

Вплив рентгенівського проміння на мембранний потенціал і концентрацію калію і натрію в м'язових волокнах жаби

В. І. Богомолец

Лабораторія біофізики і лабораторія загальної фізіології Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР, Київ

Літературні дані з питання про радіаційне ушкодження поперечно-смугастих м'язів малочисельні і до того суперечливі. Деякі автори вважають, що ця тканина дуже резистентна до іонізуючого випромінювання [1, 2]. Інші — Герстнер, Пауел, Річі [3] і Герстнер, Льюїс та Річі [4, 5] виявили значне зниження працездатності опромінених м'язів, розвиток контрактур, подовження тривалості розслаблення і зменшення амплітуди скорочення м'язів. В ряді праць було виявлено зміну біопотенціалів і концентрацію електролітів волокон при радіаційному ушкодженні м'язів [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Здатність тваринних і рослинних клітин зберігати велику різницю концентрацій електролітів щодо зовнішнього середовища, а звідси і значну електричну поляризацію мембрани є однією з найважливіших життєвих властивостей клітин. Підтримування такого невірноваженого стану потребує безперервної витрати енергії, яка утворюється в процесі обміну. Порушення метаболізму клітин завжди приводить до поступового вирівнювання асиметрії в розподілі іонів між протоплазмою і зовнішнім середовищем і зменшення мембранного потенціалу (МП).

Отже, досконале вивчення змін біоелектричних потенціалів і іонних градієнтів при опроміненні дає можливість детальніше з'ясувати питання про механізм дії іонізуючих випромінювань на живі утворення. Оскільки більшість досліджень з цього питання була проведена за методиками, які не дають можливості точно встановити зміни електричної поляризації і концентрації електролітів у клітині, то в даній роботі були застосовані такі удосконалені сучасні методи, як внутріклітинне відведення потенціалів і визначення калію і натрію за допомогою полуменевої фотометрії.

Методика досліджень

Дослідження провадились на т. sartorius жаби (*Rana esculenta*), відпрепарованих від обох лапок. Один м'яз опромінювали рентгенівським промінням, а другий служив контролем.

Опробнювання проводили у вологій камері на апараті РУМ-7. Використовували такі поверхневі дози: 100, 200, 300, 400, 500 кр. Дози вимірювали на дозиметрі РМ-1-М за допомогою камери, призначеної для м'якого опромінення.

Умови опромінення: фільтр — $0,1Al$, фокусна відстань — $7,5\text{ см}$, сила струму — 20 ма , напруга 40 кв ; потужність дози — 20 кр/хв .

При таких умовах опромінення середні вбранні дози відповідно становили 60, 120, 180, 240 і 300 *крад*. Опромінений і контрольний м'язи розтягували на спеціальному стан-

Мембранний потенціал цих мікроелектродів, запро-

Діаметр кінчика тако-
дили тримолярним хлорид-
власний потенціал кінця е-
подавали через катодний е-
цилограф. Момент прокол-
екрани. Вимірювання потен-
ному й опроміненому м'язі
обробляли. Вміст калію і
ге [17] за методикою, яку з-
брали три пари м'язів. Три
служили контролем. Потім
дужували попарно, відповід-

Ураховуючи об'єм м. і Десмедт [19] запропонував, що в локнах, яка й була нами в

де K_s — концентрація речовини в сироватці крові, тому м'язі, включаючи і м'язи.

Досліди провадилися

В табл. 1 наведені дозування (зліва) і опромінені дози опромінення

Середні показники ме

Кradi	№	Кс
		<i>E</i> сp
60	1	70,5
	2	69,3
	3	72,0
120	1	68,3
	2	73,0
	3	74,0
180	1	74,8
	2	74,0
	3	73,6
240	1	69,2
	2	67,3
	3	66,0
	4	73,1
300	1	84,2
	2	82,6
	3	83,9
	4	76,1

В середньому 74,0

ку і досліджували в розчині Рінгера такого складу: 116,25 ммол. Na⁺; 2,0 ммол. K⁺; 1,8 ммол. Са⁺⁺; 117,1 ммол. Cl⁻ і 2,95 ммол. HCO⁻ на один літр.

