

УДК 616.31

**М.А. ТЕМИРБАЕВ<sup>1\*</sup>, С.П. ПИВОВАРОВ<sup>2</sup>,  
А.Б. РУХИН<sup>2</sup>, Т.А. СЕРЕДАВИНА<sup>2</sup>, Н.С. СУШКОВА<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Казахский медицинский университет непрерывного образования,

<sup>2</sup>Институт ядерной физики РК,

<sup>3</sup>Стоматологический центр «Алмагест», Алматы, Казахстан

## МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ЭМАЛИ ИНТАКТНЫХ ЗУБОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭПР-ДОЗИМЕТРИИ В Q-ДИАПАЗОНЕ

### АННОТАЦИЯ

В данной статье приведены данные об использовании электронно-парамагнитного резонанса в Q-диапазоне для получения информативного сигнала от зубной эмали в качестве ЭПР-дозиметрии по зубной эмали. Для этой цели может быть использованы кристалл или пластина зубной эмали с сечением менее 1,5 x 2 мм.

Задача взятия проб зубной эмали с сечением менее 1,5 x 2 мм. без удаления зубов была успешно решена при лечении и протезировании пациентов. Затем необходимо было решить методические проблемы в отношении оптимальных условий регистрации и анализа спектров в Q-диапазоне. Кроме этого в работе была использована пластинка 1,4 мг зубной эмали из зубов ископаемого носорога с большим радиационным сигналом, который объяснялся природным фоновым облучением около 0,9 Гр за 1000 лет для контроля [1].

**Ключевые слова:** электронно-парамагнитный резонанс, Q-диапазоне, зубная эмаль, ЭПР –дозиметрия.

Известно, что твердые зубные ткани используются для определения радиационного облучения людей и животных методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Методика обработки и приготовления зубной эмали (ЗЭ) предполагает ряд трудоемких специальных операций по очистке эмали. Сначала зубная эмаль очищается от дентина механическим способом, затем подвергается химико-физической обработке для полного удаления остатков дентина и других тканей зуба, а также посторонних включений.

Известно, что зрелая эмаль зуба – это 98% кристаллических минералов, располагающихся по ходу призм и по твердости приближающаяся к алмазу, в своем составе содержит всего 2 % органического вещества. Толщина эмали у режущего края и на жевательной поверхности достигает 2 мм. Дентин зуба состоит на 70 % из минералов, 20 % органической матрицы и 10 % воды и значительно уступает по твердости эмали. Он составляет основную массу зуба и достигает в толщине 3 мм.

В процессе обсуждения путей улучшения качества и уменьшения количества опытного материала, по просьбе проф. Пивоварова С.П. (ИЯФ) нами была разработана методика прецизионного выпиливания зубной эмали. С появлением различных тонких алмазных боров и турбинных наконечников появилась возможность выпиливать кусочки эмали толщиной до 1 мм при препарировании зубов по клиническим показаниям под металлокерамические коронки без нанесения

травмы естественным зубам. Для предупреждения вопросов о глубине препарирования зубов, нужно указать, что для изготовления керамических и металло-керамических коронок в процессе обтачивания зубов врач вынужден убирать в некоторых участках до 2 мм твердых тканей зуба, включая эмаль и дентин.

**Методика.** После клинического и диагностического обследования пациента, получают диагностические модели верхней и нижней челюсти, на которых планируется изготовление той или иной конструкции протеза. Сопоставляя данные рентгенологического исследования по гистопографии твердых тканей - эмали и дентина зуба и диагностической модели, намечается участок забора эмали. После этого проводится анестезия. Тонким шиловидным бором диаметром 0,12 мм делаются 2 вертикальных паза на расстоянии 2 мм глубиной 1 мм с вестибулярной поверхности по направлению к шейке зуба до уровня экватора. Затем этот же бор вертикально погружаем в эмаль зуба и отсекаем нужный участок. Необходимо отметить, что для выпиливания эмали использовались в основном жевательные зубы, которые менее подвержены воздействию УФ - облучения от солнечной радиации, в отличие от передних зубов.

