

М. А. МОВСЕСЯН, А. Г. САРУХАНОВ

ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА НАТРИЯ, КАЛИЯ И КАЛЬЦИЯ В СЕРДЕЧНОЙ МЫШЦЕ, ПЛАЗМЕ И ЭРИТРОЦИТАХ У КРОЛИКОВ, СТРАДАЮЩИХ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНЬЮ ТЯЖЕЛОЙ СТЕПЕНИ

В живом организме обмен веществ, связанный с освобождением энергии, а также транспорт питательных веществ внутрь клетки и выведение из нее шлаков тесно связаны с регулируемым равновесием электролитов. Незначительные отклонения в соотношении между отдельными ионами свидетельствуют о глубоких нарушениях нормального хода обмена и могут являться причиной ряда патологических состояний.

Известно, что электролиты играют важную роль в деятельности сердечно-сосудистой системы [5, 8 и др.], а также, что при лучевой болезни наблюдается ряд нарушений в указанной системе. Вопрос о том, какую роль играют изменения электролитного равновесия в нарушении деятельности сердечно-сосудистой системы при лучевой болезни, в литературе освещен весьма недостаточно [7, 11, 18 и др.].

Все это послужило основанием для изучения электролитного равновесия в плазме, эритроцитах и в сердечной ткани животных, подвергнутых ионизирующей радиации.

Наши эксперименты проводились на животных, страдающих острой лучевой болезнью тяжелой степени. Исследование проводилось на 50 кроликах весом 2,5—3,0 кг, 10 из них были контрольными, а 40—подопытными. Животных облучали аппаратом РУМ—11 при следующих физико-технических условиях: напряжение—187 кв, сила тока—15 ма, фильтры: 0,5 мм меди+1,0 мм алюминия, кожно-фокусное расстояние—60 см, мощность дозы—19—20 р/мин. Облучение было общим однократным в дозе 1600 р. Выбор данной дозы был обусловлен выявлением наиболее отчетливых изменений ЭКГ в первые 2 ч. после облучения [6].

Определение количества ионов натрия, калия и кальция в плазме, эритроцитах и в сердечной мышце проводилось на пламенном фотометре.

Исследования проводились в различные сроки после облучения, а именно: через 10—15 мин., 2 ч., 24 ч. и 4 дня. Плазма отделялась от эритроцитов центрифугированием в течение 20 мин. при 1500 об/мин. После удаления плазмы остаток над поверхностью эритроцитов удалялся, после чего с самого нижнего слоя бралась проба эритроцитов. Сердечную мышцу размельчали в условиях холода до гомогенного состояния, из ко-

того брали навеску. Содержание исследуемых электролитов выражали в мэкв/л. Полученный материал статистически обрабатывался.

Данные по содержанию натрия, калия и кальция в плазме и эритроцитах приведены в табл. 1.

Облучение кроликов в дозе 1600 р приводит к снижению содержания натрия в плазме во всех исследуемых сроках соответственно: 92,4%, 84,1%, 89,1%, 90,1% (норма—100%). Достоверное понижение количества натрия наблюдалось в течение 2 ч. и 24 ч. после облучения ($P < 0,02$ и $P < 0,05$). Содержание калия, кальция и плазмы у этих же животных достоверно не изменялось. Данных о характере изменений натрия, калия и кальция в плазме при облучении в доступной нам литературе мы не встречали, в то время как в сыворотке крови имеется очень много противоречивых данных. Некоторые исследователи при облучении кроликов дозами 250—1500 р отмечали понижение содержания натрия и незначительное повышение калия в сыворотке [16], другие указывают на повышение калия сыворотки к концу первых суток после облучения, а содержание кальция или уменьшается или не изменяется [2, 10 и др.].

В наших исследованиях облучение вызывало понижение натрия в эритроцитах лишь через 2 ч. ($P < 0,01$), содержание же калия в эритроцитах понижалось в течение первых 2 ч. после облучения, а затем поднималось до нормы. З. Н. Нахильницкая [9] отмечает большой выход калия из эритроцитов в первые часы после облучения. Кальций также понижается в первые 2 ч., затем постепенно увеличивается, к 4-у дню достигает нормы.

