

Оригинальные статьи

ЧУЯН Е. Н., АНАНЧЕНКО М. Н.,

Трибрат Н. С.

Индивидуально-типологические реакции

микроциркуляторных процессов на электромагнитное

излучение миллиметрового диапазона

Кафедра физиологии человека и животных и биофизики Таврического национального университета им. В. И. Вернадского, г. Симферополь, Украина

elena-chuyan@rambler.ru

Реферат

Методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) изучены индивидуально-типологические реакции микроциркуляторных процессов на низкоинтенсивное электромагнитное излучение крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) или миллиметрового (мм) диапазона. Показано, что низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ оказывает эффективное корректирующее дифференцированное влияние на показатели периферической микрогемодинамики, 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, нормоемический, гипо-, гиперемический типы микроциркуляции.

Chuyan E. N., Ananchenko M. N., Tribirat N. S.

Individually-typological reactions of microcirculation processes on electromagnetic radiation of a millimetric range

Tavrida National V.I. Vernadsky University, Simferopol, Ukraine

elena-chuyan@rambler.ru

Abstract

By a laser Doppler flowmetry (LDF) is studied individually-typological reactions of microblood circulation processes of lowintensity of electromagnetic radiation of extremely high-frequency, or millimetric range. 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 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 with low perfusion and high perfusion to the most balanced in the functional relation of normoemical type that testifies about it homeostatic action.

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

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. Известно, что в микроциркуляторном русле, помимо обеспечения транскапиллярного обмена, реализуется и его реакция на воздействие факторов внешней и внутренней среды, однако отклик системы микроциркуляции на действие этих факторов и корректирующих мероприятий различной природы

и интенсивности, в том числе и электромагнитной, может быть различным [7, 9].

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что электромагнитные излучения (ЭМИ) различных диапазонов обладают выраженной биологической активностью, в частности, оказывают воздействие на тонус сосудов, влекущее изменения процессов микроциркуляции, однако сведения, представленные в литературе по этому вопросу, весьма немногочисленны и крайне противоречивы [18, 21, 25]. Такая неоднозначность ответа со стороны тканевого кровотока, возможно, обусловлена раз-

личным исходным состоянием функционирования микроциркуляторного русла, которое в проводимых исследованиях чаще всего не учитывается.

Цель исследования

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 исследования

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 семиканальном аппарате «РАМЕД. ЭКСПЕРТ – 04» ($\lambda=7,1$ мм, частота излучения — 42,4 ГГц, плотность потока мощности — 0,5 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). Воздействие осуществлялось в течение 30-ти минут на области биологически активных точек, а именно: G — П15 правого плечевого сустава, на симметричные E — 34, RP — 6 и GI — 4. Выбор этих точек обусловлен их рефлексогенным общеукрепляющим и стимулирующим действием на организм [10].

В целях исследования микроциркуляции крови использовался метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), позволяющий оценивать индивидуальную изменчивость кровотока и механизмы его регуляции. ЛДФ осуществляли лазерным анализатором кровотока «ЛАКК – 02» (производство НПП «Лазма», Россия) с двумя источниками лазерного излучения (длина 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, т. е. артериолы, терминальные артериолы, капилляры, посткапиллярные вены, вены и артериоло-венулярные анастомозы [16].

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.

ЧУЯН Е. Н., АНАНЧЕНКО М. Н., ТРИБРАТ Н. С.

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. Среднее квадратическое отклонение (флакс, СКО, σ ; перф. ед.) средние колебания перфузии относительно среднего значения ПМ, характеризующие временную изменчивость перфузии, а также отражающие среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах [7, 9]. Коэффициент вариации (K_v , %) характеризует соотношение между изменчивостью перфузии (флаксом) и средней перфузией (ПМ) в зондируемом участке тканей и вычисляется по формуле [7]: $K_v = \text{СКО} / \text{ПМ} \cdot 100 \%$.

Расчетные параметры ПМ, СКО и K_v 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 [7]. Наиболее точным и корректным является вейвлет-преобразование ЛДФ-грамм, так как 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 (0,0095–0,02 Гц), нейрогенного (0,02–0,046 Гц), миогенного (0,07–0,15 Гц), дыхательного (0,15–0,4 Гц) и пульсового (0,8–1,6 Гц) компонентов. Эндотелиальный, миогенный и нейрогенный компоненты являются активными факторами контроля микроциркуляции, непосредственно воздействующими на систему микроциркуляции, регулируемыми просвет и тонус сосудов, модулируя, таким образом, поток крови со стороны сосудистой стенки и реализуясь через ее мышечный компонент. Дыхательный и пульсовый компоненты относятся к пассивным факторам, вызывающим колебания кровотока вне системы микроциркуляции, которые обеспечиваются пульсовой волной со стороны артерий и присасывающим действием «дыхательного насоса» со стороны вен [7, 9].

