

УДК 612.135:528.811+537-96

ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА И ИХ РОЛЬ В МОДУЛЯЦИИ ТКАНЕВОГО КРОВОТОКА НИЗКОИНТЕНСИВНЫМ МИЛЛИМЕТРОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

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 выявлены типологические различия показателей микроциркуляции испытуемых, на основе которых выделены аperiodический тип ЛДФ-грамм, монотонный с низкой и высокой перфузией. Показано, что низкоинтенсивное мм излучение оказывает эффективное корректирующее дифференцированное влияние на показатели периферической микрогемодинамики, вызывая компенсаторно-приспособительные реакции у испытуемых с разными типологическими особенностями микроциркуляторных процессов. При этом низкоинтенсивное мм излучение привело к нивелированию межгрупповых различий и приближению значений показателей микроциркуляции у испытуемых с монотонными типами микроциркуляции к наиболее сбалансированному в функциональном отношении аperiodическому, 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

Одной из актуальных проблем современной физиологии является исследование микроциркуляции крови. Известно, что в микроциркуляторном русле, помимо обеспечения транскапиллярного обмена, реализуется и его реакция на воздействие факторов внешней и внутренней среды, в том числе электромагнитной природы [1, 2]. Среди электромагнитных факторов низкой интенсивности в настоящее время широко исследуются биологические эффекты низкоинтенсивного ЭМИ миллиметрового (мм), или крайневыхочастотного (КВЧ), диапазона. Вместе с тем, сведения, представленные в литературе по влиянию ЭМИ на процессы микроциркуляции весьма немногочисленны и крайне противоречивы даже при условии совпадения используемых методов воздействия, регистрируемых параметров и схем проведения исследований, что, возможно, обусловлено различным исходным состоянием микроциркуляторного русла, которое в проводимых исследованиях чаще всего не учитывается.

В связи с этим целью нашей работы явилось выявление типологических особенностей микроциркуляции кожи человека и их роли в модуляции тканевого кровотока низкоинтенсивным миллиметровым излучением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на 89 студентах-волонтерах женского пола в межменструальном периоде без патологии сердечно-сосудистой системы в возрасте 18-23 лет, давших добровольное согласие на проведение исследований.

Проведены две экспериментальные серии. *В первой серии экспериментов* с помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), позволяющего не только оценить общий уровень периферической перфузии, но и выявить особенности состояния и регуляции кровотока в микроциркуляторном русле [3], проводилось исследование исходной кожной микроциркуляции испытуемых.

ЛДФ-метрию осуществляли лазерным анализатором кровотока «ЛАКК-02» (производство НПП «Лазма», Россия) с источником лазерного излучения, работающим на длине волны 0,8 мкм. Головка оптического зонда фиксировалась на волярной поверхности 2-го пальца правой руки. Эта зона наиболее богатая вегетативными и сенсорными нервными волокнами, поэтому служит лучшим объектом для исследования нейрогенной регуляции сосудов [3]. Все исследования проводились в утреннее время суток в условиях физического и психического покоя после предварительной адаптации испытуемых к температуре помещения 23⁰С в положении лежа на спине.

В качестве параметров, анализируемых при измерении тканевого кровотока методом ЛДФ, рассматривали неосцилляторные показатели базального кровотока: показатель перфузии (ПМ, перф.ед.), среднее квадратичное отклонение (СКО, перф.ед.), коэффициент вариации (Кв, %) [3, 4].

Это позволило выделить три типа ЛДФ-грамм: аperiодический, монотонный с низкой и высокой перфузией, в соответствии с которыми испытуемые были разделены на три группы (n=33, n=29, n=27 соответственно).

У испытуемых выделенных групп с помощью вейвлет-анализа определяли амплитуды колебаний кровотока разных частотных диапазонов: эндотелиального (Аэ), нейрогенного (Ан), миогенного (Ам) ритма, являющихся активными составляющими регуляции микрокровотока, непосредственно воздействующими на систему микроциркуляции, а также дыхательного (Ад) и пульсового (Ас) ритмов, являющихся пассивными факторами регуляции, действующими вне системы микроциркуляции [5]. Также рассчитывался индекс эффективности микроциркуляции (ИЭМ) [3], оценивался нейрогенный (НТ) и миогенный тонусы (МТ) микрососудов [4]. Расчетными методами определяли общий объемный кровоток (ООК, перф.ед./мм рт.ст.), объемный нутритивный кровоток (ОНК, перф.ед./мм рт.ст.), объемный шунтовой кровоток (ОШК, перф.ед./мм рт.ст.) [6].

Для оценки состояния механизмов регуляции тканевого кровотока, а также общего функционального состояния микроциркуляторного русла применяли функциональные пробы, представляющие искусственно вызванную нагрузку на сосуды: дыхательная, постуральная, окклюзионная и фармакологическая. При дыхательной пробе оценивались исходный НТ в покое и относительная величине снижения ПМ (ΔПМд), позволяющие определять рефлекторную активность симпатических волокон. При постуральной пробе использовался показатель ΔПМп, отражающий активность миогенных механизмов и реактивность

венулоартериолярных реакций. При окклюзионной пробе определяли резерв кожного кровотока (РККо, %), период полувосстановления кровотока после окклюзии ($T_{1/2}$, с), $A_э$ и A_m , позволяющие судить о функциональных резервах капиллярного русла и реактивности гладкомышечных клеток прекапиллярного звена. Проведение фармакологической пробы реализовывалось с помощью блока для организации функциональных проб «ЛАКК-ТЕСТ» (Россия, «Лазма») с использованием ионофоретического пробника. При поочередном введении АХ и НП оценивалась реакция кожного кровотока (РКК), функциональная активность эндотелия (ФАЭ) и амплитуда эндотелиальных колебаний ($A_э$) [3, 4].

