

И.И. Дигурова, А.Г. Гушин

Анализ гемореологического статуса и функции крови при ортостатическом стрессе у крыс

На экспериментальной модели ортостатического 45-минутного стресса у крыс проведено комплексное исследование гемореологического статуса и кислородтранспортной функции крови. Результаты свидетельствуют о том, что насыщение венозной крови кислородом увеличилось. Окислительно-восстановительный потенциал в тканях уменьшился. Эти изменения, возможно, обусловлены снижением деформируемости эритроцитов.

Ключевые слова: ортостатический стресс, крысы, гемореологический статус, насыщение крови кислородом, окислительно-восстановительный потенциал, деформируемость эритроцитов.

I.I. Digurova, A.G. Gushchin

Analysis of Hemorheological Status and Blood Function under Rats' Orthostatic Stress

On the experimental model of rats' orthostatic 45-minutes stress a hemorheological status of the organism and an oxygen transport function of blood in complex were studied. The obtained data demonstrate that oxygen saturation of blood was increased. A lowered level of oxidation-reduction potential after stress was observed in tissue. It is possible these changes are determined by lowered erythrocyte deformation.

Key words: orthostatic stress, rats, hemorheological status, oxygen saturation of blood, oxidation-reduction potential, erythrocyte deformation.

Экстремальные факторы различного генеза вызывают изменения микроциркуляции и кислородтранспортной функции крови [5, 14]. При вынужденном ограничении подвижности, предельных мышечных нагрузках, переводе тела в антиортостатическое положение наблюдаются нарушения гемореологического статуса [1, 2, 3, 9, 11]. Это снижает эффективность кровотока на уровне сосудов микроциркуляции [7, 8, 13, 14] и влияет на кислородный баланс организма [12]. Представляет интерес исследование взаимосвязи гемореологических показателей и кислородного баланса при воздействии на организм стрессовых факторов, что к настоящему времени недостаточно изучено.

В связи с вышеизложенным **цель** работы заключалась в комплексном изучении гемореологического статуса и кислородтранспортной функции крови при ортостатическом 45-минутном стрессе у крыс.

Материалы и методы. Исследование проведено на 26 белых половозрелых беспородных крысах-самцах, содержащихся в стандартных условиях вивария. С ними работали в соответствии с «Международными рекомендациями по проведе-

нию медико-биологических исследований с использованием лабораторных животных» [6]. Разброс по массе не превышал $\pm 10\%$. Ортостатический стресс моделировали, помещая крыс в тесные клетки-футляры объемом $(0,4-0,6) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ вниз головой под углом 90° к горизонтальной поверхности на 45 минут. Все животные были не адаптированы к стрессу и не наркотизированы. Исследования были синхронизированы по времени суток.

Содержание кислорода в венозной крови (SO_2) определяли оксиметрическим методом с помощью оксиметра фирмы «Radiometer» (Дания). Кровь забиралась в капилляр из вены таким образом, что контакт с атмосферным воздухом был минимизирован.

В тканях содержание кислорода оценивали по окислительно-восстановительному потенциалу (ОВП), измеренному компенсационным методом [10]. Искомый показатель (в *вольтах*) рассчитывался по формуле:

$$V_x = V_n \frac{R_2}{R_1},$$

где V_n – напряжение нормального элемента Вестона, R_1 и R_2 – сопротивление реохорда при подаче V_n и V_x . Пластинчатый электрод помещался в раствор KCl, а игольчатый располагался ближе к основанию хвоста крысы, также опущенного в раствор.

Гемореологические показатели исследовали с помощью микрометодов [14]. Кровь для гемореологических исследований брали из хвостовой вены до стресса и сразу после окончания опыта. В качестве антикоагулянта использовали гепарин в микродозах. Все измерения были проведены в течение 2 часов после забора крови. Гематокритный показатель (Ht) определяли путем центрифугирования проб крови в микрокапиллярах при 3000 об/мин. в течение 30 минут. Концентрацию гемоглобина (Hb) измеряли на автоматическом гематологическом анализаторе МЕК 6400 (Япония).

Деформируемость дважды отмытых эритроцитов оценивали по скорости фильтрации их суспензии в физиологическом растворе с гематокритным показателем, равным 0,02, через

фильтры с диаметром пор 2–4,5 мкм. Индекс деформируемости эритроцитов (ИДЭ) рассчитывали по отношению времени фильтрации физиологического раствора ко времени фильтрации суспензии. Коэффициент вариации при десятикратном исследовании одной пробы составил 5,4%.

Индекс агрегации эритроцитов (ИАЭ) определяли методом оптической микроскопии в камере Горяева с визуальным анализом и рассчитывали по отношению числа агрегатов к числу неагрегированных эритроцитов.

Концентрацию общего белка в плазме крови (ОБ) измеряли рефрактометрическим методом на рефрактометре РПЛ-3.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием пакета «OpenOffice.org». Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. При исследовании насыщения венозной крови кислородом получены результаты, представленные в таблице 1. После стрессового воздействия исследуемый показатель в среднем по группе увеличился на 26% ($p < 0,02$) по сравнению с соответствующим контролем.

Таблица 1

Изменение насыщения венозной крови кислородом при ортостатическом стрессе

Показатель	До стресса	После стресса
SO ₂ , %	40,00 ± 2,46	50,18 ± 4,29*

Примечание: * – $p < 0,02$

О содержании кислорода в тканях судили по измерениям окислительно-восстановительного потенциала. Данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение окислительно-восстановительного потенциала в тканях крыс при ортостатическом стрессе

Показатели	До стресса	После стресса
ОВП, В	0,61 ± 0,03	0,46 ± 0,04*

Примечание: * – $p < 0,05$

После ортостатического стресса наблюдалось уменьшение окислительно-восстановительного потенциала в среднем по группе на 25 % ($p < 0,05$) по сравнению с результатами, полученными до воздействия стрессового фактора.

