

МИКРОЦИРКУЛЯЦИЯ В КОЖЕ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ПРОДОЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ СЕГМЕНТОВ ПО МЕТОДУ ИЛИЗАРОВА И У ДЕВУШЕК-ЛЕГКОАТЛЕТОК С ЦИКЛИЧЕСКИМ ТИПОМ ТРЕНИРОВОЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Гребенюк Л.А.¹, Грязных А.В.², Кучин Р.М.²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени акад. Г.А. Илизарова, Курган, e-mail: gla2000@yandex.ru;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск, e-mail: kuchin_r@mail.ru

Обследованы две группы лиц женского пола: первую группу составили пациентки с врожденно укороченной голенью, удлинение которой осуществляли по методу Илизарова (n=30), в возрасте 15–21 лет, во вторую группу вошли сверстницы – девушки-легкоатлетки (n=20). Исследование проводили до начала лечения и через 10–18 месяцев после его завершения и снятия аппарата Илизарова. Использовали лазерный доплеровский флоуметр BLF-21 (USA). Проводилась ишемическая окклюзионная проба при расположении датчика на голени и окклюзии на бедре. Установлены закономерные различия тканевой перфузии – «градиент» кожного капиллярного кровотока. Выявленный феномен согласуется с ранее полученными результатами у лиц мужского пола с врожденным укорочением нижней конечности при лечении по методу Илизарова, а также в группе мужчин-спортсменов. Скорость капиллярного кровотока в дистальных отделах – стопе и кисти – достоверно превышала параметр в коже проксимальных голени и бедра. По данным функциональной ишемической пробы пиковый кровоток в коже удлиненной голени и показатели тканевой перфузии в фазе реактивной гиперемии были снижены относительно параметров на интактном сегменте. Количественная характеристика параметров микроциркуляции у девушек-легкоатлеток при проведении окклюзионной пробы не отличалась от таковой на интактной голени в группе пациенток.

Ключевые слова: микроциркуляция, кожа, удлинение голени, девушки-спортсменки, метод Илизарова

MICROCIRCULATION IN THE SKIN OF LIMBS WITH INCREASING LONGITUDINAL SEGMENT SIZES BY THE ILIZAROV METHOD AND IN FEMALE ATHLETES WITH CYCLIC TYPE OF TRAINING EFFECTS

Grebenyuk L.A.¹, Gryaznykh A.V.², Kuchin R.M.²

¹Federal State Budgetary Russian Center for Restorative Traumatology and Orthopedics of the RF Ministry of healthcare, Kurgan, e-mail: gla2000@yandex.ru;

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Ugra State University", Khanty-Mansiysk, e-mail: kuchin_r@mail.ru

Two groups of female patients were examined: the first group consisted of patients with congenital shortened tibia, the lengthening of which was carried out by the Ilizarov method (n=30) at the age of 15-21 years, the second group included peers - female athletes (n=20). The study was performed before treatment and after 10-18 months. after its completion and removal of the Ilizarov apparatus. Laser Doppler flowmeter BLF-21 (USA) was used. An ischemic occlusion test was performed with the sensor located on the lower leg and occlusion on the thigh. The regular differences of tissue perfusion - "gradient" of skin capillary blood flow were established. The revealed phenomenon is consistent with the previously obtained results in males with congenital shortening of the lower limb in the treatment by the Ilizarov method, as well as in the group of male athletes. The rate of capillary blood flow in the distal parts-foot and hand – significantly exceeded the parameter in the skin of the proximal tibia and thigh. According to the data of the functional ischemic test, the peak blood flow in the skin of the extended tibia and tissue perfusion in the phase of reactive hyperemia were reduced relative to the parameters on the intact segment. Quantitative characteristics of microcirculation parameters in female athletes during the occlusion test did not differ from that on the intact lower leg in the group of patients.

Keywords: skin microcirculation, lengthening of tibia, female-athletes, Ilizarov method

Исследование микроциркуляции под влиянием различных факторов остается актуальной проблемой и позволяет выявлять закономерности в аспекте дисфункции этого

важнейшего звена кровообращения. Для выявления нарушения механизмов тканевой перфузии целесообразно проведение различных функциональных проб, в частности ишемической окклюзионной пробы. Это позволяет объективно оценивать кровоток в коже при разных состояниях организма и изучать общие закономерности изменения микроциркуляции кожи во взаимосвязи с дисфункцией или повреждением эндотелия [1].

