

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01T 1/00 (2023.08)

(21)(22) Заявка: 2023118987, 18.07.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.07.2023Дата регистрации:
27.09.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.07.2023

(45) Опубликовано: 27.09.2023 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

125284, Москва, 2-й Боткинский пр-д, 3,
Московский научно-исследовательский
онкологический институт имени П.А. Герцена,
руководителю патентной группы, Урванцева
Татьяна Дмитриевна

(72) Автор(ы):

Степаненко Валерий Федорович (RU),
Шегай Петр Викторович (RU),
Богачева Виктория Владимировна (RU),
Киселева Марина Викторовна (RU),
Жарова Елена Петровна (RU),
Петухов Алексей Дмитриевич (RU),
Колыженков Тимофей Владимирович (RU),
Дорохов Александр Викторович (RU),
Иванов Сергей Анатольевич (RU),
Каприн Андрей Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение "Национальный медицинский
исследовательский центр радиологии"
Министерства здравоохранения Российской
Федерации (ФГБУ "НМИЦ радиологии"
Минздрава России) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2378666 C1, 10.01.2010. RU
2378665 C1, 10.01.2010. RU 212007 U1, 01.07.2022.
EP 1712932 A1, 18.10.2006. RU 2346296 C1,
10.02.2009.(54) Устройство для ретроспективного определения индивидуальной накопленной поглощенной дозы
ионизирующего излучения

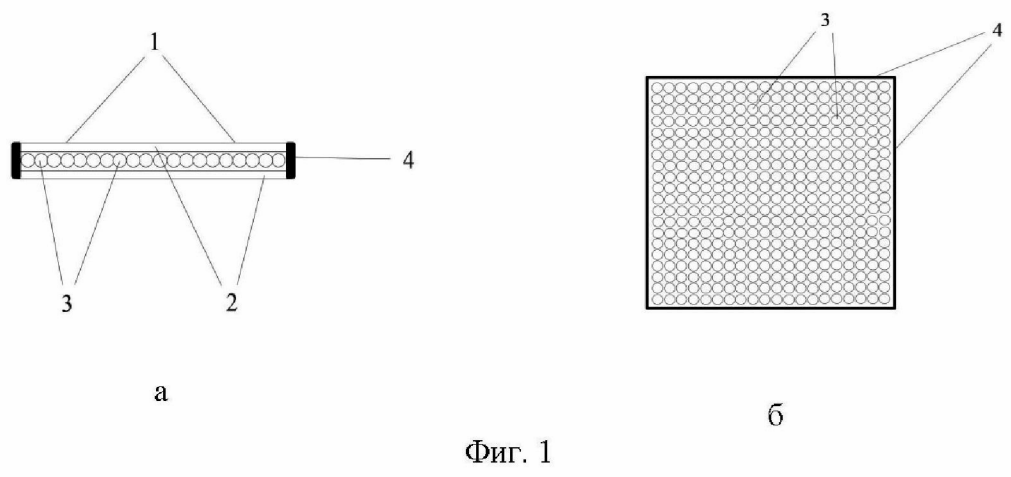
(57) Реферат:

Полезная модель относится к дозиметрии ионизирующих излучений и может быть использована для индивидуальной ретроспективной дозиметрии ионизирующего излучения, как при аварийных радиационных воздействиях, так и при инструментальной верификации запланированных индивидуальных доз облучения пациентов в онкорadiологии. Устройство состоит из двух обращенных друг к другу в форме квадрата с размерами от 2×2 мм до 5×5 мм прозрачных термостойких пленок, выдерживающих температуру нагрева не менее 300 градусов Цельсия и толщиной 0,03 мм, зазор

между пленками составляет 0,12 мм, края пленок по периметру соединены между собой термосваркой, что образует внутренний объем устройства в форме правильного параллелепипеда, внутренность устройства заполнена расположенными в один слой радиационно-чувствительными микрокристаллами LiF:Mg,Ti, отсортированными по размеру 0,1 мм, причем перед использованием микрокристаллы отжигают при температуре 300°C в течение 60 мин, затем охлаждают до комнатной температуры. Полезная модель позволяет получить индивидуальную

информацию о локальных дозах облучения при неконтролируемых радиационных воздействиях, что необходимо для принятия решений о проведении защитных мер в отношении лиц,

подвергшихся облучению при отсутствии или неопределенности данных об индивидуальных поглощенных дозах ионизирующего излучения. 6 ил.



Полезная модель относится к дозиметрии ионизирующих излучений и может быть использована для индивидуальной ретроспективной дозиметрии ионизирующего излучения, как при аварийных радиационных воздействиях, так и при инструментальной верификации запланированных индивидуальных доз облучения пациентов в онкорadiологии.

