

УДК 612.135

ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ

Чуян Е.Н., Ананченко М.Н.

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

Методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) изучены индивидуально-типологические особенности показателей микроциркуляции у условно-здоровых девушек-волонтеров крымского региона в возрасте 18-23 лет. В результате исследования было выделено 3 типа ЛДФ-грамм: аperiодический, монотонный с низкой и высокой перфузией. Показано, что наиболее высокой сбалансированностью регуляторных процессов микроциркуляции обладают испытуемые с аperiодическим типом ЛДФ-граммы.

Ключевые слова: микроциркуляция крови, метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), аperiодический тип, монотонный тип с низкой перфузией, монотонный тип с высокой перфузией.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем в медицинской практике при диагностике различных заболеваний является исследование системы микроциркуляции крови, так как микроциркуляторное звено является подсистемой сосудистого русла, в которой, в конечном итоге, реализуется основная функция: обеспечение трансапиллярного обмена и его реакции на воздействие факторов внешней и внутренней среды [1]. Состояние микроциркуляции определяет адекватность трофического обеспечения тканей и органов и резервы поддержания гомеостаза всех систем организма человека. Изменения в системе микроциркуляции крови коррелируют со сдвигами в центральной гемодинамике, что позволяет использовать параметры микроциркуляции в качестве прогностических и диагностических критериев в оценке общего функционального состояния и уровня здоровья [2].

В настоящее время при изучении морфофункциональных особенностей организма человека все большее развитие получает индивидуально-типологический подход к их оценке. Принцип типологизации в исследовании функционального состояния у различных групп испытуемых дает возможность выявить не только специфику индивидуальных особенностей организма и протекания патофизиологических процессов в нем, но и позволяет разработать нормативные показатели и критерии для проведения диагностики микрокровотока, а также изучить отклик тканевого кровотока на внешние воздействия [1, 3].

Среди методов исследования тканевого кровотока новые перспективы и возможности открывает метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), который позволяет оценить индивидуальную изменчивость кровотока и механизмы его регуляции [4 – 5].

В связи с этим, целью данной работы явилось выявление индивидуально-типологических особенностей микроциркуляции крови у здоровых людей методом ЛДФ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 49 студентов-волонтеров женского пола в возрасте 18-23 лет, условно здоровых. В целях исследования микроциркуляции крови использовался метод ЛДФ, основанный на оптическом зондировании тканей монохроматическим излучением. ЛДФ позволяет оценить индивидуальную изменчивость кровотока, механизмы его регуляции, а также реализовать интегральную неинвазивную оценку состояния микроциркуляторной гемодинамики в органах и тканях, тесно коррелирующую со сдвигами в центральной гемодинамике. Эта технология не только успешно внедряется в медицинскую практику, но и широко используется в медико-биологических исследованиях организма человека [4 – 6].

ЛДФ осуществляли лазерным анализатором кровотока «ЛАКК-02» (производство НПП «Лазма», Россия) с двумя источниками лазерного излучения, работающими на длине волны 0,8 мкм. Испытуемые во время исследования находились в положении сидя. Головка оптического зонда фиксировалась на волярной поверхности 2-го пальца правой руки. Эта зона наиболее богата вегетативными и сенсорными нервными волокнами, поэтому служит лучшим объектом для исследования нейрогенной регуляции сосудов [5]. Регистрируемый при ЛДФ сигнал представляет собой интегральную характеристику подвижности эритроцитов в зондирующем объеме ткани. С помощью компьютерной программы обработки ЛДФ-граммы определяли следующие 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 [7]. Указанная величина выражается формулой [5]:

$$\text{ПМ} = \text{Нкп} * \text{Нк} * \text{V}_{\text{ср}}, \quad (1)$$

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

Среднее квадратическое отклонение (флакс, СКО, σ ; перф.ед.) – средние колебания перфузии относительно среднего значения потока крови ПМ, характеризующие временную изменчивость перфузии, а также отражающие среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах [4]. Фундаментальной особенностью микроциркуляции является ее постоянная изменчивость, как во времени, так и в пространстве, что и проявляется в спонтанных флуктуациях тканевого кровотока. Изменчивость микроциркуляции и

связанная с ней колеблемость кровотока, по сути своей, есть объективная характеристика уровня жизнедеятельности тканей. Средняя амплитуда колебаний потока эритроцитов, именуемая в микрососудистой семантике как флакс (“flux”), оценивается величиной среднего квадратического отклонения (СКО) также в перфузионных единицах [4 – 5].

Коэффициент вариации (K_v , %) – характеризует соотношение между изменчивостью перфузии (флаксом) и средней перфузией (ПМ) в зондируемом участке тканей и вычисляется по формуле [5]:

$$K_v = \text{СКО}/\text{ПМ} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Коэффициент вариации указывает на процентный вклад вазомоторного компонента в общую модуляцию тканевого кровотока. Чем он выше, тем больше вазомоторная активность сосудов [8].

