

**П. В. Михайлов, А. М. Тельнова, И. А. Осетров, Ю. Л. Масленникова, Л. Г. Зайцев,
А. А. Муравьев**

**Изменение параметров системы микроциркуляции в ответ на физическую нагрузку
разной интенсивности**

*Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.*

При физической нагрузке происходит перераспределение объема циркулирующей крови, направленное на адекватное кровоснабжение активных органов и тканей. При этом в неактивных тканях гемоциркуляция может изменяться, и в зависимости от интенсивности работы эти изменения могут быть разнонаправленными.

Ключевые слова: физическая нагрузка, микроциркуляция, биомикроскопия, артериоло-венулярное соотношение, плотность функционирующих капилляров.

P. V. Mikhaylov, A. M. Telnova, I. A. Osetrov, Ju. L. Maslennikova, L. G. Zaitsev, A. A. Muraviov

Changes of Parameters of the Microcirculation System in Response to Exercise of Varying Intensity

At physical activity there is redistribution of volume of circulating blood directed on adequate blood supply of active bodies and fabrics. Thus in inactive fabrics haemocirculation can change, and depending on intensity of work these changes can be multidirectional.

Keywords: physical activity, microcirculation, biomicroscopy, arteriolar-venular ratio, density of functioning capillaries.

Количественная оценка параметров системы микроциркуляции в прижизненных условиях позволяет оценить ее функциональное состояние в любой момент времени с учетом распределения крови по сосудам и плотности функционирующих капилляров. В результате многочисленных исследований оказалось, что именно диаметр сосудов и плотность функционирующих капилляров в наибольшей степени изменяются при различных функциональных и патологических состояниях, являясь самыми лабильными параметрами микроциркуляторного русла.

Особый интерес приобретают исследования, касающиеся состояния путей микроциркуляции при мышечной деятельности и направленных физических нагрузках [2, 3, 4, 6, 8, 10]. Исследование механизмов адаптации, как отмечал В. В. Куприянов [5], требует точного знания всех структурно-приспособительных устройств, регулирующих гемоциркуляцию в тканях. Неоценимую помощь в этом могут оказать строго количественные критерии, полученные с помощью витальной микроскопии с последующей морфо-

метрической обработкой основных структурных параметров микроскопического русла.

Известно, что функциональная архитектура микроциркуляторного русла постоянно меняется, приспосабливается к потребностям органов в доставке крови. Артериолы и капилляры при этом регулируют поступление крови в капиллярное русло. Высокая изменчивость капиллярного русла создает условия для адаптации микроциркуляторного кровотока к потребностям тканей в питательных веществах и удалении метаболитов. Тогда при рабочей гиперемии функционируют почти все капилляры, в то время как в условиях покоя большая часть их выключается из кровотока. Итак, во всем диапазоне функциональных состояний органа постоянно меняются емкость всей сети капилляров и скорость кровотока в них, при этом состояние каждого капилляра определяется местными условиями тканевого метаболизма и особенностями гемодинамики в сосудистой системе в целом.

Вместе с тем, нельзя не отметить противоречивость данных, касающихся изменения плотности функционирующих капилляров в активных и

неактивных органах под воздействием физической нагрузки. Так, по одним данным [7], нагрузка малой мощности приводит к увеличению плотности функционирующих капилляров в коже пальцев, то же самое происходит и при тяжелой мышечной работе. Другие авторы [1, 3, 4] наблюдали иную картину: при высокоинтенсивной физической нагрузке плотность функционирующих капилляров в неактивных тканях снижается. Указанные противоречия лишней раз подтверждают необходимость проведения объективной количественной оценки состояния звеньев микроциркуляторного русла, точной морфологической документации всех параметров и тех изменений, которые происходят под влиянием физических нагрузок различной интенсивности.

Цель: определение адаптивных изменений в системе микроциркуляции, вызванных физической нагрузкой разной интенсивности.