Мембранний потенціал м'язових волокон відводили за допомогою внутріволоконних мікроелектродів, запропонованих Лінгом і співробітниками та іншими авторами [14, 15, 16].

Діаметр кінчика такого мікроелектрода становив 0,5 мікрона. Заповнення провадили тримоларним хлористим калієм. Опір таких електродів становив 10—50 Мом і власний потенціал кінця електрода не перевищував 10 мв. Сигнал від мікроелектрода подавали через катодний повторювач і підсилювач постійного струму на катодний осцилограф. Момент проколювання м'язового волокна визначали по стрибку променя на екрані. Вимірювання потенціалу провадили через кожну хвилину відповідно в контрольному й опроміненому м'язі протягом трьох годин після опромінення. Ці дані статистично обробляли. Вміст калію і натрію в м'язах визначали на полумєневому фотометрі Ланге [17] за методикою, яку запропонували Едріан [18] і Десмедт [19]. Для кожного дослідження брали три пари м'язів. Три м'язи, по одному з кожної пари, опромінювали, три інші служили контролем. Потім кожний м'яз окремо вміщували в розчин Рінгера і досліджували попарно, відповідно через одну, дві і три години.

Ураховуючи об'єм міжклітинного простору, Бойль, Конвей, Кейн і О'Рейтлі [20] і Десмедт [19] запропонували формулу для визначення концентрації електролітів у волокнах, яка й була нами використана:

$$K_v = \frac{K_m - 0,13K_z}{0,66},$$

де K_v — концентрація речовини всередині волокна; K_m — концентрація речовини у цілому м'язі, включаючи і міжклітинний вміст його; K_z — концентрація речовини у розчині.

Досліди провадилися при кімнатній температурі.

Результати досліджень

В табл. 1 наведені середні показники мембранного потенціалу контрольних (зліва) і опромінених (справа) м'язів. У першій колонці зазначені дози опромінення, а в другій — кількість проведених з кожною до-

Таблиця 1

Середні показники мембранного потенціалу контрольних і опромінених м'язів

Крати	№	Контрольні м'язи				Опромінені м'язи				ΔE
		E ср	σ	n	$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	E ср	σ	n	$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	
60	1	70,5		80		69,7		100		0,8
	2	69,3	8,0	115	0,7	67,7	6,0	105	0,6	1,6
	3	72,0		100		71,5		112		0,5
120	1	68,3				64,8				3,5
	2	73,0	4,9	117	0,5	70,4	5,7	103	0,6	2,6
	3	74,0		93		70,0		91		4,0
180	1	74,8		80		67,3		60		7,5
	2	74,0	7,1	52	1,0	67,0	7,5	52	1,0	7,0
	3	73,6		84		65,5		72		8,1
240	1	69,2		54		56,9		50		12,3
	2	67,3	5,7	84	0,6	53,4	6,3	84	0,7	13,9
	3	66,0		64		52,5		62		13,5
	4	73,1		82		60,9				12,2
300	1	84,2		66		61,0		60		23,1
	2	82,6	5,7	79	0,6	62,8	7,9	92	0,8	19,8
	3	83,9		108		59,9		108		23,8
	4	76,1		100		57,8		117		18,3
В середньому		74,0		1358	0,2					

зою дослідів. Для кожного дослідів наведені результати статистичної обробки одержаних даних. Мембранний потенціал у контрольних (неопромінених) м'язах становив $74,0 \pm 0,2$ мв (кількість м'язів — 16; кількість всіх відведень — 1358). При опроміненні м'яза дозою 60 крэд, мембранний потенціал його волокон починає знижуватись. Із збільшенням дози це зниження прогресує. В крайній правій колонці показана різниця ($\Delta E = E_{\text{норм.}} - E_{\text{опром.}}$) мембранного потенціалу нормальних і опромінених м'язів. Зниження мембранного потенціалу відбувається під час або відразу після опромінення, а потім протягом трьох годин

