

MEDLINE.RU, ТОМ 22, РАДИОЛОГИЯ, 7 АПРЕЛЯ 2021
**О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО
РАДИАЦИОННОГО ДОЗИМЕТРА**

Новиков С.В., Потёмкин А.М., Хотеева К.А.

*Федеральное государственное унитарное предприятие Научно-технический центр
радиационно-химической безопасности и гигиены
Федерального медико-биологического агентства
123103 г. Москва, ул. Щукинская д.40,
Тел. 8 (499) 190-51-31; E-mail: ntc_rhbg@fmbamail.ru*

Резюме. Рассмотрена возможность использования стоматологических композитных материалов в качестве дозиметра ионизирующего излучения. Приводятся данные экспериментальных исследований отношения величины поглощённой дозы излучения к величине световыхода термостимулированной люминесценции материала композитной пломбы.

Ключевые слова: ретроспективная дозиметрия, композитные стоматологические пломбы, термолюминесцентная дозиметрия, индивидуальный дозиметр.

**ON THE POSSIBILITY OF USING DENTAL COMPOSITE MATERIALS AS AN
INDIVIDUAL RADIATION DOSIMETER**

Novikov S.V., Potyomkin A.M., Khoteeva K.A.,

*Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center of Radiation-Chemical
Safety and Hygiene*

Abstract: the article describes the possibility of using dental composite materials as an ionizing radiation detector. The data of experimental studies of the ratio of the absorbed radiation dose to the light output of the thermally stimulated luminescence of the composite dental filling material are presented

Keywords: retrospective dosimetry, composite dental fillings, thermoluminescent dosimetry, individual dosimeter.

Введение

Увеличение количества материалов с повышенным содержанием радионуклидов, устройств, генерирующих ионизирующее излучение, а также радиационные аварии и инциденты приводят к неконтролируемому облучению значительного количества людей. Оценка медицинских последствий облучения, полученного работниками и населением, требует сведений о величине и мощности дозы, длительности облучения[1]. При неконтролируемом облучении организма человека информация об этом отсутствует.

Большинство людей, не связанных профессионально с ионизирующим излучением, не имеют при себе индивидуальных дозиметров. Таким образом, в случае неконтролируемого облучения возникает необходимость в индивидуальном ретроспективном дозиметрическом детекторе, связанным непосредственно с человеком. Решением этой проблемы может быть использование вынуждено имплантированных в тело человека материалов в качестве маркеров радиационного поражения. Представляется перспективным использование в качестве накопительного дозиметра стоматологических композитных пломб. Данная методика оценки поглощённых доз ионизирующего излучения может использоваться при обследовании населения, проживающего вблизи объектов использования атомной энергии в мирных и оборонных целях, а также работников организаций, осуществляющих не связанную с использованием атомной энергии деятельность: нефтяной и газовой промышленности, топливно-энергетического комплекса, горнодобывающей промышленности, строительства, космической и авиационной промышленности, медицины.

В современной стоматологической практике широкое применение получили композитные пломбировочные материалы. При использовании современных стоматологических пломб достигается полнота заполнения внутренней структуры зуба и высокая адгезия к его стенкам, что обеспечивает долговечность имплантированных материалов.

Первые промышленно производимые прототипы композитных стоматологических материалов стали выпускаться в 1964 году компанией «ЗМ» в США. Композитные стоматологические пломбы обрели популярность благодаря высоким эстетическим свойствам, однако, имели высокую изнашиваемость, быстрое изменение цвета из-за коррозии, а также плохую адгезию с тканями зуба, высокую степень изменения объёма после полимеризации. Усовершенствование композитов заключалось в усложнении химического состава вяжущего компонента и введение в его состав мономеров акрилатов и эпоксидных смол, обеспечивающих своей комбинацией высокую адгезию, большую степень сшивки [5], прочность и противоусадочные свойства. В составах пломб стали также использоваться различные антиоксиданты и ингибиторы коррозии. Всё это привело к появлению адгезивных систем, которые обеспечивают достаточно прочную связь материала как с дентином, так и с эмалью зуба. Полученные материалы стали более износостойкими, а также со временем не изменяли свой цвет, имели удовлетворительные эстетические качества и предназначались как для передних, так и для задних зубов. Таким образом в стоматологии появился материал, который мог использоваться для любых реставрационных работ. Революцию в стоматологических пломбировочных материалах

произвели светоотверждаемые композитные материалы, в которые были добавлены фотоактиваторы полимеризации. В настоящее время такие материалы доминируют в стоматологии и вытеснили быстротвердеющие пластмассы и силикатные цементы [6].

