

Регуляция процессов микрогемодинамики у спортсменов в условиях вестибулярных раздражений

Сышко Д.В.

Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского

Аннотации:

Проведен сравнительный анализ функционального состояния регуляторных систем микроциркуляции в коже у спортсменов специализирующихся в беговых видах легкой атлетики до и после вестибулярных раздражений. Исследовано 10 высококвалифицированных легкоатлетов, специализирующихся в беге на средние и длинные дистанции. Показано, что вестибулярное раздражение достоверно вызывает изменения процессов микроциркуляции в коже, проявляющиеся не только в изменении величины перфузии, но и спектра компонентов механизмов регуляции. Получено, что высокочастотные дыхательные и пульсовые колебания у спортсменов занимали значительно меньшую долю в общем спектре и составили 9,8% и 8,3% соответственно, что указывает на оптимальный приток и отток периферической крови. Структура осцилляций кожного кровотока после вестибулярных раздражений у спортсменов состоит из повышения вклада дыхательного компонента с 9,8% до 11,4%, что обусловлено изменением динамики венозного давления при легочной механической активности, присасывающим действием «дыхательного насоса».

Сышко Д.В. Регуляція процесів мікрогемодинаміки у спортсменів в умовах вестибулярних навантажень. Проведений порівняльний аналіз функціонального стану регуляторних систем мікроциркуляції в шкірі у спортсменок що спеціалізуються в бігових видах легкої атлетики до і після вестибулярних роздратувань. Досліджено 10 висококваліфікованих легкоатлеток що спеціалізуються в бігу на середні і довгі дистанції. Показано, що вестибулярне роздратування достовірно викликає зміни процесів мікроциркуляції в шкірі, що виявляються не тільки в зміні величини перфузії, але і спектру компонентів механізмів регуляції. Одержано, що високочастотні дихальні і пульсові коливання у спортсменок займали значно меншу частку в загальному спектрі і склали 9,8% і 8,3% відповідно, що вказує на оптимальний приток і відтік периферичної крові. Структура осциляцій шкірного кровотоку після вестибулярних роздратувань у спортсменок, складається з підвищення внеску дихального компоненту з 9,8% до 11,4%, що обумовлене зміною динаміки венозного тиску при легеневій механічній активності, та дією «дихального насоса».

Syshko D.V. Adjusting of processes of microgемодynamics at sportsmen in the conditions of vestibular irritations. The comparative analysis of the functional being of the regulator systems of microgемодynamics is conducted in a skin at the sportswomen of specialized in the running types of track-and-field before and after vestibular irritations. 10 highly skilled athletes of specialized in at run on middle and long distances are explored. It is shown, that the vestibular irritation for certain causes the changes of processes of microgемодynamics in a skin, showing up not only in the change of size of perfusion but also spectrum of components of mechanisms of adjusting. It is got, that high-frequency respiratory and pulse vibrations at sportswomen occupied considerably a less stake in a general spectrum and were 9,8% and 8,3% accordingly, that specifies on an optimum influx outflow of peripheral blood. Structure of vibrations of skin blood stream after the vestibular irritations at sportswomen, consists of increase of deposit of respiratory component from 9,8% to 11,4%, that is conditioned by the change of dynamics of vein pressure at pulmonary mechanical activity, attracting action of «respiratory pump».

Ключевые слова:

спортсмены, микроциркуляция в коже, ЛДФ-метрия, вестибулярное раздражение, дыхательные, пульсовые, колебания.

спортсменки, мікроциркуляція в шкірі, ЛДФ-метрія, вестибулярне роздратування, дихальні, пульсові, коливання.

sportsmen, microgемодynamics in a skin, LDF-metrics, vestibular irritation, respiratory, pulse, vibrations.

Введение.

Изучение вестибулярной функции человека всегда представляло интерес для науки и практики, так как вестибулярный анализатор постоянно включен в систему адаптации к внешней среде в связи с постоянно действующей силой притяжения Земли. Гравитационные взаимодействия определяют формирование основных компонентов двигательного анализатора, в определенной степени лимитировали развитие сердечно – сосудистой, дыхательной, выделительной и других систем организма, обслуживающих двигательный аппарат человека [1-3]. Поэтому при любом движении, воспринимаемом либо пассивно, либо активно, вестибулярный анализатор вступает в активное взаимодействие со всеми системами организма, вызывая вестибулярные реакции [4]. Накоплен достаточный материал по вестибуловегетативным, вестибулосоматическим, глазодвигательным (нистагмометрическим) и другим реакциям [5]. Созданы методики, позволяющие оценить вестибулярную устойчивость по показателям сердечно-сосудистой системы, системы дыхания, ориентировки в пространстве, силы [2]. Однако, несмотря на большое количество исследований, особенно посвященным вестибуловегетативным реакциям, совершенно не изученным остаётся реактивность кровеносных сосудов кожи на вестибулярное

