



## Влияние внутреннего облучения на дыхательную активность тканевых фрагментов тонкого кишечника крыс

Н. С. Мышковец, Е. М. Белоус, О. С. Логвинович, А. В. Литвинчук,  
А. Н. Коваль, Л. Н. Алексейко

*Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Беларусь*

### Резюме

**Цель исследования.** Оценить дыхательную активность тканевых фрагментов тонкого кишечника крыс на эндогенных и экзогенных субстратах в условиях внутреннего облучения.

**Материалы и методы.** В работе использовались 16 белых крыс-самцов массой 180–250 г. Радиоактивный корм животные опытной группы получали в течение 30 дней, контрольная группа содержалась на стандартном рационе вивария. Параметры энергетического обмена исследовали методом полярографии на устройстве Record 4.

**Результаты.** Установлено снижение на 32 % показателя эндогенного дыхания ткани тонкого кишечника крыс опытной группы в условиях внутреннего облучения. Янтарная и глутаминовая кислоты оказали стимулирующее действие на митохондриальное окисление ткани интактных животных, в опытной группе данный эффект не наблюдался. Динитрофенол не показал разобщающего эффекта на окислительное фосфорилирование в опытной группе. В контрольной группе наблюдалось разобщение под действием динитрофенола, и интенсивность дыхания возрастала.

**Заключение.** Исследование влияния внутреннего облучения на дыхательную активность тканевых фрагментов тонкого кишечника крыс в дозах, реально возможных у населения, показало высокую чувствительность системы митохондриального окисления и значимые изменения соотношения окисляющихся субстратов под действием инкорпорированного <sup>137</sup>Cs. Проведенное исследование показало, что выбранный метод позволяет определить негативное влияние внутреннего облучения на энергетическую функцию тонкого кишечника.

Своевременное выявление нарушений энергетического обмена ткани кишечника позволит оптимизировать лечение кишечных патологий, разработать меры профилактики развития деструктивных процессов при использовании радиотерапии органов брюшной полости.

**Ключевые слова:** *тонкий кишечник, крысы, тканевое дыхание, внутреннее облучение, <sup>137</sup>Cs*

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочитали и одобрили финальную версию для публикации.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Источники финансирования.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Мышковец НС, Белоус ЕМ, Логвинович ОС, Литвинчук АВ, Коваль АН, Алексейко ЛН. Влияние внутреннего облучения на дыхательную активность тканевых фрагментов тонкого кишечника крыс. *Проблемы здоровья и экологии.* 2025;22(1):72–79. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2025-22-1-09>

## Internal irradiation effect on respiratory activity of tissue fragments of rat small intestine

Nadeja S. Myshkavets, Ekaterina M. Belous, Olga S. Logvinovich,  
Alexandra V. Litvinchuk, Alexander N. Koval, Leonid N. Alekseyko

*Gomel State Medical University, Gomel, Belarus*

### Abstract

**Objective.** To evaluate the respiratory activity of tissue fragments of the small intestine of rats on endogenous and exogenous substrates under conditions of internal irradiation.

**Materials and methods.** The study involved 16 white male rats weighing 180-250 grams. The experimental group of animals received radioactive feed for 30 days, the control group was kept on a standard vivarium diet. The parameters of energy metabolism were studied by polarography on a Record 4.

**Results.** A decrease in tissue respiration indices of the small intestine of rats under conditions of internal irradiation with the incorporation of <sup>137</sup>Cs by 32% of the control group was established. Succinic and glutamic acids had

a stimulating effect on mitochondrial oxidation of the tissue of intact and experimental animals. Dinitrophenol did not show an uncoupling effect on oxidative phosphorylation in the experimental group. Incoupling was observed under the action of dinitrophenol and the intensity of respiration increased in the control group.

**Conclusion.** The study of the internal irradiation effect on the respiratory activity of tissue fragments of the small intestine of rats in doses actually possible in the population showed high sensitivity of the mitochondrial oxidation system and significant changes in the ratio of oxidized substrates under the influence of incorporated  $^{137}\text{Cs}$ . The study showed that the chosen method allows determining the negative impact of internal irradiation on the energy function of the small intestine. Timely detection of disturbances in the energy metabolism of intestinal tissue will optimize the treatment of intestinal pathologies, work out measures to prevent development of destructive processes when using radiotherapy of abdominal organs.

**Keywords:** *small intestine, rats, tissue respiration, internal irradiation,  $^{137}\text{Cs}$*

**Author contributions.** All authors made a significant contribution to the search and analytical work and preparation of the article, read and approved the final version for publication.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Funding.** The study was conducted without sponsorship.

