

МИКРОБИОЛОГИЯ

Э. Я. ГРАЕВСКИЙ и Г. К. ОЧИНСКАЯ

**О ВЛИЯНИИ КИСЛОРОДА НА ПОВРЕЖДАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ
РАЗЛИЧНЫХ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

(Представлено академиком А. Д. Сперанским 6 II 1953)

Рядом исследований установлено, что чувствительность различных биологических объектов к рентгеновскому и γ -излучениям может быть ослаблена путем снижения содержания кислорода в окружающей их внешней или внутренней среде. Разрушающее действие лучистой энергии на растения, животные, бактерии, нормальные и опухолевые ткани млекопитающих, а также ряд веществ, выделенных из животных и растительных организмов в той или иной степени ослаблялось при уменьшении содержания кислорода в период облучения. Снижение парциального давления кислорода достигалось в этих опытах различными путями. Бактерии, растения и опухоли помещались во время облучения в атмосферу азота, а участки тела интактных животных делались гипоксическими выключением циркуляции крови при помощи давления или лигатуры. В целом животном гипоксия в момент облучения достигалась стягиванием грудной клетки для предотвращения дыхания, взятием значительного количества крови непосредственно перед облучением, введением в организм некоторых восстановителей или, наконец, помещением животного в атмосферу с низким содержанием кислорода.

В указанных работах, однако, не сопоставлялось влияние бескислородных условий на повреждающее действие разных типов ионизирующих излучений.

Облучая корешки конских бобов в воздухе и в атмосфере азота рентгеновскими и α -лучами Тодей и Рид (1) обнаружили, что анаэробноз снижает радиочувствительность этого объекта. Однако в то время, как в случае рентгеновских лучей эффект ослабляется приблизительно в 2,5 раза, на действие α -излучения отсутствие кислорода влияет очень слабо, снижая его эффективность всего в 1,3 раза.

Результаты этих работ говорят о том, что бескислородные условия могут по-разному влиять на повреждение биологических объектов различными видами ионизирующих излучений.

В настоящей работе исследована зависимость повреждающего действия трех видов ионизирующей радиации (X -, γ - и β -лучи) от присутствия кислорода в момент облучения. Выяснение этого вопроса важно для оценки того, в какой мере сходны или отличны механизмы биологического действия этих видов излучения.

Опыты ставились на кишечной палочке *Bacterium coli commune*. Суточные культуры кишечной палочки, выращенные на мясопептонном агаре при 37°, разводились физиологическим раствором до концентрации 1 млрд микробных клеток в 1 мл. По 0,5—1,0 мл такого физиологического раствора со взвешенными в нем микроорганизмами наливалось в узкие стеклянные пробирки диаметром 0,3 мм, в которых производилось

облучение бактерий. Бактерии облучались при 15° в воздухе и под вакуумом рентгеновскими β - или γ -лучами. При этом контролем к бактериям, облучавшимся в условиях вакуума, служили бактерии, содержащиеся под вакуумом, но не подвергавшиеся воздействию радиации. Соответственно, для бактерий, освещавшихся в воздухе, контролем являлись микроорганизмы, находившиеся в течение опыта в таких же условиях, но не облучавшиеся. Эвакуация воздуха производилась при помощи масляного насоса, понижавшего атмосферное давление до 10^{-4} мм рт. ст. Существенно отметить, что пребывание бактерий в условиях вакуума в течение длительных сроков (двое суток и дольше) не влияло заметно на их численность и жизнеспособность. Сразу же после облучения равные объемы физиологического раствора с освещенными и контрольными необлученными бактериями разводились одинаковым количеством физиологического раствора и отсюда производился высев определенных количеств материала на агаровую среду (Эндо) в чашки Петри. Последние помещались в термостат с температурой 37° . На следующие сутки подсчитывалось количество колоний бактерий, выросших на контрольных и опытных чашках. Средние числа колоний, выросших после облучения в условиях вакуума и в воздухе, выражались в процентах по отношению к своему контролю. Таким путем прослеживалось влияние отсутствия кислорода на повреждающее действие на бактерий разных излучений.

