

**Алексей Васильевич БЕЛКИН<sup>1</sup>**

**Виталий Николаевич ДУБРОВСКИЙ<sup>2</sup>**

**Ксения Юрьевна МАСЛАКОВА<sup>3</sup>**

УДК 57.022

## **ОЦЕНКА ДЕФОРМАБИЛЬНОСТИ ЭРИТРОЦИТОВ КРЫС, СТРЕССИРОВАННЫХ ФИЗИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ**

<sup>1</sup> кандидат биологических наук,  
доцент кафедры анатомии  
и физиологии человека и животных,  
Тюменский государственный университет  
alexbel2@mail.ru

<sup>2</sup> кандидат биологических наук,  
доцент кафедры анатомии  
и физиологии человека и животных,  
Тюменский государственный университет  
vnd3@yandex.ru

<sup>3</sup> магистрант кафедры анатомии  
и физиологии человека и животных,  
Тюменский государственный университет  
k.y.maslakova@utmn.ru

### **Аннотация**

Изучено влияние физической нагрузки на реологические показатели крови крыс. Проведены исследования воздействия физиологических стрессирующих факторов — плавания и кратковременного перегревания на деформабильность эритроцитов. По показателям лейкоцитарной формулы подтвержден факт стресс-реакции у экспериментальных животных.

---

**Цитирование:** Белкин А. В. Оценка деформабильности эритроцитов крыс, стрессированных физическими нагрузками / А. В. Белкин, В. Н. Дубровский, К. Ю. Маслакова // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Том 4. № 2. С. 126-132.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-126-132

---

Выявлено, что после воздействия дозированной физической нагрузки наблюдается увеличение индекса деформабильности эритроцитов крови крыс, по сравнению с аналогичными показателями крови животных контрольной группы.

**Ключевые слова**

Эритроциты, стресс, деформабильность.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-126-132

**Введение**

Эритроциты являются преобладающим типом клеток крови. Благодаря уникальной способности красных кровяных телец к высокой степени деформации, они способны осуществлять газотранспортную функцию. Адекватная деформабильность эритроцитов при прохождении по кровотоку определяется вязкоупругими свойствами самой мембраны эритроидных клеток и наличием специальной белковой структуры — цитоскелета [3, 12].

Исследования последних лет позволяют говорить о влиянии на деформабильность эритроцитов различных факторов как экзогенного, так и эндогенного происхождения. Отмечается, что деформабильность эритроцитов претерпевает определенные изменения при воздействии физиологических нагрузок [1, 6]. Однако воздействие стрессорных физических нагрузок на деформабильность эритроцитов в настоящее время остается малоизученной областью реологии крови.

Целью настоящей работы было исследование способности эритроцитов крыс к упругой деформации в условиях воздействия физиологических нагрузок.

**Методы исследования**

Исследования по воздействию физиологических стрессирующих факторов — плавания и кратковременного перегревания на реологические характеристики эритроцитов проводились на половозрелых беспородных крысах самцах одного возраста (3 месяца) массой 150-200 г (32 особь). В эксперименте подопытные животные были разделены на 4 группы: две опытные и две контрольные по 8 крыс в каждой группе. Условия содержания животных были стандартные: в условиях вивария на полноценной диете (овес, рис, овощи, минеральные добавки). Экспериментальные исследования проводились в весенний период (март — апрель) в дневное время суток. Опыты по воздействию принудительного плавания были проведены в соответствии с разработанной методикой «свободное плавание в клетке» (СПК). Установка для СПК — это стандартная стеклянная клетка (50 × 30 × 20 см), заполненная водой (27°C) на 2/3. Животных помещали в данную клетку и сверху закрывали сеткой. Продолжительность эксперимента составляла 30 мин. 8 крыс-самцов подвергались управляемому нагреванию до 41°C в течении 30 мин.

После стрессирования животных кровь забиралась из хвостовой вены. Деформабильность эритроцитов определяли методом лазерной дифрактометрии [10, 11].

Проба крови в объеме 70 мкл помещалась в 3 мл 20% раствора полисахарида Ficoll-400, растворенного в фосфатном буфере (0,30 М NaCl, 0,020 М Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,005 М KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, pH = 7,4). Вязкость 20% раствора Ficoll-400 оценивалась с помощью стеклянного капиллярного вискозиметра ВПЖ-2.

Для подтверждения наличия стресса у крысы нами была составлена и проанализирована лейкоцитарная формула [8]. Физиологические нагрузки вызывали стресс-реакцию организма, которая была зарегистрирована по сдвигам лейкоцитарного состава периферической крови [2].

