

**ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ  
ПРИ СМЕНЕ ОРИЕНТАЦИИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА  
(на примере жителей г. Ярославля)<sup>1</sup>**

О.А. Овчинникова\*

\*Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского (г. Ярославль)

Оценка состояния регуляции кровоснабжения кожи и функциональных возможностей системы микроциркуляции крови – актуальная проблема физиологии человека. Изменения положения тела сопровождаются перераспределением кровотока в сосудистом русле и приспособительными реакциями системы кровообращения. Периферический кровоток осуществляется в сосудах отдельных органов и тканей и направлен на обеспечение адекватного кровоснабжения в них в соответствии с постоянно меняющейся метаболической активностью. С помощью метода лазерной доплеровской флоуметрии с вейвлет-анализом амплитудно-частотного спектра колебаний микрокровотока в группе условно здоровых добровольцев обоего пола в возрасте 23–30 лет оценивали состояние кожной микроциркуляции и механизмы регуляции тканевого кровотока при положении тела сидя и лежа. При переходе в горизонтальное положение у обследуемых наблюдалось снижение максимальных амплитуд как активных, так и пассивных факторов контроля микроциркуляции. Более низкие значения амплитуд активного диапазона при принятии горизонтального положения указывают на увеличение жесткости сосудистой стенки и повышение сопротивления микроциркуляторного русла. Снижение амплитуд респираторного ритма, наблюдаемое в положении лежа, может указывать на улучшение венозного оттока. Полученные данные свидетельствуют о перераспределении крови в микроциркуляторном русле и большем задействовании нейрогенных, миогенных и кардиальных компонентов модуляции микрокровотока в положении лежа. Проведенная проба с задержкой дыхания не выявила значимых отличий в показателях микроциркуляции и показала схожие механизмы регуляции кровотока при кратковременной гипоксии в условиях изменения положения тела.

**Ключевые слова:** система микроциркуляции крови, лазерная доплеровская флоуметрия, ортостатический стресс, дыхательная проба.

Известно, что приспособительные механизмы и реакции адаптации и компенсации наиболее отчетливо выявляются при повышенной

функциональной нагрузке, поскольку в условиях физиологического покоя работа всех систем организма направлена на поддержание гомео-

---

<sup>1</sup>Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 14-15-00787).

**Ответственный за переписку:** Овчинникова Ольга Александровна, адрес: 150000, г. Ярославль, ул. Республиканская, д. 108; e-mail: Olechki-net@yandex.ru

**Для цитирования:** Овчинникова О.А. Изменение микроциркуляции крови при смене ориентации тела человека // Журн. мед.-биол. исследований. 2017. Т. 5, № 1. С. 16–24. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.16

стаза, а во время функциональной нагрузки наблюдается напряжение всех вегетативных функций, обусловленное необходимостью оксигенации рабочих органов на оптимальном уровне. Одним из факторов, обеспечивающих работоспособность организма, является функциональное состояние сердечно-сосудистой системы. Между тем сосуды магистрального типа контролируют лишь распределение крови между органами, а способностью регулировать взаимодействие крови и паренхимы органов обладает система микроциркуляции крови [1, 2].

Каждый человек ежедневно испытывает ортостатический стресс, выражающийся в напряжении механизмов регуляции системы кровообращения при переходе из положения лежа в вертикальную стойку. Главный эффект ортостатического стресса – это аккумуляция крови в венозной системе нижней части тела в результате действия гравитации, что ведет к снижению венозного возврата, систолического и сердечного выброса, провоцируя снижение артериального давления и мозгового кровотока. Если механизмы регуляции сердечно-сосудистой системы не срабатывают в должной мере, церебральный кровоток может нарушиться, приводя, в конечном итоге, к ортостатическому обмороку [3–5].

