

Оригинальная статья / Original article

УДК: 611.08

DOI: <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-2-104-108>

Профилактика пострадационных нарушений в семенниках крыс при применении магнитного поля

Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Михайлик Л.В.*Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России, Москва, Россия*

Резюме

Эффекты действия низкоинтенсивного низкочастотного магнитного поля (НМП) в основном изучены при лечебном его применении и в значительно меньшей степени – в режиме первичной профилактики.

Цель исследования. Выявить адаптационные метаболические и ультраструктурные сдвиги в семенниках крыс при профилактическом действии НМП в условиях радиации.

Материалы и методы. Эксперименты проведены на 28 половозрелых нелинейных крысах-самцах массой 180-200 г. Животные были разделены на 3 группы: в опытной группе животные получали курс процедур НМП с последующим радиационным облучением; в контрольной группе животных подвергали только радиационному облучению; в интактной группе животные не подвергались никаким воздействиям. Забой животных осуществляли на следующий день после радиационного воздействия. Применялись методы исследования – биохимические (определяли содержание РНК, ДНК, антиоксидантную активность семенников), светооптические (подсчет числа извитых семенных канальцев – ИСК, слущенных клеток, сперматогоний, определяли индекс сперматогенеза); трансмиссионная электронная микроскопия; морфометрический анализ митохондрий (количество, средняя и суммарная площади).

Результаты. Профилактическое действие НМП усиливало адаптационные возможности организма и повышало устойчивость семенников к действию радиации. Это проявлялось в усилении мощности антиоксидантной системы, активации процессов клеточной и внутриклеточной регенерации, уменьшении проницаемости структур собственной оболочки ИСК.

Заключение. Полученные данные обосновывают возможность применения НМП в качестве средства защиты органов репродуктивной системы в комплексной профилактике организма при действии радиации.

Ключевые слова: профилактика, радиация, низкочастотное магнитное поле, семенники крыс, сперматогонии, клетки Сертоли

Источник финансирования: Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Королев Ю.Н., Никулина Л.А., Михайлик Л.В. Профилактика пострадационных нарушений в семенниках крыс при применении магнитного поля. *Вестник восстановительной медицины*. 2021; 20 (2): 104-108. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-2-104-108>

Для корреспонденции: Королев Юрий Николаевич, e-mail: korolev.yur@yandex.ru

Статья получена: 18.03.2020

Статья принята к печати: 25.03.2021

Prevention of Postradiation Disorders in the Testes of Rats with the use of Magnetic Field

Yuri N. Korolev, Lyudmila A. Nikulina, Lyubov V. Mikhailik*National Medical Research Center of Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russian Federation*

Abstract

The action effects of the low-intensity low-frequency magnetic field (LMF) are mainly studied in its therapeutic use and to a much lesser extent in the mode of primary prevention.

The aim. To identify adaptive metabolic and ultrastructural changes in the testes of rats under the preventive action of LMF under radiation conditions.

Materials and methods. The experiments were carried out on 28 mature non-linear male rats weighing 180-200 g. The animals were divided into 3 groups: in the experimental group, the animals received a course of LMF procedures followed by radiation exposure; in the control group, the animals were subjected only to radiation exposure; in the intact group, the animals were not exposed to any effects. The animals were slaughtered the day after the radiation exposure. The research methods were used: biochemical (to determine the content of RNA, DNA, antioxidant activity of the testes), light – optical (to count the number of convoluted seminiferous tubule – CST, exfoliated cells, spermatogonia, to determine the index of spermatogenesis); transmission electron microscopy; morphometric analysis of mitochondria (number, average and total area).

Results. The preventive effect of LMF enhanced the adaptive capabilities of the body and increased the resistance of the testes to the effects of radiation. This was manifested in an increase in the power of the antioxidant system, activation of the cellular and intracellular regeneration processes, and a decrease in the permeability of the structures of the CST's own shell.

Conclusion. The obtained data substantiate the possibility of using LMF as a means of protecting the organs of the reproductive system in the complex prevention of the body under the influence of radiation.

Keywords: prevention, radiation, low-frequency magnetic field, rat testes, spermatogonia, Sertoli cells

Acknowledgments: The study had no sponsorship.

