

УДК [616.5-092:612.13]:613.63(23.03)

## РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ КРОВООБРАЩЕНИЯ КОЖИ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ НА ГОРНЫХ ВЫСОТАХ

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

Изложены вопросы ремоделирования микроциркуляции кожи при физических нагрузках в условиях высокогорья.

*Ключевые слова:* кожа; горы; физическая нагрузка; микрогемодициркуляция.

---

## REMODELING OF BLOOD CIRCULATION OF THE SKIN IN PHYSICAL EXERCISES ON THE MOUNTAIN HEIGHTS

Yu. Kh.-M. Shidakov, I.A. Abdumalikova, A.S. Shanazarov, Kh.J. Karkobatov

The issues of remodeling of the microcirculation of the skin in physical exercises in the conditions of highlands are stated.

*Keywords:* skin; mountains; physical exercise; microhemocirculation.

Перед животными, покрытыми шерстью, стоит проблема удаления избытка тепла при физической нагрузке, а не обеспечения кожи нутритивным кровотоком. Такие животные теряют избыток тепла за счет учащенного дыхания и избыточной вентиляции мертвого пространства. Кровь при этом охлаждается в дыхательных путях и в полости рта. Расширение кожных сосудов малоэффективно, так как тепло задерживается в изоляционном слое, каковым является мех. Однако густой мех может обуславливать большой температурный градиент “кожа – внешняя среда”. Это сопровождается постепенно увеличивающейся теплоотдачей в среду, ибо в любой одежде у человека и шерсти у собаки режим адиабатичности все же не создается. В любом случае необходимы условия притока и отдачи тепла. К тому же интенсивный кровоток в поверхностных тканях тела приводит к снижению их теплоизоляции. Таким образом, в результате непрерывной теплоотдачи, не сопровождающейся ощущением холода, все же происходит охлаждение тела [1]. Из изложенного вытекает, что пластические и реактивные процессы на уровне кровеносной системы кожи при физических нагрузках направлены не столько на решение местных задач органа, сколько на участие в сохранении теплового гомеостаза и центральной гемодинамики.

Изучение кровоснабжения кожи во время физической деятельности сопряжено с большими

трудностями методического плана. Чтобы получить более достоверные данные, приходится пользоваться комплексом анатомических и физиологических методик.

Несмотря на большое число фундаментальных исследований кровеносной системы кожи, вопрос еще ждет решения. Практически нет обобщающей работы о кровоснабжении кожи при моделировании физических нагрузок и патологических состояниях в условиях высокогорья. Впервые такие исследования проведены в Институте горной физиологии НАН Кыргызстана под руководством одного из авторов настоящей работы [2].

Целью настоящей работы явилось изучение ремоделирования кровоснабжения кожи при физической работе.

**Материал и методы.** В качестве экспериментальных животных послужили собаки и крысы. Кровоснабжение кожи изучалось морфологическими (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.

Физическая нагрузка предъявлялась собакам путем бега в третбане, а крысам – плаванием.

Привлечение обширного арсенала методик позволило комплексно и системно изучить кровоснабжение кожи при физической работе.

**Результаты исследования. Кровоснабжение кожи при физических нагрузках в условиях долины.** Анатомия кровеносного русла кожи во время физических нагрузок изучена нами на собаках и крысах. Результаты исследования показали, что гемодинамические перестройки различных звеньев кровеносной системы кожи наиболее отчетливо проявляются при хронических физических тренировках. Однократные даже очень интенсивные физические нагрузки не приводят существенным изменениям макро-микроскопической анатомии кровеносного русла кожи.

Хронические мышечные тренировки собак и крыс приводят к дилатации мышечно-кожных артерий, идущих к коже со стороны межмышечных фасциальных перегородок, а также сопровождающих их вен. На уровне субгиподермальной артериальной сети отмечается гипертрофия мышечного слоя мелких артерий и артериол; расширение анастомозов между артериолами и венулами из глубокого венозного сплетения. В субдермальном артериальном сплетении наблюдается расширение ветвей, направляющихся к потовым железам, и коротких артерий, идущих собственно в кожу. Обращает внимание обилие анастомозов между субдермальной артериальной сетью и лежащей под нею гиподермальной венозной сетью. На уровне поверхностей артериолярной сети происходит расширение терминальных артериол. Особенно отчетливо, изложенные изменения сосудистого русла, отмечаются в коже хвоста крысы.

