

П. В. Михайлов, И. А. Осетров, В. В. Афанасьев, А. А. Муравьев, А. А. Ахапкина

**Возрастные особенности изменений микроциркуляторных характеристик  
в ответ на дозированную физическую нагрузку**

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

Ответная реакция со стороны центральных и периферических отделов сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку является важной характеристикой при оценке функционального состояния организма человека. Особую актуальность данная проблема приобретает при исследовании ее в возрастном аспекте, поскольку известно, что с возрастом адаптационные возможности индивида изменяются.

**Ключевые слова:** микроциркуляция, артериоло-венулярное соотношение, плотность функционирующих капилляров, физическая нагрузка, возрастные группы.

P. V. Mikhaylov, I. A. Osetrov, V. V. Afanasiev, A. A. Muravyov, A. A. Akhapkina

**Age-Related Peculiarities of Changes Microcirculatory Characteristics in Response  
to Dosed Physical Loading**

Response of the central and peripheral parts of the cardiovascular system to the exercise is an important characteristic in the assessment of the functional state of the organism. It is known that adaptive possibilities alter during aging. Therefore, the study of the reactivity of the microcirculatory system in different periods ontogenesis is an important physiological problem.

**Keywords:** microcirculation, arteriolar-venular ratio, density of functioning capillaries, physical load, age groups.

Транспорт дыхательных газов и всего спектра веществ в тканевые микрорайоны обеспечивается системой сосудов микроциркуляции. Изучение микроциркуляторного русла у человека показало, что имеется такой важный аспект, как реактивность различных звеньев системы микроциркуляции в условиях действия однократной мышечной нагрузки разной интенсивности или краткосрочная адаптация. Работ, посвященных этой проблеме явно недостаточно для того, чтобы составить ясное представление о состоянии микроциркуляции во время интенсивной мышечной нагрузки [7, 14]. В многочисленных исследованиях было показано, что именно периферическое звено системы кровообращения обеспечивает основу нормальной жизнедеятельности отдельных органов и систем – полноценное функционирование их клеточных элементов [7, 8, 10, 14] – и в том числе были показаны видовые и органные различия структурных и функциональных параметров системы микроциркуляции [2, 3, 9].

Особый интерес приобретают исследования, касающиеся состояния путей микроциркуляции при мышечной деятельности. Известно, что при рабочей гиперемии функционируют почти все капилляры, тогда как в условиях покоя большая часть их выключается из кровотока [8]. 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 [5, 6, 8, 2].

На важность изучения физиологических процессов в онтогенетическом плане указал еще И. М. Сеченов (1878). Для физиологии мышечной деятельности изучение проблемы микроциркуляции представляет несомненный интерес, так как позволяет вскрыть те тонкие механизмы, которые лежат в основе приспособительных реакций организма к физическим нагрузкам [5, 6, 12].

Возрастные преобразования системы микроциркуляции сопровождаются адекватными изменениями ее реактивности. В. В. Куприянов [10] отмечал, что исследование механизмов адаптации требует точного знания всех структурно-приспособительных устройств, регулирующих гемоциркуляцию в тканях. Неоценимую помощь в этом могут оказать количественные критерии, полученные с помощью витальной микроскопии с последующей морфометрической обработкой основных структурных параметров микрососудистого русла. Существующие в сосудистой системе приспособительные механизмы и реакции наиболее отчетливо выявляются при патологии, а также при интенсивных физических нагрузках [4].

Только при биомикроскопии, в условиях естественного заполнения микрососудов кровью, когда сохраняется сосудистый тонус, можно получить объективную оценку структурных параметров сосудистого русла. Накопленные в предыдущие годы с помощью витальной микроскопии экспериментальные данные свидетельствуют о высокой функциональной лабильности кровотока в микрососудистых сетях [8, 10]. Из всех звеньев микроциркуляторного русла в наибольшей степени лабильность кровотока была выражена в капиллярах. Именно на этом участке терминального сосудистого русла происходит основной обмен между кровью и паренхимой органов [7, 8].

Количественное определение параметров системы микроциркуляции в прижизненных условиях позволяет оценить ее функциональное состояние 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 [1, 2, 5, 8].

По мнению большинства авторов, количественный анализ параметров микроциркуляторного русла позволяет приблизиться к функциональному пониманию его структурной организации, оценить потенциальные возможности микрососудов и характер возрастных изменений при различных воздействиях на организм, в том числе при физических нагрузках.

