



## ОЦЕНКА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА У КУРЯЩИХ ЮНОШЕЙ

А.В. Харин, И.В. Аверьянова, С.И. Вдовенко

Научно-исследовательский центр «Арктика», Россия, 685000, г. Магадан, ул. Карла Маркса, 24

*Согласно статистическим данным Всемирной организации здравоохранения, от причин, связанных с курением, ежегодно умирает около 6 млн человек во всем мире, причем более 5 млн случаев смертей вызваны прямым курением сигарет и более 600 тысяч случаев – от воздействия пассивного курения. С целью изучения последствий воздействия табакокурения на систему микроциркуляции человека проведено исследование капиллярного кровотока и морфофункционального состояния капилляров у курящих и некурящих лиц.*

*В исследовании приняли участие 195 практически здоровых юношей в возрасте от 17 до 21 года, уроженцев Севера в первом и втором поколениях, которые на момент исследования являлись студентами Северо-Восточного государственного университета. Исследование параметров микроциркуляции крови проводилось неинвазивным методом компьютерной капилляроскопии в зоне кожного валика ногтевого ложа.*

*Было получено 12 количественных показателей, характеризующих микроциркуляторное русло. В ходе анализа полученных данных было выявлено смещение артериовенозного соотношения размеров капилляра в сторону увеличения диаметра артериального отдела и сужения диаметра венозного отдела капилляра в группе курящих юношей, а также отмечено уменьшение длины капилляров. По результатам исследований установлена значимая связь между курением и наличием капиллярной деформации. Показатели извитости кровеносных капилляров и скопления эритроцитарных сладжей более выражены у курящих лиц. Очевидно, что данные факторы в конечном итоге приводят к структурным изменениям, которые проявляются в виде заболевания.*

*Полученные результаты могут дополнить базу данных для создания рекомендаций по формированию здорового образа жизни у молодых людей с целью предупреждения рисков развития заболеваний, связанных с табакокурением.*

**Ключевые слова:** микроциркуляция, микроциркуляторное русло, капиллярный кровоток, капилляроскопия, ногтевое ложе, юноши, курение, морфофункциональное состояние.

Изучение морфологического и функционального состояния кровеносных капилляров имеет фундаментальное научное значение и прикладной интерес, поскольку микроциркуляторное русло является реактивной областью биохимических и иммунологических процессов. Через капилляры, как известно, осуществляется связь между кровью и тканями организма [1–3], необходимая для оптимальной перфузии в соответствии с метаболическими потребностями на уровне органа [4, 5].

Именно капилляры являются наиболее чувствительным звеном сосудистой системы к воздействию эндо- и экзогенных факторов [6–8].

В настоящее время для исследования микроциркуляторного русла используется компьютерная капилляроскопия сосудов кожной складки ногтевого ложа [9], поскольку этот метод позволяет наблюдать капилляры прижизненно и получать объективную оценку их функционального состояния,

что недоступно при любой другой неинвазивной методике [10, 11].

В научной литературе, затрагивающей проблематику влияния курения на человека, имеются единичные работы, посвященные исследованию кровеносных капилляров, однако они демонстрируют клинические случаи поражения органов и систем, описывают термическое и токсическое воздействие курения непосредственно на сосуды контактной поверхности ротовой полости, а также используют данные, полученные при помощи методов исследования кровотока, при которых невозможно визуализировать морфологические изменения в кровеносном русле.

Таким образом, визуализация кровотока и строение капилляров становятся ведущими в оценке влияния табакокурения на микроциркуляцию крови.

В связи с вышесказанным целью данного исследования являлось изучение воздействия табако-

© Харин А.В., Аверьянова И.В., Вдовенко С.И., 2019

**Харин Антон Владимирович** – младший научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний (e-mail: anton-harin@yandex.ru; тел.: 8 (964) 455-27-40; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8983-2553>).

**Аверьянова Инесса Владиславовна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний (e-mail: Inessa1382@mail.ru; тел. 8 (924) 691-11-46; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4511-6782>).

