

УДК 612.135-055.2

РЕАКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ДЕВУШЕК

ПРИ ТЕПЛОВОЙ ПРОБЕ

Станишевская Т.И.

Изучение реакции микрососудов на локальное изменение температуры представляет особый интерес. Исследования, проводимые в течение ряда лет свидетельствуют о высокой функциональной лабильности кровотока в микрососудистых сетях, которая является необходимым условием приспособляемости к постоянно меняющимся потребностям организма [1, 2].

Известно, что температура внутренних органов и тканей, несмотря на колебания температуры окружающей среды, поддерживается на относительно постоянном уровне в силу физиологических механизмов терморегуляции [3, 4]. Эти механизмы терморегуляции связаны с перераспределением крови в сосудах и изменением объема циркулирующей крови. Поскольку система микроциркуляции тонко реагирует на любые воздействия факторов внешней и внутренней среды, то ее изменения будут сопровождаться изменениями как структурных параметров микрососудов, так и пассажа крови по ним [5, 6]. Отсюда становится понятным интерес исследователей к изучению реакции сосудов микроциркуляторного русла на изменение окружающей температуры.

Структурно-функциональные изменения в микроциркуляторном русле при локальном тепловом воздействии на ткань обусловлены различными механизмами адаптации, среди которых исследователи выделяют миогенный, гуморальный и нейрогенный механизмы [3]. Эти механизмы включаются в регуляцию кровотока в зависимости от приложения температурного воздействия к тому или иному звену сосудистого русла, силе и временной протяженности действия температурного фактора и при определенных условиях могут приводить к нарушениям нутритивной функции капиллярного кровотока, повреждению клеточных мембран, нарушению строения стенок микрососудов и вплоть до необратимых изменений в системе микроциркуляции. Поэтому особенности действия этих механизмов реакции кровотока на тепловое воздействие по-прежнему остаются актуальным вопросом для исследователей.

Целью данного исследования явилось изучение функционального состояния микроциркуляции крови в женском организме.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе работы обследованы 75 практически здоровых девушек в возрасте 16-18 лет разных соматотипов, студенток Мелитопольского государственного

педагогического университета, в этническом аспекте большинство обследуемых составили украинки, постоянно проживающие на юго-востоке Украины.

В целях изучения функционального состояния микроциркуляции крови в женском организме был использован метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), позволяющей 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 15-20 минут (до полного восстановления кровотока после нагревания на прежний уровень).

Все записи ЛДФ-граммы производились в первой половине дня с 10 до 12 часов в соответствии с методическими рекомендациями Козлова В.И. и соавт. [3]. 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). $ПМ = V_{ср.} \times Htk \times Nk$. ПМ измеряется в усл. ед. и характеризует величину перфузии кровью единицы объема ткани за единицу времени [5, 7].

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

$$Kv = \frac{СКО}{ПМ} \cdot 100 \quad (1)$$

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. 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 минуту) (ALF) [8], 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 флуксуций:

$$P = ALF2 / (AVLF2 + ALF2 + AHF2 + ACF2) \cdot 100 \% \quad (2)$$

Соотношение активных модуляций кожного кровотока, обусловленные миогенным и нейрогенным механизмами, и дополнительных парасимпатическими влияниями на него рассчитывали как индекс эффективности флаксмоций:

$$ИФМ = ALF / AHF + ACF \quad (3)$$

Для выявления реактивности кожного кровотока проводили тепловую пробу.

Нагрев исследуемой вентральной поверхности 4 пальца осуществляли специальным термостатом до температуры 40 – 42°C. По изменению кровотока в отношении исходной величины судили о состоянии гемодинамического ответа. При этом рассчитывались: ПМисх - исходное значение тканевого кровотока; ПМтах. – максимальный прирост кровотока, $T_{1/2}$ – время полувосстановления кровотока после прекращения тепловой нагрузки; РКК – резерв капиллярного кровотока.

$$РКК = (ПМтах / ПМисх.) \times 100 \% \quad (4)$$

Оценка достоверности различий между данными, полученными в исследуемых группах, проводилась с использованием t-критерия Стьюдента для выборок с неравным числом наблюдений. 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

На рис. 1 представлена типичная реакция кожной микроциркуляции на локальное нагревание кожного покрова специальным датчиком-термостатом до 41 – 42°C. При проведении тепловой пробы наблюдается закономерный подъем уровня микроциркуляции, который возникает в результате тепловой гиперемии. Однако по мере нарастания температуры подъем ПМ происходит в двух фазовом режиме. В первую начальную фазу нагревания имеет место резкое усиление вазомоторной активности и возрастание амплитуды флакса при фактически неизменном среднем уровне ЛДФ-сигнала, так как в этот период он мало отличается от фоновых показателей. Затем наступает вторая фаза тепловой гиперемии – фаза постепенного роста ПМ, сопровождаемое снижением уровня флакса. По достижении максимального прироста ПМ уровень тканевой перфузии переходит в новое стационарное состояние, о чем свидетельствует выход ЛДФ-граммы на плато.