Целью работы явилось выявление особенностей тканевой перфузии кожного покрова врожденно укороченной конечности у лиц женского пола с низкой локомоторной активностью и у девушек с гипердинамией – легкоатлетов, достигших высокого спортивного мастерства в условиях воздействия регулярных циклических нагрузок.

Материал и методы исследования

Обследованы две группы лиц женского пола: **первую группу** составили пациентки с врожденно укороченной голенью, удлинение которой осуществляли по методу Илизарова (n=30), в возрасте 15–21 лет, во **вторую группу** вошли девушки-легкоатлетки (n=20) в возрасте 17–22 лет, достигшие высокого спортивного мастерства в беге на средние дистанции (кандидаты и мастера спорта). И, если в первой группе обследованных отмечалась выраженная гиподинамия ввиду анатомо-функциональных нарушений пораженной конечности, для второй группы были характерны повышенная двигательная активность с ежедневным регулярным тренирующим воздействием на выносливость.

Пораженную голень в первой группе удлиняли на 5–6 см в условиях чрескостного дистракционного остеосинтеза по Илизарову. Исследование проводили до начала лечения и через 10–18 месяцев после его завершения и снятия аппарата Илизарова. В указанных группах проводилось исследование микроциркуляции кожного покрова конечностей, для чего использовали лазерный доплеровский флоуметр BLF-21 (Transonic System Inc., USA). Замеры проводили в средней трети сегментов по передней поверхности конечности в положении лежа при разогнутых коленных и голеностопных суставах. В указанных группах нами была проведена ишемическая окклюзионная проба, в процессе которой при расположении регистрирующего датчика на голени на проксимальном сегменте – бедре – накладывали манжету, с помощью которой нагнетанием воздуха до 180 мм рт. ст. осуществляли окклюзию артерий бедра в течение 3 минут. Затем окклюзию сосудов прекращали и продолжали регистрацию капиллярного кровотока в коже голени в процессе реактивной гиперемии. Статистическую обработку полученных данных осуществляли с использованием программы AtteStat, встроенной в Excel (разработчик И.П. Гайдышев). Оценивали характер распределения выборочных совокупностей данных, а также рассчитывали их средние значения, медиану, доверительный интервал и стандартную

ошибку. Статистическую достоверность различий определяли с помощью непараметрической статистики.

Настоящая работа проведена в соответствии с этическими принципами Хельсинской декларации (World Medical Association Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013). Все пациенты (группа 1) давали информированное письменное согласие на осуществление исследования и оперативного лечения, а также было получено одобрение этического комитета ФГБУ РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова на проведение исследования. Обследованные здоровые люди – спортсмены-легкоатлеты – также давали согласие на осуществление физиологических обследований.

Результаты исследования и их обсуждение

При анализе полученных результатов и сопоставлении базового капиллярного кровотока в коже различных сегментов нижней конечности прослеживается характерная особенность (табл. 1). Обнаружено, что капиллярный кровоток покоя в коже сегментов пораженной конечности до начала лечения статистически достоверно не отличался по параметрам от потока на контралатеральной конечности. Однако сопоставительный анализ изучаемых параметров проксимального бедра относительно дистального сегмента – стопы – позволил выявить «градиент» базового кровотока микроциркуляции. Это нашло выражение в достоверных различиях показателей капиллярного кровотока в коже сравниваемых «бедро – стопа» ($p < 0,05$), «голень – стопа» ($p < 0,01$) (табл. 1), в то время как при сопоставлении тканевой перфузии в коже таких сегментов, как «бедро – голень», достоверных различий не прослеживалось ($p > 0,05$).

Таблица 1

Капиллярный кровоток в коже сегментов врожденно укороченной нижней конечности у больных женского пола до лечения по Илизарову, $M \pm m$ (мл*мин /100 г ткани)

Параметр	Бедро	Голень	Стопа
Пораженная конечность			
$M \pm m, n=30$	$2,38 \pm 0,17$	$2,18 \pm 0,13$	$2,87 \pm 0,18$
	Б. бедро – голень	Б. гол – стопа	Б. бедро – стопа
Крит. Манна–Уитни	493	640,5	599
P – знач.	0,524952	0,004856	0,027603
	$>0,05$	$<0,01$	$<0,05$
Интактная конечность			
	Инт. бедро – голень	Инт. гол – стопа	Инт. бедро – стопа
$M \pm m, n=30$	2,27 \pm 0,17	2,15 \pm 0,16	2,94 \pm 0,17
Крит. Манна–Уитни	462,5	689,5	674,5
P – знач.	0,853382	0,000399	0,000903
	$>0,05$	$<0,001$	$<0,001$

Прим. $M \pm m$ – среднее значение параметра, m – стандартная ошибка.

