

РАЗДЕЛ: БИОХИМИЯ

М.А. Аль Меселмани

Показатели поглощения кислорода в тканях семенников под воздействием инкорпорации ¹³⁷Cs

Учреждение образования «Полесский государственный университет»

Резюме. В исследовании представлены результаты оценки влияния радионуклида цезия-137, с удельной активностью 3300 Бк/кг, на потребление кислорода тканями семенников крыс. Как на эндогенных, так и на экзогенных субстратах продемонстрировано значимое повышение скорости потребления кислорода. Отмечен максимальный прирост тканевого дыхания на фоне применения глутамата в качестве экзогенного субстрата. Зафиксированы признаки разобщения процессов окислительного фосфорилирования при применении 2,4-динитрофенола. Ингибиторный анализ подтверждает снижение интенсивности НАД-зависимого окисления. Таким образом, пероральное поступление в организм крыс цезия-137 удельной активностью 3300 Бк/кг, представляет опасность для мужской репродуктивной системы.

Ключевые слова: кислород, субстраты, семенники, инкорпорации, ¹³⁷Cs белые крысы.

Актуальность. Одним из опасных радионуклидов является цезий-137. Он накапливается в почвах, растениях, грибах, в донных осадках, гидробиоте, а также в организме человека и животных. Поэтому проблема действия радиоактивного излучения на людей, проживающих в зоне радиоактивного загрязнения, является актуальной [1, 4, 6]. Известны нежелательные эффекты действия радиоактивных веществ на репродуктивные функции организма. В связи с проживанием населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, актуальным является уточнение влияния ¹³⁷Cs при разных путях его поступления, в том числе при пероральном потреблении [2, 3, 6] на ткани репродуктивных органов. Полагают, что наиболее чувствительной к воздействию загрязняющих веществ являются семенники млекопитающих [6, 12].

По данным литературы воздействие химических веществ, в том числе ¹³⁷Cs, содержащихся в окружающей среде, сопровождается выработкой активных форм кислорода (АФК), которые могут усугубить окислительный стресс [16]. Окислительный стресс, вызванный АФК, является важным фактором в развитии мужского бесплодия, поэтому свободные радикалы вызывают серьезное повреждение клетки репродуктивной системы и, следовательно, дефекты сперматогенеза [10, 11, 17]. В связи с этим важно отметить, что малоновый диальдегид (МДА) образуется в результате расщепления пероксидов ненасыщенных жирных кислот. Он используется в качестве маркера (биомаркера) для определения скорости окислительного повреждения липидов, имеет различия в зависимости от биотического и абиотического стресса. Этот показатель используют в исследованиях процессов перекисного окисления липидов у людей и животных. Примечательно, что в настоящее время повреждение, вызванное перекисным окислением липидов, признано наиболее важным фактором дисфункции семенников [10, 15, 17].

Одним из маркеров патологических процессов, сопровождающих влияние радиационного облучения, является изменение состояния энергетического обмена в

ткани. Учитывая недостаточность сведений о воздействии радионуклидов на энергетический метаболизм репродуктивных органов, целью исследования явилось изучение влияния инкорпорации ^{137}Cs на скорость потребления кислорода и процессы фосфорилирования в тканях семенников крыс.

Материал и методы исследования. Объектом исследования стали гомогенаты семенников белых беспородных крыс-самцов весом 220-240 г ($n=18$) из них 8 животных контрольной группы получали стандартный рацион, а для 10-ти крыс экспериментальной группы в корм был включен ^{137}Cs , удельная активность которого составила 3300 Бк/кг.

Выделение семенников крыс проводили в среде Хенкса при $t=25^\circ\text{C}$. Ткань измельчали, фильтровали, и центрифугировали полученную суспензию в течение

5 мин при 1000 об/мин. Для расчета количества клеток использовали камеру Горяева. Измерение содержания белка в пробах проводили биуретовым методом. После пермеабилзации клеточных мембран 0,005-процентным раствором дигитонина, для облегчения свободного поступления глутамата в клетки, для оценки параметров поглощения кислорода использовали полярографическую ячейку с закрытым платиновым электродом Кларка [1,4]. Значения регистрировали в нмоль O_2 /мин на 1 мг белка исследуемой ткани или нмоль O_2 за 1 мин на 107 клеток. Чувствительность метода позволяет определять концентрацию кислорода до 1 нМ/л. Измерения проводили в трех повторах на каждую экспериментальную крысу.

