

В.П. Пантелькин, В.Е. Журавлева, А.Г. Цовьянов

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ХИМИЧЕСКОЙ ПРОБОПОДГОТОВКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НИЖНЕГО ПРЕДЕЛА ОЦЕНКИ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ МЕТОДОМ СПЕКТРОМЕТРИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: А.Г. Цовьянов, atsovyan@mail.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Разработка метода химической пробоподготовки для снижения нижнего предела оценки поглощенной дозы методом ЭПР-спектromетрии.

Материал и методы: Для проведения работ по изучению влияния химической обработки образцов костного материала в органических растворителях на их ЭПР-спектры было подготовлено необходимое число образцов костей. Они были подвергнуты первичной обработке для отделения костей от остатков мягкой биологической ткани, затем была выделена плотная кость и проведено ее обезжиривание. Далее была проведена серия параллельных опытов по дополнительной химической обработке костных материалов в растворах трех органических восстановителей (гидразин гидрат, диэтилентриамин и этилендиамин) для уменьшения величины нативного сигнала при проведении работ по реконструкции поглощенных доз методом ЭПР-спектromетрии. Запись спектров ЭПР производилась на спектрометре ELEXSYS E500 фирмы Bruker, снабженном высокоскоростным цилиндрическим резонатором SHQE. Облучение образцов проводилось на рентгеновской биологической установке РУБ РУСТ-М1.

Результаты: Для уменьшения нижнего предела измерения поглощенной дозы и повышения надежности получаемых оценок значений поглощенной дозы с помощью метода ЭПР требуется уменьшить нативную составляющую ЭПР сигнала, не затрагивая, по возможности, радиационную составляющую сигнала ЭПР. Для достижения такого эффекта была предложена химическая обработка образцов костного материала в растворах аминов, которые воздействуют на коллагеновые соединения, присутствующие в костях и ответственные за появление нативного сигнала в спектре ЭПР. После химической обработки образцов костного материала при 30 °С в течение 30 мин в растворе разных аминов произошло существенное уменьшение амплитуды нативного сигнала, которое составило: 4 для гидразин гидрата, 3,3 для диэтилентриамин и 2,1 для этилендиамина. Для образцов костного материала, которые подвергались предложенной химической обработке в гидразин гидрате, удается уверенно определить амплитуду радиационного сигнала со значением 2–3 Гр против минимальных значений доз 6–8 Гр для образцов костного материала, которые не подвергались химической обработке.

Выводы: Было установлено, что при проведении химической обработки происходит существенное уменьшение нативного сигнала в спектре ЭПР костных материалов, уменьшение же радиационного сигнала при этом незначительно. Сравнение результатов обработки костных материалов в трех органических восстановителях показало, что лучшие результаты дает применение гидразин гидрата при температуре 30 °С в течение 30 мин.

Ключевые слова: *электронный парамагнитный резонанс, радиационный сигнал, нативный сигнал, поглощенная доза, кость, химическая обработка*

Для цитирования: Пантелькин В.П., Журавлева В.Е., Цовьянов А.Г. Разработка метода химической пробоподготовки для снижения нижнего предела оценки поглощенной дозы методом спектromетрии электронного парамагнитного резонанса. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2020;65(2):50–6.

DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-2-50-56

Введение

При работе с закрытыми радиоактивными источниками, рентгеновскими установками существует потенциальная возможность радиационной аварии, которая может привести к локальному облучению персонала с большими значениями поглощенной дозы.

Сведения о количественных и качественных характеристиках локального аварийного облучения во многих случаях получают с помощью общепринятой системы индивидуального дозиметрического контроля, основанного на использовании аварийных дозиметров. Эти дозиметры в настоящее время обеспечивают получение необходимой информации в точке их ношения, но не позволяют определить дозы на конечности без знания обстоятельств произошедшего локального аварийного облучения рук.

Кроме того, встречаются случаи несанкционированного облучения, связанные со случайным попаданием промышленных источников излучения к лицам из населения. В этом случае дозиметры отсутствуют.

В большинстве случаев несанкционированного облучения наиболее облученными оказываются руки пострадавшего. Поэтому вопрос о ретроспективной оценке поглощенной дозы в руках человека при их аварийном облучении в полях ионизирующего излучения с целью прояснения картины облучения для корректировки лечения пострадавшего является весьма актуальным.

