

УДК 614.485

DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3465416>

## **ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ МИКРОБНОЙ КЛЕТКИ В ПРАКТИКЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ОБЛУЧАТЕЛЕЙ**

**Морозова Н.С., Ридный С.В.**

*Харьковская медицинская академия последипломного образования  
[sergey.readney@gmail.com](mailto:sergey.readney@gmail.com)*

## **ДІЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ГЕНЕТИЧНИЙ АПАРАТ МІКРОБНОЇ КЛІТИНИ В ПРАКТИЦІ ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВИХ ОПРОМІНЮВАЧІВ.**

**Морозова Н.С., Рідний С.В.**

*Харківська медична академія післядипломної освіти  
[sergey.readney@gmail.com](mailto:sergey.readney@gmail.com)*

## **THE EFFECT OF ULTRAVIOLET RADIATION ON THE GENETIC APPARATUS OF A MICROBIAL CELL IN THE PRACTICE OF USING ULTRAVIOLET IRRADIATORS.**

**Morozova N.S., Readney S.V.**

*Kharkov Medical Academy of Postgraduate Education  
[sergey.readney@gmail.com](mailto:sergey.readney@gmail.com)*

### **Резюме / Summary**

The actual problems of using bactericidal UV radiation are formulated from the standpoint of the peculiarities of the mechanism of action of UV on the DNA of microbial cells. The factors that determine the processes of photoreactivation, mutations that contribute to the restoration of bacterial viability after UV irradiation, and the change in their biological properties are highlighted. The questions of divergent adaptation of microorganisms to repeated UV irradiation, leading to the formation of resistance to UV, are considered. The genetic mechanisms of the action of UV radiation on a microbial cell are discussed from the standpoint of determining the correct strategy and tactics for using UV radiation in disinfection practice.

**Keywords:** *UV radiation, photoreactivation, dark repair, photoprotection, mechanisms resistance to UV radiation.*

Формулюються актуальні проблеми використання бактерицидного УФ-випромінювання з позицій особливостей механізму дії УФ на ДНК мікробної клітини. Освітлюються фактори, що визначають процеси фотореактивації, мутації, що сприяють відновленню життєспроможності бактерій після УФ-облучення, зміні їх біологічних властивостей. Розглядаються питання дивергентної адаптації мікроорганізмів до багаторазового облучення УФ, при-

водящему к формированию устойчивости к УФ. Обсуждаются генетические механизмы действия УФ излучения на микробную клетку с позиций определения правильной стратегии и тактики применения УФ излучения в дезинфектологической практике.

**Ключевые слова:** *УФ излучение, фотореактивация, темновая реактивация, фотопротекция, механизмы устойчивости к УФ излучению.*

Формулюються актуальні проблеми використання бактерицидного УФ випромінювання з позицій особливостей механізму дії УФ на ДНК мікробної клітини. Висвітлюються чинники, що визначають процеси фотореактивації, мутації, що сприяють відновленню життєздатності бактерій після ультрафіолетового опромінювання, зміні їх біологічних властивостей. Розглядаються питання дивергентної адаптації мікроорганізмів до багаторазового опромінювання УФ, що приводить до формування стійкості до УФ. Обговорюються генетичні механізми дії УФ випромінювання на микробну клітину з позицій визначення правильної стратегії й тактики застосування УФ випромінювання в дезинфектологічній практиці.

**Ключові слова:** *УФ випромінювання, фотореактивації, темнова реактивация, фотопротекція, механізми стійкості до УФ випромінювання.*

Ультрафиолетовое бактерицидное излучение входит в число средств обеспечивающих снижение уровня инфекционных заболеваний, связанных с оказанием медицинской помощи. Оно является действенным профилактическим средством, направленным на подавление жизнедеятельности микроорганизмов в воздушной среде и на поверхностях помещений.

Ультрафиолетовое (УФ) излучение — это электромагнитное излучение ультрафиолетового диапазона длин волн в интервале от 100 до 400 нм. По предложению II радиологического конгресса в 1932 г. УФ излучение принято делить на три группы по длине волны: А 400—315 нм, В 315—280 нм, С 280—100 нм. Все эти участки обладают бактерицидным действием, однако наиболее выраженное действие производят лучи участка С, максимум бактерицидного действия которого находится в области 253,7—257,6 нм.

Условно всё оборудование для обеззараживания воздуха УФ излучением можно разделить на установки

открытого/комбинированного типа (эксплуатация в отсутствие людей) и закрытого типа (эксплуатация в присутствии людей).