Скорость дыхания ткани семенников оценивали на эндогенных субстратах ($V_{\text{энд}}$), а также и при добавлении в полярографическую ячейку 10 мМ глутамата натрия ($V_{\text{глу}}$). Рассчитывали коэффициент стимулирующего действия (СД) глутаминовой кислоты: $\text{СД}_{\text{глу}}=V_{\text{глу}}/V_{\text{энд}}$.

Также определяли скорость потребления кислорода на экзогенных субстратах (10 ммоль сукцината, $V_{\text{як}}$; 100 мкмоль 2,4-динитрофенола, $V_{\text{днф}}$).

Рассчитывали величины стимулирующего действия янтарной кислоты ($\text{СД}_{\text{як}}=V_{\text{як}}/V_{\text{энд}}$; $\text{СД}_{\text{глу}}=V_{\text{глу}}/V_{\text{энд}}$) и 2,4-динитрофенола ($\text{СД}_{\text{днф}}=V_{\text{днф}}/V_{\text{глу}}$) [1,4].

Используя метод ингибиторного анализа, путем добавления в инкубационную среду (2,5 ммоль амитала натрия) ($V_{\text{ам}}$) и (10 ммоль малоната натрия) ($V_{\text{мал}}$), рассчитывали показатели амиталрезистентного дыхания – $\text{АРД}=V_{\text{ам}}/V_{\text{энд}}$ и малонатрезистентного дыхания – $\text{МРД}=V_{\text{мал}}/V_{\text{ам}}$ [1, 4].

Для определения содержания малонового диальдегида в плазме крови: к 0,3 мл плазмы крови добавляли 0,2 мл 8,1% додецилсульфата натрия, 1,5 мл 20% уксусной кислоты, 1,5 мл 0,8% 2-тиобарбитуровой кислоты и 0,6 мл воды. Полученную смесь инкубировали в кипящей водяной бане 60 мин, образовавшееся окрашенное соединения экстрагировали в 5 мл смеси бутанола и изопропилового спирта в соотношении 15:1. Образцы центрифугировали 10 мин при 1000 об/мин. Интенсивность окраски комплекса измеряли на спектрофотометре СФ-46. В качестве контроля использовали смесь указанных реагентов с добавлением вместо плазмы 0,3 мл воды. Для расчетов использовали коэффициент молярной экстинкции окрашенного комплекса, равный $1,56 \times 10^5 \text{ см}^{-1} \times \text{M}^{-1}$ [15].

Статистическую обработку результатов выполнили с помощью компьютерных программ. Данные проверяли на нормальность распределения с использованием критерия хи-квадрата Пирсона. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Полученные результаты и их обсуждение. Установлено, что инкорпорация радионуклидов цезия-137 влияет на окислительные процессы в семенниках экспериментальной группы животных при уровне инкорпорации ^{137}Cs в количестве 3300 Бк/кг, поскольку было обнаружено возрастание скорости потребления кислорода на эндогенных и экзогенных субстратах (рис. 1). Так, повышение потребления кислорода на эндогенных субстратах ($V_{\text{энд}}$) составило 102,4% ($6,76 \pm 0,23$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин}/\text{мг}$ против $3,34 \pm 0,19$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин}/\text{мг}$ белка в контроле, $p < 0,05$) (таблица 1).

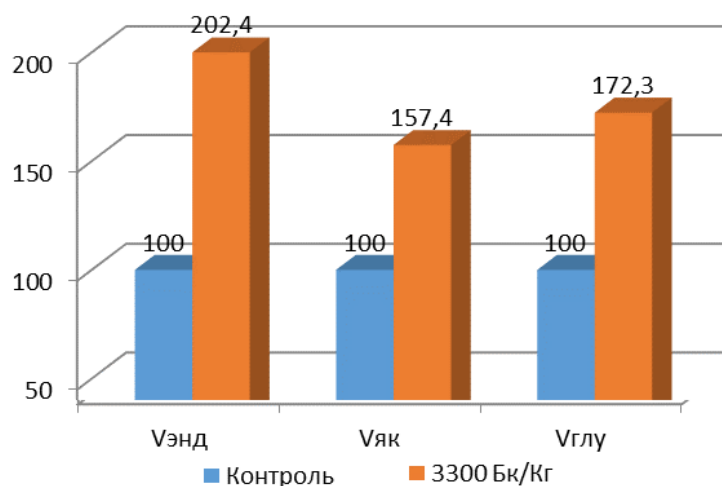


Рис. 1. Показатели поглощения кислорода в семенниках в % по отношению к контролю после инкорпорации ^{137}Cs