Параллельно с записью ЛДФ-граммы проводился ее амплитудно-частотный анализ, что позволило выявить изменения в амплитудно-частотном спектре. Так, во второй фазе, соответствующей периоду постепенного нарастания уровня микроциркуляции, наблюдается достоверное снижение аperiodических высокоамплитудных колебаний кровотока и усиление высокочастотных и пульсовых колебаний (рис. 2).

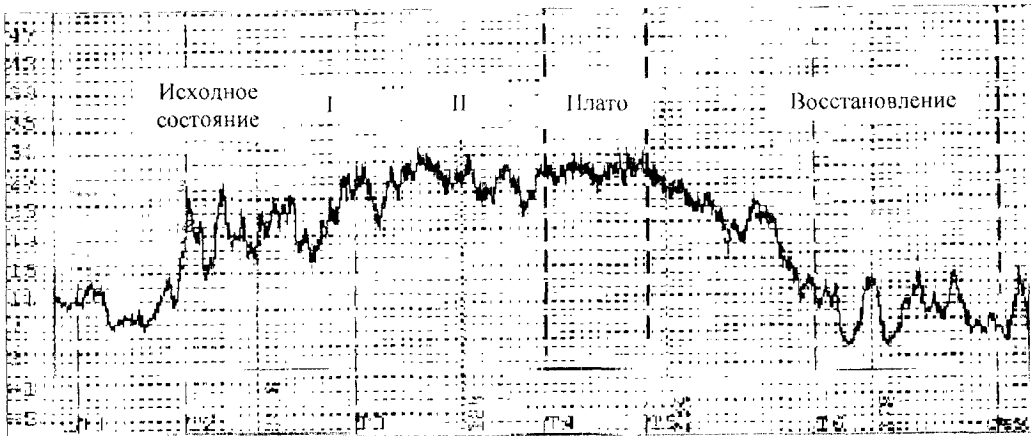


Рис. 1. ЛДФ-грамма при тепловой пробе.

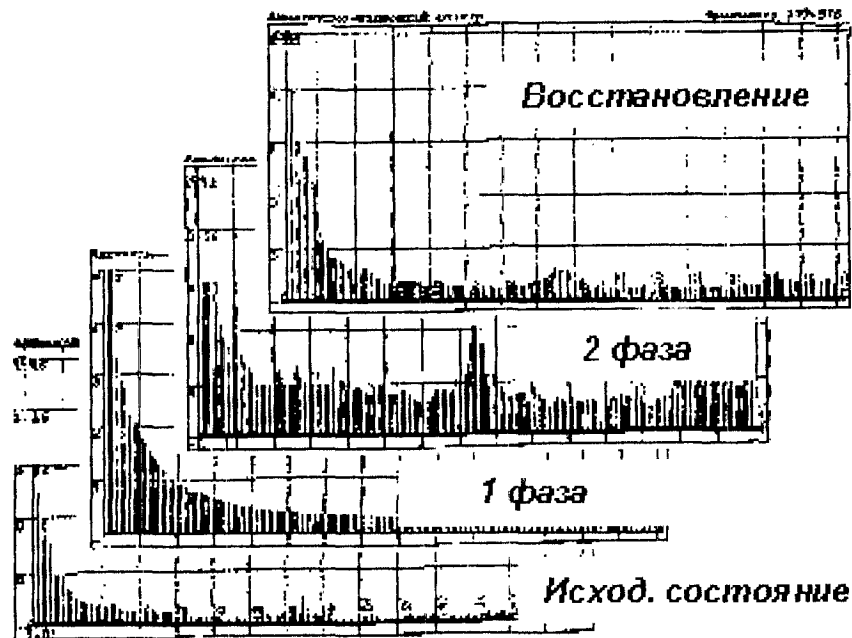


Рис. 2. Амплитудно-частотные спектры ЛДФ-граммы в разные фазы тепловой пробы у девушки 17,5 лет.