Ввиду значительных колебаний амплитуд ритмов (A) их нормированные характеристики анализировались по формуле [7]: $A_{\text{норм}} = A / 3\sigma$, 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 (P) в процентном отношении к общему спектру флаксмоций [6]: $P = A\alpha (n, m, d, c)^2 / (A\alpha^2 + A_n^2 + A_m^2 + A_d^2 + A_c^2) \cdot 100 \%$, где $A\alpha$ — амплитуды эндотелиальных; A_n — нейрогенных; A_m — миогенных; A_d — дыхательных; A_c — пульсовых ритмов колебаний тканевого кровотока.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

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 [6, 7]. 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. [7].

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 [7]: $HT = (\sigma \cdot P_{cp}) / (A_n \cdot PM)$, где σ — среднее квадратическое отклонение показателя микроциркуляции; P_{cp} — среднее артериальное давление; A_n — наибольшее значение амплитуды колебаний перфузии в нейрогенном диапазоне; PM — среднее арифметическое значение показателя микроциркуляции. Миогенный тонус (MT) метартериол и прекапиллярных сфинктеров определяется по формуле [7]: $MT = (\sigma \cdot P_{cp}) / (A_m \cdot PM)$. 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 [7].

Соотношение активных модуляций кожного кровотока, обусловленных эндотелиальным, миогенным, нейрогенным механизмами, и дополнительных парасимпатических влияний на него рассчитывалось как индекс флаксмоций, или индекс эффективности микроциркуляции (ИЭМ) [7]:

$$ИЭМ = (A_z + A_n + A_m) / (A_d + A_c).$$

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) [3]. 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 [3].

Результаты исследования и их обсуждение

ЛДФ-метрия у испытуемых выявила определенные индивидуально-типологические отличия показателей микроциркуляции, отражающие вегетативный статус испытуемых, на основе которого было выделено три типа ЛДФ-грамм [14]. Первый тип — аперiodический (36,8 % испытуемых) соответствует нормоемическому типу микроциркуляции, характеризуется полноценным притоком крови в капиллярное русло и своевременным оттоком периферической крови, что свидетельствует о высокой сбалансированности активных и пассивных регуляторных механизмов; второй — монотонный с низкой перфузией (31,6 % испытуемых) соответствует гипоемическому типу и характеризуется преобладанием симпатических нейрогенных влияний, что свидетельствует о слабом притоке крови в микроциркуляторное русло за счет спазма приносящих сосудов и меньшей, по сравнению с аперiodическим типом, сбалансированностью активных и пассивных регуляторных механизмов; третий тип ЛДФ-грамм — монотонный с высокой перфузией (31,6 % испытуемых) соответствует гиперемическому типу микроциркуляции и характеризуется угнетением вазомоторного механизма, следствием чего является повышенный приток крови со стороны артериол и затрудненный отток со стороны венул [14]. Полученные данные об индивидуально-типологических особенностях микроциркуляторных процессов согласуются с литературными [7–9, 13].

Как показали результаты настоящего исследования, у испытуемых всех трех групп реакция на действие ЭМИ КВЧ была неодинакова. Наименее выраженные изменения показателей микроциркуляции были выявлены у испытуемых первой группы с аперiodическим типом ЛДФ-граммы (табл. 1).

Наблюдаемый рост амплитудных значений эндотелиального компонента свидетельствует об увеличении секреции в кровь вазоактивных субстанций, что способствует возрастанию транспортной функции крови и обменных процессов [19, 23]. 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. Можно предположить, что 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 распределении потока крови [7].

Увеличение амплитуд нейрогенного компонента, наряду с понижением его тонуса, отражает снижение активности симпатической нервной системы на микрососуды и, следовательно, увеличение вазоди-

Таблица 1

Показатель	Тип 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 НТ	↑ (+26 %)	↑ (+54,7 %)	↓ (-17,8 %)
	↑ (+17,3 %)	↑ (+33,8 %)	↑ (+10,8 %)
	↓ (-17 %)	↓ (-30,4 %)	↑ (+19,6 %)
Ам-вклад МТ	↑ (+11,5 %)	↑ (+31,6 %)	↓ (-32,6 %)
	↑ (+3,8 %)	↓ (-3,5 %)	↓ (-26,7 %)
	↓ (-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 %)

↑ ↓ — 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 даны в тексте.