**For citation:** *Myshkavets NS, Belous EM, Logvinovich OS, Litvinchuk AV, Koval AN, Alekseyko LN. Internal irradiation effect on respiratory activity of tissue fragments of rat small intestine. Health and Ecology Issues. 2025;22(1):72–79. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2025-22-1-09>*

## Введение

Главным дозообразующим элементом для населения, пострадавшего от аварии на Чернобыльской атомной электростанции, рассматривают радиоактивный цезий ( $^{137}\text{Cs}$ ). В настоящее время вследствие ядерных испытаний и радиационных аварий данный изотоп повсеместно обнаруживают в организме разных животных и у человека [1].

Попадая в организм,  $^{137}\text{Cs}$  полностью всасывается и распределяется по разным органам и тканям, формируя внутреннее облучение. Показано, что данный изотоп активнее всего накапливается в миокарде, мышцах, поджелудочной железе, печени [2], т. е. в тканях с активным аэробным метаболизмом. Выводимый через кишечник  $^{137}\text{Cs}$  в значительной мере может подвергаться реабсорбции. В ряде исследований указывается на существенные изменения в биоэнергетике аэробных тканей в разные сроки после облучения [3, 4]. Отмечается общая закономерность нарушения тканевого дыхания, в том числе факт разобщения окисления и фосфорилирования в исследуемых тканях. Возможно, что инкорпорация  $^{137}\text{Cs}$  как антагониста калия в митохондриях вызывает нарушения в работе электрон-транспортной цепи, способствуя разобщению окисления и фосфорилирования. Результатом разобщения являются низкоэнергетические состояния тканей, которые могут стать причиной полиорганной недостаточности с определенной клинической симптоматикой.

Разобщение окислительного фосфорилирования приводит к истощению клеточных уровней аденозинтрифосфорной кислоты с потерей целостности межклеточных соединений в желудочно-кишечном тракте (что приводит к повышенной проницаемости слизистой оболочки) и, в конечном итоге, к апоптозу и гибели клеток [5].

Слизистая оболочка тонкого кишечника — активно пролиферирующая ткань с высокой скоростью обменных процессов и, следовательно, с максимальной чувствительностью к различным стрессовым факторам как внешнего, так и внутреннего генезиса: дистресс (по Селье), гипотермия, ионизирующее излучение, состав микробиома [4, 6–9]. По критерию энергообеспечения для слизистой оболочки тонкого кишечника уже описаны изменения уровня эндогенного дыхания в различные сроки после облучения, дана оценка антиокислительной активности препаратов кишечника [4].

Представляет интерес исследование дыхательной активности тканевых фрагментов тонкого кишечника крыс в условиях внутреннего облучения при инкорпорации  $^{137}\text{Cs}$  в дозах, реально возможных у населения и не вызывающих видимых морфологических и функциональных нарушений в исследуемой ткани.

## Цель исследования

Оценить дыхательную активность тканевых фрагментов тонкого кишечника крыс на эндогенных и экзогенных субстратах в условиях внутреннего облучения.

## Материалы и методы

В работе использовались 16 белых крыс-самцов массой 180–250 г. Выбор животных для экспериментальной модели связан с тем, что крысы — всеядные животные, физически активные, обладающие интенсивным метаболизмом и газообменом, что позволяет всесторонне изучить особенности энергетического обмена ткани кишечника при различных воздействиях, в том числе в условиях радиационных нагрузок от инкорпорированных радионуклидов [10]. Контрольные и экспериментальные животные содержались

в стандартных клетках по 4–5 голов, на обычном рационе вивария, имея свободный доступ к пище и воде [11]. Животных опытной группы в течение месяца кормили радиоактивным кормом: сушеными белыми грибами с активностью  $^{137}\text{Cs}$  39 кБк/кг и мясом дикого кабана с активностью 600 кБк/кг. По истечении срока вскармливания уровень инкорпорации  $^{137}\text{Cs}$  у опытной группы крыс достиг 1300–1500 Бк/кг. Контрольная группа животных получала соответствующий «чистый» рацион. Дозиметрический контроль осуществлялся на сцинтилляционном гамма-спектрометре LP 4900В (Финляндия).

Животных контрольной и опытной группы по 8 особей в каждой выводили из эксперимента путем мгновенной декапитации. При проведении экспериментов были соблюдены требования, регламентированные международными рекомендациями и правилами Директивы 2010/63/EU Европейского Парламента и Совета Европейского Союза по охране животных, используемых в научных целях, от 22 сентября 2010 г.

После декапитации часть тонкого кишечника изолировали, промывали в охлажденном физиологическом растворе, выворачивали «наизнанку», освобождали от соединительных элементов и пищевых частиц, помещали в раствор Хэнкса. Из двенадцатиперстной кишки нарезали кольцевые фрагменты длиной 2–3 мм. Все операции проводились при температуре 0–2 °С в течение не более 5 мин. Параметры энергетического обмена исследовали методом полярографии на Record 4 (Пушино, Российская Федерация) платиновым электродом Кларка в ячейке объемом 2 мл при 25 °С. В этих условиях исходное количество кислорода, растворенного в заданном объеме ячейки, равнялось 250 нМ/мл [12]. Скорость поглощения кислорода тканью выражали в ммоль  $\text{O}_2$ /мин на мг белка. Определение белка в пробах тонкого кишечника проводили биуретовым методом в 0,5 мл гомогената использованной ткани.

