



**THE ISSUE CONTAINS:**

Proceedings of the 14th  
International Scientific  
and Practical Conference

**SCIENCE AND PRACTICE:  
IMPLEMENTATION TO  
MODERN SOCIETY**

Manchester, Great Britain  
26-28.04.2023



SCIENTIFIC COLLECTION  
**INTERCONF**

**No 152**  
**April, 2023**

Scientific Collection «InterConf»

---

**No 152**

April, 2023

THE ISSUE CONTAINS:

Proceedings of the 14<sup>th</sup> International  
Scientific and Practical Conference

**SCIENCE AND PRACTICE:  
IMPLEMENTATION TO  
MODERN SOCIETY**

MANCHESTER, UNITED KINGDOM  
April 26–28, 2023



MANCHESTER  
2023

## UDC 001.1

- S 40** *Scientific Collection «InterConf»*, (152): with the Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference «Science and Practice: Implementation to Modern Society» (April 26–28, 2023; Manchester, United Kingdom) by the SPC «InterConf». Peal Press Ltd., 2023. 603 p.  
ISBN 978-0-216-01072-7 (series)

### EDITOR

**Anna Svoboda**  
Doctoral student  
University of Economics;  
Czech Republic  
annasvobodaprague@yahoo.com

### COORDINATOR

**Mariia Granko**  
Coordination Director in Ukraine  
Scientific Publishing Center  
«InterConf»; Ukraine  
info@interconf.top

### EDITORIAL BOARD

Temur Narbaev (DSc in Medicine)  
Tashkent Pediatric Medical Institute,  
Republic of Uzbekistan;  
temur1972@inbox.ru

Nataliia Mykhalitska (PhD  
in Public Administration)  
Lviv State University of  
Internal Affairs; Ukraine

Dan Goltsman (Doctoral student)  
Riga Stradiņš University;  
Republic of Latvia;

Katherine Richard (DSc in Law),  
Hasselt University; Kingdom of Belgium  
katherine.richard@protonmail.com;

Richard Brouillet (LL.B.),  
University of Ottawa; Canada;

Stanyslav Novak (DSc in Engineering)  
University of Warsaw; Poland  
novaks657@gmail.com;

Kanako Tanaka (PhD in Engineering),  
Japan Science and Technology  
Agency; Japan;

Mark Alexandr Wagner (DSc. in Psychology)  
University of Vienna; Austria  
mw6002832@gmail.com;

Alexander Schieler (PhD in Sociology),  
Transilvania University of Brasov;  
Romania

Svitlana Lykholat (PhD in Economics),  
Lviv Polytechnic National University;  
Ukraine

Dmytro Marchenko (PhD in Engineering)  
Mykolayiv National Agrarian University  
(MNAU); Ukraine;

Rakhmonov Aziz Bositovich (PhD in Pedagogy)  
Uzbek State University of World  
Languages; Republic of Uzbekistan;

Mariana Vereskliia (PhD in Pedagogy)  
Lviv State University of Internal  
Affairs; Ukraine

Dr. Albena Yaneva (DSc. in Sociology  
and Antropology),  
Manchester School of Architecture; UK;

Vera Gorak (PhD in Economics)  
Karlovarská Krajská Nemocnice;  
Czech Republic  
veragorak.assist@gmail.com;

Polina Vuitsik (PhD in Economics)  
Jagiellonian University; Poland  
p.vuitsik.prof@gmail.com;

Elise Bant (LL.D.),  
The University of Sydney; Australia;

George McGrown (PhD in Finance)  
University of Florida; USA  
mcgrown.geor@gmail.com;









Vagif Sultanly (DSc in Philology)  
Baku State University;  
Republic of Azerbaijan

Kamilə Əliağa qızı Əliyeva (DSc  
in Biology)  
Baku State University;  
Republic of Azerbaijan


#### Please, cite as shown below:

1. Surname, N. & Surname, N. (2023). Title of an article. *Scientific Collection «InterConf»*, (152), 21–27. Retrieved from <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding...>







This issue of Scientific Collection «InterConf» contains the materials of the International Scientific and Practical Conference. The conference provides an interdisciplinary forum for researchers, practitioners and scholars to present and discuss the most recent innovations and developments in modern science. The aim of conference is to enable academics, researchers, practitioners and college students to publish their research findings, ideas, developments, and innovations.

