

УДК 57.032, 57.033

Муравьев А. В., Михайлов П. В., Зинчук В. В., Остроумов Р. С.

Напряжение кислорода в тканях и гемореологические профили у лиц с разным уровнем обеспеченности организма кислородом

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта №20-515-00019\20-А

Для эффективного транспорта кислорода в ткани необходима мобилизация не только объемного кровотока, но и снижение сопротивления движению крови, то есть оптимизация ее текучести. На модели мышечной нагрузки на велоэргометре были определены величины аэробного потенциала группы лиц ($n=60$) путем расчета максимального потребления кислорода (МПК) и на этой основе все испытуемые были разделены на три группы с относительно низким, средним и высоким МПК (менее 40 мл/кг/мин; 41–50 мл/кг/мин и 51–65 мл/кг/мин). У всех испытуемых регистрировали параметры гемореологического профиля и напряжение кислорода в коже предплечий и бедер при выполнении велоэргометрического теста (200 Вт). Были получены данные свидетельствующие о том, что транспорт кислорода в тканевые микрорайоны у лиц с более высоким аэробным потенциалом (на 43 % большим, чем в группе сравнения) сочетается с эффективными реологическими характеристиками крови и эритроцитов, а также лучшим насыщением тканей кислородом.

Ключевые слова: транспорт кислорода, гемореологический профиль, мышечная нагрузка, напряжение кислорода в тканях

Введение. При рассмотрении функций кровообращения важно иметь в виду, что основным параметром, обеспечивающим O_2 -транспорт, является объемный кровоток. Его величина хоро-

шо описывается уравнением Пуазейля [Каро, 1981], где объемная скорость течения (Q) равняется: $Q = (\Delta P \cdot r^4) / (8\eta L)$, ΔP – градиент давления, r – радиус сосуда, η – вязкость крови; L – длина сосудистого сегмента. Это особенно проявляется при повышенных потребностях тканей в кислороде, например, при мышечных нагрузках [Карпман, 2012].

Таким образом, перфузия тканей зависит от гемодинамического фактора, геометрии сосуда, его диаметра и длины, а также существенно – от вязкости жидкости (крови) [Baskurt et al., 2007]. Последняя существенно зависит от вязкости плазмы, гематокрит, агрегация и деформируемость эритроцитов, скорости и напряжения сдвига [Муравьев, 2009]. Все эти факторы влияют на вязкость крови и участвуют в формировании реологического профиля и обеспечивают ее транспортный потенциал [Chien, 1986; Stoltz et al., 1991].

Материал и методы исследования. Для решения поставленных задач в данном исследовании были сформированы три группы наблюдений (общее число испытуемых было 60 и в каждой группе по 20 испытуемых). Критерием отнесения к конкретной группе является величина максимального потребления кислорода (МПК). Была выделена первая группа (группа 1) с МПК менее 40 мл/кг/мин, вторая группа – 41–50 мл/кг/мин (группа 2) и третья группа – 51–65 мл/кг/мин (группа 3). Величину МПК определяли при нагрузочном тестировании на велоэргометре Kettler RX1.

У всех испытуемых регистрировали величину напряжения кислорода методом чрезкожной полярографии (ТСМ-200 фирмы «Radiometer», Дания) на предплечье и бедре. Регистрировали также параметры гемореологического профиля: вязкость крови при высоких и низких скоростях сдвига, вязкость плазмы, гематокрит, деформируемость и агрегацию эритроцитов. Реологическую эффективность транспорта кислорода оценивали отношением гематокрита/вязкость (Hct/η).

Весь цифровой материал обработан статистически с определением выборочной средней величины (M) и статистической ошибки средней (m). Значимость различий в исследуемых группах определяли с помощью t-критерия Стьюдента. За уровень

статистически значимых принимали изменения при $p < 0,05$. В тексте приведены средние величины (M) и величины статистической ошибки средней (m).

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты регистрации комплекса гемореологических характеристик свидетельствовали о том, что у лиц с более высоким аэробным потенциалом была выявлена более высокая текучесть крови и ее транспортная эффективность. Так у лиц второй группы вязкость крови была на 7–8 % ниже, чем в группе 1, а у лиц с самым высоким МПК (группа 3) эта разница достигла 14–18 % (см. рис. 1). Снижение самой вязкости цельной крови зависело от вязкости плазмы, уменьшения агрегации эритроцитов и прироста их деформируемости ($p < 0,05$).

