

ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПРОДУКЦИИ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА НЕЙТРОФИЛАМИ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ В ГИПОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЯХ

Шаев И.А., Яблокова Е.В., Новиков В.В.

Институт биофизики клетки РАН – обособленное подразделение ФГБУН «ФИЦ «Пушинский научный центр биологических исследований РАН»

ул. Институтская, 3, г. Пущино, 142290, РФ; e-mail: doctmag@mail.ru

Поступила в редакцию 22.07.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0527

Аннотация. Было показано, что инкубация суспензии перитонеальных нейтрофилов мышей в течение 30 минут в гипомангнитных условиях, полученных при помощи пермаллоевых магнитных экранов (постоянное магнитное поле не более 20 нТл, уровень переменных техногенных помех снижен до единиц нТл), вызывает существенное снижение (около 48%) интенсивности сигнала люцигенин-зависимой хемиллюминесценции, измеренного сразу после инкубации. Спустя 20 минут после магнитной обработки (с последующей инкубацией в условиях геомагнитного поля в течение этого времени, индукция 44 мкТл, уровень магнитных помех на частоте 50 Гц составлял 15-50 нТл) различия между контрольными и опытными группами сохраняются полностью (разница составила около 49%). Через 40 и 60 минут после воздействия «нулевого» поля с последующей выдержкой образцов в геомагнитном поле в течение указанных интервалов времени разница между контрольными и опытными образцами уменьшалась до 32% и 22% соответственно. Данный эффект зарегистрирован без дополнительной активации нейтрофилов химическими агентами, инициирующими респираторный взрыв, такими как формилованный пептид N-formyl-Met-Leu-Phe или форболовый эфир форбол-12-меристат-13-ацетат, и не был связан с воздействием на клеточные системы, обеспечивающие этот взрыв.

Ключевые слова: гипомангнитное поле, геомагнитное поле, нейтрофилы, активные формы кислорода, люцигенин, хемиллюминесценция.

Активные формы кислорода (АФК) и другие свободные радикалы, вырабатываемые клетками, представляют собой молекулы, интенсивность продукции которых демонстрирует зависимость от магнитного окружения, в котором находятся клетки. Так, из литературных источников известно, что в различных типах клеток, находящихся в гипомангнитных условиях, продукция АФК снижается [1-4]. С учётом того, что АФК обладают как стрессорной, так и сигнальной активностями, эффект «нулевого» поля может, претерпевая трансформацию и усиление во внутриклеточных системах, проявляться, в том числе, в виде модуляций биологических функций целой клетки [5], включая изменения долговременного характера, связанные с перестройкой химического метаболизма. В предыдущих работах нами было показано, что экспонирование перитонеальных нейтрофилов мышей в гипомангнитных условиях приводит к снижению интенсивности внутриклеточной продукции АФК, которое было зарегистрировано при помощи методов флуоресцентного анализа и активированной хемиллюминесценции, с использованием как неселективных зондов к АФК - 2,7- дихлордигидрофлуоресцеина и дигидрорадамина 123 [6-8], так и относительно селективного к супероксид-анион радикалу люцигенина [9-11]. При этом указанный эффект «нулевого» поля проявлялся без дополнительной стимуляции нейтрофилов химическими активаторами респираторного взрыва, и, следовательно, не был обусловлен нарушением ответа нейтрофилов на эти стимулы [6,7]. В то же время оставался открытым вопрос о характере изменений в уровне продукции АФК после воздействия гипомангнитного фактора, и, более широко, об устойчивости этого эффекта во времени.

