ISSN 2311-4495
ISSN 2410-5155 (Online)
УДК 612.172.2:57.084

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОЙ БУРИ НА ПАРАМЕТРЫ ГЕМОДИНАМИКИ И ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У НОРМОТЕНЗИВНЫХ КРЫС ЛИНИИ WISTAR

Кузьменко Н.В.[1,2], Плисс М.Г. [1,2], Рубанова Н.С. [1,2], Цырлин В.А. [1,2]

[1] Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Западный федеральный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия
[2] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:
Кузьменко Наталия Владимировна
ФГБУ «СЗФМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России
ул. Пархоменко, д. 15 лит. Б, Санкт-Петербург, Россия, 194156.
E-mail: kuzmenko@niiekf.ru

Статья поступила в редакцию 19.01.2017 и принята к печати 10.02.2017.

Резюме

Цель работы состояла в изучении влияния геомагнитного шторма на параметры гемодинамики и вариабельность сердечного ритма у нормотензивных крыс. **Материалы и методы.** Исследования проводились на самцах линии Wistar. Проведена регистрация систолического артериального давления, межсистольного интервала и компонентов вариабельности сердечного ритма в дни геомагнитного шторма и в дни, когда магнитное поле Земли было спокойным. **Результаты.** Обнаружено, что в дни геомагнитного возмущения уменьшалась симпатическая составляющая спектра вариабельности сердечного ритма, при этом наблюдалась тенденция к увеличению артериального давления и учащению сердечного ритма. **Выводы.** Мы предполагаем, что уменьшение активности симпатической нервной системы способствует удержанию гемодинамических констант на нормальном уровне во время геомагнитной бури.

Ключевые слова: геомагнитный шторм, вариабельность сердечного ритма, симпатическая нервная система.

Для цитирования: Трансляционная медицина. 2017; 4 (1): 49–54.

INFLUENCE OF MAGNETIC STORM ON THE HEMODYNAMIC PARAMETERS AND HEART RATE VARIABILITY IN NORMOTENSIVE WISTAR RATS

Kuzmenko N.V. [1,2], Pliss M.G. [1,2], Rubanova N.S. [1,2], Tsyrlin V.A.[1,2]

[1] Federal Almazov North-West Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia
[2] Academician I. P. Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author:
Nataliy V. Kuzmenko
Federal Almazov North-West Medical Research Centre
Parkhomenko str. 15-B, Saint Petersburg, Russia, 194156
E-mail: kuzmenko@niiekf.ru

Received 19 January 2017; accepted 10 February 2017.

Abstract

Objective. The aim of this work was to examine influence of the geomagnetic storms on the hemodynamic parameters and heart rate variability in normotensive rats. **Design and methods.** Studies were conducted in Wistar male rats. Registration of systolic blood pressure, beat-to-beat interval and components of heart rate variability were conducted in the days of the geomagnetic storm and in the days, when the Earth's magnetic field was calm. **Results.** We found that, in the days of geomagnetic disturbances sympathetic component of spectrum of heart rate variability decreased, simultaneously we observed a tendency to increase of blood pressure and average of heart rate. **Conclusions.** We have suggested, that decline in activity of the sympathetic nervous system contributes to maintain of a normal level of hemodynamic constants during geomagnetic storm.

Key words: geomagnetic storm, heart rate variability, sympathetic nervous system.

For citation: Translyatsionnaya meditsina= Translational Medicine. 2017; 4 (1): 49–54.

Введение

Магнитное поле Земли и его вариации, возникающие в результате влияния солнечной активности на ионосферу планеты, относятся к естественным магнитным полям. Постоянное геомагнитное поле генерируется токами в жидком металлическом ядре, и изменяется в зависимости от географической широты. Так, вблизи экватора индукция геомагнитного поля составляет около 35мкТл, а вблизи полюсов 65 мкТл. Приход на Землю высокоскоростного потока солнечной плазмы (солнечного ветра), генерируемого нестационарными процессами на Солнце (выбросы корональной массы и корональные дыры), вызывает геомагнитную бурю [1].