**Результаты исследования.** ЭПР-дозиметрия по зубной эмали в X-диапазоне широко используется благодаря высокой чувствительности к радиации природного датчика дозы – эмали зубов людей и животных, что является простой и ясной физической основой метода, как и линейность роста ЭПР сигнала с

\*mtemirbayev@mail.ru

дозой. Стабильность информации о поглощенной дозе обеспечивает возможность повторных контрольных измерений, что является преимуществом ЭПР [1, 2], по сравнению с другими методами физической дозиметрии.

Однако потребность в большом количестве зубной эмали (до 100 мг и более) для получения удовлетворительного отношения сигнал/шум можно отнести к ограничениям метода в X-диапазоне. Для этого желательна извлечение мало поврежденных зубов. В регионах Казахстана, пострадавших от ядерных испытаний, из-за недостаточного уровня медицинского обслуживания состояние зубов значительной части населения снижает выход зубной эмали, пригодной для анализа, что обеспечивает интерес к дозиметрии в Q-диапазоне.

Для работы в Q-диапазоне необходимый объем образца для анализа снижается примерно в 7-10 раз. Такое количество зубной эмали можно получить во время лечения даже без удаления зубов пациента, что оправдано с медицинской точки зрения. Это безусловное преимущество Q-диапазона реализуется путем улучшения техники получения малых проб. Еще один положительный фактор - лучшее выделение информативного сигнала ЭПР и отсутствие нативного сигнала органической фракции, который является одним из сопутствующих и налагающихся с ним в суперпозиции в X - диапазоне. Все это делает использование Q-диапазона привлекательным для ЭПР-дозиметрии по зубной эмали; однако существуют и технические проблемы.

Как известно, сигнал ЭПР от зубной эмали характеризуется анизотропией g-фактора, что приводит к угловой зависимости при амплитудных измерениях интенсивности сигнала. В X-диапазоне обычно используется фракция  $0,25 \div 1$  мм порошка зубной эмали. При массе 100 мг и более значительное количество случайно расположенных кристаллических фрагментов зубной эмали практически устраняет зависимость сигнала ЭПР от ориентации образца в магните. При недостаточной массе порошка (~ 50 мг или менее) применяется запись ЭПР спектра с азимутальным усреднением. Для этого применяется автоматическая процедура с вращением ампулы на заданный угол с использованием гониометрического устройства, настройкой ВЧ моста и суммированием спектров [3].

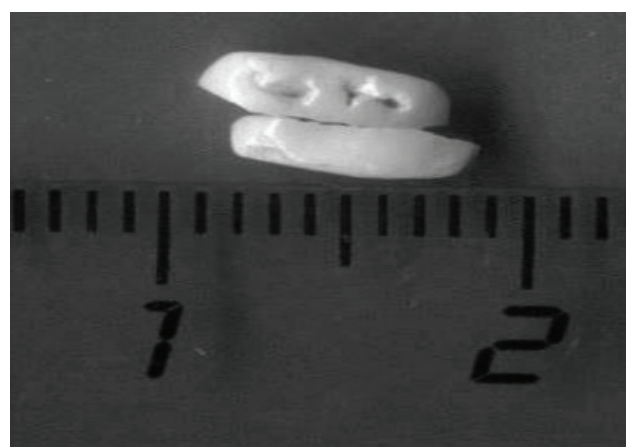
При работе в Q-диапазоне можно поместить в рабочий объем лишь несколько гранул стандартной рабочей фракции, что недостаточно для усреднения. Фракция более мелкозернистая не годится, так как радиационный сигнал в ней становится ненаблюдаемым. Вращение ампулы с образцом заметно изменяет частоту, а также настройку резонатора, что затрудняет суммирование соответствующих спектров ЭПР.

В данной работе предлагается использовать зубную эмаль в форме пластины, отрезанной от зубов. В этом случае при вращении образца в магнитном поле можно выбрать ориентацию, соответствующую мак-

симальной амплитуде, поэтому нет необходимости в усреднении полученных спектров. Для этой цели могут быть использованы кристалл или пластина зубной эмали сечением менее 1,5 x 2 мм.