Местные лучевые поражения (МЛП) человека и МЛП рук в частности были описаны в литературе [1–6], где приводится клиническая картина, освещены клинические стадии развития и степени тяжести острых МЛП. Также там описаны диагностика и прогноз тяжести МЛП, приведены принципы лечения МЛП.

При отсутствии аварийных дозиметров, измеряющих дозу ионизирующего излучения, дозовые нагрузки на конечности определять затруднительно. Единственным физическим методом, позволяющим ретроспективно осуществить оценку поглощенной дозы, является метод электронного парамагнит-

ного резонанса (ЭПР). Явление электронного парамагнитного резонанса заключается в резонансном поглощении электромагнитного излучения в диапазоне радиочастот веществами, помещенными в постоянное магнитное поле, и обусловлено квантовыми переходами между энергетическими подуровнями, связанными с наличием магнитного момента у электронных систем. В биологии ЭПР применяют при исследовании радикалов, возникших в результате повреждающего воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты [7].

ЭПР-спектрометрия широко применяется для оценки поглощенной дозы с использованием эмали зуба и костей, начиная с последней четверти двадцатого столетия [8]. Применение метода ЭПР-спектрометрии для оценки поглощенной костью дозы в случаях острых МЛП описано, например, в работах [9, 10].

По сравнению с эмалью зуба интенсивность радиационного сигнала ЭПР от кости, при равном радиационном воздействии примерно на порядок меньше. Это связано с различием в строении и в разном химическом составе кости и эмали зуба.

Как для случая эмали зуба, так и для случая кости, в их спектрах ЭПР исходно присутствует так называемый нативный сигнал, который не связан с их облучением [11].

Нативный сигнал связан с наличием органических веществ как в эмали зуба, так и в кости.

При оценке значений поглощенной дозы с использованием метода ЭПР возникают трудности при интерпретации получаемых спектров ЭПР для химически необработанных образцов костей в области значений поглощенной дозы ниже 8–10 Гр. Радиационная составляющая спектра в области его максимума перекрывается нативной составляющей, поэтому при малых значениях поглощенной дозы значение максимума радиационного сигнала трудно определить. Положение усугубляется тем, что при использовании стандартного прямоугольного ре-

зонатора радиационный сигнал при значениях поглощенной дозы ниже 8–10 Гр очень слабый и плохо виден на фоне шумов. При применении современного высокочувствительного цилиндрического резонатора с повышенным значением добротности и улучшенным отношением сигнал/шум радиационный сигнал становится различим при меньших значениях поглощенных доз. Примеры спектров ЭПР образцов костей для поглощенной дозы 10 Гр приведены на рис. 1, 2.

Для того чтобы уменьшить нижний предел измерения поглощенной дозы и повысить надежность получаемых оценок значений поглощенной дозы, требуется каким-то образом уменьшить нативный сигнал, не затрагивая, по возможности, радиационный сигнал.

Одним из способов устранения нативного сигнала из общего ЭПР-спектра является метод вычитания моделированного нативного сигнала из общего спектра. В результате такой математической операции получается радиационный сигнал, при этом, однако, результат сильно зависит от точности подгонки моделированного нативного сигнала к общему спектру, особенно при малом уровне радиационного сигнала.

Существует и другой подход, связанный с ослаблением нативного сигнала путем удаления части органической составляющей кости, которая ответственна за появление нативного сигнала.

Этот подход связан с проведением химической обработки образцов кости такими химическими растворителями, которые приведут к разрушению структур, отвечающих за появление нативного сигнала.

В состав живой кости взрослого человека входит: воды — 50 %, жира — 16 %, оссеина (коллагеновых волокон) — 12 %, неорганических веществ — 22 %. Неорганические вещества представлены различными солями, больше всего содержится фосфата кальция — 60 %, карбоната кальция — 5 %, сульфата магния — 1,4 %.