	Крупа В.В. Вольська І.Л. Крупа Ю.С.	МЕТОДИЧНІ ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОВІВ ФІЗИЧНОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПРИ ТРАВМАХ ВЕРХНІХ КІНЦІВОК	422
	Кушнір І.О. Кравченко О.В.	НЕОНАТАЛЬНА ГІПЕРВІЛІРУВІНЕМІЯ	428
	Оналбаева Б.Ж. Серкбаев Е.А. Сейдакпар Ж.П. Нурмахан Л.С.	ОСОБЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ДЕТЕЙ С НИЗКОРОСЛОСТЬЮ	431
	Плеш І.А. Борейко Л.Д. Скорейко Н.М.	ГЕНДЕРНІ ОСОБЛИВОСТІ ГЕМОДИНАМІКИ У ХВОРИХ НА ЕГ ІІ СТ. ЗА ВАРІАНТАМИ ЦИРКАДІАННОГО РИТМУ АТ	435
	Ребрик Т.О. Кітура О.В.	ФАКТОРИ РИЗИКУ ТА ПРОФІЛАКТИКА ОЖИРІННЯ У ДІТЕЙ ТА ПІДЛІТКІВ	440
	Степанов Г.Ф.	ЗМІНА АКТИВНОСТІ ПІРУВАТКІНАЗИ ТА ЛАКТАТДЕГІДРОГЕНАЗИ В КІСТЯКОВОМУ ТА СЕРЦЕВОМУ М'ЯЗАХ ЗА УМОВ ТОТАЛЬНОГО ГАМА-ОПРОМІНЕННЯ: ДОСЛІДЖЕННЯ ПАТОВІОХІМІЧНИХ МЕХАНІЗМІВ У ВІДПОВІДЬ НА ВПЛИВ ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ	447
	Тірон О.І. Вастьянов Р.С.	ДОСЛІДЖЕННЯ ПАТОФІЗІОЛОГІЧНИХ МЕХАНІЗМІВ ТИРЕОЇДНОЇ ДИСФУНКЦІЇ ПРИ НАДМІРНОМУ ТЕРМІЧНОМУ ВПЛИВІ	454
	Шагазатова Б.Х. Адилова Н.Ш.	ОЦЕНКА ЭНДОТЕЛИАЛЬНОЙ ДИСФУНКЦИИ У ВОЛЬНЫХ С ОЖИРЕНИЕМ ПОСЛЕ ВАРИАТРИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ	463


## ZOOLOGY AND VETERINARY MEDICINE

	Bilalov R. Ashrafov R.	STATE PROGRAM ON ENSURING FOOD SECURITY	465
---	---------------------------	--	-----

## NATURE MANAGEMENT, RESOURCE SAVING AND ECOLOGY

	Chobotko I.I.	ANALYSIS OF METHODS AND WAYS TO ELIMINATE COMBUSTION OF WASTE HEAPS	467
	Khorolskyi A.O.	APPLICATION OF DECISION CRITERIA TO JUSTIFY MINING PARAMETERS UNDER UNCERTAINTY	473
	Бардаш С.В. Черниш Д.П.	СУТНІСТЬ ЕКОЛОГІЧНОГО ТУРИЗМУ ТА ЙОГО ЗМІНИ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	482
	Махатова А. Шайзатхан Ш. Токтасынова Ф.А.	RECONSTRUCTION OF GREEN SPACES	489
	Махатова А. Шайзатхан Ш. Токтасынова Ф.А.	THE ESSENCE OF THE RECONSTRUCTION OF PLANTINGS OF THE PARK AREA	496
	Семенова О.І. Тогачинська О.В. Омельченко Є.О.	НОРМУВАННЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА САНИТАРНО-ТОКСИКОЛОГІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ МІСТА КИЄВА	503

## ENERGETICS

	Алиева З.А.	АНАЛИЗ СИГНАЛОВ	508
---	-------------	-----------------	-----

## MEDICINE AND PHARMACY

# Зміна активності піруваткінази та лактатдегідрогенази в кістяковому та серцевому м'язах за умов тотального гама-опромінення: дослідження патобіохімічних механізмів у відповідь на вплив іонізуючого опромінення