При оперативных оценках доз облучения после аварийных радиологических ситуаций используются расчетные методы, основанные на применении математических моделей дозоформирования. Эти расчетные оценки могут иметь значительную неопределенность из-за того, что при построении математических моделей, в условиях дефицита данных о реальной радиологической обстановке, неизбежно принятие различных допущений и упрощений, не основанных на данных измерений. Поэтому разработка и применение методов инструментальной ретроспективной дозиметрии после радиологических аварий и инцидентов является актуальной задачей, поскольку позволяет получить реалистичную дозиметрическую информацию, основанную на верификации расчетных величин доз облучения. Реалистичные оценки индивидуальных доз облучения необходимы для дозиметрической поддержки радиационно-эпидемиологических исследований, проводимых по технологии «случай-контроль», где требуется наличие достоверных величин доз облучения лиц, включенных в исследования, а также для принятия решений о медицинских и профилактических мероприятиях в отношении лиц с наибольшими дозами облучения, то есть, - с повышенным радиационным риском для здоровья.

В онкорadiологии, перед проведением радиотерапии, проводится дозиметрическое планирование предстоящего лечения. Эти планы разрабатываются с использованием расчетных методов. Ретроспективное определение индивидуальных доз облучения пациентов при радиотерапии необходимо для инструментальной верификации расчетных доз облучения в связи с тем, что расчетные дозы могут отличаться от реальных в силу различных причин, в том числе, из-за таких непредсказуемых факторов как изменение положения и формы очагов облучения пациентов в процессе облучения, например, из-за изменений наполненности органов или их отечности в процессе радиотерапии. Это особенно актуально при мультифракционной брахитерапии радиоактивными источниками, когда радиоактивные источники находятся непосредственно вблизи очагов и органов риска пациентов. В этих случаях ретроспективная инструментальная верификация дозиметрических планов после первого сеанса (фракции) радиотерапии позволяет проводить индивидуальную адаптацию плана лечения пациента для следующих фракций облучения, а также предпринимать, в случае необходимости, профилактические или дополнительные лечебные меры для улучшения качества жизни пациентов после лучевой терапии.

Как для ретроспективной дозиметрии при аварийных радиационных воздействиях, так и для ретроспективной дозиметрии пациентов в онкорadiологии, возможно использование явления радиационно-обусловленной стимулированной люминесценции (РОСЛ) кристаллических веществ [Bailiff I.K., Sholom S., McKeever S.W.S., 2016. Retrospective and emergency dosimetry in response to radiological incidents and nuclear mass-casualty events: A review. Radiation Measurements. 2016. V. 94. P. 83-139. doi.org/10.1016/j.radmeas.2016.09.004; Степаненко В.Ф., Каприн А.Д., Иванов С.А. с соавт., 2021. 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС: методы ретроспективной дозиметрии в оценке последствий крупномасштабных неконтролируемых радиационных воздействий, их последующее развитие и применение в онкорadiологии (опыт МРНЦ им. А.Ф. Цыба). Радиация и Риск. 2021. Том 30. № 2, стр. 7-24. DOI: 10.21870/0131-3878-2021-30-2-7-24. http://radiation-and-risk.com/images/pdf/2021/2/1_Article_1_7-24.pdf].

Известно, что для инструментальной ретроспективной дозиметрии при аварийных радиологических ситуациях используются кристаллы природного происхождения (например кристаллы кварца), обладающие свойствами РОСЛ, входящие в состав кирпичей, черепицы, применяемых при сооружении зданий или помещений. Выделенные из кварцсодержащих образцов кристаллы кварца, рассматриваемые как природные накапливающие дозиметры, позволяют, по результатам измерений интенсивности излучаемой ими РОСЛ, определить величины локальных накопленных поглощенных доз в местах, подвергшихся неконтролируемому радиационному воздействию, где находились здания или помещения в период этого воздействия, например, в результате аварии на Чернобыльской АЭС [Bailiff I.K., Stepanenko V.F. et al., 2004, et al. doi: 10.1097/00004032-200401000-00006], испытаний ядерного оружия [Stepanenko et al., 2006, https://academic.oup.com/jrr/article/47/Suppl_A/A1/964107; Bailiff I.K., Stepanenko V.F. et al., 2004, doi: 10.1097/01.hp.0000137178.36835.79], атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки [Kerr G.D. et al., 2015, doi: 10.1097/HP.0000000000000395]. Для определения аварийной дозы облучения требуется применение образцов, прошедших высокотемпературный отжиг до аварийного облучения. Наличие отжига кварцсодержащих образцов необходимо для «снятия» поглощенной дозы естественного (фоновое) ионизирующего излучения, накопленной в кристаллах за геологический период их существования. При ретроспективном определении накопленной дозы ионизирующего излучения содержащимися в кирпичах природными кристаллами, обладающими свойствами РОСЛ, необходимо знать даты отжига кирпичей, даты сооружения из них строений или помещений (объектов), положение и ориентацию кварцсодержащих кирпичей в объектах, координаты объектов, находящихся в местах неконтролируемого радиационного воздействия, так как от этого существенным образом зависит точность ретроспективного определения накопленной аварийной дозы облучения в месте, где находился образец.