Указанная особенность была свойственна до лечения как для микроциркуляции в коже пораженной конечности, так и интактной (контралатеральной) конечности. Аналогичное статистически значимое превышение капиллярного кровотока в коже стопы наблюдалось в группе высококвалифицированных спортсменок-легкоатлеток с регулярным циклическим типом тренирующих воздействий на выносливость, характеризуемых как гипердинамия (табл. 2).

Таблица 2

Показатели базового капиллярного кровотока в кожном покрове нижних конечностей девушек-легкоатлеток, $M \pm m$ (мл*мин /100 г ткани)

Параметр (n=20)	Бедро	Голень	Стопа
Ср. зн. \pm ст. ош.	1,8 \pm 0,09	1,9 \pm 0,11	2,6 \pm 0,07
Медиана	1,75 (1,5:2,2)	1,9 (1,6:2,3)	2,5 (2,5:2,7)
	Бедро – голень	Голень – стопа	Бедро – стопа
Критерий Смирнова	0,368421	0,842105	0,95
P – знач.	0,30328	5,63E-06	5,79E-08
	>0,05	<0,001	<0,001

Обращает на себя внимание тот факт, что обнаруженные особенности в группе спортсменок-легкоатлеток были свойственны также и кожной перфузии в сегментах верхней конечности (табл. 3).

Таблица 3

Параметры тканевой перфузии кожного покрова верхних конечностей девушек-легкоатлеток, $M \pm m$ (мл*мин/100 г ткани)

Параметр (n=20)	Плечо	Предплечье	Кисть
Ср. зн. \pm ст. ош.	1,98\pm0,07	1,92\pm0,06	2,2\pm0,07
Медиана	2,05 (1,8:2,2)	1,9 (1,8:2,2)	2,25 (2,1:2,4)
	Плечо – предплечье	Предплечье – кисть	Плечо – кисть
Критерий Смирнова	0,35	0,65	0,55
P – знач.	0,344953	0,000856	0,009431
	>0,05	<0,001	<0,01

Однако в литературе отмечается, что показатели микроциркуляции в коже предплечья у девушек-легкоатлеток (бег на средние и длинные дистанции) достоверно ниже параметров по сравнению со здоровыми сверстницами, не занимающимися спортом [2].

Нами было также установлено, что кровоток покоя в коже укороченной и интактной нижних конечностях в первой группе до лечения статистически достоверно превышал

таковой во второй группе обследованных – девушек-легкоатлеток. Такое превышение наблюдалось как в коже бедра и голени, так и на стопе (табл. 1-2).

По мнению ряда авторов, у высококвалифицированных спортсменов регуляция тканевой перфузии более совершенна по сравнению с группой здоровых нетренированных людей [3]. Физиологические механизмы, лежащие в основе гемодинамической стимуляции при регулярных тренировках, состоят в изменении напряжения сдвига просвета артерий и касательного напряжения стенок сосудов, улучшении потребления кислорода и как следствие – снижении риска развития атеросклероза в артериях [4].

Анализ литературы показывает, что микроциркуляция в коже обычно исследуется нередко лишь на одном сегменте, чаще на предплечье или стопе [5, 6]. Однако по данным некоторых авторов, в различных сегментах конечностей имеется дифференциация в строении микроциркуляторного русла. Так, были выявлены различия состояния микроциркуляторного русла различных топографических участков лица, что связано со структурными особенностями кожного покрова [7]. Это служит основанием для сопоставления микроциркуляции в каждом сегменте не только относительно контралатеральной конечности, но и в коже смежных проксимального и дистального сегментов [8].

Ранее было также показано, что у мужчин-легкоатлетов, тренирующихся на выносливость и имеющих высокие спортивные достижения (кандидатов и мастеров спорта), также наблюдается «градиент» тканевой перфузии в кожном покрове конечностей, нашедший выражение в достоверном превышении базового капиллярного кровотока в коже кисти и стопы относительно показателей микроциркуляции на проксимальных сегментах верхней или нижней конечности – бедре и голени [8]. Однако другие авторы при исследовании микроциркуляции не учитывают различий структуры микроциркуляторного русла при исследовании микроциркуляции в разных участках тела [9].