Прекращение локального нагревания кожной поверхности в зоне тестирования ведет к постепенному снижению ПМ до исходного уровня. Период восстановления занимает обычно 2 мин ($T_{1/2}$ равно $129,8 \pm 5,04$ с). В период восстановления вазомоторная активность возрастает и достигает исходного уровня, снижается интенсивность высокочастотных и пульсовых колебаний, в ЛДФ-грамме вновь появляются высокоамплитудные аperiодические колебания кровотока.

РЕАКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ДЕВУШЕК

Исходное состояние тканевого кровотока до теплового воздействия, относительного которого определялась последующая реактивность микрососудов, соответствовало возрастной норме [1]. В среднем у обследуемых девушек исходный параметр микроциркуляции ($ПМ_{исх.}$) составил $17,9 \pm 0,98$ перф. ед., СКО $2,02 \pm 0,06$ перф. ед. Амплитудно-частотный спектр колебаний кровотока на данном этапе имел следующие показатели (табл. 1): максимальная амплитуда отмечена со стороны VLF-колебаний $6,5 \pm 0,25$ перф. ед., амплитуда LF-колебаний $4,0 \pm 0,16$ перф. ед., минимальные амплитуды отмечены у HF-колебаний $1,4 \pm 0,06$ перф. ед. и CF-колебаний $0,5 \pm 0,02$ перф. ед.

Таблица 1.

Изменение амплитудно-частотного спектра флуктуаций кровотока в системе микроциркуляции в разные фазы тепловой гиперемии

Фазы реакции	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., %
до нагревания	$6,5 \pm 0,25$	$69,6 \pm 0,7$	$4,0 \pm 0,16$	$26,6 \pm 0,3$	$1,4 \pm 0,06$	$3,3 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,02$	$0,5 \pm 0,02$
I фаза нагревания	$2,4 \pm 0,08$	$59,2 \pm 0,9$	$1,9 \pm 0,06$	$34,0 \pm 1,8$	$0,7 \pm 0,03$	$6,8 \pm 0,5$	$0,3 \pm 0,01$	$1,0 \pm 0,24$
II фаза нагревания	$1,8 \pm 0,05$	$47,1 \pm 1,7$	$1,6 \pm 0,04$	$39,7 \pm 1,5$	$0,6 \pm 0,05$	$4,4 \pm 0,5$	$0,8 \pm 0,02$	$8,8 \pm 0,13$
фаза восстановления	$2,9 \pm 0,07$	$43,7 \pm 2,1$	$2,9 \pm 0,05$	$40,9 \pm 1,7$	$1,7 \pm 0,07$	$14,1 \pm 0,7$	$0,5 \pm 0,06$	$1,3 \pm 0,16$

Первая фаза реакции тканевого кровотока на нагревание характеризовалась общим снижением амплитуды размаха колебаний кровотока, которое достигает своего максимума ко второй фазе реакции. На этом фоне обращает на себя внимание увеличение вклада вазомоторных колебаний кровотока в общую мощность спектра. Так, вклад VLF-колебаний по сравнению с исходным состоянием снижается до $59,2 \pm 0,90$ %, а вклад LF-колебаний, напротив, увеличивается до $34,0 \pm 1,80$ %; возрастает также вклад HF-колебаний и CF-колебаний ($6,8 \pm 0,48$ % и $1,0 \pm 0,24$ %, соответственно). Во вторую фазу реакции на тепловое воздействие ПМ достигает максимального значения ($ПМ_{макс.} 28,9 \pm 1,07$ перф. ед.). При этом, вазомоторный ритм сохраняется на относительно высоком уровне, вместе с тем усиливаются HF-колебаний и CF-колебаний ($4,4 \pm 0,50$ % и $8,8 \pm 0,13$ %, соответственно).

Выход ЛДФ-граммы на плато даёт представление о максимальном резерве капиллярного кровотока (РКК) и об уровне реактивности системы микроциркуляции. Для девушек РКК был равно $171,4 \pm 7,59$ %. Амплитуды VLF- и LF-колебаний на данной фазе реакции практически сравниваются и имеют значение $1,8 \pm 0,05$ и $1,6 \pm 0,04$ перф.

ед. (соответственно). HF-колебания имеют амплитуду равную $0,6 \pm 0,05$ перф. ед. и CF-колебания – $0,8 \pm 0,02$ перф. ед.

