

УДК [616.5-092:612.13] (23.03)

## РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ КРОВООБРАЩЕНИЯ КОЖИ НА ГОРНЫХ ВЫСОТАХ

*Ю.Х.-М. Шидаков, И.А. Абдумаликова, Х.Дж. Каркобатов,  
А.С. Шаназаров, М.В. Чуракаев*

Рассмотрены особенности ремоделирования микроциркуляторного русла и микрогемодициркуляции кожи на горных высотах.

*Ключевые слова:* кожа; горы; микрогемодициркуляция.

---

## REMODELING OF BLOOD CIRCULATION SKIN ON THE MOUNTAIN HEIGHTS

*Yu. Ch.-M. Shidakov, I.A. Abdumalikova, Kh.J. Karkobатов,  
A.S. Shanazarov, M.V. Churakaev*

The article considers the features remodeling of the microvasculature and the microcirculation of the skin on the mountain heights.

*Keywords:* skin; mountains; microgemacirculation.

Кожа является не только комплексным покровом тела, но и сложнейшим органом. Она служит границей и средством связи и взаимодействия организма с внешней средой. Кожа непосредственно воспринимает все воздействия внешней среды, а также значительное число современных лечебных процедур. Эти взаимодействия вызывают соответствующие реакции не только на коже, но и со стороны организма в целом, а также отдельных органов – в частности [1]. Так, путем раздражения отдельных участков кожи можно достигнуть следующих лечебных эффектов: болеутоляющий, регулирующий образование отдельных видов нейромодальных веществ; улучшение микроциркуляции во многих органах и системах; нормализация артериального и венозного давления; антиспастическое действие на гладкую мышечную ткань; нормализация функции нервной и сердечно-сосудистой систем; повышение иммунитета и резистентности к инфекциям; антидепрессивное и седативное действие; снижение синдрома абстиненции при наркомании и т. д. [2].

Кожа теснейшим образом связана со всеми внутренними органами [1]. Благодаря этому она играет огромную роль в сохранении гомеостаза и гомеокинеза в организме. Нет органа, превосходящего кожу по широте физиологических и патологических процессов. Многочисленные ее функции обеспечиваются уникальным кровоснабжением, иннервацией и биохимией органа.

Несмотря на большое число фундаментальных исследований кровеносной системы кожи, вопрос еще далек от завершения. Практически нет обобщающей работы о кровоснабжении кожи в условиях высокогорья. Впервые такие исследования проведены в Институте горной физиологии НАН Кыргызстана под руководством одного из авторов настоящей работы [3].

В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы явилось изучение ремоделирования кровоснабжения кожи в условиях высокогорья.

**Материал и методы.** В качестве экспериментальных животных послужили собаки и крысы. Кровоснабжение кожи изучалось морфологически (контактная прижизненная биомикроскопия, телевизионная микроскопия, микрофотография, изготовление просветленных и гистологических препаратов) и физиологическими (изучение микрогемодинамики, гемореологии, биоэлектрической активности гладкомышечных клеток, скорости кровотока, вязкости крови, проницаемости сосудистой стенки и др.) методами.

Привлечение обширного арсенала методик позволило комплексно и системно изучить кровоснабжение кожи в покое.

### **Результаты исследования**

**Анатомия.** По современным представлениям имеются три группы питающих артерий:

а) кожные ветви артерий, идущих в межмышечных фасциальных перегородках;

- б) мышечно-кожные артерии;
- в) надкостнично-кожные артерии.

Артерии, питающие кожу, образуют широкопетлистую сеть под гиподермой. Из этой сети в кожу поднимаются более мелкие ветви, которые на нижней границе делятся и анастомозируют друг с другом, образуя вторую глубокую (субдермальную) артериальную сеть, параллельную первой. Здесь берут начало артерии, питающие волосяные фолликулы и клубочки потовых желез. Из субдермальной артериальной сети собственно в кожу направляются микроскопические малые артерии (диаметр 100 мкм), которые могут быть уже обозначены как крупные артериолы нулевого порядка. Эти короткие и мелкие артерии делятся, образуя длинные артериолы диаметром около 50 мкм, анастомозирующие друг с другом. Под эпидермисом из них образуются артериолярные аркады.