Ранее в качестве наполнителя для композитных стоматологических материалов использовались алюмосиликатные или боросиликатные стекла, алмазная пыль, кварц. Однако эволюция наполнителей для композитных пломб привела к повсеместному применению диоксида циркония. Диоксид циркония это сверхпрочный термо- и химически стойкий материал, который используется в медицине и промышленности для изготовления износостойких деталей, например, искусственных суставов или покрытий камер сгорания в реактивных двигателях. В стоматологии, благодаря своим свойствам, используется не только как наполнитель в композитных материалах, но и как материал для изготовления коронок и имплантатов.

Так как композитные пломбировочные материалы не подвержены репарационным процессам в организме человека, то они могут служить маркерами воздействий на организм различных химических и физических факторов окружающей среды. Применение такого детектора позволило бы ретроспективно оценить величину поглощённой человеком дозы облучения.

Ретроспективная дозиметрия - это отсроченная во времени оценка величины поглощённых доз облучения, не установленных в период радиационного воздействия из-за отсутствия аппаратных, материальных или методических возможностей [2].

Задачи ретроспективной дозиметрии заключаются в определении поглощённых доз через значительный промежуток времени после радиационного воздействия и в определении интегральных накопленных доз. Методы ретроспективной дозиметрии так же позволяют дополнить и уточнить имеющиеся данные об облучении человека. На основе полученной информации проводится оценка онкологических рисков и выработка превентивных мер развития заболевания.

Различные методы ретроспективной дозиметрии разрабатываются с середины двадцатого века, сразу после широкого распространения радиационных технологий. На настоящий момент существуют несколько верифицированных методов ретроспективной дозиметрии.

Наиболее распространёнными группами методов ретроспективной дозиметрии являются: расчётно-оценочные, биодозиметрические, метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР-дозиметрия) и люминесцентная дозиметрия.

Для использования стоматологических пломб в качестве детектора ионизирующего излучения, наиболее перспективным методом является термостимулированная

люминесцентная дозиметрия. Информация о дозовых нагрузках может быть определена по люминесцентному свечению минерального наполнителя. Характеристики люминесценции не подвержены изменениям в результате химического, механического, электромагнитного воздействий и природного теплового фона.

Люминесцентная ретроспективная дозиметрия это один из самых точных методов определения поглощённых доз. Метод термостимулированной люминесцентной дозиметрии основан на том, что некоторые кристаллические вещества после воздействия ионизирующего излучения накапливают, за счёт возбуждения электронов в атомах кристаллической решетки, информацию о величине полученной дозы [3]. Образованные в кристаллическом материале детектора, под действием ионизирующего излучения, носители заряда (электроны и «дырки») локализуются в дефектах кристалла. Происходит накопление части поглощённой энергии облучения, которая может быть затем высвобождена в виде люминесцентного свечения при дополнительном стимуляционном возбуждении атомов [2]. Наблюдаемые при этом оптические эффекты могут служить мерой поглощённой энергии радиоактивного облучения, так как их величина пропорциональна дозе излучения[4].

Для метода люминесцентной дозиметрии больше подходят простые минеральные кристаллические вещества, например, можно использовать минеральный наполнитель (обычно это кварц или оксид циркония) стоматологических полимерных пломб. Для данного метода дозиметрии требуется выделение чистого вещества из состава материала детектора, так как люминесцентный сигнал зависит от кристаллического строения и типа атомов [4].

Цель и задачи исследования: экспериментально подтвердить возможность использования минерального наполнителя композитной полимерной пломбы в качестве индивидуального дозиметра, для чего необходимо экспериментально:

облучить материал пломб несколькими калиброванными дозами ионизирующего излучения;

выделить минеральный компонент из полимерной матрицы материала пломбы;

определить величины световыхода на термолюминесцентной дозиметрической установке (ТЛД-установка).

