

Г. Г. Верещако, Н. В. Чуешова, Е. В. Цуканова, М. А. Бакшаева

Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь

РАДИАЦИОННОЕ ПОРАЖЕНИЕ СПЕРМАТОГЕННЫХ КЛЕТОК И ЭПИДИДИМАЛЬНЫХ СПЕРМАТОЗОИДОВ КРЫС ЛИНИИ ВИСТАР ПОСЛЕ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

Изучено влияние внешнего ионизирующего облучения в дозе 1,0 Гр на репродуктивную систему крыс-самцов. Установлено, что в начальном периоде после облучения наблюдается ускорение процесса сперматогенеза, что подтверждается повышением количества сперматогоний, прелептотенных сперматоцитов, сперматоцитов первого порядка и округлых сперматид. Одновременно отмечаются снижение числа эпидидимальных сперматозоидов и их жизнеспособность, значительная гибель зрелых половых клеток путем апоптоза и некроза. Активность глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы (ГФДГ) и акрозина в эпидидимальных сперматозоидах на 3-и сутки после облучения уменьшается, в то же время в отдаленном периоде активность ГФДГ в этом периоде не отличается от контроля при повышенном уровне акрозина (почти в 2,8 раза). Ухудшение количественных и качественных характеристик эпидидимальных сперматозоидов у облученных животных, по-видимому, приведет к снижению фертильности экспериментальных животных.

Ключевые слова: внешнее облучение в дозе 1,0 Гр, репродуктивная система крыс-самцов, сперматогенез, сперматозоиды, жизнеспособность, индекс фрагментации ДНК (индекс DFI), апоптоз, глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа, акрозин, фруктоза.

G. G. Vereschako, N. V. Chueshova, E. V. Tsukanova, M. A. Bakshayeva

Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

RADIATION INJURY SPERMATOGENIC CELLS AND SPERMATOOA RATS WISTAR AFTER EXTERNAL EXPOSURE

It was studied the effect of external radiation (1.0 Gy) on the reproductive system of male rats. It is established that in the initial period after irradiation, acceleration of the process of spermatogenesis is observed, which is confirmed by an increase in the number of spermatogonia, preleptotene spermatocytes, and spermatocytes of the first order and round spermatids. Simultaneously, a decrease in the number of epididymal spermatozoa and their viability, a significant death of mature sex cells by apoptosis and necrosis. The activity of GDD and acrosin in epididymal spermatozoa decreases on the 3rd day after irradiation, while in the long-term period the activity of GFDG does not differ from control at an increased level of acrosin (almost 2.8 times). The deterioration of quantitative and qualitative characteristics of epididymal spermatozoa in irradiated animals, apparently, will lead to a decrease in the fertility of experimental animals.

Keywords: external exposure at dose 1.0 Gy, male rats reproductive systems, spermatogenesis, spermatozoa, viability, DNA fragmentation index (index DFI), apoptosis, glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH), acrosyn, fructose.

Введение. Репродуктивная система самцов млекопитающих, включая человека, обеспечивающая процесс воспроизводства, обладает высокой чувствительностью к воздействию антропогенных факторов окружающей среды и является одним из важнейших объектов для исследования. За последние годы наряду с традиционными методами ее оценки все большее распространение получают новые технологии, включая проточную цитофлуориметрию, современные биохимические и молекулярные методы исследования, изучается процесс программированной гибели клеток и др., что позволяет в большей степени раскрыть механизм реализации эффектов в сперматогенных клетках тестикулярной ткани и сперматозоидах при действии различных негативных факторов [1, 2].

Несмотря на значительное количество работ, посвященных проблеме влияния ионизирующей радиации на репродуктивную систему самцов [3–5], использование современных методов исследования радиационного поражения сперматогенных клеток и зрелых сперматозоидов представляет значительный интерес. Как известно, среди сперматогенных клеток самыми радиочувствительными являются сперматогонии и сперматоциты (клетки начальных этапов дифференцировки), а наиболее радиорезистентными – сперматозоиды, т. е. радиорезистентность клеток к облучению повышается по мере их дифференцировки [3].