раздражение. Научный интерес к этому вопросу связан, еще и с тем, что современные способы регистрации и обработки параметров кожного кровотока даёт возможность определить роль различных механизмов в регуляции тканевой гемодинамики [6]. Изменения в системе микроциркуляции крови коррелируют со сдвигами в центральной гемодинамике, что позволяет использовать показатели микроциркуляции в качестве критериев в общей оценке вестибуловегетативной устойчивости, также роли местных и общих реакциях кровообращения в условиях угрозы потери равновесия. Особенно это важно в спортивной деятельности, где важна гемодинамическая «цена» пространственной ориентировки.

Исследование проводилось в соответствии с планами научно-исследовательской работы кафедры теории и методики физического воспитания Таврического национального университета им. В.И. Вернадского номер гос. регистрации 0111U000919 «Педагогическое и физиологическое обоснование системы физического воспитания и спорта учащихся и студентов»

Цель, задачи работы, материал и методы.

Цель работы – изучить особенности процессов микроциркуляции в коже у спортсменов при вестибулярных раздражениях.

В исследовании принимали участие 10 высококвалифицированных спортсменок женского пола занима-

ющихся легкой атлетикой (бег на средние и длинные дистанции). Возраст спортсменок составлял 18-23 года. Квалификация спортсменок от 1 разряда до мастера спорта международного класса. Фаза месячного цикла не учитывалась. Для регистрации показателей микроциркуляции в коже, до и после вестибулярных раздражений, использовали метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), основанный на оптическом зондировании тканей монохроматическим излучением и анализе частотного спектра, отраженного от движущихся эритроцитов сигнала. ЛДФ осуществляли лазерным анализатором кровотока «ЛАКК-02» во втором исполнении (НПП «Лазма», Россия). В качестве вестибулярных раздражений применяли вращения в кресле Барани, по методу Воячека (10 оборотов за 20 секунд, голова под углом 30° вниз с закрытыми глазами). Исследование проводили в дневное время суток, испытуемые во время исследования находились в положении сидя. Головка оптического зонда (датчика) фиксировалась на наружной поверхности левого предплечья на 4 см выше шиловидных отростков. По мнению некоторых авторов [7], указанная зона является зоной Захарьина-Геда сердца, бедна артерио-венулярными анастомозами, поэтому в большей степени отражает кровоток в нутритивном русле и в меньшей степени подвержена влияниям внешней среды, и в связи с этим применяется для исследований микроциркуляции. Расчёт показателей базального кровотока проводился в два этапа.

Показатели тканевого кровотока оценивали до и после вестибулярных раздражений. На первом этапе следующие показатели:

M (перф.ед.) – показатель микроциркуляции, характеризующий общую (капиллярную и внекапиллярную) усредненную стационарную перфузию микрососудов за время исследования;

СКО (σ , перф.ед.) – среднее квадратичное отклонение амплитуды колебаний кровотока во всех частотных диапазонах от среднего M , отражающее вариабельность тканевого кровотока;

K_v (%) – коэффициент вариации, который вычисляли по формуле: $K_v = \text{СКО} / M \cdot 100\%$.

Расчет показателей M ; СКО и K_v даёт общую оценку процессам микроциркуляции крови до и после вестибулярных раздражений.

На втором этапе проводился анализ функционирования механизмов микроциркуляции, который был получен при обработке ЛДФ – грамм кровотока при исследовании ритмических компонентов колебаний перфузии крови. Анализ амплитудно-частотного спектра отраженного сигнала проводили с использованием математического аппарата вейвлет-преобразования, который в настоящее время находит широкое применение для анализа сигналов физиологической природы, позволяет оценивать изолированно вклад каждого звена механизмов, принимающих участие в модуляции микрокровотока. Среди звеньев регуляции выделяют «пассивные» и «активные» факторы, которые в полосе частот от 0,0095 до 1,6 Гц формируют пять не перекрывающихся частотных диапазона: 0,0095–0,02