По показателям индекса деформабильности эритроцитов при различных усилиях сдвига, меняющихся в диапазоне от 5 до 49 Н/м<sup>2</sup>, строились эмпирические кривые индекса деформабильности эритроцитов крыс в зависимости от физиологической нагрузки в сравнении с контролем (рис. 1).

### Результаты и их обсуждение

На начальном этапе исследования перед нами стояла задача по оценке стрессорного состояния организма экспериментальных животных. В качестве маркера стрессорного состояния мы использовали сравнительный анализ лейкограмм контрольных и экспериментальных крыс.

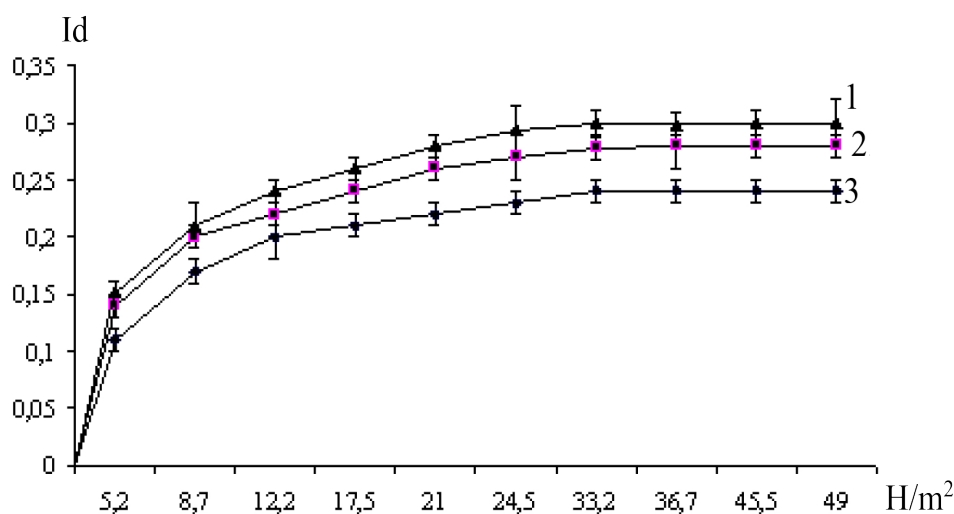


Рис. 1. Зависимость индекса деформабильности эритроцитов у крыс, перенесших воздействие физиологических нагрузок от усилия сдвига при мышечной нагрузке и перегревании: 1 — Перегревание; 2 — Мышечная нагрузка; 3 — «норма» (n = 24)

Fig. 1. The dependence of deformability index of erythrocytes in rats exposed to the effects of physiological loads of shear forces with muscular pressure and overheated: 1 — Overheating; 2 — Muscular pressure; 3 — “norm” (n = 24)

По анализу лейкограмм крови крыс опытной и контрольной групп было зафиксировано наличие стрессовой реакции животных, возникшей под воздействием физиологических нагрузок, что, очевидно, могло повлиять и на деформабильность эритроцитов.

Анализ лейкограмм показал, что в опытах с перегреванием и физической нагрузкой было зарегистрировано достоверное увеличение количества лейкоцитов в крови стрессированных животных по сравнению с контрольными показателями. У крыс, подвергшихся нагрузке, также было отмечено достоверное увеличение сегментоядерных нейтрофилов и палочкоядерных нейтрофилов опытной группы по сравнению с контролем. Схожие изменения наблюдаются и в опыте с перегреванием. В обеих экспериментальных группах отмечается достоверное снижение количества лимфоцитов в случае с физической нагрузкой и перегреванием по сравнению с контролем.

По оценке реологических характеристик крови стрессированных крыс, на компьютере строились эмпирические кривые индекса деформабильности эритроцитов крыс в зависимости от физиологической нагрузки в сравнении с контролем (рис. 1).

Результаты нашего исследования показывают, что в ответ на мышечную нагрузку деформабильность эритроцитов достоверно увеличивалась при низких, средних и высоких показателях усилия сдвига (рис. 1) по сравнению с контролем.

Мышечная нагрузка и кратковременное перегревание инициируют в организме животных ответную стрессовую реакцию, которая развивается двумя путями: через гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую систему или через возбуждение симпатической нервной системы, что приводит к росту концентрации катехоламинов и глюкокортикоидов в периферической крови [7].