В опытах с β -излучением один или несколько капилляров с эманацией радия длиной 1,5—3 см помещались непосредственно в физиологический раствор со взвешенными в нем микроорганизмами. Доза эманации радия

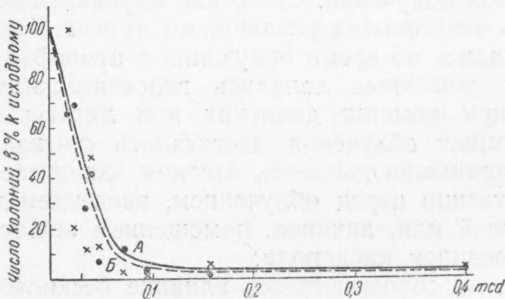


Рис. 1. Зависимость степени повреждения бактерий от дозы β -лучей в присутствии воздуха (A) и в вакууме (B)

варьировалась в различных опытах от 0,02 до 0,4 мсд. Наблюдавшийся нами эффект должен быть, главным образом, отнесен за счет активности β -лучей, так как при наличии фильтра 2 мм платины бактерии, подвергшиеся γ -облучению в дозе до 4 мсд не обнаружили никакого отличия от контрольных. Продолжительность облучения бактерий составляла от 2 до 60 мин. в одних опытах и 7 час. — в других. Отношение количества поврежденных микроорганизмов к их исходному

числу определялось, по видимому, только дозой радиации и для одинакового количества радиации не обнаруживало заметных различий при разных сроках воздействия.

Освещение рентгеновскими лучами производилось при следующих условиях: 160 кв, 4 ма расстояние 23 см, без фильтра, мощность дозы 400 г/мин. Доза варьировала в разных опытах от 5000 до 20000 г.

В качестве источника γ -радиации был использован радиоактивный кобальт с алюминиевым фильтром толщиной 2 мм. Мощность дозы при расстоянии в 10 см составляла 12 г/мин. Доза γ -излучения в разных опытах варьировалась как расстоянием, так и продолжительностью облучения (от 15 до 39 час.) и находилась в пределах от 2340 до 34164 г.

Результаты 10 серий опытов (34 опыта) с β -лучами сведены на рис. 1. Кривые показывают снижение численности бактерий, облучавшихся в нормальных условиях и в условиях вакуума в связи с дозой радиации.

Сплошная кривая иллюстрирует зависимость количества жизнеспособных контрольных, облучавшихся в воздухе, микроорганизмов от дозы β -радиации. Прерывистая кривая, отображающая реакцию на облучение

бактерий, находившихся в момент воздействия под вакуумом, накладывается на первую кривую.

Гибель 50% микроорганизмов контрольных, так же как и облучавшихся в условиях вакуума, достигается одинаковым количеством радиации — 0,03 мсд. Полученные данные свидетельствуют о том, что в усло-

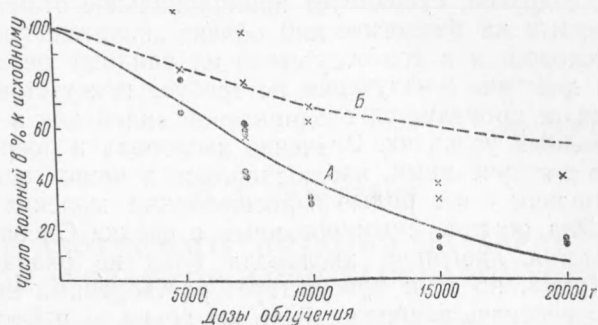


Рис. 2. Зависимость степени повреждения бактерий от дозы X-лучей в присутствии воздуха (А) и в вакууме (Б)

виях вакуума чувствительность микроорганизмов к β -излучению заметно не изменяется.