Задача взятия пробы зубной эмали без удаления зубов была успешно решена в работе, выполненной в клинике проф. М.А.Темирбаева (Алматы). Во время лечения и протезирования у пациентов потребовалось высверлить (выбрать) часть эмали, из которой были взяты пробы зубной эмали; две из них показаны на рис. 1. Ясно, что они представляют собой достаточно большие образцы для использования в Q-диапазоне.

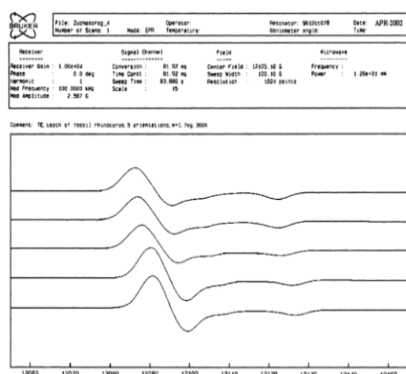
Увеличенное изображение образцов зубной эмали от не экстрагированных зубов пациентов показано на рисунке 1 с наложенной линейкой (шкалой) в миллиметрах.



**Рисунок 1 – Увеличенные образцы зубной эмали из интактных зубов пациентов с наложенной шкалой в миллиметрах.**

Далее необходимо было решить методические проблемы в отношении оптимальных условий регистрации и анализа спектров в Q-диапазоне. Для этой задачи более подходящим объектом является зубная эмаль от зубов с интенсивным исходным радиационным сигналом. Этому требованию могли бы удовлетворять ископаемые зубы, в которых накоплена значительная концентрация парамагнитных центров. Таким образом, в работе была использована пластинка 1,4 мг зубной эмали из зубов ископаемого носорога с большим радиационным сигналом, который объяснялся природным фоновым облучением около 0,9 Гр за 1000 лет [1]. Полученные данные проиллюстрированы рисунком 2, на котором представлен стек типичных спектров кристаллических образцов зубной эмали.

Спектры ЭПР регистрировались в цилиндрическом резонаторе при комнатной температуре при нескольких ориентациях, достигаемых путем вращения образца в магнитном поле спектрометра вручную на равные углы. Условия регистрации читаются в верхней части стека спектров, приведенного на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Спектр ЭПР зубной эмали от зубов ископаемого носорога в Q-диапазоне при различной ориентации в магнитном поле**

Благодаря большой чувствительности метода и накопленной в образце дозе отношение радиационный сигнал/шум достигает 300. Нативный сигнал в спектрах на рис. 2 не наблюдается, как и в X-диапазоне, из-за большой величины радиационного сигнала.

Спектры зубной эмали имеют более разрешенную форму, чем в спектрах X-диапазона, описанных в работе [4]. Интервал между минимумами производной анизотропного радиационного EPR-сигнала в Q-диапазоне увеличился, и появился дополнительный сигнал, который не наблюдается в X-диапазоне. В [4] было обнаружено, что этот узкий ЭПР - сигнал также имеет радиационную природу, но связан с другой

спин-системой с более низкой радиационной чувствительностью.

Форма производной радиационного сигнала и первого интеграла, как видно на представленных спектрах, сильно зависит от ориентации кристалла в магнитном поле. Вот почему их интенсивность не может использоваться как мера радиационного сигнала.

Значение второго интеграла в спектре ЭПР практически не зависит от ориентации образца зубной эмали: площади 5 спектров, представленных на рис. 2, отличаются не более чем на  $\pm 6\%$ . Вклад узкого сигнала в общую площадь пренебрежимо мал.

Основные результаты, полученные при изучении спектров зубной эмали при регистрации в Q-диапазоне для целей ЭПР-дозиметрии, были обсуждены на международной конференции NATO Advanced Research Workshop 2002 г. и опубликованы [5]. Показано, что технические операции балансировки ВЧ-моста, закрепления образца в ампуле, помещения ее в резонатор и способы очистки резонатора в Q-диапазоне более сложны и трудоемки. Однако существенных принципиальных ограничений для ЭПР -дозиметрии зубной эмали без извлечения зубов в настоящее время мы не видим.