**Вдовенко Сергей Игоревич** – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний (e-mail: Vdovenko.sergei@yandex.ru; тел.: 8 (924) 856-55-50; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4761-5144>).

курения на морфофункциональное состояние капилляров у курящих юношей.

**Материалы и методы.** В исследовании принимали участие практически здоровые юноши в возрасте 17–21 года ( $n = 195$ ), студенты Северо-Восточного государственного университета (г. Магадан).

Для проведения сравнительного анализа и выявления изменений в системе микрогемодикуляции при воздействии продолжительного курения испытуемые были разделены на две группы: в первую (контрольную) группу вошли некурящие юноши ( $n = 155$ ), во вторую – юноши со стажем курения от 1 до 10 лет ( $n = 40$ ).

Изучение структуры капилляров и микроциркуляции проводилось в кожной складке ногтевого ложа при помощи компьютерного капилляроскопа «Капилляроскан-1». Все обследуемые не имели обморожений рук и других травм, последствия которых могли бы повлиять на микроциркуляцию в капиллярах ногтевого ложа. Исследование было выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (2008). До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Расчет морфометрических характеристик производился на основе программного обеспечения капилляроскопа. Регистрация микроциркуляции осуществлялась в режиме непрерывной видеозаписи, где программное обеспечение позволяло проводить оценку всех визуально наблюдаемых процессов и анатомических структур, получая усредненное значение скорости движения эритроцитов в исследованных капиллярах.

Аналізу были подвергнуты следующие показатели: скорость кровотока в артериальном, венозном и переходном отделах, длина и диаметр различных отделов капилляров, величина периваскулярной зоны, плотность капиллярной сети, извитость капилляров, частота сладжей (количество эритроцитарных агрегатов) и температура исследуемого участка кожи.

Все изученные показатели были статистически обработаны в программе MS Excel с определением нормальности распределения, среднего значения,

его ошибки ( $M \pm m$ ) и оценки значимости различий с использованием  $t$ -критерия Стьюдента, критический уровень значимости в работе принимался при  $p \leq 0,05$ . Для оценки взаимосвязи морфологических структур капилляров и динамических характеристик микроциркуляции проведен корреляционный анализ показателей по критерию Пирсона [12].

**Результаты и их обсуждение.** В таблице представлены результаты сравнительного анализа показателей микроциркуляции крови у курящих и некурящих юношей.

По морфофункциональным показателям микроциркуляции между группами некурящих и курящих юношей были выявлены статистически значимые различия. Так, обе группы отличались по величине диаметра артериального и венозного отделов капилляра, количеству эритроцитарных агрегатов (сладжей), по длине и коэффициенту деформации капилляров.

Известно, что просвет капилляра определяет пропускную способность для форменных элементов крови [6]. Зарегистрированные значения диаметров капилляров и скорости кровотока в обеих группах находились в диапазоне нормальных значений, имели слабые корреляционные связи с показателями скорости кровотока, степенью извитости капилляров и не зависели от стажа курения. Однако в группе курящих юношей выявлены отклонения в сторону увеличения диаметра артериальной части и сужения венозной части капилляра. Следует отметить, что приведенные значения диаметров капилляров относятся к диаметрам видимого эритроцитарного потока, так как стенки капилляров не видны в оптическом капилляроскопе. Таким образом, можно предположить, что наличие у курильщиков более выраженной агрегации эритроцитов влияет на расширение артериальной части капилляра.

