

М. Г. ТАИРБЕКОВ В.М. ПЕТРОВ

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Ионизирующие излучения, существующие в природе, создают в окружающей среде радиационный фон, который складывается из внешних и внутренних источников излучения.

Главным внутренним источником ионизирующих излучений природного происхождения являются радиоактивные изотопы. Кроме того, существуют искусственные источники ионизирующих излучений, возникающие в результате деятельности человека, связанной с использованием ядерных технологий в народно-хозяйственных и военных целях. К категории внешних источников излучения относятся космические лучи и продукты вызываемых ими ядерных реакций на атомах атмосферы Земли.

Ионизирующая радиация - неотъемлемый фактор окружающей среды, существующий на всем протяжении биологической эволюции. Поэтому вся биосфера, включая микроорганизмы, растения, животные и человека, постоянно находятся под влиянием естественного радиационного фона. Однако в последнее время возникали и могут вновь возникнуть ситуации, когда естественный радиационный фон может быть превышен в сотни и даже в тысячи раз. Такие чрезвычайные обстоятельства могут произойти в результате применения ядерного оружия в период военных действий или террористических актов, а также техногенных катастроф, вследствие аварий на АЭС или других спецобъектах.

Биологический эффект воздействия ионизирующей радиации обусловлен поглощением тканью энергии, передаваемой излучением атомам вещества за очень короткий период времени (10⁻¹⁰ - 10⁻¹⁶ с). Эта энергия намного превосходит энергию внутри - и межмолекулярных взаимодействий. Поэтому процессы, происходящие в биологических системах на различных уровнях организации, подвержены модифицирующему влиянию радиации. Через очень короткий промежуток времени (~ 10⁻¹² с) с момента начала ионизации электрон взаимодействует в жидкой среде (в биологической ткани - это вода) с другими молекулами, образуя высокоактивные компоненты, т. н. «свободные радикалы», которые в дальнейшем инактивируются в продуктах химических реакций. Эти продукты, растворенные в жидкой субстанции клетки, реагируют с молекулами структурных компонентов клетки, наиболее чувствительными из которых являются молекулы ДНК - носители наследственной информации. Повреждение этих молекул - главная причина поражающего действия ионизирующей радиации.

В основе радиационно-химических изменений молекул лежат два разных механизма, которые можно рассматривать как результат прямого или косвенного действия ионизирующей радиации.

Под прямым действием радиации подразумевается поглощение энергии излучения самими молекулами.

Под косвенным действием радиации понимают изменения молекул в растворе, обусловленные химическими превращениями растворенных в воде веществ, вызванными продуктами радиолиза воды.

Основной задачей радиобиологии является установление общих закономерностей ответных реакций живых систем всех уровней организации (от молекулярного до организменного) на действие ионизирующих излучений.

Возникновение радиобиологии связано с тремя великими событиями, последовавшими друг за другом за очень короткий промежуток времени в самом конце XIX века: открытием в 1895 году Вильгельмом Рентгеном X-лучей, названных его именем (рентгеновское излучение), открытием в 1896 году Анри Беккерелем естественной радиоактивности урана и открытием в 1898 году Марией Склодовской и Пьером Кюри радиоактивных свойств радия и полония.

Обнаруженные затем негативные последствия действия ионизирующей радиации на биологические системы и понимание необходимости исключения таких последствий или их уменьшения явились предпосылками возникновения и бурного развития в XX веке радиобиологии как самостоятельной научной дисциплины.

Можно сказать, что радиобиология своим возникновением и развитием во многом обязана практической потребности защиты организма человека от губительного воздействия ионизирующей радиации.

Изучение биологического действия ионизирующих излучений началось сразу же после открытия рентгеновских лучей. Примерно через год (1896) в печати появилось сообщение о поражениях кожи у лиц, которые принимали участие в экспериментах с использованием этого вида радиации. Долгое время объектом наблюдения оставалась кожа, так как мало кто догадывался о проникающей способности рентгеновских лучей.

Однако уже в 1903 году было обнаружено летальное действие рентгеновских лучей на лабораторных животных - мышей, а также впервые отмечены изменения в составе крови и повреждение органов кроветворения, что в настоящее время относится к основной симптоматике лучевой болезни. Далее были детально описаны типичные изменения клеток костного мозга и лимфатических узлов. Результаты этих экспериментов, суммированные в монографии «Радий в биологии и медицине», опубликованной в 1911 году в Германии, ознаменовали первый этап становления радиобиологии - описательный период развития этой науки. Кроме того, к этому времени уже было установлено, по крайней мере, два принципиальных факта: феномен торможения клеточного деления и неодинаковая реакция разных типов клеток на облучение.

На этом основании в 1906 году были сформулированы положения, вошедшие в историю как закон или правило *Бергонье и Трибондо*, суть которого состоит в том, что радиочувствительность клеток прямо пропорциональна уровню их репродуктивности и обратно пропорциональна степени дифференцировки (специализации). Несколько позже начались эксперименты по изучению влияния ионизирующих излучений на эмбриональное развитие и выявление роли ядра в радиочувствительности клетки. Однако, как уже было отмечено выше, эти исследования хотя и имели фундаментальное значение, но носили описательный характер и не могли объяснить механизма действия ионизирующей радиации на организм.