G-индекс характеризует интенсивность геомагнитного шторма по воздействию вариаций магнитного поля Земли на людей, животных, электротехнику, связь, навигацию и т.д. Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США (NOAA) в ноябре 1999 г. была введена пятибальная шкала силы магнитных бурь. Оригинал описания шкалы космической погоды находится на сайте: http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation [2]. По этой шкале магнитные бури подразделяются на уровни от G1 (слабые бури) до G5 (экстремально сильные бури). G-индекс соответствует Kp минус 4; то есть G1 соответствует Kp=5, G2 — Kp=6, G5 — K=9. K (индекс) — это отклонение магнитного поля Земли от нормы в течение трёхчасового интервала. Индекс был введён Дж. Бартельсом в 1938 г. и представляет собой значения от 0 до 9 для каждого трёхчасового интервала (0-3, 3-6, 6-9 и т.д.) [3]. Kp (планетарный индекс) вычисляется как среднее значение K-индексов, определённых на 13 геомагнитных обсерваториях, расположенных между 44 и 60 градусами

северной и южной геомагнитных широт. Его диапазон — от 0 до 9 [4].

К настоящему времени проведено большое количество исследований о влиянии геомагнитных бурь на здоровье людей. По результатам ряда работ наиболее значительное влияние флуктуации геомагнитного поля оказывают на функции сердечно-сосудистой и нервной систем [5, 6, 7]. Имеются и экспериментальные исследования на животных [8]. В целом результаты очень противоречивы [1].

Мы считаем, что исследование на животных проблемы влияния геомагнитных бурь на состояние организма дает более объективные результаты по сравнению с исследованиями на людях, так как полностью исключает психологический эффект от знания о происходящем природном явлении.

Цель настоящей работы — исследовать влияние геомагнитного возмущения на параметры гемодинамики и вегетативную регуляцию работы сердца у нормотензивных крыс линии Wistar.

Материалы и методы

Общие положения и протокол экспериментов

Работа была проведена на 39 лабораторных крысах-самцах линии Wistar массой 200-300 г. Крысы содержались в условиях свободного доступа к пище и воде. Условия проведения исследований были согласованы с Этическим комитетом Центра Алмазова, было получено разрешение на их проведение (№ 77 от 21.06.2010).

Для исследования влияния возмущения геомагнитного поля при магнитной буре на состояние сердечно-сосудистой системы нормотензивных животных были использованы результаты измерений параметров гемодинамики во время сильного геомагнитного возмущения 26.09.2011-29.09.2011 (данные Лаборатории рентгеновской астрономии Солнца ФИАН, сайт www.tesis.lebedev.ru, архив) [9]. Во время этой магнитной бури индекс отклонения магнитного поля Земли (Кр) колебался в диапазоне от 4 до 8 (рис. 1). Контролем служили данные измерений параметров гемодинамики, полученные за 22.09.2011 и 23.09.2011, когда геомагнитное поле было спокойным (Кр<2) [9]. Контрольная группа включила 10 крыс. В опытных группах были проанализированы: 8 животных — 27.09.2011 (в первые сутки геомагнитного возмущения), 8 животных — 28.09.2011 (во вторые сутки геомагнитного возмущения), 13 животных — 29.09.2011, когда магнитное возмущение пошло на спад и флуктуации геомагнитного поля не превышали Кр=4. Для того, чтобы исключить влияние привыкания к стрессу при хвостовом методе регистрации параметров гемодинамики, группы включали разных животных.

Регистрация параметров проводилась между 9 и 16 часами по Московскому времени в г. Санкт-Петербург (географические координаты $59^{o}57^{/}$ с.ш. и $30^{o}19^{/}$ в.д.). В месте проведения экспериментов величина индукции магнитного поля Земли составляла в среднем 48мкТл, замер был произведен отечественным трехкомпонентным магнитометром НВ0302.1А (0,1 — 100 мкТл) (ООО «Магнитные приборы», Санкт-Петербург). Влияние техногенных магнитных возмущений в процессе проведения экспериментов (электросварка, работа электрических машин и механизмов) отсутствовало.