На границе с сосочковым слоем располагается поверхностная артериальная, точнее артериолярная, сеть, характеризующаяся наличием узких петель или ячеек. От этой сети отходят терминальные артериолы, идущие к кожным сосочкам. Каждая терминальная артериола питает группу сосочков, образуя сосочковые капилляры. Из сосочков кровь оттекает в вены, образующие мелкопетлистую поверхностную сеть сразу под сосочками, элементы которой можно наблюдать при биомикроскопии кожи. Несколько глубже субпапиллярной артериальной сети выделяется вторая веноулярная сеть, параллельная первой.

В сетчатом слое располагается третья венозная, а в гиподерме – крупноячеистая, наиболее емкая глубокая венозная сеть. Это венозное сплетение расположено параллельно, лежащему над ним субдермальному артериальному сплетению, с которым соединяется множеством артериоло-веноулярных анастомозов [4, 5].

Внутрикожное сосудистое русло характеризуется высокой степенью анастомозирования между однотипными и разнотипными сосудами. Выделяют функциональные артериоло-веноулярные шунты и собственные артериоло-веноулярные анастомозы. К последним относятся и глобусные анастомозы. В роли функциональных шунтов чаще всего выступают короткие капиллярные веточки. Они характерны для внутрикожных сосудистых сетей. Собственно артериоло-веноулярные анастомозы характерны для подкожной сосудистой сети.

Внутрикожные и подкожные кровеносные сосуды отличаются не только топографическим расположением, но и особенностями онтогенеза и функциональной специализацией.

Внутрикожные сосуды и их сети образуются в тесной связи с развитием и ростом эпителиальных структур кожи и ее придатков. Они образуют

сплетения в непосредственной близости от сосочкового слоя и придатков кожи. Эти сосуды развиваются как нутритивные, приспособленные для осуществления гистогематического обмена.

Подкожные сосуды образуются путем врастания более глубоких сосудистых формирований, которые по мере увеличения поверхности тела растягиваются и разрезаются. Они имеют достаточную емкость и поверхность для выполнения теплообменной функции.

Таким образом, сосудистое русло кожи делится на две кровеносные системы: первая – система сосудов, обеспечивающая питание кожи, вторая – система сосудов, выполняющая функцию теплообмена.

Микроциркуляторное звено в каждой из этих систем состоит из артериол, прекапилляров, капилляров, посткапилляров, венул и артериоло-веноулярных анастомозов. В одном мм<sup>2</sup> поверхности внутрикожное сосудистое русло крысы содержит 66 артериол, 40 прекапилляров, 120 капилляров, 80 посткапилляров, 70 венул. Количество артериоло-веноулярных анастомозов колеблется от 20 до 40 [3]. В одном мм<sup>2</sup> субдермального слоя кожи располагаются до 45 артериол, 35 прекапилляров, 80 капилляров, 55 посткапилляров, 60 венул и 35 артериоло-веноулярных анастомозов. Диаметр различных микрососудов существенно колеблется не только на разных участках кожи, но и в одном поле зрения микроскопа, особенно при прижизненной биомикроскопии. Так, диаметр артериол дермы варьирует от 20 до 47 мкм, прекапилляров – от 15 до 25 мкм, капилляров – от 5,8 до 8 мкм, посткапилляров – от 26 до 60 мкм, венул – от 50 до 70 мкм. В гиподерме диаметр капилляров мало отличается от такового в дерме, остальные звенья микроциркуляторного русла шире на 20–30 %. Диаметр артериоло-веноулярных анастомозов в дерме в 1,5 меньше, чем в гиподерме и составляет от 30 до 50 мкм. Емкость артериол, прекапилляров, капилляров, посткапилляров, венул в 1 мм<sup>2</sup> дермы меньше чем в гиподерме в 1,3–1,7 раза [3]. По данным D.W. Нааск [6], число артериол на стандартной площади кожи колеблется от 7 до 76, венул – от 13,2 до 37, в зависимости от порядка их деления. Диаметр артериол при этом варьирует в пределах 17,4 и 66,3 мкм, венул – в пределах 24,1 и 124,8 мкм. Длина артериол достигает 0,99–3,83 мм.

**Физиология.** Здесь главное значение имеет то, что кровоток, связанный с терморегуляцией, соответственно, и с крупными субдермальными сосудистыми сплетениями, значительно превышает по объему и диапазону нутритивный кровоток, обеспечивающий питание и гомеостаз самой кожи. Вследствие этого многие физиологические данные трудны для дифференцированной интерпретации

и дают представление о суммарных реакциях сосудистых сетей кожи и подкожных тканей [5].