Материалы и методы

Объектом исследования являлись УФ-пломбы Filtek Z250 фирмы «3М». В состав входит: наполнитель (оксид циркония), полимерное вяжущее диэфир метакриловой кислоты и диглицидилового эфира бисфенола А (БИС-ГМА), вспомогательные вещества (ингибиторы окисления, противовоспалительные средства и фотоинициаторы

полимеризации): аминокислота, иодидная соль, камфорин, бутилгидрокситолуол, производное бензотриазола, а также красители [7]. Основную часть массы пломбы составляют полимерное вяжущее и наполнитель.

В качестве неорганического наполнителя в Filtek Z250 используется порошкообразная мелкодисперсная фракция диоксида циркония, с размером частиц от 0,01 до 3,5 нм. Доля неорганического наполнителя в композите составляет 60 % от объёма.

Таким образом, для выделения минерального компонента из композитной пломбы требовалось разрушить смолу БИС-ГМА и растворить продукты деструкции. Как и другие аналогичные по химическому строению вещества, например, поликарбонаты, молекулы БИС-ГМА даже при комнатной температуре хорошо разрушаются в концентрированной соляной кислоте.

Материал пломб для облучения был механически измельчён до мелкодисперсной фракции. Образцы пломбы были помещены в металлические тигли и облучены разными дозами ионизирующего излучения от 0 до 1000 мГр. Затем материал был подвергнут химической деструкции последовательной обработкой в растворах концентрированной соляной кислоты, концентрированной серной кислоты (для дегидратации органических продуктов разложения БИС-ГМА) и очистке от реагентов в ацетоне и этиловом спирте. В результате остался белый осадок оксида циркония.

Из полученного, в результате химической деструкции пломбы, материала были приготовлены пробы по 30 мг, которые затем размещены в металлические тигли для термолюминесцентной дозиметрии сыпучих веществ. Тигли пинцетом помещались в приёмный отсек ТЛД-установки, где при равномерном нагреве от 20°C до 400°C определялся световой выход термолюминесценции проб.

Результаты и их обсуждение

При измерении световых выходов термолюминесценции проб на ТЛД-установке в диапазоне температур от 45 до 100°C наблюдался люминесцентный пик с максимумом около 75°C, выделяющийся на фоне теплового сигнала. Пик находился в одних границах для всех поглощённых доз, поэтому по интегральной светосумме в границах этого пика определялась дозозависимая термолюминесценция образцов.

Определение зависимости световых выходов образцов от увеличения поглощённой дозы излучения проводилось до прекращения прироста световых выходов пика, т.е. до выхода сигнала на плато.

В результате исследования получены данные о зависимости дозы облучения и светосуммы термолюминесценции образца минерального наполнителя.

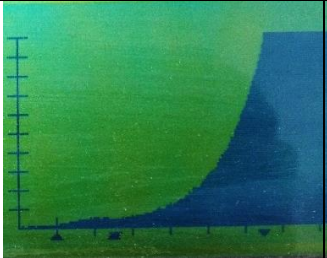
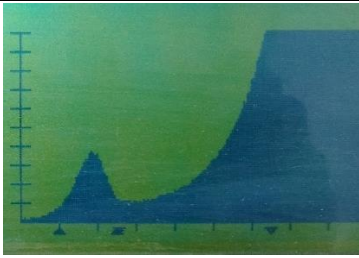
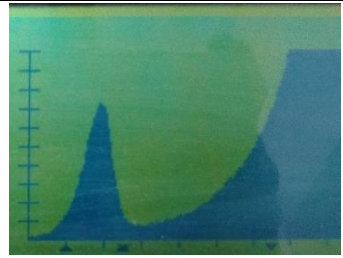
Увеличение дозы облучения было проведено от 0 до 400 мГр (таблица 1). Дальнейшее увеличение дозы облучения приводило к незначительному увеличению получаемой интегральной светосуммы люминесценции. Достоверность выхода сигнала на плато подтверждена применением дозы облучения 1000 мГр.