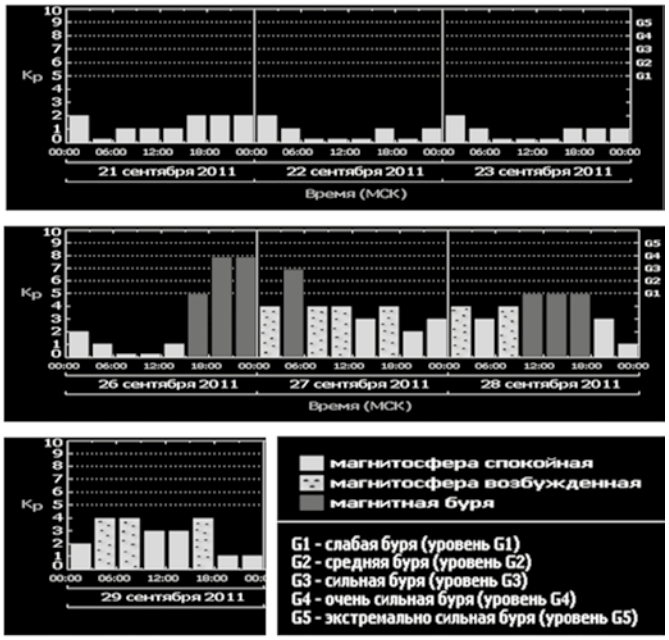
Уровень атмосферного давления в период эксперимента был достаточно стабильным и колебался в диапазоне 750-760 мм рт. ст. (данные получены с сайта https://www.gismeteo.ru/diary/4079/2011/9/) [10].

Неинвазивная регистрация параметров гемодинамики

Регистрация параметров гемодинамики проводилась с использованием компьютерной программы Chart на NIBP системе неинвазивного измерения кровяного давления (ADInstruments Pty Ltd, Австралия), включающей ML125 NIBP контроллер, MLT125R датчик пульса и хвостовую манжетку для крыс. Данная система позволяет регистрировать систолическое артериальное давление (АД сист.) на хвостовой артерии бодрствующей крысы, посаженной в рестрейнер. Также с помощью программы Chart рассчитывался МСИ (межсистольный интервал). Во время каждой регистрации параметры измерялись по 5-6 раз, а затем вычислялись их средние арифметические значения.

Для оценки изменений в вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы с помощью программы Chart проводился спектральный анализ ритма. Для проведения анализа брались «короткие» записи пульсаций продолжительностью в 40 секунд. Пульсограммы для анализа выбирались сразу же при регистрации параметров, с учетом того, чтобы животное во время регистрации было спокойным, не совершало бы груминг или каких-либо других движений. С помощью математических методов, принятых Европейским обществом кардиологии и Североамериканским обществом электростимуляции и электрофизиологии [11], проводился расчет в $мс^2$/Гц низкочастотной части спектра (НЧ: 0,15 — 0,8 ГЦ), используемой как маркер симпатической модуляции, и высокочастотной части спектра (ВЧ: 0,8 — 2,5 Гц), характеризующей вагусную активность. По соотношению НЧ/ВЧ делался вывод о симпато-вагусном балансе в регуляции работы сердца.

Рисунок 1.



Статистическая обработка

Сравнение результатов измерений проводилось с помощью оценки достоверности различий средних тенденций по критерию Стьюдента с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 97 (двухвыборочный t-тест). Результаты измерений представлены в виде «среднее значение ± стандартное отклонение».

Результаты

Геомагнитная обстановка в дни регистрации параметров гемодинамики представлена на рисунке 1 (данные Лаборатории рентгеновской астрономии Солнца ФИАН). Из рисунка 1 очевидно, что магнитное поле Земли 26.09.2011-29.09.2011 было возмущенным. Ночью 26.09.2011 и утром 27.09.2011 индекс флуктуаций геомагнитного поля достигал 7-8; 28.09.2011 максимальное значение Кр составило 5; 29.09.2011 магнитное поле оставалось слабо возмущенным, Кр в течение суток не превышал 4. В противоположность этому, 22.09.2011 и 23.09.2011 геомагнитное поле было спокойным, Кр<2.

Во время геомагнитной бури 26.09.2011-29.09.2011 мы наблюдали у нормотензивных крыс линии Wistar тенденцию к увеличению уровня АД, укорочению длины МСИ, а также уменьшению вариабельности сердечного ритма. Максимальные изменения наблюдались в первые сутки геомагнитного возмущения — значительно уменьшались НЧ и НЧ/ВЧ компоненты спектра вариабельности сердечного ритма (табл. 1). Во вторые и третьи сутки геомагнитного возмущения не было существенных различий между контрольной и опытной группами.