Для микроциркуляторного русла кожи характерны самопроизвольные ритмические изменения просвета прекапиллярных сосудов, не коррелирующие с колебаниями пульсового давления [5, 7], названные термином “вазомоция” [8]. По данным нашей сотрудницы Т.Н. Терентьевой, длительность периода сужения прекапиллярных сосудов колеблется в пределах 10–15 сек, а период расширения – в пределах 20–25 сек. Интервалы между циклами вазомоции составляет 5–6 сек. Период закрытия прекапиллярных сфинктеров удлиннен по сравнению с периодом спазма артериол. Вазомоция способствует локальному перераспределению капиллярного кровотока, а также регуляции процессов фильтрации и реабсорбции жидкости на рубже “кровь – ткань”.

Гладкомышечные клетки микрососудов обладают биоэлектрической активностью. Мембранный потенциал гладкомышечных клеток прекапиллярных сфинктеров гиподермального сосудистого сплетения кожи живота крысы составляет 35,3 мВ, а период спонтанных колебаний 7–8 сек. Потенциалы действия достигают 28 мВ и длительность 35–45 сек.

Важным признаком для характеристики кровотока являются биофизические свойства крови, вязкость, характер и скорость движения крови по микрососудам и т. д. Удельный вес крови у крысы (отношение веса крови к ее объему) равняется 1,047–1,058 г/см<sup>3</sup>, плотность крови (отношение массы к объему) составляет 1,069–1,080 г/см<sup>3</sup>. Кровоток в микрососудах кожи ламинарный, т. е. упорядоченный. Вязкость цельной крови крысы равна 4,3 сПз. Скорость движения крови в различных звеньях микрососудистого русла кожи различна. Наибольшая скорость отмечается в артериолах (1,5 мм/с), минимальная – в венах (0,66 мм/с) и средняя – в капиллярах (0,74 мм/с). В артериоло-венулярных шунтах скорость кровотока достигает 1,37 мм/с [5]. По нашим данным, скорость эритроцитарного потока в артериолах равна 1,3–1,8 мм/с, в венах – 0,5–0,6 мм/сек. В секунду по капилляру может пройти 5–10 эритроцитов.

В сложной системе микроциркуляторного русла имеются артерио-венулярные анастомозы, выполняющие роль шунтов, имеющие большое значение в терморегуляции кожи и регуляции здесь кровяного давления. По данным Т.Л. Руан [9], около 60 % крови, притекающей к коже собаки, проходит через такие шунты. Таким образом, микроциркуляция кожи имеет две функции: а) питание кожи и ее придатков; б) участие в регуляции температуры тела, что отличает микроциркуляторную

единицу кожи от других органов, где они играют лишь обменную функцию. Неслучайно сеть некоторых артериоло-венулярных анастомозов у собаки в 10 раз больше, чем капилляров [7]. Такая органоспецифичность системы микроциркуляции объясняется тем, что, будучи неотъемлемой частью сердечно-сосудистой системы, она одновременно является частью кожи, с которой вместе проходит путь онто- и филогенеза в рамках цитозкологических систем, именуемых “органо-тканевыми функциональными элементами” [7].

Кровообращение кожи у человека и различных животных, а также отдельных участков тела имеет определенные отличия. Когда человек в состоянии покоя находится в обнаженном виде при температуре 25–30 °С, средний кровоток в коже приблизительно равен 20 мл/(мин 100 г). На питание кожи расходуется сравнительно малый объем крови – 1–2 мл/(мин 100 г) [5, 10].

У собаки, по данным нашего сотрудника М.В. Балыкина [11], средний кровоток в коже составляет 10,5 ± 0,8 мл/(мин 100 г), т. е. в два раза меньше, чем у человека. Это можно объяснить наличием шерстного покрова у собаки, которого нет у человека. На питание кожи расходуется 1 мл/(мин 100 г), остальное количество крови служит для выполнения нужд всего организма. Выполнение “местных” задач осуществляется внутрикожной, а “общих” – подкожной сетью сосудов.

Средний кровоток кожи крысы, измеренный методом водородного клиренса, составляет 15 мл/(мин 100 г). Около 90 % его приходится на подкожный слой сосудов. Следовательно, средний кровоток в коже крысы выше, чем у собаки, но меньше, чем у человека.

