

УДК [611.161+612.1](470.1)

СТРУКТУРА КАПИЛЛЯРОВ И МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У АБОРИГЕНОВ И УКОРЕНЁННЫХ ЕВРОПЕОИДОВ – ПОСТОЯННЫХ ЖИТЕЛЕЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

© 2016 г. А. Л. Максимов, А. В. Харин

Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Магадан

В статье представлены результаты сравнительного анализа морфофункциональных показателей в капиллярах кожной складки ногтевого ложа у юношей-аборигенов и европеоидов – постоянных жителей Чукотского автономного округа (ЧАО) в состоянии покоя и при пробе с дыханием в замкнутом пространстве (ререспирация). Прижизненное исследование морфометрической структуры капилляров и скорости движения эритроцитов в их артериальном и венозном звеньях проводилось с использованием комплекса «Капилляроскан-01», разработанного в Сколково. Установлено, что структура и характеристики микроциркуляции аборигенов существенно отличаются от показателей европеоидов – уроженцев Севера в 1–2 поколениях (укорененные лица). У аборигенов ЧАО относительно их сверстников европеоидов наблюдается больший диаметр артериального звена при более высокой скорости кровотока, что определяет лучшие условия для ламинарного движения эритроцитов. Краткосрочная проба с дыханием в замкнутом пространстве без поглощения углекислого газа, несмотря на выраженное гипоксическо-гиперкапническое воздействие, не влияет на морфофункциональные показатели микроциркуляции у обследованных лиц. По всей видимости, сформировавшаяся у аборигенов структура капиллярной микроциркуляции в лучшей степени обеспечивает поддержание температуры поверхности тела и сохранение тепла, чем у европеоидов, родившихся и постоянно проживающих в тех же климатических условиях.

Ключевые слова: Север, аборигены, европеоиды, микроциркуляция, капилляроскопия, ререспирация

CAPILLARY AND MICROCIRCULATION STRUCTURE OBSERVED IN ABORIGINES AND NORTH-BORN CAUCASOIDS RESIDENTS OF RUSSIA'S EXTREME NORTH-EAST

A. I. Maksimov, A. V. Kharin

Scientific-Research Center "Arktika" Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

The results of the comparative analysis of morphofunctional parameters in nail-bed skin fold capillaries in male Aborigines and north-born Caucasoids (residents of Chukotka Autonomous District) examined at rest and rerespiration test are presented in the paper. The intravital study of capillary morphometric structure and erythrocyte motion speed in arterial and venous circulation was carried out using "Capillaroscan-01" complex developed in Skolkovo innovation centre. It was found out that the structure and characteristics of microcirculation in Aborigines differed significantly from those in Europeans North natives in the 1st–2nd generation. Aborigines of Chukotka Autonomous District, as compared to Caucasoids of the same age, demonstrated bigger diameter of the arterial link at higher blood flow speed that set better conditions for erythrocyte laminar motion. Besides, it turned out that, short-term rerespiration test in confined space without carbon-dioxide adsorption, despite the evident hypoxic-hypercapnic effect, did not influence morphofunctional parameters of microcirculation of the surveyed. Apparently, the capillary microcirculation structure specific for Aborigines provided the body surface temperature maintenance and heat conservation much better than in Caucasoids born in the north and living in the same climatic conditions.

Keywords: North, Aborigines, Caucasoids, microcirculation, capillaroscopy, rerespiration

Библиографическая ссылка:

Максимов А. Л., Харин А. В. Структура капилляров и микроциркуляции у аборигенов и укоренённых европеоидов – постоянных жителей Крайнего Северо-Востока России // Экология человека. 2016. № 11. С. 23–28.

Maksimov A. L., Kharin A. V. Capillary and Microcirculation Structure Observed in Aborigines and North-Born Caucasoids Residents of Russia's Extreme North-East. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 11, pp. 23-28.