Обсуждение

Проведенные к настоящему времени исследования влияния геомагнитного возмущения на физиологические функции организма противоречивы. Группа ученых из Медицинского университета г. Каунаса наблюдала значительное увеличение частоты сердечных сокращений у пациентов с острым коронарным синдромом под влиянием геомагнитного возмущения [5]. В 2004 году в экспериментах на кроликах было обнаружено влияние геомагнитных бурь на циркадные колебания интракардиального давления [8]. Однако исследования статистики о смертности от инфарктов и инсультов в госпиталях США не выявили существенной разницы между днями с возмущенным и спокойным геомагнитным полем [12].

В наших исследованиях мы проанализировали влияние сильного геомагнитного шторма, произошедшего 26.09.2011-29.09.2011, на параметры гемодинамики и вариабельность сердечного ритма у нормотензивных крыс линии Wistar. По данным Лаборатории рентгеновской астрономии Солнца ФИАН данная магнитная буря началась вечером 26.09.2011. Ночью 26.09.2011 и утром 27.09.2011 индекс (Кр) флуктуаций геомагнитного поля достигал 7-8; 28.09.2011 максимальное значение Кр составило 5; 29.09.2011 магнитное поле оставалось слабо возмущенным, Кр в течение суток не превышал 4. По результатам нашего исследования в течение всего периода геомагнитного возмущения у крыс наблюдалась тенденция к увеличению уровня АД, укорочению длины МСИ, а также уменьшению вариабельности сердечного ритма, по сравнению с животными контрольной группы, измерения

Таблица 1. Влияние геомагнитного возмущения (26.09.11–29.09.11) на параметры гемодинамики и вариабельность сердечного ритма нормотензивных крыс.

Параметры	Контроль (n=10)	Геомагнитное возмущение		
		1 сутки (n=8)	2 сутки (n=8)	3 сутки (n=13)
АД сист., мм рт.ст.	121,0±12,8	131,0±10,8	122,6±6,5	130,1±8,8
МСИ, мсек	153,7±8,5	142,0±10,9	147,5±6,4	145,9±5,3
НЧ, мсек^2/Гц	33,2±26,0	**8,8±2,9 ***	18,3±10,7	15,5±7,8
ВЧ, мсек^2/Гц	108,3±35,0	84,4±17,6	86,4±5,5	75,2±9,3
НЧ+ВЧ, мсек^2/Гц	141,5±57,4	93,1±20,1	104,6±13,9	90,6±15,1
НЧ/ВЧ	0,28±0,46	**0,10±0,02 ***	0,21±0,12	0,23±0,11

Примечание: *— $p<0,05$ — достоверность относительно контроля. n — количество крыс в группе. АД сист. — систолическое артериальное давление, МСИ — межсистольный интервал, НЧ — низкочастотный компонент вариабельности МСИ, ВЧ — высокочастотный компонент вариабельности МСИ.

в которой были проведены 22.09.2011-23.09.2011, кода магнитное поле Земли было спокойным и Кр не превышал 2. Максимальные изменения тестируемых параметров мы наблюдали в первые сутки магнитного шторма (9-14 часов по Московскому времени 27.09.2011); нами было зарегистрировано существенное уменьшение НЧ и НЧ/ВЧ-компонентов спектра вариабельности сердечного ритма. Это свидетельствует об уменьшении симпатических влияний на работу сердца. Однако на 2-е, 3-и сутки после начала магнитной бури симпато-вагусный баланс восстанавливался до уровня, наблюдаемого у животных из контрольной группы.

