

УДК: 612.135-055.1:378

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ У ЮНОШЕЙ-СТУДЕНТОВ

Чуян Е.Н., Горная О.И.

В статье описаны особенности состояния микроциркуляции крови у юношей-студентов в возрасте 17-23 лет юго-востока Украины методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). По результатам исследования было выделено три типа ЛДФ-грамм с преобладанием гиперемического типа.

Ключевые слова: метод лазерной доплеровской флоуметрии, нормоемический тип, гипоемический тип, гиперемический тип.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка состояния регуляции кожного кровотока и функциональных возможностей системы микроциркуляции является важной проблемой физиологии [1]. Как известно, микроциркуляция является структурно-функциональной единицей системы кровообращения, где происходит обмен между кровью и тканями, что обеспечивает эффективное функционирование различных клеточных структур. В настоящее время существует довольно большое число инвазивных и неинвазивных методик исследования микроциркуляции [2]. Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) является новым неинвазивным методом исследования микроциркуляции, позволяющим не только оценить общий уровень периферической перфузии, но и выявить особенности регуляции кровотока в микроциркуляторном русле. Достоинством метода ЛДФ является его возможность измерения микрокровотока *in vivo* и бесконтактно, что очень важно для тестирования микрогемодинамики, которая изменяет свои показатели при любой попытке подключения датчиков к капиллярам [3]. Другой важной особенностью ЛДФ является возможность получения большого количества измерений (тысячи в минуту), их регистрации и обработки в реальном масштабе времени [4 – 6], что, в частности, позволяет создать мониторинговые системы ЛДФ. Последние, в перспективе, дают возможность анализировать весь спектр ритмических процессов в микрососудах от пульсовых до циркадных [3]. Однако данный метод в Украине только начал внедряться и еще не получил широкого развития, что связано, прежде всего, с отсутствием нормативных показателей микроциркуляции, характерных для регионов нашей страны. Поэтому исследование индивидуально-типологических особенностей показателей микроциркуляции весьма актуально, так как это позволит разработать нормативные показатели для проведения диагностики микрокровотока.

В связи с этим, целью настоящего исследования явилось выявление индивидуально-типологических особенностей состояния микроциркуляции крови у юношей-студентов в возрасте 17-23 лет юго-востока Украины методом ЛДФ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами было обследовано 40 студентов-волонтеров мужского пола Мелитопольского государственного педагогического университета специальности «Физическая культура» в возрасте 17-23 лет, условно здоровых. 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 экран монитора выводится кривая записи ЛДФ в реальном масштабе времени. Все записи ЛДФ-грамм сохраняются в базе данных и при необходимости переносятся на бумажный носитель.

Оценка состояния микроциркуляции крови у юношей проводилась на ладонной поверхности второго пальца левой кисти, в состоянии покоя при горизонтальном положении руки на уровне сердца в течение двух минут в первой половине дня.

В ходе исследования регистрировали и рассчитывали следующие показатели ЛДФ-сигнала:

M – среднее арифметическое значение показателя микроциркуляции. Этот показатель характеризует средний поток эритроцитов в единице объема ткани в зондируемом участке (перф. ед.);

σ – среднее квадратическое отклонение (СКО, флакс) амплитуды колебания кровотока от среднего арифметического значения (M) (перф. ед.);

Kv – коэффициент вариации, который характеризует соотношение между изменчивостью перфузии (флаксом) и средней перфузией в зондируемом участке тканей, измеряемый в %:

$$Kv = \frac{\sigma}{M} * 100 \quad (1)$$

Важным этапом ЛДФ-метрии является амплитудно-частотный анализ гемодинамических ритмов колебаний тканевого кровотока. Амплитудно-частотный 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 [4, 7]. 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 (A) 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), дыхательных колебаний в диапазоне частот от 0,2 до 0,3 Гц (AHF) и пульсовых волн (ACF). Вклад различных ритмических колебаний (P) оценивался по их мощности в процентном отношении к общей мощности спектра флаксмоций:

$$P = A_{LF}^2 / (A_{VLF}^2 + A_{LF}^2 + A_{HF}^2 + A_{CF}^2) * 100\% \quad (2)$$

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

$$ИЭМ = A_{LF} / (A_{HF} + A_{CF}) \quad (3)$$

Оценка достоверности различий между данными, полученными в результате исследования, проводилась с использованием t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования микроциркуляторного русла у юношей-студентов определены следующие показатели: параметр микроциркуляции М в коже пальцев кисти колебался от 4,03 до 32,8 перф. ед. и в среднем составил $17,95 \pm 0,68$ перф. ед. Уровень колебаний тканевого кровотока – СКО варьировал от 0,5 до 4,72 перф. ед., в среднем составляя $2,05 \pm 0,05$ перф. ед. Коэффициент вариации (Kv) изменялся в диапазоне от 3,22 до 35,17% и составил в среднем $16,7 \pm 0,31\%$ (табл.1).

Таблица 1.
Показатели микроциркуляции у испытуемых ($\bar{x} \pm S \bar{x}$)

№ группы	Средние значения	Типы микроциркуляции	Параметр микроциркуляции, М, перф.ед.	Уровень флакса, СКО, перф.ед	Коэффициент вариации, Kv, %
			17,95±0,68	2,05±0,05	16,7±0,31
1		Апериодический тип (n=10)	14,62±0,19	2,91±0,44	20,96±2,31
2		Монотонный тип с низкой перфузией (n=4)	8,73±0,58	1,53±0,54 $p_1 \leq 0,001$	8,43±0,73 $p_1 \leq 0,001$
3		Монотонный тип с высокой перфузией (n=26)	20,76±0,36 $p_1 \leq 0,001$; $p_2 \leq 0,001$	1,72±0,13 $p_1 \leq 0,001$; $p_2 \leq 0,001$	8,61±0,64 $p_1 \leq 0,001$

Примечание: p_1 – достоверность отличий по отношению к значениям показателей у испытуемых с аperiодическим типом микроциркуляции по t-критерию Стьюдента; p_2 – достоверность отличий по отношению к значениям показателей у испытуемых с монотонным типом с низкой перфузией.

Таким образом, у испытуемых выявлена значительная вариабельность значений изученных показателей. Поэтому интерпретация данных анализа тканевого кровотока должна проводиться с учетом характерных гемодинамических типов микроциркуляции, которые выявляются не только у больных, но и у здоровых испытуемых [3].

В качестве критериев индивидуально-типологических особенностей состояния микроциркуляции нами были выбраны основные статистические показатели, получаемые при ЛДФ-метрии, а именно M , CKO , Kv , что позволило выявить различные типы микрогемодинамики. Нами было выделено 2 типа ЛДФ-грамм с различным характером колебаний. Первый тип характеризовался высокоамплитудными аperiodическими колебаниями с максимальными значениями CKO , отображающего активность колебательных процессов, и Kv , характеризующего преимущественный вклад активных механизмов модуляции микрокровотока (рис. 1). К этому типу относилось 25% испытуемых.

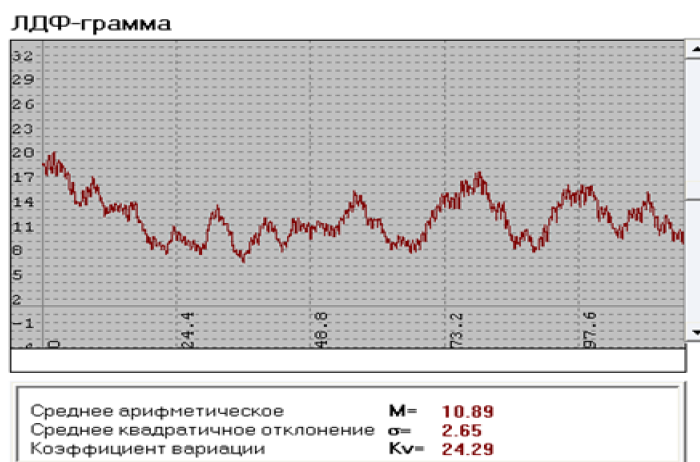


Рис. 1. Пример ЛДФ-граммы аperiodического типа.