Известно, что состояние микроциркуляции во многом отражает функциональное состояние организма, обеспечивая эффективность снабжения органов и тканей кислородом, а также поддерживая температурный баланс организма [17, 22]. Эта система является весьма чувствительной к изменениям кровообращения, имеет высокую реактивность в ответ на нарушения гомеостаза и внешние воздействия, поэтому изучение состояния морфологии капилляров и микроциркуляции представляет интерес для выявления не только информативных показателей системной

и региональной гемодинамики, но и функционального состояния организма в целом [7].

В этой связи изучение механизмов влияния на систему микроциркуляции таких факторов, как гипоксия, гиперкапния и холод, является актуальной проблемой при адаптации человека к действию экстремальных природно-климатических условий, и в частности Крайнего Севера. Одним из простых в методическом плане способов, позволяющих изучать эффекты сочетанного влияния на организм гипоксии и гиперкапнии, является дыхание в замкнутом простран-

стве без поглощения углекислого газа (ререспирация). К настоящему времени воздействие воздушной среды с измененным газовым составом получило широкое применение в качестве тестовой нагрузки в экспериментальной физиологии, в спортивной и военной медицине, а также в качестве терапевтического воздействия на организм [1, 8, 18]. Однако в настоящее время практически отсутствуют данные, основанные на оценке особенностей структуры микроциркуляторной системы у жителей Крайнего Севера как в состоянии покоя, так и при воздействии измененной газовой среды.

Отметим, что роль системного кровообращения в компенсации гипоксии различного генеза в пределах органа или всего организма достаточно хорошо изучена [6, 20]. Имеются также сведения о том, что с увеличением географической широты, морфофизиологические характеристики эритроцитов ухудшаются: изменяется их форма, снижается общее число и содержание в них гемоглобина, что отражается на обеспечении организма кислородом [2, 12]. Однако особенности механизмов перестройки системы микроциркуляции у различных популяций жителей Крайнего Севера практически не изучены, что в значительной мере было связано с отсутствием аппаратуры, позволяющей проводить прижизненный неинвазивный контроль за состоянием микроциркуляции с количественной оценкой ее характеристик.

Создание компьютерной капилляроскопии открыло новые возможности в этом направлении. Этот метод уже активно используется в области ангиологии как для ранней диагностики некоторых патологических проявлений, так и для наблюдения за восстановительным процессом в периоде лечения [4, 15, 19]. С помощью разработанной современной аппаратуры и метода обработки получаемого прижизненного изображения капилляров возможна объективная морфометрическая и функциональная оценка состояния конечного звена регионального кровотока с визуальной фиксацией процесса, что недоступно при любой другой неинвазивной методике [15, 16].

Однако отметим, что до настоящего времени данный метод еще не получил широкого развития в экологической физиологии при оценке адаптации и состояния здоровья у практически здоровых лиц с учетом воздействия на них экстремальных природно-климатических факторов. По всей видимости, это связано с отсутствием в лечебных и научно-исследовательских учреждениях современных компьютерных капилляроскопов, а также разработанных нормативных показателей микроциркуляции, характерных для организма здорового человека в зависимости от воздействующих на него условий окружающей среды.

Имеются единичные работы об особенностях перестройки микроциркуляции в норме у жителей Крайнего Севера под воздействием экстремальных природно-климатических факторов, однако они вы-

полнены методом лазерной доплеровской флоуметрии, при которой невозможна оценка кровотока в конкретном капилляре [3, 14]. Отметим, что в литературе не встретились работы по особенностям микроциркуляции у аборигенных и укорененных жителей Севера. В этой связи изучение индивидуально-типологических особенностей показателей микроциркуляции весьма актуально, так как это позволит разработать нормативные показатели для количественной оценки состояния капиллярного кровотока, определить характеристики его изменений в зависимости от возраста, условий окружающей среды и этнических различий жителей Севера.

С учетом этого целью нашего исследования было выявление особенностей морфофункционального состояния капиллярного русла у юношей-аборигенов и укорененных европеоидов — постоянных жителей Крайнего Северо-Востока России в состоянии покоя и при стандартной нагрузочной пробе в виде дыхания в замкнутом пространстве.

