

Литература: 1. Гребенюк, А. Н. Радиационная медицина: учеб. пособие / А. Н. Гребенюк, В. И. Лезеза, В. И. Евдокимов, В. В. Салухов, А. А. Тимошевский ; под. ред. С. С. Алексанина, А. Н. Гребенюка; Всерос. центр. экстрен. и радиац. медицины им. А. М. Никифорова МЧС России. – СПб.: Политехника-сервис, 2013. – Ч. 2. – 156 с. 2. Зайцев, Д. В. Гранулоцитарно-макрофагальный колониестимулирующий фактор и технология CAR-T при солидных опухолях в эксперименте / Д. В. Зайцев, Е. К. Зайкова, А. С. Головкин, Э. Р. Булатов // Клиническая онкогематология. – 2020. – С. 115–123. 3. Зурочка, А. В. Иммунобиологические свойства гранулоцитарно-макрофагального колониестимулирующего фактора и синтетических пептидов его активного ряда / А. В. Зурочка, В. А. Зурочка, М. А. Добрынина, В. А. Гриценко // Медицинская иммунология. – 2021. – № 5. – Т. 23. – С. 33-38. 4. Латфуллин, И. А. Основы поражающего действия ионизирующего излучения на организм человека» / И. А. Латфуллин. – Казань: Казан. ун-т, 2014. – 194 с. 5. Петинати, Н. А. Изменение свойств мультипотентных мезенхимных стромальных клеток под действием интерферона-гамма / Петинати Н.А., Капранов Н. М., Бигильдеев А. Е., Попова М. Д, Давыдова Ю. О., Гальцева И. В., Кузьмина Л. А., Паровичникова Е. Н., Савченко В. Г. // Экспериментальная биология и медицина. – 2017. – № 2. – С. 194-199. 6. Bao, Y. Revisiting the protective and pathogenic roles of neutrophils: Ly-6G is key! / Y. Bao, X. Cao // Eur. J. Immunol. – 2011. – Vol. 41. – P. 2535-2538.

УДК 57.053.4

**КУЗЬМИЧ У.С.**, студент (4 курс, ФВМ)

Научный руководитель **КОВАЛЁНОК Н.П.**, магистр образования, старший преподаватель

УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», г. Витебск, Республика Беларусь

## **РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ БАКТЕРИЙ *DEINOCOCCUS* RADIODURANS**

**Введение.** Отношения с радиацией у человечества достаточно непростые. С одной стороны, радиоактивные излучения человек использует для получения энергии, диагностики, лечения и т.д. С другой стороны, всем хорошо известно негативное воздействие ионизирующего излучения на живой организм. Основной мишенью для радиации в любом организме является ДНК. Но не для бактерий *Deinococcus radiodurans*. Они могут выдерживать огромные дозы радиоактивного излучения, высушиванию, действию кислот, вакуума и замораживанию. Эти уникальные существа, которые распространены повсеместно: их находили в фекалиях слонов, в песках пустыни, в арктических льдах, городских водоемах, домашней пыли и даже в медицинском инструментарии. Возникает вопрос, какие уникальные способности этих бактерий позволяют им выживать в экстремальных условиях и в чем же секрет их радиорезистентности?

**Материалы и методы исследования.** В данной работе проведен обзор научной литературы о механизмах, обеспечивающих радиорезистентность *D. radiodurans* и возможностях их применения. Методологию исследования составили эмпирические и теоретические общенаучные методы: контент-анализ, изучение, обобщение, синтез, сравнение.

**Результаты исследований.** Впервые бактерии *D. radiodurans* были обнаружены в 1956 году. В то время сотрудник Орегонской сельскохозяйственной экспериментальной станции Артур Андерсон проводил эксперименты по использованию радиации для холодной стерилизации мясных консервов. Предполагалось, что под действие высоких доз гамма-излучения все микробы погибнут, но при этом продукты сохранят свой первозданный вкус. Но эксперимент не удался, образцы консервов через непродолжительное время испортились, и исследование показало наличие в них ярко-розовых бактериальных колоний. Оказалось, что образуют эти колонии грамположительные бактерии шарообразной формы, которые поначалу были названы *Micrococcus radiodurans*. Впоследствии ученые решили выделить отдельный род *Deinococcus*.

Бактерия *D. radiodurans* – аэробная непатогенная бактерия, не имеющая способность к спорообразованию. Это довольно крупная бактерия, до 3,5 мкм, по морфологии относящаяся к коккам, но при различных условиях может формировать комплексы из двух, четырех и более клеток [3].

*D. radiodurans* – самый устойчивый организм из всех известных на Земле к действию радиации. Бактерии способны выживать при дозе до 10000 Гр, то есть они оказываются в 1000 раз устойчивее клеток человека. При дозе в 15000 Гр бактерии начинают погибать, но некоторая их часть (около 37%) выживает и при этой колоссальной дозе радиации [1].

Главной причиной гибели клеток при действии радиации является разрушение ДНК. Следовательно, для развития радиорезистентности необходимо выработать механизмы защиты своей ДНК.

Одним из первых предположений, определяющих радиорезистентность *D. radiodurans*, было в особенности строения клеточной стенки, которая отличается от классической: она очень толстая, так как имеет несколько слоев. Но как показывают опыты, действие радиации приводит к образованию многочисленных радикалов внутри клетки, и толщина стенки уже не имеет значения [1].

Следующим предположением причины высокой радиорезистентности было особенности генома, который имеет странную структуру тороидальной формы. Однако эксперименты по прямому подсчету количества разрывов ДНК после облучения опровергли эту гипотезу, так как количество разрывов было такое же, как и у других бактерий [1].

Следовательно, если не существует механизмов защиты ДНК от повреждений, то существуют специфические механизмы репарации.

