

УДК 612.135-055.2(477).7

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ И ЧАСТОТА ИХ ВСТРЕЧАЕМОСТИ У ДЕВУШЕК ЮГО-ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ

Станишевская Т.И.

Одним из важных показателей состояния микроциркуляции крови наряду с интенсивностью капиллярного кровотока является активное перераспределение потоков крови в капиллярных сетях, что обеспечивает поддержание аэробного метаболизма в тканях. Это перераспределение потоков крови в тканях обусловлено активной вазомоцией прекапиллярных артериол, отличающихся чрезвычайно высокой реактивностью входящих в состав их стенки гладких миоцитов [1]. В определенной степени о состоянии вазомоторного механизма можно судить по данным лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), которая даёт интегральную оценку кожного капиллярного кровотока.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследуемый контингент составили 340 девушек-студенток Мелитопольского государственного педагогического университета, относящиеся к юношеской возрастной группе (16–18-ти лет). В этническом аспекте большинство обследуемых составляли украинки, постоянно проживающие на юго-востоке Украины.

В целях изучения функционального состояния микроциркуляции крови в женском организме был использован метод ЛДФ, позволяющий оценить состояние тканевого кровотока и выявить признаки изменения микроциркуляции под влиянием различных факторов. ЛДФ осуществляли лазерным анализатором кровотока «ЛАКК-01» (производство НПП «Лазма», Россия) с лазерным источником излучения на длине волны 0,63 мкм. Лазерный анализатор соединен с компьютером на базе процессора Pentium II. Исследование состояния микроциркуляции проводили у девушек в положении сидя. Головка оптического зонда (датчика прибора) фиксировалась на вентральной поверхности 4-го пальца левой руки; рука располагалась на уровне сердца. Длительность стандартной записи составляла 2 мин.

Записи ЛДФ-грамм производились в соответствии с методическими рекомендациями Козлова В.И. [2].

Как показали исследования Козлова В.И. [2], интегральная характеристика кровотока регистрируемая при ЛДФ, представляет собой параметр микроциркуляции (ПМ), который является функцией от средней скорости движения эритроцитов, показателя капиллярного гематокрита (Htk) и числа функционирующих капилляров в измеряемом объеме тканей (Nk). $ПМ = V_{ср} \cdot Htk$

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ И ЧАСТОТА ИХ ВСТРЕЧАЕМОСТИ У ДЕВУШЕК ЮГО-ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ

х Nk. ПМ измеряется в усл. ед. и характеризует величину перфузии кровью единицы объёма ткани за единицу времени.

Компьютерная программа обработки ЛДФ-граммы, позволяла определять следующие характеристики микроциркуляции: ПМ – параметр микроциркуляции; СКО – среднее квадратичное отклонение регистрируемых доплеровских сигналов.

$$\left(K_v = \frac{СКО}{ПМ} \cdot 100 \right). \quad (1)$$

Важным этапом ЛДФ-метрии является амплитудно-частотный анализ (АЧС) гемодинамических ритмов колебаний тканевого кровотока. АЧС-анализ производится с помощью специальной компьютерной программы. В результате спектрального разложения ЛДФ-граммы на гармонические составляющие появляется возможность судить о степени выраженности или доминировании тех или иных колебаний тканевого кровотока в тканевой гемодинамике [3, 4]. Программное обеспечение основывается на спектральном разложении ЛДФ-граммы с использованием математического аппарата Фурье. При этом амплитуда каждой гармоники автоматически определяется в диапазоне частот от 0,01 до 1,2 Гц.

При амплитудно-частотном анализе ЛДФ-граммы вычислялись: амплитуда (А) миогенных метаболических колебаний в диапазоне частот от 0,01 до 0,03 Гц (1 – 2 колебания в минуту) (AVLF), вазомоторных колебаний в диапазоне частот от 0,05 до 0,15 Гц (4 – 8 колебаний в мин.) (ALF), дыхательных колебаний в диапазоне частот от 0,2 до 0,3 Гц (АНФ) и пульсовых волн (ACF). Вклад различных ритмических составляющих (Р) оценивался по их мощности в процентном отношении к общей мощности спектра флаксмоций:

$$P = \frac{ALF^2}{(AVLF^2 + ALF^2 + ANF^2 + ACF^2)} \times 100\% \quad (2)$$

Соотношение активных модуляций кожного кровотока, обусловленных миогенным и нейрогенным механизмами, и дополнительных парасимпатических влияний на него рассчитывали как индекс эффективности флаксмоций (ИФМ):

$$ИФМ = \frac{ALF}{(АНФ + АCF)} \quad (3)$$

Запись ЛДФ-грамм осуществляли у испытуемых в положении сидя, датчик прибора фиксировали на вентральной поверхности 4-го пальца левой руки, расположенной на уровне сердца. Время стандартной записи – 2 мин.