Методы

В исследовании приняли участие 98 практически здоровых юношей, студентов высшего и среднего учебных заведений в возрасте 18–21 года — уроженцев Чукотского автономного округа (ЧАО). Все обследуемые не имели обморожений рук и других травм, последствия которых могли бы повлиять на микроциркуляцию в капиллярах ногтевого ложа. Исследования проводились в помещении с комфортной температурой в первой половине дня.

Структура капилляров и микроциркуляции изучалась в зоне эпонихия (кожного валика) ногтевого ложа при помощи компьютерного капилляроскопа «Капилляроскан-1» (Москва, ООО «Новые энергетические технологии», Сколково). Расчёт морфометрических характеристик производился на основе программного обеспечения прибора. Регистрация микроциркуляции осуществлялась в режиме непрерывной видеозаписи, где программное обеспечение прибора позволяло проводить оценку всех визуально наблюдаемых процессов и анатомических структур, получая усреднённое значение скорости движения эритроцитов по конкретно исследованным капиллярам.

Испытуемые обследовались после 15 минут отдыха в положении сидя при комфортной комнатной температуре. До пробы (фон) в зоне ногтевого валика 2–5-го пальца на левой руке выбиралось наилучшее изображение капилляров. Морфологическая картина состояния капилляров и плотность капиллярной сети фиксировалась в виде панорамного снимка (рис. 1), а скорость кровотока в капиллярах записывалась в реальном режиме времени продолжительностью 10 секунд. После записи исходных (фоновых) показателей испытуемый в течение трёх минут выполнял пробу с дыханием в замкнутом пространстве (ререспирация).

Для проведения ререспирации испытуемому предлагалось совершить три глубоких выдоха в герме-

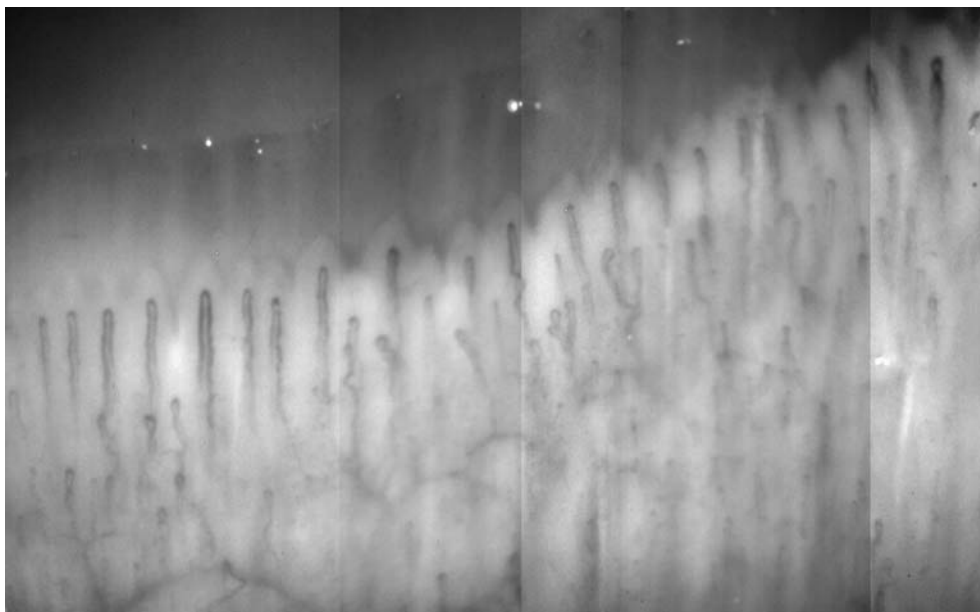


Рис. 1. Типичный панорамный вид структуры капилляров в зоне ногтевого ложа
Примечание. Кратность увеличения $\times 125$.

тичный пластиковый мешок (типа Дугласа), откуда в дальнейшем производился процесс вдоха и выдоха общей продолжительностью 3 минуты, при этом нос закрывался зажимом. Снижение уровня содержания кислорода и повышение уровня содержания углекислого газа в конце пробы регистрировались с помощью портативного газоанализатора производства ООО «НПК «Карбоник», Россия. Сразу по окончании пробы в той же зоне эпонихия повторно регистрировались показатели микроциркуляции.

Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом по медико-биологическим исследованиям при СВНЦ ДВО РАН (протокол № 003/013, 2013 г.). До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Статистическая обработка полученных данных проводилась отдельно по группе аборигенов — 56 человек и группе европеоидов — уроженцев ЧАО в 1–2 поколении в количестве 42 человек, являющихся постоянными жителями региона (укорененные лица) [9]. Анализу были подвергнуты следующие показатели: длина и диаметр различных отделов капилляров, величина периваскулярной зоны, плотность капиллярной сети, скорость кровотока в артериальном, венозном и переходном отделах, частота сладжей (количество эритроцитарных агрегатов). Следует отметить, что приведенные значения диаметров отделов капилляра относятся к диаметрам видимого эритроцитарного потока, так как стенки капилляров не видны в оптическом капилляроскопе, а скорость кровотока определяется как скорость перемещения отдельных эритроцитов по капилляру.

Все изученные показатели были статистически обработаны в программе MS Excel с определением характера нормальности распределения на основе

теста Шапиро — Уилка с оценкой среднего значения, его ошибки ($M \pm m$) и уровня значимости различий по t -критерию Стьюдента для зависимых (внутри этнической группы) и независимых (между аборигенами и европеоидами) выборками. Критический уровень значимости в работе принимался при $p \leq 0,05$.

Результаты

В таблице представлены результаты статистического анализа показателей структуры капиллярной сети и микроциркуляции. По морфофункциональным показателям капиллярного звена кровотока между группами аборигенов и европеоидов были статистически значимые различия. Так, в группе аборигенов величина диаметра артериального отдела капилляра значимо превышала аналогичный показатель европеоидов на 15 %; скорости кровотока в артериальном участке на 35 %; венозном — 23 %, а в переходной зоне на 42 %. Показатели длины капилляра, плотности капиллярной сети, величины периваскулярной зоны и частоты сладжей были статистически значимо больше в группе европеоидов, чем в группе аборигенов. Типичная картина микроангиоархитектоники капилляров ногтевого ложа представлена на рис. 2.

Подчеркнем, что выполнение пробы с ререспирацией статистически значимо не изменяло морфофункциональной картины состояния показателей микроциркуляции ни в группе аборигенов, ни в группе европеоидов. По всей видимости, краткосрочное снижение уровня кислорода в пределах 12,5–13 % и повышение уровня углекислого газа до 6,8–7,2 %, которые наблюдались у испытуемых на пике ререспирации, купируются резервными возможностями микроциркуляторной сети и не отражаются на показателях скорости кровотока в артериовенозных участках капилляров.

Показатели структуры капилляров и микроциркуляции у юношей абorigенов и укорененных европеоидов при пробе с ререспирацией ($M \pm m$)

Показатель капиллярного кровотока	Аборигены		Европеоиды		¹ Уровень значимости, р	² Уровень значимости, р
	Фон	Проба	Фон	Проба		
Диаметр артериального отдела, мкм	10,7±0,4	11,3±0,4	9,33±0,3	9,8±0,3	0,008	0,004
Диаметр венозного отдела, мкм	16,4±0,5	17,3±0,5	17,3±0,4	17,7±0,4	0,166	0,535
Диаметр переходного отдела, мкм	25,2±0,8	26,4±0,9	24,9±0,8	24,6±0,8	0,792	0,141
Длина капилляра, мкм	340±14	342±13,1	398±14,3	402±14,3	0,006	0,003
Плотность капиллярной сети, ед/мкм	0,04±0,001	0,04±0,002	0,05±0,002	0,05±0,002	0,001	0,001
Величина периваскулярной зоны, мкм	88,3±2,4	92,5±2,3	98,2±3,2	102±2,9	0,017	0,013
Скорость в артериальном отделе, мкм/с	333±15,1	318±16,2	247±12,4	255±13,5	0,001	0,004
Скорость в венозном отделе, мкм/с	232±13,1	244±15,4	152±8	169±10,8	0,001	0,001
Скорость в переходном отделе, мкм/с	238±13,5	241±15,4	168±10,4	163±9,6	0,001	0,001
Частота сладжей, ед/с	1,6±0,3	2,2±0,4	3,6±0,5	3,3±1,2	0,001	0,389
Температура, °C	30±0,3	30,3±0,3	29±0,3	28,7±0,4	0,023	0,002

Примечание. ¹ — уровень значимости различий показателей между группами аборигенов и европеоидов до проведения пробы (фон); ² — уровень значимости различий показателей между группами аборигенов и европеоидов на пике пробы с ререспирацией.