К воздействию УФ излучения более чувствительны вирусы и бактерии в вегетативной форме. Менее чувствительны грибы и простейшие микроорганизмы. Наибольшей устойчивостью обладают споровые формы бактерий.

Микроорганизмы относятся к кумулятивным фотобиологическим приемникам, следовательно, результат взаимодействия бактерицидного излучения и микроорганизма зависит от его вида и от энергии излучения, поглощенной клеткой, а также реализуемых генетических механизмов действия УФ на микробную клетку.

Антимикробное действие УФ излучения, являющегося частью спектра электромагнитных волн оптического диапазона, проявляется в деструктивно-модифицирующих фотохимических повреждениях ДНК в клеточном ядре микроорганизмов, что приводит к гибели микробной клетки.

Однако большее число экспери-

ментальных данных свидетельствует, что под влиянием УФ излучения в молекулах ДНК могут возникать различного рода локальные повреждения, которые под влиянием ряда факторов в конечном счете нивелируются восстановлением поврежденных участков ДНК, т.е. восстановлением жизнеспособности микробной клетки, изменением её биологических свойств (формированием устойчивости к УФ излучению, антибиотикам, дезинфектантам и т.п.).

Поэтому вопрос о широком внедрении в практику обеззараживания воздуха УФ излучения по-прежнему остается чрезвычайно актуальным и требует дальнейшего изучения с позиций всестороннего познания механизмов повреждающего действия УФ излучения на генетические структуры микробной клетки.

Чувствительность микроорганизмов к УФ излучению находится в зависимости от возраста, физиологического состояния клетки, особенностей обмена веществ, видовой чувствительности, способности клеток к восстановлению повреждений [1].

Микробные клетки в популяции различно реагируют на облучение. Часть микробных клеток погибает вследствие прямого попадания в них пронизывающих частиц. Другие клетки подвергаются глубоким биохимическим изменениям. Эти клетки некоторое время после облучения находятся в состоянии заторженности, а затем вследствие начавшихся в них биохимических процессов некоторые из них погибают, а другие вследствие влияния условий внешней среды в течение нескольких часов после облучения восстанавливают свои повреждения и возвращаются в исходное состояние [1].

Способность к восстановительной реакции после облучения ультрафиолетом характерна для всех видов

микроорганизмов. Процесс восстановления (реактивации) находится в зависимости от таких факторов, как наличие кислорода, температуры, видимого света, питания и др.

Наиболее благоприятное воздействие на процесс восстановления микроорганизмов оказывает видимый свет. Это явление было названо Кельнером фотореактивацией [2, 3]. Показано, что степень фотореактивации пропорциональна продолжительности и интенсивности освещения видимым светом. Данное явление заключается в снижении летального действия ультрафиолетовых лучей в результате обработки бактерий видимым светом [4].

Способность к фотореактивации — генетически детерминированное свойство бактериальных клеток. В основе фотореактивации лежит действие фермента, выделяемого фотореактивирующими клетками. Указанный фермент, проявляющий активность при наличии видимого света, восстанавливает повреждение ДНК, вызванное УФ излучением.

Помимо фотореактивирующей системы у бактериальных клеток существуют системы, восстанавливающие повреждения ДНК, вызванные УФ излучением в отсутствие видимого света. Способность к темновой реактивации, так же как и к фотореактивации, заложена в геноме бактериальных клеток.

У штаммов, обладающих системой темновой реактивации, УФ облучение вызывает временную остановку синтеза ДНК. Темновая реактивация, как и фотореактивация, обусловлена действием фермента, присутствующего в бактериальных клетках до облучения. Следовательно, темновая реактивация представляет собой энзиматический процесс, благодаря которому происходит удаление поврежденных участков ДНК и восполнение утраченного материала за счет вновь синтези-

рованного [4].

Помимо этого, летальное действие УФ облучения в отношении бактерий может быть снижено путем предотвращения формирования повреждений. Такого рода защитное действие наблюдается при облучении бактерий видимым светом, предшествующим УФ облучению [5]. Данное явление известно под наименованием фотопротекция [6]. По мнению ряда авторов, фотопротекция в отличие от фотореактивации является не энзиматическим процессом, а фотохимической реакцией.

В процессе эксплуатации бактерицидных ламп под влиянием ряда факторов происходит снижение интенсивности излучения, и как следствие снижение бактерицидного эффекта УФ излучения.

Режим работы УФ облучателей оказывает значительное влияние на интенсивность и спектральный состав их излучения. Так, после истечения 1/3 номинального срока службы излучение ламп уменьшается на 30 %, а к концу срока службы на 50—60 %, в основном за счет потери прозрачности колбы под действием УФ излучения.