Методики определения параметров микроциркуляции в состоянии покоя и при функциональных пробах подробно описаны в наших предыдущих статьях [7–9].

Во второй серии экспериментов каждая из трех групп испытуемых была разделена на контрольную и экспериментальную. Испытуемые экспериментальной группы ($n=59$) подвергались действию низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ, а волонтеры контрольной ($n=30$) – ложному воздействию данного физического фактора (плацебо).

Воздействие ЭМИ КВЧ осуществлялось на протяжении 10-ти дней, ежедневно, в утреннее время суток на 7-миканальном аппарате «РАМЕД. ЭКСПЕРТ-04» (длина волны – 7,1 мм, плотность потока мощности – $0,1 \text{ мВт/см}^2$) с экспозицией 30 минут на биологически активные симметричные точки Е-34, РР-6 и GI-4 и GI-15 правого плечевого сустава, которые являются общеукрепляющими, их стимуляция регулирует работу сердечно-сосудистой, центральной и вегетативной нервных систем [10].

ЛДФ-исследование проводили до (контрольное измерение), а также на 3, 5, 7, 10-е сутки эксперимента сразу после КВЧ-воздействия, функциональные пробы повторяли после 5 и 10-го воздействий.

Статистическая обработка материала проводилась путем вычисления среднего значения исследуемых величин (M) и его ошибки (m). Оценка достоверности внутригрупповых различий полученных данных проводилась с использованием критерия Вилкоксона (Wilcoxon matched pairs test), межгрупповых различий – с помощью U-теста Манна-Уитни (Mann-Whitney U Test) [11].

Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excell и программного пакета «STATISTICA – 8.0».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Типологические особенности микроциркуляции кожи испытуемых. ЛДФ-метрия выявила определенные типологические отличия показателей микроциркуляции испытуемых, на основе которых было выявлено три типа ЛДФ-грамм: аperiодический (37,08% испытуемых), монотонный с низкой (32,58% испытуемых) и высокой перфузией (30,34% испытуемых).

Аperiодический тип ЛДФ-граммы характеризовался высокими значениями перфузии (табл. 1) и показателей объемного кровотока (рис. 1), что свидетельствует о высокой интенсивности тканевого кровотока; высокими значениями СКО, Кв, отражающих высокую активность колебательных процессов тканевого кровотока, а также ИЭМ (см. табл. 1; рис. 2-А). Для испытуемых данной группы были

характерны относительно высокие значения Аэ, Ан, Ам на фоне низких Ад и Ап (см. табл. 1; рис. 2-А).

Таблица 1.

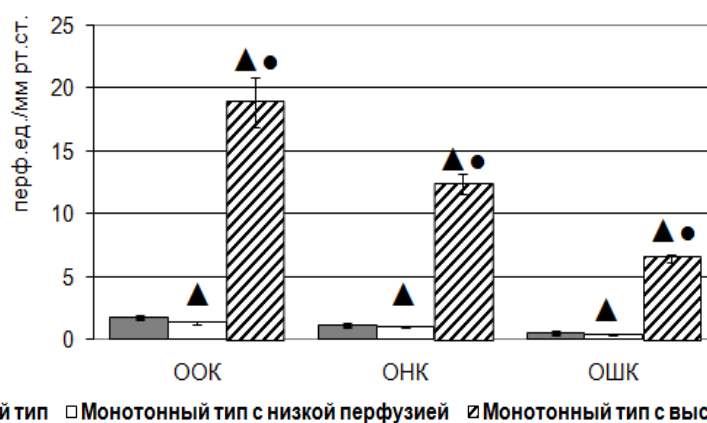
Значения показателей микроциркуляции и их различий (в % относительно значений показателей у испытуемых с аperiодическим типом, принятых за 100%) у испытуемых с различными типами ЛДФ-грамм

Показатели	Типы ЛДФ-грамм		
	Аperiодический (n=33)	Монотонный с низкой перфузией (n=29)	Монотонный с высокой перфузией (n=27)
ПМ, перф.ед.	26,64±1,01	16,58±1,35; ↓(-37,70%)	36,34±1,19; ↑+36,41%)
СКО, перф.ед.	4,49±0,11	2,91±0,40; ↓-35,28%)	2,26±0,29; ↓-49,70%)
Кв, %	15,88±0,58	18,52±0,72; ↑+16,60%)	6,45±0,96; ↓-59,40%)
Аэ, перф.ед.	13,81±0,60	12,44±0,60; ↓(-10,23%)	16,00±0,43; ↑+15,70%)
Ан, перф.ед.	14,08±1,65	11,15±0,72; ↓-20,82%)	18,64±0,92; ↑+32,33%)
НТ	2,44±0,15	2,88±0,11; ↑+17,81%)	1,82±0,09; ↓-25,40%)
Ам, перф.ед.	9,70±1,21	8,33±0,97; ↓(-14,30%)	15,98±0,57; ↑+64,85%)
МТ	3,35±0,17	3,98±0,18; ↑+18,75%)	2,79±0,11; ↓(-16,90%)
Ад, перф.ед.	3,78±0,63	2,42±0,28; ↓-36,04%)	6,13±0,77; ↑+62,00%)
Ас, перф.ед.	1,97±0,25	1,87±0,16; ↓(-5,01%)	4,78±0,45; ↑+142,72%)
ИЭМ	2,50±0,15	2,01±0,16; ↓-19,67%)	1,70±0,05; ↓-31,90%)