В ответ на стрессорную физиологическую нагрузку возникает комплекс адаптационных изменений. В ответ на это увеличивается продукция эритропоэтина почками, за счет чего происходит мобилизация молодых эритроцитов из депо, которые отличаются высокой деформабильностью (костный мозг, селезенка) [5].

Другим фактором, вызывающим повышение деформабильности эритроцитов, в данных условиях может выступать гипергликемия, развивающаяся при стрессе, которая приводит к усилению синтеза макроэргов. Известно, что деформабильность эритроцитов во многом зависит от внутриклеточного содержания АТФ, с повышением уровня АТФ возрастает деформабильность этих клеток [4].

Согласно некоторым авторам [1], при физических нагрузках отмечается повышение осмолярности плазмы, что способствует удалению воды из эритроцитов. Причем, возможно, что дегидратация эритроцитов приводит к увеличению их деформабильности.

Таким образом, при воздействии стрессорных физиологических нагрузок наблюдается возрастание деформабильности эритроцитов, вызванное изменением гормонального фона плазмы крови и гомеостаза эритроцита. Подобные изменения приводят к усилению процесса эритропоэза, в результате чего в кровь из депо выбрасываются молодые эритроциты, обладающие высокой деформа-

бильностью, что приводит к снижению тканевой гипоксии, вызванной физиологической стресс-нагрузкой, и стабилизирует гомеостаз организма. Исследования деформабильных признаков клеточного состава эритроцитов может быть использовано как критерий оценки реактивного и адаптивного состояния спортсменов с целью коррекции стрессогенных и физических нагрузок в течение тренировочного процесса и является перспективным направлением в повышении безопасности спортивных нагрузок и определением необходимого уровня медицинского обеспечения спортивных мероприятий [9].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викулов А. Д. Деформируемость эритроцитов у спортсменов / А. Д. Викулов, А. А. Мельников, И. А. Осетров // Физиология человека. 1999. № 4. С. 136-139.
2. Гольдберг Е. Д. Методы культуры ткани в гематологии / Е. Д. Гольдберг, М. А. Дыгай, В. П. Шахов. Томск: Изд-во Томского университета, 1992. 264 с.
3. Ивенс И. Механика и термодинамика биологических мембран / И. Ивенс, Р. Скейлак. М.: Мир, 1982. 257 с.
4. Мишук И. И. Нарушение деформируемости эритроцитов / И. И. Мишук, З. Б. Березовская и др. // Анестезиология и реаниматология. 1993. № 2. С. 72-77.
5. Мосягина Е. И. Эритропоэз / Е. И. Мосягина, Н. А. Федоров, В. И. Гунин и др. // Нормальное кроветворение и его регуляция / под. ред. Н. А. Фёдорова. М.: Медицина, 1976. С. 341-457.
6. Муравьев А. В. Макро- и микрореологические свойства крови у лиц с разным уровнем тренированности / А. В. Муравьев, Л. Г. Зайцев, М. И. Симаков // Физиология человека. 1995. № 4. С. 137-142.
7. Панин Л. Е. Биохимические механизмы стресса / Л. Е. Панин. Новосибирск: Наука, 1983. С. 22-69.
8. Стенко М. И. Справочник по клиническим лабораторным методам исследования / М. И. Стенко. М.: Медицина, 1975. С. 21-56.
9. Яценко О. В. Деформабильность эритроцитов как критерий оценки реактивного и адаптивного состояния хоккеистов на протяжении тренировочного процесса / О. В. Яценко // «Мир Медицины и Биологии». № 3(34). 2012. С. 70-73.
10. Bessis M. Automated Ektacytometry: a New Method of Measuring Red Cell Deformability and Red Cell Indices / M. Bessis, N. Mohandas, C. Feo // Automation in hematology, what to measure and why? / edited by D. W. Ross, G. Brecher, M. Bessis. New York, 1981. Pp. 153-165.
11. Bessis M. Deformability of Normal, Shape-Altered and Pathological Red Cells / M. Bessis, N. Mohandas // Blood Cells. 1975. Vol. 1. Pp. 315-321.
12. Mohandas N. Molecular Basis for Red Cell Membrane Viscoelastic Properties / N. Mohandas // Biochem Soc Trans. 1992. № 4. Pp. 776-782.