Очевидно, что микроциркуляторное русло (МЦР) не является стабильной системой путей транспортного кровотока, его функциональное состояние постоянно меняется, приспособляется к потребностям органов, что обеспечивается многочисленными структурными механизмами, условиями местного тканевого метаболизма и особенностями гемодинамики в сосудистой системе в целом [6, 7]. Так, итоговый эффект регуляторных механизмов определяется не только интенсивностью и природой действующих факторов, но и активностью регуляторных компонентов, функциональным состоянием реагирующих структур, обусловленными индивидуально-типологическими особенностями процессов микроциркуляции [2].

Вследствие перпендикулярного действия гравитационных сил на тело человека в положении лежа объем крови относительно равномерно распределен в сосудистой системе, сохраняя достаточно большое количество крови в центральном регионе – сосудах грудной полости, а также около 20–30 % в сосудах абдоминального региона [8]. Высокие венозный возврат (вследствие отсутствия противодействия гравитации) и центральный объем крови в положении лежа обеспечивают усиленное кровенаполнение правого желудочка и высокий ударный объем крови сердца. Во время перехода в ортостатическое положение под влиянием сил гравитации возврат крови замедляется, и часть крови начинает задерживаться в сосудах периферических регионов, снижая центральный объем крови. Величина крови, которая депонируется в кровеносных сосудах, зависит от многих факторов и во многом связана с растяжимостью сосудов [9].

Активная ортостатическая проба служит характеристикой функционального резерва системы кровообращения, позволяет судить о состоянии сердечного и сосудистого компонентов артериального давления, т. е. о состоянии центральной и периферической гемодинамики [10]. Идея использовать изменение положения тела в пространстве в качестве входного воздействия для исследования гемодинамических величин реализована в практике функциональной диагностики давно [11]. В то же время исследований, посвященных особенностям реакций системной гемодинамики на изменение положения тела в зависимости от характера позной статики, достаточно мало, и они недостаточно систематизированы. Изменения показателей гемодинамики при смене положения тела позволяют провести детальную оценку индивидуальных адаптационных возможностей к такому воздействию на организм человека [12]. Поэтому целью нашей работы стало изучение реакции системы микроциркуляции на изменение положения тела.

**Материалы и методы.** В исследовании принимали участие практически здоровые добровольцы обоего пола ( $n = 16$ ) в возрасте  $(27,2 \pm 4,9)$  лет (жители г. Ярославля). Состояние микроциркуляции оценивали методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с помощью компьютеризованного анализатора ЛАКК-02 (НПП «Лазма», Москва). Исследовали микрокровоток кожи предплечья в положении обследуемых сидя и затем лежа.

Метод ЛДФ основан на зондировании ткани лазерным излучением. Оценивали показатель микроциркуляции (ПМ), среднеквадратичное отклонение колебания перфузии относительно среднего значения потока крови ( $\sigma$ ) и коэффициент вариации ( $K_v$ ) показателя микроциркуляции и амплитудно-частотные характеристики отраженного сигнала [13, 14].

Более детальный анализ функционирования микроциркуляторного русла проводили на втором этапе – при обработке ЛДФ-грамм. С помощью вейвлет-преобразования рассчитывали амплитудно-частотный спектр колебаний и оценивали вклад эндотелиальных, нейрогенных и миогенных компонентов тонуса микрососудов, а также дыхательных и сердечных ритмов [12]. Нейрогенный тонус (НТ) прекапиллярных резистивных микрососудов и миогенный тонус (МТ) метартериол и прекапиллярных сфинктеров, а также показатель шунтирования (ПШ) определяли по формулам:

$$\text{НТ} = \sigma P_{\text{cp}} / (A_{\text{н}} M);$$

$$\text{МТ} = \sigma P_{\text{cp}} / (A_{\text{м}} M);$$

$$\text{ПШ} = (A_{\text{н}} + A_{\text{м}}) / A_{\text{м}},$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение колебания перфузии;  $P_{\text{cp}}$  – среднее артериальное давление;  $A_{\text{н}}$  и  $A_{\text{м}}$  – максимальные усредненные амплитуды осцилляций симпатического адренергического и миогенного диапазонов частот;  $M$  – среднее арифметическое значение ПМ.