Важный показатель, который характеризует интенсивность трансапикалярного обмена, – это периваскулярная зона [11]. Величина периваскулярной зоны зависит от общей обменной поверхности капилляра, которая определяется длиной и диаметром капилляра. Несмотря на значимые различия в группах

Сравнение значений показателей кровотока и структуры капилляров у курящих и некурящих юношей

Показатель	Некурящие, $n = 155$	Курящие, $n = 40$	$p$
Диаметр артериального отдела, мкм	$8,4 \pm 0,1$	$8,8 \pm 0,1$	$< 0,01$
Диаметр венозного отдела, мкм	$12,2 \pm 0,2$	$11,6 \pm 0,1$	$< 0,002$
Диаметр переходного отдела, мкм	$16,9 \pm 0,2$	$16,6 \pm 0,2$	$= 0,20$
Длина капилляра, мкм	$323,0 \pm 5,9$	$302,0 \pm 6,9$	$< 0,03$
Плотность капиллярной сети, отн. ед.	$0,041 \pm 0,001$	$0,039 \pm 0,001$	$= 0,09$
Периваскулярная зона, мкм	$91,9 \pm 1,5$	$89,0 \pm 1,7$	$= 0,22$
Скорость в артериальном отделе, мкм/с	$231,5 \pm 8,3$	$204,2 \pm 8,8$	$= 0,44$
Скорость в венозном отделе, мкм/с	$154,3 \pm 6,2$	$148,1 \pm 6,9$	$= 0,51$
Скорость в переходном отделе, мкм/с	$181,8 \pm 7,0$	$193,5 \pm 9,8$	$= 0,34$
Сладжи, ед./с	$3,1 \pm 0,1$	$3,9 \pm 0,3$	$< 0,01$
Коэффициент деформации, отн. ед.	$0,3 \pm 0,01$	$0,4 \pm 0,01$	$< 0,05$
Температура кожи, $t^\circ$	$30,6 \pm 0,4$	$29,9 \pm 0,2$	$= 0,08$

по длине и диаметру капилляров, размер периваскулярной зоны существенно не отличался.

Меньшее значение длины капилляров в группе курящих юношей, по-видимому, объясняется более высоким коэффициентом деформации сосудов. Это подтверждается данными корреляционного анализа – коэффициент деформации имел обратную корреляционную связь с длиной капилляра и составил  $r = -0,6$  ( $p < 0,05$ ). Показатель извитости сосудов принимал не только количественный, но и качественный характер: у курящей группы наблюдалась более выраженная степень деформации капилляров (рисунок).

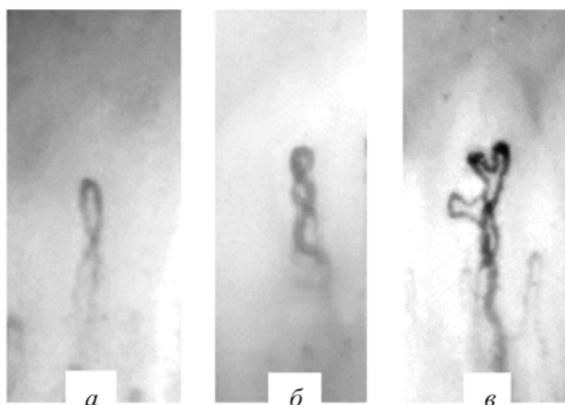


Рис. Типы наблюдаемых деформаций капилляров: а – единичное пересечение; б – два пересечения и более; в – кустистый капилляр

Вместе с тем выявлена корреляционная связь коэффициента деформации с плотностью капиллярного сплетения. У юношей с наиболее извитыми капиллярами отмечено наибольшее число капилляров на единицу площади. Вероятно, образование большего числа капилляров является компенсаторным механизмом, позволяющим восполнить недостаточность кровоснабжения тканей.

Согласно полученным данным, у группы курящих также регистрировалось наибольшее число эритроцитарных сладжей. В норме агрегация и дезагрегация эритроцитов способствуют эффективному обеспечению обменной функции крови и поддержанию постоянства внутрисосудистого давления [13]. Однако патологическое образование сладжей эритроцитов сопровождается уменьшением насыщения кислородом тканей [14, 15]. Это объясняется тем, что наличие агрегатов препятствует вхождению клеток крови в капилляры и способствует шунтирующему кровотоку в обход капиллярных сетей [16]. В свою очередь уменьшение плотности функционирующих капилляров приводит к снижению эффективной площади

транскапиллярного обмена [17]. При большом возрастании сладжей теряет эффективность механизма, способствующего стабилизации давления в капиллярах [18].