После прекращения теплового воздействия происходит постепенное возвращение параметров микроциркуляции к исходному уровню. Важной величиной, характеризующей данный переход, является время полувосстановления – $T_{1/2}$, для девушек данный показатель имел значение $129,8 \pm 5,04$ сек. При анализе амплитудно-частотного спектра фазы восстановления отмечены следующие показатели амплитудно-частотного спектра: VLF-колебания – $2,9 \pm 0,07$ перф. ед., LF-колебания – $2,9 \pm 0,05$ перф. ед., HF-колебания – $1,7 \pm 0,07$ перф. ед., CF-колебания – $0,5 \pm 0,06$ перф. ед.

Необходимо отметить, что реакция тканевого кровотока на нагревания не была одинаковой у девушек с разными типами микроциркуляции. Это означает, что разные типы микроциркуляции характеризуются и разными уровнями реактивности микрососудов в условиях тепловой гиперемии.

На рис. 3 представлена ЛДФ-грамма при тепловой гиперемии у девушки с нормоемическим типом микроциркуляции. Девушки с этим типом микроциркуляции имели следующие показатели тканевого кровотока при ЛДФ-метрии: $PM_{исх}$ равном $17,6 \pm 0,58$ перф. ед.; максимальный прирост параметра микроциркуляции PM_{max} $30,3 \pm 1,08$ перф. ед.; РКК был равен $173,9 \pm 5,8$ %. Время восстановления капиллярного кровотока ($T_{1/2}$) для девушек I типом ЛДФ-граммы составляло $128,0 \pm 6,2$ сек (табл. 2).

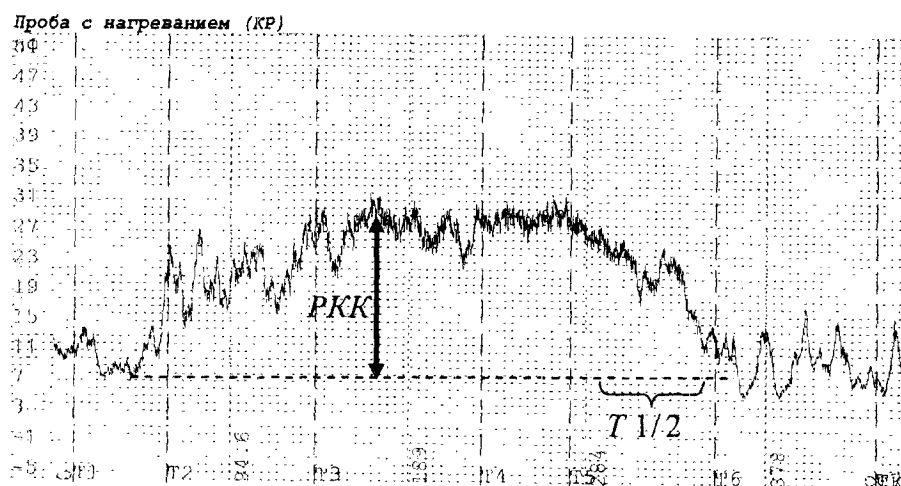


Рис. 3. ЛДФ-грамма при тепловой пробе при нормоемическом типе микроциркуляции у девушки 17,0 лет.

На рис. 4 воспроизведена реакция тепловой гиперемии для девушки с гиперемическим типом микроциркуляции. На ней отчетливо видно, что при данном типе микроциркуляции снижен резерв капиллярного кровотока до $133,8 \pm 3,8$ %, а время полувосстановления кровотока ($T_{1/2}$) удлинено до $149,4 \pm 10,8$ сек.

Как показано в табл. 2, у девушек со II типом ЛДФ-грамм в исходном состоянии параметр микроциркуляции крови PM составил $24,9 \pm 0,99$ перф. ед.;

после нагревания максимальное значение тканевой перфузии достигло $35,8 \pm 1,08$ перф. ед. Резерв капиллярного кровотока (РКК) для девушек данного типа микроциркуляции составил $133,8 \pm 3,8$ %. Время полустановления кровотока ($T_{1/2}$) удлинено до $149,4 \pm 10,8$ сек (табл. 2).