Ввиду разброса результатов измерений амплитуд колебаний осуществлять диагностику

работы того или иного механизма регуляции только по величинам максимальных амплитуд затруднительно. Поэтому кроме  $A_{\text{max}}$  анализировали функциональный вклад каждого звена в модуляцию микрокровотока  $(A_{\text{max}}/3\sigma) \cdot 100\%$  и вклад в общий уровень тканевой перфузии  $(A_{\text{max}}/M) \cdot 100\%$ . Данные нормированные параметры рассчитывались в автоматическом режиме после определения значения  $A_{\text{max}}$  в соответствующем частотном диапазоне [15].

Дыхательную вазоконстрикторную пробу, отражающую рефлекторное увеличение нейрогенного компонента стационарного тонуса сосудов, осуществляли путем 15-секундной задержки дыхания на высоте глубокого вдоха, что приводило к рефлекторной активации преганглионарных симпатических вазомоторных нейронов, спазму приносящих микрососудов и кратковременному снижению ПМ с дальнейшим восстановлением кривой до исходного уровня. Резерв кровотока при дыхательной пробе вычисляли как отношение  $\text{ПМ}_{\text{max}}/\text{ПМ}_{\text{исх}}$  и выражали в процентах, где  $\text{ПМ}_{\text{исх}}$ ,  $\text{ПМ}_{\text{min}}$  – максимальная и минимальная величина ПМ при дыхательной пробе [13].

Статистическую обработку полученных данных после проверки на соответствие выборки закону нормального распределения в связанных выборках проводили с использованием парного  $t$ -критерия Стьюдента, различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ . Данные представлены в виде средних значений с их стандартным отклонением ( $M \pm \sigma$ ) [16, 17].

**Результаты и обсуждение.** Обладая высокой чувствительностью к изменениям микрогемодинамической ситуации в сосудистом русле, ЛДФ имеет неоспоримое преимущество перед другими методами исследования, поскольку регистрирует не только объемно-скоростные параметры микрокровотока, но и позволяет проводить изолированную оценку вклада каждого функционального механизма управления микрокровотоком [15, 18].

Показатель микроциркуляции (ПМ) ( $K_v$ ) и среднее колебание перфузии относительно значения потока крови ( $\sigma$ ) уменьшились на 27,4 и 28,3 % соответственно ( $p < 0,05$ ), вариабельность микрокровотока ( $p < 0,05$ ).

Таблица 1

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ  
ПРИ СМЕНЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА (по данным ЛДФ)**

Показатель	Положение тела		Разница, %	
	сидя	лежа		
ПМ (пф. ед.)	2,12±0,853	1,72±0,661*	-18,9	
$\sigma$ (пф. ед.)	0,427±0,233	0,306±0,141*	-28,3	
$K_v$ (пф. ед.)	21,20±7,11	15,40±4,92*	-27,4	
Э	$A_{max}$	0,239±0,168	0,141±0,018*	-41,0
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$	16,01±3,46	13,3±4,32*	-16,9
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$	10,48±3,84	5,11±1,63***	-51,2
Н	$A_{max}$	0,288±0,187	0,178±0,116*	-38,4
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$	19,4±5,09	16,4±3,97*	-15,1
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$	12,3±4,79	7,24±3,97**	-41,1
М	$A_{max}$	0,277±0,196	0,153±0,094*	-44,8
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$	18,2±4,47	17,9±4,58	-1,64
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$	11,6±4,87	7,48±3,09**	-35,5
Д	$A_{max}$	0,112±0,055	0,075±0,049*	-33,0
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$	9,10±3,29	7,07±4,50*	-22,3
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$	6,45±2,94	3,93±1,68**	-38,9
С	$A_{max}$	0,088±0,045	0,098±0,049	11,3
	$(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$	5,75±2,09	8,34±3,39**	45,2
	$(A_{max}/M) \cdot 100\%$	4,18±1,18	4,51±1,84	7,89
НТ (отн. ед.)	1,84±0,527	1,98±0,444	7,60	
МТ (отн. ед.)	1,88±0,477	1,86±0,486	-1,06	
ПШ (отн. ед.)	1,11±0,225	1,06±0,288	-4,59	