**Цель:** исследование реакции системы микроциркуляции у лиц разного возраста в ответ на дозированную физическую нагрузку.

## Материал и методы

В исследовании участвовали практически здоровые лица мужского пола в возрасте от 20 до 70 лет. Всех испытуемых разделили на 3 возрастные группы. В первую группу были включены молодые мужчины 20–40 лет ( $n=30$ ), во вторую мужчины зрелого возраста 41–60 лет ( $n=30$ ) и в третью пожилые мужчины 61 и более лет ( $n=24$ ). Микроциркуляцию исследовали 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 кондиционированной температуры в помещении 21–22°C. Освещение исследуемой области осуществляли при помощи светодиодного источника, исключающего нагревание наблюдаемой области. Анализ полученных изображений включал подсчет количества функционирующих капилляров в 1 мм<sup>2</sup> 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.

Регистрацию проводили до и после умеренной физической нагрузки на велоэргометре. Нагрузка имела ступенчато возрастающий характер (25 Вт в минуту). Испытуемые прекращали выполнять нагрузку при достижении частоты сердечных сокращений (ЧСС – регистрировали при помощи монитора сердечного ритма “Polar”) 75 % [14] от максимальной величины. Последнюю рассчитывали как: ЧСС максимальная = 220 – возраст (годы).

Статистическую обработку полученных результатов проводили в *Statistica 6.0*. Для сравнения показателей микроциркуляции до и после нагрузки использовали парный двухвыборочный  $t$ -тест для средних. Для сравнения межгрупповых различий применяли непараметрический критерий Вилкоксона.

## Результаты исследования

В результате проведенного исследования было установлено, что соотношение диаметров приносящих и отводящих кровь микрососудов с возрастом изменяется. На рис. 1 представлены результаты расчета артериоло-венулярного соотношения (ABC) до и после нагрузки. В первой группе исследуемый показатель изменился на

21 %. До нагрузки его величина была равна  $0,45 \pm 0,09$  отн. ед., а после составила  $0,55 \pm 0,09$  отн. ед. ( $p < 0,05$ ). Во второй группе исходное значение ABC было равно  $0,47 \pm 0,08$  отн. ед. После нагрузки его значение увеличилось на 14 % и составило  $0,54 \pm 0,05$  отн. ед. ( $p < 0,05$ ). В третьей

группе разница между показателями ABC до и после нагрузки была наименее выражена (3 %). В покое ABC составило  $0,52 \pm 0,07$  отн. ед., а после нагрузки его величина повысилась до  $0,53 \pm 0,02$  отн. ед.

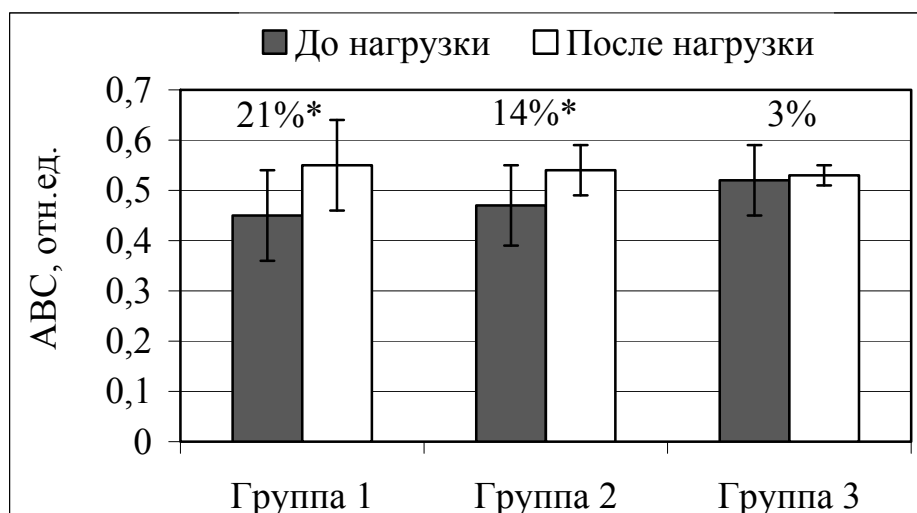


Рис. 1. Различия величины ABC до и после нагрузки

\* – различия достоверны при  $p < 0,05$ .