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

Известно, что эндотелиальные колебания в диапазоне 0,01 Гц обусловлены выбросом вазодилатора оксида азота (NO), участвующего в регуляции тонуса гладких мышц сосудов [12]. Нейрогенные колебания в диапазоне 0,02-0,05 Гц указывают на влияние со стороны адренергических волокон симпатической нервной системы на гладкомышечные клетки резистивных микрососудов, а миогенные отображают функциональную активность миоцитов и прекапиллярного звена микроциркуляторного русла [13, 14]. Согласно литературным данным [15], такое распределение гемодинамических осцилляций отражает высокую сбалансированность пре- и посткапиллярных влияний на модуляцию тканевого кровотока и свидетельствует об адекватном притоке со стороны артериол и своевременном оттоке периферической крови со стороны венул.

Результаты функциональных проб (табл. 2; рис. 2-А) свидетельствуют об оптимальном уровне взаимодействия эндотелий-зависимого, эндотелий-независимого и нейрогенного компонентов регуляции процессов микроциркуляции.



■ Апериодический тип □ Монотонный тип с низкой перфузией ▨ Монотонный тип с высокой перфузией

Рис.1. Показатели объемного кровотока: ООК– общий объемный кровоток, ОНК – объемный нутритивный кровоток, ОШК– объемный шунтовой кровоток (перф. ед./мм рт.ст.) у испытуемых с различными типами ЛДФ-грамм.

Примечания: ▲ - достоверность отличий по критерию Манна-Уитни относительно значений у испытуемых с апериодическим типом ЛДФ-грамм ($p \leq 0,05$); ● - достоверность отличий по критерию Манна-Уитни относительно значений у испытуемых с монотонным типом и низкой перфузией ($p \leq 0,05$).

Следовательно, данный тип ЛДФ-граммы, согласно нашим и литературным данным [16–19], можно отнести к нормоемическому гемодинамическому типу.

Для испытуемых с **монотонным типом ЛДФ-граммы и низкой перфузией** характерна малая кровенаполняемость микрососудов, что отражено в достоверно более низких по сравнению с испытуемыми с апериодическим типом ЛДФ-граммы значениях показателей объемного кровотока (см. рис. 1), ПМ, ИЭМ и СКО (см. табл. 1; рис. 2-А), что обуславливает монотонный характер ЛДФ-граммы. Такие особенности связаны с высокой активностью симпатических адренергических волокон, о чем свидетельствуют низкие Аэ и Ад на фоне повышенного НТ (см. табл. 1), что приводит к некоторому спазму микрососудов, а следовательно повышению МТ (см. табл. 1) резистивных сосудов [13]. Низкие вазомоторные амплитуды (см. табл. 1) тканевого кровотока свидетельствуют об увеличенной жесткости сосудистой стенки и, следовательно, повышенном периферическом сопротивлении, результатом чего является низкая перфузируемость микрососудов, а также слабая модуляция тканевого кровотока. О чрезмерной активности нейрогенного компонента у испытуемых данной группы свидетельствует также высокая реактивность сосудов при стимулированной модуляции кровотока, выявленная в результате проведения дыхательной и окклюзионной проб, что отражается в низких значениях Δ ПМд, а также коротком периоде полувосстановления (см. табл. 2) тканевого кровотока после окклюзии [3, 13]. Так, согласно нашим и литературным данным [16-19] данный тип ЛДФ-граммы можно отнести к гипоемическому, или спастическому, типу микрогемодинамики.

Таблица 2.

Значения показателей функциональных проб и их различий (в % относительно значений показателей у испытуемых с аperiодическим типом, принятых за 100%) у испытуемых с различными типами ЛДФ-грамм