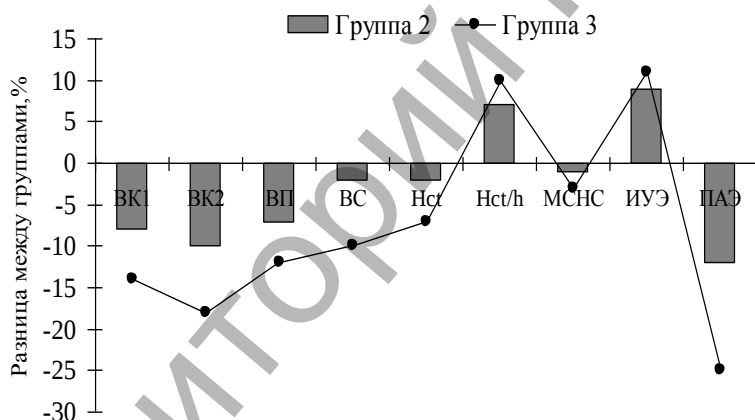


Рис. 1. Гемореологические профили испытуемых 2 и 3 групп наблюдения (относительно средних гемореологических данных лиц группы 1, принятых за нулевую линию)

Обозначения: ВК1 – вязкость крови при высоких скоростях сдвига; ВК2 – вязкость крови при низких скоростях сдвига; ВП – вязкость плазмы; ВС – вязкость суспензии; Hct – гематокрит; МСНС – средняя концентрация гемоглобина в эритроците; ПАЭ – показатель агрегации эритроцитов; ИУЭ – деформация эритроцитов; Hct/ η – индекс эффективности транспорта кислорода кровью

При определении степени напряжения кислорода в коже (pO_2) предплечья и бедра во время выполнения тестирующей нагрузки, мощностью 200 Вт были обнаружены самые высокие показатели у спортсменов группы 3. Они на 39 и 7 % (pO_2 на предплечье и бедре, соответственно) превышали данные лиц группы 1. Спортсмены группы 2 имели тоже большие величины напряжения кислорода во время дозированной мышечной нагрузки, чем испытуемые группы 1, но разница была меньше, чем в группе 3. Необходимо заметить, что более выраженная разница, обсуждаемой характеристики метаболизма кислорода при мышечной нагрузке, была получена при регистрации на предплечье, чем на бедре. Это было характерно для всех групп сравнения.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что транспорт кислорода в тканевые микрорайоны у лиц с более высоким аэробным потенциалом (на 43 % большим, чем в группе 1) сочетается с эффективными реологическими характеристиками крови и эритроцитов и лучшим насыщением тканей кислородом.

Библиографический список

1. Механика кровообращения / К. Каро, Т. Педли, Р. Шротер, У. Сид; пер. с англ. Е. В. Лукошкова, А. Н. Рогоза, науч. ред. С. А. Регирер, В. М. Хаятина. Москва : Мир, 1981. 624 с.
2. Карпман В. Л. Кардиогемодинамика и физическая работоспособность у спортсменов: сборник / авт-сост. Р. А. Меркулова. Москва : Советский спорт, 2012. 186 с.
3. Муравьев А. В. Чепоров С. В. Гемореология (экспериментальные и клинические аспекты реологии крови). Ярославль : ЯГПУ, 2009. 178 с.
4. Handbook of Hemorheology and Hemodynamics / O. K. Baskurt, M. R. Hardeman, M. W. Rampling, H. J. Meiselman. Amsterdam : IOS Press, 2007. 468 p.
5. Chien S. Blood rheology in myocardial infarction and hypertension // Biorheology. 1986. Vol. 23. P. 757–762.
6. Stoltz J. F. Hemorheology in clinical practice. Introduction to the notion of hemorheologic profile / J. F. Stoltz, M. Donner, S. Muller, A. Larcen // J. Mal. Vasc., 1991. Vol. 6. P. 261–270.