

Специфика формирования родительских групп животных при определении влияния малых доз радиации на когнитивные функции потомства

В.В. Панфилова, О.И. Колганова, О.Ф. Чибисова, Л.П. Жаворонков

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба — филиал «Национального медицинского исследовательского центра радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

Целью работы было исследование способности к обучению потомства облученных в дозе 0,5 Гр самцов крыс. Когнитивные функции мозга оценивали по способности к выработке и воспроизведению условного рефлекса активного избегания. Установлено, что исходное состояние когнитивных функций мозга родителей влияет на развитие этих функций у потомства. Учет данного фактора позволит избежать методических ошибок, заключающихся в случайном формировании групп, неравноценных по исходным психофизиологическим параметрам. Целесообразность подобного ранее не применявшегося подхода продемонстрирована на модели облучения в малой дозе (0,5 Гр) половых клеток самцов. Установлено, что выраженность радиационного эффекта по данному критерию может существенно изменяться при разных подходах к формированию групп родителей.

Ключевые слова: крысы, когнитивные функции мозга, способность к обучению, ионизирующее излучение, челночная камера.

Введение

В рекомендациях Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) существует понятие «критические органы». Это органы, облучение которых причиняет наибольший вред живому организму. К числу этих органов относятся гонады, т.к. при их облучении возможно повреждение генетических структур, ответственных за передачу наследственной информации [1, 2]. По современным нормам для наследственных заболеваний вероятность развития зависит от дозы. Риск стохастических эффектов в диапазоне малых доз линейно зависит от дозы, а порог дозы при этом отсутствует [3]. Изначально основной идеей нашей работы было определение влияния облучения родителей на когнитивные функции мозга их потомства. В научной литературе имеющаяся информация по данной тематике противоречива. Есть работы, которые показывают негативные эффекты воздействия ионизирующего излучения: снижение двигательной активности у лабораторных животных, нарушение поведения, отклонения в мозговой деятельности и др. [4–7]. Однако есть работы, показывающие отсутствие влияния облучения на выработку и воспроизведение условно-оборонительного рефлекса пассивного избегания у крыс [8]. Также обследование детей и внуков работников радиохимического предприятия в России не выявило существенных нарушений в их развитии [9]. Обобщая рассмотренные выше данные научной литературы, можно заключить, что в результате многолетних исследований различными

учеными выявлены определенные отклонения в психофизиологическом статусе потомков облученных родителей.

Цель исследования – проследить в опытах на крысах, каким образом отражается воздействие гамма-облучения самцов-родителей в дозе 0,5 Гр на когнитивных функциях потомства.

Выявить отклонения в когнитивных функциях мозга потомства облученных родителей, вызванные именно воздействием радиации, довольно сложно, т.к. на эффекты радиации часто накладывается влияние и других факторов, в частности, исходного интеллектуального уровня родителей. Известно, что умственные способности передаются по наследству [10]. Однако не ясно, отражаются ли различия в способности к обучению родителей на когнитивных функциях мозга их потомства.

Задачи исследования

1. Определить, каким образом воздействие ионизирующего излучения в малых дозах может отразиться на когнитивных функциях потомства.
2. Определить вклад фактора исходного интеллектуального уровня родителей, мешающего определению радиационного эффекта.
3. Узнать, как следует формировать группы тестируемых животных, чтобы выявить изменения в когнитивных функциях мозга, вызванные именно влиянием ионизирующего излучения, а не иными факторами.

Панфилова Виктория Викторовна

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал «Национального медицинского исследовательского центра радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Адрес для переписки: 249036, Калужская область, г. Обнинск, ул. Королева, д. 4; E-mail: whiskas04@yandex.ru

Материалы и методы

Объектом исследования явились самцы крыс линии Вистар и их потомство первого поколения. Для решения поставленных задач половозрелых самцов крыс линии Вистар (F_0) облучали на гамма-установке «Луч» (^{60}Co) при мощности дозы 20,0 Гр/ч, в дозе 0,5 Гр. Затем их спаривали с интактными самками через разные интервалы времени после облучения (чтобы в оплодотворении участвовали половые клетки, облученные на разных стадиях сперматогенеза), исходя из цикла сперматогенного эпителия.