Физиология кровеносной системы кожи при мышечной нагрузке характеризуется формированием сложной цепи компенсаторно-приспособительных реакций, направленных на поддержание оптимального местного кровотока, системного кровообращения, регионального распределения сердечного дебита и терморегуляции. Прежде всего, депонированная в коже кровь сбрасывается в общее кровеносное русло. Это примерно 8–9 % общего количества крови. В результате объем циркулирующей крови увеличивается и используется для переброса в органы с максимальным кислородным забросом при физической нагрузке. В частности, объемная скорость кровотока в локомоторных мышцах возрастает в 7–10 раз [3]. Одновременно увеличивается кровоток по мышечно-кожным артериям и кожным ветвям артерий, расположенных в мышечных фасциальных перегородках. В результате этого нарастает линейная скорость кровотока по кровеносной системе кожи и отмечается незначительное снижение объемной скорости

( $9,3 \pm 1,3$  мл/(мин 100 г) вместо  $10,5 \pm 0,8$  мл/(мин 100 г) – в покое.

Таким образом, часть крови из локомоторных мышц поступает поэтапно в фасциальную гиподермальную и поверхностную артериальную сети. Большая часть этой крови по артериоло-венулярным анастомозам и шунтам возвращается в емкостные сосуды и далее в правый желудочек сердца, что способствует поддержанию системной гемодинамики.

Под влиянием высокой температуры крови (при физической нагрузке  $39 \pm 0,02$  °С, в покое –  $38 \pm 0,01$  °С) артериолы расширяются и давление крови в субкапиллярных сосудах и капиллярах повышается. Вода из сосудов поступает в паравазальное пространство, объем жидкости, поступающей к поверхности эпидермиса возрастает, наступает охлаждение кожи путем испарения. Благодаря усилению шунтового кровотока, охлажденная кровь с поверхности кожи поступает к ядру. Таким образом кровеносная система принимает участие в терморегуляции при мышечной деятельности.

Локальные физиологические изменения кровеносной системы кожи характеризуются появлением агрегации эритроцитов, уменьшением капиллярного гематокрита, ускорением линейной скорости кровотока, уменьшением эритроцитарного потока в просвете капилляров, увеличением паравазальной жидкости на уровне поверхностной артериолярной и мелкопетливой поверхностной венулярной сети. Особое внимание привлекает усиление функции гладкомышечных образований артериол и прекапиллярных сфинктеров, о чем свидетельствует выраженная вазомоция. Путем вазомоции регулируются величина капиллярного кровотока и состояние капиллярного гематокрита.

Регуляция кровоснабжения кожи при мышечной работе осуществляется теми же механизмами, что и в покое, путем усиления одних и ослабления других. Так как во время физической нагрузки резко увеличивается кровоток в субдермальных сосудистых сплетениях, т. е. кровоток, связанный с терморегуляционной функцией кожи, видимо, усиливается нейрогенный механизм регуляции. Благодаря этому при мышечной деятельности увеличивается теплоотдача посредством кровеносных сосудов кожи и уменьшается внутренний перенос тепла.

**Кровоснабжение кожи при физических нагрузках в условиях высокогорья.** Анатомия кровеносной системы при физических нагрузках на фоне высокогорной гипоксической гипоксии отличается от таковой в условиях нормоксии. При обзорной контактной биомикроскопии и просветленных препаратах отмечается разрежение крове-

носного русла кожи, спазм прекапиллярного звена микроциркуляторного русла, увеличение извитости капилляров и венул, появление саккуляции в капиллярах и венулах, утолщение мышечной оболочки сосудов, паравазальные микрокровоизлияния и диапедез эритроцитов.

Физиология характеризуется уменьшением объемной скорости кровотока в два раза при физических нагрузках на фоне ранних сроков пребывания животных в горах. На уровне фасциального артериального русла отмечается усиление функции артериовенулярных анастомозов, в результате которого поток крови к субдермальному руслу уменьшается. В свою очередь, основная масса крови из субдермального артериального русла по анастомозам переходит в крупнокачественную глубокую венозную сеть. В итоге во внутрикожное сосудистое русло поступает меньше крови, чем это имеет место в долине. Поток крови по функциональным шунтам снижается, и ее значительное количество направляется в капилляры и поверхностную артериальную сеть. Так как артериальная сеть кожи со-

стоит из капилляров сосочкового слоя, желез кожи и волосяных фолликулов, а посткапиллярные сосуды играют роль обменников, усиление шунтового потока не мешает выполнению нутритивных функций кровеносного русла органа.

Регуляция кровообращения в коже при физических нагрузках в условиях высокогорья направлена на сокращение пути циркуляции крови без ущерба газообмена и метаболизма в органе.

#### *Литература*

1. *Майстрах Е.В.* Тепловой гомеостаз. Гомеостаз / Е.В. Майстрах. М.: Медицина, 1976. С. 340–363.
2. *Шидаков Ю.Х.-М.* Высокогорная кардиоангиология / Ю.Х.-М. Шидаков, Х.Д. Каркобаатов, Ф.А. Текеева. Бишкек, 2001. 228 с.
3. *Балькин 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. Балькин. Новосибирск, 1994. 45 с.