При исследовании микроциркуляции в коже как пораженной, так и интактной конечности после завершения оперативного лечения, когда было достигнуто уравнивание длины нижних конечностей и демонтирован аппарат внешней фиксации, указанная особенность – наличие «градиента» микроциркуляции – сохранялась (табл. 4). При этом статистически значимые отличия были характерны для параметров как в коже бедра, так и голени.

Таблица 4

Капиллярный кровоток в сегментах врожденно укороченной нижней конечности у больших женского пола **после лечения** по Илизарову, $M \pm m$ (мл*мин./100г ткани)

Параметр, n=90	Бедро	Голень	Стопа
Больная конечность			
M±m	1,93±0,96	2,05±0,11	2,67±0,13
	Б. бедро– голень	Б. голень – стопа	Б. бедро – стопа
Крит. Смирнова	0,16484	0,483516	0,450549
P – знач.	0,33728	2,3E-09	3,8E-08
	>0,05	<0,001	<0,001
Интактная конечность			
	Инт. бедро– голень	Инт. гол – стопа	Инт. бедро – стопа
M±m	1,94±0,07	1,91±0,09	2,87±0,11
Крит. Смирнова	0,186813	0,483516	0,461538
P – знач.	0,167027	2,3E-09	1,53E-08
	>0,05	<0,001	<0,001

Для выявления резервных возможностей микроциркуляторного русла в коже голени в обеих группах, обследованных нами, применялась ишемическая проба, результаты которой представлены на рисунках 1, 2. Базовый капиллярный кровоток в коже как удлинённой, так и контралатеральной голени до проведения функциональной ишемической пробы был идентичным, а пиковый кожный кровоток поражённой голени после прекращения окклюзии был значительно ниже на 21,1% относительно параметра на интактном сегменте, составив $3,78 \pm 0,66$ мл*мин / 100 г ткани. В дальнейшем по мере отслеживания характера протекания реактивной гиперемии в коже удлинённой голени соотношение численных значений тканевой перфузии сохранялось и было ниже по сравнению с показателями на интактном сегменте.

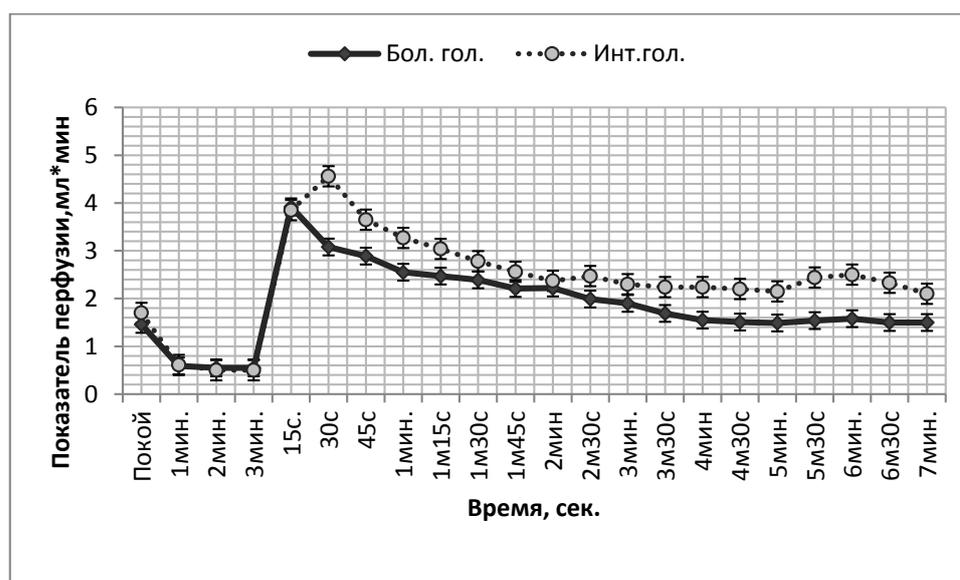


Рис. 1. Динамика тканевой перфузии в коже (мл*мин /100 г ткани) поражённой и интактной голени после уравнивания длины по методу Илизарова и интактного сегмента в процессе ишемической пробы (n=11)

Это свидетельствует о более высоких функциональных резервах капиллярного русла в коже **интактной** голени у лиц женского пола в группе пациентов, несмотря на то, что кровотоков покоя до выполнения функциональной пробы был идентичен. Динамика восстановления тканевой перфузии в коже голени девушек-легкоатлетов по результатам окклюзионной пробы представлена на рисунке 2.