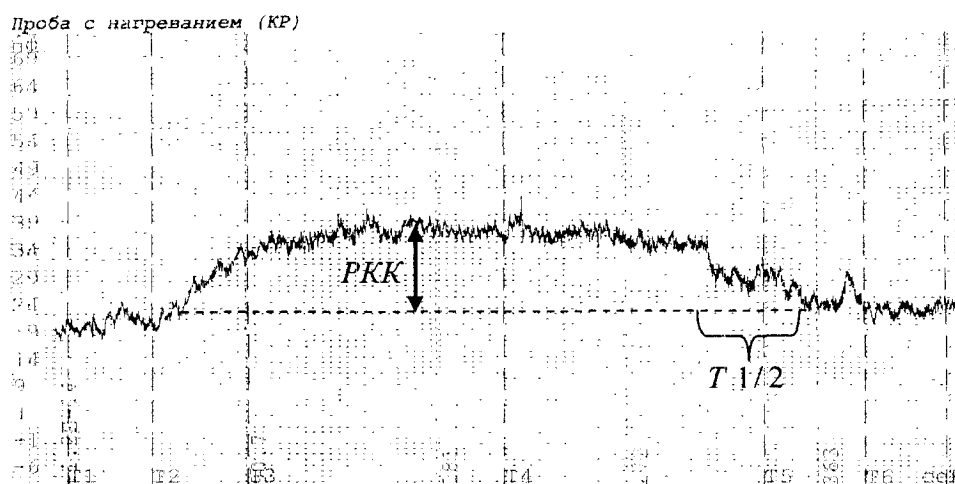


Рис. 4 ЛДФ-грамма при тепловой пробе при гиперемическом типе микроциркуляции у девушки 17,0 лет.

Таблица 2.
Особенности реактивности микрососудов при тепловой гиперемии у девушек с разными типами микроциркуляции

Типы микроциркуляции	ПМ _{исх.} , перф. ед.	ПМ _{макс.} , перф. ед.	Δ ПМ _{макс.} - ПМ _{исх.} , перф. ед.	РКК, %	T _{1/2} , сек
Нормотонический (I тип ЛДФ-граммы)	$17,6 \pm 0,58$	$30,3 \pm 1,08$	$12,7 \pm 0,5$	$173,9 \pm 5,8$	$128,0 \pm 6,2$
Гиперемический (II тип ЛДФ-граммы)	$24,9 \pm 0,99$	$35,8 \pm 1,08$	$10,9 \pm 0,09$	$133,8 \pm 3,8$	$149,4 \pm 10,8$
Гипоемический (III тип ЛДФ-граммы)	$7,4 \pm 0,41$	$20,5 \pm 1,81$	$13,1 \pm 1,04$	$206,5 \pm 19,3$	$111,9 \pm 7,0$

У девушек с гипоемическим типом микроциркуляции реакция тепловой гиперемии характеризовалась иными параметрами. Для них преимущественно характерны: сравнительно высокий резерв капиллярного кровотока и более быстрое восстановление исходного уровня микроциркуляции (рис. 5).

Как показано в табл. 2, у девушек с гипоемическим типом микроциркуляции при исходном значении параметра микроциркуляции ПМ $-7,4 \pm 0,41$ перф. ед. максимальный прирост тканевой перфузии на пике тепловой реакции достигает $20,5 \pm 1,81$ перф. ед.; в результате резерв капиллярного кровотока (РКК) составил в среднем $206,5 \pm 19,3$ %.

Время полувосстановления тканевого кровотока ($T_{1/2}$) у девушек с гипоемическим типом микроциркуляции имело значение $111,9 \pm 7,07$ сек.

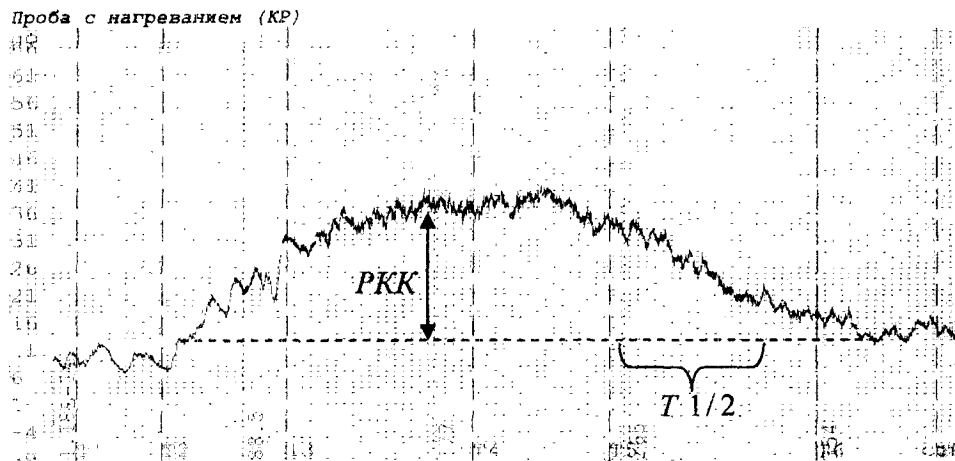


Рис. 5. ЛДФ-грамма при тепловой пробе у девушки 18,0 лет с гипоемическим типом микроциркуляции.