**Alexey V. BELKIN<sup>1</sup>**

**Vitaliy N. DUBROVSKY<sup>2</sup>**

**Ksenia Yu. MASLAKOVA<sup>3</sup>**

UDC 57.022

## **EVALUATION OF THE DEFORMABILITY OF RATS' ERYTHROCYTES EXPOSED TO PHYSICAL PRESSURE**

<sup>1</sup> Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor,  
Department of Anatomy and Human and Animal Physiology,  
University of Tyumen  
alexbel2@mail.ru

<sup>2</sup> Can. Sci. (Biol.), Associate Professor,  
Department of Anatomy and Human and Animal Physiology,  
University of Tyumen  
vnd3@yandex.ru

<sup>3</sup> Master Student,  
Department of Anatomy and Human and Animal Physiology,  
University of Tyumen  
k.y.maslakova@utmn.ru

### **Abstract**

This article studies the effect of physical stress on rheological parameters of rat blood. The authors have researched the effect of physiological stress factors — swimming and short-term overheating on erythrocyte deformability.

According to the parameters of the leukocyte formula, the results confirm the fact of stress reaction in experimental animals.

After the exposure to a measured physical load, an increase in the deformity index of blood erythrocytes in rats was observed, in comparison with the analogous blood indices of the animals in the control group.

---

**Citation:** Belkin A. V., Dubrovsky V. N., Maslakova K. Yu. 2018. "Evaluation of the Deformability of Rats' Erythrocytes Exposed to Physical Pressure". Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 4, no 2, pp. 126-132.  
DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-126-132

---

**Keywords**

Erythrocytes, stress, deformity.

**DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-126-132**

**REFERENCES**

1. Vikulov A. D., Melnikov A. A., Osetrov I. A. 1999. "Deformiruyemost' eritrotsitov u sportsmenov" [Deformability of Erythrocytes in Athletes]. *Fiziologiya cheloveka*, no 4, pp. 136-139.
2. Goldberg E. D., Dygay M. A., Shakhov V. P. 1992. *Metody kul'tury tkani v gematologii* [Methods of Tissue Culture in Hematology]. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo Universiteta.
3. Evans E. A., Skalak R. I. 1982. *Mekhanika i termodinamika biologicheskikh membrane* [Mechanics and Thermodynamics of Biomembranes]. Moscow: Mir.
4. Mishchuk I. I., Berezovskaya Z. B. et al. 1993. "Narusheniye deformiruyemosti eritrotsitov" [Violation of Erythrocyte Deformability]. *Anesteziologiya i reanimatologiya*, no 2, pp. 72-77.
5. Mosyagina E. I., Fedorov N. A., Gunin V. I. et al. 1976. "Eritropoez" [Erythropoiesis]. In: Fedorov N. A. (ed.). *Normal'noye krovtvoreniye i ego regulyatsiya* [Normal Hematopoiesis and Its Regulation], pp. 341-457. Moscow: Meditsina.
6. Muravyov A. V., Zaytsev L. G., Simakov M. I. 1995. "Makro- i mikroreologicheskiye svoystva krovi u lits s raznym urovnem trenirovannosti" [Macro- and Microrheological Properties of Blood in People with Different Levels of Fitness]. *Fiziologiya cheloveka*, no 4, pp. 137-142.
7. Panin L. E. 1983. *Biokhimicheskiye mekhanizmy stressa* [Biochemical Mechanisms of Stress], pp. 22-69. Novosibirsk: Nauka.
8. Stenko M. I. 1975. *Spravochnik po klinicheskim laboratornym metodam issledovaniya* [Handbook of Clinical Laboratory Methods of Research], pp. 21-56. Moscow: Meditsina.
9. Yatsenko O. V. 2012. "Deformabil'nost' eritrotsitov kak kriteriy otsenki reaktivnogo i adaptivnogo sostoyaniya khokkeistov na protyazhenii trenirovochnogo protsessa" [Deformability of Erythrocytes as a Criterion for Assessing the Reactive and Adaptive State of Hockey Players During the Training Process]. *Mir Meditsiny i Biologii*, no 3 (34), pp. 70-73.
10. Bessis M., Mohandas N., Feo C. 1981. "Automated Ektacytometry: A New Method of Measuring Red Cell Deformability and Red Cell Indices". In: Ross D. W., Brecher G., Bessis M. (eds.). *Automation in Hematology, What to Measure and Why?*, pp. 153-165. New York.
11. Bessis M., Mohandas N. 1975. "Deformability of Normal, Shape-Altered and Pathological Red Cells". *Blood Cells*, vol. 1, pp. 315-321.
12. Mohandas N. 1992. "Molecular Basis for Red Cell Membrane Viscoelastic Properties". *Biochemical Society Transactions*, no 4, pp. 776-782.