Состояние энергетического обмена фрагментов ткани кишечника характеризовали по таким параметрам, как скорость потребления кислорода на эндогенных субстратах ( $V_{\text{энд}}$ ), используя экзогенные субстраты дыхания — янтарную кислоту ( $V_{\text{як}}$ , 10 ммоль) и глутамат ( $V_{\text{глу}}$ , 10 ммоль), а также применяя разобщитель окислительного фосфорилирования — 2,4-динитрофенол ( $V_{\text{днф}}$ , 100 мкмоль).

Степень возрастания потребления кислорода тканью после добавления разобщителя служит показателем сопряжения дыхания и фосфорилирования. Также рассчитывали ряд относительных показателей — коэффициенты стимулирующего действия (СД) для каждого субстрата ( $\text{СД}_{\text{як}} = V_{\text{як}}/V_{\text{энд}}$ ;  $\text{СД}_{\text{глу}} = V_{\text{глу}}/V_{\text{энд}}$ ) и разобщителя ( $\text{СД}_{\text{днф}} = V_{\text{днф}}/V_{\text{энд}}$ ).

Выбранные параметры характеризуют не только скорость дыхания на эндогенных субстратах, но и количественное и качественное их соотношение, активность соответствующих дегидрогеназ (сукцинатдегидрогеназы и глутаматдегидрогеназы), состояние транспортных процессов, степень сопряжения тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования.

Полученные в результате эксперимента данные были обработаны статистически с использованием программы Statistica, 7.0. Данные представлены в виде медианы и квартилей (Q1; Q3). Наличие статистически значимых отличий между группами оценивали с помощью критерия Манна – Уитни. Различия признавались значимыми при  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

Фрагменты тканей кишечника и тканевые срезы являются наиболее предпочтительными объектами исследования тканевого дыхания, чем изолированные клетки или выделенные митохондрии, поскольку имеют необходимый запас эндогенных субстратов, аденозиндифосфата и фосфата для обеспечения высокой дыхательной активности. Кроме того, клеточная популяция тонкого кишечника является гетерогенной, что обусловлено разнообразием клеток, выполняющих различные функции и, следовательно, имеющих разную энергетическую потребность и уровень тканевого дыхания. Известно, что энтероциты преимущественно используют аэробный тип метаболизма, но их энергетические потребности и метаболическая активность адаптированы к условиям кишечника. Так, в области крипты уровень кислорода ниже и преобладает анаэробное окисление субстратов, тогда как на вершине ворсинки метаболизм преимущественно аэробный ввиду лучшего доступа кислорода. Использование тканевых фрагментов тонкого кишечника позволяет сохранять целостность ткани, микроокружение, межклеточные взаимодействия, разность энергетического обеспечения клеток на разных стадиях их созревания — от крипты к ворсинке. Следовательно, полученные в данных условиях экспериментальные результаты по изучению уровня тканевого дыхания можно экстраполировать на целый орган в отличие от результатов, полученных на изолированных клетках или митохондриях.

Статистический анализ изучаемых параметров не выявил достоверно значимых отличий между контрольной и опытной группами: уровень значимости по изучаемым показателям выше 0,05 и находится в интервале  $p = 0,06–0,08$ . Показатель эндогенного дыхания тканевых фрагментов тонкого кишечника интактных животных

составил 8,09 (6,75; 10,74) нмоль  $O_2$ /мин на мг белка. Уровень эндогенного дыхания ткани кишечника животных опытной группы представлен на рисунке 1 и равен 5,54 (4,83; 6,76) нмоль  $O_2$ /мин на мг белка. Выявлена тенденция к снижению дыхательной активности фрагментов ткани кишечника при инкорпорации радионуклида,

что указывает на негативное влияние  $^{137}Cs$  на энергетическую функцию митохондрий кишечной слизистой, связанное, возможно, с возникновением в них дефицита собственных энергетических субстратов и снижением эффективности работы электрон-транспортной цепи.