При использовании экзогенных субстратов, янтарной кислоты и глутамата, зафиксировано усиление скорости потребления кислорода на 57,4% ($p < 0,05$) и 72,3 % ($p < 0,05$), соответственно для $V_{\text{як}}$ и $V_{\text{глу}}$ (рисунок 1). В тканях семенников крыс получавших ^{137}Cs скорость поглощения кислорода повышалась до $8,86 \pm 1,95$ и $8,51 \pm 0,81$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин}/\text{мг}$ белка, против $5,63 \pm 0,71$ и $4,94 \pm 0,40$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин}/\text{мг}$ белка в контроле, соответственно для $V_{\text{як}}$ и $V_{\text{глу}}$. (таблица 1).

Таблица 1 – Показатель поглощения кислорода в гомогенатах тканей семенников при пероральном поступлении ^{137}Cs в количестве 3300 Бк/Кг ($n=10$)

Параметры	Контроль	3300Бк/Кг
$V_{\text{энд}}$	$3,34 \pm 0,19$	$6,76 \pm 0,23^{***}$
$V_{\text{як}}$	$5,63 \pm 0,71$	$8,86 \pm 1,95^*$
$S_{\text{Дяк}}$	$1,69 \pm 0,24$	$1,31 \pm 0,28$
$V_{\text{глу}}$	$4,94 \pm 0,40$	$8,51 \pm 0,81^*$
$S_{\text{Дглу}}$	$1,47 \pm 0,08$	$1,27 \pm 0,06^*$

Примечание: здесь и далее – достоверность различий по отношению к контрольной группе: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

При инкорпорации ^{137}Cs в препаратах ткани семенников, наблюдалось снижение величин коэффициентов стимулирующего действия СДяк и СДглу, которое было достоверным для сукцината и глутамата. Так, снижение величины СДяк составило 22,5% ($p < 0,05$), а СДглу 13,6% ($p < 0,05$) (рисунок 2).

Снижение этих показателей за счет высоких скоростей их утилизации в реакциях энергетического обмена, может свидетельствовать о повышении эндогенного пула сукцината и глутамата, их повышение является, адаптивным и предполагает использование в условиях инкорпорации ^{137}Cs высокий энергетический и пластический потенциал указанных субстратов сукцината и глутамата [4,5,18].

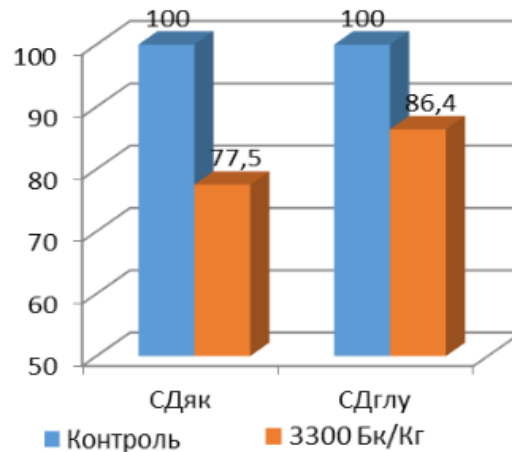


Рис. 2. Коэффициенты СД сукцината и глутамата в семенниках в % по отношению к контролю после инкорпорации ^{137}Cs

Для более точной оценки о протекании процессов окисления в образцах ткани семенников, в эксперименте использовано разобцитель 2,4-ДНФ, показатель его стимулирующего действия (СДднф) дают возможность объективно оценить степень сопряжения процессов тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования.

Так при воздействии цезия-137 скорости потребления кислорода в присутствии 2,4-динитрофенола ($V_{\text{днф}}$) возрастало с $4,29 \pm 0,67$ в контроле до $8,15 \pm 0,43$ нмоль $\text{O}_2/\text{мин}/\text{мг}$ белка в эксперименте (таблица 2). Наличие тенденции, но без достоверности изменений показателя СДднф (рисунок 3), может указывать на отсутствие эффектов разобщения дыхания и фосфорилирования.