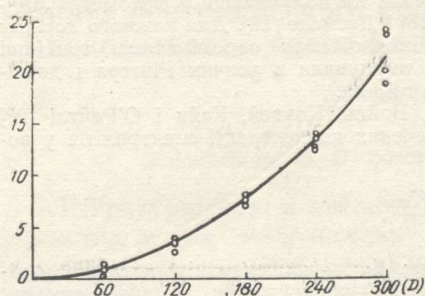


Рис. 1. Залежність $E\Delta$ ($E_{\text{норм.}} - E_{\text{опром.}}$) від дози рентгеновського опромінення (E — величина мембранного потенціалу).

На осі абсцис — дози в крехах; на осі ординат — $E\Delta$ в мв.

цію натрію всередині м'язових волокон.

Табл. 2 показує концентрацію калію і натрію в контрольних (неопромінених) м'язах і результати статистичної обробки одержаних даних.

Таблиця 2
Концентрація калію і натрію в контрольних м'язах

	Час у годинах	Середнє значення концентрації	n	σ	$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	Похибка в %
K (ммол/л)	1	123,2	24	2,7	0,5	0,4
	2	122,4	26	3,9	0,8	0,6
	3	122,2	26	3,7	0,7	0,6
Na (ммол/л)	1	25,0	22	4,2	0,9	3,6
	2	25,6	25	3,4	0,7	2,8
	3	34,1	25	3,2	0,6	1,8

Залежність різниці в концентраціях калію і натрію між контрольними й опроміненими м'язами (ΔK і ΔNa) від дози і часу після опромінення показані на рис. 2 і 3. (Якщо ΔK є величиною позитивною, то ΔNa — негативною, тому що калій при опроміненні м'яза виходить з волокон, а натрій, навпаки, входить в них, і концентрація його всередині волокон стає більшою, ніж у контрольних м'язах).

З графіків на рис. 2 і 3 випливає, що в міру збільшення дози й часу після опромінення вхід натрію у волокна (ΔNa) і вихід калію з них

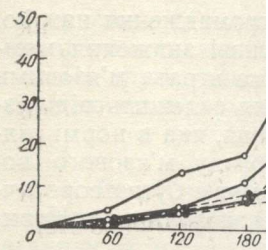


Рис. 2. Залежність різниці концентрації калію і натрію м'язів від дози опромінення (ΔNa) від дози опромінення. На осі абсцис — дози в крехах; на осі ординат — ΔK і ΔNa в мв. Білі кружочки — концентрація калію, 1 — перша година, 3 — третя година.

(ΔK) прогресивно збільшується, ніж іони натрію, збільшується після

Об

Одержані дані у [21], які також показують, що після опромінення калію всього 0,9 мв/г [21], яка була опублікована, що мембранний потенціал зменшується.

Необхідно зауважити, що мембранний потенціал від того самого часу може приводити до зменшення мембранного потенціалу волокон, дають, наприклад, на

В літературі неможливо знайти внутріклітинних електричних потенціалів [21] відзначають збільшення потенціалу після опромінення.

Бергедер спостерігав, а потім помічалося зменшення потенціалу опромінення. В наших дослідженнях швидкості виходу калію з волокон.

На думку Вайлда, калій, екрануючи решту клітини, висушує її, а збільшення сухої ваги, а збільшення провадливості в обчисленні кількості міжклеточного калію й уявлення про те, що спостерігається ті ж самі провадливості на іоні, які провадяться на іоні, зменшення концентрації в

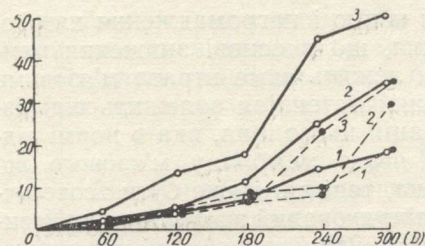


Рис. 2. Залежність різниці в концентрації калію і натрію між контрольними і опроміненими м'язами (ΔK і ΔNa) від дози опромінення.