Определенное значение на интенсивность излучения оказывает наличие пыли в помещении. Прилипание пыли к поверхности светильника происходит неодинаково и зависит от её физико-химических свойств. Липкая пыль оседает на всех плоскостях светильника и лампы. Инертная пыль ложится на горизонтальные поверхности. Пыль, осевшая на отражателе светильника, изменяет его светотехнические параметры. Пыль, осевшая на лампу, значительно снижает поток УФ излучения, направленного в верхнюю полусферу.

Бактерицидный эффект УФ излучения снижается в процессе «старения» лампы. Диффузное покрытие тускнеет и темнеет, что приводит к умень-

шению коэффициента отражения и снижению КПД. По мере загрязнения зеркальных отражающих поверхностей меняется их световое распределение. Снижение КПД из-за загрязнения может достигать 10-12 %.

При расчете и проектировании установок УФ излучения необходимо учитывать значения коэффициентов отражения строительных материалов, которые более низкие, чем в видимой области.

Таким образом, необходимо периодически не реже одного раза в месяц осуществлять чистку от пыли поверхности отражателя и колбы, так как даже небольшой слой пыли заметно снижает выход бактерицидного потока. Фотометрическое снижение интенсивности УФ излучения бактерицидной лампы на 50 % делает её непригодной для использования в целях обеззараживания воздуха.

Известно, что малые дозы УФ излучения являются мощным фактором, влияющим на формирование микробных клеток с измененной наследственностью (мутантов). Кроме того малые дозы УФ индуцируют стимуляцию клеточных процессов, в частности активирование процессов деления и возвращения в исходное состояние [1].

Особого внимания заслуживают вопросы устойчивости бактерий к УФ излучению. К настоящему времени в мировой литературе накопился большой фактический материал о возможности образования устойчивых форм микроорганизмов к воздействию УФ излучения. Имеются данные о формировании устойчивости к ультрафиолету даже в результате однократного воздействия УФ [7].

Из популяций бактерий, облученных УФ, могут быть выделены культуры, обладающие наследственно закрепленной повышенной устойчивостью

по сравнению с исходными культурами [4].

Важно отметить, что высокая скорость размножения микроорганизмов позволяет им адаптироваться к стрессовым воздействиям УФ излучения в условиях многократного облучения. Alcantara-Diaz с соавт., исследуя дивергентную адаптацию кишечной палочки к повторным циклам УФ-облучения при 254 нм, показали, что адаптация к циклическому УФ-облучению была следствием отбора полезных мутаций, возникающих в разных генах, связанных с репарацией и репликацией ДНК. Авторы пришли к выводу, что чрезмерное повторное облучение может вызвать устойчивость микроорганизмов к УФ-излучению [8].

Микроорганизмы, устойчивые к УФ часто оказываются устойчивыми к антибиотикам, дезинфицирующим средствам. Это свойство устойчивости к УФ излучению оказывается стабильным и передается последующим поколениям [1].

Наблюдается и обратный процесс. Доказано, что увеличение устойчивости к УФ излучению может быть стимулировано антибиотиками, дезинфектантами. Показано, что даже при кратковременной обработке микробных клеток левомицетином повышается устойчивость к УФ. Происходит это за счет развития способности к успешной репарации мутагенных или летальных повреждений ДНК микробных клеток [9].

Описана индуцируемая перекисью водорода устойчивость к УФ у кишечной палочки. Предполагается, что защитное действие  $H_2O_2$  связано с индукцией синтеза ферментов деградирующих  $H_2O_2$  либо  $O_2$ -содержащие свободные радикалы. Такими ферментами могут быть пероксидазы или ферментные комплексы, убирающие свободные радикалы [10].

Защитную роль от действия УФ излучения на микробную клетку выполняют и пигменты, которые могут образовываться у любых видов микроорганизмов как защитный фактор от действия видимого и ближнего УФ света. Так, например, имеются данные о способности *Mycobacterium tuberculosis* вырабатывать на свету каротиноиды. Это свойство микроорганизма детерминировано генетически [11].

В целом, по мнению большого числа исследователей установки с источниками УФ излучения в виде ртутных ламп высокого и низкого давления недостаточно эффективны в отношении микроорганизмов, обладающих средней и высокой природной устойчивостью, а также резистентных госпитальных штаммов. Во многих случаях это не позволяет проводить эффективное и адекватное обеззараживание воздушной среды, т.е. применение УФ в ряде случаев не имеет смысла [12].