Недостатками данного технического решения являются:

для определения дат отжига кварцсодержащих кирпичей, черепицы, керамики в строительных объектах проводятся поиски в архивах, которые, как правило, не содержат достаточно детальную информацию о конкретных датах отжига образцов, что существенно влияет на точность ретроспективного определения поглощенной дозы;

природные радиационно-чувствительные кристаллы обладают большой вариабельностью химического состава, что снижает точность ретроспективной дозиметрии с применением явления РОСЛ;

радиационно-чувствительные кристаллы, содержащиеся в образцах, могут подвергаться световому воздействию, что приводит к искажению результатов ретроспективной дозиметрии;

для измерений РОСЛ радиационно-чувствительных природных кристаллов необходимо их извлечение из образцов, что возможно лишь механическим воздействием и приводит к возникновению дефектов кристаллической структуры за счет механического воздействия на кристаллы и, соответственно, к связанным с этим неопределенностям ретроспективного определения накопленной поглощенной дозы;

при использовании образцов, извлеченных из зданий или помещений, ретроспективное определение аварийной поглощенной дозы возможно лишь только для места, где находился отобранный для измерений образец, а определение индивидуальной дозы облучения конкретного человека невозможно, что не позволяет использовать полученные дозиметрические данные в радиационно-эпидемиологических исследованиях, проводимых по технологии «случай-контроль», а также для принятия решений о

медицинских и профилактических мероприятиях в отношении лиц с наибольшими индивидуальными дозами облучения.

Известно устройство для ретроспективной дозиметрии при аварийных радиологических ситуациях (RU 212007 U1, Каприн А.Д. с соавт., 2022. Устройство для ретроспективного определения накопленной поглощенной дозы ионизирующего гамма-излучения). Устройство состоит из цилиндрического полого корпуса, имеющего по торцам герметичные пробки и выполненного из светонепроницаемого пластика, внутри корпус разделен на 19 ячеек диаметром 5 мм и 5 мм по длине, десять из которых заполнены синтетическими радиационно-чувствительными кристаллами. Устройство закрепляют в маркированных местах антропогенных объектов окружающей среды (например, здания, помещения), которые могут подвергнуться или подвержены неконтролируемому радиационному воздействию, с указанием местоположения, ориентации и координат этих мест, после экспозиции устройство извлекают и определяют накопленную дозу ионизирующего гамма-излучения.

Недостатками данного технического решения является то, что размещение и фиксация положения устройства в здании или помещении, позволяет ретроспективно определить накопленную аварийную дозу только лишь в месте размещения устройства для измерения поглощенной дозы, а определение индивидуальной дозы облучения конкретного человека невозможно, что не позволяет применять полученные дозиметрические данные в радиационно-эпидемиологических исследованиях, проводимых по технологии «случай-контроль», а также использовать их для принятия решений о медицинских и профилактических мероприятиях в отношении лиц с наибольшими дозами облучения.

Известно устройство для ретроспективного определения индивидуальной накопленной поглощенной дозы вследствие аварийных радиологических ситуаций, представляющее собой носитель, поддерживающий электронный чип, и защитный покровный слой на чипе электронного устройства, носимого человеком, при этом покровный слой содержит включенные в него синтетические радиационно-чувствительные кристаллы с известным химическим составом и известной датой их отжига, причем радиационно-чувствительные кристаллы пригодны для измерений методом регистрации РОСЛ [Göksu H.Y., Jacob P. EP 1 712 932 A1. Date of publication 18.10.2006].

Недостатками данного технического решения являются:

электронные чипы в носимых или используемых человеком электронных устройствах, покрытые защитным слоем, содержащим радиационно-чувствительные кристаллы с известной датой отжига, могут менять свое положение в пространстве и нахождение во времени в период неконтролируемого радиационного воздействия из-за перемещений переносящих их людей с места на место, а также могут вообще отсутствовать в местах неконтролируемого радиационного воздействия. Поэтому для интерпретации результатов измерений с помощью известного устройства необходимо проводить для каждого случая специальное расследование (опросы людей, использующих электронные устройства), с целью восстановления дат и мест нахождения устройства в период неконтролируемого радиационного воздействия, что далеко не всегда возможно, а также зависит от таких субъективных и неопределенных факторов, как воспоминания опрашиваемых людей. Это обуславливает существенную неопределенность ретроспективных оценок поглощенных доз ввиду неопределенности соотнесения их к аварийному облучению;

прозрачный защитный слой (например, эпоксидная смола), содержащий радиационно-

чувствительные кристаллы, позволяет проводить измерения интенсивности РОСЛ, однако при этом не исключена возможность неконтролируемого светового воздействия на радиационно-чувствительные кристаллы, что приводит к искажению результатов ретроспективной дозиметрии, если используются синтетические светочувствительные кристаллы;

если защитный слой не прозрачен, то для измерений РОСЛ кристаллов необходимо их извлечение из защитного слоя, что возможно лишь механическим или химическим воздействием и приводит к возникновению дефектов кристаллической структуры за счет механических или химических воздействий на кристаллы и, соответственно, к связанным с этим неопределенностям ретроспективного определения накопленной поглощенной дозы.