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 [5]. Наиболее точным и корректным является вейвлет-преобразование ЛДФ-грамм. Это связано с тем, что данный метод анализа имеет сравнительно лучшее разрешение по частоте и по времени; более приспособлен к анализу нестационарных сигналов, которыми являются медицинские физиологические сигналы; позволяет анализировать получаемый сигнал в виде амплитудно-частотных характеристик; в несколько раз снижает вариабельность исследуемых параметров и упрощает трактовку получаемых сигналов; позволяет лучше определить вклад отдельных механизмов регуляции, модулирующих микрокровооток и представленных в одной реализации. Вейвлет-преобразование позволяет проводить анализ нормированных характеристик ритмов колебаний кровотока: эндотелиального, нейрогенного, миогенного, дыхательного и пульсового компонентов [5 – 6, 9 – 10].

Среди выделяемых колебаний микрокровоотока наиболее физиологически значимыми являются эндотелиальные колебания, которые регистрируются в пределах 0,0095-0,02 Гц. Они связаны с периодическими сокращениями эндотелиоцитов, обусловленными сокращением их цитоскелета и характеризуют влияние гуморально-метаболических факторов на состояние микроциркуляции [1]. Миогенные колебания (0,07-0,15 Гц) обусловлены спонтанной периодической активностью гладких миоцитов в стенке артериол, вызывающей периодические изменения их диаметра (вазомоции) [1, 5]. На миогенные модуляции тканевого кровотока посредством вазомоторного механизма накладываются нейрогенные флаксмоции (0,02-0,046 Гц), отражающие влияние симпатического звена регуляции. Снижение амплитуд нейрогенных колебаний может свидетельствовать об угнетении вазомоторного механизма [5, 11]. Эндотелиальный, миогенный и нейрогенный компоненты относятся к активным механизмам регуляции процессов микроциркуляции, пассивными являются дыхательные и пульсовые влияния [4- 5].

Дыхательные колебания (0,15-0,4 Гц) представлены периодическими изменениями давления в венозном отделе сосудистого русла, вызываемыми

дыхательными экскурсиями грудной клетки [12]. Пульсовые колебания (0,8-0,16 Гц) кровотока обусловлены перепадами внутрисосудистого давления, которые в большей или меньшей степени синхронизированы с кардиоритмом [1, 6].

Ввиду разброса колебаний амплитуд ритмов (А), их нормированные характеристики анализировались по формуле [5]:

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

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

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

Вклад различных ритмических составляющих оценивался по мощности их спектра (Р) в процентном отношении к общему спектру флуксуций [1, 7, 13-14]:

$$P = A_{\Sigma}^2 (н, м, д, с)^2 / (A_{\Sigma}^2 + A_n^2 + A_m^2 + A_d^2 + A_c^2) * 100\%, \quad (4)$$

где А_э – амплитуды эндотелиальных, А_н – нейрогенных, А_м – миогенных, А_д – дыхательных, А_с – пульсовых ритмов колебаний тканевого кровотока.

Таким образом, математический аппарат Вейвлет позволяет наилучшим образом выявлять периодичность процессов микроциркуляции, представленных в ЛДФ-грамме, но наиболее значимым при Вейвлет-анализе является возможность оценить влияние миогенных и нейрогенных компонентов тонуса микрососудов [9-10]. 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 [5].

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 [5]:

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

где σ – среднее квадратическое отклонение показателя микроциркуляции, P_{ср} – среднее артериальное давление, А_н – наибольшее значение амплитуды колебаний перфузии в нейрогенном диапазоне, ПМ – среднее арифметическое значение показателя микроциркуляции.

Миогенный тонус (МТ) метартериол и прекапиллярных сфинктеров определяется как [5]:

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

Следовательно, значения нейрогенного и миогенного тонусов обратно пропорциональны амплитудам осцилляций соответственного диапазона. Снижение амплитуды данных осцилляций сочетается с повышением тонуса и жесткости

самой сосудистой стенки, и наоборот, повышение амплитуд является следствием снижения сосудистого тонуса [5].

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) [5, 13, 15]:

$$\text{ИЭМ} = (A_{\text{э}} + A_{\text{н}} + A_{\text{м}}) / (A_{\text{д}} + A_{\text{с}}), \quad (7)$$

Статистическая обработка данных проводилась путем вычисления среднего значения исследуемых величин (M), средней ошибки (m) для каждого показателя. 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) [16-17]. 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 [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ЛДФ-метрия у испытуемых выявила определенные индивидуально-типологические отличия показателей микроциркуляции, которые свидетельствуют о значительной неоднородности величин изучаемых параметров в выборке и отражают вегетативный статус испытуемых. В качестве критериев индивидуально-типологических особенностей состояния микроциркуляции нами были выбраны основные статистические показатели, получаемые при ЛДФ-метрии, а именно M , $СКО$, K_v , что позволило выявить три микрогемодинамических типа: аperiodический, монотонный с низкой перфузией и высокой перфузией (табл. 1).

Аperiodический тип ЛДФ-граммы был выявлен у 36,8% испытуемых и характеризовался сравнительно высокой степенью интенсивности кровотока, о чем свидетельствует объем перфузии равный $26,64 \pm 1,01$ перф. ед., среднее значение K_v ($15,88 \pm 0,99\%$) и высокий уровень флакса ($4,49 \pm 0,11$ перф. ед.), который, как известно [4-7], характеризует временную изменчивость перфузии и отражает среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах (табл. 1, рис. 1). Таким образом, в аperiodической ЛДФ-грамме наблюдались четко выраженные высокоамплитудные нерегулярные подъемы и спады показателя перфузии.