Однако большинство ЛДФ-грамм отличались монотонным характером колебаний кожного кровотока, о чем свидетельствуют низкие показателями CKO и Kv (табл. 1). К этому типу относились 75% испытуемых. При этом в монотонном типе ЛДФ-грамм наблюдался большой разброс данных по величине перфузии (M), что позволило нам разделить этот тип еще на два подтипа: монотонный с низкой перфузией ($8,73 \pm 0,58$ перф. ед.), который наблюдался у испытуемых в 10% случаев (рис. 2) и с высокой перфузией ($20,76 \pm 0,36$ перф. ед.), который отмечался у 65% испытуемых (рис. 3).

Таким образом, в результате исследования у испытуемых выделено три типа ЛДФ-грамм (рис. 4), отличных друг от друга по величине перфузии, так и по уровню флукса и Kv , а именно: аperiodический тип, монотонный тип с низкой перфузией и монотонный тип с высокой перфузией.

Для количественной оценки периодических процессов в системе микроциркуляции крови у испытуемых применяли спектральный анализ ЛДФ-грамм, физиологический смысл которого состоит в анализе соотношения различных ритмических составляющих колебаний тканевого кровотока, по которым можно судить о состоянии регуляторных влияний на кровотоки в микрососудах [7 – 8].

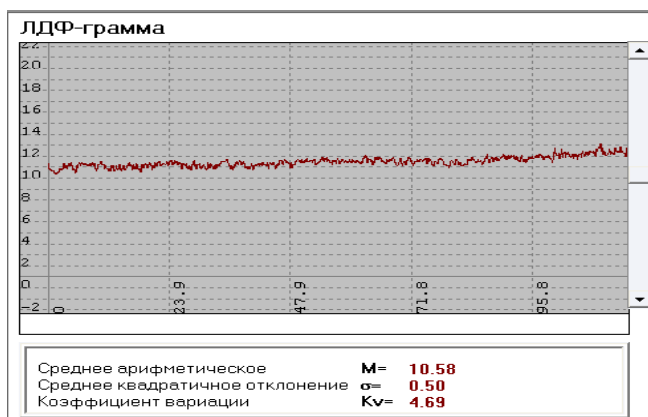


Рис. 2. Пример ЛДФ-граммы монотонного типа с низкой перфузией.



Рис. 3. Пример ЛДФ-граммы монотонного типа с высокой перфузией.

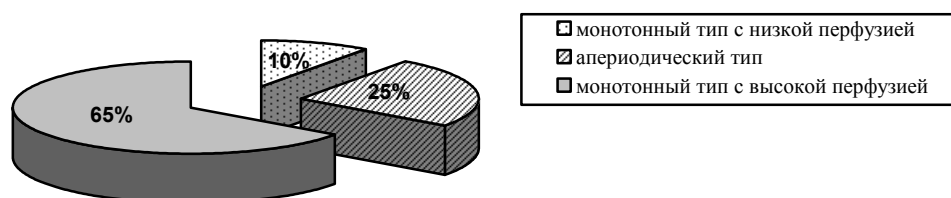


Рис. 4. Диаграмма встречаемости различных типов микроциркуляции у испытуемых (в % от общего числа обследованных).

У испытуемых с апериодическим типом наиболее существенный вклад в общую мощность спектра вносил VLF- компонент, который в наибольшей степени

отражает функцию эндотелия и составил 54,1% (рис. 5). Вклад LF- компонента в структуру ритмических колебаний микрокровотока составил 41,6%. Высокочастотные дыхательные и пульсовые колебания кровотока занимали значительно меньшую долю в общем спектре и составили 3,7% и 0,6% соответственно, что указывает на умеренный приток крови в капиллярное русло и своевременный отток периферической крови. Следовательно, данный тип ЛДФ-граммы характерен для сбалансированного состояния механизмов, «активной» (связанной с симпатическими влияниями) и «пассивной» (связанной с парасимпатическими влияниями) регуляции колебаний тканевого кровотока. Этот вывод подтверждается высоким значением ИЭМ, который составил в данной группе $1,86 \pm 0,3$ (рис.6). Следовательно, испытуемых с аperiодическим типом ЛДФ-граммы можно отнести к нормоемическому типу микроциркуляции [9].