На осі абсцис — дози в кр; на осі ординат — ΔK і ΔNa в ммоль/л. Білі кружечки — концентрація калію, темні — натрію. 1 — перша година, 2 — друга година, 3 — третя година.

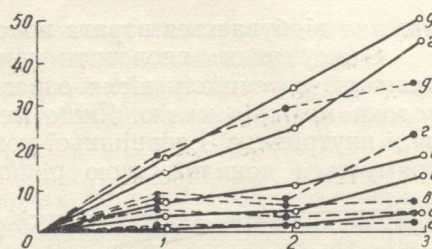


Рис. 3. Залежність різниці в концентрації калію і натрію між контрольними і опроміненими м'язами (ΔK , ΔNa) від часу, що минув після опромінення.

На осі абсцис — час після опромінення в годинах; на осі ординат — ΔK і ΔNa в ммоль/л. Білі кружечки — концентрація калію, темні — натрію; а — 60 кр, б — 120 кр, в — 180 кр, г — 240 кр, д — 300 кр.

(ΔK) прогресивно збільшуються. Іони калію виходять з волокон швидше, ніж іони натрію, причому швидкість виходу іонів обох електролітів збільшується після опромінення дуже незначно.

Обговорення результатів досліджень

Одержані дані узгоджуються з дослідженнями Валкера і Вудбурі [21], які також показали, що мембранний потенціал зменшується негайно після опромінення, а далі його падіння відбувається з швидкістю всього 0,9 мВ/год, тобто досить повільно. Проте, в статті Дардена [21], яка була опублікована після завершення цієї роботи, зазначається, що мембранний потенціал після опромінення з часом помітно зменшується.

Необхідно зауважити, що деякі автори відводили мембранний потенціал від того самого волокна протягом тривалого часу (6—29 годин). Сама по собі присутність у волокні мікроелектрода протягом такого часу може приводити до зменшення потенціалу. Середнє значення мембранного потенціалу, одержане, на основі багатьох промірів різних волокон, дають, на нашу думку, більш об'єктивну картину.

В літературі нема єдиної думки з питання про зміни концентрації внутріклітинних електролітів після опромінення. Бергедер [13] і Дарден [21] відзначають збільшення з часом швидкості виходу калію в розчин після опромінення.

Бергедер спостерігав таке збільшення протягом перших двох годин, а потім помічалося зниження, Дарден — протягом усього часу після опромінення. В наших дослідженнях не спостерігалось значних змін швидкості виходу калію і натрію.

На думку Вайлда і Шеппарда [9], які опромінювали м'язи лап щурів, екрануючи решту тіла, м'язові волокна не втрачали калію на одиницю сухої ваги, а здобували небагато натрію. В цих дослідках виміри провадились в обчисленні на суху вагу тканини, щоб уникнути збільшення кількості міжволоконної води внаслідок набряку, а звідси розведення калію й уявного зменшення його концентрації. Проте, таке явище спостерігається тільки при опроміненні *in vivo*. В наших дослідках, які провадились на ізольованих м'язах, такого ефекту уявного зменшення концентрації не могло бути. Тому ми вважаємо, що після опро-

міння відбувається втрата волокнами калію і нагромадження натрію.

Отже, можна висловити припущення, що в основі зниження мембранного потенціалу після опромінення лежить саме втрата м'язовими волокнами іонів калію. Якщо мембранний потенціал залежить від різниці внутрішньої і зовнішньої концентрацій цього іона, яка в нормі підтримується доннанівською рівновагою через мембрану м'язового волокна, тоді він може бути теоретично підрахований за формулою Нернста [23, 24]:

$$E = \frac{R}{F} \ln \frac{[K]_в}{[K]_з},$$

де E — величина МП, R — газова постійна, F — число Фарадея, T — абсолютна температура, $[K]_в$ і $[K]_з$ — концентрація калію всередині і поза волокном.