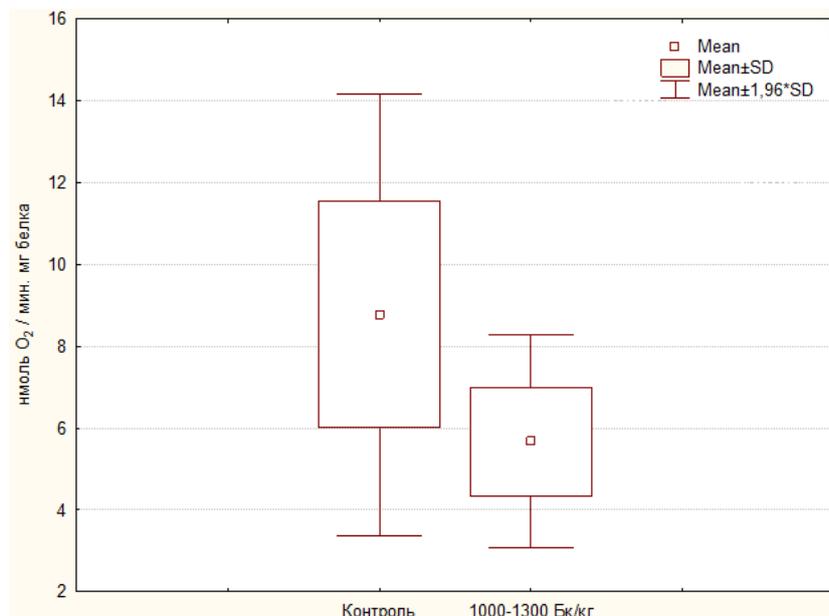


Рисунок 1. Уровень эндогенного дыхания  
Figure 1. The level of endogenous respiration

Снижение скорости поглощения кислорода тканью тонкого кишечника в опытной группе показано также и на экзогенных субстратах мито-

хондриального окисления (янтарная и глутаминовая кислоты) (рисунки 2 и 3).

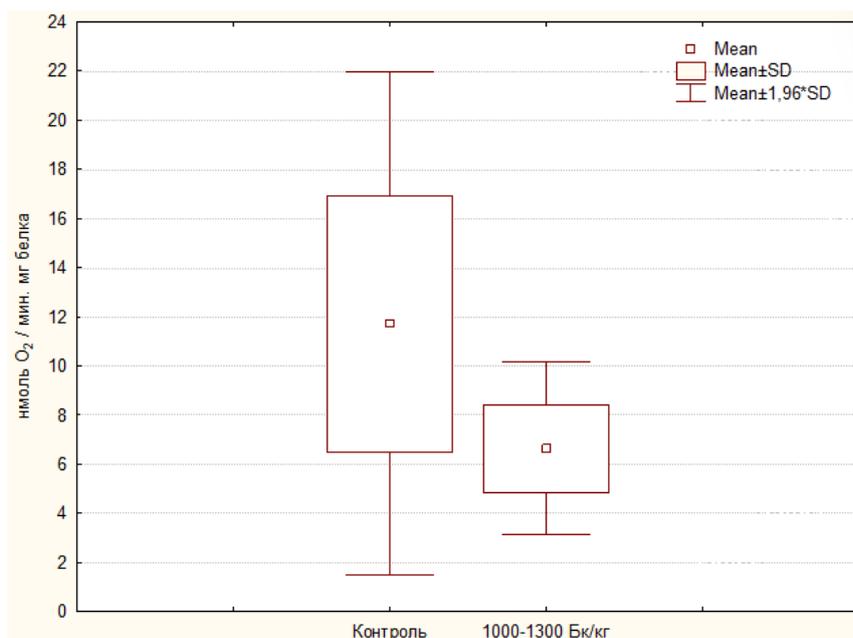


Рисунок 2. Уровень дыхания на экзогенном субстрате (янтарная кислота)  
Figure 2. Respiration level on an exogenous substrate (succinic acid)

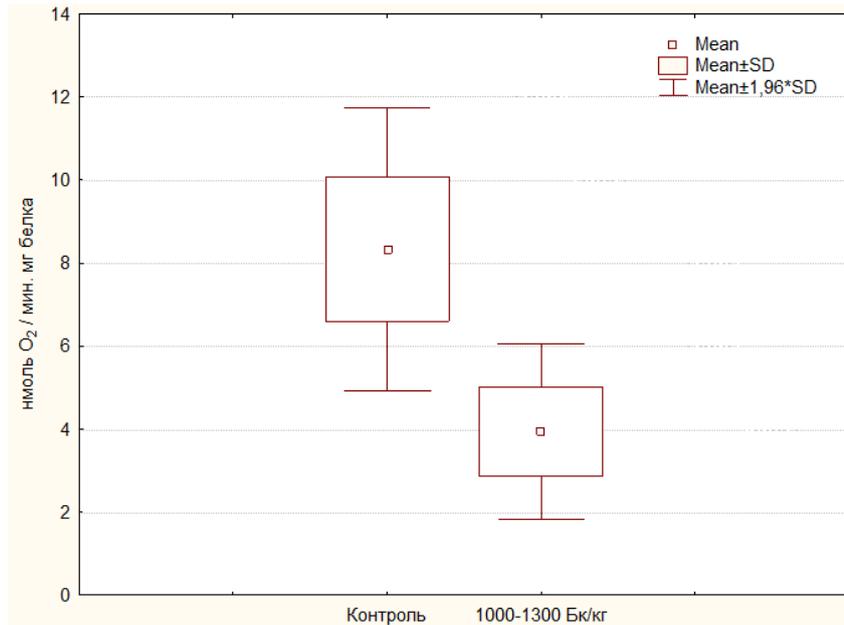


Рисунок 3. Уровень дыхания на экзогенном субстрате (глутаминовая кислота)  
Figure 3. Respiration level on an exogenous substrate (glutamic acid)