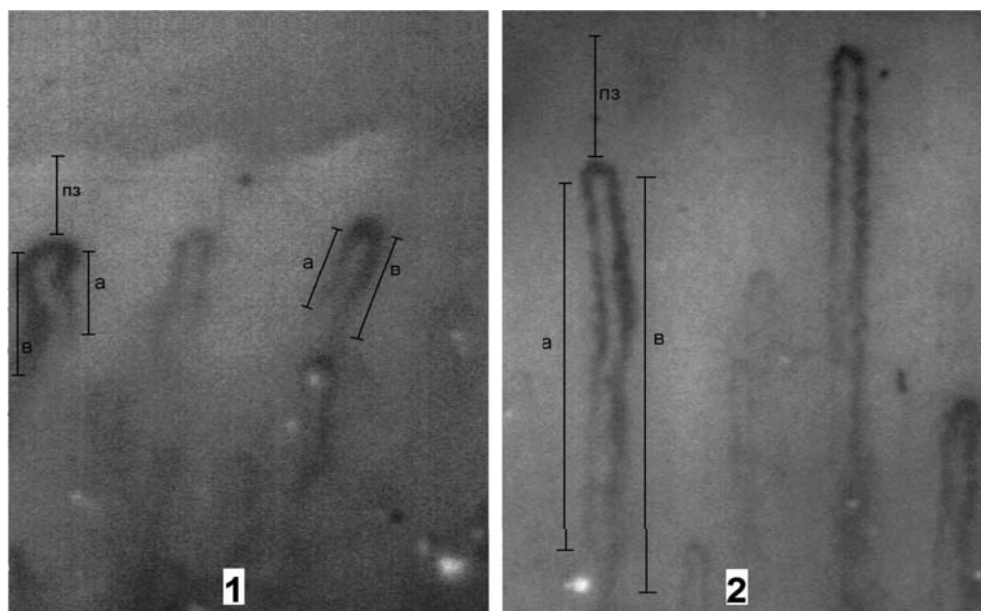


Рис. 2. Типичная структура капилляров аборигенов (1) и укоренённых европеоидов (2) в поле зрения капилляроскопа

Примечания: а — артериальный отдел капилляра; в — венозный отдел капилляра; пз — периваскулярная зона; кратность увеличения ×300.

Обсуждение результатов

Ранее при исследовании аборигенов и европеоидов Магаданской области было показано, что длина артериального и венозного участков капилляров у них статистически значимо меньше, чем среди укорененных европеоидов, однако различий в скорости движения эритроцитов между обследуемыми группами не отмечалось, при этом скорость в артериальном отделе капилляра находилась в пределах 162–175 мкм/с и в венозном — 115–124 мкм/с [11]. Это практически в 1,5 раза меньше, чем у обследуемых нами лиц ЧАО. По всей видимости, крайне жесткие температурные условия Чукотки определяют необходимость более высокой скорости капиллярного кровотока, как у

аборигенов, так и у европеоидов для поддержания оптимального температурного баланса организма между ядром и оболочкой тела. При этом у аборигенов ЧАО относительно их сверстников-европеоидов наблюдается больший диаметр артериального звена при более высокой скорости кровотока, что определяет лучшие условия для ламинарного движения эритроцитов. Это подтверждается меньшим более чем в 2 раза у аборигенов показателем числа сладжей (агрегаты эритроцитов) по сравнению с укорененными лицами. Такая морфологическая особенность, как меньший показатель плотности действующей капиллярной сети у аборигенов, является, по всей видимости, целесообразным сформированным адаптационно признаком, позволяющим обеспечивать меньшую теплотерю