Conflict of interest: The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Korolev Y.N., Nikulina L.A., Mikhailik L.V. Prevention of Postradiational Disorders in the Testes of Rats with the use of Magnetic Field. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2021; 20 (2): 104-108. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-2-104-108>

For correspondence: Yuriy N. Korolev, e-mail: korolev.yur@yandex.ru

Received: March 18, 2020

Accepted: March 25, 2021

К настоящему времени накоплен большой опыт применения низкоинтенсивного низкочастотного магнитного поля (НМП) в лечении и реабилитации больных. Установлено, в частности, что низкочастотное магнитное поле способно вызвать мягкую активацию функции коры надпочечников, повысить уровень метаболических процессов и иммунологическую реактивность, улучшить микроциркуляцию, стимулировать процессы регенерации. Кроме того, этот фактор имеет небольшое число противопоказаний, при этом практически отсутствуют побочные эффекты [1-5]. Благодаря указанным свойствам, НМП может повысить устойчивость механизмов адаптации в организме, что весьма важно в профилактике нарушений при действии различных повреждающих факторов, в том числе ионизирующей радиации [6, 7]. Вместе с тем, профилактические эффекты НМП, в отличие от лечебного действия, изучены еще недостаточно. В этой связи представляется целесообразным изучить в эксперименте особенности профилактического действия НМП на семенники, которые имеют повышенную чувствительность к радиационному облучению.

Цель исследования

Выявить адаптационные метаболические и ультраструктурные сдвиги в семенниках крыс при профилактическом действии НМП в условиях радиации.

Материалы и методы исследования

Эксперименты проведены на 28 половозрелых нелинейных крысах-самцах массой 180-200 г. Животные были разделены на 3 группы: в опытной группе животные получали курс НМП с последующим радиационным облучением; в контрольной группе животных подвергали минимуму воздействию НМП (аппарат не включали) с последующим радиационным облучением; в интактной группе животные никаким воздействиям не подвергались. Исследования осуществляли в соответствии с правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных (приложение к приказу Минздрава СССР от 12.08 1997 г. № 755) и требований Европейской конвенции по защите экспериментальных животных (Страсбург, 1986г.) НМП воздействовали на область проекции надпочечников с помощью аппарата МУМ-50 «ЭДМА» (ПМП и ПеМП 50 Гц с магнитной индукцией 35 мТл, время воздействия 2 минуты), курс 10 процедур. После окончания курса НМП животных опытной и контрольной групп подвергали радиационному облучению на аппарате «АГАТ-Р (Онкологический научный центр им. Н.Н.Блохина) гамма-лучами ^{60}Co в дозе 2 Гр.

Забой животных осуществляли на следующий день после радиационного воздействия. Объектом исследо-

вания являлись семенники. Для исследования антиоксидантной активности (АОА) использовали модельную систему в виде суспензии липопротеидов желтка куриного яйца [8]. Содержание рибонуклеиновых кислот (РНК и ДНК) определяли двухволновым спектрофотометрическим методом в модификации [9]. Для светооптических исследований семенники фиксировали в жидкости Буэна. На препаратах в окраске гематоксилин с эозином подсчитывали количество извитых семенных канальцев (ИСК) с различным числом генераций половых клеток (от 4 до 0) и количество слушечных клеток в просвете семенного канальца по общепринятой методике [10]. Для электронно-микроскопических исследований семенники фиксировали в 4% параформальдегиде, приготовленном на фосфатном буфере (рН 7,4), постфиксировали в 1% OsO_4 . После обезвоживания образцы заключали в смесь эпон-аралдит. Исследование образцов проводили на электронном микроскопе Libra 120 (Германия) с программой Carl Zeiss STM Nano Technology system Division, которая включает в себя математическую обработку внутриклеточных структур. На ультраструктурном уровне проводили морфометрический анализ митохондрий в клетках Сертоли и сперматогониях (количество, средняя и суммарная площади). Статистическую значимость различий оценивали с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты исследования