По показателю температуры исследуемого участка кожи не было выявлено значимых различий между группами. Математическое моделирование и эксперименты показывают, что в капиллярах не происходит переноса тепла с помощью кровотока [19]. Таким образом, вклад в теплоотдачу вносят не капилляры, а сосуды более крупного уровня.

**Выводы.** В данном исследовании методом компьютерной капилляроскопии было произведено сравнение показателей микроциркуляторного русла курящих и некурящих молодых людей. Были отмечены различия, заключающиеся в уменьшении длины капилляров у группы курильщиков, увеличении у них диаметра артериального отдела и сужении диаметра венозного отдела капилляров. Получены примеры микрососудистых отклонений, которые характеризовались наличием деформаций капилляров и скоплением эритроцитарных сладжей, в большей степени выраженных в группе курящих юношей.

Приведенные выше изменения являются универсальной основой для развития микроциркуляторных нарушений [20]. Установлено, что увеличение плотности капиллярной сети можно рассматривать как адаптивный признак, который до определенного предела позволяет нивелировать недостаточность кровоснабжения.

Также важно отметить, что при исчерпании резервов приспособительных механизмов системы микроциркуляции длительные некомпенсируемые нарушения обменных процессов в любом регионе сосудистой системы в конечном итоге приводят к структурным изменениям, которые проявляются в виде заболевания.

Учитывая глобальный многолетний опыт исследования влияния курения на организм человека, можно однозначно говорить о табакокурении как о факторе, негативно влияющем на здоровье и качество жизни. Однако степень и структура этого влияния на систему микрогемодикуляции требуют дополнительных исследований. Полученные результаты могут дополнить базу данных для создания рекомендаций по профилактике заболеваний, связанных с табакокурением и формированию здорового образа жизни у молодых людей.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Список литературы