Наряду с видовыми, существуют региональные различия кровообращения кожи. Кровоток в коже спины собаки составляет 8,0 ± 2,4 мл/(мин 100 г), живота – 9,6 ± 1,7 мл/(мин 100 г), передней лапы – 10,3 ± 2,5 мл/(мин 100 г), задней лапы – 13,0 ± 2,1 мл/(мин 100 г). Следовательно, чем меньше шерстный покров кожи, тем интенсивнее кровоток в органе.

Регуляция кровоснабжения кожи изучена недостаточно. Из сводки литературных данных О.В. Алексеева [5] можно сделать следующие заключения. Гладкомышечные клетки в стенке артериол кожи электрически объединены. Поток крови по артериоло-венулярным шунтам контролируется терморегуляторными рефлексамми, а капиллярный поток – местной или локальной температурой. С увеличением внешней температуры капиллярный поток возрастает. При падении температуры среды ниже 15 °С отмечается цикличность фаз дилатации и констрикции кожных сосудов. Сосуды

кожи весьма чувствительны к механическим воздействиям. Гладкая мускулатура кожных сосудов активно реагирует на изменения трансмурального давления. Общеизвестно констрикторное влияние на сосуды кожи симпатических нервных волокон. Не исключено существование центрального контроля сосудов кожи, в том числе и обменных сосудов. Важную роль в регуляции кровотока в коже играют гормоны, циркулирующие в крови. Большое значение имеет саморегуляция, присущая сосудистой стенке.

#### **Кровоснабжение кожи в покое в условиях высокогорья**

Изменение кровообращения в коже отражает состояние не только самого органа, но и организма в целом, а также общей гемодинамики. Кожа посредством кровеносной системы, наряду с нервной и гуморальной, интегрируется в общий процесс адаптации человека и животных к среде обитания, в том числе и к высокогорью. В связи с этим рассмотрим анатомию и физиологию кровеносной системы кожи в разные сроки пребывания экспериментальных животных на перевале Туя-Ашуу.

**Анатомия.** Через три дня после подъема крыс на перевал Туя-Ашуу наблюдается разрежение капиллярных петель, перекрытие множества прекапиллярных сфинктеров, уменьшение динамики артериол и терминальных артериол, увеличение диаметра метартериол в субгиподермальной, особенно, в субдермальной сосудистой сети. На уровне веноулярного звена микроциркуляторного русла и артериоло-веноулярных анастомозов отмечается увеличение просвета сосудов. Существенных изменений в анатомии внутрикожного сосудистого русла не отмечается.

На 15-й день пребывания животных на перевале Туя-Ашуу резистивные сосуды (артериолы и терминальные артериолы), капиллярные краны (прекапиллярные сфинктеры) находятся в состоянии спазма, а пути “стержневого потока” или “преференциальные каналы” (метартериолы), артериоло-веноулярные шунты и артерио-веноулярные анастомозы – в состоянии дилатации. Капиллярные петли увеличиваются в размерах и уменьшаются в количестве.

Внутрикожное микроциркуляторное русло характеризуется изменением сосочковых капилляров на 1 мм<sup>2</sup> поверхности органа с 25–30 до 54–70 сосудов. Более четко проявляется мелкопетлистая поверхностная веноулярная сеть. Наблюдается расширение просвета субкапиллярных венул. Обращает внимание обилие анастомозов между одноименными и разноименными сосудами.

На 30-е сутки пребывания животных на перевале просматривается утолщение мышечного слоя стенки резистивных сосудов, гладкомышечных

клеток прекапиллярных сфинктеров и артериоло-веноулярных анастомозов.

**Физиология.** Прежде всего, изменяется вазомоция прекапиллярных сосудов, что характеризуется удлинением интервала между ее циклами с одновременным укорочением периодов сужения и расширения сосудов. Вазомоция как способ локального перераспределения капиллярного кровотока имеет большое значение для обеспечения тканей кожи кислородом и продуктами метаболизма. Известно, что кожа, хотя и имеет небольшой нутритивный кровоток, обеспечивающий ее метаболические потребности, потребляет O<sub>2</sub> с довольно большой скоростью [5]. Так, в базальном слое эпидермиса PO<sub>2</sub> за 2 мин после остановки кровотока падает с 20 мм рт. ст. до 0 [12]. В условиях высокогорья, когда PaO<sub>2</sub> падает с 87,7 ± 1,1 мм рт. ст. до 66,0 ± 0,9–61,5 ± 1,51 мм рт. ст., плотность капилляров на единице поверхности снижается, и основная масса крови по артериоло-веноулярным анастомозам переходит из артериального звена в веноулярное звено, минуя капилляры, локальное перераспределение кровотока предотвращает развитие тканевой гипоксии. Удлинение периода между циклами вазомоции предотвращает перенапряжение гладкомышечных клеток.