За показником внутріволоконної концентрації калію після опромінення м'яза можна теоретично підрахувати падіння мембранного потенціалу. На рис. 4 показана залежність теоретично обчислених і експериментально визначених показників мембранного потенціалу від дози і часу опромінення. Як видно з цього графіка, теоретично обчис-

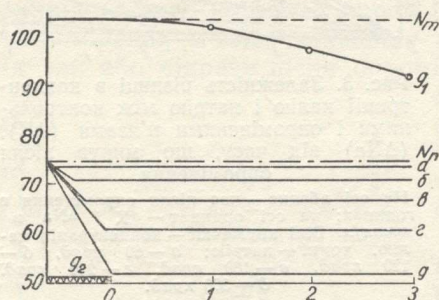


Рис. 4. Залежність теоретично обчислених і експериментально визначених величин мембранного потенціалу від часу, що минув після опромінення. На осі абсцис — час після опромінення в годинах; на осі ординат — мембранний потенціал в мВ. N_m — теоретично обчислений мембранний потенціал у нормі; g_1 — теоретичне зниження мембранного потенціалу при дозі 300 кр/ад, визначене на підставі зменшення концентрації калію; N_m — експериментально визначений мембранний потенціал у нормі; g_2 — час опромінення при 300 кр/ад.

Інші позначення такі самі, як на рис. 3.

лений мембранний потенціал не збігається з експериментальними даними, і графік його зміни має зовсім іншу форму.

Таку невідповідність значень можна пояснити двома причинами. Якщо припустити, що частина внутріволоконного калію перебуває у зв'язаному стані [24], то іонізуюче випромінювання може порушувати структуру і переводити його у вільний стан [21]. Це може привести до того, що, хоч калій весь час виходить назовні, його іонізована частина, від якої залежить величина мембранного потенціалу, протягом деякого часу поповнюється внаслідок звільнення «структурної» частини. Те, що натрій у цих умовах входить у волокна у менших кількостях, ніж виходить калій, також свідчить на користь цього припущення.

Друга причина невідповідності величин потенціалу, можливо, полягає в нерівномірному розподілі увібраної при опроміненні м'яза енергії по його глибині. Цілком природно, що поверхневі волокна ушкоджуються сильніше і їх мембранний потенціал знижується в більшій мірі, ніж в інших волокнах. Відведення потенціалу здійснюється на поверхневих двох-трьох шарах волокон. Визначення ж калію провадиться сумарно для всіх волокон м'яза.

Поки ще неможливо дати вичерпне пояснення механізму впливу іонізуючої радіації на здатність м'язових волокон до вибірного нагромадження певних іонів і створення на цій основі мембранного потенціалу. На нашу думку іонізуюче випромінювання може викликати описані явища з таких причин. По-перше, ушкоджуючи структуру мембрани, яка виконує роль іонного бар'єра, опромінення може збільшити її проникність для іонів натрію і калію. Якщо механізм, який виштовхує натрій із волокон, діятиме навіть нормально, він не справиться з без-

перервним надходж виходитимуть з вол

По-друге, раді тивного транспорту

1. Рентгенівськ мембранний потенці відразу ж після оп нюється дуже незна

2. М'язові воло і здобувають натрій після опромінення.

3. Такі ушкодж опромінення як на мічні властивості і постійної асиметрії вищем і до зменшен

1. Bade, 65, 1939, 2. Ellinger F., M 3. Gerstner H., 4. Gerstner H., 1954, p. 8.

5. Gerstner H., 6. Наumenko A. 7. Walker V. N. 8. Woodbury J. 9. Wilde W., and 10. Wilde W. and 11. Darden E., Ra 12. Bergeder H. 13. Bergeder H. 14. Ling G. and 15. Костюк П. Г., 16. Костюк П. Г., 17. Полуэтов

М., 1959. 18. Adrian R. J., P 19. Desmedt J., J. 20. Boyle, Conw 21. Darden E., Am 22. Conway E. J., 23. Hodgkin A. L. 24. Simon S. E., ol., 40, 1957, p. 753.