Гц – диапазон эндотелиальной активности (VLF), 0,02–0,05 Гц – диапазон нейрогенной (симпатической адренергической) активности (LF_n), 0,06–0,15 Гц – диапазон миогенной (гладкомышечной) активности (LF_m), 0,15–0,4 Гц – диапазон респираторного ритма (HF), 0,8–1,6 Гц диапазон кардиального ритма (CF). Регистрируемый в ЛДФ-грамме колебательный процесс является результатом наложения колебаний, обусловленных одновременным функционированием «активных» и «пассивных» факторов [8]. Определялся вклад каждой компоненты амплитудно-частотных характеристик колебаний кожного кровотока. Статистическая обработка материала проводилась путем вычисления среднего значения ($\bar{x}$), и ошибки средней арифметической (Sx). Оценка достоверности различий проводилась с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты исследований.

Проведённые исследования показали, что показатель перфузии M в покое, до вестибулярных раздражений, колебался в пределах от 2,61 до 5,23 перф.ед и составил в среднем $3,53 \pm 0,61$ перф.ед. (табл.1). В современной научной литературе указывается, что величина параметра перфузии M зависит от концентрации эритроцитов и скорости их движения, а также от индивидуально-типологических особенностей состояния микроциркуляции [6,7,9]. Так, в исследованиях Чуян Е.Н. с соавторами, при измерении уровня перфузии у женщин, не занимающихся спортом, получены три типа микроциркуляции в коже: аperiодический, монотонный с низкой перфузией и монотонный с высокой перфузией. Полученные типы зависели от величин перфузии, флкса и коэффициента вариации (табл.2). Необходимо отметить, что приоритетными в определении типа микроциркуляции были величины флкса и особенно коэффициента вариации. Коэффициент вариации у спортсменок достоверно не отличался по отношению к женщинам не занимающимся спортом аperiодического типа. Это дало нам возможность отнести высококвалифицированных легкоатлетов к лицам с аperiодическим типом ЛДФ-граммы, так как величина коэффициента вариации соответствовала $18,47 \pm 2,30\%$.

Интересно отметить, что в покое величина перфузии кожного кровотока у спортсменок была достоверно ниже, чем у женщин, не занимающихся спортом. Обнаруженное нами явление более низкой перфузии кожного кровотока у спортсменок вписывается в положения классической спортивной физиологии об экономичности многих физиологических функций в покое у спортсменов [10]. Таким образом, для кожного кровотока у женщин занимающихся бегом на средние и длинные дистанции характерна низкая перфузия и вариабельность показателей кровенаполнения, что вероятно связано с участием как центральных, так и региональных, и локальных механизмов регуляции кровотока.

После вестибулярных раздражений показатель перфузии M кожного кровотока у спортсменок достоверно не изменился (табл.1), что связано с процес-

Таблица 1

Показатели микроциркуляции в коже у спортсменов до и после вестибулярных раздражений

Спортсменки	До вестибулярных раздражений			После вестибулярных раздражений		
	М	δ	KV	М	δ	KV
С-ко	3,24	0,54	16,77	3,71	0,48	12,86
Б-рь	2,61	0,82	31,53	1,81	0,66	36,46
Бл-рь	2,79	0,46	16,36	2,43	0,69	28,28
Д-ва	5,23	0,68	12,98	4,49	0,42	8,43
Ш-ва	3,64	0,71	19,54	3,09	0,49	15,71
Ш-ко	3,75	0,58	15,42	3,07	0,82	26,71
С-на	4,99	0,56	11,32	4,03	0,61	14,86
К-ва	2,22	0,58	26,01	2,28	0,48	20,91
К-ва	3,58	0,56	15,62	3,07	0,38	12,23
С-ко	3,27	0,64	19,14	2,56	0,58	22,72
$\bar{x}$	3,53	0,61	18,47	3,05	0,56	20,01
Sx	0,34	0,04	2,30	0,30	0,05	3,19

Таблица 2

*Показатели микроциркуляции в коже у женщин не занимающихся спортом (по Чуян Е.Н., с соавт.)
и высококвалифицированных легкоатлетов*