Изменение структуры вазомоции играет определенную роль в регуляции процессов фильтрации и абсорбции жидкостей на уровне капилляров и венул. Дело в том, что в сосочковых капиллярах кожи на всем их протяжении создаются условия способствующие фильтрации, а не абсорбции жидкостей и макромолекул [5]. Это чревато развитием отека кожи на горных высотах, что, кстати, наблюдается при высокогорном отеке легких. Вазомоция направлена на сохранение соотношений между гидростатическим и коллоидно-осмотическим давлением, что, в свою очередь, отражается на величине фильтрации и абсорбции в системе микроциркуляции.

На перевале Туя-Ашуу наблюдается усиление биоэлектрической активности гладкомышечных клеток прекапиллярного русла кожи на 20 %. Спазм артериол, разрежение капилляров и незначительная дилатация посткапиллярного звена микрососудов сочетается с ускорением кровотока по артериолам, артериоло-веноулярным анастомозам и магистральным капиллярам. Скорость движения крови в артериолах увеличивается на 25 %, в артериоло-веноулярных анастомозах – на 30 %, в венулах – на 15 %. Скорость кровотока в капиллярах колеблется в больших пределах. В одних из них отмечается снижение, в других не меняется, в третьих, повышается. Во многих капиллярах субдермальной сосудистой сети движение эритроцитов резко умень-



шается, либо вообще отсутствует. Так, появляется множество плазматических капилляров.

Усиление функции артериоло-венулярных анастомозов создает условия для переброса энергии артериального потока в венулярное русло, что обеспечивает венозный возврат в правое сердце. Таким образом, микроциркуляторное русло кожи принимает участие в решении общих задач на уровне системного кровообращения.

Спазм артериол сопровождается уменьшением давления в субкапиллярных сосудах и в капиллярах. Скорость прохождения воды через стенки сосудов снижается. Количество воды, поступающей на поверхность эпидермиса, резко уменьшается. Отдача тепла снижается. Видимо, этим объясняется сухость кожи у членов экспедиции на перевале Туя-Ашуу. Означает ли это, что в условиях высокогорья существенно снижается кровоснабжение кожи? По данным М.В. Балыкина [11], средняя объемная скорость кровотока в коже составляет 7,3 мл/(мин 100 г) в первые семь дней пребывания на перевале Туя-Ашуу,  $9,3 \pm 0,6$  мл/(мин 100 г) – на 15-й день и  $10,5 \pm 1,9$  – на 30-й день (в контроле  $10,5 \pm 0,8$  мл/(мин 100 г)). Таким образом, средний кожный кровоток на 7-е сутки пребывания животных снижается. В последующие сроки он, по существу, не отличается от контрольной величины. При этом нутритивный кровоток в коже остается неизменными.

Снижение нутритивного кровотока в коже в условиях низкого  $PaO_2$  могло бы нарушить функции кожи, необходимые для удовлетворения запросов всего организма. Снижение кровотока в субдермальной сосудистой сети без изменения его во внутрикожной сосудистой сети свидетельствует о весьма тонком механизме регуляции кровообращения на горных высотах.

Регуляция кровоснабжения кожи на больших горных высотах не изучена. Обнаружению возможных путей регуляции кровообращения в коже при высотной гипоксии целесообразно предположить ряд особенностей микрогемодинамики в обычных условиях среды обитания, а затем рассмотреть характер этих особенностей в условиях высокогорья.

