

DOI: 10.25205/978-5-4437-1691-6-151

**ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СПЕРМАТОЗОИДЫ ЧЕЛОВЕКА\*****EFFECT OF COSMIC RADIATION ON HUMAN SPERM**А. П. Пархаева<sup>1,2</sup>, М. А. Овчинников<sup>3</sup>, А. П. Евсеев<sup>3</sup>, Э. П. Александрова<sup>1</sup>, О. М. Марченко<sup>3</sup>, Е. Ю. Симоненко<sup>1</sup><sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова<sup>2</sup>Федеральный научно-клинический центр космической медицины ФМБА России, Москва<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики

им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

A. P. Parkhaeva<sup>1,2</sup>, M. A. Ovchinnikov<sup>3</sup>, A. P. Evseev<sup>3</sup>, E. P. Alexandrova<sup>1</sup>, O. M. Marchenko<sup>3</sup>, E. U. Simonenko<sup>1</sup><sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University<sup>2</sup>Federal Research & Clinic Center of Space Medicine, FMBA of Russia, Moscow<sup>3</sup>Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University

✉ athinktoo@gmail.com

**Аннотация**

Интерес к дальним космическим полетам неуклонно растет с каждым годом и, рано или поздно, человечество встанет перед вопросом транспортировки биологического материала на дальние межпланетные расстояния. Поэтому задача, связанная с транспортировкой и хранением половых клеток, является актуальной и перспективной. В данной работе показано, что космическое излучение при длительном воздействии на сперматозоиды человека вызывает изменения в морфологических параметрах клеток, в том числе вызывает фрагментацию ДНК.

**Abstract**

Interest in long-range space missions is steadily growing every year and, sooner or later, mankind will face the question of the delivery of biological material over long interplanetary distances. Therefore, the task related to the transportation and storage of germ cells is relevant and promising. In this paper it is shown that cosmic radiation with a long-term effect on human sperm causes changes in cell parameters, including DNA fragmentation.

Одним из наиболее опасных факторов космической среды для клеток, в том числе для сперматозоидов, является излучение, в состав которого входит гамма-излучение, протоны, электроны и другие активные частицы. Интенсивность космического излучения может составлять от 0,3 до 0,8 мГр/день на МКС и на Марсе и до 1,4 мГр/день на Луне. Если массовые частицы можно экранировать, то гамма-излучение отличается высокой проникающей способностью и от него особенно сложно защитить биологический материал. Под воздействием гамма-излучения в клетках может индуцироваться окислительный стресс — нарушение баланса между выработкой активных форм кислорода (АФК) и способностью клетки их поглощать. В клетках образуются гидроксильный радикал, перекись водорода ( $H_2O_2$ ), гидропероксид ( $HO_2$ ), супероксид-анион-радикал ( $O_2$ ), атомарный и синглетный кислород и т. п. АФК способны влиять на метаболические пути, окисляя белки или выполняя роль сигнальных молекул. Кроме того, АФК окисляют ненасыщенные жирные кислоты в мембранах клетки, и продуктами этого окисления являются элементы, вызывающие повреждение в молекуле ДНК. Окислительный стресс в сперматозоидах очень сложно замедлить или остановить, так как сперматозоид транскрипционно и трансляционно не функционирует. В отличие от соматических клеток, в которых существуют системы антиоксидантной защиты, поддерживающие баланс АФК, цитоплазма сперматозоидов бедна на ферменты антиоксидантной защиты. Так, в сперматозоидах человека отсутствуют формы GPX2, GPX3, GPX5, а GPX4 неактивна; также отсутствует каталаза. Поэтому сперматозоиды крайне уязвимы к окислительному стрессу. Кроме того, непосредственно само гамма-излучение может вызвать повреждения ДНК. Фрагментация ДНК в сперматозоидах отрицательно сказывается на вероятности оплодотворения как *in vivo*, так и *in vitro*, а также на качестве развития эмбриона.

Цель исследования — определить влияние гамма-излучения на сперматозоиды человека.

В ходе данной работы сперматозоиды человека подвергались облучению, источником излучения являлся изотоп  $Cs^{138}$ . В его спектре содержатся как бета-, так и гамма-частицы, однако, как было указано выше, мы счита-

\* Работа выполнена в рамках проекта 23-Ш01-15 междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. Ломоносова «Фундаментальные и прикладные исследования космоса».