Данные, представленные в табл. 1, демонстрируют изменения диаметров микрососудов, произошедшие под влиянием дозированной физической нагрузки. Достоверных различий выявлено не было, но полученные результаты в определенной степени характеризуют адаптивные перестройки в системе микрососудов в ответ на дозированную физическую нагрузку. В первой и второй группах были зарегистрированы сходные по направленности, но различные по величине

изменения диаметров артериол и венул. Просвет артериол увеличился на 13,8 % и 8,5 %, а венул уменьшился на 11,1 % и 8,2 % в первой и второй группе соответственно. В третьей группе было зарегистрировано уменьшение диаметров как артериолярного, так и венулярного отделов микроциркуляторной системы после физической нагрузки. Средние значения просвета артериол снизилось на 2,6 %, а венул – на 8,6 %.

Таблица 1

Различия диаметров микрососудов до и после нагрузки ( $M \pm \sigma$ )

Показатели	До нагрузки		После нагрузки		Разница, %			
	DA, мкм	DB, мкм	DA, мкм	DB, мкм	DA	p	DB	p
Группа 1 (n=30)	$10,3 \pm 5,2$	$23,7 \pm 11,8$	$11,8 \pm 8,2$	$21,1 \pm 11,7$	13,8	-	-11,1	-
Группа 2 (n=30)	$13,2 \pm 5,0$	$28,7 \pm 10,6$	$14,3 \pm 5,5$	$26,1 \pm 8,3$	8,5	-	-8,2	-
Группа 3 (n=24)	$14,2 \pm 1,8$	$28,5 \pm 6,5$	$13,8 \pm 2,3$	$26,0 \pm 4,1$	-2,6	-	-8,6	-

Обозначения: DA – диаметр артериол; DB – диаметр венул.

На рис. 2 представлены значения плотности физической нагрузки. В первой группе число функционирующих капилляров в покое и после функционирующих капилляров до нагрузки

составило  $43,6 \pm 15,0$  в  $\text{мм}^2$ , а после ее выполнения возросло на 26 % и стало равным  $54,9 \pm 10,3$  в  $\text{мм}^2$  ( $p < 0,05$ ). Во второй группе исследуемый показатель в покое был равен  $50,7 \pm 14,5$  в  $\text{мм}^2$ . Под влиянием нагрузки плотность капилляров увеличилась на 21 % и составила  $61,4 \pm 15,9$  в  $\text{мм}^2$

( $p < 0,05$ ). В третьей группе в покое была зарегистрирована функциональная плотность капилляров, равная  $56,7 \pm 11,2$  сосуда на  $1 \text{ мм}^2$ . После нагрузки их число увеличилось на 10 % и стало равным  $62,3 \pm 13,2$  в  $\text{мм}^2$  ( $p < 0,05$ ).

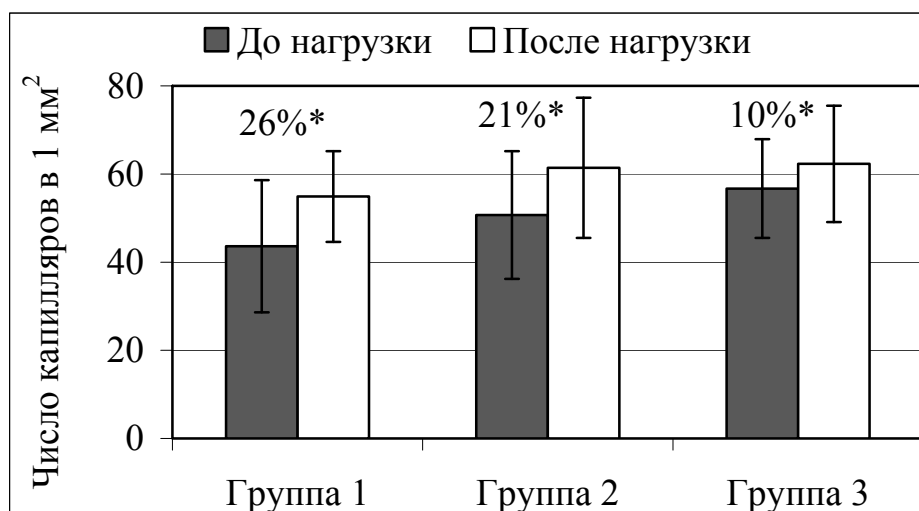


Рис. 2. Различия плотности функционирующих капилляров до и после нагрузки у лиц разного возраста

\* – различия достоверны при  $p < 0,05$ .