В контрольной группе при введении в полярографическую ячейку янтарной и глутаминовой кислот интенсивность митохондриального окисления достаточно высокая, значения составили 10,46 (7,77; 16,33) нмоль  $O_2$ /мин на мг белка для янтарной кислоты и 9,11 (7,69; 9,52) нмоль  $O_2$ /мин на мг белка — для глутамата. В опытной группе уровень дыхательной активности на экзогенных субстратах составил 6,96 (4,60; 8,02) нмоль  $O_2$ /мин на мг белка для янтарной и 3,81 (3,50; 5,02) нмоль  $O_2$ /мин на мг белка — для глутаминовой кислоты. Реакция тканевого препарата на

экзогенный сукцинат и глутамат может служить косвенным показателем его эндогенного пула, а также свидетельствует о целостности клеточных мембран, поскольку интактные клетки мало проницаемы для внешних субстратов.

После внесения в среду с тканевыми фрагментами тонкого кишечника опытных животных разобщителя окислительного фосфорилирования — 2,4-динитрофенола наблюдалось уменьшение интенсивности тканевого дыхания, значение составило 4,62 (3,04; 6,03) нмоль  $O_2$ /мин на мг белка (рисунок 4).

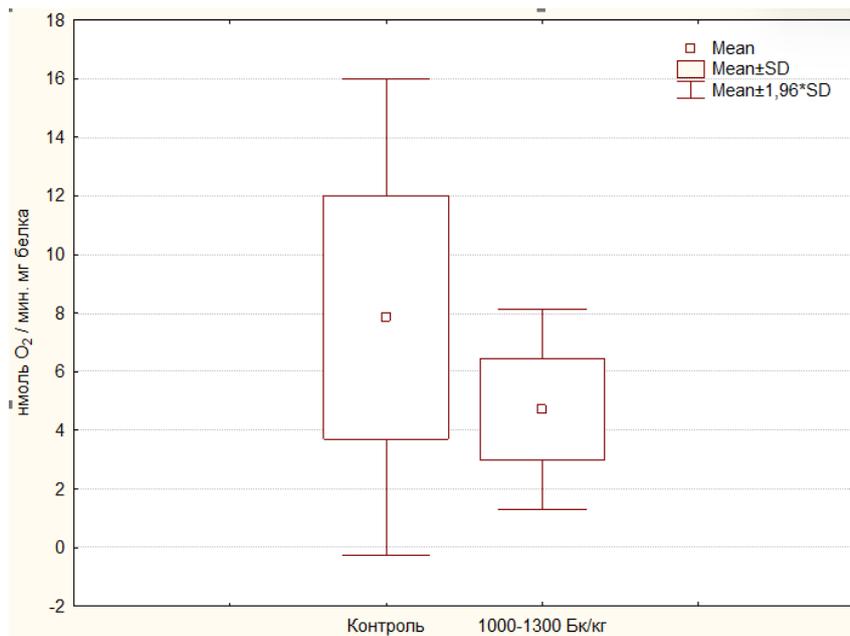


Рисунок 4. Действие разобщителя — 2,4-динитрофенола  
Figure 4. The action of the 2,4-dinitrophenol disconnector

Динитрофенол не оказывал разобщающего действия на окислительное фосфорилирование в опытной группе, кроме того, данный субстрат проявил себя как ингибитор дыхательной цепи. В контрольной группе наблюдалось разобщение окислительного фосфорилирования под дей-

ствием 2,4-динитрофенола, и скорость тканевого дыхания возростала — 6,46 (5,15; 8,59) нмоль  $O_2$ /мин на мг белка (см. рисунок 4).

На рисунках 5 и 6 представлено стимулирующее действие экзогенных субстратов.