Существенно отличные результаты были получены при применении в качестве воздействия рентгеновских лучей. Суммарные результаты 6 серий опытов (29 опытов) представлены на рис. 2, где кривые отображают влияние разных доз рентгеновских лучей в норме и в условиях вакуума на численность бактерий. В этом случае радиочувствительность бактерий оказывается существенно различной. Повреждающее влияние рентгеновских лучей на микроорганизмы в анаэробных условиях оказывается сильно сниженным. Так, при облучении в воздухе доза радиации, при которой 50% клеток утрачивает способность к размножению, составляет 7500 г. В то же время доза, вызывающая повреждение 50% клеток в анаэробных условиях для этого излучения превышает 20000 г, при которых способность к размножению сохраняет еще 58,5% клеток. Таким образом отношение доз для повреждения равной части клеток « $\frac{\text{под вакуумом}}{\text{в воздухе}}$ » в случае лучей Рентгена составляет приблизительно 2,6 или несколько выше.

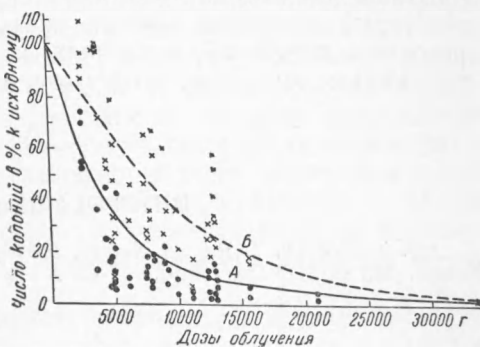


Рис. 3. Зависимость степени повреждения бактерий от дозы γ -лучей в присутствии воздуха (А) и в вакууме (Б)

Итоги 24 серий опытов (102 опыта) с γ -радиацией представлены графически на рис. 3. Кривые показывают зависимость количества бактерий от дозы этого излучения в обычных условиях и под вакуумом. Здесь, как и в опытах с рентгеновскими лучами в условиях вакуума существенно снижается повреждаемость бактерий. Если облучение в воздухе вызывает гибель 50% клеток при дозе радиации в 3000 г, то под вакуумом аналогичный процент отмирания отмечается только при увеличении дозы до 7000 г. В этом случае, следовательно, требуется увеличение дозы облучения приблизительно в 2,3 раза.

Результаты настоящего исследования показывают, что в условиях вакуума существенно снижается чувствительность бактерий к действию

X- и γ -лучей, тогда как ослабления действия β -излучения не происходит. Эффект, наблюдаемый в случае X- и γ -лучей под вакуумом по всей видимости связан с возникающими при этом анаэробными условиями. Таким образом, между биологическим действием использованных в наших опытах фотонных излучений (X- и γ -лучи), с одной стороны, и корпускулярных (β -лучи), с другой, существует принципиальное отличие. Тогда как в действии первых на биологический объект значительную роль играет свободный кислород, и в его отсутствие их влияние резко снижается, биологическое действие β -излучения не требует присутствия молекулярного кислорода, и проявляется с одинаковой силой как в обычных, так и в бескислородных условиях. Значение кислорода в повреждении бактерий X-, γ - и β -излучениями, наблюдавшееся в наших опытах, обнаруживает параллелизм с его ролью в расщеплении молекул воды этими излучениями. Ряд опытов, суммированных в сводке Олсоппа (3), показывает, что чистая, лишенная кислорода вода не разлагается X- и, вероятно, γ -лучами, но если присутствует растворенный кислород, то в ней образуется перекись водорода. В то же время α - и β -лучи способны продуцировать перекись водорода в воде независимо от того, содержится ли в ней свободный кислород или нет.

Вероятно, в этом процессе большое значение имеет линейная плотность ионов, образуемых по пути ионизирующих частиц. Таким образом, косвенное действие радиации, связанное с диссоциацией молекул воды, по видимому, играет существенную роль в повреждении микробной клетки.

Наши данные, как нам кажется, позволяют также предположить, что некоторый защитный эффект, оказываемый гипоксией при воздействиях фотонных излучений, в случаях корпускулярной радиации с большой плотностью ионизации может отсутствовать.

Поступило
24 III 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. Thoday, J. Read, Nature, 160 (4070), 608 (1947). ² J. Thoday, J. Read, Nature, 163 (4134), 133 (1949). ³ C. Allsopp, Trans. Farad. Soc., 40 (2), 79 (1944).