Известно устройство для индивидуальной ретроспективной дозиметрии пациентов в онкорadiологии, описанное в (Богачева В.В., Степаненко В.Ф. с соавт., 2022).

Внутриполостная «ин vivo» дозиметрия при высокомогнотной брахитерапии в онкогинекологии. Радиация и Риск. 2022. Том 31. № 4. Стр. 119-131. DOI: 10.21870/0131-3878-2022-31-4-119-131. http://radiation-and-risk.com/images/pdf/2022/4/10_Article_10_119-131.pdf). Трубочатое устройство представляет собой гибкую, протяженную, выполненную из светонепроницаемого ПВХ материала, запаянную с торцов трубку диаметром 1 мм и длиной от 70 до 200 мм, внутри которой размещены радиационно-чувствительные микрокристаллы LiF:Mg,Ti, отсортированные по размеру 0,1 мм. С целью инструментальной верификации расчетных доз облучения при брахитерапии опухолей гинекологической сферы трубка со сборкой микрокристаллов внутри вводится через катетер внутрь полостных органов риска (уретра, ректум, вагина). После экспозиции устройство извлекают для ретроспективного определения накопленных доз ионизирующего излучения. Применение кристаллов LiF:Mg,Ti микрометрических размеров (0,1 мм) позволяет измерять поглощенные дозы в терапевтическом диапазоне доз - до 60 Гр, что, как показано при описании этого устройства, недостижимо при применении крупных кристаллов (диаметр 5мм и толщина 1мм).

Недостатками данного технического решения являются:

большая протяженность устройства (70-200 мм) усложняет точное определение положений кристаллов в устройстве, что может привести к неопределенностям в локализации участка объекта, где проводились измерения дозы облучения, что особенно важно для ретроспективных оценок доз при воздействии ионизирующим излучением с большим пространственным градиентом дозы облучения, например, при брахитерапии; диаметр трубчатого устройства (1 мм) приводит к существенному пространственному градиенту поглощенной дозы по диаметру совокупного объема находящихся в трубке микрокристаллов, если ретроспективная дозиметрия с использованием устройства применяется для ионизирующего излучения с малой проникающей способностью (например, бета-частицы), что увеличивает погрешность измеряемой поглощенной дозы;

из-за непроницаемости к свету материала, используемого для изготовления корпуса устройства, и неустойчивости этого материала (ПВХ) к высокой температуре, требуемой для термостимуляции радиационно обусловленной люминесценции, невозможно проводить измерения люминесценции кристаллов, расположив устройство непосредственно в считывающем термолюминесценцию приборе, что усложняет и увеличивает длительность процедур перед измерениями, так как требуется разрезание устройства и извлечение из него радиационно-чувствительных кристаллов;

поскольку в результате извлечения кристаллов для измерений устройство оказывается

разрушенным, то его многократное использование невозможно.

Наиболее близким (прототипом) является устройство для индивидуальной ретроспективной дозиметрии пациентов в онкорadiологии (Жарова Е.П., Степаненко В.Ф. с соавт. Ин vivo дозиметрия люминесцентными микродозиметрами при

брахитерапии рака молочной железы источником ^{192}Ir : разработка технологии и клиническая апробация. Радиация и Риск. 2020. Том 29. № 2. Стр. 67-77. DOI: 10.21870/0131-3878-2020-29-2-67-77. <http://www.radiation-and-risk.com/year2020/2/2373-6>). Это

устройство состоит из двух непрозрачных пленок толщиной 40 мг/см^2 , имеющих форму квадратов со стороной 15 мм, соединенных по периметру термосвариванием, зазор между пленками заполнен расположенными в несколько слоев синтетическими радиационно-чувствительными микрокристаллами LiF:Mg,Ti , отсортированными по размеру 0,1 мм. С целью инструментальной верификации расчетных доз облучения при брахитерапии устройство закрепляется в размеченном месте на коже. После экспозиции устройство извлекается для ретроспективного определения накопленных доз ионизирующего излучения. Применение кристаллов LiF:Mg,Ti микрометрических размеров (0,1 мм) позволяет измерять поглощенные дозы в терапевтическом диапазоне доз - до 60 Гр, что недостижимо при использовании промышленно выпускаемых крупных кристаллов, с размерами $5 \times 1 \text{ мм}$.