Отсюда следует, что значительную долю в составе кости, в отличие от эмали зуба, занимают органиче-

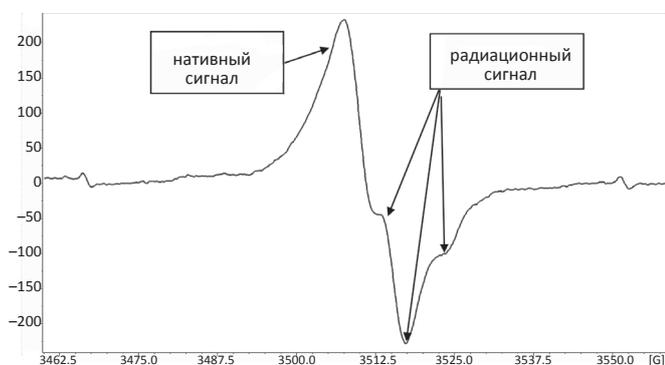


Рис. 1. ЭПР-спектр облученного образца кости, который не подвергался химической обработке, поглощенная доза 10 Гр
Fig. 1. EPR-spectrum of an irradiated bone sample that was not subjected to chemical treatment, absorbed dose of 10 Gy

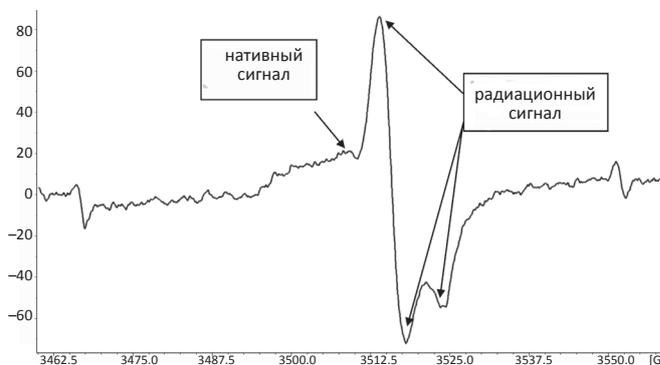


Рис. 2. ЭПР-спектр облученного образца кости, подвергнутого химической обработке в гидразин гидрате, поглощенная доза 10 Гр
Fig. 2. EPR-spectrum of irradiated bone sample subjected to chemical treatment in hydrazine hydrate, absorbed dose of 10 Gy

ские вещества. Белковых соединений в составе кости 16–21 %, большая часть из них — это оссеин (коллагеновые соединения).

Из литературы известно, что ответственными за появление нативного сигнала являются именно коллагеновые соединения. Поэтому возникает вопрос об уменьшении нативного сигнала путем химического воздействия на коллагеновые соединения с целью их разрушения. Именно такой подход был предложен для уменьшения нативного сигнала в эмали зуба в работе [12]. Целью данной работы являлась разработка метода химической пробоподготовки для снижения нижнего предела оценки поглощенной дозы методом ЭПР-спектрометрии.

Материал и методы

Для проведения работ по изучению влияния химической обработки образцов костного материала в органических растворителях на их ЭПР-спектры было подготовлено необходимое число образцов костей.

Эти образцы были подвергнуты первичной обработке для отделения костей от остатков мягкой биологической ткани, затем была выделена плотная кость, которая отделялась от трабекулярной кости. Далее проводилось обезжиривание образцов и их последующее измельчение. Навески образцов для проведения опытов составили около 100 мг каждая.

Первый ряд опытов был направлен на выяснение вопроса о степени ослабления нативного сигнала в результате обработки образцов костного материала в растворах органических восстановителей. Это химическое воздействие также сопровождалось физическим воздействием на процесс путем помещения образцов в ультразвуковую ванну для усиления диффузионных процессов. Обработка проводилась с использованием трех органических восстановителей: гидразин гидрата, диэтилентриамин и этилендиамина.

После химической обработки образцов костного материала указанными выше соединениями в течение 30 мин при температуре 30 °С, и последующей промывки образцов в дистиллированной воде и сушки образцов были измерены исходные ЭПР-спектры этих образцов. В дальнейшем была проведена серия опытов по изучению влияния химической обработки в органических восстановителях облученных образцов костного материала на радиационную составляющую ЭПР-сигнала. Особый интерес представляли результаты воздействия на образцы излучением с дозами в диапазоне от 0 до 10 Гр.

Облучение образцов проводилось на рентгеновской биологической установке РУБ РУСТ-М1. Напряжение на аноде составляло 210 кВ, ток 5 мА, установка снабжена алюминиевым фильтром толщиной 1,5 мм.

Три образца костного материала до проведения облучений были предварительно подвергнуты химической обработке в растворах трех разных восстано-



Рис. 3. Общий вид спектрометра ЭПР ELEXSYS E500 фирмы Bruker, применявшегося для проведения исследований
Fig. 3. General view of the Bruker ELEXSYS E500 EPR spectrometer used for research

вителей, три оставшихся образца такой обработке не подвергались.

