

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 611.813.8.018:612.65:599.323.4

doi:10.18499/2225-7357-2022-11-4-27-32

1.5.22 – клеточная биология



Функциональная морфология эпителия маточных труб крыс при воздействии хронического низкоинтенсивного γ -излучения

А. В. Павлов¹✉, О. В. Ермакова², Т. В. Кораблева¹, О. А. Фоканова¹¹Ярославский государственный медицинский университет, Ярославль, Россия²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

Аннотация. Цель исследования – изучение функциональной морфологии эпителиальной выстилки маточных труб половозрелых крыс в условиях воздействия хронического низкоинтенсивного γ -излучения.

Материал и методы. С помощью комплексной методики прижизненного микроскопического наблюдения изучена двигательная активность цилиарного аппарата. На гистологических срезах, окрашенных гематоксилином и эозином, определяли частоту основных типов эпителиальных клеток в пласте и проводили морфометрию оцифрованных изображений клеточных структур (высоты клеток, длины ресничек) эпителиальной выстилки маточных труб 16 крыс-самок Вистар, подвергнутых экспериментальному хроническому γ -облучению на протяжении 55–70 сут. (суммарные поглощенные дозы – 5 сГр и 50 сГр) и 8 контрольных животных, находившихся в условиях естественного радиационного фона.

Результаты. Эпителий маточных труб в контроле и опыте у крыс содержит три типа клеток: реснитчатые (мерцательные), секреторные и вставочные (камбиальные). По сравнению с контролем у облученных крыс средняя высота реснитчатых клеток и длина ресничек снижены соответственно на 30% и 23% при суммарной поглощенной дозе 5 сГр и на 16% и 13% соответственно – при 50 сГр ($p < 0,05$). Наряду с уменьшением размерных показателей, средняя частота биения ресничек в эксперименте оказалась на 12–14% ниже уровня интактных животных ($p < 0,05$). Анализ частот распределения реснитчатых эпителиоцитов по высоте показал возрастание частоты классов мелких реснитчатых клеток (высота 5–6,5 мкм) в 2–4,6 раза по сравнению с контролем. Наряду со снижением высоты мерцательных элементов, в опытных группах зарегистрировано уменьшение средней высоты вставочных клеток на 12–18% ($p < 0,05$), размерные характеристики секреторных клеток при этом достоверно не отличались от контроля ($p > 0,05$).

Заключение. Воздействие хронического низкоинтенсивного γ -излучения на эпителиальную выстилку маточных труб отчетливо проявляется на уровне физиологических реакций клеток. Облучение в минимальной дозе 5 сГр уже способно вызывать атрофические перестройки и дисфункцию реснитчатого эпителия. Полученные результаты свидетельствуют о высокой радиочувствительности изученных тканевых элементов и позволяют рассматривать хроническое ионизирующее излучение, как потенциальный фактор риска, нарушающий структуру и функцию эпителиальной выстилки органа.

Ключевые слова: маточные трубы, реснитчатый эпителий, цилиарный аппарат, двигательная активность, морфометрия, низкоинтенсивное γ -излучение

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Павлов А.В., Ермакова О.В., Кораблева Т.В., Фоканова О.А. Функциональная морфология эпителия маточных труб крыс при воздействии хронического низкоинтенсивного γ -излучения // Журнал анатомии и гистопатологии. 2022. Т. 11, №4. С. 27–32. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2022-11-4-27-32>

ORIGINAL ARTICLES

Original article

Morphology of the epithelium of the fallopian tubes of rats under the influence of chronic low-intensity γ -radiation

A.V. Pavlov¹✉, O.V. Ermakova², T.V. Korableva¹, O.A. Fokanova¹¹Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia²Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktывkar, Russia

Abstract. The purpose of the study was to investigate the functional morphology of the ciliary transport system of the fallopian tubes of sexually mature rats under the influence of chronic low-intensity γ -radiation.

Material and methods. Using a complex technique of intravital microscopic observation, the motor activity of the ciliary apparatus was studied. The frequency of the main types of epithelial cells in the layer was determined on histological sections stained with hematoxylin and eosin. There was also determined morphometry of digitized images of cell structures (cell height, length of cilia) of the epithelial lining of the fallopian tubes of 16

female Wistar rats subjected to experimental chronic γ -irradiation for 55–70 days (total absorbed doses – 5 cGy and 50 cGy) and 8 control animals that were under natural background radiation.

Results. The epithelium of the fallopian tubes in the control and experiment in rats contains three types of cells: ciliated, secretory and intercalary (cambial). Compared to the control of the irradiated rats the average height of ciliated cells and the length of cilia were decreased by 30% and 23%, respectively, at a total absorbed dose of 5 cGy and by 16% and 13% at 50 cGy ($p < 0,05$). Along with a decrease in size indicators the average frequency of cilia beating in the experiment was 12–14% lower than the level of intact animals ($p < 0,05$). Analysis of the frequencies of distribution of ciliated epithelial cells in height showed an increase in the frequency of classes of small ciliated cells (height 5–6,5 microns) by 2–4,6 times compared to the control. Along with a decrease in the height of ciliated elements in the experimental groups a decrease in the average height of intercalary cells by 12–18% ($p < 0,05$) was recorded, while the dimensional characteristics of secretory cells did not significantly differ from the control ($p > 0,05$).

Conclusions. The effects of chronic low-intensity γ -radiation on the epithelial lining of the fallopian tubes can be clearly manifested at the level of physiological reactions of cells; irradiation at a minimum dose of 5 cGy is already capable of causing atrophic rearrangements and dysfunction of the ciliated epithelium. The results obtained indicate a high radiosensitivity of the studied tissue elements and make it possible to consider chronic ionizing radiation as a potential risk factor disrupting the structure and function of the epithelial lining of the organ.

Key words: fallopian tubes, ciliated epithelium, ciliary apparatus, motor activity, morphometry, low-intensity γ -radiation

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interests.

For citation: Pavlov A.V., Ermakova O.V., Korableva T.V., Fokanova O.A. Morphology of the epithelium of the fallopian tubes of rats under the influence of chronic low-intensity γ -radiation // Journal of Anatomy and Histopathology. 2022. V. 11, №4. P. 27–32. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2022-11-4-27-32>

Введение

Исследование вариантов радиационно-индуцированных морфофункциональных нарушений тканевых и органных систем представляет интерес, как с точки зрения выявления их адаптивных резервов, так и для понимания их значения в общей реакции организма на хроническое радиационное воздействие низкой интенсивности. Прогнозирование возможных биологических эффектов, которые обусловлены длительным воздействием малых доз радиации на организм, вызывает необходимость поиска новых морфологических показателей, позволяющих более полно оценить степень этого воздействия в условиях техногенного загрязнения [4]. В основе реализации транспортной функции маточных труб (МТ) лежит скоординированная работа цилиарного транспорта (мерцательных и секреторных клеток) и перистальтических сокращений гладкой мускулатуры. Функция цилиарной транспортной системы характеризуется высокой чувствительностью к различным химическим и гормональным факторам, под воздействием которых может происходить нарушение биения ресничек эпителиоцитов, изменение их морфометрических параметров, а также вязкости и объема секрета желез [15,17].

В литературе имеются единичные наблюдения, свидетельствующие о радиочувствительности цилиарного аппарата реснитчатых эпителиоцитов к непродолжительному (до 2,5 ч) воздействию ионизирующего излучения не только в высоких (1–10 Гр) [8, 10], но и в низких (менее 0,2 Гр) дозах [5, 6, 14], а также в условиях низкоинтенсивного γ -излучения [3]. Эпителиальная выстилка МТ в этом плане продолжает оставаться наименее исследованным объектом.

Цель исследования – изучение функциональной морфологии эпителиальной вы-

стилки маточных труб половозрелых крыс в условиях воздействия хронического низкоинтенсивного γ -излучения.

Материал и методы исследования

Эксперименты по изучению двигательной активности цилиарного аппарата (ДАЦА) эпителиальной выстилки МТ и структурных параметров эпителиоцитов были выполнены на 24 крысах-самках линии Вистар массой 200–250 г (<http://www.ckp-rf.ru/usu/471933/>), которые были разделены на 3 равные группы: контрольную и две опытных (№№ 1 и 2). Моделирование хронического облучения проводилось по стандартной методике [4] в условиях специализированного вивария. Источником γ -излучения служили разнесенные на расстояние 2,5 м две ампулы со стальной оболочкой, содержащие $0,474 \times 10^6$ и $0,451 \times 10^6$ кБк²²⁶Ra. Животные помещались в зону воздействия излучения (по 8 в каждой опытной группе) круглосуточно с перерывами на кормление и уборку помещения. Контрольная группа крыс ($n=8$) содержалась при естественном радиационном фоне в условиях строго идентичных с подопытными. Дозовая нагрузка на организм определялась мощностью экспозиционной дозы и сроками содержания в условиях облучения; измерения проводили радиометром ДРГ-01Т1 (НПП «Доза», Россия). В опытной группе №1 ($n=8$) мощность поглощенной дозы составила 35–40 мкГр/ч, продолжительность экспозиции – 70 суток. В опытной группе №2 ($n=8$) мощность поглощенной дозы – 350–400 мкГр/ч, продолжительность экспозиции – 55 сут.

ДАЦА эпителия определяли прижизненно на фрагментах ампулярных отделов МТ, извлеченных из наркотизированных животных (уретановый наркоз, 1000 мг/кг, внутривенно) [7]. Для измерений

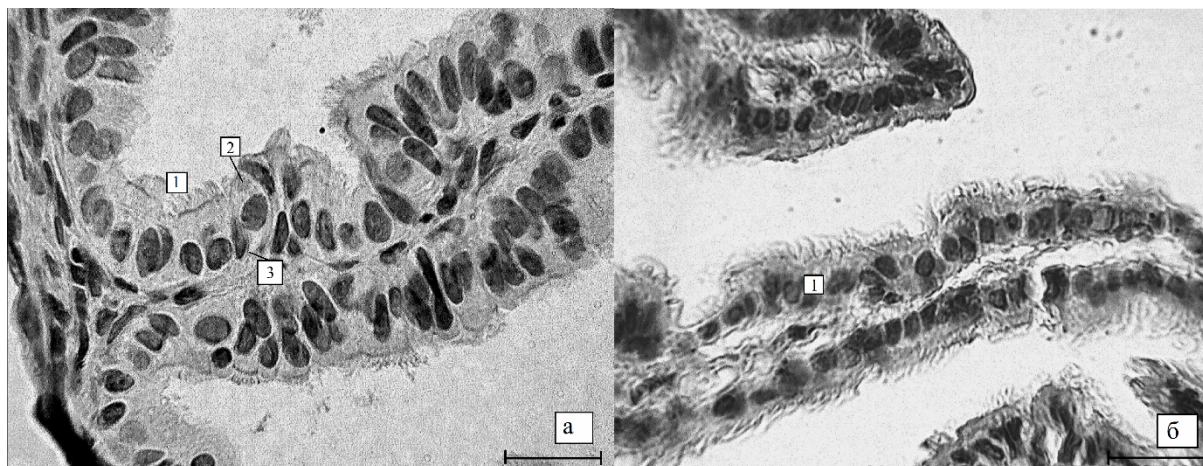


Рис. 1. Строение эпителиальной выстилки ампулярной части маточной трубы в контроле (а) и при воздействии низкоинтенсивного γ -облучения (б, поглощенная доза 5 сГр). Обозначения: 1 – реснитчатые, 2 – секреторные, 3 – вставочные эпителиоциты. Окраска гематоксилином и эозином, об.100. Масштабный отрезок – 10 мкм.

частоты биения ресничек использована методика прямой видеорегистрации на программно-аппаратном комплексе НПО «Азимут» (Россия), включающем микроскоп Биомед-2 с термостатом, высокочастотную цифровую видеокамеру Sony XCD-U100 и персональный компьютер с установленным специализированным программным обеспечением (MOSFRO, v.3). Электронный блок термостатирования обеспечивает в процессе микроскопии поддержание стабильной температуры $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ биоптата, помещаемого в питательную среду «Игла MEM для культур клеток», высокочастотная камера позволяет проводить черно-белую запись изображения до 80 кадров в секунду при различных увеличениях (объективы 40 и 100, ширина участка захвата – 250 и 15 мкм соответственно).

Для гистологического и морфометрического исследования фрагменты МТ фиксировали в растворе Буэна и заливали в парафин, срезы толщиной 3–4 мкм окрашивали гематоксилином и эозином.

Частоту основных типов эпителиальных клеток в пласте определяли в процентах на основании подсчета 1000 эпителиоцитов у животного. Морфометрию оцифрованных изображений микроскопических объектов и клеточных структур (высоты клеток, длины ресничек) проводили с помощью программы компьютерного анализа изображений UTSCSA ImageJ Tool for Windows (version 3.0) микрофотографий (об. 40, ок. 10), измеряли по 200 клеток от каждого животного.

Все эксперименты проведены в соответствии с отечественными нормативами и современными международными биоэтическими стандартами по работе с лабораторными животными (заключение этического комитета ФГБОУ ВО ЯГМУ Минздрава России, протокол № 4 от 18.10.2016 г.). Животных выводили из эксперимента путем декапитации в диапазоне 7–15 сут. после окончания облучения в межтечковом периоде (диэструс). Для опре-

деления фаз эстрального цикла у крыс перед взятием материала ежедневно брали влагалищные мазки для цитологического исследования, окрашиваемые по РAPIHEM (Рапигем) [2].

Цифровой материал обрабатывали с помощью пакетов прикладных программ Microsoft Office Excel (2010) и Statistica 8.0. Распределение значения переменных в вариационных рядах первичных данных оценивали с помощью критерия Колмагорова–Смирнова, преобладало нормальное распределение. Поэтому проверку статистических гипотез проводили с помощью параметрических методов (t-критерия Стьюдента). Данные представлены как среднееарифметическое значение и ошибка среднего ($M \pm m$). Различия считали статистически значимыми при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

В эпителиальной выстилке МТ контрольных и опытных крыс присутствуют три типа клеток: реснитчатые (мерцательные), секреторные и вставочные (камбиальные) (рис. 1). При гистологическом изучении структуры МТ опытных групп морфологических признаков развития альтеративных изменений не зарегистрировано.

Результаты морфометрического анализа популяции эпителиоцитов и изучения двигательной активности цилиарного аппарата реснитчатых клеток обобщены в таблице 1.

Хроническое низкоинтенсивное γ -излучение не оказывало значимого влияния на частоту встречаемости реснитчатых и вставочных клеток в пласте ($p > 0,05$), при этом содержание секреторных элементов в условиях эксперимента уменьшалось. При суммарной поглощенной дозе 5 сГр средняя высота реснитчатых клеток и длина ресничек по сравнению с контролем были снижены на 30% и 23% соответственно, а при дозе

Таблица 1

Морфометрические показатели эпителиальной выстилки маточных труб в контроле и эксперименте ($M \pm m$)

Изучаемые показатели	Серия экспериментов (суммарная поглощенная доза)		
	Контроль (n=8)	Группа №1, 5 сГр (n=8)	Группа №2, 50 сГр (n=8)
Реснитчатые эпителиоциты			
Содержание в пласте, (%)	85,1±0,8	86,8±0,5	85,9±0,6
Высота (мкм)	9,1±0,4	6,4±0,2*	7,6±0,2*
Длина ресничек (мкм)	3,0±0,2	2,3±0,1*	2,6±0,3
Частота биения ресничек, (Гц)	18,2±0,5	15,6±0,3*	16,1±0,3*
Вставочные эпителиоциты			
Содержание в пласте, (%)	12,9±0,2	12,2±0,3	13,5±0,2
Высота (мкм)	5,9±0,4	4,2±0,2*	4,6±0,3*
Секреторные эпителиоциты			
Содержание в пласте, (%)	2,0±0,2	1,0±0,2*	0,7±0,1*
Высота (мкм)	7,4±0,3	6,4±0,6	6,5±0,6

Примечание: * – различия статистически значимы по сравнению с контролем при $p < 0,05$.

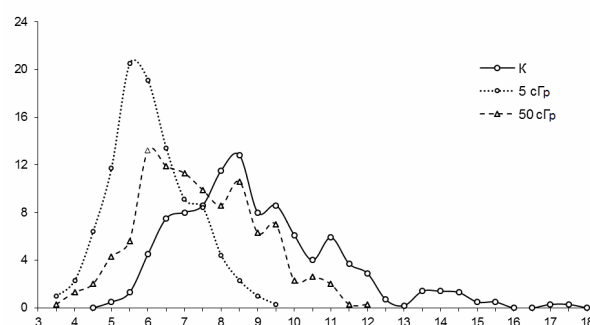


Рис. 2. Распределение реснитчатых эпителиоцитов разной высоты в контроле и при облучении в дозах 5 сГр и 50 сГр. По оси абсцисс – высота клеток (мкм), по оси ординат – частота встречаемости (%).

50 сГр – на 16% и 13% соответственно ($p < 0,05$). Наряду с уменьшением размерных показателей, средняя частота биения ресничек в эксперименте оказалась на 12–14% ниже, чем у интактных животных ($p < 0,05$).

Анализ частот распределения реснитчатых эпителиоцитов показал (рис. 2), что у контрольных животных преобладали (48%) клетки высотой 7,5–9,5 мкм. У животных опытной группы №1 (5 сГр) доля клеток этого размерного класса снижалась до 16,5% и одновременно в 4,6 раза возрастала частота встречаемости более мелких реснитчатых клеток высотой 5–6,5 мкм; последние преобладали в популяции (64,5%). Снижение средней высоты эпителиоцитов у животных опытной группы №2 (50 сГр) обусловлено также смещением распределения в сторону более низких (5,5–7 мкм) клеток (с 21,4% в контроле до 42% в опыте).

Наряду со снижением высоты мерцательных элементов, в опытных группах зарегистрировано уменьшение средней высоты вставочных клеток на 12–18% ($p < 0,05$), размерные характеристики секреторных клеток при этом достоверно не отличались от контроля ($p > 0,05$).

Результаты экспериментов свидетельствуют, что низкоинтенсивное хроническое γ -излучение оказывает угнетающее влияние на размерные характеристики всех популяций клеток эпителиальной выстилки МТ. Наиболее радиочувствительными оказались реснитчатые эпителиоциты, что проявилось в увеличении доли субпопуляции мелких клеток, уменьшении длины ресничек и снижении двигательной активности цилиарного аппарата; при этом вышеописанные эффекты при минимальной поглощенной дозе 5 сГр оказались наиболее выраженными.

Полученные данные коррелируют с данными Ю.И. Ивановского [5], который при кратковременном низкоинтенсивном γ -облучении обнаружил снижение двигательной активности ресничек эпителиоцитов и нарушение синхронизации биения у разных видов, а также с результатами наших более ранних экспериментов по изучению влияния низкоинтенсивного хронического γ -излучения на мерцательный эпителий трахеи и МТ [3].

В основе описанного феномена радиоиндуцированной дисфункции мерцательного аппарата МТ может лежать сочетание прямого воздействия низкоинтенсивного γ -излучения на мембранные структуры цилиарного аппарата с опосредованными эффектами радиации на эндокринную функцию женской половой системы.

В пользу первого механизма свидетельствует сходный характер клеточных реакций на малые дозы излучения мерцательного аппарата эпителиев разной локализации у разных видов – выстилки трахеи у млекопитающих, жаберного эпителия у мидий [5]. Данный эффект может реализоваться как через универсальные механизмы, приводящие к нарушению активности мерцательного аппарата [11, 9, 17] так и прямому воздействию γ -излучения на моторные белки ресничек [5, 17,] и их ультраструктуру [8].

Наряду с этим, эпителиальная выстилка МТ характеризуется отчетливой

гормональной чувствительностью: прогестерон и его синтетические аналоги в опытах *in vivo* и *in vitro* угнетают двигательную активность цилиарного аппарата предположительно за счет активации рецепторов TRPV4, приводящих к изменению проницаемости ионных каналов и нарушению доставки Ca^{2+} к системе микротрубочек [12, 13]; данный механизм может приводить к нарушению транспорта эмбрионов и развитию трубной беременности. Угнетающим влиянием на ДАЦА также обладают антагонисты рецепторов эстрадиола, важнейшими точками контроля частоты биения ресничек являются сигналы через рецепторы к эстрадиолу и прогестерону [16].

В пользу возможности влияния длительного ионизирующего излучения на состояние выстилки МТ через нарушенные механизмы эндокринной регуляции женской половой системы свидетельствуют наблюдения Ю.А. Антоновой [1]. Автором показано, что у женщин, подвергнутых хроническому воздействию малых доз радиации в условиях проживания на зараженных территориях после аварии на ЧАЭС, обнаруживаются дозозависимые нарушения метаболизма прогестерона и эстрогенов, в том числе снижение уровня эстрадиола и повышение уровня прогестерона в фолликулярную (преовуляторную) фазу менструального цикла. В хронических экспериментах на крысах, получавших перорально радиоизотоп ^{137}Cs , выявлено удлинение фаз диэструс и метаэструс и развитие атрофических изменений в стенке матки.

Заключение

Воздействие хронического низкоинтенсивного γ -излучения на эпителиальную выстилку маточных труб может отчетливо проявляться на уровне физиологических реакций клеток. Облучение в минимальной суммарной поглощенной дозе 5 сГр уже способно вызывать появление признаков атрофических перестроек и дисфункции реснитчатого эпителия. Количественные параметры выраженности последних сохраняются на уровне минимальной дозы и при десятикратном ее увеличении (50 сГр). Полученные результаты свидетельствуют о высокой радиочувствительности изученных тканевых элементов и позволяют рассматривать хроническое ионизирующее излучение как потенциальный фактор риска, нарушающий структуру и функцию эпителиальной выстилки органа.

Список источников / References

1. Бандажевский Ю.И., Антонова Ю.В. Состояние репродуктивной системы женского организма в условиях воздействия радионуклеидов. Клинико-экспериментальные аспекты влияния инкорпорированных радионуклеидов на организм. Гомель. 1995;2:24–34 [Bandazhevskii YuI, Antonova YuV. Sostoyanie reproduktivnoi sistemy zhenskogo organizma v usloviyakh vozdeystviya radionukleidov. Kliniko-eksperimental'nye aspekty vliyaniya inkorporirovannykh radionukleidov na organizm. Gomel'. 1995;2:24–34] (in Russian).
2. Владимирская Т.Э., Швед И.А., Криворот С.Г., Веялкина Н.Н. Определение фаз эстрального цикла белых крыс по клеточному составу влагалищных мазков. Вестни Нацынальнай Акадэміі Навук Беларусі. Серыя Біялагічных навук. 2011;4:88–91 [Vladimirskaya TE, Shved IA, Kryvorot SG, Veyalkina NN, Adamovich AV. Determination of the Estrous Cycle Phases of White Rats According to Cellular Makeup of Vaginal Smears. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series. 2011;4:88–91] (in Russian). EDN: ZRZSYF
3. Ермакова О.В., Павлов А.В., Есев Л.И., Кораблева Т.В. Двигательная активность цилиарного аппарата реснитчатого эпителия трахеи и маточных труб при воздействии хронического низкоинтенсивного γ -излучения. Морфология. 2014;146(6):77–9 [Yermakova OV, Pavlov AV, Yesev LI, Korablyova TV. Motor Activity of the Ciliary Apparatus of the Ciliated Epithelium of the Trachea and the Uterine Tubes after Exposure to Chronic Low-Level γ -radiation. Morphology. 2014;146(6):77–9] (in Russian). EDN: SUEIMH
4. Ермакова О.В., Павлов А.В., Кораблева Т.В. Цитогенетические эффекты в фолликулярном эпителии при длительном воздействии низкоинтенсивного гамма-излучения. Радиационная биология. Радиоэкология, 2008;48(2):160–6 [Ermakova OV, Pavlov AV, Korableva TV. Cytogenetic Effects in Follicular Epithelium of Thyroid Gland under Prolonged Exposure to γ -Radiation at Low-Doses. Radiation Biology. Radioecology. 2008;48(2):160–6] (in Russian). EDN: IJMTVP
5. Ивановский Ю.А. Эффект радиационной стимуляции при действии больших и малых доз ионизирующего облучения. Автореф. дис. докт. мед. наук. Владивосток: 2006 [Ivanovskii YuA. Effekt radiatsionnoi stimulyatsii pri deistvii bol'shikh i mal'kh doz ioniziruyushchego oblucheniya. Avtoref. dis. dokt. med. nauk. Vladivostok: 2006] (in Russian).
6. Карпенко А.А., Ивановский Ю.А. Мерцательный эпителий трахеи крыс чувствителен к γ -облучению в сверхмалых дозах. Радиобиология. 1992;32(5):701–5 [Karpenko AA, Ivanovskij YuA. Ciliated Epithelium of Rat Trachea Is Sensitive To Gamma-Irradiation with Very Low Doses. Radiobiology. 1992;32(5):701–5] (in Russian). EDN: KSPFOH
7. Павлов А.В., Кораблева Т.В., Есев Л.И., Фоканова О.А., Лукашевич Ю.А. Методические подходы к экспериментальному изучению гистофизиологии мукоцилиарной транспортной системы маточных труб. Морфология. 2019;155(1):60–5 [Pavlov AV, Korablyova TV, Yesev LI, Fokanova OA, Lukashevich YuA. Methodical Approaches to Experimental Study of Histophysiology of Mucociliary Transport System in the Uterine Tubes. Morphology. 2019;155(1):60–5] (in Russian). EDN: ZNDOXL
8. Albertsson M, Baldetorp B, Håkansson CH, von Mecklenburg C. The effects of 10 Gy single-dose irradiation on the ciliated epithelium measured

- during and one-to-ten days following irradiation. A comparative physiological and morphological study. *Scan Electron Microsc.* 1984;(Pt 2):813–24.
9. Bailey KL, Bonasera SJ, Wilderdyke M, Hanisch BW, Pavlik JA, DeVasure J, et al. Aging causes a slowing in ciliary beat frequency, mediated by PKC ϵ . *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology.* 2014 Mar 15;306(6):L584–9. doi: 10.1152/ajplung.00175.2013
 10. Baldetorp B, Baldetorp L. Effect of Repeat Irradiation on the Tracheal Ciliary Cell Activity. *Acta Radiologica: Oncology.* 1985 Jan;24(4):369–73. doi: 10.3109/02841868509136067
 11. Braiman A, Priel Z. Efficient mucociliary transport relies on efficient regulation of ciliary beating. *Respiratory Physiology & Neurobiology.* 2008 Nov;163(1-3):202–7. doi: 10.1016/j.resp.2008.05.010
 12. Li C, Zhang H-Y, Liang Y, Xia W, Zhu Q, Zhang D, et al. Effects of Levonorgestrel and progesterone on Oviductal physiology in mammals. *Reproductive Biology and Endocrinology.* 2018 Jun 20;16(1). doi: 10.1186/s12958-018-0377-3
 13. Li C, Wu Y, Zhu Q, Zhang H, Huang Z, Zhang D, et al. TRPV4 is involved in levonorgestrel-induced reduction in oviduct ciliary beating. *The Journal of Pathology.* 2019 Mar 5;248(1):77–87. doi: 10.1002/path.5233
 14. Karpenko AA, Ivanovsky YuA. Effect of Very Low Doses of γ Radiation on Motility of Gill Ciliated Epithelia of *Mytilus edulis*. *Radiation Research.* 1993 Jan;133(1):106–110. doi: 10.2307/3578264
 15. Leopold PL, O'Mahony MJ, Lian XJ, Tilley AE, Harvey B-G, Crystal RG. Smoking Is Associated with Shortened Airway Cilia. *Feghali-Bostwick C, editor. PLoS ONE.* 2009 Dec 16;4(12):e8157. doi: 10.1371/journal.pone.0008157
 16. Nishimura A, Sakuma K, Shimamoto C, Ito S, Nakano T, Daikoku E, et al. Ciliary beat frequency controlled by oestradiol and progesterone during ovarian cycle in guinea-pig Fallopian tube. *Experimental Physiology.* 2010 Jun 15;95(7):819–28. doi: 10.1113/expphysiol.2010.052555
 17. Salathe M. Regulation of Mammalian Ciliary Beating. *Annual Review of Physiology.* 2007 Mar;69(1):401–22. doi: 10.1146/annurev.physiol.69.040705.141253

Информация об авторах

✉ Павлов Алексей Владимирович – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой гистологии, цитологии и эмбриологии Ярославского государственного медицинского университета; ул. Революционная, 5, Ярославль, 150000, Россия; pavlov@ysmu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8227-9997>
 Ермакова Ольга Владимировна – д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник; ermakova@ib.komisc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0186-0569>
 Кorableва Татьяна Владимировна – канд. мед. наук, доцент; korablevat@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2479-2036>
 Фоканова Ольга Анатольевна – канд. мед. наук, доцент; oafokanova-76@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5387-4287>

Information about the authors

✉ Aleksei V. Pavlov – Doct. Med. Sci., Prof., head of histology, cytology and embryology department of Yaroslavl State Medical University; ul. Revolyutsionnaya, 5, Yaroslavl, 150000, Russia; pavlov@ysmu.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8227-9997>
 Ol'ga V. Ermakova – Doct. Biol. Sci., leading researcher; ermakova@ib.komisc.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0186-0569>
 Tat'yana V. Korableva – Cand. Med. Sci., Assoc. Prof.; korablevat@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2479-2036>
 Ol'ga A. Fokanova – Cand. Med. Sci., Assoc. Prof.; oafokanova-76@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5387-4287>

Статья поступила в редакцию 24.03.2022; одобрена после рецензирования 10.06.2022; принята к публикации 15.12.2022.
 The article was submitted 24.03.2022; approved after reviewing 10.06.2022; accepted for publication 15.12.2022.