Таблица 1 – Дозообусловленный световыход термолюминесценции минерального наполнителя

	Доза, мГр										
Доза облучения	0	10	50	100	150	200	250	300	350	400	1000
	Заряд фотодетектора, $\times 10^{-11}$ Кл										
Среднее значение светосуммы	50,5	102,0	287,6	562,2	767,8	788,9	812,9	838,0	851,1	852,2	862,6
Ср.кв. погреш.	$\pm 2,44$	$\pm 2,56$	$\pm 12,67$	$\pm 9,18$	$\pm 12,91$	$\pm 6,94$	$\pm 6,54$	$\pm 6,14$	$\pm 4,96$	$\pm 7,95$	$\pm 9,52$

На снимках экрана ТЛД-установки можно видеть увеличение размеров пика при повышении дозы облучения образца минерального наполнителя (таблица 2).

Таблица 2 – Люминесцентные пики при разных дозах облучения

Доза облучения, сГр	10	100	200
Изображение пика			
Величина световыхода, $\times 10^{-11}$ Кл	102	562	789

В результате экспериментальных исследований установлено следующее:

- 1 Был получен световой сигнал люминесценции от минерального наполнителя, обусловленный воздействием ионизирующего излучения на композитную пломбу.
- 2 Определено, что наблюдается единственный люминесцентный пик, который находится в диапазоне температур 45 – 100°C, с максимумом на 70 – 75 °C.
- 3 Показана зависимость площади и высоты люминесцентного пика и величины поглощённой дозы излучения.

4. Определено, что минимально определяемая поглощённая доза излучения ограничена величиной фонового световыхода образца без облучения в 50,5 нКл, что примерно согласуется с величиной дозы 5 мГр.

5. Определено, что максимальная определяемая поглощённая доза излучения составляет 300 мГр. Дальнейшее увеличение радиационной дозы не ведёт к значимому приросту световыхода термолюминесценции.

Заключение

Экспериментальные исследования показали, что применение стоматологических композитных пломб целесообразно и возможно в качестве детектора поглощённой дозы радиации (индивидуального дозиметра). Ожидаемый социальный и экономический эффект состоит в обеспечении сохранности здоровья людей за счёт определения полученных дозовых нагрузок и принятия своевременных адекватных мер по снижению последствий облучения.

Так как с помощью ретроспективной дозиметрии по минеральному компоненту композитных пломб можно определять поглощённые населением дозы ионизирующего излучения в диапазоне от 5 до 300 мГр, то метод подходит для радиационно-гигиенического обследования населения. Для сравнения, поглощённая доза от фоновой природной радиации в московском регионе не превышает 1,5 мГр/год, а доза, полученная при одном флюорографическом обследовании, не превышает 0,3 мГр. Таким образом, диапазон измеряемых доз позволяет оценивать дополнительное облучение населения в самой важной области низкого уровня дополнительного техногенного облучения. Это позволяет использовать ретроспективную дозиметрию по термолюминесценции минерального наполнителя композитных пломб в программах, связанных с ограничением облучения населения.

Литература

1. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009, раздел 6.
 2. Портман А.И. Потёмкин А.М. О ретроспективной дозиметрии смешанных и гамма-нейтронных полей излучения//АНРИ №4 (91), 2017, С. 31-35.
 3. ГОСТ Р 22.8.08-2001 Метод определения поглощённой дозы внешнего гамма-излучения по термолюминесценции кварца строительной керамики. Порядок проведения измерений. М.: ГОССТАНДАРТ России. 2001, - 5 с.
 4. Кокова К.В., Белоусов А.В. Определение энергетического отклика термолюминисцентных дозиметров в медицинском пучке методом Монте-Карло, 2015, С. 12-14.
 5. Мостовой А.С. Разработка составов, технологии и определение свойств микро и наноуполненных эпоксидных композитов функционального назначения. Саратов, 2014, С. 10-12.
 6. Tomikawa M., Chem/ High. Polimer (Japan), 1963v. 20 №11, P.145-150.
 7. Электронный ресурс <https://el-dent.ru/UserFiles/Files/pdf-products/Filtek-Z250.pdf>.
- Дата обращения: 10.10.2020.