Эффекты в половых клетках разных стадий дифференцировки в ткани семенника и зрелых сперматозоидов животных, а также в различные сроки после внешнего острого облучения в дозе 1,0 Гр с помощью молекулярно-биохимических методов изучены недостаточно.

Цель настоящей работы – исследование ряда показателей сперматогенных клеток тестикулярной ткани и эпидидимальных сперматозоидов крыс-самцов в различные сроки после внешнего острого радиационного воздействия в дозе 1,0 Гр.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили на крысах-самцах линии Вистар (исходный возраст 4,5 мес., масса $344,85 \pm 2,01$ г), находившихся на стандартном пищевом рационе вивария и имевших свободный доступ к питьевой воде. Контролем служили животные аналогичного возраста и пола ($n = 5-6$), содержащиеся в таких же условиях.

Все крысы-самцы были разделены на две группы: I – контроль (интактные животные); II – животные, облученные в дозе 1,0 Гр. Внешнее однократное облучение в дозе 1,0 Гр проводили на установке ИГУР (^{137}Cs , мощность дозы 43 сГр/мин). Опыты проводили на 3-и и 30-е сутки после воздействия.

Предварительно взвешенных животных подвергали декапитации, выделяли семенники с придатками (эпидидимисы) и семенные пузырьки, абсолютную массу которых оценивали с точностью до 1 мг с последующим расчетом относительной массы. Для количественного анализа различных типов сперматогенных клеток методом ДНК-проточной цитометрии (цитофлуориметр Cytomics FC 500, Beckman Coulter, США) использовали клеточную суспензию, полученную из тестикулярной ткани [6]. По содержанию ДНК сперматогенные клетки были классифицированы как сперматогонии (2С), сперматоциты в S-фазе, сперматоциты первого порядка (4С), круглые (1С), удлинённые (НС1) и продолговатые (НС2) сперматиды. Зрелые половые клетки выделяли из эпидидимиса, подсчитывали их количество в камере Горяева [7], определяли их жизнеспособность [8], индекс фрагментации ДНК (DFI) [9], количество апоптотических и некротических сперматозоидов [10], а также активность глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы (ГФДГ) [11] и акрозина [12, 13]. В семенных пузырьках определяли содержание фруктозы [14].

Полученные данные обрабатывали с помощью общепринятых методов биологической статистики, используя пакеты программ Excel и GraphPad Prism 5. При сравнении двух независимых групп по количественному признаку применяли критерий Манна–Уитни. Различия считали достоверными при $p < 0,05$

Результаты и их обсуждение. Установлено, что масса органов репродуктивной системы крыс-самцов на 3-и сутки после внешнего острого облучения в дозе 1,0 Гр почти не изменяется, за исключением статистически значимого снижения этого показателя для абсолютной массы семенных пузырьков на 13,0 % ($p < 0,05$) по отношению к контролю (табл. 1). Отсутствие существенных изменений массы органов репродуктивной системы, и прежде всего семенников, при действии острого ионизирующего излучения, вероятно, обусловлено тем, что эти изменения отмечаются, как правило, при облучении в дозах свыше 2,0 Гр [15].