Существует два способа репарации: негомологическое соединение концов и гомологическая рекомбинация.

ДНК состоит из двух нитей, каждая из которых может порваться под действием ионизирующего излучения. Если повреждается только одна — такой разрыв называют однонитевым. Его починить проще простого: в клетках и так есть фермент ДНК-лигаза (он необходим любой клетке для репликации ДНК), который зашивает однонитевые разрывы.

Если же две цепи ДНК порвались друг напротив друга — это двунитевой разрыв. Его зашить сложнее. Для этого существует специальная система негомологичного соединения концов, работа которой заключается в сшивании между собой любых концов двойных спиралей ДНК. А при облучении в ДНК возникают десятки и даже сотни двунитевых разрывов. Очевидно, что вероятность случайным образом правильно собрать геном по кусочкам в такой ситуации крайне низка. Поэтому *D. radiodurans* и не используют этот механизм.

Есть более точный способ репарации двунитевых разрывов. Он основан на гомологичной рекомбинации — сложном молекулярно-генетическом процессе, суть которого сводится к тому, что если одна хромосома повреждена, а другая нет, то неповрежденную можно использовать как образец при ремонте. Возникает вопрос, откуда у *D. radiodurans* найдется гомологическая хромосома, если бактерии являются гаплоидными организмами. Оказывается, что в клетках *D. radiodurans* может быть сразу 10 копий генома. Это открывает поистине широкие возможности для репарации путем гомологичной рекомбинации [2].

Гомологическая рекомбинация — это сложный процесс, требующий времени, в течении которого ДНК может окончательно деградировать под действием своих же ферментов нуклеаз, которые не действуют на целую ДНК. Но у *D. radiodurans* есть уникальные белки-защитники, которые связываются с концевыми и однонитевыми участками ДНК, не допуская к ним нуклеазы [2].

При действии радиации происходит не только повреждение ДНК, но и белков, от работы которых зависит эффективность репарации ДНК. И это в первую очередь связано с образованием активных форм кислорода (АФК), возникающих в результате радиолиза воды. Но у *D. radiodurans* существуют защитные механизмы и для этого. Как показывают исследования у них регистрируется повышение концентрации ионов марганца после облучения. Ионы марганца действуют по нескольким направлениям: замещают ионы железа в активных центрах ферментов, участвуют в регуляции активности многих белков, предотвращая их разрушение и образуют комплексы с нуклеотидами, фосфатами, аминокислотами, которые обладают антиоксидантной активностью. Таким образом, ионы марганца участвуют не только в регуляции ответа на окислительный стресс, но и в непосредственной ликвидации АФК [3].

Зачем же нужна такая защита и как она могла сформироваться, если в процессе эволюции бактерии никогда не сталкивались с огромными дозами излучения? В настоящее время считается, что высокая радиорезистентность *D. radiodurans* сформировалась в процессе приспособления к регулярному

обезвоживанию, и механизмы защиты направлены, в первую очередь, на выживание в пустыне или выветриваемых гранитных скалах Арктики.

Фундаментальные исследования механизмов репарации ДНК и защиты белков *D. radiodurans* могут помочь в борьбе с рядом заболеваний, для предотвращения старения, в защите клеток пациентов, подвергшихся действию радиации в результате аварий или при лучевой терапии. Также сами бактерии подходят в качестве модельного организма для исследования в области генетики и молекулярной биологии и используются для утилизации радиоактивных отходов.

Ну, еще одно необычное применение предложил биоинформатик Пак Чун Вонг – биологический способ хранения информации: он перевели слова песни в код, основанный на четырех известных «буквах» ДНК, затем искусственно синтезировал последовательности ДНК длиной до 150 пар нуклеотидов, снабдив их концы метками, защищающими от элиминации этих фрагментов и встроили в геном *D. radiodurans*. Спустя даже 100 поколений бактерии копировали фрагменты ДНК со словами песни без ошибки.

**Заключение.** Таким образом, можно выделить следующие факторы, которые, как предполагается, определяют радиорезистентность бактерий *D. radiodurans*: наличие большого количества копий генома; эффективная система репарации ДНК; синтез особого набора белков, способных прикрывать разорванные участки ДНК от нуклеоза; повышенная активность каталазы и супероксиддисмутазы; марганцевые комплексы.

*Литература:* 1. Накопление Mn(II) в *Deinococcus radiodurans* повышает устойчивость к гамма-излучению / М. Дж. Дали [и др.] // Наука. – 2004. – С. 1025-1028; 2. Особенности ДНК-геликазы, кодируемой геном *uvr* *Deinococcus radiodurans* R1, выявленных в клетках *Escherichiacoli* K-12 // Гулевич Е. П. [и др.] // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. – 2020. – №38 (1). – С. 34-39; 3. Разделение и масс-спектрометрическая идентификация каротиноидов радиорезистентных бактерий *Deinococcus radiodurans* / В.С. Лысенко [и др.] // Масс-спектрометрия. – 2010. – Т.7, № 4. – С. 278 – 282.

УДК 616-079

ЛАБУН Е.В., студентка (4 курс, ФВМ)

Научный руководитель ТОЛКАЧ Е.В., старший преподаватель

УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», г. Витебск, Республика Беларусь

**РАДИОНУКЛИДНАЯ ДИАГНОСТИКА. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ**

**Введение.** «Изотопы давно и прочно вошли в нашу жизнь. Настоящей визитной карточкой, гордостью отрасли можно назвать ядерную медицину. Потому что никакое другое применение ядерной энергии не принесло обществу столь ощутимой пользы» - Сергей Кириенко.

Радионуклидная диагностика – один из видов лучевой диагностики, основанный на внешней радиометрии излучения, исходящего из органов и тка-