У животных контрольной группы радиационное облучение вызывало в семенниках крыс уменьшение числа ИСК с 4 генерациями половых клеток, развитие деструктивных процессов на клеточном и субклеточном уровнях, уменьшение числа сперматогоний, усиление слушечивания клеток в просвете канальцев, снижение индекса сперматогенеза, подавление АОА (на 36,0%, $p < 0,01$), уменьшение содержания РНК (на 23,0%, $p < 0,01$) и ДНК (на 26,7%, $p < 0,01$). Обнаруживались также нарушения процессов микроциркуляции в барьерной системе семенников: собственная оболочка ИСК, которая является частью гематотестикулярного барьера, местами выглядела набухшей, при этом изменялась толщина и электронная плотность базальной мембраны. При развитии отека нарушались контакты между базальной мембраной и прилежащими к ней клетками, расширялись межклеточные пространства. Обнаруживались явления отека и в самих клетках (сперматогонии, клетки Сертоли), при этом происходило выраженное просветление их цитоплазмы. Все эти изменения нарушали взаимосвязь между клетками и их внутриклеточными органеллами. Выявленные сдвиги свидетельствовали о развитии отчетливых структурно-метаболических нарушений и ослаблении адаптацион-

Таблица 1. Морфометрические показатели семенников крыс при профилактическом действии НМП в условиях радиационного облучения
Table 1. Morphometric parameters of rat testes under the preventive action of NMP under radiation exposure

Группы животных / Animal groups	ИСК % / CLAIM %		Слущивание / Exfoliating	Индекс сперматогенеза / Index of spermatogenesis	Количество сперматогоний (n) / Sperm count (n)
	4 генерации половых клеток / 4 generation of germ cells	3 генерации половых клеток / 3 generation of germ cells			
Интактная/ Intakt	63,7±3,4	36,3±3,4	8,0±7,6	3,64±0,03	13,10±0,25
Контрольная (радиация) / Control (radiation)	39,0±9,2 ⁺⁺	61,0±9,2 ⁺⁺	18,3±1,8	3,42±0,08 ⁺	10,20±0,21 ⁺⁺
НМП + радиация / NMP + radiation	52,8±3,9 ^{**}	47,2±3,9 ^{**}	8,8±4,67	3,53±0,04 [*]	12,14±0,52 ^{**}

Примечание: + p<0,05, ++ p<0,01 по сравнению с интактной группой; * p<0,05, ** p<0,01 по сравнению с контрольной группой
Note: + p<0,05, ++ p<0,01 compared to the intact group; * p<0,05, ** p<0,01 compared to the control group

но-защитных реакций в семенниках крыс при действии радиации.

У животных опытной группы профилактическое применение НМП ослабляло выраженность пострadiационных нарушений и приводило к усилению метаболических и регенеративных процессов. Среди метаболических сдвигов характерным для действия НМП являлось усиление активности системы антиоксидантной защиты: по сравнению с контролем АОА повышалась на 45,4% (p<0,01). Активация белоксинтезирующих реакций была выражена менее отчетливо: содержание ДНК возрастало на 16,7% (p<0,01), а содержание РНК проявляло тенденцию к увеличению. В клетках сперматогенного ряда в целом отмечался более низкий уровень деструктивных процессов по сравнению с контролем. При этом происходило повышение числа ИСК с 4-я генерациями клеток (на 35,4%, p<0,01) и уменьшение числа ИСК с 3-я генерациями, что свидетельствовало об улучшении процессов спермиогенеза. Замедлялось слущивание клеток. Важно также отметить, что при действии НМП возрастала численность сперматогоний (на 11,9%, p<0,01), которые являются стволовыми/ прогениторными клетками, дающими начало процессам сперматогенеза. Выявленные благоприятные сдвиги в сперматогенном эпителии отразились на достоверном повышении индекса сперматогенеза (p<0,05) (табл. 1, рис. 1)

На ультраструктурном уровне в сперматогониях отмечалось усиление процессов внутриклеточной регенерации, что проявлялось, в основном, в увеличении численности митохондрий, а также рибосом и полисом. Еще более выраженное усиление процессов внутриклеточной регенерации происходило в клетках Сертоли, которые выполняют важнейшие функции в развитии и обеспечении процессов сперматогенеза. В этих клетках, как и в сперматогониях, в наибольшей степени возрастала численность митохондрий (на 37,4 %, p<0,01), при этом повышалась также их средняя и суммарная площади (табл. 2, рис. 2).