Типы микроциркуляции (n=50)	Показатели микроциркуляции		
	Перфузия М, перф.ед.	Флакс δ , перф.ед.	Коэффициент вариации KV, %
Апериодический тип, (n=13) женщины, не занимающиеся спортом	6,28 $\pm$ 0,52	0,97 $\pm$ 0,09	16,55 $\pm$ 3,09
(n=10) высококвалифицированные легкоатлетки	3,53 $\pm$ 0,61 $p1 \leq 0,01$	0,61 $\pm$ 0,04 $p2 \leq 0,05$	18,47 $\pm$ 2,30
Монотонный тип с низкой перфузией (n=14) женщины, не занимающиеся спортом	6,53 $\pm$ 0,28	0,23 $\pm$ 0,03	3,5 $\pm$ 0,38
Монотонный тип с высокой перфузией (n=13) женщины, не занимающиеся спортом	18,69 $\pm$ 0,83	0,53 $\pm$ 0,04	3,53 $\pm$ 0,34

Примечания: p1 – достоверность отличий по отношению к женщинам не занимающимся спортом монотонного типа с высокой перфузией; p2 – достоверность отличий по отношению к женщинам не занимающимся спортом монотонного типа с низкой перфузией;

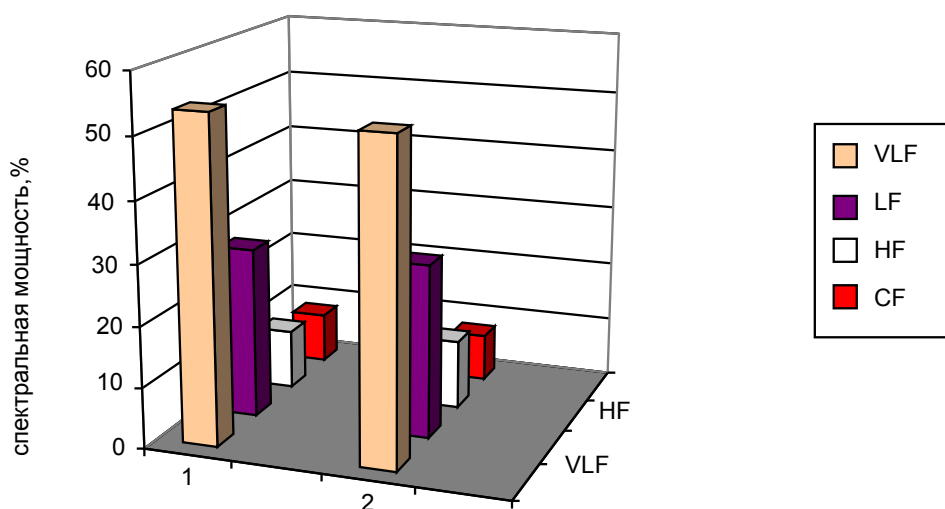


Рис.1. Вклад в общую мощность спектра основных ритмов ЛДФ-грамм апериодического типа у спортсменок (1- в покое, 2- после вестибулярных раздражений)

сами вестибуловегетативной устойчивости не смотря на «угрозу» потери равновесия. Получено, что также не изменился достоверно коэффициент вариации K_v . Это свидетельствует о стабильности различных механизмов регуляции величины перфузии в условиях вестибулярного раздражения. Представляет научный интерес роль каждого звена механизмов, принимающих участие в модуляции микрокровоотока. Обработка ЛДФ – грамм кровоотока при исследовании ритмических компонентов колебаний перфузии крови и анализ амплитудно-частотного спектра отраженного сигнала позволил нам, определить механизмы регуляции кровоотока в коже. Известно, что для женщин с аperiодическим типом ЛДФ-грамм самый существенный вклад в общую мощность спектра вносит VLF-компонент [6], обусловленный функционированием эндотелия, а именно выбросом вазодилатора NO. На сегодняшний день существуют данные о связи экспрессии гена eNOS (ген эндотелиальной NO-синтазы) и способностью выполнять, тяжелую физическую работу [11,12]. Это и определяет важность изучения вазодилаторного звена регуляции кровоотока, как генетически детерминированного, что важно для вопросов отбора и ориентации тренировочного процесса спортсменов.

Также весомым вкладом в общую мощность спектра является LF-компонента, обусловленного миогенной активностью вазомоторов и нейрогенными симпато-адренергическими влияниями на миоциты артериол и артериоларных участков артериовенулярных анастомозов (рис.1). Этот тип, по данным литературы, характеризуется высокой сбалансированностью регуляторных механизмов.