Действие рентгено и концентрацию ка

Лаборатория биофизик им. А. А.

Вопросу о радиа уделено в литературе Цель работы за электрических потен

перервним надходженням цих іонів всередину; відповідно іони калію виходитимуть з волокна, і мембранный потенціал зменшиться.

По-друге, радіація може безпосередньо впливати на процеси активного транспортування іонів, діючи на обмінні процеси.

Висновки

1. Рентгенівське опромінення у дозах 60 *крад* і більше зменшує мембранный потенціал м'язових волокон жаби. Це зменшення виникає відразу ж після опромінення; в наступні три години рівень його змінюється дуже незначно.

2. М'язові волокна під впливом тих самих доз втрачають калій і здобувають натрій. Ці зміни посилюються при збільшенні дози і часу після опромінення.

3. Такі ушкодження, можливо, є наслідком впливу іонізуючого опромінення як на метаболічні процеси у волокнах, так і на фізико-хімічні властивості їх мембран. Ці зміни приводять до вирівнювання постійної асиметрії в розподілі іонів між клітиною і зовнішнім середовищем і до зменшення електричної різниці потенціалів на мембрані.

ЛІТЕРАТУРА

1. B a d e, 65, 1939, p. 455.
2. Ellinger F., Medical Radiation Biology, 13, 1954, p. 197.
3. Gerstner H., Powell C., and Richey E., Am. of Physiol., 176, 1, 1954.
4. Gerstner H., Lewis R., and Richey E., Nuclear Science Abstracts, N. 1, 1954, p. 8.
5. Gerstner H., Lewis R., Richey E., J. Gen., Physiol., 37, 4, 1954, p. 445.
6. Наumenko A. И., Бюлл. Экспер. биол. и мед., т. VII, в. 2—3, 1939.
7. Walker V. N. and Woodbury J. W., Fed., Proc., 12, 1953, p. 150.
8. Woodbury J. W., Exper. Cellul. Research, Suppl. 5, 1958, p. 547.
9. Wilde W., and Sheppard C., Proc. Soc. Exper. Biol. Med., 88, 1955, p. 249.
10. Wilde W. and Sheppard C., Fed. Proc., II, 1952, p. 173.
11. Darden E., Radiation Res., 9, 1958, p. 105.
12. Bergeder H. D., Naturwissenschaften, 45, 1958, S. 43.
13. Bergeder H. D., Naturwissenschaften, 45, 1958, S. 61.
14. Ling G. and Gerard R., J. Cellul. and Compar. Physiol., 28, 1946, p. 99.
15. Костюк П. Г., Биофизика, 2, 4, 1957.
16. Костюк П. Г., Микроэлектродная техника, Изд-во АН УССР, К., 1960.
17. Полуэктов Н. С., Методы анализа по фотометрии пламени, Госхимиздат, М., 1959.
18. Adrian R. J., Physiol., 133, 1956, p. 631.
19. Desmedt J., J. Physiol., 121, 1, 1953, p. 191.
20. Boyle, Conway, Paul and O'Reilly, J. Physiol., 99, 1941, p. 401.
21. Darden E., Am. J. Physiol., 198, 4, 1960, p. 709.
22. Conway E. J., Physiol. Rev., 37, 1957, p. 84.
23. Hodgkin A. L., Biological Reviews, 26, 4, 1951.
24. Simon S. E., Shaw F. H., Bennet S. and Müller M., J. Gen. Physiol., 40, 1957, p. 753.

Надійшла до редакції 28. VI 1960 р.

