© А. Л. Максимов, А. В. Харин, 2018
УДК 611.161+612.135]:617.577:613.15/.16

А. Л. Максимов, А. В. Харин

СОСТОЯНИЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ХОЛОДОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ И ВЛИЯНИЕ ТРЕНИРОВОК С РЕРЕСПИРАЦИЕЙ

Лаборатория физиологии экстремальных состояний (руков. темы — чл.-кор. РАН д-р мед. наук А. Л. Максимов), ФГБУН «Научно-исследовательский центр „Арктика"» ДВО РАН, г. Магадан

Цель — изучить влияние гипоксически-гиперкапнической тренировки на морфометрические и функциональные показатели микроциркуляции крови у юношей.

Материал и методы. В исследовании принимали участие 80 юношей в возрасте 18–21 года, жителей г. Магадана из числа европеоидов и Санкт-Петербурга. Все обследуемые до (фон) и после тренировок с возвратным дыханием без поглощения углекислого газа (респирация) выполняли локальную холодовую пробу, при которой одну кисть погружали в воду с температурой 4–5 ºС на 5 мин. Сразу после пробы на другой кисти с помощью компьютерного капилляроскопа в зоне ногтевого валика исследовали показатели микроциркуляции.

Результаты. Показано, что морфологические характеристики различных отделов капилляров практически не различаются у обследованных популяций. Плотность капиллярной сети выше у жителей г. Магадана как до, так и после холодового воздействия. Однако скорость кровотока в артериальном, венозном и переходном отделах капилляров у них ниже, чем у жителей Санкт-Петербурга. Кратковременное охлаждение ладони не изменяет морфофункциональные характеристики микроциркуляции в интактной руке. Проведение тренировок с респирацией не влияет на показатели микроциркуляции.

Выводы. Холодовая проба и тренировки с респирацией не влияют на показатели микроциркуляции в зоне ногтевого валика интактной кисти, что указывает на относительную независимость реакций этой группы капилляров от системной гемодинамики и их особую роль в обеспечении температурного гомеостаза при действии на организм холодового и гипоксически-гиперкапнического факторов.

Ключевые слова: *морфология капилляров, капилляроскопия, микроциркуляция, холод, респирация*

Известно, что морфометрические показатели микроангиоархитектоники и микроциркуляции крови во многом характеризуют изменения состояния организма при воздействии на него эндо- и экзогенных факторов как в пределах нормы реакции, так и при развитии патологических процессов, в определенной степени отражая нарушения в эффективности снабжения органов и тканей кислородом, а также температурного баланса организма [4, 6, 12, 14, 18]. Эта система является весьма чувствительной к изменениям кровообращения, а также имеет высокую реактивность в ответ на нарушения гомеостаза. В этой связи изучение морфологии капилляров и микроциркуляции представляет интерес не только для выявления информативных маркеров региональной гемодинамики, но и функционального состояния организма в целом в процессе его адаптации к экстремальным природно-климатическим условиям [5].

Для изучения влияния на человека холодового фактора, наряду с климатическими камерами, весьма дорогостоящими и требующими в эксплуатации значительных затрат, широкое применение получили различные локальные пробы, позволяющие по характеру ответа на них со стороны функциональных систем и микроциркуляции, в частности, определять степень терморегуляционных перестроек и оценивать устойчивость организма к низкотемпературным влияниям. Наиболее часто в качестве холодовой пробы используется погружение конечностей в воду с температурой ниже 5 ºС, а также контакт с холодным предметом [5, 9, 10, 17].

Известно, что изменение показателей структуры макро- и микрососудистого русла при охлаждении и связанных с ними характеристик кровотока является одним из донозологических признаков, характеризующих как состояние адаптации, так и дизадаптации к холоду [1, 13, 15].