Еще в 1925 г. Б. И. Збарский (цит. по Дедюлину И. М. [3]) установил, что аминокислоты, находясь в адсорбированном состоянии на поверхности эритроцитов, способны связывать положительно заряженные ионы натрия и калия. И. Б. Фридлянд и М. М. Кубарева [12] обнаружили, что у облученных животных по мере развития острой лучевой болезни способность эритроцитов накапливать аминокислоты понижена. Исходя из этого, можно предполагать, что в эритроцитах имеется связь между понижением ионов натрия, калия и понижением аминокислот.

В наших опытах определение ионных характеристик проводили на сердце в целом.

Из табл. 2 видно, что содержание натрия во всех исследуемых сроках после облучения статистически достоверно не изменяется по сравнению с нормой. Концентрация калия в первые 24 ч. после облучения не изменяется, но уже на 4-й день обнаруживается тенденция к увеличению ($P < 0,1$). Эти данные сходятся с результатами одних [17] и расходятся с данными других исследователей [11]. Это расхождение, по-видимому, связано с тем, что последние определение электролитов проводили в разных отделах сердца. Концентрация кальция в сердечной мышце кроликов во всех сроках после облучения статистически достоверно не изменялась.

Принимая во внимание тот факт, что в последние годы все больше внимания уделяется изменениям не абсолютного количества электроли-

Таблица 1

Изменение количества натрия, калия и кальция в плазме, эритроцитах облученных кроликов в дозе 1600 р

Сроки исследований	Число животных	П л а з м а						Э р и т р о ц и т ы					
		натрий		калий		кальций		натрий		калий		кальций	
		$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P
10—15 мин.	10	$122,0 \pm 7,0$	0,2	$3,1 \pm 0,4$	0,2	$4,36 \pm 0,19$	0,8	$14,4 \pm 1,5$	0,3	$69,0 \pm 1,5$	0,05	$4,07 \pm 0,15$	0,05
2 ч.	10	$111,0 \pm 5,4$	0,02	$4,07 \pm 0,4$	0,5	$4,02 \pm 0,13$	0,1	$8,3 \pm 1,7$	0,01	$60,1 \pm 2,8$	0,001	$3,8 \pm 0,2$	0,05
24 ч.	10	$117,7 \pm 5,5$	0,05	$4,7 \pm 0,48$	0,5	$4,3 \pm 0,16$	0	$14,8 \pm 1,3$	0,3	$72,9 \pm 2,6$	0,5	$4,4 \pm 0,16$	0,3
4 дня	10	$119,0 \pm 8,4$	0,2	$3,47 \pm 0,2$	0,4	$4,3 \pm 0,15$	0	$14,8 \pm 1,3$	0,3	$69,0 \pm 5,5$	0,1	$5,2 \pm 0,2$	0,5
Контроль (норма)	10	$132,0 \pm 4,6$	—	$4,2 \pm 0,7$	—	$4,3 \pm 0,12$	—	$17,8 \pm 2,9$	—	$73,4 \pm 1,34$	—	$5,1 \pm 0,5$	—

Таблица 2

Изменение количества натрия, калия и кальция в сердечной мышце у облученных кроликов в дозе 1600 р

Сроки исследований	Показатели					
	натрий		калий		кальций	
	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P
10—15 мин.	$40,0 \pm 1,8$	0,3	$72,0 \pm 2,8$	0	$4,0 \pm 0,12$	0,5
2 ч.	$39,6 \pm 3,0$	0,3	$73,4 \pm 4,3$	0,5	$3,8 \pm 0,05$	0,2
24 ч.	$41,2 \pm 1,9$	0,4	$72,5 \pm 3,9$	0,5	$3,9 \pm 0,2$	0,6
4 дня	$40,3 \pm 1,7$	0,3	$82,0 \pm 2,0$	$0,1$ $0,05$	$4,04 \pm 0,1$	0
Контроль (норма)	$43,9 \pm 3,2$	—	$72,0 \pm 5,4$	—	$4,03 \pm 0,17$	—

тов, а их соотношений [14], мы провели расчеты по выявлению изменений коэффициентов Na/K и K/Ca в плазме, эритроцитах и в сердечной мышце.