Примечания: 1.  $A_{max}$  – максимальная амплитуда;  $(A_{max}/3\sigma) \cdot 100\%$  – нормированная амплитуда;  $(A_{max}/M) \cdot 100\%$  – приведенная амплитуда; Э, Н, М, Д, С – регуляторные механизмы микроциркуляции (эндотелиальные, нейrogenные, миогенные, дыхательные, сердечные). 2. Статистическая значимость различий: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

При переходе в горизонтальное положение у обследуемых наблюдалось снижение максимальных амплитуд как активных, так и пассивных факторов контроля микроциркуляции. Так,  $A_{\max}$  нейрогенной природы снизилась на 38,4 % ( $p < 0,05$ ), миогенной природы – на 44,8 % ( $p < 0,05$ ), эндотелиальной – на 41,0 % ( $p < 0,05$ ) и дыхательной – на 33,0 % ( $p < 0,05$ ).

Снижение нормированных амплитуд активных факторов контроля микроциркуляции (нейрогенных и эндотелиальных) при переходе в горизонтальное положение составило 15,1 и 16,9 % ( $p < 0,05$ ) соответственно. Для колебаний кардиальной природы значения нормированной амплитуды были значимо выше на 45,2 % ( $p < 0,01$ ), а для дыхательных ритмов – ниже на 22,3 % ( $p < 0,05$ ) в положении лежа в сравнении с вертикальным положением.

Для осцилляций кардиальной природы значения приведенной амплитуды не имели статистически значимых различий при смене ориентации тела в пространстве. Для колебаний эндотелиальной, миогенной, нейрогенной и дыхательной природы значения приведенной амплитуды в положении лежа были значимо ниже на 51,2 % ( $p < 0,001$ ), 35,5 % ( $p < 0,01$ ), 41,1 % ( $p < 0,01$ ) и 38,9 % ( $p < 0,001$ ) соответственно, что может указывать на угнетение активных вазомоторных механизмов модуляции тканевого кровотока и преобладание в регуляции тонических симпатических влияний [19]. Подтверждением выявленного процесса может служить тенденция к увеличению нейрогенного тонуса в положении лежа на 7,6 % по сравнению с положением сидя.

Активные факторы контроля микроциркуляции модулируют поток крови со стороны сосудистой стенки и реализуются через ее мышечный компонент. Снижение амплитуд активного диапазона при принятии горизонтального положения указывает на увеличение жесткости сосудистой стенки и повышение сопротивления МЦР. Дыхательная волна МЦР обусловлена динамикой венозного давления при легочной механической активности и присасывающим действием дыхательного насоса. Снижение

амплитуд респираторного ритма, наблюдаемое в положении лежа, может указывать на улучшение венозного оттока. Таким образом, при переходе из положения сидя в положение лежа наблюдается перераспределение крови в МЦР.

Проведенная проба с задержкой дыхания отражает повышение тонуса сосудодвигательного центра, центрального звена симпатической иннервации [22]. Уменьшение перфузии при дыхательной пробе мало зависит от наличия или отсутствия артериоло-веноулярных анастомозов кожи [9]. Значимых отличий в показателях микроциркуляции в ответ на дыхательную пробу в зависимости от положения тела обследуемого нами не выявлено (табл. 2), что может свидетельствовать о сходстве механизмов регуляции кровотока при кратковременной гипоксии в условиях изменения положения тела.

Таблица 2

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ  
ПРИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ПРОБЕ (по данным ЛДФ)**

Показатель	Положение тела		Разница, %
	сидя	лежа	
$PM_{исх}$ , пф. ед.	2,04±0,903	1,58±0,410	-22,2
$PM_{min}$ , пф. ед.	1,36±0,81	1,22±0,579	-10,3
$PM_{max}$ , пф. ед.	2,66±1,50	2,07±0,974	-22,1
РКК, %	77,9±28,1	81,4±19,7	4,49

Примечания:  $PM_{исх}$  – показатель микроциркуляции до задержки дыхания;  $PM_{min}$  – показатель микроциркуляции при задержке дыхания;  $PM_{max}$  – восстановленная перфузия после задержки дыхания; РКК – резерв кровотока.