**Степанов Геннадій Федорович<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> кандидат медичних наук, доцент,  
завідувач кафедри клінічної хімії та лабораторної діагностики;  
Одеський національний медичний університет; Україна

**Анотація.** У сучасних умовах широкомасштабного техногенного радіаційного забруднення оточуючого середовища і радіаційного навантаження на біосферу актуальною є оцінка біологічної ефективності пролонгованої дії тотального опромінення. Тотальне опромінення експериментальних тварин у середньолетальній дозі викликає значні зміни з боку клітинного складу і білків крові, посилення розпаду білків у організмі і летальності тварин. Поряд з цим, спостерігаються порушення метаболізму у м'язовій тканині, що є, як відомо, досить радіорезистентною, причому характер порушень залежить від виду м'язів. Мета роботи – дослідження активності ключових ферментів гліколітичних процесів – піруваткінази та лактатдегідрогенази – у кістяковому та серцевому м'язах внаслідок впливу тотального опромінення. Експериментальні дослідження проведені на 120 статевозрілих білих щурах-самцях лінії Вістар, яких піддавали тотальному гама-опроміненню 600 натще. У крові опромінених щурів, а також у кістяковому та серцевому м'язах визначали активність піруваткінази та лактатдегідрогенази. Показано, що тотальне гама-опромінення експериментальних тварин у середньолетальних дозах викликає посилення гліколітичного субстратного фосфорилування у початковий і прихований періоди променевої хвороби в кістяковому та серцевому м'язах. Встановлено, що у розпал захворювання інтенсивність цього процесу знижується, зростає активність ЛДГ у тканинах. Патофізіологічні механізми спричиненої радіацією перебудови енергозабезпечення спрямовані на короткочасні процеси посилення надання енергії для життєво важливих органів та систем задля відновлення зруйнованих біохімічних, фізіологічних, функціональних та регуляторних процесів та активацію саногенетичних механізмів.

**Ключові слова:** *тотальне гама-опромінення, іонізуюче опромінення, піруваткіназа, лактатдегідрогеназа, кістяковий м'яз, скелетний м'яз, патофізіологічні механізми.*

У сучасних умовах широкомасштабного техногенного радіаційного забруднення оточуючого середовища і радіаційного



## MEDICINE AND PHARMACY

навантаження на біосферу актуальною є оцінка біологічної ефективності пролонгованої дії тотального опромінення [1]. Доведено, що небезпечність опромінення в малих дозах є значно вищою, ніж радіаційний вплив максимальною дозою. Недостатньо досліджені особливості подібної взаємодії малих доз іонізуючої радіації та вітальних органів та систем організму.

Тотальне опромінення експериментальних тварин у середньолетальній дозі викликає значні зміни з боку клітинного складу і білків крові, посилення розпаду білків у організмі і летальності тварин [2, 3]. Поряд з цим, спостерігаються порушення метаболізму у м'язовій тканині, що є, як відомо, досить радіорезистентною, причому характер порушень залежить від виду м'язів [2, 4]. Механізми взаємодії іонізуючих випромінювань з біологічними об'єктами являють собою ланцюг послідовних фізичних і фізико-хімічних перебудов, які проявляються у вигляді збудження, первинної і вторинної іонізації молекул, що, в свою чергу, призводить до появи збуджених атомів і вільних радикалів, які реагують один з одним та інтактними біомолекулами [2, 5]. У доступній нам науковій літературі недостатньо досліджені особливості подібної взаємодії малих доз іонізуючої радіації та вітальних органів та систем організму, що і послужило ініціацією нами проведення низки експериментальних досліджень, присвячених з'ясуванню патофізіологічних механізмів ініційованих в біологічному організмі реакцій у відповідь на дію малих доз іонізуючого випромінювання.

**Мета роботи** – дослідження активності ключових ферментів гліколітичних процесів – піруваткінази та лактатдегідрогенази – у кістяковому та серцевому м'язах внаслідок впливу тотального опромінення.