Недостатками данного технического решения являются:

относительно большие размеры устройства (квадрат со сторонами 15 мм) усложняют точное определение положений кристаллов в устройстве, что может привести к неопределенностям в локализации участка объекта, где проводилось ретроспективное измерение дозы облучения, что особенно важно для ретроспективных оценок доз при воздействии ионизирующим излучением с большим пространственным градиентом дозы облучения, например, при брахитерапии;

размещение в устройстве нескольких слоев радиационно-чувствительных микрокристаллов приводит к существенному пространственному градиенту поглощенной дозы в толщине слоев находящихся в устройстве микрокристаллов, если ретроспективная дозиметрия с использованием устройств применяется для ионизирующего излучения с малой проникающей способностью (например, бета-частицы), что увеличивает погрешность измеряемой поглощенной дозы;

из-за непроницаемости к свету материала, используемого для изготовления устройства, и неустойчивости этого материала (ПВХ) к высокой температуре, требуемой для термостимуляции радиационно обусловленной люминесценции, невозможно проводить измерения люминесценции кристаллов, расположив устройство непосредственно в считывающем термолюминесценцию приборе, что усложняет и увеличивает длительность процедур перед измерениями, так как требуется разрезание устройства, извлечение из него радиационно-чувствительных кристаллов, взвешивание кристаллов и последующее их распределение на подложке считывающего прибора;

поскольку в результате извлечения кристаллов для измерений устройство оказывается разрушенным, то его многократное использование невозможно.

Техническим решением заявляемого устройства является создание простого устройства для ретроспективного определения индивидуальной поглощенной дозы ионизирующего излучения, исключающего неопределенности в определении величины дозы в локальных участках объекта, где проводились дозиметрические измерения, и позволяющее его многократное использование.

Указанный технический результат достигается тем, что устройство состоит из двух обращенных друг к другу в форме квадрата с размерами от $2 \times 2 \text{ мм}$ до $5 \times 5 \text{ мм}$

прозрачных термостойких пленок, при этом внутренний объем устройства имеет форму правильного параллелепипеда, внутренность устройства заполнена расположенными в один слой радиационно-чувствительными микрокристаллами LiF:Mg,Ti , отсортированными по размеру 0,1 мм.

5 Полезная модель поясняется подробным описанием и иллюстрациями, на которых изображено:

Фиг. 1 - схема устройства: а) вид сбоку в разрезе: 1 - устройство, 2 - прозрачные пленки в форме квадрата; 3 - синтетические радиационно-чувствительные кристаллы; 4 - термосварка из материала пленок по периметру устройства; б) вид сверху в разрезе (идентичен виду снизу) в разрезе: 3 - синтетические радиационно-чувствительные кристаллы; 4 - термосварка из материала пленок по периметру устройства.

Фиг. 2 - схема первого примера применения устройства для ретроспективного определения индивидуальных поглощенных доз в локальных участках кожи молочной железы с целью верификации расчетных доз облучения при брахитерапии рака молочной железы радиоактивными источниками ^{192}Ir : 1 - устройства, закрепленные на коже молочной железы в размеченных участках вблизи мест входа и выхода интродьюсеров с источниками ^{192}Ir ; 5 - интродьюсеры с источниками ^{192}Ir ; буквами в квадратах указаны номера точек размещения устройств на коже молочной железы.

Фиг. 3 - диаграмма для первого примера с результатами ретроспективного измерения локальных индивидуальных поглощенных доз в размеченных участках кожи молочной железы, где размещены устройства, в сравнении с расчетными локальными дозами облучения в этих же участках, при брахитерапии опухоли молочной железы источником ^{192}Ir . По горизонтальной оси - точки размещения устройств на коже, по вертикальной оси - локальная поглощенная доза в обозначенных точках на коже.

Фиг. 4 - схема второго примера применения устройства для ретроспективного определения индивидуальных поглощенных доз в локальных участках кожи молочной железы с целью верификации расчетных доз облучения при брахитерапии рака молочной железы радиоактивными источниками ^{192}Ir : 1 - устройства, закрепленные на коже молочной железы в размеченных участках вблизи мест входа и выхода интродьюсеров с источниками ^{192}Ir ; 5 - интродьюсеры с источниками ^{192}Ir ; буквами в квадратах указаны номера точек размещения устройств на коже молочной железы.

Фиг. 5 - диаграмма для второго примера с результатами ретроспективного измерения локальных индивидуальных поглощенных доз в размеченных участках кожи молочной железы, где размещены устройства, в сравнении с расчетными локальными дозами облучения в этих же участках, при брахитерапии опухоли молочной железы источником ^{192}Ir . По горизонтальной оси - точки размещения устройств на коже, по вертикальной оси - локальная поглощенная доза в обозначенных точках на коже.