Т а б л и ц а 1. Влияние внешнего облучения в дозе 1,0 Гр на массу органов репродуктивной системы, количество сперматогенных клеток различных популяций в тестикулярной ткани и некоторые показатели эпидидимальных сперматозоидов крыс на 3-и сутки после воздействия
 T a b l e. 1. Influence of external radiation dose of 1.0 g per ton of the organs of the reproductive system, the number of spermatogennh cells of different populations of testicular tissue and some indicators of epididymal sperms rats on day 3 after exposure

Исследуемый показатель	Контроль	Облучение в дозе 1,0 Гр	% к контролю
<i>Масса органов репродуктивной системы</i>			
АМ семенников, г	$1,95 \pm 0,06$	$1,90 \pm 0,05$	97,44
ОМ семенников, %	$0,50 \pm 0,01$	$0,50 \pm 0,02$	100,00
АМ эпидидимисов, г	$0,62 \pm 0,013$	$0,61 \pm 0,018$	98,39
ОМ эпидидимисов, %	$0,16 \pm 0,003$	$0,16 \pm 0,005$	100,00
АМ семенных пузырьков, г	$1,48 \pm 0,07$	$1,29 \pm 0,05^*$	87,16
ОМ семенных пузырьков, %	$0,38 \pm 0,02$	$0,34 \pm 0,02$	89,47

Окончание табл. 1

Исследуемый показатель	Контроль	Облучение в дозе 1,0 Гр	% к контролю
<i>Сперматогенные клетки тестикулярной ткани, %</i>			
Сперматогонии (2С)	8,88 ± 0,57	10,50 ± 0,32*	118,24
Прелептотенные сперматоциты (S-фаза)	2,86 ± 0,09	3,05 ± 0,04	106,64
Сперматоциты первого порядка	6,21 ± 0,25	7,02 ± 0,49	113,04
Сперматиды округлые	45,55 ± 2,32	53,75 ± 0,94*	118,00
Сперматиды удлинённые	23,01 ± 0,82	18,22 ± 1,32*	79,18
Сперматиды продолговатые	12,99 ± 2,11	6,43 ± 0,81*	49,50
<i>Эпидидимальные сперматозоиды</i>			
Количество клеток, ×10 ⁶ /г	7,38 ± 0,36	6,45 ± 0,50	87,40
Жизнеспособность, %	78,17 ± 3,10	57,00 ± 1,93*	72,92
DFI, %	3,31 ± 0,15	2,69 ± 0,46	81,27
Апоптотические сперматозоиды, %	0,18 ± 0,03	0,88 ± 0,23*	488,89
Некротические сперматозоиды, %	1,78 ± 0,12	2,40 ± 0,15*	134,83
ГФДГ, мЕд	5,99 ± 1,77	3,98 ± 0,56	66,44
Акрозин, мг/мин	2,20 ± 0,72	0,89 ± 0,47	40,45
<i>Семенные пузырьки</i>			
Фруктоза, ммоль/л	9,38 ± 0,91	8,02 ± 0,60	85,50

Примечание. АМ – абсолютная масса; ОМ – относительная масса; DFI – индекс фрагментации ДНК; ГФДГ – глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа. * – достоверно при $p < 0,05$. То же в табл. 2.

Облучение крыс-самцов в дозе 1,0 Гр оказывает существенное влияние на процесс сперматогенеза. Так, при анализе распределения различных популяций сперматогенных клеток на 3-и сутки после радиационного воздействия наблюдается ускорение начальных этапов их дифференцировки. Это выражается в повышении количества сперматогоний (до 118,2 %), прелептотенных сперматоцитов (до 106,6 %) и сперматоцитов первого порядка (до 113,0 %). Однако статистически значимый характер это повышение имеет только в отношении числа сперматогоний.

Количество круглых сперматид, которые образуются в результате деления сперматоцитов первого порядка и являются гаплоидными клетками (1С), также достоверно повышается (до 118,0 %). В дальнейшем на стадии формирования (трансформации) сперматид в сперматозоиды число удлинённых и продолговатых сперматид значительно снижается и составляет по отношению к контролю 79,2 % ($p < 0,05$) и 49,5 % ($p < 0,05$) соответственно.