Действие рентгеновского облучения на мембранный потенциал и концентрацию калия и натрия в мышечных волокнах лягушки

В. И. Богомолец

Лаборатория биофизики и лаборатория общей физиологии Института физиологии им. А. А. Богомольца Академии наук УССР, Киев

Резюме

Вопросу о радиационном повреждении поперечнополосатых мышц уделено в литературе очень мало внимания.

Цель работы заключалась в подробном изучении изменений биоэлектрических потенциалов и ионных градиентов при облучении, что

позволит шире осветить вопрос о механизме действия ионизирующих облучений на живые образования. Опыты проводились на изолированных мышцах лягушки. При отведении биопотенциалов применялась микроэлектродная техника, которая дает возможность отводить мембранный потенциал (МП) от одного мышечного волокна.

Определение концентрации электролитов проводилось с помощью пламенной фотометрии.

Рентгеновское облучение в дозах 60 крад и выше уменьшает величину мембранного потенциала мышечных волокон лягушки. Это уменьшение происходит сразу после облучения; в последующие три часа уровень его мало изменяется.

Мышечные волокна при воздействии тех же доз теряют калий и приобретают натрий. Эти изменения усугубляются при увеличении дозы и времени, прошедшего после облучения.

Предполагается, что такие нарушения являются следствием воздействия ионизирующего облучения как на метаболические процессы в волокнах, так и на физико-химические свойства их мембран. Изменение тех и других приводит к выравниванию постоянно существующей асимметрии в распределении ионов между клеткой и наружной средой и, соответственно, к падению электрической разницы потенциалов на мембране.

Effect of X-ray Irradiation on the Membrane Potential and Concentration of Potassium and Sodium in Frog Muscle Fibres

V. I. Bogomoletz

Biophysics Laboratory and Laboratory of General Physiology of the A. A. Bogomoletz Institute of Physiology of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kiev

Summary

The question of radiation injury of striated muscles has come in for very little attention in the literature.

The aim of this research was to study in detail the changes in the bioelectric potential and ionic gradients during irradiation, which will throw light on the mechanism of the action of ionizing irradiation on live formations. The experiments were performed on isolated frog muscles. The microelectrode technique was applied, which made it possible to record the membrane potential from a single muscle fibre.

The electrolyte concentration was determined with the aid of flame photometry.

X-ray irradiation in doses of 60 krad and higher decreases the value of the membrane potential of frog muscle fibres. This decrease occurs immediately after irradiation; in the succeeding three hours there is little change in its level.

Muscle fibres lose potassium and gain sodium during the action of these doses. These changes are intensified on increasing the dose and the time elapsed after irradiation.

It is assumed that such disturbances are a consequence of the effect of ionizing radiation both on the metabolic processes in the fibres, as well as on the physico-chemical properties of their membranes. A change in either leads to the levelling of the constantly existing asymmetry in the distribution of ions between the cell and the external medium and, correspondingly, to the fall in the electrical difference of potentials, on the membrane.

Про вплив гіпотермії

Лабораторія
ім. О. О.

Автори численних судинного тону в ум грунтової фактичн турі тіла до 26—23° регуляції судинного судинних рефлексів ви

В зв'язку із спр цього явища, великий стану судинних рецепто

Наявні в літератур початкової ланки рефл стережуваних при гіп певний висновок.

Так, К. М. Мохін і зменшення при гіпотер ці зміни зниженням збу прямих досліджень збу дили.

Більш певні резул провадячи перфузію із кров'ю, спостерігали зб лодженні синуса до 29

Атанацкович і Ест торів при гіпотермії істо

Проте Турнад і Дн чином Рінгера різної т відсутність депресорни нуса при температурі

Щоб з'ясувати пит шеннях регуляції суди мії, ми провели дослідн тидних і кардіоаортал

Функціональний стан с ізольованому, за методом Мг гера або власною кров'ю те спільну сонну артерію, зміню або холодну (26—19°) воду. постійно вимірювали ртутни синуса досягали введенням відповідної концентрації. По