Материал и методы

В исследовании участвовали практически здоровые лица обоего пола. Микроциркуляцию исследовали с методом биомикроскопии конъюнктивы глазного яблока и капилляров ногтевого ложа с использованием установки, включавшей в себя микроскоп, цифровой окуляр DCM 510, персональный компьютер. Испытуемый находился в положении сидя, в условиях постоянной температуры в помещении 21–23°C. Освещение исследуемой области осуществляли при помощи светодиодной подсветки, исключающей

нагревание объекта. Регистрацию проводили до и после физической нагрузки на велоэргометре. В группе 1 нагрузку прекращали, когда частота сердечных сокращений (ЧСС) испытуемого достигала величины 140 ударов в минуту. В группе 2 испытуемые продолжали нагрузку до величины ЧСС 170 ударов в минуту. Анализ полученных изображений включал подсчет количества функционирующих капилляров в 1 мм² и измерение диаметров параллельно идущих артериол и венул с последующим расчетом артериоло-венулярного соотношения (ABC):

$$ABC = \frac{DA}{DB}, \text{ где}$$

DA – диаметр артериолы, *DB* – диаметр вены.

Статистическую обработку полученных результатов проводили в табличном редакторе Excel парный двухвыборочный t-тест для средних.

Результаты исследования

Исходные показатели ABC в первой и второй группах были близки по своим значениям и были равны $0,47 \pm 0,07$ и $0,45 \pm 0,08$ отн. ед. соответственно. В первой группе после умеренной физической нагрузки аэробного характера было зарегистрировано увеличение показателя ABC на 12 % ($0,53 \pm 0,08$ отн. ед.), а во второй группе, где нагрузка была более интенсивной, величина ABC снизилась на 11 % и составила $0,40 \pm 0,07$ отн. ед. (рис. 1). Различия в обеих группах были статистически достоверными при $p < 0,05$.

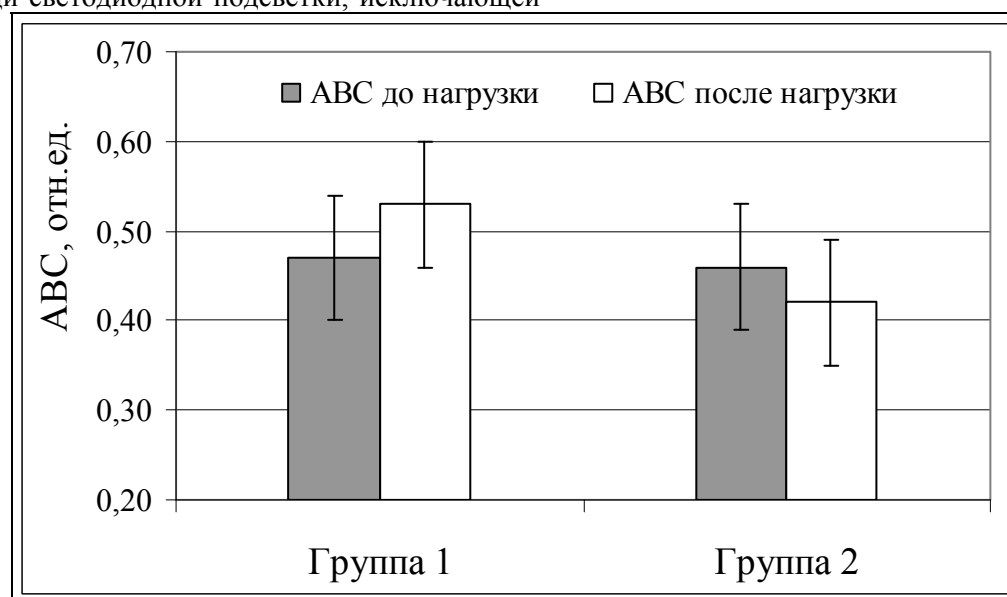


Рис. 1. Изменение величины ABC в конъюнктиве после физической нагрузки разной интенсивности

До нагрузки число функционирующих капилляров ногтевого ложа в первой и второй группах составило $59,8 \pm 10,3$ и $59,4 \pm 10,4$ в 1 мм^2 соответственно. После умеренной нагрузки в группе 1 их количество возросло на 9 % ($65,2 \pm 10,5$ в 1 мм^2). Различия были статистически достоверны-

ми при $p < 0,05$. В группе 2 после интенсивной физической нагрузки прирост числа функционирующих капилляров в ногтевом ложе было менее выражено и составило 3 % ($61,3 \pm 11,6$ в 1 мм^2). Различия не были статистически значимыми (рис. 2).

