

Радиобиологическое воздействие низких уровней излучений и опасность раковых заболеваний

Вопреки некоторым представлениям, специфической связи между радиацией и опасностью заболеваний раком не существует

Р.Мукерджи и
Дж.Мирчева

Риск для здоровья (особенно в отношении раковых заболеваний) от ионизирующего излучения низкого уровня неизменно привлекает к себе значительное внимание. Недавно опубликованные отчеты об уровне радона в жилых зданиях и производственных помещениях, значительное выпадение радиоактивных осадков в результате аварии на Чернобыльской АЭС и предполагаемые кластер-эффекты раковых заболеваний среди проживающих поблизости от ядерных объектов — все это способствовало усилению беспокойства среди населения.

При чтении популярной прессы такие отчеты могут создать необоснованные страхи и искаженное представление о том, что радиация почему-то является единственным или доминирующим канцерогенным источником в нашей окружающей среде. Это далеко не так.

К сожалению, такие представления нелегко изменить. Хотя по ионизирующим излучениям низкого уровня и воздействию его на организм человека существует настоящая энциклопедия научных знаний, большая часть этой информации публикуется в специализированных изданиях, труднодоступных для широкой публики.

Эта научная информация включает в себя основные концепции и исследования, которые могут помочь представить в более четкой перспективе вопросы радиации и риска раковых заболеваний. В данной статье дается краткий обзор основных положений этих концепций.

Фактор окружающей среды и другие факторы

Начало XX века ознаменовалось открытием ионизирующего излучения и радиоактивности. Первые ученые, работавшие в ус-

ловиях радиации в то время, не были осведомлены о вредных воздействиях радиации на организм человека. Многие из них серьезно пострадали и, в первую очередь, вследствие обусловленных радиацией раковых новообразований эпидермиса.

Такие трагические случаи на ранней стадии исследований произошли в "эру неведения или невежества". За ней последовала "эра прогрессивного просветительства" в радиационной биологии и радиационной генетике.

С течением времени были установлены принципы взаимодействия радиационной дозы с последствиями радиации, которые помогли охарактеризовать и количественно прогнозировать возможный канцерогенный эффект для животных и людей. С того времени в результате проведения эпидемиологических исследований стало поступать все больше соответствующих данных. В конце 40-х годов началось прямое изучение последствий облучения человеческого организма высокими дозами ионизирующего излучения (имеется в виду изучение последствий облучения жертв атомных бомб, сброшенных на Японию).

Однако примеры образования злокачественных опухолей у людей в результате облучения на ранних стадиях работ по атомной энергии наряду с другими примерами, имевшими место впоследствии, повлияли на умы людей и вызвали представление, что существует "специфическая связь" между ионизирующим излучением и риском заболевания раком. Эти представления даже усиливались по мере прогресса в области полезного использования радиоактивного облучения в медицине, а также разработки количественных критериев и стандартов в области радиологической защиты такими организациями, как Международная комиссия по радиологической защите (ICRP) или Научный комитет ООН по действию радиации (UNSCEAR). С течением лет стала возможной также и точная оценка естественного радиоактивного фона. Как известно, любой человек, независимо от того, принадлежит ли он к какой-либо технологически развитой или развивающейся стране, неизбежно подвергается определенному воздействию низких уровней облу-

Г-н Мукерджи является руководителем Секции прикладной радиационной биологии и радиотерапии Отдела естественных наук МАГАТЭ, а г-жа Мирчева является штатным сотрудником этого Отдела. В данной статье выражена личная точка зрения автора, которая не обязательно совпадает с мнением МАГАТЭ.

чения. Такие природные источники облучения включают в себя радон, космические лучи, породы и почвы, а также, например, калий-40 в соли. Эти источники составляют большую долю облучения человека. Средняя годовая доза облучения одного человека от естественных источников излучения составляет 2,4 миллизиверта (мЗв).

Другими источниками радиоактивного облучения являются медицинские диагностические приборы и ядерный топливный цикл, которые в нормальных условиях их применения дают незначительную дозу облучения человеческого организма. Среднегодовая индивидуальная доза облучения, обусловленная ядерным топливным циклом, составляет менее 1 % от 2,4 мЗв, получаемых от естественного природного фона.