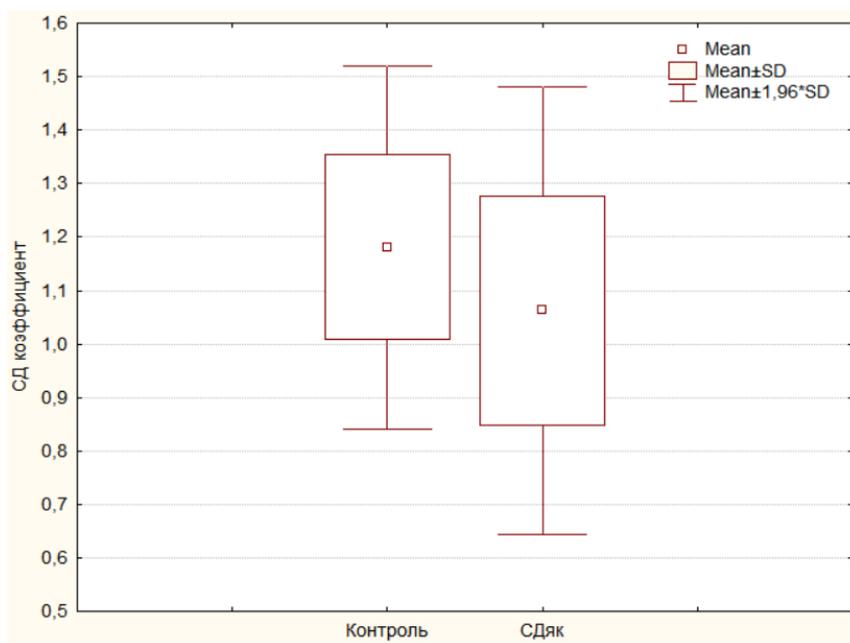


Рисунок 5. Стимулирующее действие янтарной кислоты  
Figure 5. Stimulating effect of succinic acid

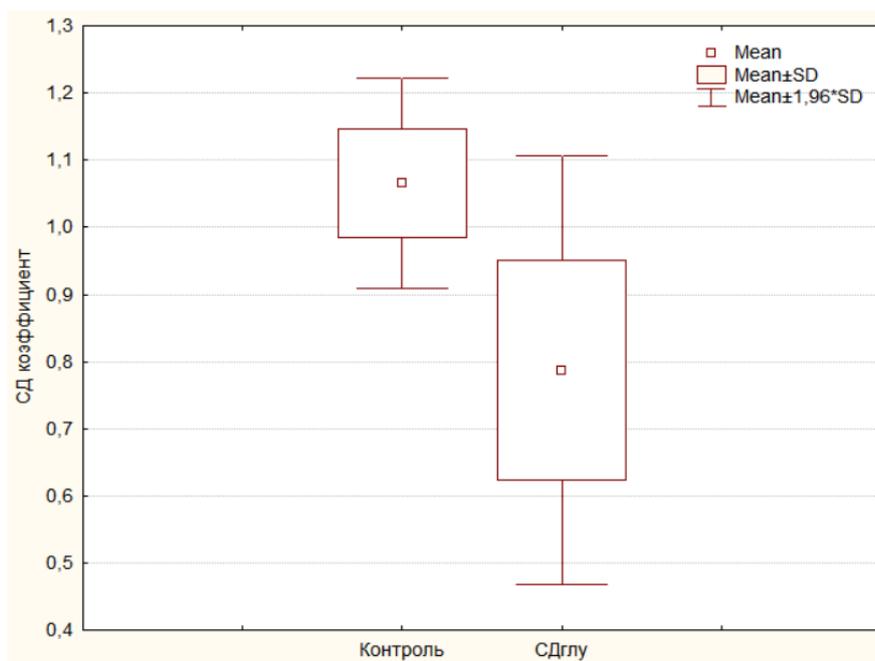


Рисунок 6. Стимулирующее действие глутаминовой кислоты  
Figure 6. Stimulating effect of glutamic acid

Интенсивность стимулирующего действия в виде последовательности: СДяк > СДглу > экзогенных субстратов можно представить СДднф. Тенденция к стимулирующему дей-

ствию янтарной кислоты проявилась наиболее выражено для контрольной группы и составила 1,12 нмоль  $O_2$ /мин на мг белка, для опытной — 1,05 нмоль  $O_2$ /мин на мг белка. СДднф составило 0,78 (0,68; 0,87) нмоль  $O_2$ /мин на мг белка. Разоб- щитель 2,4-динитрофенол, вероятно, оказал токсическое воздействие на клетки кишечника в условиях инкорпорации цезия 1300–1500 Бк/кг, что привело к ингибированию процессов энергооб- разования в митохондриальном компартменте. Эффект разоб- щения связан с изменением про- ницаемости мембраны для протонов. Какова бы ни была причина разоб- щения, существует каскад пагубных нисходящих эффектов: вода поступает в матрикс, вызывая характерное набухание ми- тохондрий. Происходит высвобождение внутри- митохондриального  $Ca^{2+}$  в цитоплазму с исто- щением восстановленного глутатиона и NAD(P) H+H, образованием супероксидного аниона ( $O_2^-$ ) и высвобождением проапоптогенных белков [6]. Скорость поглощения кислорода на экзогенном глутамате снизилась, что, вероятно, связано с нарушением всасывания питательных веществ,

недостатком ферментов или кофакторов, нару- шением метаболических путей в кишечнике.