Интересно отметить, что при уменьшении вариабельности сердечного ритма НЧ-компонент снижался в большей степени, чем ВЧ компонент. Подобное явление наблюдается также при денервации барорецепторных зон. Так, нами было показано, что денервация основных барорецепторных зон вызывает уменьшение компонентов спектра вариабельности сердечного ритма НЧ — на 82%, ВЧ — на 40%, НЧ/ВЧ — в 3 раза [13]. Некоторые исследователи связывают явление уменьшения, происходящее после двусторонней бароденервации, наряду с ВЧ-компонентом, также и НЧ-компонента, с тем, что активность блуждающего нерва отражают как НЧ, так и ВЧ части спектра вариабельности сердечного ритма [14]. Однако эксперименты с блокадой холинэргических рецепторов атропином демонстрируют практически полное исчезновение ВЧ-компонента спектра вариабельности сердечного ритма и только некоторое уменьшение амплитуды НЧ-компонента [15]. Мы полагаем, что, возможно, в значительном снижении именно НЧ-компонента при несущественном уменьшении ВЧ-компонента спектра вариабельности сердечного ритма заключается ключ к адаптации работы сердечно-сосудистой системы при возмущающих воздействиях, позволяющей удерживать АД на нормальном уровне.

Наши результаты согласуются с литературными данными. Так, Gmitrov J., Ohkubo C. сообщают о влиянии геомагнитного шторма на величину барорецепторного рефлекса [6]. А мониторинг сердечно-сосудистой функции космонавтов на станции «Мир» показал, что во время геомагнитных бурь наблюдается уменьшение вариабельности сердечного ритма [1]. Также исследования, проведенные японскими учеными в субарктических областях, продемонстрировали увеличение частоты сердечных сокращений и уменьшение вариабельности сердечного ритма у людей при естественных флуктуациях геомагнитного поля [7].

Обратная реакция параметров сердечного ритма была показана при экранировании геомагнитного поля в 40 раз [16]. В первые 2 дня экранирования было обнаружено существенное увеличение общего спектра вариабельности сердечного ритма и уменьшение частоты сердечных сокращений; в последующие 3 недели наблюдений не было различий между крысами контрольной и опытной групп. Было сделано предположение о влиянии состояния геомагнитного поля на вегетативную нервную систему, а также об адаптации организма к условиям ослабленного магнитного поля Земли.

Вероятно, изменения, происходящие в симпатическом и парасимпатическом компонентах вариабельности сердечного ритма и приводящие к изменению симпато-вагусного баланса, направлены на удержание гемодинамических констант на нормальном уровне при флуктуациях геомагнитного поля.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Список литературы / References