Как видно из полученных данных число функционирующих капилляров в микрососудитом русле кожи умеренно возрастает в ответ на аэробную тестирующую нагрузку. Можно предположить, что микрососудистое русло ткани (кожа), непосредственно не участвующей в срочной адаптации к мышечной нагрузке, тем не менее отвечает интенсификацией своей перфузионной активности, как это обычно наблюдается в мышцах [9, 11, 15]. При этом важно заметить,

что с возрастом эта микрососудистая реакция снижается.

### Заключение

В проведенном исследовании были получены данные, которые свидетельствуют о снижении реакции микрососудистого (капиллярного) русла с возрастом при выполнении однократной тестирующей нагрузки аэробного характера (средняя пульсовая реакция составляла от 120 до 160 уд/мин).

### Библиографический список

1. Александров, О. В. Клиническая оценка функционального состояния микроциркуляторного русла здоровых лиц [Текст] / О. В. Александров // Вопросы морфометрического анализа и элементы моделирования процессов в системе микроциркуляции: труды института. – М., 1978. – Т.ХСУ, Вып. 4. – С. 103–111.
2. Банин, В. В. Прижизненная морфометрия сосудов микроциркуляторного русла брыжейки тонкой кишки [Текст] / В. В. Банин // Вопросы функциональной микроангиологии и микроциркуляции. – М., 1972. – С. 50–57.
3. Власов, Ю. А. Изменение микроциркуляции во время физической нагрузки у человека [Текст] / Ю. А. Власов // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2012. – Т. 18. – С. 15.
4. Залмаев, Б. Е. Методологические аспекты изучения микроциркуляторного русла крови у спортсме-

- нов [Текст] / Б. Е. Залмаев, Т. М. Соболева // Труды ученых ГЦОЛИФКа : 75 лет : Ежегодник. – М., 1993. – С. 280–292.
5. Залмаев, Б. Е. Микроциркуляторное русло как показатель состояния сердечно-сосудистой системы у высококвалифицированных спортсменов [Текст] / Физиологические механизмы адаптации к мышечной деятельности. – Волгоград, 1988. – С. 145.
6. Камышов, В. Я. Изучение состояния микроциркуляторного русла у юных спортсменов [Текст] / В. Я. Камышов // Особенности подготовки юных спортсменов. – Волгоград, 1976. – С. 58–60.
7. Каро, К., Педли, Т., Шротер, Р., Сид, У. Механика кровообращения [Текст] / К. Каро, Т. Педли, Р. Шротер, У. Сид. – М. : Мир, 1981. – 623 с.

8. Козлов, В. И., Тупицин, И. О. Микроциркуляция при мышечной деятельности [Текст] / В. И. Козлов, И. О. Тупицин. – М., 1981. – 135 с.
9. Козлов, В. И. Экспериментально-морфологическое изучение микроциркуляции крови и структурной организации путей кровотока по данным витальной микроскопии [Текст] : автореф. дисс. ... докт. мед. наук / В. И. Козлов. – М., 1972. – 35 с.
10. Куприянов, В. В. Микроциркуляторное русло [Текст] / В. В. Куприянов, Я. Л. Караганов, В. И. Козлов. – М. : Медицина, 1975. – 213 с.
11. Михайлов, П. В., Муравьев, А. В., Тельнова, А. М., Муравьев, А. А., Ахапкина, А. А., Цыро, О. Е. Реакция системы микроциркуляции на физическую нагрузку разной интенсивности [Текст] / П. В. Михайлов, А. В. Муравьев, А. М. Тельнова, А. А. Муравьев, А. А. Ахапкина, О. Е. Цыро // *Ангиология и сосудистая хирургия*. – 2012. – Т. 18. – С. 25.
12. Соболева, Т. М. Влияние физической нагрузки на состояние микроциркуляторной системы кожи и конъюнктивы глазного яблока у человека по данным прижизненной микрофотокапиллярометрии [Текст] : дисс. ... канд. мед. наук / Т. М. Соболева. – М., 1980.
13. Хроника ВОЗ. – 1971. – Т. 25. № 8. – С. 380.
14. Чернух, А. М. Современное состояние разработки проблем микроциркуляции [Текст] / А. М. Чернух // *Вестник АМН СССР*. – 1968. – № 2. – С. 8–16.
15. Ryan T.J. Capillary microscopy and the skin. - *Brit. J. Dermatol*, 1970. – V. 82. – suppl. 5. – P. 74–76.