У испытуемых с данным типом микроциркуляции анализ периодических процессов тканевого кровотока выявил доминирование низкочастотных компонентов в структуре ритмов колебаний перфузии крови: среднее значение амплитуды эндотелиального компонента составило $14,35 \pm 0,80$ перф.ед., нейрогенного – $14,08 \pm 1,65$ перф.ед., миогенного – $9,70 \pm 1,21$ перф.ед. Существенно меньшее влияние на регуляцию микроциркуляторных процессов оказывали высокочастотные дыхательные и пульсовые волны (табл. 2, рис.1).

Такое распределение спектральных характеристик обусловило соответствующий вклад данных компонентов в общую мощность спектра (табл. 2). Величина вкладов эндотелиальных колебаний (40,5%) и нейрогенных (39,71%) была максимальной. Доля высокочастотных составляющих ЛДФ-граммы, характеризующих преимущественно пассивные механизмы модуляции кровотока, оказалась существенно ниже (табл. 2, рис. 2).

Таблица 1.
Показатели микроциркуляции у испытуемых с разными индивидуально-типологическими особенностями (M ± m)

| № группы | Типы микроциркуляции | Показатели | | | |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|
| | | Параметр микроциркуляции, M, перф.ед. | Уровень флакса, СКО, перф.ед. | Коэффициент вариации, Kv, % | Индекс эффективности микроциркуляции, ИЭМ |
| 1 | Апериодический (n=17) | 26,64±1,01 | 4,49±0,11 | 15,88±0,99 | 2,5±0,15 |
| 2 | Монотонный с низкой перфузией (n=16) | 16,58±1,35 | 2,91±0,4 | 18,52±0,72 | 2,01±0,16 |
| 3 | Монотонный с высокой перфузией (n=16) | 36,34±1,19 | 2,26±0,29 | 6,45±0,96 | 1,70±0,05 |

Примечание: $p_{1,3}$ – достоверность отличий при сравнении значений показателей в группах 1-3 соответственно.



Рис. 1. Значения показателей микроциркуляции у испытуемых с монотонными гемодинамическими типами (в % относительно значений у испытуемых с аperiодическим типом, принятых за 100%).

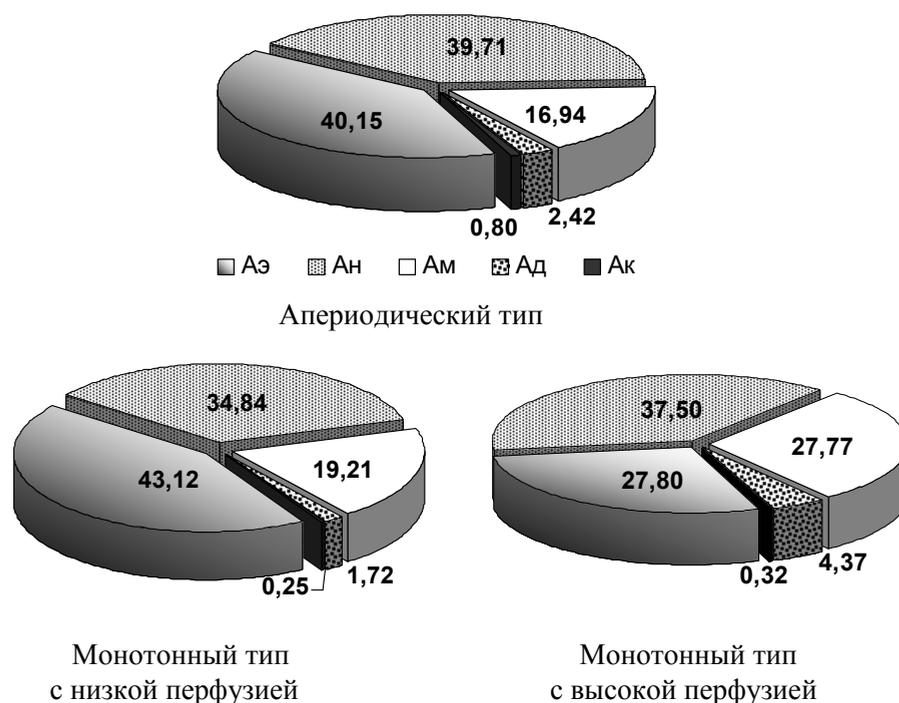


Рис. 2. Диаграммы вкладов амплитудных компонентов в общую мощность спектра осцилляций тканевого кровотока (в %) у испытуемых с различными типами ЛДФ-грамм.