Существенное уменьшение количества продолговатых сперматид в тестикулярной ткани отражается на продукции спермиогенеза, так как количество эпидидимальных сперматозоидов в группе облучённых животных имеет тенденцию к снижению (до 87,4 %), а их жизнеспособность падает до 72,9 % ($p < 0,05$) по сравнению с аналогичным показателем в контрольной группе. В этот период (3-и сутки) облучение крыс в дозе 1,0 Гр индуцирует гибель половых клеток, о чем свидетельствует статистически значимое увеличение (почти в 5 раз) числа некротических и особенно апоптотических сперматозоидов.

Анализ активности ГФДГ и акрозина в эпидидимальных сперматозоидах показал, что на 3-и сутки после облучения отмечается значительное их снижение, но из-за значительной вариабельности полученных данных они не являются достоверными.

Спустя 1 мес. после внешнего облучения в дозе 1,0 Гр изменений абсолютной и относительной массы органов репродуктивной системы облучённых животных не выявлено (табл. 2). К этому времени процесс сперматогенеза по сравнению с начальным сроком наблюдения (3-и сутки) в тестикулярной ткани практически нормализуется на всех его стадиях. При этом сохраняется тенденция к уменьшению числа продолговатых сперматид до 86,9 %. Изучение количественных и качественных характеристик сперматозоидов, выделенных из эпидидимисов облучённых животных, напротив, показывает значительное ухудшение изучаемых показателей по сравнению с таковыми при первом сроке наблюдения. Прежде всего необходимо отметить статистически значимое уменьшение количества зрелых половых клеток, выделенных из эпидидимиса. Их число

составляет всего 55,0 % по отношению к контролю при низкой жизнеспособности клеток (76,8 %, $p < 0,05$). Количество апоптотических и некротических сперматозоидов возрастает более чем в 5,5 и 4 раза соответственно. В то же время активность ГФДГ в исследуемых клетках в этом периоде не отличается от контроля при повышенном уровне (почти в 2,8 раза) акрозина.

Содержание фруктозы в семенных пузырьках, которая является основным источником энергообеспечения сперматозоидов, имеет тенденцию к снижению, что указывает на некоторое ухудшение обеспечения этим энергетическим субстратом клеток в начальном периоде после воздействия (3-и сутки) и его повышение к 30-м суткам (до 115,9 % по отношению к контролю), что, вероятно, связано с количеством зрелых половых клеток.

Т а б л и ц а 2. Влияние внешнего облучения в дозе 1,0 Гр на массу органов репродуктивной системы, количество сперматогенных клеток различных популяций в тестикулярной ткани и некоторые показатели эпидидимальных сперматозоидов крыс на 30-е сутки после воздействия

Table 2. Influence of external radiation dose of 1.0 g per ton of the organs of the reproductive system, the number of spermatogennyh cells of different populations of testicular tissue and some indicators of epididymal sperms rats on the 30th day after exposure

Исследуемый показатель	Контроль	Облучение в дозе 1,0 Гр	% к контролю
<i>Масса органов репродуктивной системы</i>			
АМ семенников, г	1,87 ± 0,05	1,76 ± 0,06	94,12
ОМ семенников, %	0,47 ± 0,01	0,44 ± 0,02	93,62
АМ эпидидимисов, г	0,64 ± 0,03	0,63 ± 0,02	98,44
ОМ эпидидимисов, %	0,15 ± 0,01	0,16 ± 0,01	106,67
АМ семенных пузырьков, г	1,37 ± 0,13	1,42 ± 0,06	103,65
ОМ семенных пузырьков, %	0,34 ± 0,03	0,36 ± 0,02	105,88
<i>Сперматогенные клетки тестикулярной ткани, %</i>			
Сперматогонии (2 С)	6,41 ± 0,33	6,86 ± 0,18	107,02
Прелептотенные сперматоциты (S-фаза)	1,98 ± 0,15	2,04 ± 0,15	103,03
Сперматоциты первого порядка	3,73 ± 0,31	4,22 ± 0,19	113,14
Сперматиды округлые	40,53 ± 2,65	42,77 ± 2,04	105,53
Сперматиды удлинённые	16,89 ± 0,93	15,70 ± 1,32	92,95
Сперматиды продолговатые	30,36 ± 2,39	26,40 ± 1,74	86,96
<i>Эпидидимальные сперматозоиды</i>			
Количество клеток, ×10 ⁶ /г	8,45 ± 0,29	4,65 ± 0,58*	55,03
Жизнеспособность, %	68,83 ± 1,78	52,83 ± 1,94*	76,76
DFI, %	5,20 ± 0,41	5,44 ± 0,32	104,62
Апоптотические сперматозоиды, %	0,67 ± 0,21	3,68 ± 0,91*	549,25
Некротические сперматозоиды, %	1,00 ± 0,15	3,85 ± 0,55*	385,00
ГФДГ, мЕд	4,04 ± 0,66	4,24 ± 0,85	104,95
Акрозин, мг/мин	1,64 ± 0,69	4,58 ± 0,98	279,27
<i>Семенные пузырьки</i>			
Фруктоза, ммоль/л	9,66 ± 1,35	11,19 ± 0,73	115,84

Таким образом, внешнее облучение крыс-самцов в дозе 1,0 Гр не оказывает существенного влияния на массу органов репродуктивной системы в различные сроки после облучения. На 3-и сутки после воздействия процесс сперматогенеза на начальных этапах дифференцировки сперматогенных клеток ускоряется, однако в отдаленном периоде он почти нормализуется. В то же время количество эпидидимальных сперматозоидов и их жизнеспособность у облученных животных достоверно снижаются на 3-и сутки после воздействия, а к 30-м суткам они уменьшаются еще в большей степени. Облучение также индуцирует значительное увеличение числа некротических и апоптотических сперматозоидов. Полученные данные свидетельствуют о выраженном влиянии внешнего облучения в дозе 1,0 Гр на спермиогенез, что, вероятно, приведет к падению оплодотворяющей способности животных.

Заклученне. Таким образом, внешнее облучение в дозе 1,0 Гр, не оказывая существенного влияния на массу органов репродуктивной системы крыс-самцов, стимулирует процесс сперматогенеза в начальном периоде после облучения (3-и сутки), что подтверждается повышением количества сперматогоний, прелептотенных сперматоцитов и сперматоцитов первого порядка и круглых сперматид. Для эпидидимальных сперматозоидов облученных животных (3-и, 30-е сутки) выявляется выраженная негативная реакция на воздействие, которая заключается не только в достоверной гибели зрелых половых клеток за счет индукции апоптоза и некроза, но и в значительном снижении их жизнеспособности. Ухудшение количественных и качественных характеристик эпидидимальных сперматозоидов у облученных животных, по-видимому, вызовет снижение фертильности экспериментальных животных.