Оценка достоверности различий между данными, полученными в исследуемых группах, проводилась с использованием t-критерия Стьюдента для выборок с неравным числом наблюдений (Оуэн Д. Б., 1973). Статистическая обработка результатов исследования проводилась на IBM-PC посредством стандартного программного продукта Microsoft Excel. Обработка полученных данных

производилась с использованием базового пакета программ для статистической обработки данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

У большинства из обследованных девушек преимущественно регистрировались высокоамплитудная ЛДФ-грамма с выраженными вазомоторными волнами второго порядка. ПМ в коже пальцев кисти колебался от 3,4 до 27,4 перф. ед.; в среднем он составил $19,6 \pm 0,43$ перф. ед. Такой разброс значений ПМ свидетельствует о том, что трактовать состояния микроциркуляции по изменчивости ПМ без учета индивидуальных особенностей микроциркуляции нецелесообразно. Сам по себе этот критерий указывает лишь на уровень кровотока и без анализа флакса, коэффициента вариации и особенно амплитудно-частотного спектра не может характеризовать состояние микроциркуляции.

ЛДФ-метрия свидетельствует о том, что скорость движения эритроцитов по микрососудам также, как и их концентрация, подвержены значительным временным колебаниям, среди которых выявляются различные периодические составляющие, в совокупности и образующие амплитудно-частотный спектр. Поскольку в гемодинамическом отношении микроциркуляторное русло является связующим звеном между артериями и венами, то и в микрососудах наблюдается влияние как со стороны артериального, так и венозного полюсов микроциркуляторной системы.

Уровень колебаний тканевого кровотока -- СКО варьировал от 0,57 до 3,23 перф. ед., в среднем составляя $2,06 \pm 0,05$ перф. ед. Коэффициент вариации (Кv) в среднем составлял $13,20 \pm 0,51$ %. Представленные параметры микроциркуляции следует рассматривать как нормативные для обследованной возрастной группы девушек.

Для количественной оценки периодических процессов в системе микроциркуляции применяется спектральный анализ доплерограмм, физиологический смысл которого состоит в анализе соотношения различных ритмических составляющих колебаний тканевого кровотока, по которым можно судить о состоянии регуляторных влияний на кровоток в микрососудах. Приведённые данные свидетельствуют о различном вкладе ритмических составляющих колебаний кожного кровотока в общий спектр флаксмоций. Так, амплитуда очень низкочастотных VLF колебаний составляет 4,3 перф. ед., в результате их вклад в общий спектр флаксмоций равен 55,9 %. Средняя амплитуда низкочастотных LF колебаний составляет 3,4 перф. ед., а их вклад в спектр – 36,1 %. Высокочастотные (HF) колебания кровотока, обусловленные дыхательными колебаниями [5], по амплитуде не превышают 1,3 перф. ед., что составляет 6,8 % от мощности всего спектра. Амплитуда пульсовых (CF) колебаний в норме самая низкая – 0,5 перф. ед., что составляет 1,2 % от мощности всего спектра. ИФМ, показывающий соотношение активных модуляций кожного кровотока, обусловленных миогенным и нейрогенным механизмами и дополнительных парасимпатических влияний на него, у здоровых девушек составляет $1,88 \pm 0,03$. Таким образом, у здоровых лиц доминирующим ритмом флаксмоций является вазомоторный ритм, обусловленный как активностью гладкомышечных

**ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ И ЧАСТОТА ИХ ВСТРЕЧАЕМОСТИ У
ДЕВУШЕК ЮГО-ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ**

компонентов в стенке микрососудов прекапиллярного звена микроциркуляторного русла, так и метаболическими влияниями на их активность, что отражают представленные гистограммы амплитудно-частотного спектра. Особенно отчетливо это видно при сопоставлении вклада низкочастотных и высокочастотных ритмических флуктуаций кровотока в микрососудах, оцениваемых по соотношению мощностей спектра. Самый существенный вклад принадлежит колебаниям с очень низкой (VLF) и низкой (LF) частотой. Максимальный вклад в общую мощность спектра (55,9 %) составляют VLF-колебания. LF-колебания составляют вклад в мощность спектра 36,1 %. Вклад в мощность спектра высокочастотных колебаний не превышает 6,8 %, а сердечных колебаний – 1,2 %. Эти соотношения ритмических составляющих колебаний тканевого кровотока отражают сбалансированность активных вазомоторных влияний и относительно пассивных влияний высокочастотных и сердечных колебаний на модуляцию тканевого кровотока.