Таким образом, в работе выполнено экспериментальное изучение возможностей ЭПР-дозиметрии по эмали зубов в Q-диапазоне, разработана методика отбора проб ЗЭ. Найдено практическое решение ряда вопросов ЭПР-дозиметрии в Q-диапазоне для интактных зубов, т.е. не подвергнутых искусственному дополнительному облучению, что особенно важно в случае малых объемов опытного материала зубной эмали.

## REFERENCES

1. M. Ikeya. “Applications of ESR: Dating, Dosimetry and Microscopy”, World. Sci., Singapoor, 1993, 499 p.
2. A. Romanyukha and D.Schauer. EPR dose reconstruction in teeth: Fundamentals, applications, problems. “EPR in the 21 CENTURY. Basics and Applications to material, life and Earth Sciences”, Elsevier, 2002, pp. 603-612.
3. Haskell, E.H., Hayes, R.B., Kenner, G.H., Sholom, S., Chumak, V. EPR technique and space biodosimetry. Rad. Res. V.148, 1997, pp.51-59.
4. M. Jonas and R. Grun. Q-band ESR studies of Fossil Tooth Enamel: Implications for Spectrum Deconvolution and Dating. Radiation Measurements, V.27, 1997, #1, pp.49-58.
5. S.Pivovarov, A.Rukhin, T.Seredavina, L.Peterson, Yu.Gorelkinskii, M.Temirbayev. Experimental study of EPR in Q-band capabilities for tooth enamel dosimetry on intact dens. Nuclear science and its application. Proc. 2nd Eurasian Conference. V.3. “Environmental Protection against Radioactive Pollution”. – Almaty.–2003. – PP.432 -435.

## SUMMARY

This article presents data on the use of electron-paramagnetic resonance in the Q-band to obtain an informative signal from tooth enamel as EPR dosimetry for tooth enamel. For this purpose, a crystal or dental enamel plate with a cross section of less than 1.5 x 2 mm can be used.

The task of sampling dental enamel with a cross section of less than 1.5 x 2 mm. without tooth extraction was successfully solved in the treatment and prosthetics of patients. Then it was necessary to solve methodological problems with regard to the optimal conditions for recording and analyzing spectral in the Q-band. In addition, a plate of 1.4 mg of tooth enamel from the teeth of a fossil rhinoceros with a large radiation signal was used, which was explained by natural background radiation of about 0.9 Gy for 1000 years for monitoring [1].

**Key words:** electron-paramagnetic resonance, Q-band, tooth enamel, EPR-dosimetry.

### ТҮЙІНДІ

Осы мақалада келтірілген деректер тіс эмалі бойынша ЭПР-дозиметрия ретінде тіс эмалінен ақпараттық дабыл алу үшін Q-диапазонында электронды-парамагнитті резонансты пайдалану туралы айтылған. Осы мақсаттар үшін 1,5 x 2 мм қимасы бар тіс эмалі пластинасы немесе кристалл пайдаланылуы мүмкін.

Тісті жұлмай, 1,5 x 2 мм қимасы бар тіс эмалі сынамасын алу міндеті пациенттерді емдеу мен протездеу кезінде сәтті шешілді. Содан кейін Q-диапазонында спектрлерді тіркеу және талдаудың оңтайлы жағдайларына қатысты әдістемелік мәселелерді шешу қажет. Сонымен қатар, жұмыста үлкен радиациялық дабылы бар қазба мүйізтұмсық тістерінен 1,4мг тіс эмалі пластинкасы қолданылды, ол бақылау үшін 1000 жылда шамамен 0,9 Гр сәулеленумен табиғи түрде түсіндірілді [1].

**Кілт сөздер:** электронды-парамагнитті резонанс, Q-диапазонында, тіс эмалі, ЭПР –дозиметрия.