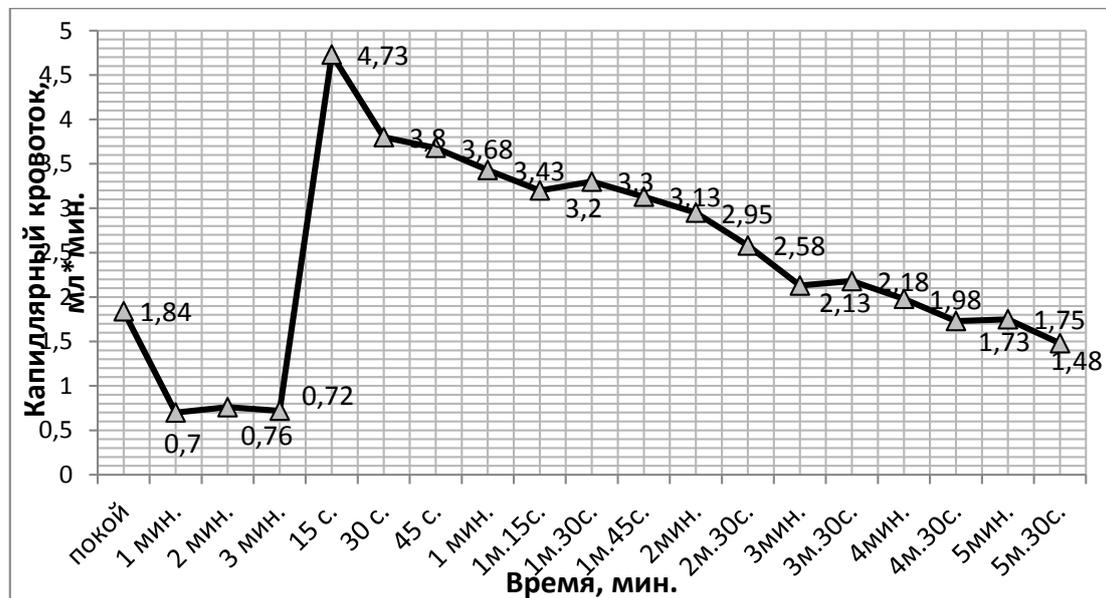


Рис. 2. Изменение капиллярного кожного кровотока ((мл*мин /100 г ткани) голени в процессе ишемической пробы в группе спортсменов, тренирующихся на выносливость в беге на средние дистанции (n=20)

Видно, что пиковый кровоток достигал $4,73 \pm 0,64$ мл*мин /100 г ткани, т.е. превышал таковой на удлинённой голени, который составил $3,78 \pm 0,66$ мл*мин /100 г ткани ($p < 0,05$). Вместе с тем различий величины пикового кожного кровотока на интактной голени и в коже голени у девушек-легкоатлетов не наблюдалось.

Ранее было показано, что у пациентов мужского пола микроциркуляция в коже удлинённой и контралатеральной (здоровой) голени как в покое, так и в фазе реактивной гиперемии практически не отличалась [8]. При этом пиковый кровоток у мужчин достигал 4,7 мл/мин /100 г ткани. Как получено в настоящем исследовании, у пациентов женского пола пиковый кровоток в коже удлинённого сегмента был ниже по сравнению с параметром на интактном сегменте. Следовательно, характер динамики тканевой перфузии в коже удлинённой и интактной голени отражает различные уровни восстановительных процессов микроциркуляторного русла у обследованных нами больных, в то время как было ранее установлено в группе пациентов-мужчин по результатам окклюзионной пробы, функциональные резервы микроциркуляции в коже удлинённой голени и в коже голени сверстников мужчин-легкоатлетов не отличались [8].

В последние годы обнаружен важный патогенетический механизм широкого спектра заболеваний, проявляющийся микрососудистой дисфункцией, предшествующей макрососудистым заболеваниям. По мнению некоторых исследователей, изучение эндотелиальной дисфункции как важнейшего параметра тканевой перфузии позволяет выявлять развитие атеросклероза до появления выраженных морфологических изменений и клинических симптомов [10]. Отмечается, что тренировки на выносливость приводят к ряду физиологических адаптаций, которые в конечном итоге оптимизируют кровообращение [11]. Повторная гемодинамическая стимуляция вследствие тренирующих воздействий является фактором, влияющим на атеросклеротический риск в артериальном звене кровообращения и регуляции артериального давления [4].