организма без ущерба снабжения органов и тканей кислородом за счет большей интенсификации регионального кровотока. Это отражалось в более высокой температуре поверхности кожи пальца в зоне проводимых исследований, которая у аборигенов в среднем как в состоянии фона, так и при ререспирации составляла $(30,0 \pm 0,3) ^\circ\text{C}$, а у европеоидов $(28,8 \pm 0,3) ^\circ\text{C}$. Таким образом, параметры капиллярной гемодинамики отражают эффективность работы микроциркуляторного русла и соответственно уровень трансапиллярного обмена [16]. Подчеркнем, что у аборигенов значимо большие показатели скорости движения эритроцитов в капиллярах (при меньшем значении плотности капиллярной сети и длины капилляров) являются эффективным адаптивным механизмом для поддержания достаточного кровоснабжения открытых поверхностей, и в частности кистей рук как наиболее уязвимых участков тела при воздействии холода, что было раньше отмечено при изучении терморегуляции при действии низких температур [10, 21].

Известно, что увеличение размеров периваскулярной зоны может свидетельствовать о задержке жидкости в межклеточном пространстве, а ее уменьшение — о дегидратации тканей [16]. У европеоидов величина периваскулярной зоны оказалась значимо почти на 10 мкм больше, чем у аборигенов. Отметим, что у европеоидов на формирование увеличенной (относительно аборигенов) периваскулярной зоны, по всей видимости, влияет большая поверхность эндотелия за счет более выраженной длины капилляров и пониженной скорости кровотока, что отражается на трансапиллярном обмене и в определенной степени может снижать эффективность тканевого газообмена, являясь одной из причин формирования циркумполлярного гипоксического синдрома [5, 13].

Использование нагрузочной пробы в виде ререспирации показало, что кратковременное гипоксическо-гиперкапническое воздействие не влияет на микроциркуляцию. В этой связи необходимо отметить, что изучаемые показатели микроциркуляции при пробе с ререспирацией не могут выступать информативными маркерами для экспресс-оценки гипоксическо-гиперкапнической устойчивости у практически здорового человека.

Таким образом, сформировавшиеся у аборигенных жителей Севера адаптационные механизмы микроциркуляции и структура микроангиоархитектоники являются оптимальными для обеспечения температурного баланса организма, находящегося под хроническим низкотемпературным воздействием. В то же время у европеоидов, несмотря на то, что они являются уроженцами Севера, адаптивные перестройки со стороны структуры капиллярного звена региональной гемодинамики еще не достигли возможностей, характерных для аборигенов. Это, по всей видимости, указывает на ведущую роль генофенотипических факторов, формирующихся в процессе многих поколений и определяющих у аборигенов особенности системы

микроциркуляции, способствующие поддержанию механизмов терморегуляции при воздействии на организм экстремальных климатических факторов Крайнего Севера.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации».

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Полунин И. Н., Степанов В. К., Поляков В. Н. Человек в условиях гипоксии и гиперкапнии. Астрахань ; Москва, 2001. 340 с.
2. Дегтева Г. Н. Состояние эритронов у жителей северных территорий // Экология человека. 2004. № 6. С. 53–57.
3. Единова М. В. Особенности капиллярного кровотока кисти при локальных температурных воздействиях // Применение лазерной доплеровской флоуметрии в медицинской практике : материалы III Всероссийского симпозиума. М. : РУДН НПП «Лазма», 2000. С. 85–86.
4. Житова В. А., Чернуха С. Н. Использование капилляроскопии для диагностики нарушений периферического кровообращения // Актуальні проблеми сучасної медицини. 2013. Т. 13. № 4. С. 231–235.
5. Ким Л. Б. Транспорт кислорода при адаптации человека к условиям Арктики и кардиореспираторной патологии. Новосибирск : Наука, 2015. 216 с.
6. Колчинская А. З. О классификации гипоксических состояний // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 1981. Вып. 4. С. 3–10.
7. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем. М. : Книжный дом «Либроком», 2013. 496 с.
8. Левшин И. В., Ашкинази С. М., Пашута В. Л., Поликарпович А. Н. Индивидуальные особенности регуляции содержания оксигемоглобина при дефиците кислорода // Лечебная физическая культура и спортивная медицина. 2010. № 7. С. 23–28.
9. Максимов А. Л. Современные эколого-социальные аспекты биомедицинских исследований по адаптации человека на Северо-Востоке России // Север: арктический вектор социально-экологических исследований. Сыктывкар : Коми научный центр, 2008. С. 109–118.
10. Максимов А. Л., Рыженков А. А. Тепловизионная оценка периферических сосудистых реакций при локальном холодном воздействии у лиц с различной гипоксической устойчивостью // Физиология человека. 1999. Т. 25, № 1. С. 109–114.
11. Максимов А. Л., Харин А. В. Морфофункциональные особенности состояния капиллярного кровотока у аборигенов и европеоидов Магаданской области // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2014. № 4 (52). С. 12–17.
12. Марачев А. Г. Морфофизиологические показатели эритроцитов жителей Крайнего Севера // Физиология человека. 1997. Т. 3, № 1. С. 106–111.
13. Никитин Ю. П., Хаснулин В. И., Гудков А. Б. Современные проблемы северной медицины и усилия учёных по их решению // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2014. № 3. С. 63–72.
14. Попова Н. В., Попов В. А., Гудков А. Б. Возможности тепловидения и вариабельность сердечного ритма