В литературе описан также эффект влияния локального охлаждения кисти, при котором в начальной стадии возникает вазоконстрикция, связанная с ингибированием эндотелий-зависимого расслабления и опосредованной активности симпатической нервной системы, которая может сменяться кратковременным состоянием вазодилатации (волны Льюиса) [16, 19]. Однако описанные механизмы соотнесе-

Сведения об авторах:

Максимов Аркадий Леонидович (e-mail: arkmax@mail.ru), *Харин Антон Владимирович* (e-mail: anton-harin@yandex.ru), лаборатория физиологии экстремальных состояний, ФГБУН «Научно-исследовательский центр „Арктика"» ДВО РАН, 685000, г. Магадан, пр. Карла Маркса, 24

ны с влиянием низкой температуры на достаточно крупные сосуды кожи при прямом воздействии холода на изучаемый участок тела. Отметим, что вопрос иннервации капилляров до сих пор по многим морфофизиологическим аспектам остаётся открытым. Имеются сведения о том, что кровообращение в каждом из миллиардов капилляров, по-видимому, не подчиняется непосредственной нервной регуляции, а зависит от стохастического закона, основанного на ряде случайных эндо- и экзогенных влияний на кровоток в системе капилляров [2]. В доступной литературе практически не встретилось исследований о реакциях капиллярного кровотока в зоне ногтевого ложа одной (интактной) кисти, при холодовых воздействиях на другую (контактную) кисть, на которой можно было бы наблюдать в реальном масштабе времени структуру капилляров и кровоток при различных температурных воздействиях.

В этой связи представляет интерес исследовать состояние микроангиоархитектоники и микроциркуляции у молодых практически здоровых людей, жителей различных климатических зон, при холодовом и гипоксически-гиперкапническом воздействии. При этом основной целью было определение возможных информативных маркеров капиллярного кровотока, на основе которых возможно было бы вести отбор людей, устойчивых к сочетанному действию холода и гипоксии, представляющих собой ряд основных экстремальных факторов, характерных для Крайнего Севера и Арктики.

Материал и методы. В исследовании приняли участие практически здоровые юноши в возрасте 18–21 года, курсанты Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург (27 человек) и студенты Северо-Восточного государственного университета, г. Магадан (53 человека). Оба города практически сопоставимы по широтному расположению, но значительно отличаются по выраженности неблагоприятных природно-климатических факторов, действующих на организм человека, экстремальность которых значительно выше в г. Магадане. Все обследуемые не имели травм или нарушений кожной поверхности концевых фаланг пальцев, последствия которых могли бы повлиять на состояние их микроциркуляции. Исследование морфометрической структуры капилляров и скоростных характеристик микроциркуляции проводили в зоне кожного валика ногтевого ложа при помощи компьютерного капилляроскопа «Капилляроскан-1» («Новые энергетические технологии», Россия). Расчёт морфометрических характеристик производили на основе программного обеспечения прибора. Регистрацию микроциркуляции осуществляли в режиме непрерывной видеозаписи, где программное обеспечение прибора позволяло проводить оценку всех визуально наблюдаемых процессов и морфологических структур, получая усреднённое значение скорости движения эритроцитов по конкретно исследованным капиллярам. При этом встроенным в капилляроскоп инфракрасным термодатчиком регистрировали температуру поверхности кожи в зоне исследования микроциркуляции.

До пробы (фон) в зоне ногтевого валика на одном из пальцев руки, где наиболее хорошо был виден кровоток, проводили регистрацию структуры капилляров и движения по ним форменных элементов крови в реальном режиме времени продолжительностью 10 с. После записи исходных (фоновых) показателей на интактной кисти испытуемый опускал другую (контактную) кисть в сосуд с водой температурой 4–5 ºС на 5 мин. Сразу по окончании холодового воздействия контактную кисть вынимали из сосуда и высушивали бумажным полотенцем, а на другой кисти проводили запись состояния микроциркуляции в той же зоне и на тех же капиллярах, что и в состоянии фона.