Устройство 1 (фиг. 1, б) состоит из двух обращенных друг к другу в форме квадрата с размерами от 2×2 мм до 5×5 мм прозрачных термостойких пленок 2, при этом внутренний объем устройства имеет форму правильного параллелепипеда, внутренность устройства заполнена расположенными в один слой радиационно-чувствительными микрокристаллами LiF:Mg,Ti - 3, отсортированными по размеру 0,1 мм. Края пленок по периметру соединены между собой термосваркой 4.

Приводим примеры использования устройства.

Пример 1.

Было изготовлено восемь устройств из двух обращенных друг к другу в форме

квадрата с размерами 2×2 мм прозрачных термостойких пленок из полиимида. Внутренний объем устройства в форме правильного параллелепипеда, причем внутренность устройства заполнили расположенными в один слой радиационно-чувствительными микрокристаллами LiF:Mg,Ti, которые были отсортированы по размеру 0,1 мм. Края пленок по периметру соединили между собой термосваркой из материала пленки.

Устройства применили для ретроспективного измерения локальных индивидуальных поглощенных доз с целью верификации расчетных доз облучения при

высокомощностной брахитерапии источником ^{192}Ir на аппарате Gamma Med plus iX 24. Проводилась адьювантная органосохраняющая радиотерапия рака молочной железы по схеме 3,4 Гр×2 раза в день при суммарной очаговой дозе 34 Гр, в рамках Протокола МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.

Устройства разместили на участках здоровой кожи молочной железы, вне послеоперационных участков, вблизи мест входа и выхода интродьюсеров, применяемых для ввода используемых при брахитерапии радиоактивных источников. Выбор размеров устройств 2×2 мм был обусловлен небольшими размерами участков здоровой кожи вблизи мест входа и выхода интродьюсеров с радиоактивными источниками. Из-за близости к источникам излучения эти участки кожи могут подвергаться наибольшим уровням радиационного воздействия.

Устройства закрепляли на коже (фиг. 2) с помощью непрозрачного медицинского пластыря толщиной 40 мг/см². Локализации устройств маркировали и протоколировали с указанием расстояний до мест входа и выхода интродьюсеров с источниками ^{192}Ir для того, чтобы ретроспективно измеренные локальные поглощенные дозы можно было сопоставить с расчетными дозами облучения этих же участков кожи молочной железы. Расчетные оценки локальных доз облучения выполнены перед сеансом брахитерапии с применением стандартной расчетной системы дозиметрического планирования BrachyVision. После экспозиции устройства были сняты для проведения ретроспективных дозиметрических измерений методом регистрации интенсивности радиационно обусловленной термостимулированной люминесценции содержащихся в устройствах микрокристаллов LiF:Mg,Ti.

На диаграмме (фиг. 3) приведены результаты ретроспективного измерения локальных индивидуальных поглощенных доз в различных точках размещения устройств на коже молочной железы при брахитерапии опухоли молочной железы источником ^{192}Ir в сравнении с расчетными локальными дозами облучения в этих же точках. По горизонтальной оси указаны точки размещения устройств на коже, по вертикальной оси указаны величины локальной поглощенной дозы ионизирующего излучения в обозначенных точках на коже.

В приведенном примере установлено достоверное превышение измеренных локальных поглощенных доз в локальных участках кожи молочной железы по сравнению с расчетными дозами. У данной пациентки установлены участки кожи с суммарной поглощенной дозой 23 Гр, что явилось основанием для динамического наблюдения за состоянием кожи молочной железы пациентки после брахитерапии - с целью принятия необходимых мер в отношении возможных лучевых осложнений и обеспечения качества жизни пациентки после радиотерапии.

Пример 2.

Было изготовлено четыре устройства из двух обращенных друг к другу в форме квадрата с размерами 5×5 мм прозрачных термостойких пленок из фторфлогопита.

Внутренность устройства заполнили расположенными в один слой радиационно-чувствительными микрокристаллами LiF:Mg,Ti, отсортированными по размеру 0,1 мм. Края пленок по периметру соединили между собой термосваркой из материала пленки.

Устройства применили для ретроспективного измерения локальных индивидуальных поглощенных доз с целью верификации расчетных доз облучения при

высокоомощностной брахитерапии источником ^{192}Ir на аппарате Gamma Med plus iX 24. Проводилась адъювантная органосохраняющая радиотерапия рака молочной железы по схеме 3,4 Гр×2 раза в день при суммарной очаговой дозе 34 Гр, в рамках Протокола МРНЦ им. А.Ф. Цыба - филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.

Устройства разместили на участках здоровой кожи молочной железы, вне послеоперационных участков, вблизи мест входа и выхода интродьюсеров, применяемых для ввода используемых при брахитерапии радиоактивных источников. Выбор размеров устройств 5×5 мм был обусловлен размерами участков здоровой кожи вблизи мест входа и выхода интродьюсеров с радиоактивными источниками. Из-за близости к источникам излучения эти участки кожи могут подвергаться наибольшим уровням радиационного воздействия.