Пробы	Показатели	Типы ЛДФ-грамм			
		Аperiоди- ческий (n=33)	Монотонный с низкой перфузией (n=29)	Монотонный с высокой перфузией (n=27)	
Посту- ральная	ΔПМп, %	36,57±2,56	38,35±2,67; ↓ (-4,64%)	26,78±2,10; ↓(-26,77%)	
	ΔПМд, %	35,21±2,51	25,77±1,47; ↓(-26,81%)	42,54±2,49; ↑(+20,82%)	
Дыха- тельная	НТ, усл. ед.	2,44±0,15	2,88±0,11; ↑(+18,03%)	2,15±0,18; ↓(-11,89%)	
	ПМисх, ерф.ед.	23,38±1,96	16,67±1,28; ↓(-28,70%)	32,16±0,92; ↑(+37,55%)	
Окклюзионная	РКК _о , %	151,91±3,45	222,07±7,01; ↑+46,19%	129,73±7,06; ↓(-14,60%)	
	T1/2, с	27,45±2,03	13,99±1,15; ↓(-49,03%)	40,48±2,67; ↑(+47,47%)	
	Аэ, перф. ед.	16,30±0,80	17,56±0,67; ↑(+21,78%)	16,65±0,66; ↓(-4,78%)	
	Ам, перф. ед.	15,97±0,64	13,69±0,80; ↓(-14,28%)	19,48±0,82; ↑(+21,98%)	
	РКК(АХ), %	212,71±8,23	401,15±16,8; ↑(+88,59%)	181,53±8,96; ↓(-14,66%)	
Фармакологическая	РКК(НП), %	181,23±11,2	213,30±17,58; ↑ (+17,7%)	168,30±19,87; ↓(-7,13%)	
	ФАЭ, %	19,43±2,00	96,77±6,92; ↑(+398,04%)	11,64±1,06; ↓(-40,09%)	
	Пспи	Аэ(АХ), перф.ед.	14,64±0,67	19,96±0,64; ↑(+36,33%)	12,13±0,73; ↓(-17,14%)
		Аэ(НП), перф.ед.	12,83±0,57	15,55±1,46; ↑(+21,2%)	11,13±1,42; ↓ (-13,25%)
		ΔАэ(АХ/НП), %	12,83±0,57	33,20±2,31; ↑(+30,83%)	9,03±0,45; ↓(-81,06%)
	Пв	Аэ(АХ), перф.ед.	16,41±0,65	21,47±1,36; ↑(+107,63%)	13,53±0,79; ↓(-17,55%)
		Аэ(НП), перф.ед.	13,01±0,61	12,66±0,95; ↓(-2,69%)	16,60±0,96; ↑(+27,6%)
ΔАэ(АХ/НП), %		13,01±0,61	35,80±1,64; ↑(+54,31%)	18,75±1,01; ↓(-16,34%)	

Примечание: обозначения те же, что и в табл.1. Пв - период восстановления; Пспи - период собственно проведения ионофореза; остальные обозначения указаны в тексте.

Третий **монотонный тип ЛДФ-граммы с высокой перфузией** характеризовался высокой кровенаполняемостью, что отражено в высоких значениях ПМ (см. табл. 1) и объемного кровотока (см. рис. 1) [5]. Характер колебаний тканевого кровотока также был монотонным, что обусловило достоверно более низкие значения СКО и Кв (см. табл. 1), чем у испытуемых предыдущих групп [20, 21]. Высокие значения амплитуд всех ритмов (см. табл. 1; рис. 2-А) свидетельствует об угнетении вазомоторного механизма в регуляции микрокровотока, что приводит к выраженной вазодилатации резистивных микрососудов, прекапиллярных сфинктеров, снижению периферического сопротивления, а, следовательно, способствует обильной перфузируемости сосудов,

следствием чего и является повышенный приток крови со стороны артериол и затрудненный отток со стороны венул [17]. Результаты функциональных проб также указывают на сниженные влияния миогенного эндотелий-независимого компонента, что проявилось в слабой реактивности венулоартериолярных реакций [3, 5] при постуральной и окклюзионной пробах (см. табл. 2; рис. 2-А). Следовательно, исходя из наших и литературных данных [16–19], данный тип ЛДФ-граммы можно отнести к гиперемическому типу микрогемодинамики.

Таким образом, в результате исследования выделено три типа ЛДФ-грамм (апериодический, монотонный с низкой и высокой перфузией), характерных для здоровых испытуемых, которые соответствуют определенным гемодинамическим типам: нормо-, гипо- и гиперемическому.