Таким образом, у девушек независимо от индивидуально-типологических особенностей микроциркуляции при локальном нагревании кожи отмечалась 2-х фазная реакция системы микроциркуляции. Такой тип реакции, видимо, связан со сменой механизмов регуляции тканевого кровотока при достижении максимальной дилатации микрососудов во время тепловой гиперемии. В I фазу реакции (при незначительном повышении температуры) активизируется вазомоторный механизм модуляции флуксуций. При дальнейшем повышении температуры (II фаза реакции) достигается максимальная дилатация микрососудов, сопровождаемая максимальным повышением ПМ. При этом, на фоне снижения метаболических влияний на тканевый кровоток возрастает значение пассивных механизмов модуляции кровотока, обусловленных респираторными и пульсовыми колебаниями кровотока. Таким образом, у здоровых лиц тепловой дилатации микрососудов непосредственно предшествует фаза усиления вазомоторной активности.

Реакция на тепловую пробу самым непосредственным образом зависит от индивидуально-типологических особенностей микроциркуляции. При сопоставлении реакции на тепловое воздействие у девушек с разными типами микроциркуляции, максимальный прирост тканевой перфузии был отмечен у девушек с III типом ЛДФ-грамм. Такой уровень реактивности микрососудов, а также сравнительно быстрое восстановление кровотока после тепловой гиперемии объясняется тем, что девушки с гипоемическим типом микроциркуляции имеют повышенный тонус микрососудов за счет неврогенного влияния симпатического звена регуляции тканевого кровотока. Девушки с гиперемическим типом микроциркуляции, напротив, имеют

относительно нормоемического типа несколько сниженный симпатический тонус, в результате чего у них снижен резерв капиллярного кровотока и удлинено время восстановления кровотока после теплового воздействия.

ВЫВОДЫ

1. Реактивность системы микроциркуляции у девушек при тепловой гиперемии проходила в две фазы и характеризовалась достаточным резервом капиллярного кровотока ($171,4 \pm 7,59$ %) и сравнительно быстрым восстановлением исходного уровня кровотока ($129,8 \pm 5,04$ с).

2. Уровень реактивности микрососудов при тепловой гиперемии существенно зависит от микроциркуляторных типов. Максимальный резерв капиллярного кровотока ($206,5 \pm 19,3$ %) отмечен у девушек с гипоемическим типом микроциркуляции, минимальный – у девушек с гиперемическим типом ($133,8 \pm 3,8$ %).

Список литературы

1. Куприянов В.В., Караганов Я.Л., Козлов В.И. Микроциркуляторное русло. – М.: Медицина, 1975. – 216 с.
2. Чернух А.М., Александров П.Н., Алексеев О.В. Микроциркуляция. – М.: Медицина, 1975. – 456 с.
3. Барковский В.С. Воздействие температурных факторов на состояние микрососудов микроциркуляторного русла. // Вопросы структурной организации и взаимодействия элементов в системе микроциркуляции. – 1976. – Т. II. – С. 65–68.
4. Рахимов Я.А., Ахунов Ш.Б., Дадаева Е.Х., Заболотько Л.А., Михеева С.Г., Роперёкова Т.Э., Усманов М.У., Этиген Л.Е. Морфологическая оценка острой реакции сосудистого русла желудочно-кишечного тракта на общее охлаждение // Материалы конференции «Система микроциркуляции и гемокоагуляции в экстремальных условиях». – Фрунзе. – 1981. – С. 148–149.
5. Козлов В.И., Мельман Е.П., Шутка Б.В., Нейко Е.М. Гистофизиология капилляров // СПб.: Наука, 1994. – С. 139–143.
6. Соловьёв Г.М., Радзивил Г.Г. Кровопотеря и регуляция кровообращения в хирургии. – М., 1973. – С. 71–82.
7. Козлов В.И., Мач Ф.Б., Литвин О.А. и др. Метод лазерной доплеровской флоурометрии. – М., 2001. – 22 с.
8. Аносов И.П., Станишевская Т.И. Реакция микрососудов на тепловую пробу // Материалы III международной научно-практической конференции «Динамика научных исследований 2004». – Днепропетровск. Наука и образование. – 2004. – С. 25–26.

Поступила в редакцию 23.11.2005 г.