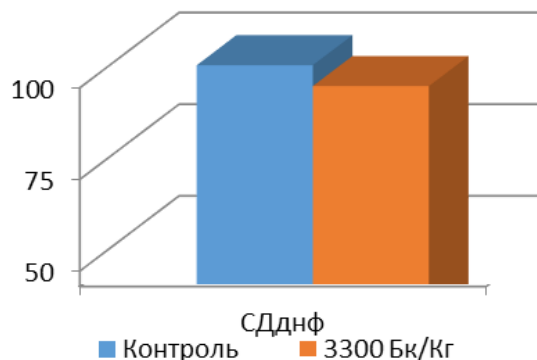


Рис.3. Коэффициент СД 2,4- динитрофенола в семенниках в % по отношению к контролю после инкорпорации ^{137}Cs

Таблица 2 – Влияние 2,4-ДНФ на скорости поглощения кислорода в гомогенатах тканей семенников при пероральном поступлении ^{137}Cs в количестве 3300 Бк/Кг ($n=10$)

Группа	Vэнд	Vднф	СДднф
Контроль	3,49±0,69	4,29±0,67	1,23±0,18
3300 Бк/кг	7,44±0,46***	8,15±0,43*	1,16±0,07

В сперматогенных животных, подвергнутых действию инкорпорированного ^{137}Cs в количестве 3300 Бк/кг, и при введении в инкубационную среду ингибитора амитала натрия, блокатора I комплекса ЭТЦ, и конкурентного ингибитора СДГ малоната натрия Vмал, отмечено незначительное повышение обоих Vам и Vмал, так показатели потребления кислорода Vам и Vмал составили $4,24 \pm 0,40$ и $3,18 \pm 0,50$ нмоль O_2 /мин/мг белка соответственно против $3,60 \pm 0,79$ и $2,75 \pm 0,63$ 50 нмоль O_2 /мин/мг белка в контроле (таблица 3).

Таблица 3. – Влияние ингибиторов на поглощение кислорода в гомогенатах тканей семенников при пероральном поступлении ^{137}Cs в количестве 3300 Бк/Кг ($n=10$)

Параметры	Контроль	3300Бк/Кг
Vэнд	3,49±0,69	6,23±0,46**
Vам	3,60±0,79	4,24 ±0,40
АРД	0,81±0,09	0,68 ±0,04*
Vмал	2,75±0,63	3,18±0,50
МРД	0,77±0,07	0,76±0,07

В этой группе крыс МРД остался стабильным и составил $0,76 \pm 0,07$ против $0,77 \pm 0,07$ в контроле (таблица 3, рисунок 4). Следует также отметить, что достоверное снижение показателя АРД с $0,81 \pm 0,09$ в контроле до $0,68 \pm 0,04$ в подгруппе животных с накоплением 3300 Бк/кг свидетельствует о снижении интенсивности НАД-зависимого окисления, это может сопровождаться повышением эффективности энергетического обмена сперматоцитов.

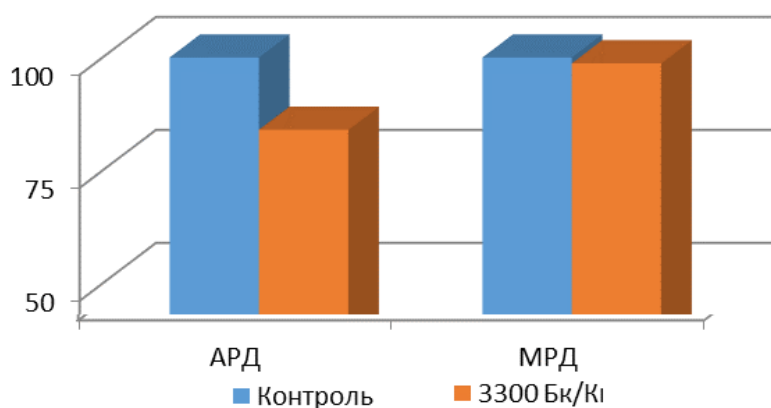


Рис. 4 – Влияние ингибиторов на поглощение кислорода (АРД и МРД) в семенниках в % по отношению к контролю после инкорпорации ^{137}Cs

Общеизвестно, что чаще используется обозначение определяемого параметра «ТБК-реагирующие субстанции» и его обозначение как МДА достаточно условно, а также радиоцезий, распределяясь равномерно в организме, инициирует в тканях процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ). Активация процессов ПОЛ при таком уровне накопления в организме ^{137}Cs , как было установлено в процессе работы, приводит к достоверному увеличению концентрации в плазме крови уровня одного из конечных продуктов ПОЛ – малонового диальдегида (МДА) в 2,81 раза (таблица 4).