Устройства закрепляли на коже (фиг.4) с помощью непрозрачного медицинского пластыря толщиной 40 мг/см². Локализации устройств маркировали и протоколировали с указанием расстояний до мест входа и выхода интродьюсеров с источниками ^{192}Ir для того, чтобы ретроспективно измеренные локальные поглощенные дозы можно было сопоставить с расчетными дозами облучения этих же участков кожи молочной железы. Расчетные оценки локальных доз облучения выполнены перед сеансом брахитерапии с применением стандартной расчетной системы дозиметрического планирования BrachyVision. После экспозиции устройства были сняты для проведения ретроспективных дозиметрических измерений методом регистрации интенсивности радиационно обусловленной термостимулированной люминесценции содержащихся в устройствах микрокристаллов LiF:Mg,Ti.

На диаграмме (фиг. 5) приведены результаты ретроспективного измерения локальных индивидуальных поглощенных доз в различных точках размещения устройств на коже молочной железы при брахитерапии опухоли молочной железы источником ^{192}Ir в сравнении с расчетными локальными дозами облучения в этих же точках. По горизонтальной оси обозначены точки размещения устройств на коже, по вертикальной оси указаны величины локальной поглощенной дозы ионизирующего излучения в обозначенных точках на коже.

В приведенном примере установлено достоверное превышение измеренных локальных поглощенных доз в локальных участках кожи молочной железы по сравнению с расчетными дозами. У данной пациентки установлены участки кожи с суммарной поглощенной дозой 12,6 Гр, что явилось основанием для динамического наблюдения за состоянием кожи молочной железы пациентки после брахитерапии - с целью принятия необходимых мер в отношении возможных лучевых осложнений и обеспечения качества жизни пациентки после радиотерапии.

Полученные результаты показывают необходимость и полезность применения заявляемого устройства для ретроспективного измерения локальных индивидуальных поглощенных доз с целью верификации расчетных доз облучения.

Использование устройства позволяет достигнуть следующих технических результатов: за счет малых размеров устройства (от 2×2 мм до 5×5 мм) уменьшается неопределенность в локализации участка объекта, где проводилось ретроспективное

измерение дозы облучения, что особенно важно для ретроспективных оценок доз при воздействии ионизирующим излучением с большим пространственным градиентом дозы облучения, в тоже время размеры устройства обеспечивает достаточную интенсивность стимулированной люминесценции содержащихся в нем радиационно чувствительных кристаллов;

уменьшается погрешность измеряемой дозы при использовании устройства для ретроспективной дозиметрии ионизирующего излучения с малой проникающей способностью, так как радиационно-чувствительные микрокристаллы размещаются в устройстве в один слой, что существенно уменьшает градиент поглощенной дозы по толщине слоя микрокристаллов, находящихся в устройстве;

упрощается и сокращается длительность процедур перед измерениями, так как не требуется разрезание устройства, извлечение из него радиационно-чувствительных кристаллов, взвешивание кристаллов и последующее их распределение на подложке считывающего прибора, в силу того, что прозрачность, малая толщина пленки, используемой для изготовления устройства, и устойчивость ее к высокой температуре, требуемой для термостимуляции радиационно обусловленной люминесценции, позволяет проводить измерения, не разрушая устройство для извлечения из него радиационно-чувствительных микрокриталлов, а расположив устройство непосредственно в считывающем термолюминесценцию приборе;

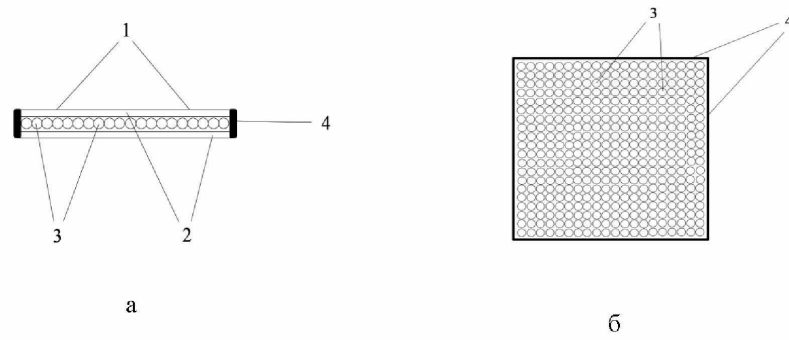
достигается многократное последующее использование устройства, так как при предыдущих измерениях устройство не подвергается разрушению.

Полезная модель является новой, проста в изготовлении, полезна для ретроспективного инструментального получения индивидуальной информации о локальных дозах облучения при неконтролируемых радиационных воздействиях, что необходимо для принятия решений о проведении защитных мер в отношении лиц, подвергшихся облучению при отсутствии или неопределенности данных об индивидуальных поглощенных дозах ионизирующего излучения.