**Матеріал і методи дослідження.** Експериментальні дослідження проведені на 120 статевозрілих білих щурах-самцях лінії Вістар, що утримувалися на стандартній дієті віварію. Утримання, обробка та маніпуляції з тваринами проводились відповідно із «Загальними етичними принципами експериментів на тваринах», ухваленими П'ятим національним конгресом з біоетики (Київ, 2013), при цьому керувалися рекомендаціями Європейської конвенції про Захист хребетних тварин для експериментальних та інших наукових цілей (Страсбург, 1985), методичними рекомендаціями ДФЦ МОЗ України «Доклінічні дослідження препаратів» (2001) та правилами гуманного поводження з піддослідними тваринами та умовами, затвердженими Комісією з біоетики Одеського національного медичного університету (протокол № 32Д від 17.03.2016 р.).

## MEDICINE AND PHARMACY

Тварин піддавали тотальному гама-опроміненню Со60 натще на установці для телегаматерапії «Агат». Поглинута доза 6,0 Гр, потужність дози 0,48 Гр/хв., ВЖП – 75 см. Експериментальних тварин розділяли на 2 групи: 1 група (n=20) – інтактні щури, 2 група (n=100) – щури, яких піддавали впливу іонізуючого гама-опромінення (протягом 1-місячного терміну дослідження вижили 57 щурів).

Тварин виводили із досліду через евтаназію під пропофоловим (в/в, 60 мг/кг) наркозом. Після розтину тварин збирали кров, видаляли серце і передню групу м'язів стегна. Кров для отримання сироватки центрифугували її при 3000 г протягом 10 хвилин. Видалені серцевий і скелетні м'язи промивали охолодженим 0.9% фізіологічним розчином NaCl, подрібнювали і гомогенізували, а також піддавали диференційному центрифугуванню.

Для біохімічних досліджень використовували мітохондрії, мітохондріальний супернатант міокарду, передньої групи м'язів стегна та сироватку крові, в яких загальноприйнятими методами визначали активність піруваткінази (ПК) та лактатдегідрогенази (ЛДГ).

Отримані дані піддавалися статистичній обробці способом оцінки середньої за допомогою «таблиць Т» з використанням критерію  $\chi^2$  та комп'ютерних програм. Мінімальну статистичну вірогідність визначали при  $p < 0,05$ .

### **Отримані результати та їх обговорення.**

Через 1 добу після опромінення у міокарді щурів зростає активність піруваткінази, що каталізує реакцію субстратного фосфорилування і синтеза половини АТФ, що утворюється у гліколізі. У наступні терміни дослідження на 3 та 7 добу активність ферменту продовжує зростати і на 7 добу сягає найбільших значень, перевищуючи в 1,3 рази показники інтактних тварин. У розпал променевої хвороби на 15 добу відбувається різке падіння активності ПК у серці тварин порівняно з попереднім терміном дослідження і вона стає навіть дещо нижчою, ніж у інтактних тварин. Навіть до кінця спостереження на 30 добу це положення не змінюється (табл. 1).

Характер змін активності ПК у скелетних м'язах ідентичний тому, що відбувається у міокарді опромінених тварин. Це поступове підвищення активності ферменту до 7 доби після опромінення і різке падіння її на 15 та 30 добу експерименту. Разом з тим, слід підкреслити, що величина змін, що спостерігаються у скелетних м'язах, виражена в меншій мірі, ніж у міокарді. Необхідно звернути увагу, що, на відміну від серця, у скелетних м'язах гліколіз посідає чільне місце у

## MEDICINE AND PHARMACY

енергозабезпеченні і тому зниження активності субстратного фосфорилування призводить до послаблення функціональної спроможності скелетних м'язів.

Таблиця 1

**Активність піруваткінази у м'язовій тканині і сироватці крові тварин після тотального гама-опромінення**

№	Термін після опромінення	Активність піруваткінази (M±m) за 1 хв інкубації		
		Міокард, мкмоль/мг білку	Скелетні м'язи, мкмоль/мг білку	Кров, нмоль/мг білку
1	Інтактні, n=20	0,097±0,01	0,28±0,02	10,25±0,90
2	1 доба, n=11	0,11±0,01*	0,31±0,02	11,36±0,81
3	3 доби, n=10	0,12±0,01*	0,32±0,02	11,75±1,15
4	7 діб, n=10	0,13±0,01**	0,34±0,01**	12,04±1,85
5	15 діб, n=15	0,09±0,01	0,23±0,01*	9,09±0,80
6	30 діб, n=11	0,09±0,01	0,24±0,02	9,45±1,47

Примітки: \* -  $p < 0.05$  і \*\* -  $p < 0.01$  - вірогідні розбіжності досліджуваних показників порівняно з відповідними даними у інтактних тварин.