© А. П. Пархаева, М. А. Овчинников, А. П. Евсеев, Э. П. Александрова, О. М. Марченко, Е. Ю. Симоненко, 2024

ем, что бета-компонента успешно экранируется пробиркой, в которой содержатся клетки, тогда как гамма-компонента воздействует на клетки. Образцы клеток облучались дозами 0,4 мГр в течение 24 ч, 60 мГр в течение 12 ч и 200 мГр в течение 24 ч что эквивалентно нахождению 1, 30 и 365 дням на МКС соответственно. Далее клетки инкубировались, изменение показателей клеток регистрировали через 12, 24, 48 и 72 ч после облучения.

Для определения влияния излучения на сперматозоиды проводились анализы подвижности сперматозоидов с помощью камеры Маклера, тесты VitalScreen на жизнеспособность клеток, а также тесты на фрагментацию ДНК методом SCD.

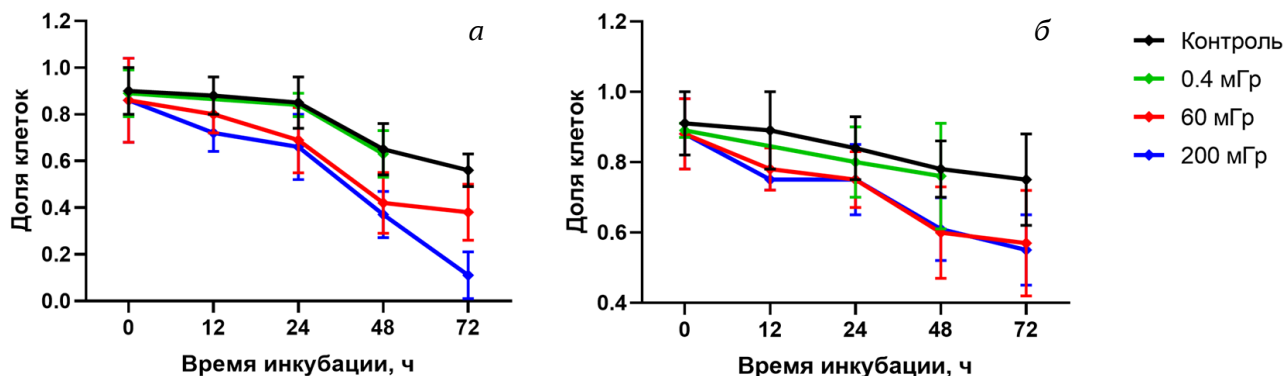


Рис. 1. Параметры сперматозоидов в зависимости от дозы облучения: а — индекс подвижности; б — целостность мембраны

#### Фрагментация ДНК в зависимости от дозы облучения

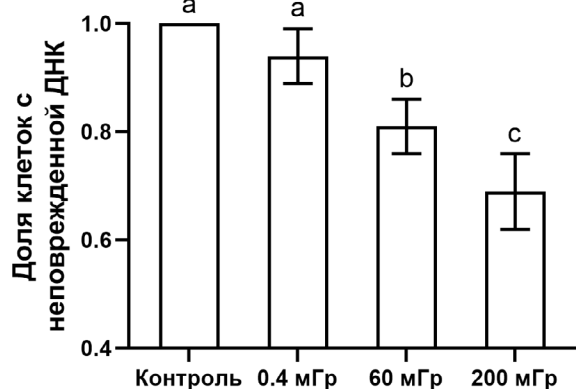


Рис. 2. Целостность ДНК сперматозоидов в зависимости от дозы облучения

Тесты показали, что излучение 0,4 мГр не влияет на клетки (рис. 1, 2), излучение 60 мГр вызывает изменения в клетках после длительной инкубации, в том числе достоверно увеличивает фрагментацию ДНК на 20 % по сравнению с контролем. Под воздействием излучения в 200 мГр изменения более выражены, однако видны наиболее отчетливо также после инкубации клеток. Фрагментация ДНК при данном типе облучения достоверно увеличивается на 30 % по сравнению с контрольной группой клеток.

Таким образом, в данном исследовании показано, что гамма-излучение при длительном воздействии на сперматозоиды человека вызывает изменения в параметрах клеток, в том числе вызывает фрагментацию ДНК.

#### Литература

1. Aitken R. J., Gibb Z., Baker M. A., Drevet J., Gharagozloo P. Causes and consequences of oxidative stress in spermatozoa // *Reproduction, Fertility and Development*. 2016. Vol. 28(1-2). P. 1-10.
2. Wright C., Milne S., Leeson H. Sperm DNA damage caused by oxidative stress: modifiable clinical, lifestyle and nutritional factors in male infertility // *Reproductive BioMedicine Online*. 2014. Vol. 28. P. 684-703.
3. Самойлов А. С., Ушаков И. Б., Шуршаков В. А. Радиационное воздействие в орбитальных и межпланетных космических полетах: мониторинг и защита // *Экология человека*. 2019. Т. 26(1). С. 4-9.