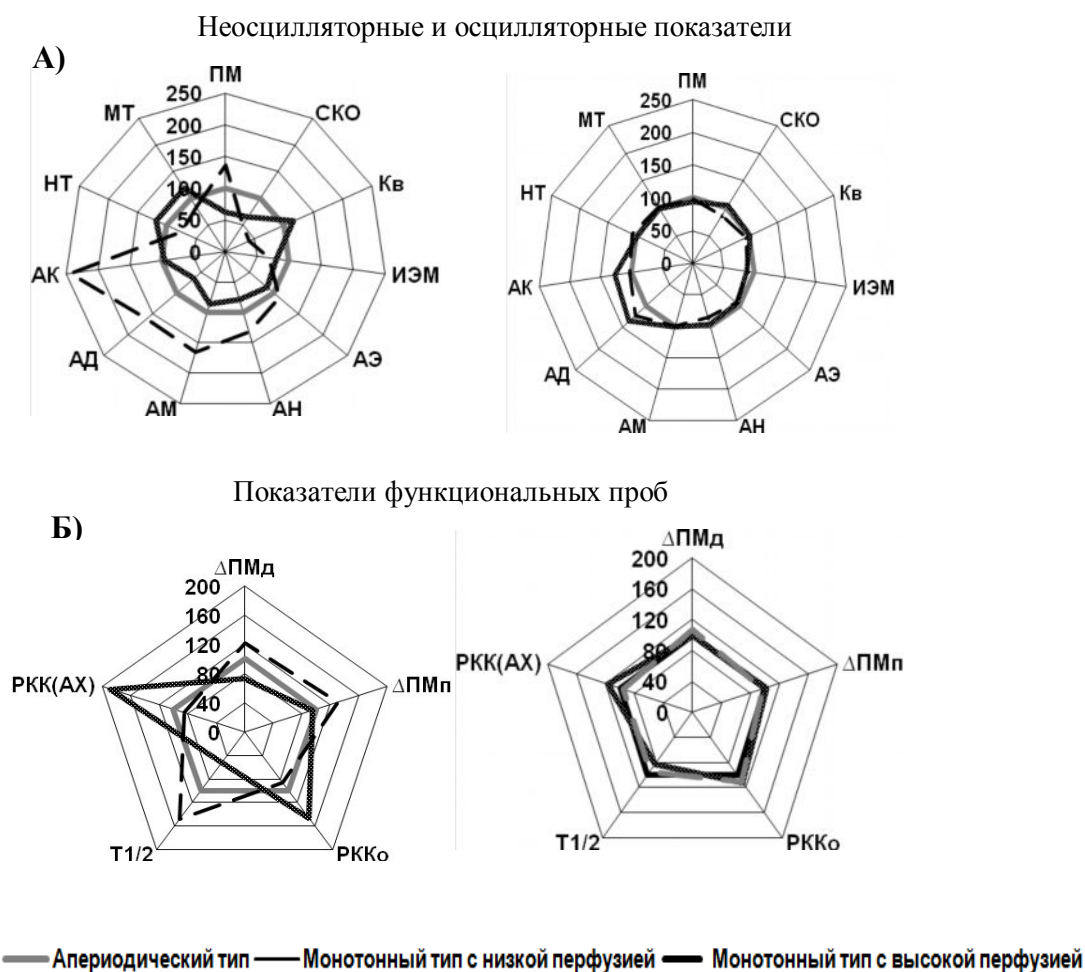


Рис. 2. Значения показателей микроциркуляции у испытуемых с разными типами ЛДФ-грамм до (А) и после (Б) курсового КВЧ-воздействия (в % относительно значений показателей у испытуемых с апериодическим типом, принятых за 100%).

Примечание: обозначения указаны в тексте.

Влияние низкоинтенсивного миллиметрового излучения на микроциркуляцию крови у испытуемых с разными гемодинамическими типами.

При курсовом воздействии ЭМИ КВЧ у испытуемых с *апериодической ЛДФ-граммой, или нормоемическим типом микроциркуляции* зарегистрировано достоверное повышение Аэ (на 9,70%; $p \leq 0,05$) и Ан (на 25,85%; $p \leq 0,05$) (рис. 3) на фоне снижения НТ (на 16,80%; $p \leq 0,05$) и МТ (на 3,58%; $p \leq 0,05$), а также увеличение ООК (на 71,00%; $p \leq 0,01$) и ОНК (на 64,44%; $p \leq 0,01$), что привело к повышению ИЭМ (на 12,80%; $p \leq 0,05$) (см. рис. 2-Б).

Увеличение Аэ (см. рис. 3-А), указывает на увеличение базального уровня секреции NO, способствующего вазорелаксации, что, вероятно, также явилось причиной снижения МТ у испытуемых данной группы [22]. Следствием явилась дилатация гладкомышечных прекапилляров и, соответственно, увеличение нутритивного кровотока. Увеличение Ан (см. рис. 3-Б) наряду с понижением НТ отражает снижение активности симпатической нервной системы на микрососуды и, следовательно, увеличение вазодилатации на путях притока крови в систему микроциркуляции [23], что является причиной увеличения ООК.

В механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляторные процессы у испытуемых с нормоемическим типом микроциркуляции основную роль играет эндотелий-зависимый компонент регуляции тканевого кровотока, в пользу чего свидетельствует увеличение Аэ базального кровотока (см. рис. 3-А) и стимулированной NO-синтазной активности (увеличение РКК(АХ) на 19,34%; $p \leq 0,05$) при фармакологической пробе (см. рис. 2-Б).

У испытуемых с *монотонным типом ЛДФ-граммы и низкой перфузией, или гипоемическим типом микроциркуляции*, в результате КВЧ-воздействия также происходило увеличение ПМ (на 63,93%; $p \leq 0,01$) (рис. 4), ООК на 119,40% ($p \leq 0,01$), ОНК и ОШК на 78,35% и 256,94% соответственно ($p \leq 0,01$), что свидетельствует о вазодилатации микрососудов и увеличении артериального притока крови, причиной чего является повышение Ан (на 54,71%; $p \leq 0,05$) и Ам (на 31,57%; $p \leq 0,05$) (см. рис. 3) на фоне снижения НТ (на 30,56%; $p \leq 0,05$) и МТ (на 20,30%; $p \leq 0,05$), аналогично тому, как это происходило у испытуемых с нормоемическим типом микроциркуляции. Однако данные изменения проявились в более ранние сроки и были выражены в большей степени.

В механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляторные процессы у испытуемых с гипоемическим типом микрогемодинамики ведущую роль играет нейрогенный компонент, о чем свидетельствует снижение тонических симпатических адренергических влияний (увеличение Ан базального кровотока (см. рис. 3-А), снижение НТ, а также фазической рефлекторной активности нейрогенного компонента при дыхательные пробе (увеличение ΔПМд на 42,92% ($p \leq 0,05$)) (см. рис. 2-Б).