Известно, что по величине амплитуд ритмов и их вкладу в общую мощность спектра можно судить о функционировании определенных механизмов регуляции перфузии [4 – 6]. Так, колебания в диапазоне 0,01 Гц, характеризующие метаболические процессы в тканях и эпизодические нейрогенные влияния, обусловлены функционированием эндотелия (выбросом основного вазодилататора NO). Выброс NO включен в физиологическую регуляцию мышечного тонуса и играет важную роль в регуляции давления и распределения потока крови [18]. Повышенные амплитуды эндотелиальных колебаний свидетельствуют о модуляции мышечного тонуса сосудов и увеличении секреции в кровь вазоактивных субстанций, что способствует увеличению транспортной функции крови и обменных процессов [19 – 20]. Нейрогенные колебания указывают на влияние со стороны адренергических волокон симпатической нервной системы на гладкомышечные клетки микрососудистого русла, а миогенные колебания отображают функциональную активность миоцитов и прекапиллярного звена в области микроциркуляторного русла [5, 19 – 21]. Некоторые авторы [5] связывают происхождение вазомоций в этом диапазоне с локальными пейсмекерами внутри гладких мышечных волокон.

Таблица 2.
Спектральные характеристики основных ритмов ЛДФ-грамм у испытуемых с разными типами микроциркуляции

| Спектральные характеристики | Типы микроциркуляции | Апериодический (n=17) | Монотонный с низкой перфузией (n=16) | Монотонный с высокой перфузией (n=16) |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--|
| | № группы | 1 | 2 | 3 |
| Эндотелиальные колебания | Амплитуда перф.ед., Аэ | 14,35±0,80 | 12,44±0,90 | 16,00±0,43 p _{1,3} ≤0,001 p _{2,3} ≤0,001 |
| | Вклад, % | 40,5% | 43,12% | 27,80% |
| Нейрогенные колебания | Амплитуда, перф.ед., Ан | 14,08±1,65 | 11,15±0,72 p _{1,2} ≤0,01 | 18,64±0,92 p _{1,3} ≤0,001 p _{2,3} ≤0,001 |
| | Вклад, % | 39,71% | 34,84% | 37,50% |
| | Тонус, НТ | 2,44±0,15 | 2,88±0,11 p _{1,2} ≤0,01 | 1,82±0,09 p _{1,3} ≤0,001 p _{2,3} ≤0,001 |
| Миогенные колебания | Амплитуда перф.ед., Ам | 9,70±1,21 | 8,33±0,97 | 15,98±0,57 p _{1,3} ≤0,001 p _{2,3} ≤0,001 |
| | Вклад, % | 16,94% | 19,21% | 27,77% |
| | Тонус, МТ | 3,35±0,17 | 3,98±0,18 p _{1,2} ≤0,05 | 2,79±0,11 p _{1,2} ≤0,001 p _{2,3} ≤0,01 |
| Дыхательные колебания | Амплитуда, перф.ед., Ад | 3,78±0,63 | 2,42±0,28 p _{1,2} ≤0,01 | 6,13±0,77 p _{1,3} ≤0,01 p _{2,3} ≤0,001 |
| | Вклад, % | 2,42% | 1,72% | 4,37% |
| Пульсовые колебания | Амплитуда перф.ед., Ас | 1,97±0,25 | 1,87±0,16 | 4,78±0,45 p _{1,3} ≤0,001 p _{2,3} ≤0,001 |
| | Вклад, % | 0,80% | 0,25% | 0,32% |

Примечания: обозначения те же, что и в таблице 1.

Высокие значения амплитуд и вкладов эндотелиальных и вазомоторных (нейрогенных и миогенных) ритмов на фоне низких амплитудных значений дыхательных и пульсовых колебаний у испытуемых данной группы свидетельствуют о доминировании активных механизмов, связанных с симпатическими влияниями, над пассивными, обусловленными парасимпатическими влияниями регуляторных механизмов, а, следовательно, об

адекватном притоке со стороны артериол и своевременном оттоке периферической крови со стороны венул, что свидетельствует о сбалансированности пре- и посткапиллярных влияний на модуляцию тканевого кровотока. Следовательно, аperiодический тип микроциркуляции характеризуется полноценным функционированием капиллярного кровотока, что подтверждается высоким значением ИЭМ $2,50 \pm 0,15$ (табл. 1; рис. 1), и, по нашему мнению, соответствует нормоемическому гемодинамическому типу.

Второй тип ЛДФ-грамм встречался в 31,6% случаев и характеризовался достоверно низкими значениями ПМ ($16,58 \pm 1,35$ перф.ед.; $p \leq 0,001$), СКО ($2,91 \pm 0,40$ перф.ед.; $p \leq 0,001$) и высокими значениями Kv ($18,52 \pm 0,72\%$; $p \leq 0,001$) по сравнению с таковыми в первом типе ЛДФ-грамм (табл. 1; рис. 1). Для данного типа также было характерно преобладание активных механизмов регуляции тканевого кровотока над пассивными, однако доминанта регуляции тканевого кровотока была сопряжена с преобладанием симпатических нейрогенных влияний, что подтверждается достоверно низким значением амплитуды нейрогенного компонента ($11,15 \pm 0,72$ перф.ед.; $p \leq 0,01$, вклад при этом составил 34,84%) по сравнению с таковым у испытуемых 1-ой группы, а также высоким значением нейрогенного тонуса ($2,88 \pm 0,11$ перф.ед.; $p \leq 0,01$) (табл. 2, рис. 1, 2). Это свидетельствует о значительной активности симпатических адренергических волокон, что приводит к увеличению жесткости сосудистой стенки и, следовательно, к увеличению периферического сопротивления [22]. Повышенная жесткость сосудистой стенки, вероятно, и обуславливает низкие показатели флкса, а также является причиной невысокой перфузии [23]. Кроме того, достоверно сниженным было значение амплитуды дыхательных волн ($2,42 \pm 0,28$ перф.ед.; $p \leq 0,01$), вклад которых в общую мощность спектра составил 1,72% (табл. 2; рис. 1, 2), что свидетельствует о сниженном притоке крови в микроциркуляторное русло за счет спазма приносящих сосудов [22 – 23]. Следовательно, данный тип микроциркуляции менее сбалансированный, чем аperiодический, что подтверждается достоверно меньшим (на 19,6%; $p \leq 0,01$) значением ИЭМ ($2,01 \pm 0,16$) (табл. 1; рис. 1). Исходя из собственных и литературных данных [4, 7, 14], этот тип ЛДФ-граммы можно отнести к гипоемическому или спастическому типу микрогемодинамики.