1. WHO report on the global tobacco epidemic 2013: enforcing bans on tobacco advertising, promotion and sponsorship [Электронный ресурс] // World Health Organization. – Geneva, 2013. – URL: [https://www.who.int/tobacco/global\\_report/2013/en/](https://www.who.int/tobacco/global_report/2013/en/) (дата обращения: 17.10.2018).
2. Morphologic study of the microcirculation in connective tissue diseases / F.P. Cantatore, A. Corrado, M. Covelli, G. Lapadula [Электронный ресурс] // Ann Ital Med Int. – 2000. – № 15. – P. 273–281. – URL: <https://www.pubfacts.com/detail/11202629/Morphologic-study-of-the-microcirculation-in-connective-tissue-diseases> (дата обращения: 17.10.2018).
3. Scardina G.A. The effect of cigar smoking on the lingual microcirculation // Odontology. – 2005. – Vol. 93, № 1. – P. 41–45. DOI: 10.1007/s10266-005-0050-0
4. De Backer D., Durand A. Monitoring the microcirculation in critically ill patients // Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology. – 2014. – Vol. 28, № 4. – P. 441–451. DOI: 10.1016/j.bpa.2014.09.005
5. Microcirculatory dysfunction and resuscitation: why, when, and how / J.P. Moore, A. Dyson, M. Singer, J. Fraser // British Journal of Anaesthesia. – 2015. – Vol. 115, № 3. – P. 366–375. DOI: 10.1093/bja/aev163
6. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем. – М.: Либроком, 2013. – 496 с.
7. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, I.E. Rafailov, S.G. Palmer, N.A. Stewart, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // Physiological Measurement. – 2014. – Vol. 35, № 4. – P. 607–621. DOI: 10.1088/0967-3334/35/4/607
8. Shepro D. Microvascular Research: Biology and Pathology. – USA: Academic Press, 2005. – Vol. 1–2. – 1296 p.
9. Lambova S., Müller-Ladner U. The role of capillaroscopy in differentiation of primary and secondary Raynaud's phenomenon in rheumatic diseases: a review of the literature and two case reports // Rheumatol Int. – 2009. – Vol. 29. – P. 1263–1271. DOI: 10.1007/s00296-009-1019-z
10. Ступин В.А., Аникин А.И., Алиев С.Р. Транскутанная оксиметрия в клинической практике [Электронный ресурс]. – М.: Российский государственный медицинский университет, 2010. – 57 с. – URL: <http://diss.seluk.ru/m-physiology/1046293-1-va-stupin-anikin-aliev-transkutannaya-oksimetriya-klinicheskoy-praktike-metodicheskie-rekomendacii-moskva-2010-soderzhanie-vvedenie.php> (дата обращения: 17.10.2018).
11. Федорович А.А. Капиллярная гемодинамика в эпонихии верхней конечности. Обзор [Электронный ресурс] // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. – Т. 1, № 17. – С. 20–29. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11715560> (дата обращения: 17.10.2018).
12. Боровиков В.П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов [Электронный ресурс]. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с. – URL: <http://computersbooks.net/index.php?id1=4&category=teoriyaprogramirovaniya&author=borovikov-v&book=2003> (дата обращения: 17.10.2018).
13. Bishop J.J. Rheological effects of red blood cell aggregation in the venous network: a review of recent studies [Электронный ресурс] // Biorheology. – 2001. – Vol. 38, № 2, 3. – P. 263–274. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11381180> (дата обращения: 17.10.2018).
14. Löfström B. Intravascular aggregation and oxygen consumption: aggregation of red blood cells produced by high molecular weight dextran or by hypothermia // Acta Anaesthesiol Scand. – 1959. – Vol. 3, № 1. – P. 41–51. DOI: 10.1111/j.1399-6576.1959.tb00006.x
15. Tateishi N. O<sub>2</sub> release from erythrocytes flowing in a narrow O<sub>2</sub>-permeable tube: effects of erythrocyte aggregation // Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. – 2001. – Vol. 281, № 1. – P. H448–H456. DOI: 10.1152/ajpheart.2001.281.1.h448
16. Popel A.S., Johnson P.C. Microcirculation and hemorheology // Annu. Rev. Fluid Mech. – 2005. – № 37. – P. 43–69. DOI: 10.1146/annurev.fluid.37.042604.133933
17. Schmid-Schönbein H. Microrheology of erythrocytes, blood viscosity, and the distribution of blood flow in the microcirculation // Int. Rev. Physiol. – 1976. – № 9. – P. 1–62. DOI: 10.1007/978-3-642-66390-1\_4
18. Cabel M. Contribution of red blood cell aggregation to venous vascular resistance in skeletal muscle // Am. J. Physiol. – 1997. – Vol. 272, № 2. – P. H1020–H1032. DOI: 10.1152/ajpheart.1997.272.2.h1020
19. Лучаков Ю.И., Камышев Н.Г., Шабанов П.Д. Перенос тепла кровью: сопоставление расчетных и экспериментальных данных [Электронный ресурс] // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. – 2009. – Т. 7, № 4. – С. 3–24. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perenos-tepla-krovyu-sopostavlenie-raschetnyh-i-eksperimentalnyh-dannyh> (дата обращения: 17.10.2018).
20. Соколова И.А. Агрегация эритроцитов [Электронный ресурс] // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2010. – Т. 9, № 4. – С. 4–26. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15567994> (дата обращения: 17.10.2018).

*Харин А.В., Аверьянова И.В., Вдовенко С.И. Оценка морфофункционального состояния микроциркуляторного русла у курящих юношей // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 3. – С. 112–117. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.13*

## ASSESSING MORPHOFUNCTIONAL STATE OF MICROCIRCULATION CHANNEL IN SMOKING YOUNG MALES

**A.V. Kharin, I.V. Aver`yanova, S.I. Vdovenko**

«Arctica» Scientific and Research Center, the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 24 Karla Marksa Ave., Magadan, 685000, Russian Federation

*According to statistical data provided by the World Health Organization, death causes related to smoking annually account for approximately six million deaths all over the world, and here more than five million deaths are directly caused by smoking and more than 600 hundred thousand deaths occur due to passive smoking.*