Для изучения временной динамики продукции АФК после воздействия «нулевого» поля нами был применен хорошо зарекомендовавший себя в предыдущих исследованиях по этой теме метод люцигенин-зависимой активированной хемиллюминесценции [11], который позволяет оперативно (в течение нескольких минут) оценивать изменения в скорости продукции АФК [9-11].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на перитонеальных нейтрофилах мышей. Для получения нейтрофилов использовали лабораторных мышей самцов линии CD-1 массой 24–26 г., полученных из питомника лабораторных животных ФИБХ РАН (Пущино Московская область). В перитонеальную полость мыши инъецировали 150 мкл суспензии опсонизированного зимозана с концентрацией 5 мг/мл (Zymozan A из *Saccharomyces cerevisiae*, Sigma, США). После этого через 12 часов животных умерщвляли методом цервикальной дислокации, и их брюшную полость промывали четырьмя миллилитрами охлажденного раствора Хенкса без кальция. Экссудат собирали пипеткой и центрифугировали в течение 5 мин при 600 g. Супернатант декантировали, а осадок разводили в 4 мл бескальциевого раствора Хенкса и оставляли не менее чем на 1 час при 4° C (но не более чем на 3 часа, так как более длительное хранение в этом случае снижало хемиллюминесцентный ответ нейтрофилов на последующую добавку люцигенина). Эта процедура позволяла снизить спонтанную хемиллюминесценцию нейтрофилов и перевести эти клетки в «одинаковое» состояние, характеризующееся их равномерным хемиллюминесцентным

ответом, что обеспечивало возможность работы с ними в течение экспериментального дня. Количество выделенных клеток подсчитывали в камере Горяева. Жизнеспособность клеток определяли, используя витальный краситель трипановый синий. Содержание живых клеток при этом составляло не менее 98%. Для опытов образцы получали, разводя суспензию нейтрофилов средой Хенкса (окончательный состав среды: 138 mM NaCl, 6 mM KCl, 1 mM MgSO₄, 1 mM Na₂HPO₄, 5 mM NaHCO₃, 5,5 mM глюкозы, 1 mM CaCl₂, 10 mM HEPES, pH 7,4; Sigma, США) до концентрации 1 млн кл/мл.

Нейтрофилы инкубировали при 37,0±0,1°C в концентрации 1 млн/мл по 0,25 мл в круглодонных кюветах из полистирола (диаметром 1,2 см и длиной 5,5 см), в которых затем измерялась люцигенин-зависимая хемилюминесценция суспензии нейтрофилов. Заданная температура поддерживалась циркуляционным водным термостатом.

Образцы контрольных групп находились в локальном геомагнитном поле (ГМП) с постоянной составляющей ~ 44 мкТл и уровнем магнитного фона на 50 Гц 15-50 нТл при таком же температурном режиме, как и опытные образцы, и одновременно с ними (также одновременно проводилась последующая регистрация хемилюминесценции контрольных и экспериментальных образцов в опытах с одинаковой продолжительностью их инкубации). Опытные образцы помещались в установку для формирования гипомагнитных условий на 30 минут, затем в образцах регистрировали люцигенин-зависимую хемилюминесценцию (сразу после окончания инкубации в «нулевом» МП – опыты с «0» минутами последствия). Другие опытные группы образцов, сразу после окончания действия «нулевого» поля, переносили в условия инкубации в геомагнитном поле на 20, 40 и 60 минут с последующей регистрацией хемилюминесценции после окончания инкубации. Каждой экспериментальной группе образцов соответствовала своя контрольная группа, инкубируемая одновременно с опытной, но только в условиях ГМП.

В опытах была использована специальная исследовательская аппаратура – установка для формирования гипомагнитных условий, которая позволяла получить высокую степень ослабления ГМП – до 10000 раз (остаточное постоянное поле не превышало 20 нТл), и существенно ослабляла переменные техногенные помехи (до единиц нТл). Эта установка детально описана нами ранее [8,12]. Установка состояла из трех, вставленных соосно один в другой, цилиндрических магнитных экранов из пермаллоя (толщиной 1 мм). Определение остаточных полей внутри установки проводили прямым измерением с помощью феррозондового магнитометра Mag – 03 MS 100 (Bartington, UK). Размеры экспериментального участка внутри системы экранов (диаметр 20 см, длина 40 см) позволяли поместить одновременно в зону однородного слабого магнитного поля достаточное для опытов число экспериментальных образцов (не менее 6). Опыты повторяли не менее трех раз.