Местами выявлялась хорошо развитая гранулярная эндоплазматическая сеть и ее связь с митохондриями, что может свидетельствовать об усилении белоксинтезирующих процессов. При действии НМП по сравнению с контролем отмечалась лучшая сохранность структур собственной оболочки ИСК, при этом признаки отека и увеличение общей ее толщины встречались только

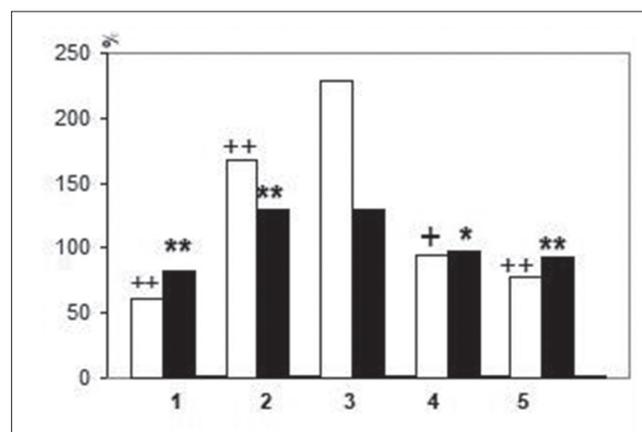


Рис. 1. Морфометрические показатели семенников крыс при профилактическом действии НМП в условиях радиационного облучения. Светлые столбики – контроль, темные – НМП: 1–4 генерации половых клеток, 2–3 генерации половых клеток, 3 – слущивание, 4 – индекс сперматогенеза, 5 – количество сперматогоний; + p<0,05, ++ p<0,01 по сравнению с интактной группой, * p<0,05, ** p<0,01 по сравнению с контрольной группой

Fig. 1. Morphometric parameters of rat testes under the preventive action of NMP under radiation exposure. Light columns-control, dark-NMP: 1–4 generation of germ cells, 2–3 generation of germ cells, 3–exfoliation, 4 – index of spermatogenesis, 5-number of spermatogonia; + p<0,05, ++ p<0,01 compared to the intact group, * p<0,05, ** p<0,01 compared to the control group

Таблица 2. Морфометрическая характеристика митохондрий клеток Сертоли при профилактическом действии НМП в условиях радиационного облучения**Table 2.** Morphometric characteristics of cell mitochondria Sertoli with the preventive effect of LMF in the conditions of radiation exposure

Группы / Животных Animal groups	Количество (n) на стандартную площадь клетки / Quantity (n) per standard cell area	Средняя площадь (мкм ²) / Average area (mm ²)	Суммарная площадь (мкм ²) / Total area (mm ²)
Интактная / Intact	7,37±0,56	0,33±0,012	2,48±0,19
Контрольная радиация / Control radiation	6,62±0,34	0,22±0,011 ⁺	1,48±0,09 ⁺
НМП + радиация / LMF+radiation	9,16±0,59*	0,27±0,012*	2,13±0,13*

Примечание: +*p*<0,01 по сравнению с интактной группой, **p*<0,01 по сравнению с контрольной группой
Note: +*p*<0,01 compared to the intact group, **p*<0,01 compared to the control group

в отдельных случаях. Лучше сохранялась и базальная мембрана – неравномерная толщина и разрыхление ее структуры определялись значительно реже и в более слабой степени. Межклеточные и внутриклеточные отеки также не имели выраженного развития. Кроме того, в отдельных миоидных клетках, входящих в состав собственной оболочки ИСК, обнаруживались признаки активации пластических (регенеративных) процессов, которые проявлялись в виде повышения содержания свободных рибосом и гранулярной эндоплазматической сети. Это является свидетельством развития адапционно-защитных реакций в барьерной системе семенников. В целом, выявленные в опытной группе животных сдвиги указывали на повышение резистентности структур собственной оболочки ИСК и улучшение процессов микроциркуляции по сравнению с контролем.

Заключение

Таким образом, профилактическое действие НМП усиливало адаптационные возможности организма и повышало устойчивость семенников к действию радиации. Это проявлялось, в первую очередь, в усилении мощности защитной антиоксидантной системы, а также в активации и перестройке процессов клеточной и внутриклеточной регенерации в сперматогенном эпителии и клетках Сертоли. Можно полагать, что развитие адаптационных изменений в этих клетках при профилактическом действии НМП было тесно связано с повышением устойчивости различных структур гематотесткулярного барьера и улучшением процессов микроциркуляции. Реализация этих эффектов, по-видимому, осуществлялась, в основном, через общие и местные нейроэндокринные