Помимо облучения человек подвергается воздействию самых различных веществ, находящихся в окружающей среде. Они включают в себя химические загрязнители, вредные генотоксичные вещества, часть из которых известна как канцерогенные и предположительно являющиеся главной причиной деградации окружающей среды. Они включают в себя вредные вещества, образующиеся при сжигании ископаемых видов топлива, такие как многофазные ароматические углеводороды или бензо-а-пирен; токсичные тяжелые металлы, деготь, смолы и другие органические продукты, идентичные канцерогенам в сигаретном дыме; вредные газы, такие как двуокись серы и закись азота, которые связывают с "парниковым эффектом" и феноменом повышения температуры земного шара. Вызывают также беспокойство такие промышленные загрязнители, как асбест, винилхлорид, применяемый при изготовлении пластмасс, и диоксин.

Такие химические вещества или сами по себе, или в сочетании с облучением окружающей среды могут синергетически увеличить канцерогенный риск для человека. Постоянное обнаружение более высокого коэффициента заболеваемости раком городского населения по сравнению с уровнем заболеваемости в контрольных сельских районах, как представляется, подтверждает мнение, что рак является экологической болезнью.

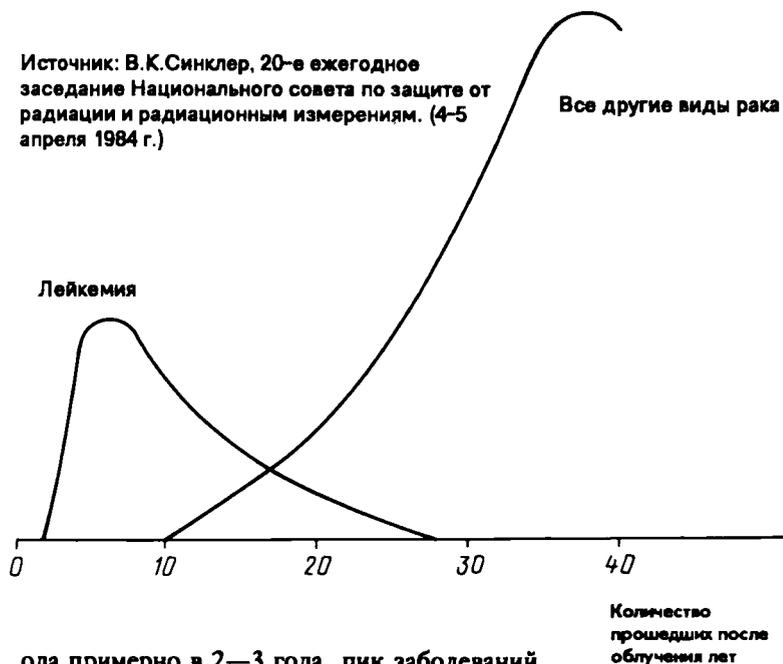
Эпидемиологические исследования и модели определения риска

Имеются обширные данные по "индукции" рака при высоких уровнях радиации, главным образом, ввиду наличия объемных исследований жертв атомных бомбардировок в Хиросиме и Нагасаки в 1945 г. Дополнительно были проведены эпидемиологические исследования пациентов, которые подвергались облучению в процессе лечения таких болезней, как анкилозирующий спондилит, рак шеи и др., а также лиц, которые в силу своей профессии подвергались облучению. Результаты таких исследований

оформлены в виде специальных совместных отчетов Японии и США. Они называются отчетами Фонда по исследованию влияния ионизирующих излучений (RERF). Отчеты основаны на изучении в течение всей жизни оставшихся в живых жертв атомных бомбардировок в Японии и их потомков. Результаты исследования помещены в отчетах UNSCEAR, Комиссии Национального Совета по научным исследованиям США по вопросам биологического влияния ионизирующих излучений (BEIR) и других организации, основательно занимающихся вопросами радиационной защиты.