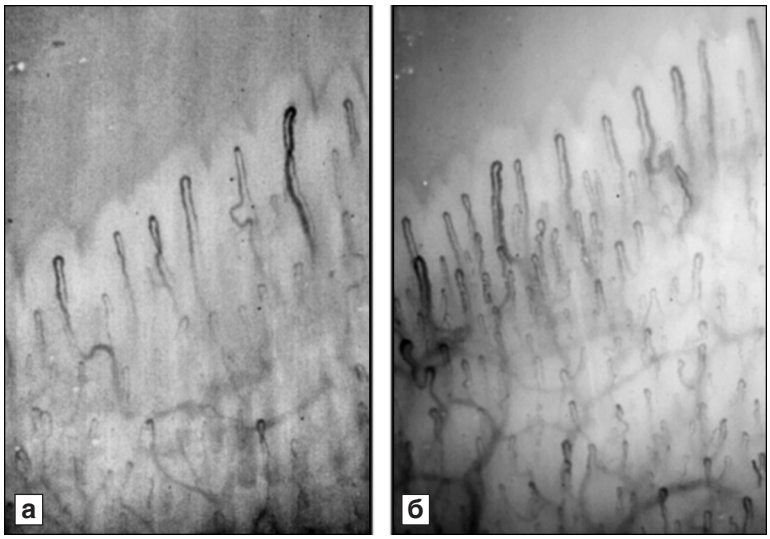
Для оценки влияния гипоксически-гиперкапнического воздействия на организм и, в частности, на микроциркуляцию проводили серию тренировок с дыханием в замкнутом пространстве (реверсирование). Для этого испытуемые из числа курсантов в течение 20 сут ежедневно трижды за одну тренировку выполняли реверсирование с продолжительностью каждого цикла 4 мин. Между каждым циклом реверсирования испытуемый 1 мин дышал обычным воздухом. Таким образом, за одну тренировку общее время реверсирования составляло 12 мин, а за весь двадцатидневный тренировочный период — 4 ч. Подробно процедура реверсирования была описана нами ранее [7].

Для оценки возможных следовых реакций влияния дыхательных тренировок, формирующих в организме состояние выраженного гипоксически-гиперкапнического эффекта, было проведено исследование микроциркуляции на 3-, 4-, 14–15-е и 20–21-е сутки по окончанию тренировок. Тренировки с реверсированием удалось провести только среди курсантов, учитывая особенности распорядка их жизнедеятельности, при котором они находились на казарменном положении, представляя собой строго организованный контингент, ведущий полностью сопоставимый образ жизни, что естественно невозможно было организовать среди студентов-магаданцев.

Изученные показатели были статистически обработаны с определением характера нормальности распределения, среднего значения, его ошибки, оценки достоверности различий с использованием t-критерия Стьюдента, критический уровень значимости в работе принимался при $p \leq 0{,}05$.

Протокол исследования был одобрен этическим комитетом медико-биологических исследований при СВНЦ ДВО РАН и у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Результаты исследования. В таблице представлены результаты исследований, из которых следует, что кратковременное локальное холодовое воздействие практически не меняет в зоне ногтевого валика на интактной кисти показатели капиллярного кровотока как до тренировки с реверсированием, так и после нее. Обращает на себя внимание, что показатели морфологии капилляров (длина и диаметр отдельных участков, величина периваскулярной зоны) среди юношей-европеоидов – уроженцев Магаданской области и их сверстников из центральных и западных районов страны, обучающихся в военном вузе Санкт-Петербурга, не имели статистически значимых



Типичные картины панорамы капилляров ногтевого ложа у курсантов Санкт-Петербурга (а) и студентов г. Магадана (б).

Хорошо видны различия в плотности числа капилляров. Ув. 200

различий. Статистически значимые различия выявлены по плотности капиллярной сети, которая была выше у студентов г. Магадана как до, так и после холодового воздействия, что также хорошо видно при сравнении индивидуальных микропанорамных снимков зоны ногтевого валика, характерных для юношей-европеоидов, постоянных жителей в изучаемых климатических регионах (*рисунок*).

По всей видимости, это является отображением эффектов адаптационных перестроек организма к более выраженному холодовому фактору, характерному для г. Магадана, когда обеспечение адекватного поддержания температуры дистальных участков верхней конечности происходит за счет большего числа действующих капилляров, но при меньшей скорости кровотока. Так, у курсантов из Санкт-Петербурга скорость движения крови в артериальном, венозном и переходных отделах капилляров на 3–4-е сутки после тренировок с переспирацией была статистически выше, чем у студентов-магаданцев. Однако спустя 2 и 3 нед по большинству характеристик микроциркуляции показатели не имели значимых различий относительно состояния до тренировок с переспирацией, в этой связи в таблицу полученных результатов они не включены. Только значения температуры зон, где проводилась капилляроскопия, были выше фоновых величин, составляя до и после холодовой пробы 33,3 и 34,1 °С соответственно.