Как видно из табл. 3, отношение Na/K в плазме облученных животных достоверно понижается. Это понижение обусловлено значительным уменьшением натрия в плазме. Градиент K/Ca в плазме крови через 10—15 мин. после облучения также понижается ($P < 0,02$), но через 2 ч. и 24 ч. достоверно повышается ($P = 0,002$), а к 4-у дню приближается к норме. Эти данные сходятся с данными литературы [4].

Коэффициент Na/K в эритроцитах и сердечной мышце под влиянием облучения достоверно понижается. Градиент K/Ca в эритроцитах более стабилен, в наших данных достоверных изменений от нормы не нашли, а в сердечной мышце при постепенном увеличении к 4-у дню исследования отмечается достоверное его повышение ($P = 0,01$).

Известно, что для нормальной сердечной деятельности важное значение имеет соотношение вне- и внутриклеточного содержания электролитов. Поддержание этих градиентов в пределах физиологических величин является необходимым условием для нормального мышечного сокращения [5]. Опыты многих исследователей показали, что в здоровом организме постоянно функционируют механизмы, предупреждающие изменения электролитных градиентов [1, 13, 15].

При лучевой болезни в отношении сердечной мышцы мы пока не располагаем прямыми данными об изменении во вне- и внутриклеточном содержании электролитов. Поэтому изучение коэффициентов отношений электролитов плазмы к электролитам сердечной ткани представляет определенный интерес, ибо они дают представление о характере изменений во внутри- и внеклеточном содержании электролитов.

Таблица 3

Изменение соотношений натрий/калий и калий/кальций в плазме, эритроцитах и сердечной мышце

Сроки исследований	П л а з м а				Э р и т р о ц и т ы				С е р д ц е			
	натрий/калий		калий/кальций		натрий/калий		калий/кальций		натрий/калий		калий/кальций	
	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P
10—15 мин.	$45,0 \pm 3,9$	0,3	$0,63 \pm 0,05$	0,02	$0,21 \pm 0,021$	0,02	$15,9 \pm 1,3$	0,8	$0,57 \pm 0,007$	0,1	$18,4 \pm 0,56$	0,3
2 ч.	$32,4 \pm 2,9$	0,02	$0,98 \pm 0,05$	0,05	$0,21 \pm 0,03$	0,05	$14,9 \pm 1,0$	0,7	$0,54 \pm 0,027$	0,05	$19,1 \pm 0,7$	0,1
24 ч.	$28,1 \pm 2,3$	0,02	$1,16 \pm 0,1$	0,02	$0,23 \pm 0,018$	0,05	$15,9 \pm 0,9$	0,7	$0,58 \pm 0,03$	0,3	$18,6 \pm 0,6$	0,2
4 дня	$31,0 \pm 1,8$	0,05	$0,84 \pm 0,04$	0,5	$0,19 \pm 0,014$	0,01	$15,4 \pm 1,1$	0,5	$0,49 \pm 0,02$	0,001	$20,1 \pm 0,55$	0,01
Контроль (норма)	$40,2 \pm 3,2$	—	$0,81 \pm 0,036$	—	$0,31 \pm 0,035$	—	$15,5 \pm 2,0$	—	$0,61 \pm 0,024$	—	$17,6 \pm 0,7$	—