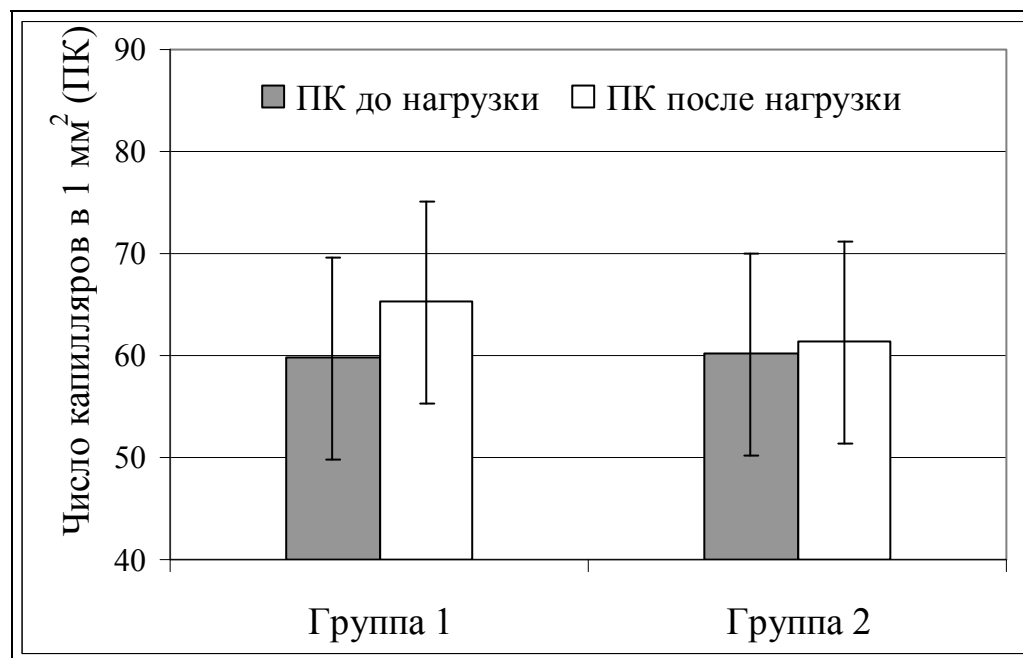


Рис. 2. Изменение числа функционирующих капилляров ногтевого ложа после физической нагрузки разной интенсивности

Обсуждение результатов

Многочисленные исследования [5, 8, 11, 12] показали, что механизмами местной регуляции кровотока обладает система органических микрососудов, то есть та система, которая обеспечивает в организме микроциркуляцию крови. При этом сосуды магистрального типа выполняют лишь самую общую задачу в кровообращении – распределение крови в организме между органами, и не обладают способностью регулировать взаимодействие крови и паренхимы органов.

Капилляроскопические исследования в области кожи пальцев стопы и кисти показали, что даже при незначительных физических нагрузках происходит увеличение числа функционирующих капилляров [11], однотипную картину со стороны капилляров кожи наблюдали [7] при утомлении. В работающей конечности количество функционирующих капилляров увеличивается, возрастает диаметр всех их отделов, а ток крови замедляется, в то время как в неработающей конечности после нагрузки происходит

уменьшение плотности функционирующих капилляров, просвет капилляров суживается, диаметр венозного отдела приближается к диаметру артериального, скорость кровотока растет [8]. Следует отметить, что авторы не всегда указывают интенсивность нагрузки, под влиянием которой происходили адаптивные изменения системы микроциркуляции. В настоящее время известно, что нагрузка разной мощности неоднотипно влияет на состояние кровотока в капиллярах ногтевого валика. Легкая и кратковременная нагрузка у нетренированных лиц приводит к увеличению плотности функционирующих капилляров, увеличению их диаметра. Тяжелая длительная работа, напротив, вызывает уменьшение плотности функционирующих капилляров, а диаметр их уменьшается [1, 3, 4].