Вместе с тем, изучение индивидуальных особенностей микроциркуляции у обследованных методом ЛДФ девушек позволило выявить у них разные типы микроциркуляции крови. В результате исследования нами были выделены 3 типа ЛДФ-грамм, отражающих состояние микроциркуляции крови у обследованных девушек.

К I типу микроциркуляции были отнесены те девушки, которые при записи имели четко выраженную аperiodическую ЛДФ-грамму. Таких было выявлено 98 человек, что составило 28,8 % от общего числа обследованных девушек.

Аperiodическая ЛДФ-грамма характеризовалась средними значениями ПМ: от 8-9 до 20 перф. ед. и относительно высоким уровнем временных колебаний кровотока (уровнем флакса) от 2 до 3 перф. ед. В среднем ПМ для этого типа составил $15,3 \pm 0,44$ перф. ед.; СКО составило $2,97 \pm 0,10$ перф. ед.; K_v имел значение $19,8 \pm 0,6$ % (табл. 1).

Таблица 1.

Параметры микроциркуляции при монотонной ЛДФ-грамме с высоким показателем ПМ (II тип)

| Параметры статистической обработки | Параметр микроциркуляции ПМ, перф. ед. | Уровень флакса, СКО, перф. ед. | Коэффициент вариации, K_v , % | ИФМ |
|------------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|------|
| M | 25,70 | 1,67 | 6,50 | 1,73 |
| σ | 4,50 | 0,67 | 0,93 | 0,84 |
| m | 0,51 | 0,11 | 0,14 | 0,04 |

Спектральный анализ амплитудно-частотного спектра аperiodических ЛДФ-грамм показал, что для данного типа максимальный вклад в общую мощность спектра наблюдается со стороны VLF-колебаний – $54,10 \pm 0,9$ % и LF-колебаний – $41,60 \pm 0,83$ %. Высокочастотные HF-колебания ($3,70 \pm 0,17$ %) и пульсовые колебания SF-колебания ($0,6 \pm 0,02$ %) занимают незначительную часть в общем

спектре (табл. 2). Показатель ИФМ, характеризующий эффективность флуксуций и высокую сбалансированность "активных" и "пассивных" модуляций тканевого кровотока, в среднем составлял $2,20 \pm 0,05$.

Данный тип микроциркуляции нами был обозначен как "нормоемический", который характеризуется высокой сбалансированностью регуляторных влияний со стороны симпатического и парасимпатического звеньев регуляции.

Таблица 2.

Спектральная характеристика флуксуций при аperiodической ЛДФ-грамме

| n=98 | VLF-колебания (частотный диапазон от 2-3 колеб./мин) | | LF-колебания (частотный диапазон от 4-12 колеб./мин) | | HF-колебания (частотный диапазон от 13 -30 колеб./мин) | | SF-колебания (частотный диапазон от 50-90 колеб./мин) | |
|----------|---|---------|---|---------|---|---------|--|---------|
| | А, перф. ед. | Вкл., % | А, перф. ед. | Вкл., % | А, перф. ед. | Вкл., % | А, перф. ед. | Вкл., % |
| М | 5,70 | 54,10 | 5,00 | 41,60 | 1,50 | 3,70 | 0,60 | 0,60 |
| σ | 1,50 | 9,88 | 1,34 | 8,34 | 0,41 | 1,67 | 0,18 | 0,27 |
| m | 0,19 | 0,90 | 0,15 | 0,83 | 0,11 | 0,17 | 0,02 | 0,02 |

Из обследованных девушек 193 человека (56,7 %) имели второй тип ЛДФ-граммы, который характеризовался сравнительно высокими параметрами ПМ и относительно монотонным характером флуксуций.

Для данного типа ЛДФ-грамм ПМ в среднем составлял $25,70 \pm 0,51$ перф. ед. Параметры, характеризующие данный тип ЛДФ-грамм, приведены в табл. 3. Среднее квадратическое отклонение (СКО) для данного типа ЛДФ-грамм составило $1,67 \pm 0,11$ перф. ед., что существенно ниже, чем при I типе. Коэффициент вариации K_v составил $6,50 \pm 0,14$ %, в то время как при I типе он был равен $19,80 \pm 0,6$ %.

Таблица 3.