Таблица 4

Отношение внеклеточных электролитов к внутриклеточным

Сроки исследований	Натрий плазмы/ натрий эритроцит.		Натрий плазмы/ натрий сердца		Калий плазмы/ калий эритроцит.		Калий плазмы/ калий сердца		Кальций плазмы/ кальций эритроц.		Кальций плазмы/ кальций сердца	
	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P	$M \pm m$	P
10—15 мин.	$7,6 \pm 1,07$	0,5	$3,1 \pm 0,18$	0,5	$0,042 \pm 0,005$	0,5	$0,039 \pm 0,004$	0,05	$1,08 \pm 0,065$	0,02	$1,08 \pm 0,031$	0,5
2 ч.	$10,9 \pm 3,0$	0,5	$2,8 \pm 0,17$	0,5	$0,051 \pm 0,005$	0,05	$0,05 \pm 0,003$	0,5	$1,00 \pm 0,05$	0,01	$1,06 \pm 0,047$	0,5
24 ч.	$9,0 \pm 1,2$	0,5	$3,0 \pm 0,13$	0	$0,06 \pm 0,006$	0,05	$0,062 \pm 0,004$	0,05	$0,93 \pm 0,05$	0,5	$1,11 \pm 0,04$	0,5
4 дня	$8,8 \pm 0,5$	0	$3,0 \pm 0,15$	0	$0,04 \pm 0,004$	0,5	$0,045 \pm 0,003$	0,2	$0,92 \pm 0,03$	0,5	$1,08 \pm 0,05$	0,5
Контроль (норма)	$8,8 \pm 0,5$	—	$3,0 \pm 0,18$	—	$0,04 \pm 0,001$	—	$0,05 \pm 0,0039$	—	$0,89 \pm 0,035$	—	$1,09 \pm 0,02$	—

Из табл. 4 видно, что коэффициент соотношения калия плазмы к калию сердца непосредственно после облучения понижается, через 2 ч.—восстанавливается до исходного, а через 24 ч.—увеличивается, однако на 4-й день снова снижается до исходного. Коэффициент соотношения калия плазмы к калию эритроцитов повышается через 2 ч. и 24 ч. после облучения, а в других сроках исследований находится на исходном уровне. Коэффициент соотношения натрия плазмы к натрию эритроцитов и к натрию сердечной ткани во всех исследуемых сроках достоверным изменениям не подвергается. То же самое относится к коэффициенту соотношения кальция плазмы к кальцию сердечной ткани. Что же касается коэффициента соотношения кальция плазмы к кальцию эритроцитов, то он изменяется лишь непосредственно после облучения ($P=0,02$).

В ы в о д ы

1. В первые часы после общего однократного рентгеновского облучения смертельной дозой отмечается ряд изменений электролитного обмена: а) в плазме наблюдается уменьшение содержания натрия, в эритроцитах—натрия, калия и кальция; б) хотя облучение не вызывает резких изменений в количестве натрия, калия и кальция в сердечной ткани, однако коэффициент отношения натрия к калию уменьшается. Этот коэффициент уменьшается также в плазме и в эритроцитах.

2. После облучения значительному изменению подвергаются коэффициенты отношений калия плазмы к калию эритроцитов и сердечной ткани: первый увеличивается, а второй претерпевает фазовые изменения.

Армянский институт
рентгенологии и онкологии

Поступило 10/IV 1968 г.

Մ. Ա. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ, Ա. Գ. ՍԱՐԴԻԱՆՈՎ

ՍՈՒՐ ԶԱՌԱԳԱՅԹԱՅԻՆ ՀԻՎԱՆԴՈՒԹՅԱՄԲ ՏԱՌԱՊՈՂ ԶԱԳԱՐՆԵՐԻ
ՍՐՏԱՄԿԱՆՈՒՄ, ԱՐՅԱՆ ԿԱՐՄԻՐ ԳԵՌԻԿՆԵՐՈՒՄ ՈՒ ՊԼԱՋՄԱՅՈՒՄ
ՊԱՐՈՒՆԱԿՎՈՂ ՆԱՏՐԻՈՒՄԻ, ԿԱԼԻՈՒՄԻ ԵՎ ԿԱԼՑԻՈՒՄԻ ՔԱՆԱԿԱԿԱՆ
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա մ փ ո ւ լ մ

Փորձական ճազարները ենթարկվել են ընդհանուր, միանվագ ճառագայթահարման ռենտգենյան ֆիլտրված ճառագայթներով, 1600 ու. դոզայով: Ծառագայթահարումից 10 րոպե, 2 ժամ, 24 ժամ և 4 օր անց, համապատասխան քանակությամբ արյուն վերցնելուց հետո ճազարներին սատկեցրել են: Արյան պլազմայում, կարմիր գնդիկներում և սրտի հյուսվածքում բոցային ֆոտոմետրով որոշվել է նատրիումի, կալիումի ու կալցիումի քանակությունը: Փորձական

կենդանիների մոտ ստացված տվյալները համեմատվել են ոչ ճառագայթահարված ճառագարների մոտ ստացված տվյալների հետ:

Ստացված արդյունքներից պարզվել է հետևյալը.