У сироватці крові зміни активності ПК після опромінення має односпрямований характер з порушеннями, що спостерігаються у м'язовій тканині. Це поступове збільшення активності до 7 добу після опромінення і зниження на 15–30 добу. На відміну від м'язів, глибина порушень у крові виражена меншою мірою і на момент закінчення експерименту істотно не відрізняється від інтактних тварин.

Досліджуючи стан ЛДГ реакції, що використовує у якості субстрату продукт піруваткіназної реакції, можна спостерігати деяке зниження активності ферменту у міокарді на 3 добу після опромінення, збільшення активності на 7 добу і, особливо, на 15 добу, а в подальшому її зниження, коли активність ферменту суттєво не відрізняється від інтактних тварин (табл. 2).

Для скелетних м'язів характерно поступове збільшення активності ферменту, починаючи з 1 доби дослідження і перевищення її на 7 добу експерименту майже на третину показники інтактних тварин. У наступні терміни відбувається зниження активності ферменту і до кінця експерименту вона істотно не відрізняється від контролю.

Таблиця 2

**Активність лактатдегідрогенази у м'язовій тканині і сироватці крові тварин після тотального гама-опромінення**

№	Термін після опромінення	Активність лактатдегідрогенази (M±m) за 1 хв інкубації		
		Міокард, мкмоль/мг білку	Скелетні м'язи, мкмоль/мг білку	Кров, нмоль/мг білку
1	Інтактні, n=20	1,54±0,08	2,06±0,09	8,12±0,55
2	1 доба, n=11	1,48±0,08	2,29±0,12	7,377±0,67



## MEDICINE AND PHARMACY

Продовження табл. 2

3	3 доби, n=10	1,41±0,07	2,45±0,13*	7,16±0,68
4	7 діб, n=10	1,82±0,06**	2,64±0,08**	9,18±0,55
5	15 діб, n=15	1,97±0,09**	2,46±0,11**	10,55±0,75*
6	30 діб, n=11	1,71±0,04	2,25±0,08	9,58±0,54

Примітки: \* -  $p < 0.05$  і \*\* -  $p < 0.01$  - вірогідні розбіжності досліджуваних показників порівняно з відповідними даними у інтактних тварин.

У сироватці крові характер змін активності ферменту ідентичний тому, що спостерігається у міокарді. Це незначне зниження на 1 і 3 доби після опромінення, збільшення активності на 7 добу і, особливо, на 15 добу, а на 30 добу експерименту активність ферменту у сироватці крові недостовірно вище контрольних величин.

Таким чином, якщо для серцевого м'яза характерно деяке зменшення активності ЛДГ на 3 добу, а в наступні терміни поступове збільшення, що досягає найбільших величин на 15 добу, то в скелетних м'язах з першої ж доби відбувається зростання активності ЛДГ, що має найбільше значення на 7 добу, за яким спостерігається поступова нормалізація функції ферменту у цій тканині.

Отже, отримані результати свідчать про виражені зміни з боку активності процесів енергозабезпечення функціонування серцевого та скелетних м'язів біологічного організму у відповідь на вплив середньолетальних доз іонізуючого опромінення. Критично аналізуючи фактичні дані наголошуємо, що вони знаходяться у певному співвідношенні з результатами низки наукових робіт, які довели наявність адаптаційно-компенсаторної перебудови організму при дії малих доз іонізуючого опромінення [6, 7].

Незначні зміни активності ЛДГ у серці і скелетних м'язах на 1-3 добу після опромінення на фоні збільшення вмісту швидко мігруючих ізоферментів ЛДГ у тканинах призводить до того, що лактат у ранні терміни не накопичується, оскільки ці ізоферменти інгібуються низькими концентраціями пірувата і сам піруват через етап окисного декарбоксилування може долучатися до циклу трикарбонових кислот. Збільшення вмісту повільно мігруючих ізоферментів ЛДГ у тканинах у розпал захворювання супроводжується підвищенням концентрації лактату і відношення лактат/піруват, що вказує на посилення анаеробних процесів. Враховуючи те, що по відношенню лактат/піруват можна судити про відношення НАДН/НАД, збільшення коефіцієнту лактат/піруват свідчить про збільшення відновленості нікотинамідних коферментів на 7-30 доби променевої хвороби у тканинах опромінених тварин.