Спектральные характеристики ЛДФ-грамм у испытуемых со вторым типом микроциркуляции, который характеризовался сравнительно низкими параметрами перфузии и относительно монотонным характером флуксуций, отличались самым высоким значением вклада очень низкочастотных колебаний, а именно 60,1% от общей мощности спектра, что на 6% больше, чем у VLF-компонент у испытуемых с аperiодическим типом ($p \leq 0,05$) (рис. 5). Однако у испытуемых с этим типом микроциркуляции в сравнении с аperiодическим типом ЛДФ-граммы наблюдался существенно меньший вклад вазомоторных колебаний – 32,0%, что свидетельствует о повышенном тоне микрососудов. Высокочастотные колебания характеризуются небольшим увеличением вкладов дыхательных ритмов (6,9%) и пульсовых ритмов (1,0%) в общую мощность спектра флуксуций по сравнению с аperiодическим типом (3,7% и 0,6%) ($p \leq 0,01$) (рис.5). Такое соотношение характеристик спектрального анализа обусловило и значение ИЭМ, равное $1,84 \pm 0,06$ (рис. 6).

Таким образом, для данного типа микроциркуляции характерно преобладание симпатического звена в регуляции тканевого кровотока. Следовательно, этот тип микроциркуляции характеризуется увеличением сосудистого тонуза и соответствует гипоемическому или спастическому типу микроциркуляции [4].

В спектральном анализе ЛДФ-грамм у испытуемых с монотонным типом высокой перфузией максимальный вклад в общую мощность спектра отмечен со стороны VLF-колебаний (53,8%) и LF-колебаний (38,5%), что на 3,1% меньше, чем у испытуемых с аperiодическим типом ($p \leq 0,01$). Вклад дыхательных волн в мощность амплитудно-частотного спектра не изменился по сравнению с предыдущим типом и составил 6,9% в то время как у испытуемых с аperiодическим типом ЛДФ-грамм составил 3,7%, что на 3,2% больше по отношению к монотонным типам с низкой и высокой перфузией. Индекс эффективности флуксуций у испытуемых этой группы оказался самым низким и составил $1,76 \pm 0,2$ (рис. 6). Анализ значений изученных показателей позволяет предположить, что данный тип ЛДФ-граммы соответствует гиперемическому состоянию, наблюдаемому в случае увеличения притока крови в систему микроциркуляции, связанную с некоторой дилатацией микрососудов [10, 11], обусловленной относительным ослаблением в регуляции тканевого кровотока со стороны симпатических влияний.