Параметры микроциркуляции при монотонной ЛДФ-грамме с высоким показателем ПМ (II тип)

| Параметры статистической обработки | Параметр микроциркуляции ПМ, перф. ед. | Уровень флукса, СКО, перф. ед. | Коэффициент вариации, K_v , % | ИФМ |
|------------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|------|
| М | 25,70 | 1,67 | 6,50 | 1,73 |
| σ | 4,50 | 0,67 | 0,93 | 0,84 |
| m | 0,51 | 0,11 | 0,14 | 0,04 |

Амплитудно-частотный спектр девушек II типа представлен в табл. 4. Максимальный вклад отмечен со стороны VLF-колебаний $53,80 \pm 1,32$ % и LF-

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ И ЧАСТОТА ИХ ВСТРЕЧАЕМОСТИ У ДЕВУШЕК ЮГО-ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ

колебаний – $38,50 \pm 0,99$ %. HF-колебания по своей амплитуде равнялись $1,20 \pm 0,08$ перф. ед., CF-колебания – $0,40 \pm 0,02$ перф. ед., что соответствовало вкладу в общую мощность спектра – $6,90 \pm 0,62$ % и $0,80 \pm 0,09$ % (соответственно). ИФМ в среднем составил $1,73 \pm 0,04$. У девушек со II типом ЛДФ-граммы также наблюдается преобладание вазомоторных ритмов, однако, оно выражено в несколько меньшей степени, чем у девушек с I типом ЛДФ-грамм. В результате у девушек со II типом ЛДФ-грамм возрастает вклад "пассивных" модуляций тканевого кровотока в формирование амплитудно-частотной структуры спектра флуксуций. В сочетании с повышенным показателем перфузии тканей (ПМ) это характеризует относительно высокий уровень тканевой гиперемии. Учитывая гиперемический характер микроциркуляции, а также снижение вклада вазомоторного ритма в модуляцию тканевого кровотока, данный тип микроциркуляции был нами обозначен как "гиперемический".

Таблица 4.

Спектральная характеристика флуксуций у девушек при монотонной ЛДФ-грамме с высоким показателем ПМ (II тип)

| n = 193 | VLF-колебания (частотный диапазон от 2-3 колеб./мин) | | LF-колебания (частотный диапазон от 4-12 колеб./мин) | | HF-колебания (частотный диапазон от 13-30 колеб./мин) | | CF-колебания (частотный диапазон от 50-90 колеб./мин) | |
|----------|---|---------|---|---------|--|---------|--|---------|
| | А, перф. ед. | Вкл., % | А, перф. ед. | Вкл., % | А, перф. ед. | Вкл., % | А, перф. ед. | Вкл., % |
| М | 3,30 | 53,80 | 2,80 | 38,50 | 1,20 | 6,90 | 0,40 | 0,80 |
| σ | 0,52 | 9,22 | 0,64 | 6,92 | 0,53 | 4,39 | 0,10 | 0,62 |
| m | 0,09 | 1,32 | 0,09 | 0,99 | 0,08 | 0,62 | 0,02 | 0,09 |

III тип ЛДФ-грамм, который наблюдался у 49 девушек (в 14,5 % случаев), напротив, характеризовался относительно низкими значениями ПМ и также сравнительно монотонным характером кривой. Для данного типа ЛДФ-грамм ПМ в среднем составлял $6,91 \pm 0,09$ перф. ед. Параметры, характеризующие данный тип ЛДФ-грамм, приведены в табл. 5. СКО для данного типа ЛДФ-грамм составило $1,53 \pm 0,04$ перф. ед., что существенно ниже, чем при I типе; Kv составил $22,10 \pm 0,09$ %.

При анализе амплитудно-частотного спектра ЛДФ-грамм III типа отмечены параметры, представленные в табл. 5.

Основной вазомоторный ритм в частотном диапазоне от 4 до 12 колеб./мин имеет амплитуду $2,10 \pm 0,03$ перф. ед., существенно ниже, чем в ЛДФ-граммах I и II типов. В результате вклад LF-колебаний в общую мощность спектра составляет только $32,00 \pm 0,5$ %, в то время как в I типе он составлял $41,20 \pm 0,8$ %, а во II типе – $38,50 \pm 0,99$ %. Это во многом связано с тем, что у девушек, имеющих III тип ЛДФ-

Таблица 5.