Таким образом, в результате проведенного исследования кожной микроциркуляции в группе девушек с врожденным укорочением нижней конечности и их сверстниц – легкоатлеток женского пола – установлены закономерные различия тканевой перфузии – «градиент» капиллярного кровотока. Выявленный феномен согласуется с ранее полученными результатами у лиц мужского пола с врожденным укорочением нижней конечности при лечении по методу Илизарова, а также в группе мужчин – спортсменов-легкоатлетов. Скорость капиллярного кровотока в дистальных отделах – стопе и кисти – статистически достоверно превышала параметр в коже проксимальных голени и бедра. По данным функциональной ишемической пробы пиковый кровоток в коже удлинённой голени и показатели тканевой перфузии в фазе реактивной гиперемии были снижены относительно параметров на интактном сегменте. Количественная характеристика параметров микроциркуляции у девушек-легкоатлеток при проведении окклюзионной пробы не отличалась от таковой при пробе на интактной голени в группе пациенток.

Список литературы

1. Маянская С.Д., Антонов А.Р., Попова А.А., Гребенкина И.А. Ранние маркеры дисфункции эндотелия в динамике развития артериальной гипертонии // Казанский медицинский журнал. 2009. Т. 90, № 1. С.32-37.
2. Сышко Д.В., Савина К.Д., Кровяков В.Ф. Кожный кровоток у женщин, тренирующихся в беге на средние и длинные дистанции // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. 2012. № 7. С. 103-106.
3. Montero D., Walther G., Diaz-Cañestro C., Pyke K.E., Padilla J. Microvascular Dilator Function in Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. Med. Sci. Sports Exerc. 2015. V. 47 (7). P. 1485-94. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000567.

4. Green D.J., Hopman M.T., Padilla J., Laughlin M.H., Thijssen D.H. Vascular Adaptation to Exercise in Humans: Role of Hemodynamic Stimuli. *Physiol Rev.* 2017. V. 97 (2). P. 495-528. DOI: 10.1152/physrev.00014.2016.
5. Ключин Н.М., Стогов М.В., Гребенюк Л.А., Судницын А.С., Киреева Е.А. Сравнительный анализ патофизиологических признаков остеомиелита нейрогенно-трофической и посттравматической этиологии // *Новости хирургии.* 2017. Т. 25. № 4. С. 382-388.
6. Долганова Т.И., Шабалин Д.А., Гребенюк Л.А., Долганов Д.В. Метаболизм тканей кисти и функциональные резервы микроциркуляции у пациентов с последствиями экстремального воздействия холодового фактора при лечении по Илизарову // *Гений ортопедии.* 2017. № 4. С.260-266.
7. Давыдова А.В., Моррисон А.В., Утц С.Р., Меглинский И.В., Лычагов В.В. Оценка состояния микроциркуляторного русла кожи лица методом лазерной доплеровской флоуметрии // *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2012. Т. 8. № 2. С. 615-621.
8. Grebenyuk L.A., Gryaznykh A.V., Grebenyuk E.B. Skin Microcirculation during Hypodynamia in Orthopaedic Patients and Cyclic Form Training. *Advances in Medicine and Biology* / ed. L.V. Berhardt. 2018. Nova Science Publishing. V. 134. Chapter 3. P. 131-147.
9. Борисевич С.А., Ракоца А.И. Показатели микроциркуляции кожи у представителей разных видов спорта // *Теория и практика физической культуры.* 2011. № 6. С. 33-35.
10. Thijssen D.H., Black M.A., Pyke K.E., Padilla J., Atkinson G., Harris R.A., Parker B., Widlansky M.E., Tschakovsky M.E., Green D.J. Assessment of flow-mediated dilation in humans: a methodological and physiological guideline. *Am J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2011 V. 300 (1). P. 2-12. DOI: 10.1152/ajpheart.00471.2010.
11. Simmons G.H., Wong B.J., Holowatz L.A., Kenney W.L. Changes in the control of skin blood flow with exercise training: where do cutaneous vascular adaptations fit in? *Exp. Physiol.* 2011. V. 96 (9). P. 822-8. DOI: 10.1113/expphysiol.2010.056176.