1. Ptitsyna NG, Villoresi G, Dorman LI, Iucci N, Tyasto MI. Natural and man-made low-frequency magnetic fields as a potential health hazar. Phys. Usp. 1998; 168 (7): 767-791. In Russian. [Птицина Н.Г., Виллорези Д., Дорман Л.И., Юччи Н., Тясто М.И. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы потенциально опасные для здоровья (обзор). Успехи физ. Наук. 1998; 168 (7): 767-791].
2. Space weather prediction center national oceanic and atmospheric administration. http://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation
3. Bartels J. Potsdamer erdmagnetische Kennziffern, 1 Mitteilung. Zeitschrift für Geophysik. 1938; 14: 68–78, 699–718.
4. Zabolotnay NA. Indixes of geomagnetic activity. Publishing house LKI, 2007. p. 88. In Russian. [Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности. Изд ЛКИ, 2007. с. 88].
5. Venclviene J, Babarskiene R, Milvidaite I, Kubilius R, Stasionyte J. The effect of solar-geomagnetic activity during and after admission on survival in patients with acute coronary syndromes. Int J Biometeorol. 2014; 58(6): 1295-303.
6. Gmitrov J, Ohkubo C. Artificial static and geomagnetic field interrelated impact on cardiovascular regulation. Bioelectromagnetics. 2002; 23(5): 329-338.
7. Otsuka K, Cornélissen G, Weydahl A, Holmeslet B, Hansen TL, Shinagawa M, Kubo Y, Nishimura Y, Omori K, Yano S, Halberg F. Geomagnetic disturbance associated with decrease in heart rate variability in a subarctic area. Biomed Pharmacother. 2001; 55 (1): 51s-56s.
8. Chibisov SM, Cornélissen G, Halberg F. Magnetic storm effect on the circulation of rabbits. Biomed Pharmacother. 2004; 58 (1):S15-9.
9. Tesis. http://www.tesis.lebedev.ru/magnetic_storms.html?m=9&d=28&y=2011 (29 September 2011)
10. Gismeteo. https://www.gismeteo.ru/diary/4079/2011/9
11. American Heart Association. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Circulation. 1996; 93: 1043-1065.
12. Lipa BJ, Sturrock PA, Rogot F. Search for correlation between geomagnetic disturbances and mortality. Nature. 1976; 259(5541):302-4.
13. Kuzmenko NV, Pliss MG, Rubanova NS. Sympathetic activity and heat rate variability during experimental renovascular hypertension in intact and sinoaortic denervated rats. Bulletin of VA Almazov Centre. 2011; june: 31-38. In Russian. [Кузьменко Н.В., Плисс М.Г., Рубанова Н.С. Симпатическая активность и вариабельность сердечного ритма при экспериментальной реноваскулярной гипертензии у крыс с интактными и денервированными барорецепторными зонами. Бюл. ФЦСКЭ им. В.А. Алмазова. 2011; июнь: 31-38].
14. Di Rienzo M, Parati G, Castiglioni P, Omboni S, Ferrari AU, Ramirez AJ, Pedotti A, Mancia G. Role of sinoaortic afferents in modulating BP and pulse-interval spectral characteristics in unanesthetized cats. Am J Physiol. 1991; 261(2): 1811-1818.
15. Ohnuki K, Moritani T, Ishihara K, Fushiki T. Capsaicin increases modulation of sympathetic nerve activity in rats: measurement using power spectral analysis of heart rate fluctuations. Biosci Biotechnol Biochem. 2001; 65(3): 638-643.
16. Kuzmenko NV, Surma SV, Stefanov VE, Vasilyeva OV, Shchegolev BF. The biological effects of a screen-weakened geomagnetic field on hemodynamic parameters of Wistar rats. Vestnik St. Petersburg University. 2013; 3 (2): 64-69. In Russian. [Кузьменко Н.В., Сурма С.В., Стефанов В.Е., Васильева О.В., Щеголев Б.Ф. Биологические эффекты воздействия ослабленного экранированием геомагнитного поля на гемодинамические параметры крыс линии Вистар. Вестник СпбГУ. 2013; 3 (2): 64-69].

Информация об авторах:

Кузьменко Наталия Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела экспериментальной физиологии и фармакологии ФГБУ «СЗФМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, лаборатории биофизики кровообращения ГБОУ ВПО «ПСПбГМУ им. И. П. Павлова» Минздрава России;

Плисс Михаил Гениевич**,** кандидат медицинских наук, заведующий отделом экспериментальной физиологии и фармакологии ФГБУ «СЗФМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, заведующий лабораторией биофизики кровообращения ГБОУ ВПО «ПСПбГМУ им. И. П. Павлова» Минздрава России;

Рубанова Наталия Сергеевна, заведующая виварием и младший научный сотрудник отдела экспериментальной физиологии и фармакологии ФГБУ «СЗФМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, младший научный сотрудник лаборатории биофизики кровообращения ГБОУ ВПО «ПСПбГМУ им. И. П. Павлова» Минздрава России;

Цырлин Виталий Александрович, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела экспериментальной физиологии и фармакологии ФГБУ «СЗФМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, профессор кафедры фармакологии ГБОУ ВПО «ПСПбГМУ им. И. П. Павлова» Минздрава России, профессор кафедры фармакологии медицинского факультета СПбГУ.

Author information:

Natalia V. Kuzmenko, PhD, senior researcher of the Laboratory of experimental physiology, Federal Almazov North-West Medical Research Centre; Laboratory of Biophysics of blood circulation, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia;

Mikhail G. Pliss, PhD, head of the Laboratory of experimental physiology and pharmacology, Federal Almazov North-West Medical Research Centre; head of the Laboratory of Biophysics of blood circulation, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia;

Natalia S. Rubanova, the head of the vivarium, junior researcher of the Laboratory of experimental physiology and pharmacology, Federal Almazov North-West Medical Research Centre, junior researcher of the Laboratory of Biophysics of blood circulation, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia;

Vitaliy A. Tsyrlin, MD, senior researcher of the Laboratory of experimental physiology and pharmacology, Federal Almazov North-West Medical Research Centre; professor at the Pharmacology department, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia.