabetes.* – 2002. – V. 51. – P. 1214–1217.
20. Вильчук К.У. Функциональные пробы, применяемые в диагностике дисфункции эндотелия: метод рекомендации / Вильчук К.У., Максимович Н.А., Максимович Н.Е. // Гродно. – 2001. – 33 с.
21. Гомазков О.А. Эндотелин в кардиологии: молекулярные, физиологические и патологические аспекты / О.А. Гомазков // *Кардиология.* – 2000. – № 2. – С.50–58.
22. Внутриклеточные сигнальные системы в эпителий- и эндотелийзависимых процессах расслабления гладких мышц / Л.В. Капилевич, И.В. Ковалев, М.Б. Баскаков [и др.] // *Успехи физиол. наук.* – 2001. – Т. 32, № 2. – С. 88–98.
23. Затейщиков Д.А. Функциональное состояние эндотелия у больных артериальной гипертензией и ишемической болезнью сердца / Д.А. Затейщиков, Л.О. Минушкина, О.Ю. Кудряшова // *Кардиология.* – 2000. – Т. 40, № 2. – С. 14–17.
24. Oscillations in the human cutaneous blood perfusion signal modified by endothelium-dependent and endothelium-independent vasodilators / H.D. Kvernmo, A. Stefanovska, K.A. Kirkeboen [et al.] // *Microvascular Research.* – 1999. – V.57. – P. 298–309.
25. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system. / A. Stefanovska, M. Bracic // *Contemporary Physics.* – 1999. – V. 40, № 1. – P.31–35.
26. Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере / Боровиков В.П. // Для профессионалов. – СПб.: Питер. – 2001. – 656 с.

27. Лакин Г.Ф. Биометрия / Лакин Г.Ф. // М.: Высшая школа. - 1990. - 352 с.
28. Сагач В.Ф. О механизмах вовлечения эндотелия в реакцию реактивной гиперемии / В.Ф. Сагач, М.Н. Ткаченко // Бюлл.эксперим. биологии и медицины. - 1990. - Т.109. - №5. - С.420 - 422.
29. Власов Т.Д. Механизмы гуморальной регуляции сосудистого тонуса // Т.Д. Власов // Региональное кровообращение и микроциркуляция. - 2002.- № 4. - С.68-73.
30. Влияние нитропрусида натрия на мембранный потенциал и механическое напряжение гладкомышечных клеток аорты крысы / И.В. Ковалев, А.А. Панов, М.Б. Баскаков [и др.] // Рос. физиол. журн. им. М.И. Сеченова. - 1997. - Т.83, № 7. - С. 70-76.
31. Ешкина С.Л. Особенности локальной микроциркуляции у больных ишемической болезнью сердца с различными типами акцентуаций характера: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. мед. наук: 14.00.34 / С.Л. Ешкина // Тверь - 2009. - 23 с.
32. Березовський В.Я. Реактивна гіперемія як показник якості функціонування ендотелію / В.Я. Березовський, О.Б. Динник, І.Г. Літовка // Медична гідрологія та реабілітація. - 2006. - Т. 4, № 1. - С. 4-14.
33. Боголюбов В.М. Общая физиотерапия / В.М. Боголюбов, Г.Н. Пономаренко - М. - С-Пб.: Правда. - 1996. - 480 с.
34. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandins / P. Kvandal, A. Stefanovska, M. Veber [et al.] // Microvascular Research. - 2003. - Vol.65. - P. 160-171.
35. 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.
36. Крупаткин А.И. Клиническая нейроангиофизиология конечностей (периваскулярная иннервация и нервная трофика) / А.И. Крупаткин - М.: Научный мир, 2003 - 328 с.
37. Крупаткин А.И. Влияние симпатической иннервации на тонус микрососудов и колебания кровотока кожи / А. И. Крупаткин // Физиология человека. - 2006. - Т. 32, № 5. - С. 95.
38. 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.
39. 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.
40. 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.

Ананченко М.М. Шкірна мікроциркуляція в умовах функціонального навантаження у випробовуваних з різними типологічними особливостями під впливом низькоінтенсивного міліметрового випромінювання / М.М. Ананченко, О.М. Чуян // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. - 2011. - Т. 24 (63), № 2. - С. 30-49.

Методом лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ) виявлені певні відмінності у механізмах регуляції тканинного кровотоку в умовно здорових дівчат з різними мікроциркуляторними типами у віці 18-23 років. Показано, що у механізмах дії низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання край високої частоти (ЕМВ КВЧ), або міліметрового (мм) діапазону на мікрогемодинаміку шкіри людини основну роль відіграють ендотелій-залежний, міогенний ендотелій-незалежний й нейрогенний компоненти регулювання тканинного кровотоку, проте їх виразність залежить від типологічних особливостей мікроциркуляторних процесів випробовуваних. До того ж, курсовий вплив ЕМВ КВЧ призводить до нівелизації міжгрупових відмінностей та наближення значень показників функціональних проб у випробовуваних з гіпо- і гіперемічними типами до найбільш збалансованого у функціональному відношенні нормоемічного, що свідчить про його гомеостатичну дію.

Ключові слова: низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання міліметрового діапазону, мікроциркуляція крові, метод лазерної доплерівської флоуметрії, функціональні проби, нормо-, гіпо-, гиперемічний типи мікроциркуляції.

Ananchenko M.N. Skin microcirculation in the functional load of the subjects with different typological characteristics under the influence of low intensity millimeter radiation / M.N. Ananchenko, E.N. Chuyan // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2011. – Vol. 24 (63), No 2. – P. 30-49.

The method of laser doppler flowmetry (LDF) revealed certain differences in the mechanisms of regulation of tissue blood flow in apparently healthy female aged 18 to 23 years, with different микроциркуляторними types. It is shown, that in the mechanisms of the action of low-intensity electromagnetic radiation of extremely high-frequency (EMR EHF), or millimeter range (mm) leads on microblood circulation human skin play the main role endothelium-dependent, myogenic endothelium-independent and neurogenic components of the regulation of tissue blood flow, but their expression depends on the typological peculiarities of the microcirculation processes subjects. Thus, course impact of EMR EHF leads to leveling of intergroup differences and approximation values of the functional tests in subjects with hypo- and hyperemic types to the most balanced in the functional relation normoemical, that testifies to its homeostatic action.

Keywords: low-intensity electromagnetic radiation of millimeter range, the microcirculation of the blood, the method of laser Doppler flowmetry, functional tests, hypoemical, hyperemic, normoemical types of microcirculation.

Поступила в редакцію 14.05.2011 г.