Параметры микроциркуляции при монотонной ЛДФ-грамме с низким показателем ПМ (III тип)

| Параметры статистической обработки | Параметр микроциркуляции ПМ, перф. ед. | Уровень флакса, СКО, перф. ед. | Коэффициент вариации, К _v , % | ИФМ |
|------------------------------------|--|--------------------------------|--|------|
| М | 60,91 | 1,53 | 22,10 | 1,86 |
| σ | 1,26 | 0,53 | 1,32 | 0,39 |
| m | 0,09 | 0,04 | 0,09 | 0,03 |

грамм, наблюдается относительно повышенный тонус со стороны симпатического звена и общая бледность кожного покрова. Вклад в мощность амплитудно-частотного спектра VLF-колебаний составил $60,10 \pm 0,51$ %, HF-колебаний – $6,90 \pm 0,18$ %, CF-колебаний – $1,00 \pm 0,06$ % (табл. 6).

Основной вазомоторный ритм в частотном диапазоне от 4-х до 12-и колеб./мин имеет амплитуду $2,10 \pm 0,03$ перф. ед., существенно ниже, чем в ЛДФ-граммах I и II типов. В результате вклад LF-колебаний в общую мощность спектра составляет только $32,00 \pm 0,5$ %, в то время как в I типе он составлял $41,20 \pm 0,8$ %, а во II типе – $38,50 \pm 0,99$ %. Это во многом связано с тем, что у девушек, имеющих III тип ЛДФ-грамм, наблюдается относительно повышенный тонус со стороны симпатического звена и общая бледность кожного покрова. Вклад в мощность амплитудно-частотного спектра VLF-колебаний составил $60,10 \pm 0,51$ %, HF-колебаний – $6,90 \pm 0,18$ %, CF-колебаний – $1,00 \pm 0,06$ % (табл. 6).

Таблица 6.

Спектральная характеристика флаксмоций у девушек при монотонной ЛДФ-грамме с низким показателем ПМ (III тип)

| n = 49 | VLF-колебания | | LF-колебания | | HF-колебания | | CF-колебания | |
|--------|---------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| | А, перф. ед. | Вкл., % | А, перф. ед. | Вкл., % | А, перф. ед. | Вкл., % | А, перф. ед. | Вкл., % |
| М | 2,90 | 60,01 | 2,10 | 32,00 | 0,90 | 6,90 | 0,40 | 1,00 |
| σ | 0,44 | 7,15 | 0,37 | 6,81 | 0,21 | 2,67 | 0,14 | 0,77 |
| m | 0,03 | 0,51 | 0,03 | 0,5 | 0,02 | 0,18 | 0,01 | 0,06 |

III тип ЛДФ-грамм соответствовал существенно сниженному уровню перфузии тканей кровью и был обозначен нами как "гипоемический". Для данного типа микроциркуляции характерно преобладание симпатического звена в регуляции тканевого кровотока, при котором, по-видимому, имеет место спазм сосудов прекапиллярного звена.

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ И ЧАСТОТА ИХ ВСТРЕЧАЕМОСТИ У ДЕВУШЕК ЮГО-ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ

ВЫВОДЫ

1. Существенные колебания основных показателей микроциркуляции в трёх типах лазерных доплеровских флоуметрограмм позволили выделить среди обследованных девушек три типа микроциркуляции: нормоемический, при котором наблюдается «апериодическая» лазерная доплеровская флоуметрограмма; гиперемический, которому соответствует «монотонная» флоуметрограмма с высоким показателем микроциркуляции; гипоемический тип, при котором выявлена «монотонная» лазерная доплеровская флоуметрограмма с низким показателем ПМ.

2. Одну треть обследованных составили девушки юго-восточного региона Украины (28,8 % от общего числа случаев), которые имели нормоемический тип микроциркуляции.

3. Большая часть девушек (56,7 %) имели гиперемический тип микроциркуляции.

4. Девушки с гипоемическим типом микроциркуляции наблюдались в обследованной популяции в 14,5 % случаев.

Список литературы

1. Козлов В.И., Соколов В.Г. Исследование колебаний кровотока в системе микроциркуляции // Применение лазерной доплеровской флоуметрии в медицинской практике. – М, 1998. – С. 8-14.
2. Фолков Б., Нил Э. Кровообращение. – М.: Медицина, 1976. – 464 с.
3. Hoffmann U., Yanar A., Bolinger A. The frequency histogram – A new method for the evaluation of Laser Doppler Flux Motion // Microvascul. Res. – 1990. – V. 40. – P. 293-301.
4. Schmid-Schonbein H., Ziege S., et al. Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion // Inter. F. Microcircul. – 1997. – V. 17. – P. 346-359.
5. Zweifach B. Functional behavior of the microcirculation. – Springfield, Illinois, 1961. – P. 23-67.

Поступила в редакцию 27.09.2005 г.