Безусловно, что изучение реактивности систем микроциркуляции в условиях направленной мышечной деятельности требует ясного понимания механизмов и иерархии систем управления всех составляющих звеньев микроциркуляторного русла.

Заключение

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено, что физическая нагрузка разной интенсивности вызывает неотипные изменения в системе микроциркуляции органов, не принимающих активного участия в работе. После умеренной нагрузки было зарегистрировано увеличение показателя ABC в

конъюнктиве и увеличение числа функционирующих капилляров ногтевого ложа. После нагрузки высокой, но не предельной интенсивности наблюдали снижение показателя ABC, а число функционирующих капилляров ногтевого ложа при этом достоверно не изменялось.

Библиографический список

1. Головченко, С. Ф. Возрастные особенности состояния микроциркуляции при дозированной физической нагрузке [Текст] / С. Ф. Головченко, К. Т. Саркисов. – Материалы 8-й науч. конф. по возрастной морфологии, физиологии и биохимии. – 1967. – Ч. II. С. 95–96.
2. Залмаев, Б. Е. Сосуды конъюнктивы глазного яблока и слизистой оболочки ротовой полости как тест-объект при изучении микроциркуляции у спортсменов [Текст] / Б. Е. Залмаев, В. И. Козлов. – Материалы II Всесоюзной научн. конф. по проблемам спорт. морфологии. – М., 1977. – С. 83.
3. Залмаев, Б. Е. Методологические аспекты изучения микроциркуляторного русла крови у спортсменов [Текст] / Б. Е. Залмаев, Т. М. Соболева. – Труды ученых ГЦОЛИФКа : 75 лет : ежегодник. – М., 1993. – С. 280–292.
4. Залмаев, Б. Е. Микроциркуляторное русло как показатель состояния сердечно-сосудистой системы у высококвалифицированных спортсменов [Текст] / Б. Е. Залмаев. – Физиологические механизмы адаптации к мышечной деятельности. – Волгоград, 1988. – С.145.
5. Куприянов, В. В. Микроциркуляторное русло [Текст] / В. В. Куприянов, Я. Л. Караганов, В. И. Козлов. – М. : Медицина, 1975. – 213 с.
6. Соболева, Т. М. Влияние физической нагрузки на соискание микроциркуляторной системы кожи и конъюнктивы глазного яблока у человека по данным прижизненной микрофотокапиллярометрии [Текст] : дисс. ... канд. мед. наук / Т. М. Соболева. – М., 1980.
7. Теплицкая, Е. О. Капиллярное кровообращение кожи пальцев при утомлении малых мышц руки [Текст] / Е. О. Теплицкая // Вопросы физиологии. – 1913. – № 3. – С. 135–142.
8. Фудель-Осипова, С. И. Капиллярное кровообращение у человека при физической дозированной работе [Текст] / С. И. Фудель-Осипова. – Физиол. журнал СССР. – 1941. – Т. 30, №1. – С. 574–580.
9. Kraus RM, Stallings HW, Yeager RC, et al. Circulating plasma VEGF response to exercise in sedentary and endurance - trained men. *J Appl Physiol* 2004; 96 (4): 1445–50.
10. Maiorana A, O'Driscoll G, Taylor R, et al. Exercise and the nitric oxide vasodilator system. *Sports Med* 2003; 33(14): 1013–35.
11. Parrisins et al. Der Blutstrom in der Hautkapillaren in Koperlage-Deutsch. *Arch.f.Klin.Med.*, 1923. Bd.141, 243–251.
7. Zweifach B.W. The structural basis of the microcirculation. In *Development and Structura of the cardiovascular system*. 1961, p.1–198.