латации на путях притока крови в систему микроциркуляции [17]. Таким образом, у испытуемых с апериодическим типом ЛДФ-граммы, в результате КВЧ-воздействия произошла активация эндотелиального компонента, а также снижение симпатических влияний нейрогенного компонента регуляции микрокровоотока, что привело к повышению ИЭМ на 12,7% ($p \leq 0,05$) относительно значений в контрольной группе испытуемых.

Максимально выраженное влияние КВЧ-терапии на состояние микроциркуляции наблюдалось у испытуемых второй и третьей групп с исходно выраженными отклонениями показателей микрогемодинамики, т. е. имеющих монотонный тип ЛДФ-граммы, причем динамика этих показателей была разнонаправленной (табл. 1).

Так, 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 пре-

капиллярных гладкомышечных клеток, являющегося последним звеном контроля микрокровоотока 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 [9, 17]. Следствием этого является возрастание количества функционирующих капилляров и увеличение их диаметра (за счет адекватного кровенаполнения), обуславливающие благоприятное повышение притока крови в микроциркуляторное русло [11].

О модуляции мышечного тонуса под влиянием миллиметрового излучения также свидетельствует повышение амплитуды эндотелиальных колебаний, которое приводит к увеличению секреции NO, вызывающего вазодилатацию микрососудов [7]. Уменьшение спастических явлений вследствие снижения сосудистого тонуса артериол, вероятно, способствовало увеличению притока артериальной крови, привносящей пульсовую волну, что проявилось в возрастании сердечного ритма в микроциркуляторном

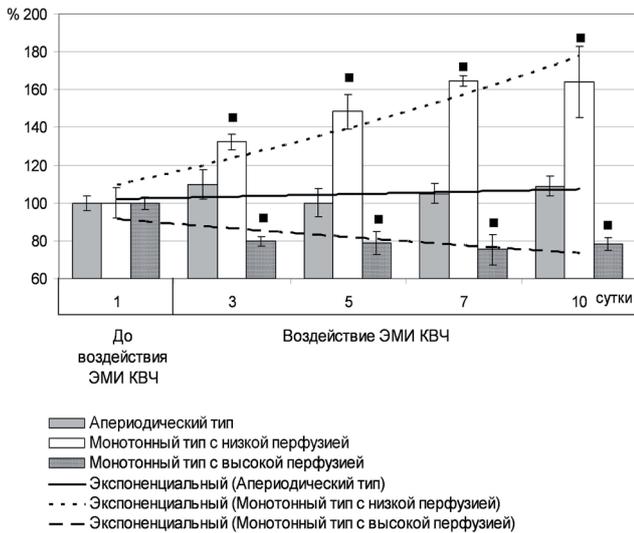


Рис. 1. Динамика показателя перфузии у испытуемых с различными типами микроциркуляции под влиянием ЭМИ КВЧ (в % относительно контрольных значений, принятых за 100 %)

русле и повышении амплитуд пульсовых волн [13, 15]. Повышение амплитуд осцилляций дыхательной волны указывает на снижение венозного сопротивления периферических сосудов [17]. 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 (рис. 1). Также в результате КВЧ-воздействия произошло увеличение СКО, что свидетельствует о повышении активности колебательных процессов микроциркуляторного русла [7, 9], которое может происходить при нарастающем влиянии не только активных механизмов, но и при увеличении пассивных модуляций тканевого кровотока [11], что и произошло в данном случае. Снижение Кв у испытуемых данной группы, очевидно, является следствием изменения ПМ и СКО, так как Кв отражает соотношение между изменчивостью перфузии (СКО) и ее средним значением ПМ [7, 9].

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 повышении 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. 1).

У испытуемых третьей группы с монотонным типом ЛДФ-граммы и высокой перфузией в результате КВЧ-терапии перераспределение гемодинамических осцилляций происходило иначе (таблица 1, рис. 1).

Вероятно, в данном случае зарегистрировано избирательное действие ЭМИ КВЧ на измененные параметры системы, проявляющееся в снижении амплитуд эндотелиального компонента и, соответственно, меньшей секрецией вазодилатора NO; нейрогенного компонента, наряду с повышением его тонуса, а следовательно, активации симпатических влияний, способствующих увеличению вазоконстрикции артериол [7]. 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 [15, 20, 24]. Увеличение СКО и Кв также подтверждает повышение влияний на кровоток активных механизмов регуляции, происходящих за счет увеличения спазма сосудов при нарастающей вазомоторной активности [7, 9, 16]. 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 (рис. 1). Известно, что повышение исходно сниженного тонуса венул, о чем свидетельствует снижение амплитуд дыхательной волны, приводит к сокращению их диаметра, компрессии и выдавливанию содержимого периферических емкостных венул, вследствие чего, происходит перераспределение объема крови и облегчение венозного оттока [8, 11].