Обсуждение полученных данных. Анализ характеристик значений скорости кровотока в концевых капиллярах ногтевого ложа в полученном нами массиве данных указывал на значительную вариативность изучаемых показателей, которые находились в диапазоне от 20 до 700 мкм/с. При этом в каждом сегменте капилляра в течение 2 мин даже в состоянии относительного покоя величины кровотока могли меняться с разницей в 100 мкм/с, а в отдельных случаях даже полностью прекращаться. В норме в висцеральных органах, в отличие от поверхностных капилляров кожи, показатели кровотока более стабильны, а его прекращение — это прямое условие возникновения патологии.

Вариативность архитектоники капилляров по морфофизиологическим показателям в группах студентов и курсантов определяет особенности перестроек микроциркуляции при локальном холодовом воздействии. Так, если у студентов-магаданцев действие низкотемпературного фактора определяло тенденцию к снижению скорости кровотока во всех отделах капилляра, то у курсантов, наоборот, — к её увеличению. Отметим, что широкий индивидуальный разброс значений в анализируемых нами выборках определял высокие значения дисперсии (8992–20 261 ед.), влияя на уровень значимости, который не удовлетворял требованиям нулевой гипотезы достоверности для медико-биологических исследований. Однако тренировки с переспирацией еще больше сдвигали вектор скорости кровотока в сторону увеличения, и при сравнении различий этих показателей между студентами, не проходившими переспирацию, и курсантами, прошедшими такую тренировку, различия достигали статистически значимого уровня при $p<0,01$.

Такой важный морфологический показатель, как плотность капиллярной сети (ПКС), отражающий насыщенность капиллярными сплетениями изучаемого участка кожи и влияющий на обменные процессы в этой зоне, может варьировать в широком диапазоне. Это связано с тем, что часть капилляров в момент исследования могут находиться в неактивном (бескровном) и невидимом состоянии, однако это не значит, что кровоток в зоне полностью отсутствует, просто он идёт по артериоло-венулярным анастомозам, расположенным более глубоко в коже относительно капилляров, находящихся в ногтевом валике.

Отметим, что наблюдаемая большая скорость капиллярного кровотока после тренировки с переспирацией и определяла у курсантов более высокую температуру поверхности кожи в зоне изме-

Показатели архитектоники и микроциркуляции у юношей г. Магадана и Санкт-Петербурга до и после тренировок с респирацией при холодовом воздействии

Наименование показателя	Характеристики обследования контингента		
	Студенты (г. Магадан) до тренировки (фон/холод)*	Курсанты (Санкт-Петербург)	
		до тренировки (фон/холод)*	после тренировки (фон/холод)*
Диаметр артериального отдела, мкм	8,0±0,3 / 8,00±0,20	8,6±0,5 / 8,5±0,4	8,5±0,7 / 8,1±0,6
Диаметр венозного отдела, мкм	13,1±0,4 / 13,4±0,4	13,0±0,6 / 14,4±0,5	13,0±0,5 / 13,2±0,5
Диаметр переходного отдела, мкм	17,5±0,5 / 17,0±0,4	16,8±0,8 / 17,3±0,8	17,9±1,0 / 18,1±0,9
Длина капилляра, мкм	333,9±14,7 / 332,5±15,1	317,7±19,2 / 332,6±16,0	313,7±23,9 / 315,9±16,3
Длина артериального отдела, мкм	125,3±14,7 / 124,7±15,1	119,2±19,2 / 207,8±16,0	117,7±23,9 / 118,5±16,3
Длина венозного отдела, мкм	208,6±14,7 / 207,8±15,1	198,5±19,2 / 124,8±16,0	196,0±23,9 / 197,4±16,3
Плотность капиллярной сети, отн. ед.	0,0430±0,0010 [2] / 0,0420±0,0010	0,039±0,002 [2] / 0,039±0,002	0,038±0,002 / 0,037±0,002
Величина периваскулярной зоны, мкм	94,4±3,1 / 96,9±3,5	88,3±3,3[1] / 95,1±3,7	97,5±3,2 [1] / 96,7±4,2
Скорость в артериальном отделе, мкм/с	217,8±17,6 [2] / 211,1±19,2 [2]	298,5±27,4 [2] / 307,8±24,5 [2]	337,6±20,9 / 343,5±27,0
Скорость в венозном отделе, мкм/с	161,1±15,6 / 143,2±13,0 [2]	217,5±25,1 / 236,9±22,9 [2]	256,8±26,2 / 263,2±21,6
Скорость в переходном отделе, мкм/с	168,4±17,7 / 150,6±15,8 [2]	215,1±25,1 / 231,4±22,6 [2]	235,1±21,8 / 248,1±25,9
Температура, °С	29,4±0,4 / 29,0±0,4[2]	30,7±0,7 [1] / 30,2±0,7 [1, 2]	34,5±0,6 [1] / 33,6±0,6 [1]

* В числителе — показатели до холодового воздействия, в знаменателе — после воздействия. [1] Значимые различия в группе курсантов до тренировки с респирацией и после тренировки; [2] между группой курсантов и студентов до тренировки с респирацией.