Регистрация хемилюминесценции. После инкубации суспензии нейтрофилов измеряли интенсивность хемилюминесценции образцов в контрольных и опытных случаях после добавки в них раствора люцигенина (Enzo Life Sciences, США) в конечной концентрации 0,35 мМ. В работе был использован 12 канальный хемилюминометр Lum-1200 (ООО ДИСофт, Россия). Для анализа данных хемилюминесценции применялась программа PowerGraph. Часть результатов представлена в процентах по отношению к амплитудам хемилюминесцентного ответа в контроле, принятым за 100%. Результаты статистически обработаны с применением *t*-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При инкубации суспензии нейтрофилов в течение 30 минут в гипомагнитных условиях регистрируется существенное снижение (около 48%) хемилюминесцентного сигнала непосредственно после воздействия «нулевого» поля (рис. 1-3), что согласуется с данными предыдущих работ. Спустя 20 мин после магнитной стимуляции и пребывания образцов в течение этого времени в условиях геомагнитного поля выраженность эффекта сохранялась полностью (рис. 1-3), при этом разница между контролем и опытом составляла 49%. В то же время, в группах «40 и 60 мин после инкубации» наблюдалось уменьшение разницы в интенсивности хемилюминесценции между ними и контролем до 32% и 22% соответственно, что свидетельствовало об окончании периода устойчивого сохранения эффекта. Кинетические кривые хемилюминесцентного ответа суспензии нейтрофилов на люцигенин после действия «нулевого» МП не характеризуются наличием дополнительных максимумов (рис. 3).

В ходе эксперимента было отмечено, что с увеличением времени инкубации в геомагнитном поле имеет место общее снижение интенсивности люцигенин-зависимой хемилюминесценции суспензии нейтрофилов как в контрольных, так и в опытных группах. Этот феномен может быть связан с изменением режима работы нейтрофильных антиоксидантных систем [13,14], либо с расходом внутриклеточных восстановительных эквивалентов, таких как НАДН и НАДФН [10]. Взаимосвязь этих процессов и механизмов действия гипомагнитного поля находится под вопросом, кроме того, динамика эффекта «нулевого» поля с максимальным ответом именно на ранние сроки наблюдений свидетельствует, скорее, против такой связи.

Полученные данные об устойчивости изменений в скорости продукции АФК после воздействия «нулевого» поля, регистрируемой в 20-минутном временном интервале, могут быть полезны как в фундаментальном, так и в практическом смысле. В первом случае можно говорить об инерционности клеточного ответа на магнитную стимуляцию, что может предполагать наличие метаболического компонента в комплексе ответных реакций клетки. В пользу этого сценария могут косвенно свидетельствовать данные по ингибированию активности

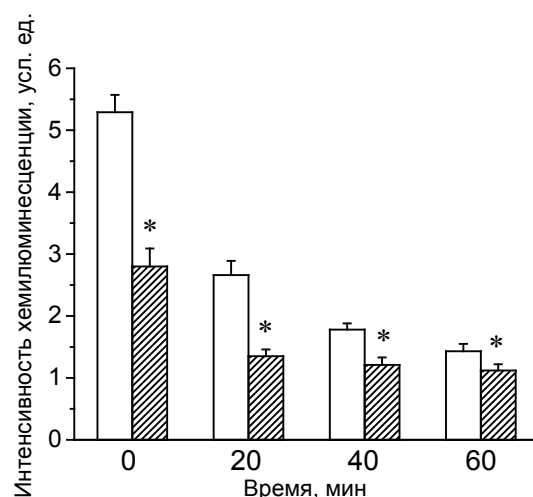


Рисунок 1. Влияние «нулевого» магнитного поля на интенсивность люцигенин-зависимой хемилюминесценции суспензии нейтрофилов в зависимости от продолжительности последующей инкубации в геомагнитном поле. Ось ординат – максимальная интенсивность хемилюминесценции в условных единицах - Вольтах (средние значения и стандартные отклонения, $n = 6$). Ось абсцисс – время инкубации в геомагнитном поле после пребывания в «нулевом» МП. Не заштриховано – контроль. Заштриховано – опыт. Звездочкой отмечены достоверные отличия от контроля ($P < 0,05$)