Третий тип ЛДФ-грамм встречался у 31,6% испытуемых и достоверно отличался от двух предыдущих типов высоким уровнем ПМ ($36,34 \pm 1,19$ перф.ед.; $p \leq 0,001$) и относительно монотонным уровнем колебаний тканевого кровотока, о чем свидетельствуют низкие значения Kv ($6,45 \pm 0,96\%$; $p \leq 0,001$) и СКО ($2,26 \pm 0,29$ перф.ед.; $p \leq 0,001$), по сравнению с таковыми у испытуемых 1 и 2 группы (табл. 1, рис. 1). Отличительной особенностью ЛДФ-грамм этого типа являлось то, что амплитудные значения всех спектральных компонентов были достоверно выше по сравнению с таковыми у испытуемых 1 и 2 групп (табл. 2; рис. 1, 2). Высокие амплитудные значения и вклады в общую мощность спектра миогенного и нейрогенного компонентов, наряду с их пониженными тонусами, свидетельствуют о сниженных влияниях активных механизмов, что влечет за собой увеличение вклада пассивных механизмов в процесс регуляции за счет роста дыхательных и пульсовых колебаний [3, 5].

Дыхательная волна в микроциркуляторном русле преимущественно связана с дыхательными экскурсиями грудной клетки, а также обусловлена распространением в микрососуды волн со стороны путей оттока крови и перепадами давления в венозной части кровеносного русла [4 – 5]. Местом локализации дыхательных волн в системе микроциркуляции являются венулы. Чаще всего увеличение амплитуды дыхательной волны указывает на снижение микроциркуляторного давления [4]. Амплитуда пульсовой волны, приносящейся в микроциркуляторное русло со стороны артерий, является параметром, который изменяется в зависимости от состояния тонуса резистивных сосудов [24], а ее возрастание связано с увеличением притока крови в микроциркуляторное русло. Таким образом, повышенные дыхательные и пульсовые амплитудные значения, наряду со сниженным влиянием вазомоторного компонента, а, следовательно, низким симпатическим тонусом, свидетельствуют о высоком притоке крови со стороны артериол, связанным с вазодилатацией, и затрудненным оттоке со стороны венул, что обуславливает гиперемиию тканей у испытуемых этой группы. Угнетение вазомоторного механизма и смещение доминанты регуляции микрокровотока в высокочастотную область привело к снижению ИЭМ ($1,70 \pm 0,05$), что на 32% ($p \leq 0,001$) меньше по сравнению с таковыми у испытуемых первой группы и на 12,4% ($p \leq 0,01$) второй группы (табл. 1; рис. 1). Таким образом, полученные данные позволяют отнести данный тип ЛДФ-грамм к гиперемическому типу микрогемодинамики.

В результате проведенного исследования, установлено, что у здоровых лиц женского пола в возрасте 18-23 лет доминирующими являются ритмы флуксуций, обеспечиваемые активными механизмами регуляции. На миогенный механизм, который обеспечивается пейсмекерами в прекапиллярном звене микроциркуляторного русла, накладываются нейрогенные влияния со стороны симпатического звена автономной нервной системы, обуславливающие аperiодические высокоамплитудные колебания кровотока в микрососудах. В случае повышения нейрогенных (симпатических) влияний эти колебания в ЛДФ-грамме отсутствуют, а сама ЛДФ-грамма становится монотонной [11]. Смещение доминанты колебаний по амплитуде в высокочастотную область обусловлена подавлением вазомоторного механизма и компенсаторным усилением парасимпатических влияний в регуляции тканевого кровотока [5]. Таким образом, проведенный анализ позволил выделить 3 типа ЛДФ-грамм.

Первый тип ЛДФ-грамм – аperiодический (нормоемический) характеризуется нерегулярными высокоамплитудными колебаниями кровотока, обусловленными суперпозициями различных компонентов с преобладанием низкочастотных, что отражает сбалансированность механизмов вазомоторной, метаболической и нейрогенной микроциркуляторной регуляции [11]. Подтверждением этого является дендрограмма кластерного анализа показателей микроциркуляции, построенная путем иерархического объединения их в кластеры более высокой общности на основе критерия минимума расстояния в пространстве переменных (рис. 3).

ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ

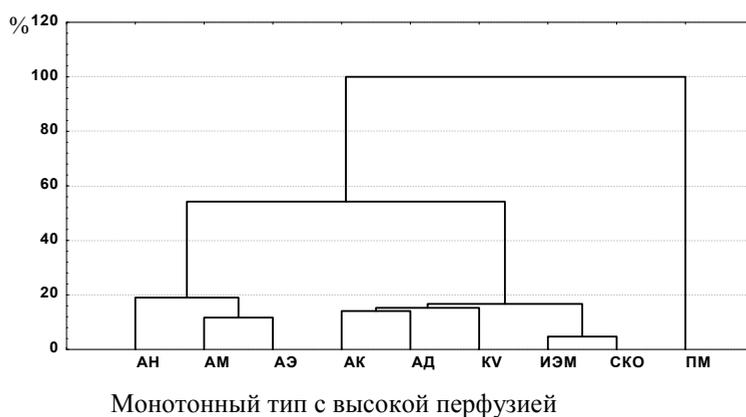
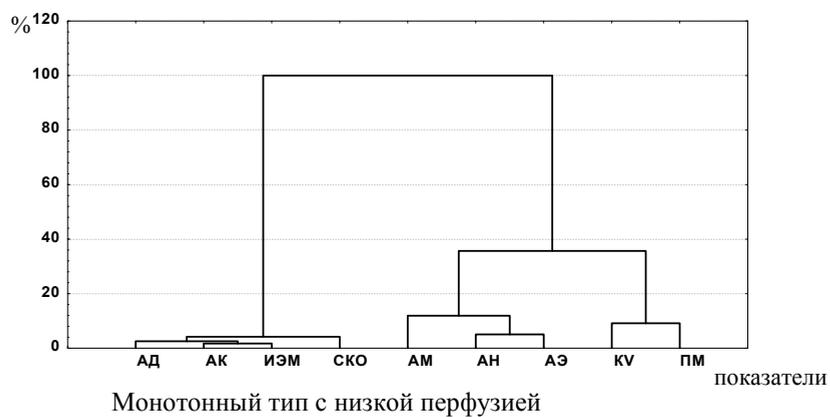
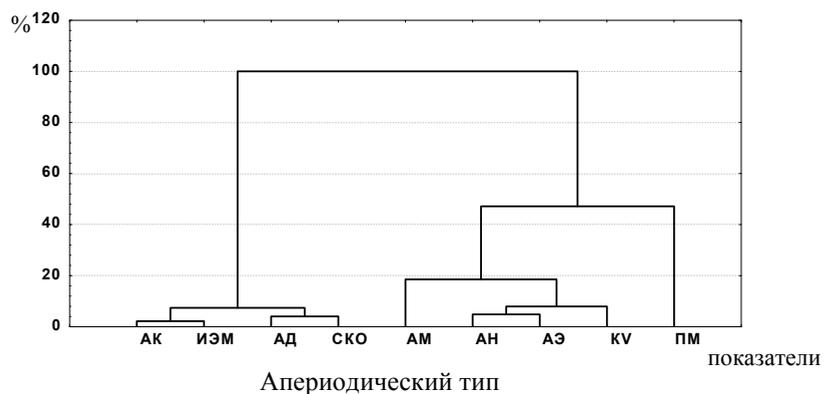


Рис. 3. Дендрограммы кластерного анализа показателей микроциркуляции у испытуемых с разными микрогемодинамическими типами.
Примечание: обозначения указаны в тексте.

Дендрограмма показателей микроциркуляции у испытуемых данной группы состоит из трех кластеров. Первый кластер включает компоненты пассивной регуляции (Ад, Ак) и показатели СКО и ИЭМ. Следовательно, у испытуемых с данным гемодинамическим типом величина СКО и ИЭМ в значительной степени определяется влиянием дыхательных и пульсовых колебаний: чем меньше амплитудные значения дыхательных и пульсовых волн, тем выше ИЭМ [5-6]. Второй кластер объединяет показатель К_v и компоненты активной регуляции микрокровотока (Аэ, Ан, Ам), что свидетельствует о тесной взаимосвязи эндотелиального, нейрогенного и миогенного компонентов с К_v. Известно, что чем больше вазомоторная активность сосудов, тем К_v выше [8]. Этот кластер имеет достаточно тесную связь с третьим кластером, состоящим всего из одного компонента – ПМ, что свидетельствует о большем влиянии на показатель перфузии активных компонентов регуляции.

Второй тип – монотонный с низкой перфузией (гипоемический), характеризуется повышенным нейрогенным тонусом на фоне сниженного влияния дыхательного компонента, что свидетельствует о преобладании симпатических влияний и некоторой констрикции микрососудов. Увеличение жесткости сосудистой стенки обуславливает низкие показатели флакса. Результатом является сниженный приток крови в микроциркуляторное русло, и следовательно, низкий уровень перфузии. Данные механизмы отражаются в дендрограмме, состоящей, как и в предыдущем типе, из трех кластеров (рис. 3). Первый кластер (СКО, ИЭМ, Ад, Ак) отражает влияние пассивных регуляторных механизмов на показатели СКО и ИЭМ, аналогично кластеризации этих показателей у испытуемых с аperiодическим типом микроциркуляции. Второй кластер включает активные компоненты регуляции (Аэ, Ан, Ам), что свидетельствует о близости эндотелиальных, нейрогенных и миогенных регуляторных механизмов. Третий кластер содержит ПМ и К_v, что подтверждает их тесную взаимосвязь, так как, чем больше К_v, тем меньше ПМ [5]. Этот кластер тесно связан со вторым, что свидетельствует о значительном влиянии на величину ПМ активных регуляторных механизмов. Второй и третий кластеры связаны с первым, что отражает опосредованное невысокое влияние дыхательных и пульсовых колебаний на ПМ.