рения показателей микроциркуляции. Ранее проведенными тепловизионными исследованиями всей тыльной поверхности кисти было показано, что тренировки с дыханием в замкнутом пространстве способствуют повышению устойчивости организма к сочетанному действию гипоксии и гиперкапнии и повышают кожную температуру кистей рук при локально-холодовом воздействии [8].

Интересным аспектом влияния холодового фактора и тренировок с респирацией явилось увеличение периваскулярной зоны, где собственно и происходит газообмен между артериально-венозной кровью и тканями организма, куда поступает кислород, забирается углекислый газ и другие продукты метаболического обмена. Имеются сведения, что увеличение размеров периваскулярной зоны может свидетельствовать о задержке жидкости в межклеточном пространстве, а ее уменьшение — о дегидратации тканей [11]. У курсантов фоновое значение величины периваскулярной зоны после тренировки оказалось почти на 10 мкм значимо больше, чем до тренировки. Корреляционный анализ взаимосвязи величины периваскулярной зоны с другими характеристиками капиллярного кровотока показал наличие её прямой зависимости с диаметром переходного отдела и длиной капилляра как у студентов, так и курсантов. При этом величина коэффициентов парной ранговой корреляции (r) находилась в пределах 0,4–0,6 при уровне статистической значимости $p<0,05$.

В доступной литературе не удалось встретить работ, указывающих на роль величины переваскулярной зоны в обеспечении эффективности метаболических процессов, включая обмен газами крови. Мы полагаем, что увеличение этой зоны и скорости кровотока в пере-

ходном отделе между артериальным и венозным участками капилляра может отражать эффективность газового метаболизма и обеспечение организма кислородом. Такая предпосылка позволяет объяснять один из положительных эффектов тренировок с респирацией, проявляющейся в увеличении скорости кровотока во всех отделах капилляров. В то же время, значительное увеличение периваскулярной зоны может и препятствовать эффективному газообмену, выступая одной из причин возникновения на Севере циркумполярного гипоксического синдрома [3].

Таким образом, установлено, что у практически здоровых юношей сопоставимого возраста, но постоянно проживающих в различных природно-климатических условиях, морфологические характеристики структуры капилляров в зоне ногтевого ложа во многом совпадают, однако наблюдаются статистически значимые различия по функциональным показателям скорости кровотока, которая ниже среди уроженцев Севера из числа европеоидов. Действие кратковременной локальной холодовой пробы с погружением кисти одной руки в воду с температурой 4–5 ºС не влияет на морфофункциональные характеристики микроциркуляции в интактной верхней конечности, в связи с чем они не могут выступать информативными маркерами устойчивости организма к холодовому воздействию.

Проведение тренировок с дыханием в замкнутом пространстве по описанной выше схеме также не влияет на показатели микроциркуляции, однако при этом происходит изменение температурного паттерна интактной кисти, что было ранее подробно проанализировано в наших исследованиях [8]. По всей видимости, изменение микроциркуляции в зоне ногтевого ложа значимо не оказывает воздействия на системный кровоток и терморегуляцию дистальных отделов верхних конечностей, где основная роль отводится более крупным внутрикожным и подкожным сосудам. При этом возможность кожных капилляров и сосудов реагировать в широких пределах вазоконстрикцией или вазодилатацией является эволюционно закрепленным механизмом оперативной перестройки кровотока при действии холода в пользу жизненно важных органов (мозг, печень, почки, сердце), когда организм пытается сохранить оптимальный уровень кровоснабжения этих висцеральных структур за счет снижения кровотока в оболочке тела. В случае экстремального воздействия низкотемпературного фактора скорость кровотока в поверхностных кожных капиллярах и их общее количество (плотность капиллярной сети) могут значительно уменьшаться, обеспечивая за счет такого механизма поддержание на необходимом уровне кровоснабжения и кислородного обеспечения внутренних органов и тканей, сохраняя их функциональную активность.