CuZn-супероксиддисмутаза гипомагнитным полем [2], что предполагает принципиальную возможность влияния данного физического фактора на активность ферментов.

Практическая же значимость результатов может заключаться в упрощении проведения исследований гипомагнитного эффекта, заключающегося в модуляции скорости продукции АФК, поскольку этот эффект имеет достаточное время последствия для того, чтобы проводить необходимые измерения вне зоны действия магнитных экранов. Это технически значительно упрощает технологию проведения эксперимента. Кроме этого, многие современные исследовательские приборы сами являются источником магнитных полей, что при их использовании во время фазы магнитной обработки не позволяет провести достаточно чистый эксперимент в плане неизменности параметров «нулевого» поля. При наличии же вышеуказанного 20-минутного промежутка времени возможно проведение измерений на этапе после инкубации, что дает возможность во время самой инкубации выдерживать значения индукции в заданных методикой эксперимента пределах.

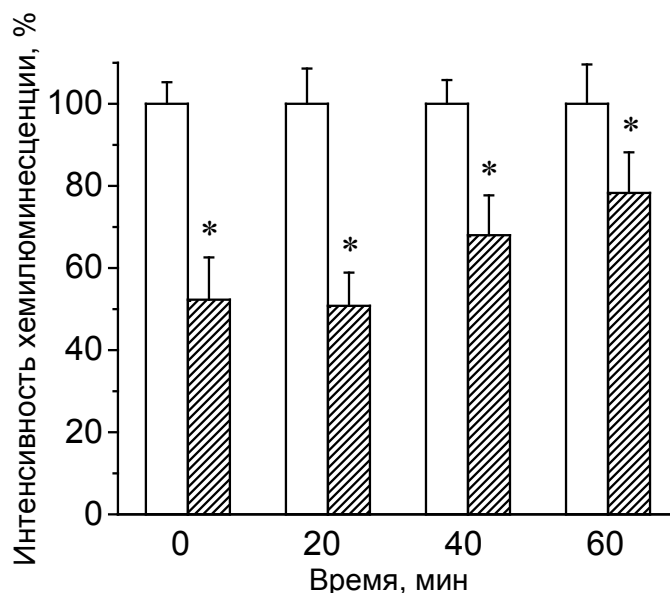


Рисунок 2. Временная динамика последствия «нулевого» магнитного поля в относительных единицах (%), нормализованных относительно контрольных значений (средние значения и стандартные отклонения, $n = 6$). По оси абсцисс – время инкубации в геомагнитном поле после пребывания в «нулевом» МП. Не заштриховано – контроль. Заштриховано – опыт. Звездочкой отмечены достоверные отличия от контроля ($P < 0,05$)