Третий тип – монотонный с высокой перфузией (гиперемический), отличается высоким показателем перфузии и монотонными колебаниями тканевого кровотока, обусловленными низкими показателями флакса и К_v. При этом значительный вклад дыхательных и пульсовых компонентов, наряду со сниженным тонусом вазомоторных колебаний, свидетельствует об относительном ослаблении симпатических влияний и некоторой дилатации микрососудов, что приводит к повышенному притоку со стороны артериол и несколько затрудненному оттоку со стороны венул [1, 7, 11]. Дендрограмма у испытуемых с данным микрогемодинамическим типом также состоит из трех кластеров (рис. 3). Первый включает активные компоненты регуляции микрокровотока (Аэ, Ан, Ам), что свидетельствует о их тесной взаимосвязи. Второй кластер объединяет пассивные компоненты регуляции (Ад, Ак) и показатели СКО, К_v, ИЭМ, отражая, таким образом, четкую зависимость показателей СКО, К_v, ИЭМ от дыхательных и

пульсовых осцилляций у испытуемых с данным микрогемодинамическим типом. Эти два кластера связаны между собой, а также оказывают взаимное влияние на третий кластер, включающий всего один показатель – ПМ, однако длина этой связи максимальна, что определяет опосредованную связь ПМ с активными и пассивными компонентами регуляции.

ВЫВОД

1. На основании значений показателей перфузии, уровня флакса и коэффициента вариации выделены три типа ЛДФ-грамм: аperiodический (36,8% испытуемых), монотонный с низкой (31,6% испытуемых) и высокой перфузией (31,6% испытуемых).
2. Аperiodический (нормоемический) тип характеризуется высокими значениями флакса, коэффициента вариации, индекса эффективности микроциркуляции, доминированием в системе регуляции низкочастотных компонентов на фоне сниженного влияния высокочастотных волн, что указывает на полноценный приток крови в капиллярное русло и своевременный отток периферической крови и свидетельствует о высокой сбалансированности активных и пассивных регуляторных механизмов.
3. Монотонный тип с низкой перфузией (гипоемический или спастический) достоверно отличается от аperiodического типа более низкими значениями перфузии, флакса, индекса эффективности микроциркуляции, амплитудами дыхательной волны, преобладанием симпатических нейрогенных влияний, что свидетельствует о слабом притоке крови в микроциркуляторное русло за счет спазма приносящих сосудов и меньшей, по сравнению с аperiodическим типом, сбалансированностью активных и пассивных регуляторных механизмов.
4. Монотонный тип ЛДФ-граммы с высокой перфузией (гиперемический) характеризуется высокими значениями перфузии, низкими значениями флакса, коэффициента вариации и индекса эффективности микроциркуляции, высокими значениями амплитуд всех ритмов по сравнению с таковыми у двух предыдущих типов, что свидетельствует об угнетении вазомоторного механизма в регуляции микрокровотока, следствием чего является повышенный приток крови со стороны артериол и затрудненный отток со стороны венул.

Список литературы

1. Цехмистренко Т.А. Индивидуально-типологические особенности состояния микроциркуляции крови у девушек / Т.А. Цехмистренко, Т.И. Станишевская // Регионарное кровообращение и микроциркуляция.-2006. – Т.5. – С. 51-57
2. Чернух А.М. Воспаление. – М.: Медицина. – 1979. – 430 с.
3. Чуян Е.Н. Индивидуально-типологические особенности показателей микроциркуляции / Е.Н. Чуян, Н.С. Трибрат, М.Н. Ананченко // Учёные записки Таврического Национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2008. – Том 21 (60), №3. – С.190 – 203.
4. Маколкин В.И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии / В.И. Маколкин, В.В. Бранько, С.А. Богданова. Пособие для врачей. – М.: Россельхозакадемия. – 1999. – 48 с.
5. Крупаткин А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров // М.: Медицина. – 2005. – 254 с.