Вклад авторов:

Концепция и дизайн исследования: А. Л. М.

Сбор и обработка материала: А. В. Х.

Статистическая обработка данных: А. В. Х.

Анализ и интерпретация данных: А. Л. М., А. В. Х.

Написание и редактирование текста: А. Л. М.

Авторы сообщают об отсутствии в статье конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимова Л. И. Усиленная холод-индуцированная вазоконстрикция (феномен Рейно) как признак аварийного регулирования функций организма при адаптации к холоду // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2007. Т. 21, № 1. С. 40–42 [Gerasimova L. I. Intensive cold-induced vasoconstriction (Raynaud phenomenon) as a sign of emergency regulation of body functions in adaptation to cold // Regionarnoe krovoobrashhenie i mikrocirkulyaciya. 2007. Vol. 21, № 1. P. 40–42. In Russ.].
2. Иванов К. П. Современные медицинские проблемы микроциркуляции и гипоксического синдрома // Вестник РАМН. 2014. № 1–2 [Ivanov K. P. Modern medical problems of microcirculation and hypoxic syndrome // Vestnik RAMN. 2014. № 1–2. In Russ.].
3. Ким Л. Б. Транспорт кислорода при адаптации человека к условиям Арктики и кардиореспираторной патологии. Новосибирск: Наука, 2015. 216 с. [Kim. L. B. Transport of oxygen in human adaptation to Arctic conditions and cardiorespiratory pathology. Novosibirsk: Nauka, 2015. 216 p. In Russ.].
4. Ковгенич Т. А. Сравнительная оценка состояния микроциркуляции русла ногтевого ложа и бульбарной конъюктивы у больных системной склеродермией с различными вариантами клинического течения // Украинский ревматологический журнал. 2006. № 23. С. 39–47 [Kovgenich T. A. Comparative assessment of the microcirculation of the bed of the nail bed and bulbar conjunctiva in patients with systemic scleroderma with various variants of the clinical course // Ukrainskij revmatologicheskij zhurnal. 2006. № 23. P. 39–47. In Russ.].
5. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем. М.: Книжный дом «Либроком», 2013. 496 с. [Krupatkin A. I., Sidorov V. V. Functional diagnostics of the state of microcirculatory-tissue systems. M.: Knizhnyi dom «Librokom», 2013. 496 p. In Russ.].
6. Крупаткин А. И., Сидоров В. В., Баранов В. В. Колебательный контур регуляции линейной скорости капиллярного кровотока // Региональное кровообращение и микроциркуляция. 2007. № 3 (23) С. 52–58 [Krupatkin A. I., Sidorov V. V., Baranov V. V. Vibrational contour of regulation of linear velocity of capillary blood flow // Regionarnoe krovoobrashhenie i mikrocirkulyaciya. 2007. № 3 (23). P. 52–58. In Russ.].
7. Максимов А. Л. Информативность температурных реакций кисти при воздействии на человека гипоксических факторов // Физиология человека. 2005. Т. 31, № 3. С. 108–117 [Maksimov A. L. Informativeness of the temperature reactions

of the brush under the influence of hypoxic factors on human // Fiziologiya cheloveka. 2005. Vol. 31. № 3. P. 108–117. In Russ.].