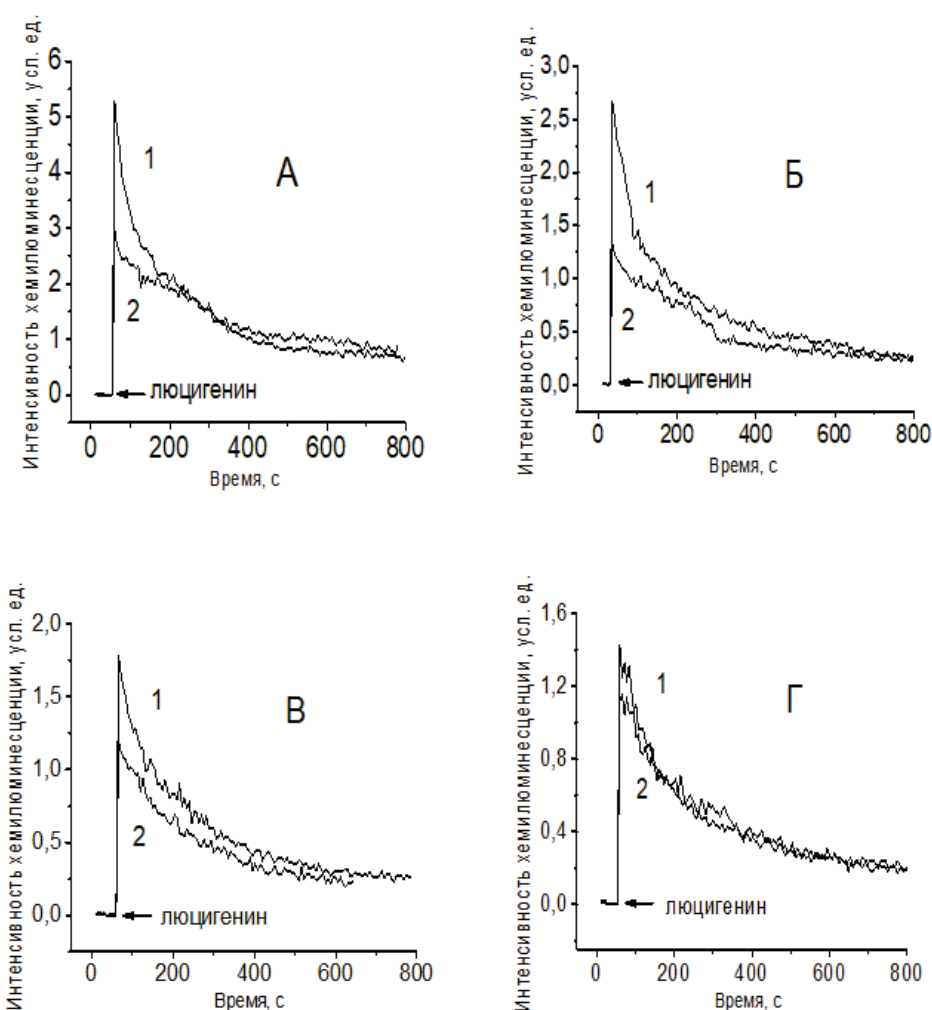


Рисунок 3. Кинетические кривые хемилюминесцентного ответа суспензии нейтрофилов на люцигенин после действия «нулевого» МП при различных временах последующей инкубации в геомагнитном поле. А – 0 минут (без инкубации в ГМП). Б – 20 минут. В – 40 минут. Г – 60 минут. 1 – контроль. 2 – опыт

Обнаруженные на сегодня эффекты «нулевого» поля в отношении клеток и целых организмов носят как позитивный, так и негативный характер и демонстрируют широкий интервал биологических изменений, начиная от процессов эмбрионального развития [15-17] и морфогенеза [18-22] и заканчивая поведенческими реакциями [23,24], что говорит о важности такого свойства как биомагниторецепция практически на каждом этапе развития биологического организма. Исследования в этой области имеют также и биофизический аспект, заключающийся в поиске и установлении первичного механизма неспецифической рецепции слабых магнитных полей биосистемами [4,5,25,26]. В данной работе были получены результаты, которые могут послужить прологом к дальнейшим экспериментам, призванным пролить свет на природу как первичной «мишени» магнитного воздействия, так и последующих звеньев цепи ответных реакций клетки на магнитную стимуляцию.