## Заключение

Исследование влияния внутреннего облуче- ния на дыхательную активность тканевых фраг- ментов тонкого кишечника крыс в дозах, реаль- но возможных у населения, показало высокую чувствительность системы митохондриального окисления и значимые изменения соотношения окисляющихся субстратов под действием инкор- порированного  $^{137}Cs$ . Проведенное исследование показало, что выбранный метод позволяет опреде- лить негативное влияние внутреннего облучения на энергетическую функцию тонкого кишечника.

Своевременное выявление нарушений энер- гетического обмена ткани кишечника позволит оптимизировать лечение кишечных патологий, разработать меры профилактики развития де- структивных процессов при использовании ради- отерапии органов брюшной полости.

## Список литературы / References

- Manens L, Grison S, Bertho J-M, Lestaevl Ph, Guéguen Y, Benderitter M, et al. Chronic exposure of adult, postnatal and in utero rat models to low-dose  $^{137}Cs$ : impact on circulating biomarkers. *Journal of Radiation Research* 2016;57(6): 607-619. DOI: <https://doi.org/10.1093/jrr/rww067>
- Грицук А.И., Коваль А.Н., Сергеенко С.М., Грицук А.Н., Свергун В.Т., Матвеева В.В. Воздействие инкорпорированного  $^{137}Cs$  на энергетические процессы в клетке – актуальная постчернобыльская проблема. В: Чернобыль: 30 лет спустя: сб. материалов; 2016, 21–22; Гомель. Гомель: Институт радиологии; 2016. С. 75-78. [дата обращения 2024 октябрь 8]. Режим доступа: [https://drive.google.com/file/d/0B6K-Pvik5WACNkZKa0JidHBNcjQ/view?resourcekey=0-MmiE\\_g-U408fF-59yPCnqA](https://drive.google.com/file/d/0B6K-Pvik5WACNkZKa0JidHBNcjQ/view?resourcekey=0-MmiE_g-U408fF-59yPCnqA)
- Gritsuk AI, Koval AN, Sergeenko SM, Gritsuk AN, Svergun VT, Matveeva VV. The impact of incorporated  $^{137}Cs$  on energy processes in the cell is an urgent post-Chernobyl problem. In: Chernobyl: 30 years later: Sat. materials; 2016, 21–22; Gomel. Gomel: Institute of Radiology; 2016. pp. 75-78. [date of access 2024 October]. Available from: [https://drive.google.com/file/d/0B6K-Pvik5WACNkZKa0JidHBNcjQ/view?resourcekey=0-MmiE\\_g-U408fF-59yPCnqA](https://drive.google.com/file/d/0B6K-Pvik5WACNkZKa0JidHBNcjQ/view?resourcekey=0-MmiE_g-U408fF-59yPCnqA) (In Russ.).
- Никитина И.А. Особенности тканевого дыхания тимуса крыс в различные сроки после воздействия гамма-облучения. *Проблемы здоровья и экологии*. 2011;27(1):102-106. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2011-8-1-19>
- Nikitina IA. Features of Tissue Respiration in Thymus of Rats in Different Terms after Gamma-Radiation Exposure. *Health and Ecology Issues*. 2011;(1):102-106. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2011-8-1-19>
- Мышковец Н.С. Изменение уровня эндогенного дыхания слизистой тонкого кишечника в различные сроки после облучения. *Проблемы здоровья и экологии*. 2023;20(2):72-77. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2023-20-2-10>
- Myshkavets NS. Changes in the level of endogenous respiration of the small intestine mucosa at various times after irradiation. *Health and Ecology Issues*. 2023;20(2):72-77. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2023-20-2-10>
- Chen L, Vasoya RP, Toke NH, Parthasarathy A, Luo S, Chiles E, et al. HNF4 Regulates Fatty Acid Oxidation and Is Required for Renewal of Intestinal Stem Cells in Mice. *Gastroenterology*. 2020 Mar;158(4):985-999.e9. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2019.11.031>
- Аксенова Г.Е., Логвинович О.С., Филковская Л.А., Афанасьев В.Н., Игнатъев Д.А., Коломицева И.К. Активность орнитиндекарбоксилазы в органах и тканях крыс при искусственной гипотермии. *Биохимия*. 2010;75(9):1257-1264.
- Aksyonova GE, Logvinovich OS, Fialkovskaya LA, Afanasyev VN, Ignat'ev DA, Kolomiitseva IK. Ornithine decarboxylase activity in rat organs and tissue under artificial hypobiosis. *Biochemistry*. 2010;75(9):1257-1264. (In Russ.).
- Bhattacharyya A, Chattopadhyay R, Mitra S, Crowe SE. Oxidative stress: an essential factor in the pathogenesis of gastro-intestinal mucosal diseases. *Physiol Rev*. 2014 Apr;94(2):329-354. DOI: <https://doi.org/10.1152/physrev.00040.2012>
- Fernandes A. The Effects of Ionizing Radiation on Gut Microbiota: What Can Animal Models Tell Us? – A Systematic Review. *Curr Issues Mol Biol*. 2023;45(5):3877-3910. DOI: <https://doi.org/10.3390/cimb45050249>
- Родионов Г.Г., Ушал И.Э., Колобова Е.А., Светкина Е.В., Павлова Е.И. Состояние микробиоты кишечника у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2016;(1):56-63. DOI: <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2016-0-1-56-63>
- Rodionov GG, Ushal IE, Kolobova EA, Svetkina EV, Pavlova EI. Status of intestinal microbiota in liquidators of the Chernobyl accident aftermath. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2016;(1):56-63. DOI: <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2016-0-1-56-63>
- Титова А.А., Билялов А.И., Киясов А.П., Титова М.А. Лабораторные животные для научных исследований. Казань: Казан. ун-т; 2021. 71 с. [дата обращения 2024 октябрь 8]. Режим доступа: [https://kpfu.ru/staff\\_files/F1280016632/metodichka\\_laboratornye\\_zhivotnye.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F1280016632/metodichka_laboratornye_zhivotnye.pdf)
- Titova AA, Bilyalov AI, Kiyasov AP, Titova MA. Laboratory animals for scientific research. Kazan: Kazan. University; 2021. 71 p. [date of access 2024 October]. Available from: [https://kpfu.ru/staff\\_files/F1280016632/metodichka\\_laboratornye\\_zhivotnye.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F1280016632/metodichka_laboratornye_zhivotnye.pdf) (In Russ.).