Второй этап развития радиобиологии связан со становлением количественных методов исследования последствий воздействия радиации на биологические объекты, который дал возможность связать возникающий биологический эффект с *дозой облучения*. Этот этап характеризуется массовыми экспериментами на различных одноклеточных и многоклеточных организмах для установления и интерпретации зависимости *доза-эффект*.

В 1922 году Ф. Дессауэром была предложена первая теория, объясняющая радиобиологический эффект дискретностью облучения, -актов ионизации в чувствительном объеме. Эти предположения в последующем получили развитие при разработке теории попаданий и теории мишеней в трудах Д. Ли, Н.В. Тимофеева-Рессовского, К. Циммера и др.

Однако одним из самых выдающихся событий в радиобиологии является обнаружение влияния ионизирующих излучений на генетический аппарат клетки и мутагенного эффекта радиации.

Особенно интенсивное развитие радиобиологических исследований началось после ядерной бомбардировки Японии, когда для оказания неотложной помощи огромному числу

людей, пострадавших от взрыва, возникла необходимость разработки эффективных способов лечения радиационных поражений.

Это в свою очередь, потребовало более детального изучения механизма радиобиологических эффектов и патогенеза лучевой болезни.

Вместе с тем резкое увеличение радиационного фона в атмосфере Земли вследствие массовых испытаний ядерного оружия, радиационных техногенных аварий, развитие промышленных ядерных технологий и необходимость создания высоконадежных систем радиационной безопасности населения и персонала сделали эту проблему общепланетарной и придали ей международный социально-политический характер. Кроме того, начавшиеся во второй половине прошлого века космические полеты, проходящие в условиях чрезвычайно высокого уровня фона потоков заряженных частиц космической радиации, привнесли ряд дополнительных задач в проблему воздействия ионизирующего излучения на биологические системы, образовав специфический раздел - космическую радиобиологию.

Если учесть, что даже самые незначительные изменения в живых системах, начиная с уровня клетки, могут быть индуцированы всеми типами ионизирующих излучений, включая и космическую компоненту, то следует ответить на один из чрезвычайно важных вопросов. Могла ли радиация сыграть определенную роль в биологической эволюции?

Значение ионизирующих излучений в биологической эволюции следует рассматривать в двух аспектах.

Первое - это возможное влияние потока космической радиации на примитивные микроформы (вирусы, споры бактерий и т.п.) - т.е. на материал, «блуждающий» во Вселенной, попадающий на поверхности астероидов, комет, а также крупных небесных тел, в частности на поверхность Земли. Такая вероятность, с нашей точки зрения, может иметь место на ранних этапах эволюции.

Второй, более вероятный и важный аспект - это роль радиационного фактора в развитии жизни на Земле на всех последовательных этапах биологической эволюции. В этом случае, несомненно, влияние на эволюционный процесс космической радиации, беспрепятственно проходящей через атмосферу.

Биологическая роль космического излучения априори кажется маловероятной, так как дозы, получаемые на земной поверхности, чрезвычайно малы. Тем не менее, определенное количество космического излучения, достигшее земной поверхности, может оказывать влияние на жизнедеятельность современных организмов. Однако, учитывая условия, существовавшие в начальный период геологической эволюции нашей планеты, в том числе и радиационный фон, можно с большой долей вероятности предполагать, что ионизирующая радиация имела существенное значение в период возникновения и развития жизни на Земле.

Актуальные проблемы радиобиологии

На сегодняшний день существует много работ, посвященных детальному обсуждению механизмов действия ионизирующих излучений на живые системы разных уровней организации. Вместе с тем остается ряд нерешенных проблем, имеющих важное научно-практическое значение.

Первая проблема — это экспериментальное доказательство существования положительной корреляции между величиной дозы и биологическим эффектом, не зависящим от того, имеем ли мы дело с малыми (т.н. стимулирующими) или большими (повреждающими) дозами облучения. Вторая проблема - это отдаленные последствия радиационного воздействия. Она состоит в том, что через много лет после облучения остается высокая вероятность возникновения онкологических заболеваний; лейкемии или опухолей различных органов.

Третье - это проблема малых доз, точнее «разгадки» механизма их стимулирующего действия. Как известно, при облучении многоклеточного организма часть клеток погибает или теряет способность к делению. Оставшаяся неповрежденной часть клеточного пула, очевидно, может возместить потерю и не дать организму погибнуть. Но в этом случае возрастает вероятность возникновения ошибок в последующих генерациях клеток, что приведет к нарушению алгоритма клеточного деления, и тем самым увеличению числа неопластических (опухолевых) клеток, с одной стороны, и преждевременному старению организма на фоне ускорения ростовых процессов - с другой.