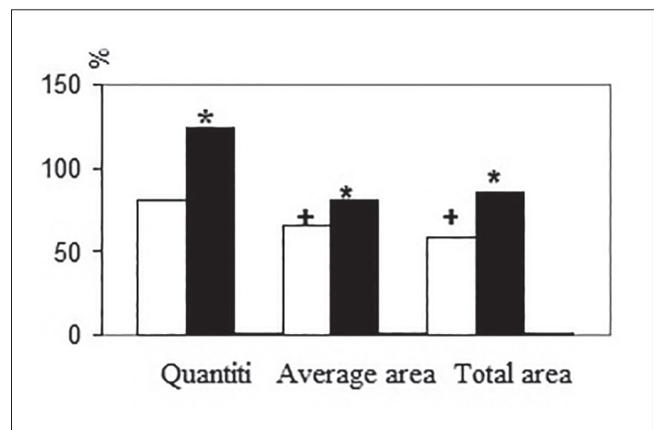


Рис. 2. Морфометрическая характеристика митохондрий клеток Сертоли при профилактическом действии НМП в условиях радиационного облучения. Светлые столбики-контроль, темные-НМП, +*p*<0,01 по сравнению с интактной группой, **p*<0,01 по сравнению с контрольной группой

Fig. 2. Morphometric characteristics of Sertoli cell mitochondria under the preventive action of LMF under radiation exposure. Light bars-control, dark-NMP, +*p*<0.01 compared to the intact group, **p*<0,01 compared to the control group

и гуморальные механизмы регуляции с усилением антиоксидантной и мембраностабилизирующей функций организма. Полученные данные обосновывают возможность применения НМП в качестве средства защиты органов репродуктивной системы в комплексной профилактике организма при действии радиации.

Список литературы

- Герасименко М.Ю., Евстигнеева И.С., Куликов А.Г., Стражев С.В. Применение общей магнитотерапии и прерывистой пневмокомпрессии в раннем послеоперационном периоде у пациентов после радикальной мастэктомии. Вестник восстановительной медицины. 2018; 88(6): 85-90.
- Коржакова Ю.У., Червяков А.Е., Пойдашева А.Г., Переседова А.В., Чернекова Л.А., Супонева Н.А., Пирадов М.А. Транскраниальная магнитная стимуляция в лечении спастичности. Вестник восстановительной медицины. 2014; 59 (1): 80-87.
- Аретинский В.Б., Исупов А.Б. Оценка влияния магнитотерапии на показатели гемодинамики пациентов зрелого возраста. Вестник восстановительной медицины. 2012; 50(4): 51-54.
- Vagnato G.L., Miceli G., Marino N. et al. Pulsed electromagnetic field on knee osteoarthritis: a double blind, placebo –controlled, randomized clinical trial. Rheumatology. 2016; 55(4): 755-762. <http://doi.org/10.1093/rheumatology/kev426>
- Li S., Yu B., Zhou D. et al. Electromagnetic fields for treatment osteoarthritis. Cochrane Database of Systematic Reviews. 2013; (12): CD003523. <http://doi.org/10.1002/14651858>
- Скурихина Л.А., Шишло М.А. Магнитотерапия. Курортология и физиотерапия. М. Медицина. 1985; (1): 471-484.

7. Королев Ю.Н., Михайлик Л.В., Никулина Л.А., Гениатулина М.С. Особенности развития метаболических и регенеративных процессов при действии низкоинтенсивных электромагнитных излучений в условиях радиационного облучения (экспериментальное исследование). Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2017; (4): 54-58. <http://doi.org/10.17116/kurort201794454-58>
8. Клебанов Г.И., Бабенков И.В., Теселкин Ю.О. Оценка антиокислительной активности плазмы крови с применением желточных липопротеидов. Лабораторное дело. 1977; (5): 59-62.
9. Досон Р., Эллиот Д., Эллиот У., Джонс К. Справочник биохимика. М. Мир. 1991: 540 с.
10. Ухов Ю.И., Астраханцев А.Ф. Морфологические методы в оценке функционального состояния семенников. Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1983; 84(3): 66-72.