11. Turner PV, Brabb T, Pekow C, Vasbinder MA. Administration of substances to laboratory animals: routes of administration and factors to consider. *J Am Assoc Lab Anim Sci.* 2011 Sep;50(5):600-613.

12. Франк ГМ, ред. Руководство по изучению биологического окисления полярографическим методом. Москва: Наука, 1973. 196 с.

Frank GM, editor. Guidelines for the study of biological oxidation by the polarographic method. Moscow: Nauka, 1973. 196 p. (In Russ).

## Информация об авторах / Information about the authors

**Мышковец Надежда Сергеевна**, старший преподаватель кафедры биологической химии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2713-9438>

e-mail: [jasjan@mail.ru](mailto:jasjan@mail.ru)

**Белоус Екатерина Михайловна**, преподаватель кафедры биологической химии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1005-1006>

e-mail: [katy.belous@mail.ru](mailto:katy.belous@mail.ru)

**Логвинович Ольга Степановна**, к.б.н., заведующий кафедрой биологической химии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3990-7780>

e-mail: [Ologvinovich@rambler.ru](mailto:Ologvinovich@rambler.ru)

**Литвинчук Александра Васильевна**, к.х.н., доцент кафедры биологической химии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9586-0034>

e-mail: [litvinalexa@gmail.com](mailto:litvinalexa@gmail.com)

**Коваль Александр Николаевич**, к.б.н., доцент, доцент кафедры биологической химии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0797-6554>

e-mail: [akovalj@yandex.by](mailto:akovalj@yandex.by)

**Алексейко Леонид Николаевич**, д.х.н., профессор кафедры биологической химии, УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3962-9722>

e-mail: [alexeiko.ln@mail.ru](mailto:alexeiko.ln@mail.ru)

**Nadeja S. Myshkavets**, Senior Lecturer at the Department of Biological Chemistry, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2713-9438>

e-mail: [jasjan@mail.ru](mailto:jasjan@mail.ru)

**Ekaterina M. Belous**, Lecturer of the Department of Biological Chemistry, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1005-1006>

e-mail: [katy.belous@mail.ru](mailto:katy.belous@mail.ru)

**Olga S. Logvinovich**, Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of Biological Chemistry, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3990-7780>

e-mail: [Ologvinovich@rambler.ru](mailto:Ologvinovich@rambler.ru)

**Alexandra V. Litvinchuk**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor at the Department of Biological Chemistry, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9586-0034>

e-mail: [litvinalexa@gmail.com](mailto:litvinalexa@gmail.com)

**Alexander N. Koval**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Biological Chemistry, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0797-6554>

e-mail: [akovalj@yandex.by](mailto:akovalj@yandex.by)

**Leonid N. Alekseyko**, Doctor of Chemical Sciences, Professor at the Department of Biological Chemistry, Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3962-9722>

e-mail: [alexeiko.ln@mail.ru](mailto:alexeiko.ln@mail.ru)

## Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

**Мышковец Надежда Сергеевна**  
e-mail: [jasjan@mail.ru](mailto:jasjan@mail.ru)

**Nadeja S. Myshkavets**  
e-mail: [jasjan@mail.ru](mailto:jasjan@mail.ru)

Поступила в редакцию / Received 09.10.2024

Поступила после рецензирования / Accepted 28.11.2024

Принята к публикации / Revised 20.02.2025