Обследование лиц, подвергшихся атомной бомбардировке, показало на сегодняшний день в целом, что причиной повышенной смертности этой части населения является заболевание различными формами рака. Появление злокачественных опухолей в аспекте времени после облучения происходило в соответствии с определенной моделью. (См. график.) Сначала появляется лейкемия после короткого латентного пери-

Раковые заболевания и время



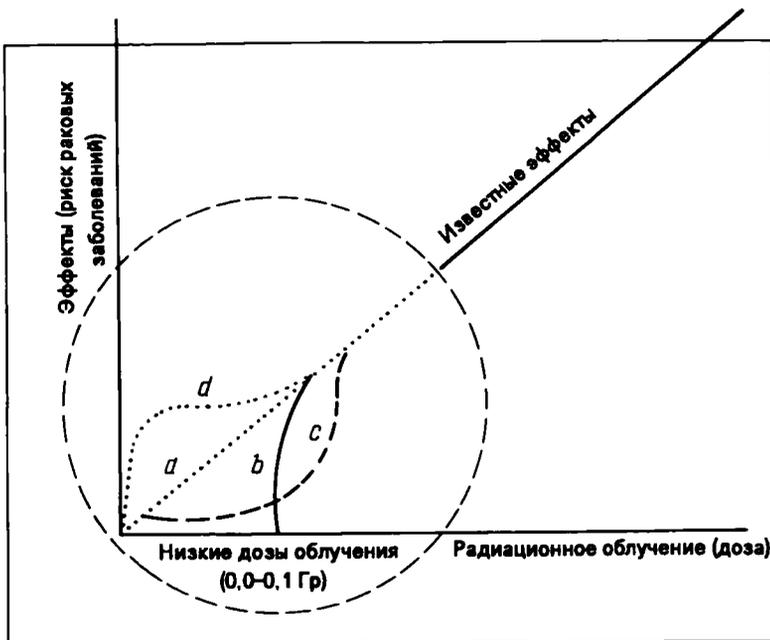
ода примерно в 2—3 года, пик заболеваний наблюдается через 6—8 лет, затем наблюдается снижение уровня этого заболевания и после примерно 25 лет после облучения заболевания этой болезнью почти полностью прекращаются. Однако динамика заболеваний другими видами рака совсем другая. Оставляя в стороне некоторые различия в деталях относительно различных видов рака, в целом наблюдается тенденция появления этих заболеваний после латентного периода около 10 лет после облучения. Отмечается прогрессивное увеличение этих заболеваний, оно зависит от полученной дозы облучения и возраста исследуемых лиц.

Оценка ICRP и UNSCEAR риска раковых заболеваний на единицу полученной дозы —

когда в среднем каждый человек получает большую дозу при большой мощности излучения — варьируется от 4,5 до 7,1 % в расчете на один зиверт (Зв), в зависимости от применяемой модели прогноза.

Однако при низких уровнях радиации (в общей сложности ниже 0,2 грея) имеющиеся данные не дают однозначного подтверждения риска заболевания раком. Однако оценка радиобиологических эффектов является консервативной. Она основана на линейной зависимости эффекта от дозы. При этой зависимости предполагается, что любое облучение, независимо от того, насколько мала была доза облучения, может в принципе оказать воздействие на здоровье. Величина этого воздействия должна находиться в пропорциональной зависимости от полученной общей дозы. Эта гипотеза яв-

Некоторые предполагаемые модели, показывающие изменения в радиационных эффектах в зависимости от доз облучения при низких уровнях излучения



ляется основой национальных и международных стандартов в области радиационной защиты.

Большинство радиобиологов полагают, что при более низких дозах и уровнях излучения потенциальный риск для здоровья относительно небольшой в соответствии с линейной моделью. Однако некоторые ученые утверждают, что существует пороговый уровень облучения, ниже которого риск практически равен нулю. Другие ученые считают, что риск непропорционально ниже или выше, чем тот риск, который прогнозировался в линейной модели. (См. график.)

Радиобиологические последствия

При отсутствии убедительных данных оценка воздействия, которое оказывает на организм человека ионизирующее излуче-

ние низкого уровня, производится на этой теоретической основе. Уровень дозы облучения, о которой мы говорим, во много раз ниже самой низкой дозы, при которой эффекты (включая канцерогенный риск) были недвусмысленно задокументированы.