Список использованных источников

1. Медицинские лабораторные технологии: руководство по клин. лаб. диагностике: в 2 т. / В. В. Алексеев [и др.] ; под ред. А. И. Карпищенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. – Т. 1. – 470 с.
2. Клиническая андрология / под ред. В. Б. Шилла, Ф. Комхаира, Т. Харгрива. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 800 с.
3. Москалев, Ю. И. Отдаленные последствия радиационного поражения. Неопухолевые формы / Ю. И. Москалев, В. Н. Стрельцова // Итоги науки и техники. Радиационная биология. – М.: ВИНТИ, 1987. – Т. 6. – С. 141–149.
4. Кондратенко, В. Г. Действие ионизирующей радиации на семенники млекопитающих / В. Г. Кондратенко // Успехи соврем. биологии. – 1977. – Т. 83, вып. 2. – С. 305–319.
5. Верещако, Г. Г. Биохимические изменения в семенниках млекопитающих при действии ионизирующих излучений / Г. Г. Верещако, А. М. Ходосовская, Е. Ф. Конопля // Успехи соврем. биол. – 1998. – Т. 118, вып. 5. – С. 630–644.
6. Suresh, R. Quantitation of spermatogenesis by DNA flow cytometry: comparative study among six species of mammals / R. Suresh, G. R. Aravindan, N. R. Moudgal // J. Biosci. – 1992. – Vol. 17, N 4. – P. 413–419.
7. Влияние радиационного облучения на витаминный статус и сперматогенез крыс / В. В. Евдокимов [и др.] // Бюл. эксп. биол. и мед. – 1997. – Т. 123, № 5. – С. 524–527.
8. World Health Organization. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen. – 5th ed. – Geneva: WHO Press, 2010. – 271 p.
9. Evenson, D. P. Sperm Chromatin Structure Assay: Its Clinical Use for Detecting Sperm DNA Fragmentation in Male Infertility and Comparisons with Other Techniques / D. P. Evenson, K. L. Larson, L. K. Jost // J. Andrology. – 2002. – Vol. 23, N 1. – P. 25–43.
10. The effect of swim-up purification and incubation of cells on sperm viability in dogs of different ages / D. Bukowska [et al.] // Veterinarni Medicina. – 2011. – Vol. 56, N 5. – P. 248–254.
11. Низкие концентрации H₂O₂ активируют систему антиоксидантной защиты сперматозоидов человека / В. В. Евдокимов [и др.] // Биохимия. – 2015. – Т. 80, № 9. – С. 1431–1439.
12. Химическая природа антиоксидантов и их действие при замораживании семени барана / В. К. Милованов [и др.] // Животноводство. – 1981. – № 9. – С. 45–46.
13. Активность акрозина в криоконсервированных спермиях человека / А. В. Дунаевская [и др.] // Проблемы криобиологии. – 2003. – № 1. – С. 65–70.
14. Лабораторная диагностика мужского бесплодия / В. В. Долгов [и др.]. – М.; Тверь: Триада, 2006. – 145 с.
15. Топалова, С. Масса и клеточность семенников крыс после γ -облучения в различных дозах / С. Топалова, Т. Пантев // Пробл. рентгенологии и радиобиологии (НРБ). – 1985. – Т. 6, № 1. – С. 47–52.

References

1. Alekseev V. V., Alipov A. N., Andreev V. A., Antonov V. G. Medical laboratory technology: a guide for clinical laboratory diagnostics, ed. by Karpishchenko A. I., 3rd ed., rev. and add. Moscow, GEOTAR, Media, 2012, vol. 1. 472 p. (in Russian).
2. Clinical andrology, ed. by Scilla V. B., Komhaira F., Hargriva T. Moscow, GEOTAR, Media, 2011. 800 p. (in Russian).
3. Moskalev Yu. I., Streltsova V. N. The long-term effects of radiation damage. Non-tumoral forms. *The results of science and technology. Radiation Biology*. Moscow, VINITI, 1987, vol. 6, pp. 141–149. (in Russian).
4. Kondratenko V. G. Effects of ionizing radiation on mammalian testicles. *Uspehi sovremennoi biologii* [Advances of Modern Biology], 1977, vol. 83, no. 2, pp. 305–319. (in Russian).
5. Vereshchako G. G., Khodosovskaya A. M., Konoplya E. F. Biochemical changes in the testes of mammals under the action of ionizing radiation. *Uspehi sovremennoi biologii* [Advances of Modern Biology], 1998, vol. 118, no. 5, pp. 630–644. (in Russian).
6. Suresh R., Aravindan G. R., Moudgal N. R. Quantitation of spermatogenesis by DNA flow cytometry: comparative study among six species of mammals. *Journal of Bioscience*, 1992, vol. 17, no. 4, pp. 413–419. doi: 10.1007/BF02720096.
7. Evdokimov V. V., Kodentsova V. M., Vrzhesinskaya O. A., Yakushina L. M., Erasova V. I., Kirpatovsiky V. I., Sakharov I. Y. Influence of radiation on vitamin status and spermatogenesis in rats. *Bulleten experimentalnoy biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine], 1997, vol. 123, no. 5, pp. 524–527. (in Russian).