при прогностической оценке функционального состояния сердечно-сосудистой системы // Экология человека. 2012. № 11. С. 33–37.

15. Ступин В. А., Аникин А. И., Алиев С. Р. Транс-кутанная оксиметрия в клинической практике. М.: ГОУ ВПО Российский государственный медицинский университет, 2010. 57 с.

16. Федорович А. А. Капиллярная гемодинамика в эпонихии верхней конечности. Обзор // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2006. № 1 (17). С. 20–29.

17. Dunaev A. V., Sidorov V. V., Krupatkin A. I. et al. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms // Physiological Measurement. 2014. Vol. 35 (4). P. 607–621.

18. Hamlin M. J., Hellemans J. Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological and performance parameters in multi-sport athletes // J. Sports Sci. 2007. Vol. 25. P. 431–441.

19. Jung P., Trautinger F. Capillaroscopy // J. Dtsch. Dermatol. Ges. 2013. Vol. 11. P. 731–736.

20. Kui Xu, Joseph C. LaManna Chronic hypoxia and the cerebral circulation // J. Appl. Physiol. 2006. Vol. 100. P. 725–730.

21. Le Blanc J. Mechanisms of adaptations to cold // Int. J. Sports Med. 1992. Supp. 1. P. 169–172.

22. Shepro D. Microvascular Research: Biology and Pathology. Publisher: Academic, 2005. Vol. 1–2, 1296 p.

References

1. Agadzhanian N. A., Polunin I. N., Stepanov V. K., Polyakov V. N. *Chelovek v usloviyakh gipokapnii i giperkapnii* [A man in a hypercapnia and hypercapnia]. Astrakhan, Moscow, 2001, 340 p.

2. Degteva G. N. The state of Eritrea the inhabitants of the Northern territories. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004, 6, pp. 53–57. [in Russian]

3. Edinova M. V. Osobennosti kapillyarnogo krovotoka kisti pri lokalnyh temperaturnykh vozdeystviyakh [Features of capillary blood flow in the hands of local temperature influences]. In: *Primenenie lazernoi dopplerovskoi floumetrii v meditsinskoj praktike. Materialy III Vseros, simpoziuma* [The use of laser Doppler flowmetry in medical practice. Materials of III All-Russia, the symposium]. Moscow, PFUR SPE “Lazma”, 2000, pp. 85–86.

4. Zhitova V. A. Chernuha S. N. Using capillaroscopy for the diagnosis of peripheral circulatory. *Aktual'ni problemi suchasnoi medicini* [Actual problems of the modern medicine]. 2013, 13 (4), pp. 231–235. [in Russian]

5. Kim L. B. *Transport kisloroda pri adaptacii cheloveka k usloviyam Arktiki i kardiorespiratornoj patologii* [Transport of oxygen in human adaptation to the Arctic and cardiorespiratory diseases]. Novosibirsk, Science Publ., 2015, 216 p.