**Заключение.** Организм человека – это комплекс различных саморегулирующихся систем, которые формируются на метаболической основе под влиянием факторов внешней и внутренней среды. При этом сердечно-сосудистая

система как индикатор адаптивно-приспособительных процессов в первую очередь подвержена различным изменениям, чутко реагируя на них. Кровообращение в организме человека обеспечивает все процессы метаболизма и является компонентом различных функциональных систем, определяющих гомеостаз. Известно, что на конечный кровоток значительное влияние оказывают тонус сосудов, реологические свойства крови, состояние эндотелиальной функции, особенности гемостаза. Системе микроциркуляции принадлежит определяющая

роль в обеспечении адекватного кровоснабжения органов и тканей организма [23].

Выявленные нами отличия в степени выраженности активных и пассивных ритмов колебаний кровотока указывают на то, что в положении лежа происходит перераспределение крови в МЦР и застойные явления в МЦР отсутствуют. В положении лежа более активный вклад в модуляцию микрокровотока вносят нейрогенный, миогенный и кардиальный ритмы, а в положении сидя – эндотелиальный.

### Список литературы

1. Чуян Е.Н., Ананченко М.Н. Индивидуально-типологические особенности процессов микроциркуляции: влияние низкоинтенсивного миллиметрового излучения // Уч. зап. Тавр. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер.: Биология, химия. 2009. Т. 22(61), № 4. С. 236–254.
2. Ананченко М.Н., Чуян Е.Н. Кожная микроциркуляция в условиях функциональной нагрузки у испытуемых с различными типологическими особенностями под влиянием низкоинтенсивного миллиметрового излучения // Уч. зап. Тавр. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер.: Биология, химия. 2011. Т. 24, № 2(63). С. 30–49.
3. Wieling W., van Lieshout J.J., Hainsworth R. Extracellular Fluid Volume Expansion in Patients with Posturally Related Syncope // Clin. Auton. Res. 2002. Vol. 12, № 4. P. 242–249.
4. Robertson D. The Pathophysiology and Diagnosis of Orthostatic Hypotension // Clin. Auton. Res. 2008. Vol. 18, прил. 1. P. 2–7.
5. Stewart J.M. Common Syndromes of Orthostatic Intolerance // Pediatrics. 2013. Vol. 131, № 5. P. 968–980.
6. Калинин С.Ю., Калинина И.Н., Долгих В.Т. Особенности течения варикозной болезни нижних конечностей у пациентов с различным уровнем функционирования сердечно-сосудистой системы // Ангиология и сосудистая хирургия. 2007. Т. 13, № 2. С. 84–87.
7. Литвин Ф.Б. Возрастные и индивидуально-типологические особенности микроциркуляции у мальчиков, подростков и юношей // Регионар. кровообращение и микроциркуляция. 2006. Т. 5, № 1. С. 44–50.
8. Gelman S. Venous Function and Central Venous Pressure: A Physiologic Story // Anesthesiology. 2008. Vol. 108, № 4. P. 735–748.
9. Голубев Ю.В., Царанкин Л.В. Оценка уровня функционального состояния студентов по данным активной ортостатической пробы // Междунар. студенч. науч. вестн. 2015. № 5-3. С. 381.
10. Соловьева С.В., Церцек Т.Н., Бакиева Э.М., Трусевич Н.В., Соловьев В.С. Активная ортостатическая проба у здоровых и больных артериальной гипертензией и хронической обструктивной болезнью легких жителей города Сургута // Вестн. Тюм. гос. ун-та. Мед.-биол. науки. 2014. № 6. С. 132–140.
11. Астахов А.А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики в анестезиологии (с помощью системы «Кентавр»). Челябинск, 1996. Т. 2. 101 с.
12. Лесова Е.М., Самойлов В.О., Филиппова Е.Б., Савокина О.В. Индивидуальные различия показателей гемодинамики при сочетании гипоксической и ортостатической нагрузок // Вестн. Рос. воен.-мед. акад. 2015. № 1(49). С. 157–163.
13. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем. Колебания, информация, нелинейность: рук. для врачей. М., 2014. 498 с.
14. Лазерная доплеровская флуометрия микроциркуляции крови / под ред. А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова. М., 2005. 256 с.