Уменьшение спастических явлений способствовало увеличению локальной фракции сердечного выброса и притока артериальной крови, привносящей пульсовую волну, что проявилось в возрастании Ас (на 45,63%; $p \leq 0,05$), а также к увеличению Ад (на 51,65%; $p \leq 0,05$), указывающего на снижение венозного

сопротивления периферических сосудов [14, 22, 23]. Такое перераспределение гемодинамических осцилляций привело к повышению ИЭМ на 24,38% ($p \leq 0,05$) (см. рис. 2-Б).

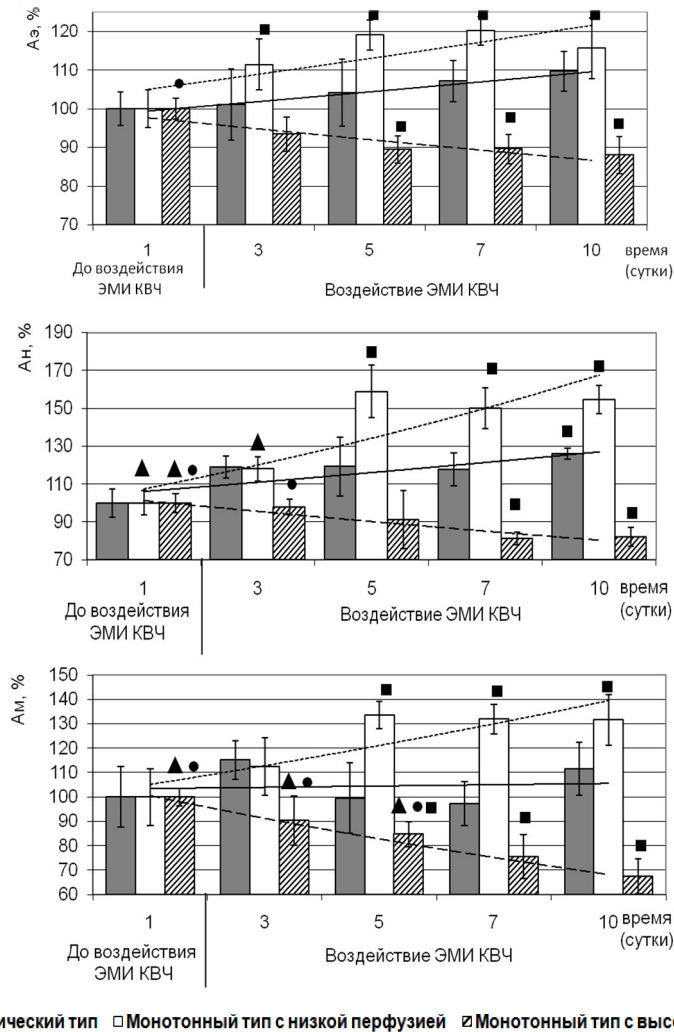


Рис. 3. Динамика амплитуд низкочастотных ритмов ЛДФ-граммы: А – эндотелиального, Б – нейрогенного, В – миогенного у испытуемых с различными типами ЛДФ-грамм под влиянием ЭМИ КВЧ (в % относительно исходных значений, принятых за 100%).

Примечания: ▲ - достоверность отличий по критерию Манна-Уитни относительно значений испытуемых с аперiodическим типом ЛДФ-грамм ($p \leq 0,05$); ● - достоверность отличий по критерию Манна-Уитни относительно значений испытуемых с монотонным типом и низкой перфузией ($p \leq 0,05$); ■ - достоверность по критерию Вилкоксона по отношению к исходным значениям ($p \leq 0,05$).

У испытуемых с *монотонным типом ЛДФ-граммы, или гиперемическим типом микроциркуляции*, в результате курсового воздействия мм излучения в отличие от испытуемых других групп отмечались противоположные изменения изученных показателей: снижение ПМ (на 21,78%; $p \leq 0,05$) (см. рис. 4), ООК (на 76,60%; $p \leq 0,01$), ОНК и ОШК (на 80,00% и 83,70% соответственно), снижение Ан (на 17,86%; $p \leq 0,05$) и Ам (на 32,60%; $p \leq 0,05$) (см. рис. 3) на фоне повышения НТ и МТ (на 19,78% и 18,28% соответственно; $p \leq 0,05$), СКО (на 78,76%; $p \leq 0,01$), результатом чего явилось повышение ИЭМ (на 47,60%; $p \leq 0,05$) (см. рис. 2-Б). Снижение Ам (см. рис. 3-В) указывает на повышение миогенной активности в регуляции микрососудов, что свидетельствует об увеличении эластичности стенки периферических сосудов, а, соответственно, повышении периферического сопротивления преимущественно в области резистивных микрососудов и, как следствие, уменьшении притока крови в микроциркуляторное русло [24]. Динамика осцилляций активных компонентов регуляции микрокровотока, способствующих снижению вазодилатации происходила наряду с понижением Ад (на 46,00%; $p \leq 0,05$) колебаний, что, вероятно, связано с интенсификацией веноулярного оттока из-за увеличения градиента артерио-венозного давления [13] и Ас (49,50%; $p \leq 0,05$) (см. рис. 2-Б), отражающего уменьшение притока артериальной крови, модулированной пульсовой волной [3, 13].