Таблица 4– Содержание МДА в плазме крови крыс при уровне инкорпорации ^{137}Cs 3300 Бк/кг.

Группы	Плазма крови
Контроль	192,1 ± 20,6
3300 Бк/кг	539,0 ± 42,2*

Увеличение содержания МДА на 181% ($p < 0,05$) в плазме крови, которая, как известно, представляет собой общий коллектор для метаболитов, поступающих практически от всех тканей организма, хорошо согласуется со способностью ^{137}Cs к диффузному распределению в организме, и, согласно общему мнению, связано с инициацией в тканях процессов перекисного окисления полиненасыщенных жирных кислот фосфолипидов биологических мембран [8, 14].

Повышение содержания малонового диальдегида в клеточной мембране может нарушить текучесть и проницаемость клеточных мембран и повредить все клетки семенников, повышенная выработка АФК индуцирует перекисное окисление липидов в сперматозоидах, что имеет два важных эффекта, во-первых: уменьшает сочетание сперматозоидов с яйцеклеткой, а во-вторых: повышает способность сперматозоидов связываться с прозрачной областью (*zona placida*) [10, 11, 15].

Кроме того, перекисное окисление липидов (ПОЛ), вызванное аномалией в средней части сперматозоидов и потерей способности акросомы к оплодотворению молекулы малонового диальдегида (МДА), вызывают асимметричное распределение компонентов липидной мембраны, проникая в структуру клеточной мембраны. Примечательно, что скорость перекисного окисления липидов определяется в соответствии с результирующим продуктом вторичного разрушения первичных гидропероксидов липидов [11, 13].

Полученные данные хорошо согласуются с результатами работ, выполненными другими исследователями, в работах которых отмечается увеличение содержания различных продуктов ПОЛ в крови детей и взрослых, проживавших на загрязненных радионуклидами территориях [7, 9].

Достоверное увеличение содержания МДА в плазме крови соответствует представлениям о высокой интенсивности тканевого дыхания в этом органе, а, также о высокой вероятности образования активных метаболитов кислорода запускающих процессы перекисного окисления липидов [11, 18].

Таким образом, ответная реакция клетки семенников на действие инкорпорации ^{137}Cs в первую очередь проявляется в виде значительной стимуляции потребления кислорода (тканевого дыхания) на эндогенных и экзогенных субстратах.

Выводы. Пероральное поступление радионуклида ^{137}Cs в количестве 3300 Бк/кг у крыс влияет на скорость поглощения кислорода тканями семенников; увеличивает эндогенное потребление кислорода тканями семенников более чем в 2 раза; сопровождается более значимым повышением потребления кислорода в тканях семенников при использовании экзогенных субстратов на основе глутамата, чем янтарной кислоты.

Повышение скорости потребления кислорода сопровождается с лабилизацией системы тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования.

Ингибиторный анализ подтверждает снижение интенсивности НАД-зависимого окисления.

Активизация окислительных процессов сопровождается с увеличением содержания ТБК-положительных веществ в плазме крови.

Литература.