*In order to study effects produced by smoking on human microcirculation, we examined capillary blood flow and morphofunctional state of capillaries in smoking and non-smoking people.*

*195 practically healthy young males aged 17–21 took part in our research; at that moment they were studying at the North-East State University. Microcirculation parameters were examined with non-invasive techniques, namely via computer capillaroscopy performed in a zone of skin swelling near the nail-bed.*

*We obtained 12 quantitative parameters to characterize the microcirculation channel. Having analyzed the data, we revealed a shift in artery-venous ratio of a capillary dimensions towards a greater diameter of an artery section and smaller diameter of a venous section in a capillary among smoking young males; there was also a decrease in capillary length. Research results allowed revealing a significant correlation between smoking and capillary deformation. Blood capillaries were more twisted and erythrocytic sludges were more apparent among smoking people.*

*The results we obtained can be added to a database that is applied to create recommendations on healthy lifestyle among young people in order to prevent risks of smoking-related diseases.*

**Key words:** microcirculation, microcirculation channel, capillary blood flow, capillaroscopy, nail-bed, young males, smoking.

### References

1. WHO report on the global tobacco epidemic 2013: enforcing bans on tobacco advertising, promotion and sponsorship. *World Health Organization*. Geneva, 2013. Available at: [https://www.who.int/tobacco/global\\_report/2013/en/](https://www.who.int/tobacco/global_report/2013/en/) (17.10.2018).
2. Cantatore F.P., Corrado A., Covelli M., Lapadula G. Morphologic study of the microcirculation in connective tissue diseases. *Ann. Ital. Med. Int.*, 2000, no. 15, pp. 273–281. Available at: <https://www.pubfacts.com/detail/11202629/Morphologic-study-of-the-microcirculation-in-connective-tissue-diseases> (17.10.2018).
3. Scardina G.A. The effect of cigar smoking on the lingual microcirculation. *Odontology*, 2005, vol. 93, no. 1, pp. 41–45. DOI: 10.1007/s10266-005-0050-0
4. De Backer D., Durand A. Monitoring the microcirculation in critically ill patients. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 2014, vol. 28, no. 4, pp. 441–451. DOI: 10.1016/j.bpa.2014.09.005
5. Moore J.P., Dyson A., Singer M., Fraser J. Microcirculatory dysfunction and resuscitation: why, when, and how. *British Journal of Anaesthesia*, 2015, vol. 115, no. 3, pp. 366–375. DOI: 10.1093/bja/aev163
6. Krupatkin A.I., Sidorov V.V. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем [Functional diagnostics of microcirculatory and tissue systems]. Moscow, Knizhnyi dom «Librokom» Publ., 2013, 496 p. (in Russian).
7. Dunaev A.V., Sidorov V.V., Krupatkin A.I., Rafailov I.E., Palmer S.G., Stewart N.A., Sokolovski S.G., Rafailov E.U. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms. *Physiological Measurement*, 2014, vol. 35, no. 4, pp. 607–621. DOI: 10.1088/0967-3334/35/4/607
8. Shepro D. *Microvascular Research: Biology and Pathology*. USA, Academic Press Publ., 2005, vol. 1–2, 1296 p.
9. Lambova S., Müller-Ladner U. The role of capillaroscopy in differentiation of primary and secondary Raynaud's phenomenon in rheumatic diseases: a review of the literature and two case reports. *Rheumatol. Int.*, 2009, vol. 29, pp. 1263–1271. DOI: 10.1007/s00296-009-1019-z

© Kharin A.V., Aver`yanova I.V., Vdovenko S.I., 2019

**Anton V. Kharin** – Junior researcher at the Laboratory for Physiology of Extremal States (e-mail: [anton-harin@yandex.ru](mailto:anton-harin@yandex.ru); tel.: +7 (964) 455-27-40; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8983-2553>).

**Inessa V. Aver`yanova** – Candidate of Biological Sciences, leading research associate of the research Laboratory for Physiology of Extremal States (e-mail: [Inessa1382@mail.ru](mailto:Inessa1382@mail.ru); tel.: +7 (924) 691-11-46; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4511-6782>).