6. Kolchinskaya A. Z. On the classification of hypoxic conditions. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya* [Pathological Physiology and Experimental Therapy]. 1981, 4, pp. 3–10. [in Russian]

7. Krupatkin A. I., Sidorov V. V. *Funkcional'naya diagnostika sostoyaniya mikrocirkulyatorno-tkanevykh sistem* [Functional diagnostics microcirculatory-tissue systems]. Moscow, Book house “Librokom”, 2013, 496 p.

8. Levshin V. I., Ashkinazi S. M., Pashuta V. L., Polikarpochkin A. N. Individual peculiarities of regulation of the content of oxyhemoglobin in the lack of oxygen. *Lechebnaya fizicheskaya kul'tura i sportivnaya medicina*

[Medical physical culture and sports medicine]. 2010, 7, pp. 23–28. [in Russian]

9. Maximov A. L. *Sovremennye ehkologo-social'nye aspekty biomeditsinskih issledovaniy po adaptacii cheloveka na Severo-Vostoke Rossii. Sever: arkticheskij vektor social'no-ehkologicheskikh issledovaniy* [Modern ecological and social aspects of biomedical research on human adaptation in the North-East of Russia. North: Arctic vector of socio-ecological research]. Syktyvkar, Komi scientific center, 2008, pp. 109–118.

10. Maximov A. L., Ryzhenkov A. A. Imaging assessment of peripheral vascular responses during local cold exposure in individuals with different hypoxic resistance. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. 1999, 25 (1), pp. 109–114. [in Russian]

11. Maximov A. L., Kharin A. V. Morphofunctional condition of capillary blood flow in aborigines and Europeoids of the Magadan region. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrocirkulyaciya* [Regional circulation and microcirculation]. 2014, 4 (52), pp. 12–17. [in Russian]

12. Marachev A. G. Morphological parameters of erythrocytes residents of the far North. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1997, 3 (1), pp. 106–111. [in Russian]

13. Nikitin Yu. P., Khasnulin V. I., Gudkov A. B. Contemporary problems of Northern medicine and researchers' efforts to solve them. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federalnogo universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskie nauki* [Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series: Medical and biological sciences]. 2014, 3, pp. 63–72. [in Russian]

14. Popova N. V., Popov V. A., Gudkov A. B. Opportunities of thermography and heart rate variability in predictive valuation of cardiovascular system functional state. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 11, pp. 33–37. [in Russian]

15. Stupin V. A., Anikin A. I., Aliyev R. S. *Transkutannaya oksimetriya v klinicheskoy praktike* [Transcutaneous oximetry in clinical practice]. Moscow, 2010, 57 p.

16. Fedorovich A. A. Capillary hemodynamics in the eponychium of the upper limb. Review. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrocirkulyaciya* [Regional circulation and microcirculation]. 2006, 1 (17), pp. 20–29. [in Russian]

17. Dunaev A. V., Sidorov V. V., Krupatkin A. I. et al. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms. *Physiological Measurement*. 2014, 35 (4), pp. 607–621.

18. Hamlin M. J., Hellemans J. Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological and performance parameters in multi-sport athletes. *J. Sports Sci.* 2007, 25, pp. 431–441.

19. Jung P., Trautinger F. Capillaroscopy. *J. Dtsch. Dermatol. Ges.* 2013, 11, pp. 731–736.

20. Kui Xu, Joseph C. LaManna Chronic hypoxia and the cerebral circulation. *J. Appl. Physiol.* 2006, 100, pp. 725–730.

21. Le Blanc J. Mechanisms of adaptations to cold. *Int. J. Sports Med.* 1992, supp. 1, pp. 169–172.

22. Shepro D. Microvascular Research. *Biology and Pathology*. Publisher Academic, 2005, Vol. 1–2, 1296 p.

Контактная информация:

Максимов Аркадий Леонидович — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор НИЦ «Арктика» Дальневосточного отделения РАН

Адрес: 685000, г. Магадан, ул. К. Маркса, д. 24

E-mail: arkmax@mail.ru