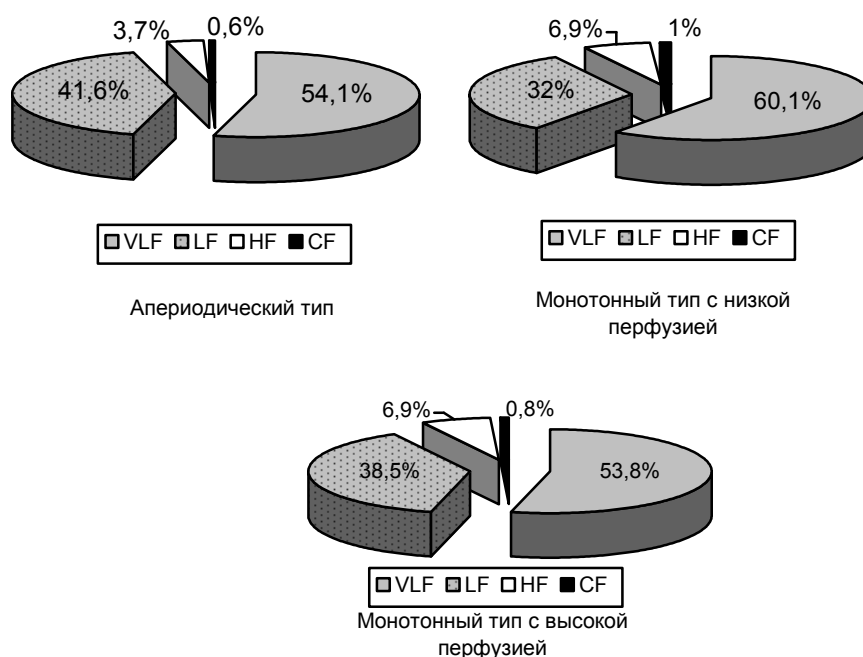


Рис. 5. Вклад частотных компонентов в общую мощность спектра осцилляций тканевого кровотока у испытуемых с различными типами ЛДФ-грамм (в %).

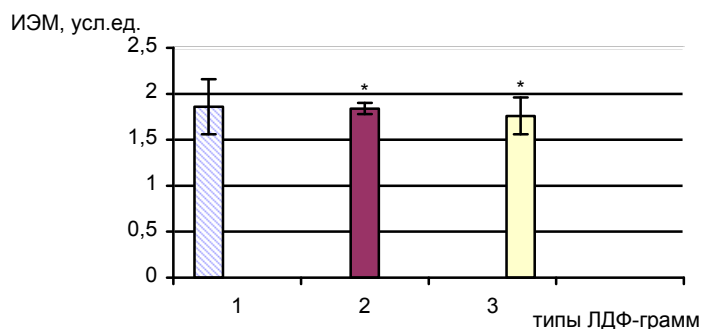


Рис. 6. Индекс эффективности микроциркуляции у испытуемых трех типов микрогемодинамики.

Примечание:

1 – аperiодический тип; 2 – монотонный тип с низкой перфузией; 3 – монотонный тип с высокой перфузией.

*- $p \leq 0,05$, достоверность отличий по отношению к аperiодическому типу, по t-критерию Стьюдента;

Таким образом, существенный разброс значений изученных показателей ЛДФ-грамм позволили выделить среди обследованных юношей три типа

микроциркуляции: нормоемический, при котором наблюдается «апериодическая» ЛДФ-грамма; гиперемический, которому соответствует «синусоидальная» ЛДФ-грамма [11] с высоким показателем микроциркуляции; и гипоемический тип, при котором выявлена «монотоннонизкоамплитудная» ЛДФ-грамма с низким показателем микроциркуляции.

ВЫВОДЫ

1. Дифференцированный анализ индивидуально-типологических особенностей микроциркуляции крови показал, что для обследованных нами юношей Мелитопольского государственного педагогического университета характерны три типа микроциркуляции: апериодический (25% испытуемых), монотонный с низкой перфузией (10% испытуемых) и монотонный с высокой перфузией (65% испытуемых).
2. Апериодический тип ЛДФ-грамм характеризуется средним значением перфузии (14,62 перф.ед.), однако более высокими показателями СКО (2,91 перф. ед.) и Kv (20,96%), что свидетельствует о преобладании активных механизмов модуляции тканевого кровотока и подтверждается доминированием эндотелиальных (54,1%) и вазомоторных (41,6%) колебаний в общей мощности спектра и умеренным вкладом высокочастотных (3,7%) и пульсовых колебаний (0,6%), что позволяет считать этот тип микрогемодинамики наиболее сбалансированным и соответствовать нормоемическому типу микроциркуляции.
3. Монотонная с низкой амплитудой ЛДФ-грамма характеризуется относительно монотонной кривой при низких значениях перфузии (8,73 перф. ед.), уровня флакса (1,53 перф. ед.) и Kv (8,43%), что свидетельствует о невысокой степени модуляции микрокровотока. Данные частотно-амплитудного анализа указывают на преобладание эндотелиального компонента (60,1%) в регуляции тканевого кровотока и характеризуются умеренным вкладом вазомоторных (32,0%), дыхательных (6,9%) и пульсовых (1,0%) колебаний в общую мощность спектра, что свидетельствует о преобладании симпатического звена в регуляции тканевого кровотока, поэтому данный тип соответствует гипоемическому (спастическому) типу микрогемодинамики.
4. Монотонная с высокой амплитудой ЛДФ-грамма характеризуется относительно высоким показателем перфузии 20,76 перф. ед., средним значением уровня флакса 1,72 перф. ед. и Kv 8,61%. Анализ ритмограмм выявил увеличение вклада вазомоторных (38,5%) колебаний и практически не изменились показатели высокочастотных дыхательных и кардиоритмических колебаний (6,9% и 0,8% соответственно), что позволяет отнести данный тип ЛДФ-грамм к гиперемическому типу микрогемодинамики.