8. Максимов А.Л., Максимова Н.Н. Борисенко Н.С., Королев Ю.Н., Голубев В.Н. Температурные перестройки поверхности кисти рук при холодовой пробе у молодых жителей Северо-Востока и Северо-Запада России // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2016. № 2. С. 100–105 [Maksimov A.L., Maksimova N.N., Borisenko N.S., Korolev Yu.N., Golubev V.N. Temperature changes in the surface of the hands during a cold test in young residents of the North-East and North-West of Russia // Vestnik SVNC DVO RAN. 2016. № 2. P. 100–105. In Russ.].
9. Максимов А.Л., Рыженков А.А. Тепловизионная оценка периферических сосудистых реакций при локальном холодовом воздействии у лиц с различной гипоксической устойчивостью // Физиология человека. 1999. Т. 25, № 1. С. 109–114 [Maksimov A.L., Ryzhenkov A.A. Thermal imaging assessment of peripheral vascular reactions with local cold exposure in persons with different hypoxic resistance // Fiziologiya cheloveka. 1999. Vol. 25, № 1. P. 109–114. In Russ.].
10. Поляков Е.Л., Пастухов Ю.Ф., Прахова Ж.В., Колесов С.Н. Изменение теплового состояния кистей рук при ритмических холодовых воздействиях // Физиология человека. 1994. Т. 20, № 6. С. 96–103 [Polyakov E.L., Pastukhov Yu.F., Prakhova Zh.V., Kolesov S.N. The change in the thermal state of hands with rhythmic cold influences // Fiziologija cheloveka. 1994. Vol. 20, № 6. P. 96–103. In Russ.].
11. Федорович А.А. Капиллярная гемодинамика в эпонихии верхней конечности. Обзор. // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2006. № 1 (17). С. 20–29 [Fedorovich A.A. Capillary hemodynamics in the eponymic of the upper limb. Overview // Regionarnoe krovoobrashhenie i mikrocirkulyaciya. 2006. № 1 (17). P. 20–29. In Russ.].
12. Хугаева В.К., Ардасенов А.В. Микроциркуляция при хроническом стрессе // Мезотерапия. 2012. Т. 18, № 2. С. 18–25 [Khugaeva V.K., Ardasenov A.V. Microcirculation in chronic stress // Mezoterapiya. 2012. Vol. 18, № 2. P. 18–25. In Russ.].
13. Bailey S.R., Mitra S., Flavahan S., Flavahan N.A. Reactive oxygen species from smooth muscle mitochondria initiate cold-induced constriction of cutaneous arteries // Amer. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol. 2005. Vol. 289, № 1. P. H243–250.
14. 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.
15. Hassi J., Juoperi K., Remes J. et al. Cold exposure and cold-related symptoms among Finns aged 25–64 years // 2nd Int. Conf. on Human-Environmental System. 1998. P. 271–274.
16. Jonson J.M., Kelogg D.L. Local thermal control of the human cutaneous circulation // J. Appl. Physiol. 2010. Vol. 109. P. 1229–1238.
17. Le Blanc J. Mechanisms of adaptations to cold // Int. J. Sports Med. 1992. Suppl. I. P. 169–172.
18. Microvascular Research: Biology and Pathology /Ed. D. Shepro: San Diego, Elsevier Academic Press, 2005, Vol. 1–2. 1296 p.
19. Thompson C.S., Holowatz L.A., Kenney W.L. Attenuated noradrenergic sensitivity during local cooling in aged human skin // J. Physiol. 2005. Vol. 564. P. 313–319.

Поступила в редакцию 28.07.2017
Получена после доработки 16.10.2017

THE CHARACTERISTICS OF MICRO-CIRCULATION DURING LOCAL EXPOSURE TO COLD AND THE EFFECT OF REBREATHING TRAINING

A. L. Maksimov, A. V. Kharin

Objective — to study the effect of hypoxic-hypercapnic training on the morphometric and functional indices of blood microcirculation in young men.

Materials and methods. The study involved 80 young men aged 18–21 years, Caucasoid residents of Magadan and St. Petersburg. Before and after training with isolated space breathing free of carbon dioxide (rebreathing), a local cold test was performed, during which one hand was immersed in water with a temperature of 4–5 C for 5 min. Immediately after the test, microcirculation was examined in the nail fold of another hand using computer capillaroscope.

Results. It was shown that the morphological characteristics of various capillary regions did not differ in the populations examined. Capillary network density was higher in the residents of Magadan, both before and after cold exposure.

However, the speed of blood flow in arterial, venous and transitional parts of the capillaries were lower than in the residents of St. Petersburg. Short-term cooling of the palm did not alter the morphological characteristics of the microcirculation in the intact hand. Rebreathing training did not affect the microcirculation parameters.

Conclusions. Cold test and rebreathing training did not affect the microcirculation indices in the nail fold area of the hand, which indicates the relative independence of the reactions of this group of capillaries from systemic hemodynamics and their special role in providing thermal homeostasis during exposure of the body to cold and hypoxia hypercapnia.

Key words: *capillary morphology, capillaroscopy, microcirculation, cold, rebreathing*

Laboratory of Physiology of Extreme States, RAS Far Eastern Branch „Arktika" Scientific Research Center, 24 Karl Marx Prospekt, Magadan 685000