Исследования показали, что в помещениях асептического профиля (операционные), где применяются облучатели как открытого типа (в отсутствие людей), так и экранированные (в присутствии людей) не оказывают кардинального влияния на проблему роста микробной обсемененности воздуха в период длительного пребывания людей в помещении. Так фон обсеменности воздуха микроорганизмами в первом случае возрастает через 1-1,5 часа почти до 100 %, а во втором – через 1,5-2,5 часа [13]. Поэтому специалисты, рассматривающие проблему использования УФ для длительного облучения помещений без учета механизмов воздействия УФ на ДНК микробной клетки, допускают серьезную методологическую ошибку.

В настоящее время установлено, что отраженный ультрафиолет может причинять значительный вред здоровью людей и действовать на генети-

ческий аппарат микробной клетки. Коэффициент отражения стен и потолков в помещениях, где размещены облучатели с отражателями, как правило, не известен [14].

Бытует мнение, что деконтаминация воздуха целесообразна в качестве заключительного звена при подготовке помещения к функционированию, а также в процессе пребывания людей в помещении для предотвращения нарастания микрофлоры в результате жизнедеятельности людей или заноса микрофлоры извне. Очистка воздуха УФ излучением без применения остатального комплекса санитарно-гигиенических мероприятий в помещениях не имеет смысла.

Несомненный прогресс в области использования УФ излучения для обеззараживания воздуха в помещениях, как и достижения в любой области знаний, порождают новые проблемы, требующие новых научных и практических решений.

Представленные выше материалы свидетельствуют, что в проблеме использования УФ излучения для обеззараживания воздуха в помещениях проявляются общие закономерности, характеризующие сущность влияния ультрафиолета на генетический аппарат микробной клетки.

Недооценка роли характера изменений, возникающих в ДНК бактерий, подвергнутых УФ облучению, недопустима, так как приводит к упрощенному пониманию этой проблемы и как следствие неадекватному использованию различных технологий обеззараживания воздуха ультрафиолетом.

Понимание генетических механизмов действия УФ излучения на микробную клетку имеет решающее значение для определения правильной стратегии и тактики использования ультрафиолета в медицине.

Таким образом, изложенные дан-

ные, далеко не полностью охватывающие имеющийся экспериментальный материал, показывают многогранность и чрезвычайную сложность процессов, обеспечивающих реализацию генетической информации в проблеме применения УФ излучения в практическом здравоохранении.

### Литература

1. Руководство по микробиологии, клинике и эпидемиологии инфекционных болезней. Том 2: Общая микробиология / Отв. ред. Н.Н. Жуков-Вережников; Ред. тома В.М. Жданов. — М.: Медгиз, 1962. — С.109 — 152.
2. Ковалев И. Ф., Влияние видимого участка спектра лучистой энергии на динамику патологического процесса в клетке, поврежденной ультрафиолетовыми лучами, в кн.: Учёные записки Украинского экспериментального института глазных болезней, т. 1, Одесса., 1949, С.385 — 397.
3. Kelner A., Effect of visible light on the recovery of *Streptomyces griseus* conidia from ultra-violet irradiation injury. *Proceedings National Academy of Sciences*, 1949, 35 (2) 73-79.
4. Скавронская А. Г. Мутации у бактерий. М. Медицина, 1967 г. с. 232.
5. Weatherwax R.S. Reactivation of ultraviolet irradiated *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.* 1956, 72, 3, 329-332.
6. Jagger J., Stafford R. S. Biological and physical ranges of photoprotection from ultraviolet damage in microorganisms. *Photochemistry and Photobiology*. 1962 Vol. 1, pp. 245-257.
7. Першина З. Г., Васильева И. Г. Влияние малых доз ультрафиолетового облучения на изменчивость дизентерийных бактерий Флекснера. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии*, 1960, №11, С. 99-103.
8. Alcantara-Diaz D, Brena-Valle M, Serment-Guerrero J. Divergent adaptation of *Escherichia coli* to cyclic ultraviolet light exposures. *Mutagenesis*, 2004 19 (5), 349—354.
9. Doudney C. O., Rinaldi C. N. Chloramphenicol-promoted increase in resistance to UV damage in *Escherichia coli*