15. Федорович А.А., Рогоза А.Н., Бойцов С.А. Взаимосвязь функции артериолярного и веноулярного отделов сосудистого русла с дилататорным резервом и параметрами центральной гемодинамики // Функци. диагностика. 2009. № 1. С. 14–22.
16. Сергиенко В.И. Математическая статистика в клинических исследованиях. М., 2006. 304 с.
17. Афанасьев В.В., Муравьев А.В., Осетров И.А., Михайлов П.В. Спортивная метрология. Ярославль, 2009. 242 с.
18. Binzoni T., Leung T.S., Rüfenacht D., Delpy D.T. Absorption and Scattering Coefficient Dependence of Laser-Doppler Flowmetry Models for Large Tissue Volumes // Phys. Med. Biol. 2006. Vol. 51, № 2. P. 311–333.
19. Тверитина Е.С. Механизмы регуляции кровотока кожи у лиц разных возрастных групп // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2014. № 3. С. 73–78.
20. Муравьев А.В., Тихомирова И.А., Чопоров С.В., Волкова Е.Л., Кислов Н.В., Маймистова А.А., Круглова Е.В. Анализ изменений деформируемости эритроцитов в норме и при патологии // Регионар. кровообращение и микроциркуляция. 2008. Т. 7, № 4. С. 47–52.
21. Саркисов К.Г., Дужак Г.В. Лазерная доплеровская флоуметрия как метод оценки состояния кровотока в микрососудах // Методология флоуметрии. М., 1999. С. 9–14.
22. Крупаткин А.И. Система периваскулярной иннервации. Клиническая нейроангиофизиология конечностей (периваскулярная иннервация и нервная трофика). М., 2003. 328 с.
23. Левтов В.А., Регирер С.А., Шадрин Н.Х. Реология крови. М., 1982. 272 с.