6. Козлов В. И. Лазерная доплеровская флоуметрия и анализ коллективных процессов в системе микроциркуляции / В. И. Козлов, Л.В. Корси, В.Г. Соколов // Физиология человека. –1998. – Т. 24., №6. – С. 112.
7. Литвин Ф.Б. Возрастные и индивидуально-типологические особенности микроциркуляции у мальчиков, подростков и юношей // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2006, Т. 5. – С. 44-49.
8. Глазная микроциркуляция у больных первичной глаукомой до и после операции / науч. ред. А.В. Муравьев. – Ярославль: Материалы международной конференции в микро- и макроциркуляции. Гемореология, 2005. – 149 с.
9. Логинова Н.К. Лазерная доплерография пульпы зуба // Н.К. Логинова, С.Н. Ермолев, В.В. Сидоров и др. / ФГУ “Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии Росмедтехнологий” / Разрешение на применение новой медицинской технологии / М. – 2008. – С. 5-17.
10. Бакшинский П.П. Вейвлет-анализ общей и глазной микрогемодинамики у больных первичной открытоугольной глаукомой с нормализованным внутриглазным давлением // П.П. Бакшинский, А.Ю. Боголюбовская, Г.А. Дроздова, Ф.Г. Сеидова, А.М. Шамшинова / Глаукома. –2006. – № 3. – С. 7.
11. Козлов В.И. Индивидуально-типологические особенности микроциркуляции у человека // В.И. Козлов, Ф.Б. Литвин, Т.И. Станишевская, М.В. Морозов / Official Journal of the International Academy of Integrative Anthropology. Biomedical and Biosocial Anthropology. – 2007. – №9. – с. 249.
12. Bollinger A. Evaluation of flux motion in man by the laser Doppler technique // A. Bollinger, U. Hoffmann, U.K. Franzeck / Blood Vessels. – 1997. – Vol. 241, №5. – P. 349-362.
13. Станишевская Т.И. Индивидуально-типологические особенности микроциркуляции крови у девушек-студенток с разным соматотипом: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 03.00.13 / Станишевская Татьяна Ивановна. – Мелитополь, Москва, 2006 г. – 174 с.
14. Станишевская Т.И. Основные типы микроциркуляции крови и частота их встречаемости у девушек юго-восточного региона Украины / Ученые записки таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия „Биология, химия”. – 2005. – Т. 18 (56), №1, С.131-141.
15. Mayrovitz H. Effects of permanent magnet nonresting skin blood perfusion in healthy persons assessed by laser Doppler flowmetry and imaging // H. Mayrovitz, E. Groseclose, M. Markov, A. Pilla / Bioelectromagnetics. – 2001. – №22. – P. 494-502.
16. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа. – 1990. – 352 с.
17. Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. – СПб.: Питер. – 2001. – 656 с.
18. Савельев В.С. Исследование микроциркуляции при хронической венозной недостаточности нижних конечностей. Методическое пособие для врачей. М. – 2006. – 25 с.
19. Stefanovska A. Physics of the human cardiovascular system // A. Stefanovska, M. Bracic / Contemporary Physics. – 1999. – V. 40, №1, p.31-35.
20. Kvandal P. 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, H.D. Kvermo, K.A. Kirkeboen / Microvascular Research. - 2003. – V.65. – P. 160-171.
21. Schmid – Schonbein H. 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, V. Blazek, R. Spielmann, F. Linzenich / Int J. Microcir. – 1997. – V.17. – P. 346-359.
22. Thadhani R. pressure and risk of preeclampsia: a prospective study // R. Thadhani, J.L. Ecker, E. Kettle et al. / Obstet. Gynecol. – 2001. – Vol. 97, N 4. – P. 515-520.
23. Шифман Е.М. Преэклампсия, эклампсия, HELLP – синдром. Петрозаводск: Издательство «ИнтелТек». – 2002. – 432с.
24. 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 . М., 2000. – 52 с.
25. Okano C. Modulatory effects of static magnetic fields on pressure of blood in rabbits // C. Okano, H. Okubo / Bioelectromagnetics. – 2001. – №22. – P. 408-418.

Чуян О.М. Індивідуально-типологічний підхід до дослідження процесів мікроциркуляції крові / О.М. Чуян, М.М. Ананченко // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Біологія, хімія. - 2009. - Т. 22 (61). – № 3. – С. 159-173.

Методом лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ) вивчені індивідуально-типологічні особливості показників мікроциркуляції у умовно-здорових дівчат-волонтерів кримського регіону у віці 18-23 років. В результаті дослідження було виділено 3 типи ЛДФ-грам: аперіодичний, монотонний з низькою і високою перфузією. Показано, що найбільш високою збалансованістю регуляторних процесів мікроциркуляції володіють випробовувані з аперіодичним типом ЛДФ-грамми.

Ключові слова: мікроциркуляція крові, метод лазерної доплерівської флоуметрії (ЛДФ), аперіодичний тип, монотонний тип з низькою перфузією, монотонний тип з високою перфузією.

Chuyan E.N. Individually-typological approach to research of processes of microblood circulation / E.N. Chuyan, M.N. Ananchenko // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. Series: Biology, chemistry. - 2009. - Vol. 22 (61). – № 3. – P. 159-173.

By a laser Doppler flowmetry (LDF) is studied individually-typological features of indicators of microcirculation at is conditional-healthy girls-volunteers of the Crimean region at the age of 18-23 years. As a result of research 3 types LDF-GRAM have been allocated: aperiodic, monotonous with low and high perfusion. It is shown that the highest equation regulator processes of microcirculation processes examinees with aperiodic type LDF-grammes.

Keywords: microblood circulation, a method of laser Doppler flowmetry (LDF), aperiodic type, monotonous type with low perfusion, monotonous type with high perfusion.

Поступила в редакцію 19.10.2009 з.