

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ

Г. П. ГАРГАНЕЕВ и В. А. МОСКАЛЕВ

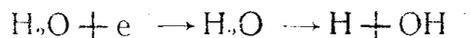
(Представлено научным семинаром физико-технического факультета)

Мы не останавливаемся специально на обзоре существующих теорий о механизме действия ионизирующей радиации, которые подчас имеют лишь историческое значение, как-то: тепловая теория Дессауэра, теория мишеней и прочие, а лишь коротко остановимся на господствующей в настоящее время точке зрения.

Вопрос о механизме действия радиации состоит из двух самостоятельных, но органически связанных между собой частей. Первая из них — это вопрос о первичном взаимодействии излучения с тканями, вторая часть — это пути реализации, механизмы патологического процесса.

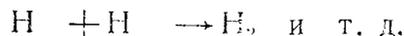
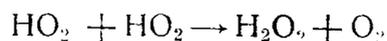
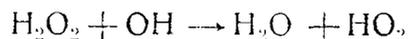
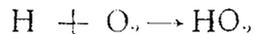
Наибольшую популярность и признание получила теория вторичного действия. Коротко ее суть заключается в следующем.

В результате процессов ионизации молекула воды теряет или приобретает электрон и подвергается дальнейшей диссоциации.



При этом образовавшиеся вновь продукты могут подвергаться различным рекомбинациям, особенно в среде, содержащей кислород.

Так:



В конечном итоге эти процессы приводят к образованию окисляющих радикалов [OH, H, HO₂, H₂O₂], которые, действуя на сульфгидрильные группы (S—H) ферментативных систем, переводят их в дисульфидные группы (S—S), нарушая тем самым деятельность указанных систем, которые главным образом принимают участие в процессах синтеза (в частности, нуклеиновых кислот).

Излагая подобную точку зрения, ряд авторов (А. П. Егоров, П. Д. Горизонтов, Г. М. Франк и др.) возможность ионизации непосредственно тканей организма считают мало вероятной. Так, например, П. Д. Горизонтов в одной из работ за 1955 год пишет: „В первичных процессах не исключается возможность действия ионизации непосредственно на молекулы протоплазмы, которое может вызвать денатурацию белка, его расщепление и даже полимеризацию. Однако такая возможность маловероятна, и в общем биологическом эффекте процессы ионизации воды, как основной среды организма, имеют решающее значение. Поэтому принято считать, что первичные реакции представляют собой результат не прямого (через воду, следовательно, через растворитель¹⁾) воздействия ионизирующей радиации на белковые структуры клетки“.

В ряде отечественных работ теория действия радиации через молекулы воды получила дальнейшее развитие. По вышеописанному механизму возникают повреждения во всех тканях, в том числе и в нервной системе. В результате нервная система оказывается под тройным воздействием: действия радиации непосредственно, раздражений с интерорецепторов и раздражений вновь образованными веществами, которые поступили в кровь. В зависимости от различных сочетаний этих моментов лучевая болезнь может иметь различную выраженность.

Принципиально мы согласны, что определенную роль и, возможно, немалую, играют продукты разложения воды, что нервная система находится под тройным воздействием. Однако мы не можем согласиться с тем, что процесс ионизации в тканях (именно в тканях, а не в молекулах воды) является маловероятным, не влияющим на развитие лучевых поражений. Это положение нельзя считать справедливым хотя бы потому, что содержание плотных веществ в теле взрослого человека составляет 35—42%, при этом элементарный состав плотных веществ тела человека по Бертрану следующий: С—48,43%, О—23,70%, N—12,85%, Н—6,65%, Са—3,45%, S—1,60%, Р—1,58%, Na—0,65%, К—0,55%, Cl—0,45%, Mg—0,10%. Содержатся Fe, Cu, Mn, Co, Zn в тканях очень мало, поэтому они объединяются в так называемую группу микроэлементов.

Сверхжесткое излучение бетатрона может вступать во взаимодействие с любым из этих элементов, вызывая возбуждение их атомов, ионизацию или фотоядерные превращения. Отрицание возможности ионизации непосредственно в тканях является, по нашему мнению, ошибочным. Мы считаем, что наряду с не прямым, косвенным действием ионизирующей радиации на организм существует прямое, непосредственное воздействие излучения на все без исключения химические элементы, входящие в состав организма животного, независимо от места, занимаемого элементом в организме. В результате такого взаимодействия излучения и физиологической среды могут возникнуть различные комбинации молекул ткани, что прежде всего отразится на функции клеток и тканей, а не на микроструктуре их.