## References

1. Chuyan E.N., Ananchenko M.N. Individual'no-tipologicheskie osobennosti protsessov mikrotsirkulyatsii: vliyaniye nizkointensivnogo millimetrovogo izlucheniya [Individual Typological Features of Microcirculation Processes: The Influence of Low-Intensity Millimeter Radiation]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Ser.: Biologiya, khimiya*, 2009, vol. 22, no. 4, pp. 236–254.
2. Ananchenko M.N., Chuyan E.N. Kozhnaya mikrotsirkulyatsiya v usloviyakh funktsional'noy nagruzki u ispytuemykh s razlichnymi tipologicheskimi osobennostyami pod vliyaniem nizkointensivnogo millimetrovogo izlucheniya [Skin Microcirculation in the Functional Load of the Subjects with Different Typological Characteristics Under the Influence of Low Intensity Millimeter Radiation]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Ser.: Biologiya, khimiya*, 2011, vol. 24, no. 2, pp. 30–49.
3. Wieling W., van Lieshout J.J., Hainsworth R. Extracellular Fluid Volume Expansion in Patients with Posturally Related Syncope. *Clin. Auton. Res.*, 2002, vol. 12, no. 4, pp. 242–249.
4. Robertson D. The Pathophysiology and Diagnosis of Orthostatic Hypotension. *Clin. Auton. Res.*, 2008, vol. 18, suppl. 1, pp. 2–7.
5. Stewart J.M. Common Syndromes of Orthostatic Intolerance. *Pediatrics*, 2013, vol. 131, no. 5, pp. 968–980.
6. Kalinin S.Yu., Kalinina I.N., Dolgikh V.T. Osobennosti techeniya varikoznoy bolezni nizhnikh konechnostey u patsientov s razlichnym urovnem funktsionirovaniya serdechno-sosudistoy sistemy [Peculiarities of Lower Limb Varicosity in Patients with Various Levels of Functioning of the Cardiovascular System]. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya*, 2007, vol. 13, no. 2, pp. 84–87.
7. Litvin F.B. Vozrastnye i individual'no-tipologicheskie osobennosti mikrotsirkulyatsii u mal'chikov, podrostkov i yunoshey [Age and Individual Typological Characteristics of Microcirculation in Boys, Adolescents and Young Men]. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya*, 2006, vol. 5, no. 1, pp. 44–50.
8. Gelman S. Venous Function and Central Venous Pressure: A Physiologic Story. *Anesthesiology*, 2008, vol. 108, no. 4, pp. 735–748.
9. Golubev Yu.V., Tsarapkin L.V. Otsenka urovnya funktsional'nogo sostoyaniya studentov po dannym aktivnoy ortostaticheskoy proby [Evaluation of the Functional State of Students According to the Active Orthostatic Test]. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*, 2015, no. 5-3, p. 381.
10. Solov'eva S.V., Tsertsek T.N., Bakieva E.M., Trusevich N.V., Solov'ev V.S. Aktivnaya ortostaticheskaya proba u zdorovykh i bol'nykh arterial'noy gipertenziey i khronicheskoy obstruktivnoy bolezni'yu legkikh zhitel'ey goroda Surguta [Active Orthostatic Responses in Healthy Persons and AH and COPD Patients in Surgut]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Mediko-biologicheskie nauki*, 2014, no. 6, pp. 132–140.

11. Astakhov A.A. *Fiziologicheskie osnovy bioimpedansnogo monitoringa gemodinamiki v anesteziologii (s pomoshch'yu sistemy "Kentavr")* [Physiological Basis of Bioimpedance Hemodynamic Monitoring in Anesthesiology (Using the Kentavr System)]. Chelyabinsk, 1996. Vol. 2. 101 p.
12. Lesova E.M., Samoylov V.O., Filippova E.B., Savokina O.V. Individual'nye razlichiya pokazateley gemodinamiki pri sochetanii gipoksicheskoy i ortostaticeskoy nagruzok [Individual Differences of Hemodynamics in Terms of Hypoxia and Orthostatic Stress]. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*, 2015, no. 1, pp. 157–163.
13. Krupatkin A.I., Sidorov V.V. *Funktsional'naya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem. Kolebaniya, informatsiya, nelineynost'* [Functional Diagnostics of Microcirculatory and Tissue Systems. Fluctuations, Information, Non-Linearity]. Moscow, 2014. 498 p.
14. *Lazernaya dopplerovskaya fluometriya mikrotsirkulyatsii krovi* [Laser Doppler Flowmetry of Blood Microcirculation]. Ed. by A.I. Krupatkin, V.V. Sidorov. Moscow, 2005. 256 p.
15. Fedorovich A.A., Rogoza A.N., Boytsov S.A. Vzaimosvyaz' funktsii arteriolyarnogo i venulyarnogo otdelov sosudistogo rusla s dilatatornym rezervom i parametrami tsentral'noy gemodinamiki [Correlation of the Arteriolar and Venule Segment Functions of the Vascular Bed with Dilatory Reserve and Central Hemodynamics Parameters]. *Funktsional'naya diagnostika*, 2009, no. 1, pp. 14–22.
16. Sergienko V.I. *Matematicheskaya statistika v klinicheskikh issledovaniyakh* [Mathematical Statistics in Clinical Trials]. Moscow, 2006. 304 p.
17. Afanas'ev V.V., Murav'ev A.V., Osetrov I.A., Mikhaylov P.V. *Sportivnaya metrologiya* [Sports Metrology]. Yaroslavl, 2009. 242 p.
18. Binzoni T., Leung T.S., Rüfenacht D., Delpy D.T. Absorption and Scattering Coefficient Dependence of Laser-Doppler Flowmetry Models for Large Tissue Volumes. *Phys. Med. Biol.*, 2006, vol. 51, no. 2, pp. 311–333.
19. Tveritina E.S. Mekhanizmy regulyatsii krovotoka kozhi u lits raznykh vozrastnykh grupp [Mechanisms Regulating Blood Flow to the Skin in Various Age Groups]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo univertiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2014, no. 3, pp. 73–78.
20. Murav'ev A.V., Tikhomirova I.A., Choporov S.V., Volkova E.L., Kislov N.V., Maymistova A.A., Kruglova E.V. Analiz izmeneniy deformiruемости eritrotsitov v norme i pri patologii [Change Analysis of Erythrocyte Deformability Under Normal and Pathological Conditions]. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya*, 2008, vol. 7, no. 4, pp. 47–52.
21. Sarkisov K.G., Duzhak G.V. Lazernaya dopplerovskaya floumetriya kak metod otsenki sostoyaniya krovotoka v mikrososudakh [Laser-Doppler Flowmetry as a Method of Determining the Microcirculation Condition]. *Metodologiya floumetrii* [Flowmetry Methodology]. Moscow, 1999, pp. 9–14.
22. Krupatkin A.I. *Sistema perivaskulyarnoy innervatsii. Klinicheskaya neyroangiofiziologiya konechnostey (perivaskulyarnaya innervatsiya i nervnaya trofika)* [Perivascular Innervation System. Clinical Neuroangiophysiology of Limbs (Perivascular Innervation and Nerve Trophism)]. Moscow, 2003. 328 p.
23. LevtoV V.A., Regirer S.A., Shadrina N.Kh. *Reologiya krovi* [Blood Rheology]. Moscow, 1982. 272 p.

DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.16

*Ol'ga A. Ovchinnikova\**

\*Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky  
(Yaroslavl, Russian Federation)

**CHANGES IN HUMAN BLOOD MICROCIRCULATION  
WHEN CHANGING THE BODY POSITION  
(Exemplified by the Inhabitants of the Yaroslavl Region)**

Assessment of the regulation of blood supply to the skin and functional capacity of the microcirculation system is an important issue in human physiology. Changes in the body position are accompanied by redistribution of blood flow in the vascular bed and by adaptive response of the circulatory system.



Peripheral blood flow takes place in the vessels of individual organs and tissues and provides adequate blood supply to them, adjusting to the constantly changing metabolic activity. We used Laser Doppler Flowmetry together with the wavelet analysis of the amplitude-frequency spectrum of microcirculatory fluctuations in a group of healthy volunteers of both sexes aged 23–30 years to evaluate the state of skin microcirculation and regulation mechanisms of tissue blood flow in sitting and lying subjects. During transition to horizontal position, the subjects showed reducing peak amplitudes of both active and passive factors of microcirculation control. These lower values of active range amplitudes when moving into a horizontal position indicate increasing rigidity of the vascular wall and growing microvasculature resistance. Reducing respiratory rate amplitudes observed in the lying position can be a sign of an improved venous outflow. Our findings indicate blood redistribution in the microvasculature and a greater involvement of neurogenic, myogenic and cardiac components of microcirculation modulation in the horizontal position. The breath-holding test revealed no significant differences in terms of microcirculation and indicated similar mechanisms of blood flow regulation at short-term hypoxia when changing the body position.

**Keywords:** *blood microcirculation system, Laser Doppler Flowmetry, orthostatic stress, breath-holding test.*

Поступила 30.05.2016

Received 30 May 2016

**Corresponding author:** Ol'ga Ovchinnikova, *address:* ul. Respublikanskaya 108, Yaroslavl, 150000, Russian Federation; *e-mail:* Olechki-net@yandex.ru

**For citation:** Ovchinnikova O.A. Changes in Human Blood Microcirculation When Changing the Body Position (Exemplified by the Inhabitants of the Yaroslavl Region). *Journal of Medical and Biological Research*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 16–24. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2017.5.1.16