References

1. Gerasimenko M.Yu., Evstigneeva I.S., Kulikov A.G., Strazhev S.V. Primenenie obshchei magnitoterapii i preryvистой pnevmokompressii v rannem posleoperatsionnom periode u patsientov posle radikal'noi mastektomii [The use of general magnetic therapy and intermittent pneumocompression in the early postoperative period in patients after radical mastectomy]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2018; 88(6): 85-90 (In Russ.).
2. Korzhakova Yu.U., Chervyakov A.E., Poidasheva A.G., Peresedova A.V., Chernetkova L.A., Suponev A.N.A., Piradov M.A. Transkraniyal'naya magnitnaya stimulyatsiya v lechenii spastichnosti [Transcranial magnetic stimulation in the treatment of spasticity]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2014; 59(1): 80-87 (In Russ.).
3. Aretinskii V.B., Isupov A.B. Otsenka vliyaniya magnitoterapii na pokazateli gemodinamiki patsientov zrelogo vozrasta [Evaluation of the effect of magnetic therapy on the hemodynamic parameters of mature patients]. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2012; 50(4): 51-54 (In Russ.).
4. Bagnato G.L., Miceli G., Marino N. et al. Pulsed electromagnetic field on knee osteoarthritis: a double blind, placebo –controlled, randomized clinical trial. *Rheumatology*. 2016; 55(4): 755-762. <http://doi.org/10.1093/rheumatology/kev426>
5. Li S., Yu B., Zhou D. et al. Electromagnetic fields for treatment osteoarthritis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2013; (12): CD003523. <http://doi.org/10.1002/14651858>
6. Skurikhina L.A., Shishlo M.A. Magnitoterapiya. Kurortologiya i fizioterapiya [Magnetotherapy. Balneology and physiotherapy]. М. Meditsina. 1985; (1): 471-484 (In Russ.).
7. Korolev Yu.N., Mikhailik L.V., Nikulina L.A., Geniatulina M.S. Osobennosti razvitiya metabolicheskikh i regenerativnykh protsessov pri deistvii nizkointensivnykh ehlektromagnitnykh izlucheniya v usloviyakh radiatsionnogo oblucheniya (ehksperimental'noe issledovanie) [Features of the development of metabolic and regenerative processes under the action of low-intensity electromagnetic radiation under radiation exposure (experimental study)] *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2017; (4): 54-58. <http://doi.org/10.17116/kurort201794454-58> (In Russ.).
8. Klebanov G.I., Babenkov I.V., Teselkin Yu.O. Otsenka antiokislitel'noi aktivnosti plazmy krovi s primeneniem zheltochnykh lipoproteidov [Evaluation of the antioxidant activity of blood plasma with the use of yolk lipoproteins]. *Laboratornoe delo*. 1977; (5): 59-62 (In Russ.).
9. Doson R., Ehlliot D., Ehlliot U., Dzhons K. Spravochnik biokhimika [Biochemist's Handbook]. М. Mir. 1991: 540 p. (In Russ.).
10. Ukhov Yu.I., Astrakhtantsev A.F. Morfologicheskie metody v otsenke funktsional'nogo sostoyaniya semennikov [Morphological methods in the assessment of the functional state of the testes]. *Akhiv anatomii, gistologii i ehmbriologii*. 1983; 84(3): 66-72 (In Russ.).

Информация об авторах:

Королев Юрий Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: korolev.yur@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5530-1538>

Никулина Людмила Анатольевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России/

E-mail: nikulinaliudmila2013@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2200-868X>

Михайлик Любовь Васильевна, научный сотрудник отдела изучения механизмов действия физических факторов, Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии Минздрава России.

E-mail: mihaalic2910@icloid.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9717-4749>

Вклад авторов:

Королев Ю.Н. – концепция и дизайна исследования, написание текста статьи, редактирование; Никулина Л.А., Михайлик Л.В. – сбор и обработка материала, статистическая обработка данных.

Information about the authors:

Yuri N. Korolev, Dr. Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Department for Studying the Mechanisms of Physical Factors Action, National Medical Research Center of Rehabilitation and Balneology.

E-mail: korolev.yur@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5530-1538>

Lyudmila A. Nikulina, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of the Department for Studying the Mechanisms of Physical Factors Action, National Medical Research Center of Rehabilitation and Balneology.

E-mail: nikulinaliudmila2013@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2200-868X>

Lyubov V. Mikhailik, Researcher of the Department for Studying the Mechanisms of Physical Factors Action, National Medical Research Center of Rehabilitation and Balneology.

E-mail: mihaalic2910@icloid.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9717-4749>

Contribution:

Korolev Yu. N. – the concept and design of the study, writing the text of the article, editing; Nikulina L.A., Mikhailik L.V. – collection and processing of material, statistical data processing.