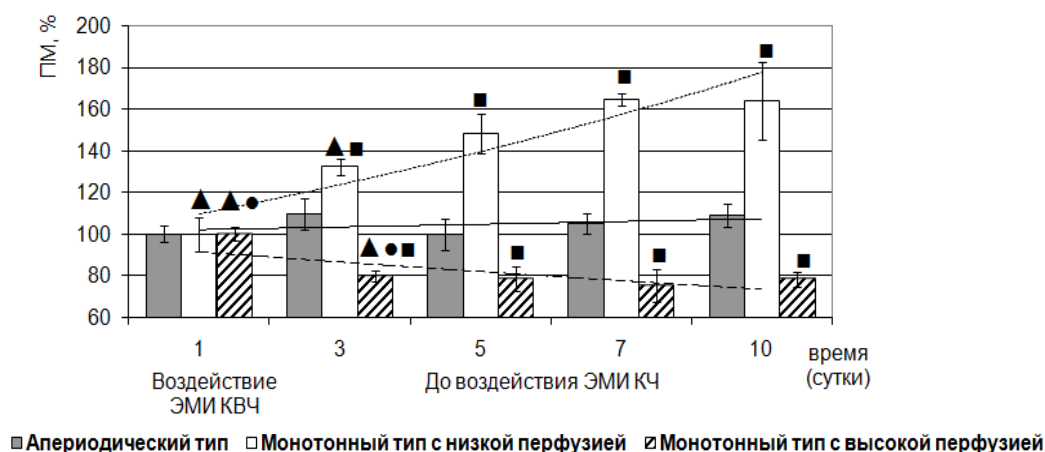


Рис. 4. Динамика показателя перфузии у испытуемых с разными типами ЛДФ-грамм под влиянием ЭМИ КВЧ (в % относительно значений, принятых за 100%)
Примечание: обозначения те же, что и на рис. 3.

В механизмах действия низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на микроциркуляторные процессы у испытуемых с гиперемическим типом микрогемодинамики основную роль играет миогенный эндотелий-независимый механизм регуляции микроциркуляторных процессов, в пользу чего свидетельствует увеличение МТ в покое (на 18,2%; $p \leq 0,05$), Δ ПМп (на 20,68%; $p \leq 0,05$), РККо (на 27,90%; $p \leq 0,05$) и сокращение Т1/2 (на 25,65%; $p \leq 0,05$) при регистрации постокклюзионной реактивной гиперемии, отражающих уменьшение количества исходно функционирующих капилляров в результате

вазоконстрикции прекапилляров, а также повышение миогенной реактивности микрососудов при экспериментально моделируемом увеличении потока крови.

Таким образом, выявлены типологические реакции микроциркуляторных процессов на действие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ: наименее выраженные изменения изученных показателей 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). 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 также зависит от типологических особенностей микроциркуляторных процессов испытуемых.

Кроме того, полученные данные свидетельствуют о том, что в результате курсового воздействия ЭМИ КВЧ произошла эффективная модуляция тканевого кровотока, что проявилось в отсутствии статистически значимых межгрупповых различий и приближении значений показателей у испытуемых с гипо- и гиперемическим типами микроциркуляции к наиболее сбалансированному в функциональном отношении нормоемическому типу микроциркуляции (см. рис. 2-Б). Следовательно, ЭМИ КВЧ обладает избирательным действием на показатели микроциркуляции, оказывая влияние преимущественно на исходно измененные без влияния на исходно нормальные, что свидетельствует о гомеостатическом действии этого физического фактора.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа параметров базального кровотока у здоровых испытуемых выделены три типа ЛДФ-грамм: апериодический (37,08% испытуемых), монотонный с низкой (32,58% испытуемых) и высокой (30,34% испытуемых) перфузией.
2. Выявлены типологические реакции микроциркуляторных процессов на действие низкоинтенсивного мм излучения: наименее выраженные изменения изученных показателей 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, что привело у испытуемых с гипоемическим типом к вазодилатации микрососудов и увеличению артериального притока крови, а у испытуемых с гиперемическим типом к повышению миогенной активности микрососудов, а, следовательно, снижению артериального притока и облегчению венозного оттока крови.
3. В механизмах действия низкоинтенсивного мм излучения на микрогемодинамику кожи человека основную роль играют: эндотелий-зависимый, миогенный эндотелий-независимый, нейрогенный компоненты

регуляции тканевого кровотока. Однако их выраженность зависит от типологических особенностей микроциркуляторных процессов испытуемых.