1. Аль Меселмани, М.А. Воздействие инкорпорации ^{137}Cs на энергетические функции митохондрий семенников у крыс / М.А. Аль Меселмани // Медицинский журнал. - 2010.- Т. 33, № 3.- С. 26-29.
2. Аль Меселмани, М.А. Морфофункциональное состояние семенников в условиях радиационного воздействия / М.А. Аль Меселмани, П.Д. Шабанов // Экологический Вестник. - 2014.- Т. 27, № 1.- С. 45-50.
3. Витаминный статус и сперматогенез крыс в поздние сроки после облучения разными дозами / В.В. Евдокимов и др. // Бюл. эксперим. биологии и медицины. – 1999. – Т. 128, № 7. – С. 42–44.
4. Влияние инкорпорированных радионуклидов цезия на ультраструктуру и процессы тканевого дыхания митохондрий кардиомиоцитов / А.И. Грицук и др. // ВЕСЦІ– 2002. -№ 2. – С.63-70.
5. Кондрашова М. Н., Ахмеров Р. Н., Акоев И. Г. и др. О регуляции соотношения окисления янтарной кислоты и НАД-зависимых субстратов производными индола / Митохондрии. Регуляция процессов окисления и сопряжения. – М., 1974. – С. 145–163.
6. Попов, Е.Г. Рецепция андрогенов в семенниках крыс: анализ эффектов инкорпорированных ^{137}Cs , L I и внешнего облучения / Е.Г. Попов, Ф.И. Куц, О.Л. Белоусов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2001. – № 2. – С. 95–99.
7. Сусков, И.И., Биохимические механизмы радиогенных цитогенетических и соматических нарушений у детей-резидентов загрязненных радионуклидами регионах/ И.И. Сусков, Е.А. Нейфах, А.И.Алимбекова // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002. – Т. 42, вып. 6. – С. 615 –623.
8. Стальная, И.Д. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты / И.Д. Стальная, Т.Г. Гаришвили // Современные методы в биохимии / [М.И. Турков и др.]; под ред. В.Н. Ореховича; Акад. мед. наук СССР. – М.: Медицина, 1977. – 392 с.
9. Трифонова, Ю.П. Диагностика и коррекция нарушения мужской фертильности в зависимости от состояния вильнорадикальных процессов: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.01.06 / Ю.П. Трифонова; Ин-т урологии АМН Украины. – Киев, 2005. – 18 с.
10. Alahmar, A.T. Role of Oxidative Stress in Male Infertility / A.T. Alahmar, // J Hum Reprod Sci. – 2019. – Vol. 12, № 1. – P. 4–18.
11. Analysis of age-associated changes in mitochondrial free radical generation by rat testis / M. Vázquez-Memije [et al.] // Molecular and Cellular Biochem. – 2008. – Vol. 307, № 1/2. – P. 23–30.
12. In vivo effects of chronic contamination with ^{137}Cs on testicular and adrenal

steroidogenesis / E. Grignard [et al.] // Arch. Toxicology. – 2008. – Vol. 82, № 9. – P. 583–589.

13. Lipid Peroxidation: Production, Metabolism, and Signaling Mechanisms of Malondialdehyde and 4-Hydroxy-2-Nonenal / A. Antonio [et al.] // Oxid Med Cell Longev. 2014 – 2014: 360438

14. Moldovan L, Oxygen free radicals and redox biology of organelles / L. Moldovan, NI. Moldovan // Histochemistry and Cell Biology. 2004 – Vol. 122, № 4. – P.395 – 412.

15. Ohkawa, H. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction / H. Ohkawa, N. Ohishi, K. Yagi // Analytical Biochem. – 1979. – Vol. 95, № 2. – P. 351–358.

16. Redox toxicology of environmental chemicals causing oxidative stress / F. Zheng [et al.] // Redox Biology. – 2020. – Vol. 34.

17. Sanocka , D. Reactive oxygen species and sperm cells / D. Sanocka. Maciej. K// Reprod Biol Endocrinol. – 2004. – Vol. 2, № 12.

18. Sites of reactive oxygen species generation by mitochondria oxidizing different substrates/ D.B.Martin [et al.] // Redox Biology. – 2013. – Vol. 1, № 1. – P. 304–312.

Abstract.

M.A. Al Meselmani

INDICATORS OF OXYGEN ABSORPTION IN TESTICULAR TISSUES UNDER THE INFLUENCE OF INCORPORATION ¹³⁷CS

Polesky State University, Belarus, Pinsk

The results of assessing the effect of caesium-137 radionuclide, with a specific activity of 3300 Bq/kg, on oxygen consumption by rat testicular tissues. A significant increase in the rate of oxygen consumption was demonstrated on both endogenous and exogenous substrates. The maximum increase in tissue respiration was noted against the background of the use of glutamate as an exogenous substrate. Signs of disconnection of oxidative phosphorylation processes with the use of 2,4-dinitrophenol have been recorded, as well as inhibitory analysis confirms a decrease in the intensity of NAD-dependent oxidation. Thus, the oral intake of caesium-137 into the body of rats with a specific activity of 3300 Bq / kg poses a danger to the male reproductive system.

Keywords: oxygen, substrates, testes, incorporation, ¹³⁷CS white rats.

References.

1. Al Meselmani, M.A. Effects of ¹³⁷Cs incorporation on mitochondrial energy functions of testes in rats/M.A. Al Meselmani//Medical Journal. - 2010.- T. 33, NO. 3.- S. 26-29.