Запись спектров ЭПР производилась на спектрометре ELEXSYS E500 фирмы Bruker, снабженном высокооборотным цилиндрическим резонатором SHQE (рис. 3).

Для записи спектров ЭПР были выбран следующий оптимальный режим: мощность СВЧ генератора 10 мВт, амплитуда модуляции 3 Гс, развертка 100 Гс, число проходов 50.

После математической обработки спектров ЭПР были получены зависимости амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы D в диапазоне 0–50 Гр для трех образцов костного материала, предварительно подвергнутых химической обработке в гидразин гидрате, диэтилентриамине и этилендиамина при температуре 30 °С в течение 30 мин. В диапазоне 2–10 Гр облучение проводилось с шагом в 2 Гр, в диапазоне 10–50 Гр облучение проводилось с шагом в 10 Гр. Эти зависимости амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы приведены на рис. 4, 6, 8.

Три оставшихся образца, которые первоначально химической обработке не подвергались, облучались в диапазоне 2–10 Гр с шагом в 2 Гр. После достижения значения поглощенной дозы в 10 Гр образцы были подвергнуты химической обработке в гидразин гидрате, диэтилентриамине и этилендиамина при температуре 30 °С соответственно. Затем их облучение было продолжено с шагом в 10 Гр до достижения значения поглощенной дозы в 50 Гр.

Также были получены зависимости амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы в диапазоне 0–50 Гр для тех образцов костного материала, которые были подвергнуты химической обработке после достижения значения поглощенной дозы в 10 Гр. Эти зависимости амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы D приведены на рис. 5, 7, 9.

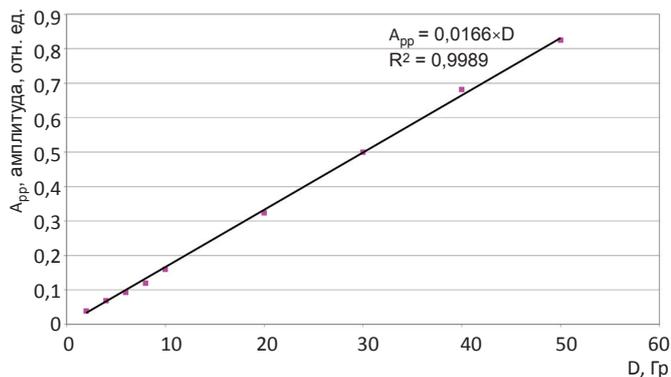


Рис. 4. Зависимость амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы D для образца кости, предварительно подвергнутого химической обработке в гидразин гидрате при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин

Fig. 4. Dependence of the amplitude of the EPR radiation signal on the absorbed dose D for a bone sample pre-chemically treated in hydrazine hydrate at $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 30 min

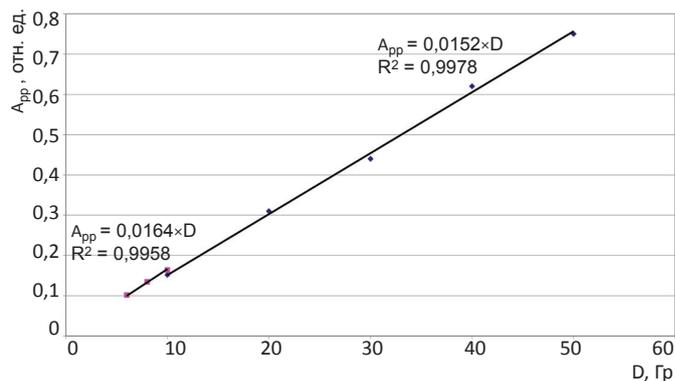


Рис. 5. Зависимость амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы D для образца кости, который, после достижения значения поглощенной дозы 10 Гр, был подвергнут химической обработке в гидразин гидрате при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин

Fig. 5. The dependence of the amplitude of the EPR radiation signal on the absorbed dose D for a bone sample that, after reaching the value of the absorbed dose of 10 Gy, was subjected to chemical treatment in hydrazine hydrate at $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 30 min