Анализ спектра основных ритмов ЛДФ-грамм аperiодического типа у спортсменов показал существенный вклад VLF-компоненты, который составил 53,6%, что свидетельствует о значительной модуляции потока крови со стороны эндотелиального функционирования. Вклад вазомоторных колебаний в регуляции кожного кровоотока у спортсменов составил 28,2%. Высоочастотные дыхательные и пульсовые колебания у спортсменов занимали значительно меньшую долю в общем спектре и составили 9,8% и 8,3% соответственно, что указывает на оптимальный приток и отток периферической крови.

Анализ полученных данных о структуре осцилляций кожного кровоотока после вестибулярных раздражений у спортсменов, позволил определить повышение вклада дыхательного компонента с 9,8% до 11,4%, что обусловлено изменением динамики венозного давления при легочной механической активности, присасывающим действием «дыхательного насоса».

Таким образом, выявлены особенности кожного кровоотока спортсменов в покое, а также особенности реакции микроциркуляторного русла при вестибулярных раздражениях заключающиеся в снижении перфузии и модуляции спектра осцилляций кожного кровоотока. В перспективе необходимы исследования, подтверждающие генетическую детерминацию осцилляций кожного кровоотока, связанных с экспрессией и полиморфизмов генов регулирующих адаптационные перестройки регуляций микрокровоотока в тканях в связи со спортивной деятельностью.

Выводы.

Обнаружено отсутствие достоверной связи между показателями микроциркуляции кожного кровоотока спортсменов и женщин, не занимающихся спортом аperiодического типа, что позволило нам отнести занимающихся спортом к лицам с аperiодическим типом ЛДФ-грамм.

У высококвалифицированных спортсменов специализирующихся в беге на средние и длинные дистанции выявлен аperiодический тип ЛДФ-грамм с более низкими значениями перфузии (3,53 перф.ед.), относительно высокими параметрами коэффициента вариации (18,47%), что свидетельствует о преобладании активных факторов модуляции кровоотока с одной стороны и экономизации с другой.

Обнаружены достоверные отличия параметров кожного кровоотока спортсменов: при $p \leq 0,01$ по отношению к женщинам не занимающихся спортом монотонного типа с низкой перфузией; при $p \leq 0,05$ по отношению к женщинам не занимающихся спортом монотонного типа с высокой перфузией.

Выявлены особенности механизмов регуляции кожного кровоотока у спортсменов, заключающиеся в значительном вкладе пульсового (вклад в общий спектр 8,3%) и веноулярного звена (вклад в общий спектр 9,8%), за счёт снижения роли вазомоторных механизмов (вклад в общий спектр 28,2%) при сохранении преобладания эндотелиального функционирования (вклад в общий спектр 53,6%) характерного для аperiодического типа ЛДФ-грамм.

Определено, что после вестибулярных раздражения у спортсменов не происходит достоверное изменение перфузии кожного кровоотока и коэффициента вариации. Однако происходит модификация спектра осцилляций кровоотока за счёт увеличения вклада веноулярного звена (с 9,8% до 11,4%). Полученные данные свидетельствуют вестибуловегетативной устойчивости спортсменов в связи с «угрозой» потери равновесия, что позволяет разработать нормативные показатели для проведения диагностики тканевого кровоотока при постуральных пробах.

Література:

1. Болобан В. Контроль устойчивости равновесия тела спортсмена методом стабилографии / Виктор Болобан, Татьяна Мистулова // Физическое воспитание студентов творческих специальностей / ХГАДИ (ХХПИ) – Харьков, 2003. – №2. – с.24-33.
2. Bretz K. Postural control and movement coordination skill / K. Bretz, R. Kaske // Second Word Congress of Biomechanics. Amsterdam, – 1994. – P. 99.
3. Кашуба В.А. К вопросу о влиянии гравитационных взаимодействий на формирование геометрии масс тела человека в онтогенезе / В.А. Кашуба // Физическое воспитание студентов творческих специальностей / ХХПИ. – Харьков, 2001. – № 1. – С.26-30.
4. Хечинашвили С.Н. Вестибулярная функция / С.Н. Хечинашвили. Тбилисский институт усовершенствования врачей. – Тбилиси, 1953. – 331с.
5. Бабиак В.И. Некоторые сведения о взаимодействии вестибулярного и зрительного анализаторов на уровне глазодвигательного аппарата / В.И. Бабиак // Профессиональный психофизиологический отбор военных специалистов: Сб. науч. трудов. – Л.: 1969. – С. 24–27.
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. Чуян Е.Н. Индивидуально-типологические особенности показателей микроциркуляции / Е.Н. Чуян, Н.С. Трибрат, М.Н. Ананченко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Т. 21(60). Симферополь. – 2008. – № 3. – С. 190–203.
8. Бранько В.В. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии / В.В. Бранько, Э.А. Богданова, Л.С. Камшилина, В.И. Маколкин, В.В. Сидоров // Пособие для врачей, М., 1999. - 48с.
9. Kvandal P. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, ion-tophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines / P. Kvandal, A. Stefanovska, M. Veber // Microvasc Res 2003; 65: P.160-171.
10. Wilmore J.H. Physiology of sport and exercise / J.H. Wilmore, D.L. Costill / – Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2004. - 726 p.
11. Астратенкова И. В. Полиморфизм гена эндотелиальной нитридазы и физическая активность. Генетические, психофизиологические и педагогические технологии подготовки спортсменов: сб. научных трудов / И. В. Астратенкова // – СПб., 2006. – С. 62-83.
12. Tsukada T. Evidence of association of the eNOS gene polymorphism with plasma NO metabolite levels in humans. / T. Tsukada, K. Yokoyama, T. Arai [et al.] // Biochem. Biophys. Res. Commun. 1998, vol.245(1), pp. 190-193.

Информация об авторе:

Сышко Дмитрий Владимирович
syshko@list.ru

Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского
ул. Студенческая 13, Симферополь, АРК, 97000, Украина
Поступила в редакцию 15.10.2012г.

References:

1. Boloban V., Mistulova T. *Fiziceskoe vospitanie studentov tvorcheskih special'nostej* [Physical Education of the Students of Creative Profession], 2003, vol.2, pp. 24-33.
2. Bretz K., Kaske R. *Postural control and movement coordination skill*. Second Word Congress of Biomechanics. Amsterdam, 1994, p. 99.
3. Kashuba V.A. *Fiziceskoe vospitanie studentov tvorcheskih special'nostej* [Physical Education of the Students of Creative Profession], 2001. vol.1, pp. 26-30.
4. Khechinashvili S.N. *Vestibuliarnaia funkciia* [Vestibular function], Tbilisi, 1953, 331 p.
5. Babiiak V.I. Nekotorye svedeniia o vzaimodejstvii vestibuliarnogo i zritel'nogo analizatorov na urovne glazodvigatel'nogo apparata [Some information about co-operation of vestibular and visual analyzers at the level of oculomotor vehicle]. *Professional'nyj psikhofiziologicheskij otbor voennykh specialistov* [Professional psychophysiological selection of soldiery specialists], Leningrad, 1969, pp. 24–27.
6. Kozlov V.I., Korsi L.V., Sokolov V.G. *Fiziologiiia cheloveka* [Physiology of man], 1998, T.24, vol.6, p. 112.
7. Chuian E.N., Tribat N.S., Ananchenko M.N. *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta* [Scientific messages of the Tavricheskiy National University], 2008, T.21(60), vol.3, pp. 190–203.
8. Bran'ko V.V., Bogdanova E.A., Kamshilina L.S., Makolkin V.I., Sidorov V.V. *Metod lazernoj doplerovskoj floumetrii v kardiologii* [Method by a laser Doppler ultrasonic flowmeter in a cardiology], Moscow, 1999, 48 p.
9. Kvandal P., Stefanovska A., Veber M. Regulation of human cutaneous circulation evaluated by laser Doppler flowmetry, ion-tophoresis, and spectral analysis: importance of nitric oxide and prostaglandines. *Microvascular Research*. 2003, vol.65, pp. 160-171.
10. Wilmore J.H., Costill D.L. *Physiology of sport and exercise*. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2004, 726 p.
11. Astratenkova I. V. *Geneticheskie, psikhofizicheskie i pedagogicheskie tekhnologii podgotovki sportsmenov* [Genetic, psychophysical and pedagogical technologies of preparation of sportsmen], Sankt Petersburg, 2006, pp. 62-83.
12. Tsukada T., Yokoyama K., Arai T. Evidence of association of the eNOS gene polymorphism with plasma NO metabolite levels in humans. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 1998, vol.245(1), pp. 190-193.

Information about the author:

Syshko D.V.

syshko@list.ru

Tavricheskiy National University
Student str. 13, Simferopol', 97000, Ukraine.
Came to edition 15.10.2012.