- B/r WP2 trpE65: development of the capacity for successful repair of otherwise mutagenic or lethal lesions in DNA «Mutat. Res.», 1985, 143, № 1-2, 29—34
10. Sammartano L. J., Tuveson R. W. Hydrogen peroxide induced resistance to broad-spectrum near-ultraviolet light (300—400 nm) inactivation in *Escherichia coli*. Photochem. and Photobiol., 1985, 41, № 3, 367 — 370.
  11. Шлегель Г. Общая микробиология. М., Мир, 1987, С.83-84.
  12. Голубцов А. А. Экстренная (неотложная) дезинфекция воздуха и поверхностей помещений в комплексной системе инфекционной безопасности медицинских организаций. Менеджер здравоохранения, 2013, №7, С. 57-63.
  13. Брусина Е.Б., И.П. Рычагов. Эпидемиология внутрибольничных гнойно-септических инфекций в хирургии. — Новосибирск: Наука, 2006. — 171 с.
  14. Юзбашев В.Г., Абрамова И.М. Современные средства и технологии обеззараживания воздуха в лечебно-профилактических учреждениях. Актуальные вопросы теории и практики дезинфектологии: Мат. Всеросс. науч.-практ. конф., посв. 75-летию НИИ дезинфектологии Роспотребнадзора. — Москва, 2008. —С. 198-200.
- References**
1. Rukovodstvo po mikrobiologii, klinike i epidemiologii infektsionnykh boleznei. Tom 2: Obshchaya mikrobiologiya / Otv. red. N.N. Zhukov-Verezhnikov; Red. toma V.M. Zhdanov. — М.: Medgiz, 1962. — S.109 — 152.
  2. Kovalev I. F., Vliyanie vidimogo uchastka spektra luchistoi energii na dinamiku patologicheskogo protsessa v kletke, povrezhdennoi ul'trafiol'etovymi luchami, v kn.: Uchenye zapiski Ukrainskogo eksperimental'nogo instituta glaznykh boleznei, t. 1, Odessa, 1949, S.385 — 397.
  3. Kelner A, Effect of visible light on the recovery of *Streptomyces griseus* conidia from ultra-violet irradiation injury. Proceedings National Academy of Sciences, 1949, 35 (2) 73-79.
  4. Skavronskaya A G. Mutatsii u bakterii. M. Meditsina, 1967 g. s. 232.
  5. Weatherwax R.S. Reactivation of ultraviolet irradiated *Escherichia coli*. J. Bacteriol. 1956, 72, 3, 329-332.
  6. Jagger J., Stafford R. S. Biological and physical ranges of photoprotection from ultraviolet damage in microorganisms. Photochemistry and Photobiology. 1962 Vol. 1, pp. 245-257.
  7. Pershina Z. G., Vasil'eva I. G. Vliyanie mal'kh doz ul'trafiol'etovogo oblucheniya na izmenchivost' dizenteriiynykh bakterii Fleksnera Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii, 1960, №11, S. 99-103.
  8. Alcantara-Diaz D, Brena-Valle M, Serment-Guerrero J. Divergent adaptation of *Escherichia coli* to cyclic ultraviolet light exposures. Mutagenesis, 2004 19 (5), 349—354.
  9. Doudney C. O, Rinaldi C. N. Chloramphenicol-promoted increase in resistance to UV damage in *Escherichia coli* B/r WP2 trpE65: development of the capacity for successful repair of otherwise mutagenic or lethal lesions in DNA «Mutat. Res.», 1985, 143, № 1-2, 29—34
  10. Sammartano L. J., Tuveson R. W. Hydrogen peroxide induced resistance to broad-spectrum near-ultraviolet light (300—400 nm) inactivation in *Escherichia coli*. Photochem. and Photobiol., 1985, 41, № 3, 367 — 370.
  11. Shlegel' G. Obshchaya mikrobiologiya M., Mir, 1987, S.83-84.
  12. Golubtsov A A Ekstrennaya (neotlozhnaya) dezinfektsiya vozdukhа i poverkhnostei pomeshchenii v kompleksnoi sisteme infektsionnoi bezopasnosti meditsinskikh organizatsii. Menedzher zdra-vookhraneniya, 2013, №7, S. 57-63.
  13. Brusina E.B., I.P. Rychagov. Epidemiologiya vnutribol'nichnykh gnoino-septicheskikh infektsii v khirurgii. — Novosibirsk: Nauka, 2006. — 171 s.
  14. Yuzbashev V.G., Abramova I.M. Sovremennye sredstva i tekhnologii obezrazhivaniya vozdukhа v lechebno-profilakticheskikh uchrezhdeniyakh. Aktual'nye voprosy teorii i praktiki dezinfektologii: Mat. Vseross. nauch.-prakt. konf., posv. 75-letiyu NII dezinfektologii Rospotrebnadzora — Moskva, 2008. —S. 198-200.
- Впервые поступила в редакцию 16.06.2019 г.  
Рекомендована к печати на заседании редакционной коллегии после рецензирования*