Список литературы / References:

1. Zhang H., Zhang Z., Mo W. et al. Shielding of the geomagnetic field reduces hydrogen peroxide production in human neuroblastoma cell and inhibits the activity of CuZn superoxide dismutase. *Protein Cell*, 2017, vol. 8, no. 7, pp. 527-537.
2. Martino C.F., Castello P.R. Modulation of hydrogen peroxide production in cellular systems by low level magnetic fields. *PLoS ONE*, 2011, vol. 6, no. 8, e22753.
3. Politanski P., Rajkowska E., Brodecki M. et al. Combined effect of X-ray radiation and static magnetic fields on reactive oxygen species in rat lymphocytes in vitro. *Bioelectromagnetics*, 2013, vol. 34, pp. 333-336.
4. Binhi V.N., Prato F.S. Biological effects of the hypomagnetic field: Analytical review of experiments and theories. *PLoS ONE*, 2017, vol. 12, no. 6, e0179340.
5. Zhang B., Tian L. Reactive oxygen species: potential regulatory molecules in response to hypomagnetic field exposure. *Bioelectromagnetics*, 2020, vol. 41, no. 8, pp. 573-580.
6. Новиков В.В., Яблокова Е.В., Фесенко Е.Е. Влияние «нулевого» магнитного поля на продукцию активных форм кислорода в нейтрофилах. *Биофизика*, 2018, т. 63, № 3, с. 484-488. [Novikov V.V., Yablokova E.V., Fesenko E.E. The effect of a «zero» magnetic field on the production of reactive oxygen species in neutrophils. *Biophysics*, 2018, vol. 63, no. 3, pp. 365-368. (In Russ.)]