Вышеописанные нарушения возникают одновременно во всех системах, но функционально наиболее чувствительная—нервная. Таким образом, на развитие патологического процесса влияют не только те изменения, которые возникают при облучении в результате прямого и непрямого действия в периферических тканях и жидкостях, но и изменения, возникающие в результате нарушений в самой центральной нервной системе.

Как указывалось, бетатронные лучи могут вызвать ядерные превращения в ткани. Эти превращения возникают, когда энергия излучения превышает пороговое значение энергии фотоядерного процесса для данного элемента. Ядерные реакции вызываются также и нейтронами, имеющимися в достаточно большом количестве в пучке лучей бетатрона (осо-

¹⁾ Разрядка авторов.

бенно при энергии лучей 20 Мэв и выше). При взаимодействии квантов излучения высокой энергии и нейтронов, с одной стороны, молекул тканей и жидкостей организма, с другой стороны, возникают ядерные реакции, в результате которых отдельные элементы, входящие в состав организма, переходят на новое место в таблице Д. И. Менделеева, т. е. в организме появляются новые, не свойственные данному участку тканей элементы, что, безусловно, не может не сказаться на химической структуре молекул и функциональной деятельности поврежденных тканей. Более того, если при ионизации существует реальная возможность полного восстановления структуры молекулы при условии быстрого захвата свободного электрона, то при распаде ядра восстановление структуры молекулы невозможно, так как для полного восстановления структуры потребуется замена вновь появившегося элемента исходным. Например, $C^{12}(\gamma n) C^{11}$, $C^{11} \rightarrow B^{11} + \beta^+ + \nu$.

Образование в организме искусственных радиоактивных изотопов не только нарушает молекулярные системы, но и вызывает дополнительное облучение окружающих тканей. В настоящей работе были поставлены опыты, показавшие наличие активации плотных тканей при облучении их лучами бетатрона. Эти опыты позволяют утверждать, что процессы ионизации наблюдаются не только в молекулах воды, но и во всех других молекулярных группах организма. Излучение бетатрона, обладая весьма высокой проникающей способностью, производит ионизацию во всех точках облучаемого объема, причем кость ионизируется приблизительно с такой же интенсивностью, как мягкие ткани. Кроме того, наличие активации означает наличие дополнительной (хотя и кратковременной) ионизации окружающих тканей и жидкостей, обусловленной радиоактивным распадом ядер неустойчивых изотопов элементов.

Наши наблюдения были проведены на морских свинках, которые облучались на бетатроне с энергией 10—11 Мэв.

Исследование свинок на наведенную активность с помощью установки типа „Б“ с β -счетчиком показало наличие таковой у свинок как при жизни, так и после гибели. Наведенная активность держалась в течение ряда дней. Среднее превышение над естественным фоном при применении бета-счетчика типа Б-2 составляло в отдельных случаях около 50%. Изучение фекальных масс этих животных позволило нам наблюдать их слабую радиоактивность в течение многих дней, обусловленную β -излучателями.

Анализ наведенной активности показал, что распад происходит не в молекулах воды, так как известно два радиоактивных изотопа кислорода O^{15} с периодом полураспада 126 сек и O^{19} с периодом полураспада 31 сек. У водорода есть один радиоактивный изотоп— H^3 с периодом полураспада 12,1 года. В наших наблюдениях эти изотопы исключались, так как пороговые энергии, необходимые для образования радиоактивных изотопов O^{15} и O^{19} лежат в пределах 12—15 Мэв, мы же имели дело с энергией 10—11 Мэв.

Первое же облучение кости, высушенной до постоянного веса, и морской свинки на бетатроне с энергией 20 Мэв дало высокий уровень наведенной активности особенно в первые минуты.

Вывод

В результате облучения животных лучами бетатрона с энергиями 10—20 Мэв наблюдается фоторасщепление ядер элементов, входящих в состав тканей и жидкостей организма. Образованные вновь радиоактивные ядра обуславливают дополнительное облучение тканей, прилегающих к этим ядрам, причем доза этого облучения будет наиболее высокой непосредственно после прекращения внешнего облучения.