В группы для дальнейшего тестирования условно-рефлекторной деятельности в месячном возрасте отбирали по два внешне здоровых детеныша от каждой самки-матери и доразвивали их до трехмесячного возраста. Контрольную группу составляли интактные самцы и самки, которые находились в идентичных с подопытными крысами условиях содержания. Животных содержали в стандартных условиях вивария МРНЦ им. А.Ф. Цыба, на рационе, состоящем преимущественно из брикетированного корма.

Когнитивные функции мозга оценивали по способности к выработке и воспроизведению условного рефлекса активного избегания (УРИ). В экспериментах использовали стандартную методику обучения крыс в челночной камере Шаттл-бокс [11]. Установка состоит из двух отделений, разделенных перегородкой, в которой имеется отверстие. Оба отделения имеют отдельно электрифицированный пол. Условным раздражителем является свет и звук, которые предъявляются за 4 с до безусловного раздражителя, которым является электроболевое раздражение (с 4 по 12 с), подаваемое через электродный пол поочередно то в одном, то в другом отделении. Чтобы не получить болевого раздражения, животное должно научиться перебегать из одного отсека камеры в другой во время действия условного сигнала (условный рефлекс). Перебегание в другой отсек в ответ на действие болевого раздражителя является безусловным рефлексом. Данный метод позволяет судить о таких элементах высшей нервной деятельности, как ассоциативное мышление, память, закрепление условных связей и воспроизведение выработанного навыка. В камеру для тестирования каждое животное помещается отдельно. Каждому животному предъявляется 50 сочетаний условного и безусловного раздражителей в каждом тестировании. Животных тестировали 2 раза с интервалом в 2 суток.

При анализе выработки и воспроизведения УРИ использовали ряд показателей, отражающих конечную результативность либо характеризующих скорость обучения.

К интегративным критериям относили:

- 1) число нанесённых током ударов до регистрации первого УРИ – лаг-фаза обучения;
- 2) общее число УРИ за сессию, из них быстрых – латентный период до 2,5 с;
- 3) число отказов (отсутствие перебежек даже на электрокожное подкрепление);
- 4) наличие крыс, имеющих серии из пяти и более УРИ подряд (критерий оценки состояния консолидации памятного следа).

Показатели скорости обучения (динамические критерии) основаны на оценке параметров кривых линейной

регрессии, отражающих нарастание частоты избеганий в процессе обучения. При многократных испытаниях регрессионный анализ позволяет количественно оценить различия в исходном уровне обученности и скорости обучения (по коэффициентам уравнений регрессии). С помощью уравнений линейной регрессии оценивали:

- 1) динамику количества УРИ в процентах к максимально возможному за интервал в 10 попыток с шагом в 2 попытки индивидуально по каждой крысе и в целом по группе (используется при построении уравнения регрессии);
- 2) при использовании в качестве функции отношения числа УРИ к числу совершённых попыток (%) вычисляли также критерий 50% обученности (ОБ-50) с доверительным интервалом (число попыток до появления 50% УРИ в среднем у каждой крысы по группе).

Результаты и обсуждение

Задуматься над вопросом о важности формирования равноценных родительских групп по признаку обучаемости нас побудили результаты эксперимента по выявлению влияния на когнитивные функции потомства облучения самцов крыс в дозе 0,5 Гр, гаметы которых подверглись облучению на стадии сперматогоний. При тестировании потомков в первой серии опытов, когда родительские группы были подобраны случайным образом без предварительной оценки их способностей к обучению, были получены настолько высоко достоверные различия между контрольными и подопытными животными (табл. 1), что не согласовывалось с нашими предыдущими работами [12]. Это потребовало подтверждения и привело к постановке второй серии опытов, в которой группы родителей были сформированы с учетом уровня развития когнитивных способностей. При экспериментальном исследовании эффектов радиации на высшую нервную деятельность (ВНД) потомков облученных животных-родителей особенно важно подобрать исходно равноценные группы родителей по их способности к обучению. Как известно, способность к обучению и другие параметры ВНД могут передаваться по наследству [13]. На основании этого нами была выдвинута гипотеза, заключающаяся в том, что если случайно в группу «контроля» попадут потомки только от «умных» родителей, а в группу «опыта» – только от «глупых» родителей-животных (или наоборот), то получившуюся достоверную разницу между двумя группами животных можно ошибочно принять за эффект радиационного воздействия. Особенно это важно при исследовании влияния малых доз радиации.

Как видно из таблицы 1, статистически значимые различия в первой серии опытов наблюдаются по всем интегративным показателям (лаг-фаза отражает количество предъявлений условного и безусловного раздражителей до первого успешно выполненного УРИ). То есть мы наблюдали сниженную способность к обучению у группы «Сперматогонии» по сравнению с контролем. Во второй серии опытов при равноценных родительских группах (одинаков и качественный, и количественный состав) потомки первого поколения из контрольной и опытной групп не различались по показателям обучаемости.

Исходя из полученных результатов в опыте с облучением половых клеток на стадии сперматогоний, было решено в двух повторностях на стадии сперматид сформировать группы родителей в соответствии с уровнем развития когнитивных способностей.

Таблица 1
[Table 1]

Влияние облучения сперматогониев родителей-крыс в дозе 0,5 Гр на условно-рефлекторную деятельность потомства
Effect of irradiation of spermatogonies of rat parents at a dose of 0.5 Gy on the conditioned reflex activity of offspring

Группа (количество животных) [Group (number of animals)]	Лag-фаза [Lag-phase]	Общее количество УРИ [General the number of URI]	Количество Отказов [The number of failures]
I серия опытов [I a series of experiments]			
«Контроль» (n=17) [«Control»(n=17)]	3,3± 0,7	29,6± 2,7	1,0± 0,4
«Сперматогонии» (n=19) [«Spermatogonia»(n=19)]	12,8*± 3,8	13,8 *± 3,1	9,9 *± 2,1
II серия опытов [II a series of experiments]			
«Контроль» (n=33) [«Control»(n=33)]	7,7± 1,9	26,9± 2,7	2,4± 0,9
«Сперматогонии» (n=30) [«Spermatogonia»(n=30)]	11,1± 2,7	21,1± 2,5	1,2± 0,3

* – статистически значимое различие с контролем при $p < 0,05$ [* – statistically significant difference with the control at $p < 0,05$].

Чтобы оценить, насколько способности к обучению у родителей-крыс могут повлиять на способности к обучению у их потомков и насколько существенно это может «затушевать» эффект радиации, были сформированы четыре группы животных. Две группы состояли из необлученных животных: быстро и прочно обучившихся условному рефлексу активно-

го избегания («умные») и животных, с трудом обучавшихся («глупые»). Полученное от них потомство, в свою очередь, было протестировано на способность к обучению. Было получено статистически значимое различие между этими двумя группами крыс, как по интегральным, так и по динамическим критериям обучения (табл. 2). В объединенном виде по

Таблица 2
[Table 2]

Влияние облучения сперматид родителей-крыс в дозе 0,5 Гр на условно-рефлекторную деятельность потомства
The effect of irradiation of spermatids of parent rats at a dose of 0.5 Gy on conditioned reflex activity of offspring

Группа (количество животных) [Group (number of animals)]	Лag-фаза [Lag phase]	Общее количество УРИ [General the number of URI]	Количество отказов [The number of failures]	ОБ-50 [ОВ-50]	Число крыс с сериями УРИ [The number of rats with a series of URI]
Интakтные животные от «умных» родителей (n=27) [Intact animals from smart parents (n = 27)]	2,9± 0,7	34,4± 2,3	1,3± 0,4	20,8 ± 1,4	24/127 (89%)
Интakтные животные от «глупых» родителей (n=27) [Intact animals from stupid parents (n = 27)]	11,7*± 2,6	21,1*± 2,9	2,1± 0,6	60,7*± 5,5	16/27* (59%)
«Сперматиды» 0,5 Гр от «умных» родителей (n=12) [«Spermatids» 0.5 Gy from «smart» parents (n = 12)]	1,9± 0,7	35,4± 2,3	2,3± 1,8	17,1± 1,9	12/12 (100%)
«Сперматиды» 0,5 Гр от «глупых» родителей (n=15) [«Spermatids» 0.5 Gy from «stupid» parents (n = 150)]	7,1*± 1,8	21,7± 2,9	5,9*± 2,0	57*/**± 4,8	8/15*/**(53%)

* – статистически значимое различие с контролем от «умных» родителей при $p < 0,05$;

** – статистически значимое различие с группой «сперматиды» от «умных» родителей при $p < 0,05$.

[* – statistically significant difference with control from «smart» parents at $p < 0,05$,

** – statistically significant difference with the group of «spermatids» from «smart» parents at $p < 0,05$]

показателям обучаемости эти животные послужили контролем для подопытных крыс. Ещё две группы составили такие же «умные» и «глупые» родители, но крысы-самцы из этих групп были подвергнуты острому облучению в дозе 0,5 Гр.

Потомков первого поколения, родившихся из яйцеклеток, оплодотворенных мужскими гаметами, облученными на стадии сперматид, протестировали и получили статистически значимые различия по интегративным показателям способности к обучению между животными, родившимися от «умных» и «глупых» родителей (см. табл. 2) и по динамике обучения. Суммарно эти животные составили подопытную группу для оценки влияния ионизирующего излучения.

Ниже приведены уравнения линейной регрессии вида $y = B + A \cdot x$, отражающие различия между уже объединенным контролем и объединенной группой потомков облученных родителей в уровне обученности и скорости обучения.

Контроль: $y = 34,4 \pm 2,4 + (2,1 \pm 0,2) \cdot x$

«Сперматиды»: $y = 29,4 \pm 3,0 + (2,4 \pm 0,2) \cdot x$

Сравнение по свободному члену уравнения: $T(A) = 1,27$ (коэффициент Стьюдента при сравнении коэффициентов уравнения А уравнений регрессии контрольной и опытной групп).

Сравнение по наклону (по коэффициенту регрессии): $T(B) = 1,29$ (коэффициент Стьюдента при сравнении коэффициентов уравнения В уравнений регрессии контрольной и опытной групп).

Различий между опытной и контрольной группами выявить не удалось. Полученные данные позволяют сделать вывод, что исходное состояние когнитивных функций мозга родителей влияет на развитие этих функций у потомства. Учет данного фактора позволит избежать методических ошибок, заключающихся в случайном формировании групп, неравноценных по исходным психофизиологическим параметрам. Установлено, что выраженность радиационного эффекта по данному критерию может существенно изменяться при разных подходах к формированию групп родителей.

Заключение

В результате выполненного эксперимента были получены данные о том, что облучение самцов-родителей в дозе 0,5 Гр практически не отражается на когнитивных функциях их потомства первого поколения.

Проведенная нами экспериментальная работа показывает, что при оценке радиационного эффекта на когнитивные функции мозга отсутствие изначально сформированных равноценных родительских групп животных (подопытной и контрольной) может привести к получению необоснованных результатов. Предложенный нами подход к формированию родительских групп вполне подойдет и для выявления влияния на когнитивные функции

мозга потомства любых других слабых воздействующих факторов.

Литература

1. Ильин Л.А., Коренков И.П., Наркевич Б.Я. Радиационная гигиена: учебник. 5-е издание. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 416 с.
2. Ермалицкий А.П., Лягинская А.М. Развитие современной системы защиты гонад и плода в международных рекомендациях (МКРЗ) и отечественных нормах радиационной безопасности // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2012. Т. 57, № 4. С. 5-12.
3. Соснина С.Ф., Сокольников М.Э. Наследуемые эффекты у потомков, связанные с вредным воздействием на родителей (Обзор литературы) // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 3. С. 84-95.
4. Лягинская А.М., Туков А.Р., Осипов В.А. Врожденные пороки развития у потомства ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49, № 6. С. 694-702.
5. Mintz M., Gigi A., Shohami D., Myslobodsky M.S. Effect of prenatal exposure to gamma-rays on circling and activity behavior in prepubertal and postpubertal rats // Behavioural Brain Research. 1999. Vol. 98, No 1. P. 45-51.
6. Нефедов И.Ю., Палыга Г.Ф., Нефедова И.Ю. Особенности онтогенеза потомства обоих облученных родителей // Радиационная биология. Радиоэкология. 1995. Т. 35, № 3. С. 370-374.
7. Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П., Палыга Г.Ф., и др. Психофизиологическое развитие двух поколений потомства самок крыс, хронически облученных в дозе 1 Гр во время беременности, и возможность его модификации с помощью меланина // Радиационная биология. Радиоэкология. 2007. Т. 47, № 2. С. 171-180.
8. Штемберг А.С., Кохан В.С., Кудрин В.С., и др. Воздействие высокоэнергетических протонов в пике Брэгга на поведение крыс и обмен моноаминов в некоторых структурах мозга // Нейрохимия. 2015. Т. 32, № 1. С. 78-85.
9. Патрушева Н.В., Петрушкина Н.П., Ерохин Р.А., и др. Физическое развитие внуков лиц, подвергавшихся профессиональному, хроническому, сочетанному радиационному воздействию // Радиация и риск. 2002. Вып. 13. С. 32-34.
10. Назарова Ю.В. Передаются ли умственные способности генетически? Сборник статей по результатам XI международной научно-практической конференции «Инновации в науке и практике». 2018. С. 165-168.
11. Навакатикян М.А. Методика изучения оборонительных условных рефлексов активного избегания // Журнал высшей нервной деятельности. 1992. Т. 42, № 4. С. 12-18.
12. Панфилова В.В., Колганова О.И., Жаворонков Л.П., и др. Условно-рефлекторная деятельность потомства первого поколения от самцов крыс, подвергшихся острому воздействию G-излучения в дозе 1 Гр (Сообщение 1) // Радиация и риск. 2014. Т. 23, № 3. С. 70-79.
13. Видничук С.С. К вопросу о роли наследственности и среды в развитии интеллекта // Актуальные проблемы психологического знания. 2018. № 4 (49). С. 19-43.

Поступила: 06.06.2020 г.

Панфилова Виктория Викторовна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории исследования комбинированных воздействий, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал «Национального медицинского исследовательского центра радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации.
Адрес для переписки: 249036, Калужская область, Обнинск, ул. Королёва, д. 4; E-mail: whiskas04@yandex.ru

Колганова Ольга Ивановна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории исследования комбинированных воздействий, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал

«Национального медицинского исследовательского центра радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

Чибисова Ольга Федоровна – научный сотрудник лаборатории исследования комбинированных воздействий, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал «Национального медицинского исследовательского центра радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

Жаворонков Леонид Петрович – доктор медицинских наук, профессор научно-организационного отдела, Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал «Национального медицинского исследовательского центра радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, Россия

Для цитирования: Панфилова В.В., Колганова О.И., Чибисова О.Ф., Жаворонков Л.П. Специфика формирования родительских групп животных при определении влияния малых доз радиации на когнитивные функции потомства // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 4. С. 34-39. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-4-34-39

The influence of learning ability of irradiated and intact rats-parents on higher brain function of their offspring

Viktoriya V. Panfilova, Olga I. Kolganova, Olga F. Chibisova, Leonid P. Zhavoronkov

A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia

The ability to train the offspring of male rats irradiated at a dose of 0.5 Gy was studied. Cognitive (memorable) brain functions were evaluated by their ability to develop and reproduce a conditioned reflex of active avoidance. It is established that the initial state of cognitive functions of the brain of parents affects the development of these functions in the offspring. Taking into account this factor will allow to avoid methodological errors, consisting in the random formation of groups, unequal in the initial psychophysiological parameters. The expediency of such a previously not used approach is demonstrated on the model of irradiation in a small dose (0.5 Gy) of male germ cells. It is established that the intensity of the radiation effect on this criterion can vary significantly with different approaches to the formation of groups of parents.

Key words: rats, cognitive functions of the brain, learning ability, ionizing radiation, shuttle chamber.

References

- Ilyin LA, Korenkov IP, Narkevich BYa. Radiation hygiene: a textbook. 5th edition. Moscow: GEOTAR-Media; 2017. 416 p. (In Russian)
- Ermalitsky AP, Lyaginskaya AM. Development of a modern gonad and fetus protection system in international recommendations (ICRP) and domestic radiation safety standards. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2012;57(4): 5-12. (In Russian)
- Sosnina SF, Sokolnikov ME. Inherited effects in offspring associated with harmful effects on parents (literature review). *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(3): 84-95. (In Russian)
- Lyaginskaya AM, Tukov AR, Osipov VA. Congenital malformations in the offspring of the liquidators of the consequences of the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology*. 2009;49(6): 694-702. (In Russian)
- Mintz M, Gigi A, Shohami D, Myslobodsky MS. Effect of prenatal exposure to gamma-rays on circling and activity behavior in prepubertal and postpubertal rats. *Behavioural Brain Research*. 1999;98(1): 45-51.
- Nefedov IYu, Palyga GF, Nefedova IYu. Features of ontogenesis of the offspring of both irradiated parents. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology*. 1995;35(3): 370-374. (In Russian)
- Pavlova LN, Zhavoronkov LP, Palyga GF, Kolganova OI, Glushakova VS, Chibisova OF, et al. Psychophysiological development of two generations of offspring of female rats chronically irradiated at a dose of 1 Gy during pregnancy, and the possibility of its modification using melanin. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation biology. Radioecology*. 2007;47(2): 171-180. (In Russian)
- Shtemberg AS, Kokhan VS, Kudrin VS, Matveeva MI, Lebedeva-Georgievskaya KB, Timoshenko GN, et al. The effect of high-energy protons at the Bragg peak on the behavior of rats and the exchange of monoamines in some brain structures. *Neyrokhimiya = Neurochemistry*. 2015;32(1): 78-85. (In Russian)
- Patrusheva NV, Petrushkina NP, Erokhin RA, Fedorenko EP, Chemarina DV, Serebrennikova TG. Physical development of the grandchildren of persons exposed to professional,

Viktoriya V. Panfilova

A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation

Address for correspondence: Koroleva str., 4, Obninsk, 249036, Kaluga region, Russia; E-mail: whiskas04@yandex.ru

- chronic, combined radiation exposure. *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*. 2002;13: 32-34. (In Russian)
10. Nazarova YuV. Are mental abilities genetically transmitted? Collection of articles on the results of the XI international scientific-practical conference "Innovations in science and practice." 2018: 165-168. (In Russian)
 11. Navakatikyan M.A. Methodology for the study of defensive conditioned reflexes of active avoidance. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti = Journal of Higher Nervous Activity*. 1992;42(4): 12-18. (In Russian)
 12. Panfilova VV, Kolganova OI, Zhavoronkov LP, Pavlova LN, Ivanov VL, Palyga GF. The conditioned-reflex activity of first-generation offspring from male rats exposed to acute G-radiation at a dose of 1 Gy (Message 1). *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*. 2014;23(3): 70-79. (In Russian)
 13. Vidnichuk SS. To the question of the role of heredity and environment in the development of intelligence. *Aktualnye problemy psikhologicheskogo znaniya = Actual problems of psychological knowledge*. 2018;4(49): 19-43. (In Russian)

Received: June 06, 2020

For correspondence: Viktoriya V. Panfilova – Researcher of the laboratory study of the combined effects of A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation (Koroleva str., 4, Obninsk, 249036, Kaluga region, Russia; E-mail: whiskas04@yandex.ru)

Olga I. Kolganova – Senior researcher of the laboratory study of the combined effects of A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia

Olga F. Chibisova – Researcher of the laboratory study of the combined effects of A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia

Leonid P. Zhavoronkov – Professor of science education Department of A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk, Russia

For citation: Panfilova V.V., Kolganova O.I., Chibisova O.F., Zhavoronkov L.P. The influence of learning ability of irradiated and intact rats-parents on higher brain function of their offspring. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020. Vol. 13, No. 4. P. 34-39. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-4-34-39