**Sergey I. Vdovenko** – Candidate of Biological Sciences research associate of the research Laboratory for Physiology of Extremal States (e-mail: [Vdovenko.sergei@yandex.ru](mailto:Vdovenko.sergei@yandex.ru); tel.: +7 (924) 856-55-50; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4761-5144>).

10. Stupin V.A., Anikin A.I., Aliev C.R. Transcutaneous oximetry in clinical practice. Moscow, Rossiiskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet Publ., 2010, 57 p. Available at: <http://diss.seluk.ru/m-physiology/1046293-1-va-stupin-anikin-aliev-transkutannaya-oksimetriya-klinicheskoy-praktike-metodicheskie-rekomendacii-moskva-2010-soderzhanie-vvedenie.php> (17.10.2018) (in Russian).
11. Fedorovich A.A. The capillary haemodynamics in eponychium of upper extremity. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya*, 2006, vol. 1, no. 17, pp. 20–29. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11715560> (17.10.2018) (in Russian).
12. Borovikov V.P. Statistika. Iskustvo analiza dannykh na komp'yutere: Dlya professionalov [Statistica. An art of analyzing data on a PC for experts]. Sankt-Peterburg, Piter Publ., 2003, 688 p. Available at: <http://computersbooks.net/index.php?id1=4&category=teoriyaprogramirovaniya&author=borovikov-v&book=2003> (17.10.2018) (in Russian).
13. Bishop J.J. Rheological effects of red blood cell aggregation in the venous network: a review of recent studies. *Biorheology*, 2001, vol. 38, no. 2, pp. 263–274. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11381180> (17.10.2018).
14. Löfström B. Intravascular aggregation and oxygen consumption: aggregation of red blood cells produced by high molecular weight dextran or by hypothermia. *Acta Anaesthesiol. Scand.*, 1959, vol. 3, no. 1, pp. 41–51. DOI: 10.1111/j.1399-6576.1959.tb00006.x
15. Tateishi N. O(2) release from erythrocytes flowing in a narrow O(2)-permeable tube: effects of erythrocyte aggregation. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 2001, vol. 281, no. 1, pp. H448–H456. DOI: 10.1152/ajpheart.2001.281.1.h448
16. Popel A.S., Johnson P.C. Microcirculation and hemorrheology. *Annu. Rev. Fluid. Mech.*, 2005, no. 37, pp. 43–69. DOI: 10.1146/annurev.fluid.37.042604.133933
17. Schmid-Schönbein H. Microrheology of erythrocytes, blood viscosity, and the distribution of blood flow in the microcirculation. *Int. Rev. Physiol.*, 1976, no. 9, pp. 1–62. DOI: 10.1007/978-3-642-66390-1\_4
18. Cabel M. Contribution of red blood cell aggregation to venous vascular resistance in skeletal muscle. *Am. J. Physiol.*, 1997, vol. 272, no. 2, pp. H1020–H1032. DOI: 10.1152/ajpheart.1997.272.2.h1020
19. Luchakov Yu.I., Kamyshev N.G., Shabanov P.D. Heat transfer in blood vessels: comparison experimental and mat. *Obzory po klinicheskoi farmakologii i lekarstvennoi terapii*, 2009, vol. 7, no. 4, pp. 3–24. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/perenos-tepla-krovyyu-sopostavlenie-raschetnyh-i-eksperimentalnyh-dannyh> (17.10.2018) (in Russian).
20. Sokolova I.A. Erythrocyte aggregation. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya*, 2010, vol. 9, no. 4, pp. 4–26. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15567994> (17.10.2018) (in Russian).

*Kharin A.V., Aver'yanova I.V., Vdovenko S.I. Assessing morphofunctional state of microcirculation channel in smoking young males. Health Risk Analysis, 2019, no. 3, pp. 112–117. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.13.eng*

Получена: 22.10.2018

Принята: 08.08.2019

Опубликована: 30.09.2019