7. Новиков В.В., Яблокова Е.В., Валева Э.Р., Фесенко Е.Е. К вопросу о молекулярных механизмах действия «нулевого» магнитного поля на продукцию активных форм кислорода в неактивированных нейтрофилах. *Биофизика*, 2019, т. 64, № 4, с. 720-725. [Novikov V.V., Yablokova E.V., Valeeva E.R., Fesenko E.E. On the molecular mechanisms of the effect of a zero magnetic field on the production of reactive oxygen species in inactivated neutrophils. *Biophysics*, 2019, vol. 64, no. 4, pp. 371-375. (In Russ.)]
8. Новиков В.В., Яблокова Е.В., Шаев И.А., Фесенко Е.Е. Влияние слабого постоянного магнитного поля в диапазоне величин от «нулевого» поля (0,01 мкТл) до 100 мкТл на продукцию активных форм кислорода в неактивированных нейтрофилах. *Биофизика*, 2020, т. 65, № 2, с. 524-529. [Novikov V.V., Yablokova E.V., Shaev I.A., Fesenko E.E. The effect of a weak static magnetic field in the range of magnitudes from a “Zero” Field (0.01 μ T) to 100 μ T on the production of reactive oxygen species in nonactivated neutrophils. *Biophysics*, 2020, vol. 65, no. 3, pp. 443-447. (In Russ.)]
9. Aasen T.B., Bolann B., Glette J., Ulvik R.J., Schreiner A. Lucigenin-dependent chemiluminescence in mononuclear phagocytes. Role of superoxide anion. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 1987, vol. 47, pp. 673-679.
10. Джатдоева А.А., Проскурнина Е.В., Нестерова А.М. и др. Митохондрии как источники супероксидного анион-радикала в тромбоцитах. *Биологические мембраны*, 2017, т. 34, № 6, с. 116-123. [Dzhatdоеva A.A., Proskurnina E.V., Nesterova A.M. et al. Mitochondria as a Source of Superoxide Anion Radical in Human Platelets. *Biochemistry*, 2018, vol. 12, pp. 43-49. (In Russ.)]
11. Новиков В.В., Яблокова Е.В., Шаев И.А., Фесенко Е.Е. Снижение продукции супероксидного анион-радикала в нейтрофилах в результате действия «нулевого» магнитного поля. *Биофизика*, 2020, т. 65, № 4, с. 735-740. [Novikov V.V., Yablokova E.V., Shaev I.A., Fesenko E.E. Decreased production of the superoxide anion radical in neutrophils exposed to a near-null magnetic field. *Biophysics*, 2020, vol. 65, no. 4, pp. 625-630. (In Russ.)]
12. Новиков В.В., Яблокова Е.В., Фесенко Е.Е. Снижение интенсивности респираторного взрыва в нейтрофилах после воздействия определенных режимов слабых комбинированных магнитных полей. *Биофизика*, 2020, т. 65, № 1, с. 97-103. [Novikov V.V., Yablokova E.V., Fesenko E.E. A decrease of the respiratory burst in neutrophils after exposure to weak combined magnetic fields of a certain duration. *Biophysics*, 2020, vol. 65, no. 1, pp. 82-87. (In Russ.)]
13. Barnes F., Kandala S. Effects of time delays on biological feedback systems and electromagnetic field exposures. *Bioelectromagnetics*, 2018, vol. 39, pp. 249-252.
14. Barnes F., Greenebaum B. Setting Guidelines for Electromagnetic Exposures and Research Needs. *Bioelectromagnetics*, 2020, vol. 41, pp. 392-397.
15. Osipenko M., Mezhevnikina L., Krasts I., Yashin V., Novikov V., Fesenko E. Deterioration of murine embryonic fibroblasts and early embryos upon magnetic field deprivation. *Biophysics*, 2008, vol. 53, pp. 317-321.
16. Trukhanov K., Gur'eva T., Dadasheva O., Kruglov O., Lebedev V., Spasskii A. Embryogenesis of the Japanese quail in hypomagnetic conditions applied to deep space flights. *Radiats Biol Radioecol*, 2014, vol. 54, pp. 179-185.
17. Крылов В.В., Осипова Е.А., Панкова Н.А., Таликина М.Г., Чеботарева Ю.В., Изюмов Ю.Г., Батракова А.А., Непомнящих В.А. Влияние временного смещения суточной геомагнитной вариации на эмбрионы плотвы *Rutilus rutilus* L. Сравнение с эффектами имитации геомагнитных бурь. *Биофизика*, 2017, т. 62, № 4, с. 825-832. [Krylov V.V., Osipova E.A., Pankova N.A., Talikina M.G., Chebotareva Y.V., Izyumov Y.G., Nepomnyashchikh V.A., Batrakova A.A. The effect of a temporal shift in diurnal geomagnetic variation on roach *Rutilus rutilus* L. embryos: a comparison with effects of simulated geomagnetic storms. *Biophysics*, 2017, vol. 62, no. 4, pp. 675-681. (In Russ.)]
18. Новиков В.В., Шейман И.М., Фесенко Е.Е. Действие слабого и сверхслабого постоянного магнитного поля на интенсивность бесполого размножения планарий *Dugesia tigrine*. *Биофизика*, 2007, т. 52, вып. 5, с. 912-915. [Novikov V.V., Sheiman I.M., Fesenko E.E. The effect of weak and superweak constant magnetic fields on the intensity of asexual reproduction of *Dugesia tigrina* planarians. *Biophysics*, 2007, vol. 52, iss. 5, pp. 912-915. (In Russ.)]
19. Novikov V.V., Sheiman I.M., Fesenko E.E. Effect of weak static and low-frequency alternating magnetic fields on the fission and regeneration of the planarian *Dugesia* (*Girardia*) *tigrine*. *Bioelectromagnetics*, 2008, vol. 29, pp. 387-393.
20. Van Huizen A.V., Morton J.M., Kinsey L.J., Von Kannon D.G., Saad M.A., Birkholz T.R., Czajka J.M., Cyrus J., Barnes F.S., Beane W.S. Weak magnetic fields alter stem cell –mediated growth. *Sci Adv*, 2019, vol. 5, eaau7201.
21. Леднев В.В., Сребницкая Л.К., Ильясова Е.Н., Рождественская З.Е., Климов А.А., Тирас Х.П. Слабое комбинированное магнитное поле, настроенное на переметрический резонанс ядерных спинов атомов водорода, увеличивает пролиферативную активность необластов в регенерирующих планариях *Dugesia tigrina*. *ДАН*, 1996, т. 348, вып. 6, с. 830-833. [Lednev V.V., Srebniatskaya L.K., Ilyasova E.N., Rozhdestvenskaya Z.E., Klimov A.A., Tiras Kh.P. A weak combined magnetic field tuned to the permetric resonance of nuclear spins of hydrogen atoms increases the proliferative activity of neoblasts in the regenerating planaria *Dugesia tigrina*. *DAN*, 1996, vol. 348, iss. 6, pp. 830-833 (In Russ.)]
22. Тирас Х.П., Петрова О.Н., Мьякишева С.Н., Асланиди К.Б. Биологические эффекты слабых магнитных полей: сравнительный анализ. Фундаментальные исследования, 2014, № 12 (часть 7), с. 1442-1451. [Tiras Kh.P., Petrova O.N., Myakisheva S.N., Aslanidi K.B. Biological effects of weak magnetic fields: a comparative analysis. *Basic research*, 2014, no. 12 (part 7), pp. 1442-1451. (In Russ.)]
23. Zhang B., Lu H., Xi W., Zhou X., Xu S., Zhang K., Guo A. Exposure to hypomagnetic field space for multiple generations causes amnesia in *Drosophila melanogaster*. *Neurosci Lett*, 2004, vol. 371, pp. 190-195.