1) Ճառագայթահարումից 2—24 ժամ հետո, արյան պլազմայում նատրիումի քանակը նվազում է, կալիումի և կալցիումի քանակը չի փոխվում, իսկ արյան կարմիր գնդիկներում հետադոտովող էլեկտրոլիտների քանակը պակասում է: Ճառագայթահարումից հետո, սրտամկանում, հետադոտովող էլեկտրոլիտների քանակի նկատելի փոփոխություններ չեն նկատվում, եթե նկատի չառնենք կալիումի քանակի աննշան բարձրացումը ($0,05 < P < 0,1$), 4-րդ օրը:

2) Ճառագայթահարումից հետո նկատելի փոփոխություններ են տեղի ունենում Na/K և K/Ca հարաբերության գործակցի մեջ. արյան կարմիր գնդիկներում, պլազմայում և սրտամկանում Na/K գործակիցը փոքրանում է, իսկ K/Ca գործակիցը արյան կարմիր գնդիկներում չի փոփոխվում, պլազմայում մերթ փոքրանում է, մերթ մեծանում: Սրտում K/Ca գործակիցը մեծանում է ճառագայթահարումից 4 օր հետո:

3) Ճառագայթահարումից հետո նկատելի փոփոխություններ են տեղի ունենում նաև պլազմայի ու սրտամկանի, պլազմայի ու արյան կարմիր գնդիկների մեջ գտնվող կալիումի քանակության հարաբերության գործակցի մեջ: Պլազմայի կալիումի և էրիտրոցիտների կալիումի հարաբերության գործակիցը մեծանում է ճառագայթահարումից 2 և 24 ժամ հետո: Պլազմայի կալիումի և սրտամկանի կալիումի հարաբերության գործակիցը մերթ փոքրանում է, մերթ մեծանում: Պետք է ենթադրել, որ վերը շարադրված փոփոխությունները կարելի է նշանակություն ունեն ճառագայթահարված կենդանու սրտի գործունեության խանգարումների առաջացման գործում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Асланян Н. Л. Биологический журнал Армении, 1966, 19, 4, 32.
2. Докишина Г. А., Подкаменская О. М. Радиобиология, 1963, 3, 5, 698.
3. Дедюлин И. М. В кн.: Кислородная недостаточность. Киев, 1963, 368.
4. Иваненко Т. И. Диссертация. М., 1959.
5. Ленци Ф. В. кн.: Достижение кардиологии. М., 1959, стр. 153.
6. Мовсесян М. А., Мкртчян Л. Н. Материалы IV Всесоюзной конференции патофизиологов, т. I. Тбилиси, 1964, стр. 75.
7. Могильницкий Б. Н., Брумштейн М. С. В кн.: Вопросы проницаемости кровеносных капилляров в патологии. М., 1949, 61.
8. Межебовский Р. Г. Терапевтический архив, 1963, 8, стр. 68.
9. Нахильницкая З. Н. Радиобиология, 1966, 6, 6, стр. 796.
10. Николаев А. И., Сүлейманова Г. С., Мухтарова Ф. Г. Радиобиология, 1967, I, стр. 48.
11. Пигалев И. А., Мороз Б. Б., Гроздов С. П. Медицинская радиология, 1961, 12, стр. 29.
12. Фридлянд И. Б., Кубарева М. М. Радиобиология, 1966, 6, 4, стр. 516.
13. Darrow D. C., Muller H. C. J. clin. Invest., 1942, 21, 601.
14. Friedman S. M. The Medical of North America, vol. 1961, 45, 2, 285.
15. Heppel L. A. Amer. J. Physiol., 1939, 127, 385.
16. Hlavaty V., Zak M., Jirounek P. Nature, 1965, 206, 4988, 1057.
17. Hochrein H., Braun H., Rainert M., Kriegsman B. Strahlentherapie, 1963, 120, 4, 587.
18. Kosmider S., Petelenz T., Romer T. Patol. polska, 1961, 12, 2, 177.