Распространенные формы рака, такие как рак груди у женщин, рак легких, рак желудочно-кишечной системы и лейкоз могут быть вызваны рядом факторов. Те раковые заболевания, которые вызываются химическими веществами, клинически по своему характеру не отличаются от заболеваний, вызываемых ионизирующим излучением. Этот факт был обнаружен при исследовании по биологии клетки и по генетике, и особенно при изучении функций клеток и ДНК, которая является химической и молекулярной основой наследственности. (См. рисунок.) Существует аналогия между молекулярным повреждением ДНК, вызываемым радиацией, и/или химическими веществами. В каждом отдельном случае поврежденные клетки обладают способностью либо восстановиться полностью или частично, либо погибнуть — все зависит от величины облучения и уровня повреждения. Клетки, которые восстанавливаются после повреждения, могут стать стимулятором роста клеток и инициировать их канцерогенную трансформацию. Процесс может получить дальнейшее активное развитие под влиянием внешних и/или генетических факторов, таких как вредные вещества в пище или вирусные гены, называемые онкогенами (вещества, вызывающие развитие опухоли). Статистическая вероятность этого многоэтапного развития процесса ракового заболевания зависит от всех этих факторов и событий. При низких дозах и уровне радиации риск заболевания раком, как полагают, небольшой вследствие эффективной способности клеток к самовосстановлению после их повреждения. Предполагается, что ведущиеся исследования по молекулярной радиобиологии будут способствовать дальнейшему прогрессу в области выяснения связей между уровнем облучения и последствиями такого облучения, причем в большей степени в количественных показателях. Таким образом будет укреплена аналитическая основа проведения оценок риска заболевания раком.

Перспективы

Принимая во внимание большое количество раковых заболеваний, которое наблюдается среди населения в целом, выявление дополнительного эффекта, вызываемого радиацией низкого уровня, оказалось трудным и противоречивым. Воздействия на организм человека маскируются обычными расстройствами здоровья, которые могут иметь место под влиянием облучения или без такового.

Ниже уровня 0,05—0,1 грея, который неизменно и часто фигурирует при решении вопросов радиационной защиты, попытки оценить какое-то количество дополнительных раковых заболеваний, вызванных облучением с низким уровнем радиации, сталкиваются с рядом неопределенностей и допущений. В целом существует общее мнение, что вероятным следствием облучения большого количе-

ства людей при низком уровне радиации может быть инициировано относительно небольшого количества раковых заболеваний через несколько лет или даже десятилетий после облучения в дополнение к тысячам таких заболеваний, которые возникают в естественных условиях.

Человеческое общество подвергается и будет неизбежно подвергаться в будущем облучению незначительными дозами ионизирующего излучения от естественных источников. В некоторых географических районах в Индии, Китае, Бразилии и других странах уровень естественного радиоактивного фона фактически в 3—4 раза выше среднего естественного фона. На сегодняшний день не было никаких четких, недвусмысленных данных об увеличении числа раковых заболеваний населения, проживающего в этих районах.