Список литературы

1. Литвин Ф.Б. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке возрастных особенностей микроциркуляции при постуральной пробе / Ф.Б.Литвин, И.П.Аносов // Материалы III Всерос. симп.: применение лазерной доплеровской флоуметрии в медицинской практике. –М., 2000. – С. 80-84.

2. Маколкин В.И. Микроциркуляция в кардиологии / В.И. Маколкин, В.И. Подзолков, В.В. Бранько // – М.: Визарт, 2004. – С.3.
3. 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.
4. Bonner R.F. Modal for Laser Doppler measurements of blood flow in tissue microcirculation / R.F. Bonner, R. Nossal // Appl. Optics. - 1981. – V. 20. – P. 2097.
5. Арефьев И.М. Метод спектроскопии оптического смещения в диагностике микроциркуляции крови / И.М. Арефьев, Л.П. Еськов // Бюлл. Эксперим. Биологии и медицины. – 1981. – №2. – С.244.
6. 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. – V. 40. – P. 293-301.
7. Schmid-Schonbein H. Synergetic interpretation of patterned vasomotor activity in microvascular perfusion / H. Schmid-Schonbein, S. Ziege // Inter. F. Microcircul. – 1997. – V. 17. – P. 346-359.
8. Zweifach V. Functional behavior of the microcirculation / V. Zweifach // Springfield, Illinois, 1961. – P. 23-67.
9. Козлов В.И. Метод лазерной доплеровской флоуметрии, / В.И. Козлов, Э.С. Мач, Ф.Б. Литвин, О.А. Терман [и др] // Пособие для врачей, М., 2000, С. 9-13.
10. Крупаткин А.И. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров // –М.: Медицина. – 2005 – 254с.
11. Козлов В.И. Индивидуально-типологические особенности микроциркуляции у человека / В.И. Козлов, Ф.Б. Литвин, Т.И. Станишевская, М.В. Морозов // Biomedical and biosocial antropology 2007. – № 9, С.249-250.

Чуян О.М., Горна О.И. **Особливості мікроциркуляції крові у юнаків-студентів** // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2009. – Т.22 (61). – № 2. – С. 166-174.

У статті описані особливості стану мікроциркуляції крові у юнаків-студентів 17-23 років південного сходу України, методом лазерної доплеровської флоуметрії (ЛДФ). За результатами дослідження було виділено три типи мікроциркуляції крові з перевагою гіперемічного типу.

Ключові слова: метод лазерної доплеровської флоуметрії, нормоемічний тип, гіпоемічний тип, гіперемічний тип.

Chuyan E.N., Gornaya O.I. **The peculiarities of youths-students' blood microcirculation** // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2009. – V.22 (61). – № 2. – P. 166-174.

The article is devoted to the peculiarities of youth-students' blood microcirculation state by means of laser Doppler flowmeasuring (LDF). The author defines three basic types of blood microcirculation with the predominance of hyperaemic type.

Keywords: method of laser doppler flowmeasuring, normoemic type, hyperaemic type, hypoemic type.

Поступила в редакцію 20.05.2009 г.