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 (таблица 1). Следовательно, наблюдаемые изменения обусловлены нормализацией симпато-вагусного баланса путем увеличения симпатической активности у испытуемых с исходно сниженными симпатическими влияниями на микрососудистый тонус.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что под влиянием ЭМИ КВЧ-терапии произошла эффективная модуляция гемодинамических осцилляций тканевого кровотока, что выразилось в отсутствии статистически значимых межгрупповых различий и приближении значений показателей у испытуемых с гипо- и гиперемическим типами микроциркуляции к функциональному состоянию испытуемых с нормоемическим типом микроциркуляции как наиболее сбалансированному (рис. 2), 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

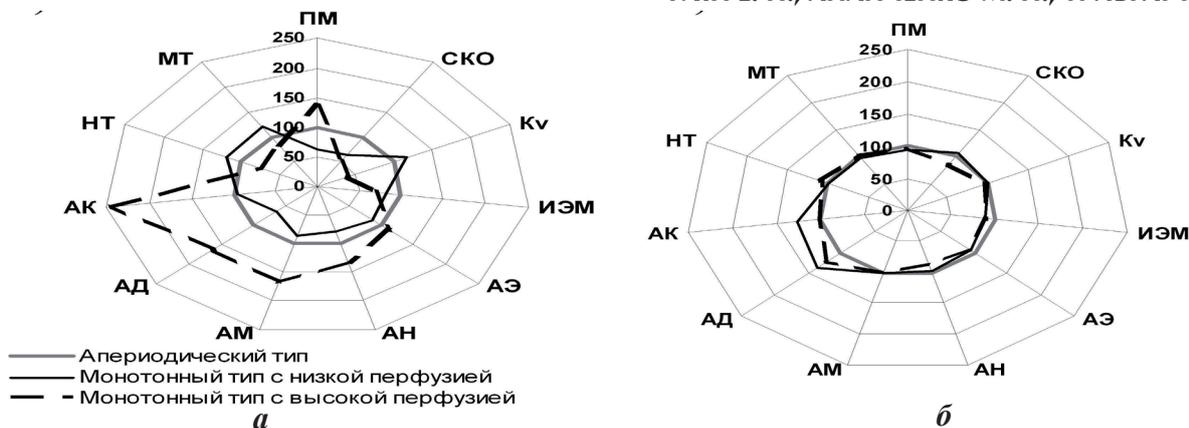


Рис. 2. Изменения показателей микроциркуляции у испытуемых с разными типами ЛДФ-грамм до (а) и после (б) курсового КВЧ-воздействия

без влияния на исходно нормальные и является его отличительной особенностью, связанной с механизмом действия.

Исходя из литературных данных [1, 22], механизм действия ЭМИ КВЧ на систему микроциркуляции представляется следующим. Практически все ЭМИ КВЧ поглощается в кожных покровах на глубине до 1 мм [2, 4, 12]. Поэтому именно элементы кожи рассматриваются в качестве основных мишеней для миллиметровых волн, а кожа выполняет функцию распределенного рецептора излучения. Под непосредственное действие излучения попадают периферические кровеносные и лимфатические сосуды, клетки иммунной системы (кожное депо Т-лимфоцитов), диффузной нейроэндокринной системы (ДНЭС, APUD-система), разнообразные рецепторы (механорецепторы, ноцицепторы и т. д.), нервные окончания, периферические нервы, а также биологически активные точки [2, 4].

Элементами APUD-системы являются, в частности, тучные клетки кожи, дегрануляция которых наступает под действием ЭМИ КВЧ [2, 4, 12], при этом происходит усиление выброса секрета (гистамина, протеаз, серотонина, гепарина), оказывающих действие и на многочисленные нервные окончания, что, по-видимому, является одним из механизмов в каскаде событий, ведущих к системному ответу всего организма на воздействие низкоинтенсивного ЭМИ. Кроме того, многие исследователи делают вывод о том, что интенсивности ЭМИ КВЧ, используемые в терапии, достаточны для активации рецепторов

(механо-, термо- и болевых рецепторов) и других нервных окончаний и периферических волокон, расположенных в коже. После первичной рецепции сигнал из периферических нервных окончаний и волокон поступает в ЦНС, что может быть причиной рефлекторного изменения тонуса кровеносных сосудов [22].