2. Al Meselmani, M.A. Morphofunctional condition of testes under radiation exposure/M.A. Al Meselmani, P.D. Shabanov//Ecological Bulletin. - 2014.- T. 27, NO. 1.- P. 45-50.

3. Vitamin status and spermatogenesis of rats late after exposure to different doses/V.V. Evdokimov et al. //Bul. expert. biology and medicine. – 1999. - T. 128, NO. 7. - S. 42-44.

4. Effect of incorporated cesium radionuclides on the ultrastructure and tissue respiration processes of cardiomyocyte mitochondria/A.I. Gritsuk et al. //WSCJ-2002. -№ 2. - S.63-70.

5. Kondrashova M.N., Akhmerov R.N., Akoev I.G., etc. On the regulation of the ratio of oxidation of succinic acid and NAD-dependent substrates by indole/mitochondria derivatives. Regulation of oxidation and conjugation processes. - M., 1974. - S. 145-163.

6. Popov, E.G. Reception of androgens in rat testes: analysis of the effects of incorporated ¹³⁷Cs, L I and external radiation/E.G. Popov, F.I. Kutz, O.L. Belousov//Weight. Nats. Acad. navuk Belarusi. Ser. biyal. navuk. – 2001. – № 2. - S. 95-99.

7. Suskov, I.I., Biochemical mechanisms of radiogenic cytogenetic and somatic disorders in resident children in radionuclide-contaminated regions/I.I. Suskov, E.A. Neifakh, A.I. Alimbekova//Radiats. biology. Radioecology, 2002. - T. 42, issue 6. - S. 615 -623.

8. Steel, I.D. Method of determining malonic dialdehyde using thiobarbituric acid/I.D. Steel, T.G. Garishvili//Modern methods in biochemistry/[M.I. Turkov, etc.]; ed. V.N. Orekhovich; Acad. honey. sciences of the USSR. - M.: Medicine, 1977. - 392 s.

9. Trifonova, Yu.P. Diagnosis and correction of male fertility disorder depending on the state of ventricular processes: autoref. dis.... cand. honey. sciences: 14.01.06/Yu.P. Trifonova; Urology in the Academy of Medical Sciences of Ukraine. - Kyiv, 2005. - 18 s.

10. Alahmar, A.T. Role of Oxidative Stress in Male Infertility / A.T. Alahmar, // J Hum Reprod

Sci. – 2019. – Vol. 12, № 1. – P. 4–18.

11. Analysis of age-associated changes in mitochondrial free radical generation by rat testis / M. Vázquez-Memije [et al.] // *Molecular and Cellular Biochem.* – 2008. – Vol. 307, № 1/2. – P. 23–30.

12. In vivo effects of chronic contamination with 137 cesium on testicular and adrenal steroidogenesis / E. Grignard [et al.] // *Arch. Toxicology.* – 2008. – Vol. 82, № 9. – P. 583–589.

13. Lipid Peroxidation: Production, Metabolism, and Signaling Mechanisms of Malondialdehyde and 4-Hydroxy-2-Nonenal / A. Antonio [et al.] // *Oxid Med Cell Longev.* 2014 – 2014: 360438

14. Moldovan L, Oxygen free radicals and redox biology of organelles / L. Moldovan, NI. Moldovan // *Histochemistry and Cell Biology.* 2004 – Vol. 122, № 4. – P.395 – 412.

15. Ohkawa, H. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction / H. Ohkawa, N. Ohishi, K. Yagi // *Analytical Biochem.* – 1979. – Vol. 95, № 2. – P. 351–358.

16. Redox toxicology of environmental chemicals causing oxidative stress / F. Zheng [et al.] // *Redox Biology.* – 2020. – Vol. 34.

17. Sanocka , D. Reactive oxygen species and sperm cells / D. Sanocka. Maciej. K// *Reprod Biol Endocrinol.* – 2004. – Vol. 2, № 12.

18. Sites of reactive oxygen species generation by mitochondria oxidizing different substrates/ D.B.Martin [et al.] // *Redox Biology.* – 2013. – Vol. 1, № 1. – P. 304–312.

Сведения об авторах: Аль меселмани Моханад Али – к.б.н, , доцент каф. биохимии и биоинформатики, Полесский государственный университет, г. Пинск, республика Беларусь,ь drmouhand78@inbox.ru