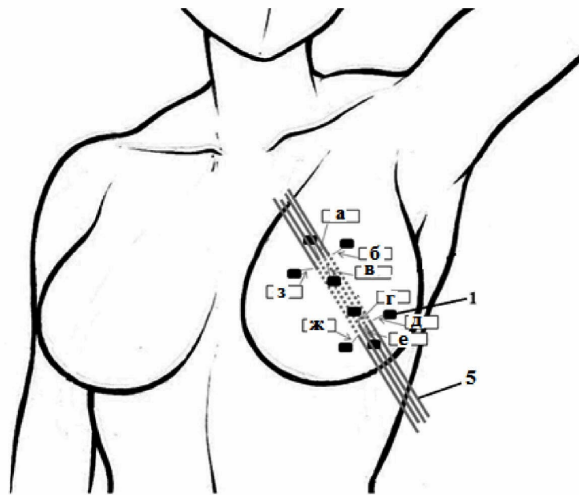
(57) Формула полезной модели

Устройство для ретроспективного определения индивидуальной накопленной поглощенной дозы ионизирующего излучения, характеризующееся тем, что устройство состоит из двух обращенных друг к другу в форме квадрата с размерами от 2×2 мм до 5×5 мм прозрачных термостойких пленок, при этом внутренний объем устройства имеет форму правильного параллелепипеда, внутренность устройства заполнена расположенными в один слой радиационно-чувствительными микрокристаллами LiF: Mg, Ti, отсортированными по размеру 0,1 мм.

1

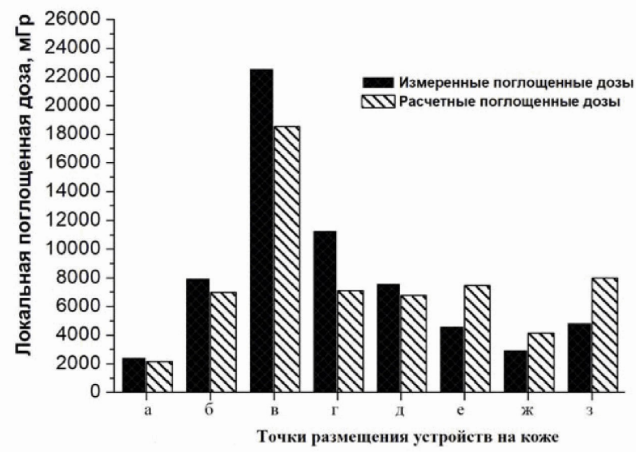


Фиг. 1

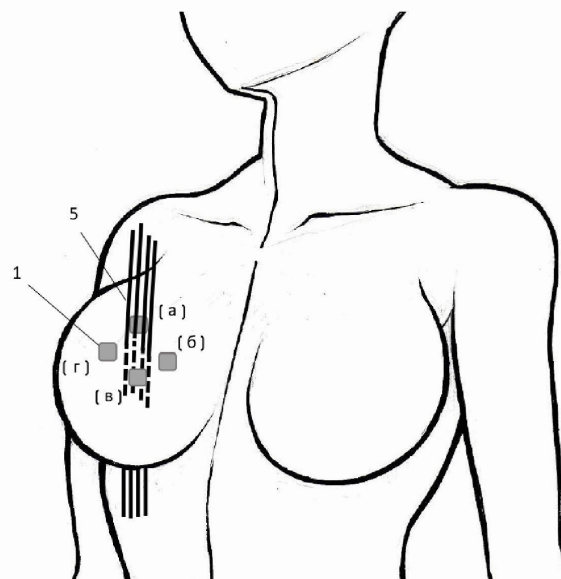


Фиг. 2

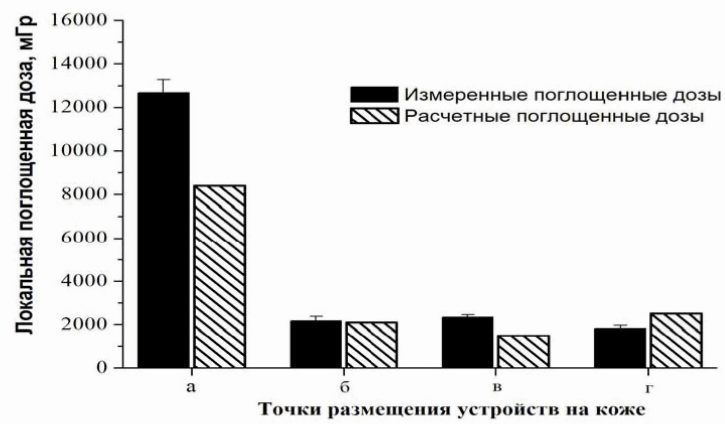
2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5