Таким образом, повышение насыщения венозной крови кислородом сочеталось с уменьшением окислительно-восстановительного потенциала в тканях. Отмеченные изменения, возможно, связаны с периферическим шунтированием. Через открытые артериовенозные периферические шунты осуществляется массивный сброс артериальной крови, минуя капиллярные

зоны метаболизма. Данные изменения, очевидно, обусловили развитие тканевой гипоксии.

Результаты исследования гемореологических показателей представлены в таблице 3. После ортостатического 45-минутного стресса не выявлено статистически значимых изменений гематокритного показателя и концентрации гемоглобина по сравнению с данными, полученными до воздействия стрессового фактора. Снижение содержания общего белка также не было статистически значимым. Индекс агрегации эритроцитов в среднем по группе не отличался от исходного уровня, а индекс их деформируемости был снижен на 35 % ($p < 0,001$) по сравнению с соответствующим контрольным значением.

Таблица 3.

Изменения гемореологических показателей при ортостатическом стрессе

Показатели	До стресса	После стресса
Ht, %	40,38±1,48	39,33±1,32
Hb, г/л	146,54±10,16	133,75±10,99
ОБ, %	3,55±0,75	2,95±0,99
ИАЭ, отн. ед.	0,40±0,03	0,42±0,02
ИДЭ, отн. ед.	0,48±0,04	0,31±0,03*

Примечание: * – $p < 0,001$

Таким образом, при данном виде стрессового воздействия повышение насыщения венозной крови кислородом и снижение окислительно-восстановительного потенциала в тканях сочетаются с уменьшением индекса эритроцитарной деформируемости. Это согласуется с данными литературы о связи снижения деформационной способности эритроцитов с ограничением функ-

ционирования системы транспорта кислорода [5].

Заключение. Ортостатический 45-минутный стресс приводит к ухудшению снабжения тканей кислородом, что, очевидно, в значительной степени обусловлено уменьшением деформируемости эритроцитов.

Библиографический список

1. Дигурова, И.И. Оценка адаптационных возможностей с помощью макро- и микрореологических показателей крови при экспериментальном стрессе у крыс [Текст] / И.И. Дигурова // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2009. – Вып. 6. – С. 102–105.
2. Дигурова, И.И. Оценка гемореологических изменений при физической нагрузке разной интенсивности у крыс [Текст] / И.И. Дигурова, Н.О. Поздняков // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2009. – Вып. 1. – С. 97–100.
3. Дигурова, И.И. Оценка микроциркуляторных изменений при воздействии некоторых экстремальных факторов [Текст] / И.И. Дигурова, А.Д. Ноздрачев, В.В. Гагарин, А.Г. Гуцин, Ю.В. Карева // Вестн. СПбГУ. – Серия 3. – 2007. – С. 65–73.
4. Дигурова, И.И., Гуцин, А.Г. Исследования макро-реологических показателей крови при разных стрессах у крыс с помощью микрометодов [Текст] / И.И. Дигурова, А.Г. Гуцин. – Вестник КГУ, 2006. – №6. – С. 6–8.
5. Зинчук, В.В. Значение деформируемости эритроцитов при окислительном стрессе [Текст] / В.В. Зинчук, А.Н. Мальцев // Матер. межд. конф. по реологии. – Ярославль, 2001. – С. 62–63.
6. Международные рекомендации по проведению медико-биологических исследований с использованием лабораторных животных [Текст] // Хроника ВОЗ. – 1985. – №3. – С. 3–9.
7. Муравьев, А.В. Гемореология: перспективы развития [Текст] / А.В. Муравьев, В.В. Якусевич, Л.Г. Зайцев, А.А. Муравьев // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2007. – №2(22). – С. 4–17.
8. Плотников, М.Б. Лекарственные препараты на основе диквертина / М.Б. Плотников, Н.А. Тюкавина, Т.М. Плотникова. – Томск : Изд-во ТГУ, 2005. – 228 с.
9. Смирнов, И.Ю. Гемореологическая выносливость в спорте [Текст] / И.Ю. Смирнов. – Кострома : Изд-во КГТУ, 2006.
10. Стовичек, Г.В. Основы функционально-анатомической диагностики заболеваний периферических артерий [Текст] / Г.В. Стовичек, М.П. Вилянский, А.Ф. Вербов, Ю.В. Рябов. – Ярославль, 1972. – С. 125–126.
11. Федоров, Б.М. Стресс и система кровообращения [Текст] / Б.М. Федоров. – М. : Медицина, 1991. – 320 с.
12. Фирсов, Н.Н. Введение в экспериментальную и клиническую гемореологию [Текст] / Н.Н. Фирсов, П.Х. Джанашия. – М. : Изд-во ГОУ ВПО «РГМУ», 2004. – 280 с.
13. Pries A. R. Rheology of microcirculation / A. R. Pries, T. Secomb // Clin. Hemorheol. and microcirc. – 2003. – vol. 29. – P. 143–148.
14. Stoltz J. E., New trends in clinical hemorheology: an introduction to the concept of the hemorheological profile / J. E. Stoltz, M. Dooner // Schweiz. Med. Wochenschr. – 1991. – Vol. 43. – P. 41–49.