24. Binhi V.N., Sarimov R.M. Zero magnetic field effect observed in human cognitive processes. *Electromagn Biol Med*, 2009, vol. 28, pp. 310-315.
25. Barnes F., Greenebaum B. The effects of weak magnetic fields on radical pairs. *Bioelectromagnetics*, 2015, vol. 36, pp. 45-54.
26. Ponomarev V.O., Novikov V.V. Effect of low-frequency alternating magnetic fields on the rate of biochemical reactions proceeding with formation of reactive oxygen species. *Biophysics*, 2009, vol. 54, pp. 163-168.

TIME DYNAMICS OF PRODUCTION OF REACTIVE OXYGEN SPECIES BY NEUTROPHILS AFTER TREATMENT UNDER HYPOMAGNETIC CONDITIONS

Shaev I.A., Yablokova E.V., Novikov V.V.

Institute of Cell Biophysics RAS

Institutskaya str., 3, Pushchino, 142290, Russia; e-mail: docmag@mail.ru

Received 22.07.2022. DOI: 10.29039/rusjbpс.2022.0527

Abstract. It was shown that incubation of a suspension of mouse peritoneal neutrophils for 30 minutes under hypomagnetic conditions obtained using permalloy magnetic screens (a constant magnetic field of not more than 20 nT, the level of variable man-made noise is reduced to a few nT) causes a significant decrease (about 48%) signal intensity of lucigenin-dependent chemiluminescence measured immediately after incubation. 20 minutes after magnetic treatment (followed by incubation in a geomagnetic field during this time, induction 44 μ T, the level of magnetic interference at a frequency of 50 Hz was 15-50 nT), the differences between the control and experimental groups remain completely (the difference was about 49%). In 40 and 60 minutes after exposure to the "zero" field, followed by keeping the samples in the geomagnetic field for the specified time intervals, the difference between the control and experimental samples decreased to 32% and 22%, respectively. This effect was registered without additional activation of neutrophils by chemical agents initiating respiratory burst, such as N-formyl-Met-Leu-Phe formylated peptide or phorbol-12-meristat-13-acetate phorbol ester, and was not associated with effects on cellular systems, providing this explosion.

Key words: *hypomagnetic field, geomagnetic field, neutrophils, reactive oxygen species, lucigenin, chemiluminescence.*