4. Низкоинтенсивное миллиметровое излучение оказывает эффективное корректирующее дифференцированное влияние на показатели кожной микрогемодинамики, оказывая влияние преимущественно на исходно измененные показатели микроциркуляции 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. Чернух А.М. Микроциркуляция / Чернух А.М., Александров П.Н., Алексеев О.В. – 2-е изд. – М. : Медицина, 1984. – 459 с.
2. Мчедлишвили Г.И. Микроциркуляция крови : общие закономерности регулирования и нарушений / Мчедлишвили Г.И. – Л. : Наука, 1989. – 296 с.
3. Крупаткин А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М. : Медицина, 2005. – 254 с.
4. Козлов В.И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии: пособие для врачей / Козлов В.И. – М., 2001. – 22 с.
5. Hoffman U. The frequency histogram – A new method for the evaluation of Laser Doppler Flux. Motion/ U. Hoffman, A. Yanar, A. Bolinger // *Microvascul. Res.* – 1990. – Vol. 40. – P. 293–301.
6. Крупаткин А.И. Оценка объемных параметров общего, нутритивного и шунтового кровотока микрососудистого русла кожи с помощью лазерной доплеровской флоуметрии / А.И. Крупаткин // *Физиология человека.* – 2005. – Том 3, №1. – С. 114–119.
7. 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. – Т. 22 (61), № 4. – С. 236–254.
8. Ананченко М.Н. Показатели объемного кровотока у испытуемых с разными микроциркуляторными типами в условиях воздействия низкоинтенсивного миллиметрового излучения / М.Н. Ананченко, Е.Н. Чуян // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия».* – 2010. – Т. 23 (62), № 4. – С. 13–24.
9. Ананченко М.Н. Кожная микроциркуляция в условиях функциональной нагрузки у испытуемых с различными типологическими особенностями под влиянием низкоинтенсивного миллиметрового излучения / М.Н. Ананченко, Е.Н. Чуян // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия».* – 2011. – Т. 24 (63), № 2. – С. 30–49.
10. Мачерет Е.Л. Руководство по рефлексотерапии / Е.Л. Мачерет, И.З. Самосюк. – Киев: Вища шк., 1982. – 302 с.
11. Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере / Боровиков В.П. – СПб.: Питер, 200. – 656 с.
12. Савельев В.С. Исследование микроциркуляции при хронической венозной недостаточности нижних конечностей : методическое пособие для врачей / Савельев В.С. – М., 2006. – 25 с.
13. 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.
14. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system / A. Stefanovska, M. Bracic // *Contemporary Physics.* – 1999. – Vol. 40, № 1. – P. 31–35.
15. Fagrell B. Problems using laser Doppler on the skin in clinical practice, Laser Doppler / B. Fagrell // *Nicosia.* – London, 1994. – P. 127–134.
16. Маколкин В.И. Микроциркуляция в кардиологии / В.И. Маколкин. – М. : Визарт, 2004. – 135 С.

17. Козлов В.И. Система микроциркуляции крови: клинико–морфологические аспекты изучения / В.И. Козлов // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. – Т. 5, № 1. – С. 84–101.
18. 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.
19. Станишевская Т.И. Индивидуально–типологические особенности микроциркуляции крови у девушек–студенток с разным соматотипом : автореф. дис. ... канд. биол. наук : спец. 03.00.13 / Т.И. Станишевская. – Мелитополь, Москва, 2006 г. – 174 с.
20. Физические основы метода лазерной доплеровской флоуметрии и его применение в неврологической практике / В.В. Сидоров, М.А. Ронкин, И.М. Максименко [и др.] // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2003. – № 12. – С. 26–35.
21. 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. – № 65. – P. 160–171.
22. 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.
23. Skin temperature changes induced by strong static magnetic field exposure / S. Ichioka, M. Minegishi, M. Iwasaka [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2003. – № 24. – P. 380–386.
24. 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.

Чуян О.М. Типологічні особливості мікроциркуляції шкіри людини та їх роль у модуляції тканинного кровотоку низькоінтенсивним міліметровим випромінюванням / О.М. Чуян, М.М. Ананченко // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2011. – Т. 24 (63), № 4. – С. 350–362.

Методом лазерної доплеровської флоуметрії виявлені типологічні відмінності показників мікроциркуляції піддослідних, на основі яких були виділені аперіодичний тип ЛДФ–грам, монотонний із низькою та високою перфузією. Показано, що низькоінтенсивне мм випромінювання надає ефективний корегуючий диференційований вплив на показники периферичної мікрогемодинаміки, викликаючи компенсаторно–приспосувальні реакції у випробовуваних із різними типологічними особливостями мікроциркуляторних процесів. При цьому низькоінтенсивне мм випромінювання призвело до нівелювання міжгрупових відмінностей і наблизенню значень показників мікроциркуляції у випробовуваних з монотонними типами мікроциркуляції до найбільш збалансованого у функціональному відношенні аперіодичного, що свідчить про його гомеостатичну дію.

Ключові слова: низькоінтенсивне електромагнітне випромінювання міліметрового діапазону, лазерна доплеровська флоуметрія, мікроциркуляція крові.

Chuyan E.N. Typological features of the microcirculation of human skin and their role in the modulation of tissue blood flow low-power millimeter waves / E.N. Chuyan, M.N. Ananchenko // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2011. – Vol. 24 (63), No 4. – P. 350–362.

By means of laser Doppler flowmetry typological differences of subjects' microcirculation indicators were revealed, on the basis of which the aperiodic type of LDF-gram, monotonous with low and high perfusion was concluded. The study showed that low-intensity radiation has an effectively correcting differentiated impact on the indicators of peripheral microhemodynamics, causing a compensatory-adaptive reactions in subjects with different individual-typological peculiarities of microcirculatory processes. Mm radiation has a selective effect on the parameters of microcirculation, affecting mainly the initially modified without affecting the normal baseline, which leads to a leveling of intergroup differences and bring the values of indicators of microcirculation in subjects with hypo- and hyperemic types of the most balanced functionally normoemical, indicating that of the homeostatic effect of this physical factor.

Keywords: low-intensity electromagnetic radiation of millimeter range, blood microcirculation, laser Doppler flowmetry.

Поступила в редакцію 22.11.2011 г.