8. World Health Organization. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen. 5th ed., Geneva, WHO Press, 2010, 271 p.
9. Evenson D. P., Larson K. L., Jost L. K. Sperm Chromatin Structure Assay: Its Clinical Use for Detecting Sperm DNA Fragmentation in Male Infertility and Comparisons with Other Techniques. *Journal of Andrology*, 2002, vol. 23, no. 1, pp. 25–43.
10. Bukowska D., Kempisty B., Sikora J., Jackowska M., Wozna M., Antosik P., Piotrowska H., Bunda J., Jaskowski J. M. The effect of swim-up purification and incubation of cells on sperm viability in dogs of different ages. *Veterinarni Medicina*, 2011, vol. 56, no. 5, pp. 248–254.
11. Evdokimov V. V., Barinov K. V., Turovetsky V. B., Muronets V. I., Schmalhausen E. V. Low concentrations of H₂O₂ activate antioxidant defense system of human spermatozoa. *Biohimiya* [Biochemistry], 2015, vol. 80, no. 9, pp. 1431–1439. (in Russian).
12. Milovanov V. K., Koltsov E. A., Shaydullina I. N., Varnavskih V. A. The chemical nature of antioxidants and their behavior when freezing semen of sheep. *Jivotnovodstvo* [Animal Breeding], 1981, no. 9, pp. 45–46. (in Russian).
13. Dunaevskaya A. V., Chub N. N., Kramar M. I., Rodionova V. L. Akrozin activity in cryopreserved human spermatozoa. *Problemye kriobiologii* [Problems of Cryobiology], 2003, no. 1, pp. 65–70. (in Russian).
14. Dolgov V. V., Lugovskaya S. A., Fanchenko N. D., Mironov I. I., Nazarov E. K., Rakova N. G., Rakov S. S., Selivanov T. S., Shchelochkov A. M. Laboratory diagnosis of male infertility. Moscow, Tver, Triada, 2006. 145 p. (in Russian).
15. Topalova S., Pantev T. The mass and cellularity rat testis after γ -irradiation in different doses. *Problemi rengenologii i radiobiologii (Narodnaja Respublika Bolgarii)* [Problems of Radiology and Radiobiology (Populus Reipublicae Bulgaria)], 1985, vol. 6, no. 1, pp. 47–52. (in Russian).

Информация об авторах

Верещако Геннадий Григорьевич – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Республика Беларусь). E-mail: vereschako2@tut.by.

Чуешова Наталья Владимировна – науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Республика Беларусь). E-mail: natalya-chueshova@tut.by.

Цуканова Елена Владимировна – мл. науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Республика Беларусь). E-mail: elenatsukanova14@gmail.com.

Бакшаева Маргарита Александровна – науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, г. Гомель, Республика Беларусь). E-mail: m.bakshaeva@yandex.ru.

Для цитирования

Радиационное поражение сперматогенных клеток и эпидидимальных сперматозоидов крыс линии Вистар после внешнего облучения / Г. Г. Верещако [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 2. – С. 40–45.

Information about the authors

Vereschako Gennady Grigorievich – Ph. D. (Biol.), Leading researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskogo Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: vereschako2@tut.by.

Chueshova Natalya Vladimirovna – Researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskogo Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: natalya-chueshova@tut.by.

Tsukanova Elena Vladimirovna – Junior researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskogo Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: elenatsukanova14@gmail.com.

Bakshayeva Margarita Alexandrovna – Researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyninskogo Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: m.bakshaeva@yandex.ru.

For citation

Vereschako G. G., Chueshova N. V., Tsukanova E. V., Bakshayeva M. A. Radiation injury spermatogenic cells and spermatozoa rats Wistar after external exposure. *Vestsi Natsy-anal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnych navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, biological series], 2017, no. 2, pp. 40–45.