Тканевое давление в коже и подкожной клетчатке ниже атмосферного [10]. В условиях высокогорья атмосферное давление снижено, в результате нарушается соотношение между давлением по обе стороны сосудистой стенки из стороны сосудистой стенки в сторону уменьшения паравазального давления. Среднее капиллярное давление меньше градиента коллоидно-осмотического давления [10], что в условиях высокогорья может стать более выраженным из-за снижения паравазального давления. В сосочковых капиллярах создаются условия, способствующие фильтрации, а не абсорбции жидкост-

тей и макромолекул [5]. Эта особенность вместе с вышеописанными изменениями может привести к высокогорному отеку кожи. Однако этого не происходит благодаря развитию компенсаторно-приспособительных реакций. Прежде всего, гладкая мускулатура сосудов кожи активно реагирует на изменения трансмурального давления, а артериолы и прекапилляры, а также прекапиллярные сфинктеры наделены выраженным базальным тонусом. Под влиянием местных химических факторов и сосудосуживающих нервов отмечается сужение артериол и прекапилляров, а также прекапиллярных сфинктеров в субдермальном сосудистом сплетении. Поступающая по артериям к коже кровь направляется по артериоло-венулярным анастомозам в обход капиллярной сети. Этим достигается регуляция тока крови через кожу, местного давления крови, кровенаполнения капилляров дермы, стимуляция венозного возврата (60 % крови в коже – венозная) в направлении правого желудочка сердца, мобилизация депонированной крови (10 % всей крови содержится в сосудах кожи), возврат тканевой жидкости в венозное русло. Авторегуляция капиллярного давления кожи, несмотря на существенные перемены в других отделах микроциркуляторного русла, обеспечивает нутритивные запросы кожи.

В условиях высокогорья температура окружающей среды ниже, чем в долине. В данной ситуации поток крови через артериоло-венулярные шунты контролируется терморегуляторными рефлексамми, капиллярный поток – местной или локальной температурой. Отсюда следует, что артериоло-венулярные шунты действуют по запросам организма в целом, а капиллярный поток – по запросам кожи. Терморегуляцию выполняют два вида кожных сосудов: специализированные артериоло-венулярные анастомозы, находящиеся под контролем симпатических сосудосуживающих нервов, и обычные кожные сосуды, которым свойствен выраженный базальный тонус. В условиях высокогорья значительная часть крови оттекает из артериолярного звена в венулярное, минуя капиллярное, что снижает теплоотдачу в окружающую среду. Обычные кожные сосуды не допускают охлаждения кожи и регулируют нутритивный кровоток. Интенсивная вазомоция обеспечивает терморегуляцию оболочки, а артерио-венулярные анастомозы направляют теплую артериальную кровь к ядру.

#### Литература

1. Чернух А.М. Кожа / А.М. Чернух, Е.П. Фролов. М.: Медицина, 1982. 335 с.
2. Мачерет Е.Л. Руководство по рефлексотерапии / Е.Л. Мачерет, И.З. Самосюк. Киев: Вища школа, 1989. 479 с.

3. *Шидаков Ю.Х.-М.* Высокогорная кардиоангиология / Ю.Х.-М. Шидаков, Х.Д. Каркобатов, Ф.А. Текеева. Бишкек, 2001. 228 с.
4. *Алексеев О.В.* Микроциркуляторный гомеостаз / О.В. Алексеев // Гомеостаз. М.: Медицина, 1976. С. 278–314.
5. *Алексеев О.В.* Морфология кровеносной системы кожи / О.В. Алексеев // Кожа. М.: Медицина, 1982. С. 59–76.
6. *Haack D.W.* 1980 Цит. по: Алексеев О.В. Морфология кровеносной системы кожи // Кожа. М.: Медицина, 1982. С. 59–76.
7. *Чернух А.М.* Микроциркуляция / А.М. Чернух, П.Н. Александров, О.В. Алексеев. М.: Медицина, 1975. 452 с.
8. *Chambers R., Zweifach B.W.* Topography and function of the mesenteric capillary circulation // Amer. J. Anat. 1944, Clap. 12.
9. *Ryan T.J.* (1973) In physiology and pathophysiology of the Skin. Vol. 2. Charter 16–21(ed. A. Jarrett), Academic Press, London. P. 638.
10. *Фолков Б.* Кровообращение / Б. Фолков, Э. Нил. М.: Медицина, 1975. 484 с.
11. *Балыкин М.В.* Физиологические механизмы кислородного обеспечения некоторых внутренних органов и скелетной мускулатуры у собак в условиях высокогорья и мышечной деятельности: автореф. дис. ... д-ра биол. наук / М.В. Балыкин. Новосибирск, 1994. 45 с.
12. *Hsieh A.G.L.* The cutaneous circulation // In.: The peripheral circulations // Ed. R, Zelis New York. 1975. P. 79–94.