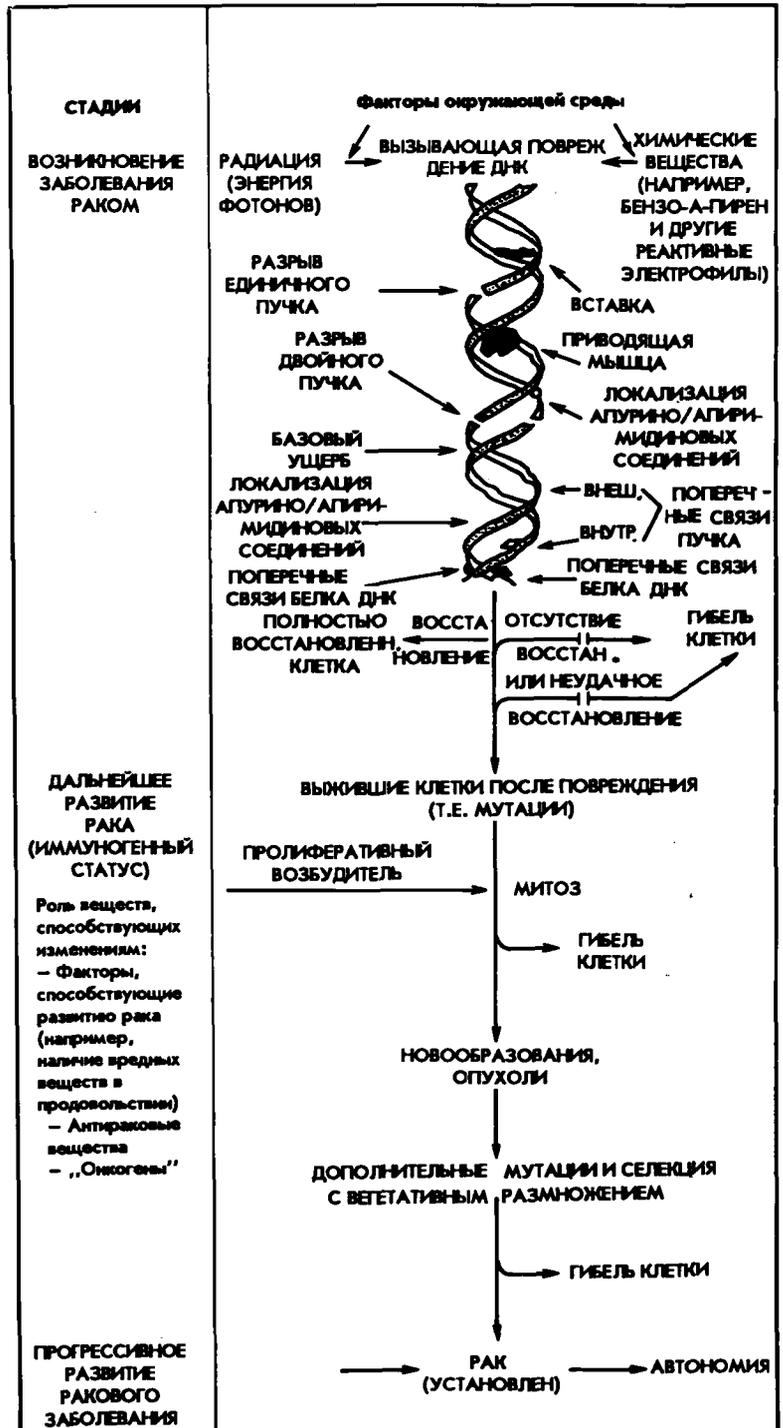
После аварии в Чернобыле в 1986 г. в некоторых отчетах прогнозируется увеличение на 10000—20000 случаев раковых заболеваний в течение ближайших 70 лет в расчете на население около 10 млн. человек, которые в той или иной степени подвергались облучению. Если даже такой прогноз окажется верным, можно ли эти раковые заболевания статистически отличить от естественных спонтанных раковых заболеваний среди этого населения? В чистом исчислении может оказаться, что будут наблюдаться не более, чем один-два дополнительных случая раковых заболеваний определенного вида, которые можно связать с облучением во время аварии в Чернобыле. Нет определенности в достоверности ни максимального, ни минимального варианта прогноза.

В последнее время отмечено также заметное увеличение случаев заболевания лейкемией среди детей некоторых мужчин — работников завода по переработке ядерного топлива в Селлафилде. Механизм увеличения риска ракового заболевания связан с изменением генетического кода зародышевых клеток родителя в рассматриваемых случаях заболевания лейкемией. Однако этот вывод, сделанный на основе чрезвычайно малого количества обследований, находится в сильном противоречии с выводом, сделанным в сопоставимом исследовании японскими учеными и, как представляется, находится в противоречии со всеми известными биологическими механизмами биологического размножения и передачи по наследству. В Хиросиме наблюдалось только 13 случаев раковых заболеваний, включая пять случаев заболевания лейкемией среди 10903 детей (в возрасте 20 лет и моложе), отцы которых облучились в результате выпадения радиоактивных осадков при сбросе атомных бомб (их средняя доза составила 466 мЗв). При параллельном исследовании контрольной группы в количестве 41066 детей наблюдалось 49 случаев раковых заболеваний, включая семь случаев заболевания лейкемией. Эти исследования не показали какого-либо заметного влияния

облучения родителей на случай заболевания детей лейкемией.

Риск заболевания в результате облучения низкого уровня не должен недооцениваться. Он интенсивно исследовался в течение почти целого столетия. В то же время сейчас все в большей степени признается, что гораздо больший риск раковых заболеваний исходит от других, побочных факторов, не связанных

Схематичные механизмы инициирования раковых заболеваний



с радиацией. Еще большее количество факторов остается неизвестным.

Сам факт того, что влияние радиации низкого уровня еще не является известным и определенным, способствовал созданию противоречивости и вызвал дискуссии по этому вопросу. Однако этот факт свидетельствует также и о том, что если и есть эффекты, то они малы и их чрезвычайно трудно убедительно документировать.

В этих условиях целый набор стандартов по радиационной защите, которые составлены на консервативной базе, имеет, по-видимому, солидную научную основу. Будущие работы по молекулярной радиобиологии должны дать больше количественных данных, которые могли бы пролить дополнительный свет на канцерогенные механизмы и понимание связей между величиной дозы облучения и ее влиянием на организм человека.