## MEDICINE AND PHARMACY

Оскільки відновлені нікотинамідні коферменти є інгібітором піруваткінази [5], а активність ЛДГ залежить не стільки від абсолютної концентрації коферменту, а від співвідношення його окислених і відновлених форм [5, 8], стає зрозумілим падіння активності ПК у розпал захворювання і, як наслідок, зменшення ролі субстратного фосфорилування у тканинах в цей період і збільшення активності ЛДГ у напрямку піруват-лактат, коли в реакції бере участь відновлена форма коферменту. Для перевірки цього положення ми дослідили активність ЛДГ по перетворенню лактату у піруват в різні терміни променевої хвороби. з'ясувалося, що у той період, коли фермент підвищує свою активність у напрямку відновлення пірувату у лактат, падає його спроможність каталізувати окислення лактату до пірувату і у тканинах відбувається переважно накопичення лактату.

Таким чином, тотальне гама-опромінення експериментальних тварин у середньолетальних дозах викликає посилення гліколітичного субстратного фосфорилування у початковий і прихований періоди променевої хвороби в обох тканинах. У розпал захворювання інтенсивність цього процесу знижується, зростає активність ЛДГ у тканинах. Патофізіологічні механізми спричиненої радіацією перебудови енергозабезпечення спрямовані на короткочасні процеси посилення надання енергії для життєво важливих органів та систем задля відновлення зруйнованих біохімічних, фізіологічних, функціональних та регуляторних процесів та активацію саногенетичних механізмів.

**Висновки.** Встановлено, що тотальне гама-опромінення тварин у середньолетальних дозах викликає посилення гліколітичного субстратного фосфорилування у початковий і прихований періоди променевої хвороби в крові та м'язовій тканині.

Патофізіологічні механізми спричиненої радіацією перебудови енергозабезпечення спрямовані на короткочасні процеси посилення надання енергії для життєво важливих органів та систем задля відновлення зруйнованих біохімічних, фізіологічних, функціональних та регуляторних процесів та активацію саногенетичних механізмів.

### References:

- [1] Давиденко В.М. Радіобіологія. Миколаїв : Видав. МДАУ. 2011. 265.
- [2] Tang FR, Loke WK. Molecular mechanisms of low dose ionizing radiation-induced hormesis, adaptive responses, radioresistance, bystander effects, and genomic instability. Int J Radiat Biol. 2015; 91(1): 13-27.
- [3] Vaiserman A, Cuttler JM, Socol Y. Low-dose ionizing radiation as a

## MEDICINE AND PHARMACY

- hormetin: experimental observations and therapeutic perspective for age-related disorders. *Biogerontology*. 2021; 22(2): 145-164
- [4] Бурлакова ЕБ, Ерохин ВН, Семенов ВА. Влияние малоинтенсивного облучения на возникновение и развитие злокачественных образований. *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2006; 46(5): 527-530.
- [5] Baynes J, Dominiczak M. *Medical Biochemistry*. Glasgow : Elsevier. 2023. 744.
- [6] Степанов ГФ, Костіна АА, Дімова АА. Порівняльна характеристика термінальної ланки гліколізу в м'язах статевозрілих тварин та їхніх нащадків. *Одеський медичний журнал*. 2021; 5(177): 9-13.
- [7] Averbeck D, Rodriguez-Lafrasse C. Role of Mitochondria in Radiation Responses: Epigenetic, Metabolic, and Signaling Impacts. *Int J Mol Sci*. 2021; 22(20): 11047.
- [8] Qin H, Zhang V, Bok RA, Santos RD, Cunha JA, Hsu IC, Santos Bs JD [et al.] Simultaneous Metabolic and Perfusion Imaging Using Hyperpolarized <sup>13</sup>C MRI Can Evaluate Early and Dose-Dependent Response to Radiation Therapy in a Prostate Cancer Mouse Model. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2020; 107(5): 887-896.