Таким образом, процесс восприятия ЭМИ КВЧ организмом, видимо, носит системный характер и может включать реакции со стороны нервной, иммунной, эндокринной систем организма с изменением содержания или синтеза биологически активных веществ (гормонов, цитокинов, нейромедиаторов), что играет существенную роль в механизмах регуляции процессов микроциркуляции крови.

Заключение

Таким образом, выявлено, что 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. 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.

1. Бецкий, О. В. Миллиметровые волны и живые системы / О. В. Бецкий, В. В. Кислов, Н. Н. Лебедева. — М. : САЙНС-ПРЕСС, 2004. — 107с.
2. Бецкий, О. В. Кожа и электромагнитные волны / О. В. Бецкий, Ю. Г. Яременко // Миллиметровые волны в биологии и медицине. — 1998. — № 1 (11). — С. 3–14.
3. Боровиков, В. П. STATISTICA : искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. П. Боровиков. — СПб. : Питер, 2001. — 656 с.
4. Воронков, В. Н. Морфологические изменения в коже при действии КВЧ ЭМИ / В. Н. Воронков, Е. П. Хижняк // Сб. докл. междунар. симп. «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине». — М. : ИРЭ АН СССР, 1991. — С. 635–638.
5. 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.
6. Козлов, В. И. Индивидуально-типологические особенности микроциркуляции у человека / В. И. Козлов [и др.] // Official Journal of the International Academy of Integrative Anthropology. Biomedical and Biosocial Anthropology. — 2007. — № 9. — С. 249.
7. Крупаткин, А. И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров. — М. : Медицина, 2005. — 254 с.
8. 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.
9. Маколкин, В. И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии : пособие для врачей / В. И. Маколкин, В. В. Бранько, Э. А. Богданова. — М. : Россельхозакадемия, 1999. — 48 с.
10. Мачерет, Е. Л. Руководство по рефлексотерапии / Е. Л. Мачерет, И. З. Самосюк. — Киев : Вища школа, 1982. — 302 с.
11. Силантьева, Е. С. Лечение хронического воспаления придатков матки (гемодинамические аспекты КВЧ-терапии) : дис. ... канд. мед. наук / Е. С. Силантьева. — М., 2000. — 128 с.
12. Хижняк, Е. П. О роли пространственного распределения поглощения ЭМИ в формировании биоэффектов при КВЧ-облучении / Е. П. Хижняк [и др.] // Сб. докл. междунар. симп. «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине». Т. 3. — М. : ИРЭ АН СССР, 1991. — С. 630–635.
13. 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.
14. Чуян, Е. Н. Индивидуально-типологический подход к исследованию процессов микроциркуляции крови / Е. Н. Чуян, М. Н. Ананченко // Ученые записки Таврич. нац. ун-та им. В. И. Вернадского. Серия : «Биология, химия». — 2009. — Т. 22 (61). — № 2. — С. 160–188.
15. 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.
16. Fagrell, B. Microcirculation : its significance in clinical and molecular medicine / B. Fargel, M. Inraglietta // J. Intern. Medicine. — 1997. — Vol. 241. — № 5. — P. 349–362.
17. Ichioka, S. High-intensity static magnetic fields modulate skin microcirculation and temperature in vivo / S. Ichioka [et al] // Bioelectromagnetics. — 2000. — № 21(3). — P. 183–188.
18. 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.
19. Kvandal, P. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, iontophoresis, and spectral analysis : importance of nitric oxide and prostanglazines / P. Kvandal [et al] // Microvascular Research. — 2003. — Vol. 65. — P. 160–171.
20. Mack-Weymann, M. E. Respiration-dependence of cutaneous laser Doppler flow motion / M. E. Mack-Weymann [et al] // Vasa. — 1994. — Vol. 23. — № 4. — P. 299–304.
21. 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.
22. Pakhomov, A. G. Search for frequency-specific effects of millimeter-wave radiation on isolated nerve function / A. G. Pakhomov [et al] // Bioelectromagnetics. — 1997. — Vol. 18. — P. 324–334.
23. Stefanovska, A. Physics of the human cardiovascular system / A. Stefanovska, M. Bracic // Contemporary Physics. — 1999. — Vol. 40. — № 1. — P. 31–35.
24. Thadhani, R. Pressure and risk of preeclampsia : a prospective study / R. Thadhani [et al] // Obstet. Gynecol. — 2001. — Vol. 97. — № 4. — P. 515–520.
25. 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.