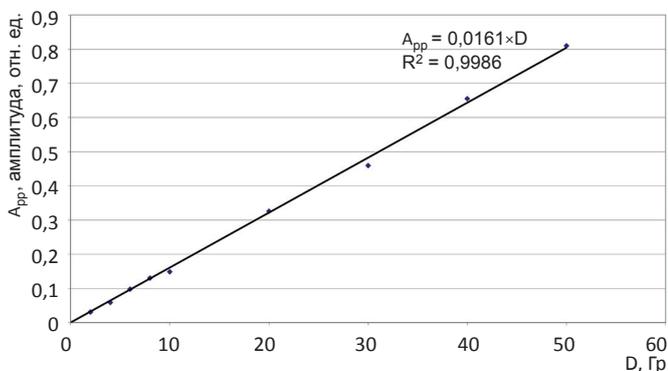


Рис. 6. Зависимость амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы D для образца кости, предварительно подвергнутого химической обработке в этилендиамине при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин

Fig. 6. Dependence of the amplitude of the EPR radiation signal on the absorbed dose D for a bone sample pre-chemically treated in ethylenediamine at $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 30 min

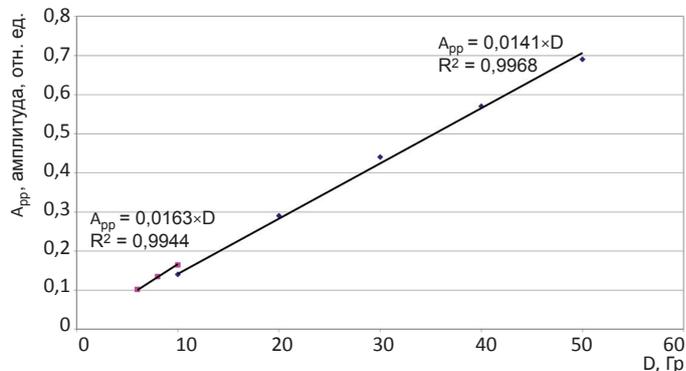


Рис. 7. Зависимость амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы D для образца кости, который, после достижения значения поглощенной дозы 10 Гр, был подвергнут химической обработке в этилендиамине при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин

Fig. 7. The dependence of the amplitude of the EPR radiation signal on the absorbed dose D for a bone sample that, after reaching the value of the absorbed dose of 10 Gy, was subjected to chemical treatment in ethylenediamine at $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 30 min

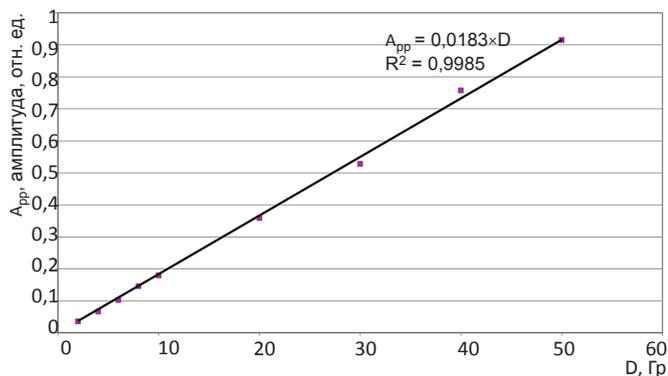


Рис. 8. Зависимость амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы D для образца кости, предварительно подвергнутого химической обработке в диэтилен триамине при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин

Fig. 8. Dependence of the amplitude of the EPR radiation signal on the absorbed dose D for a bone sample pre-chemically treated in diethylenetriamine at $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 30 min

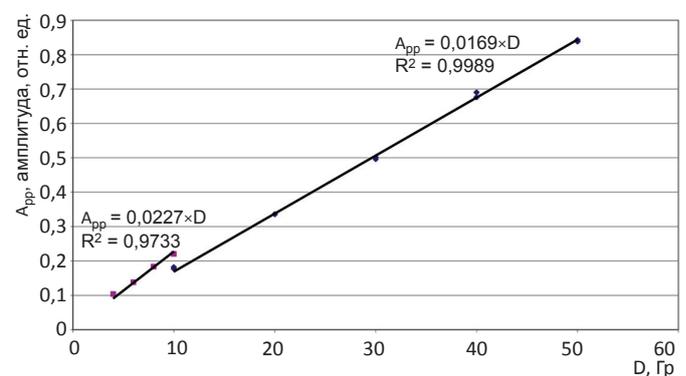


Рис. 9. Зависимость амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы D для образца кости, который, после достижения значения поглощенной дозы 10 Гр, был подвергнут химической обработке в диэтилен триамине при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин

Fig. 9. The dependence of the amplitude of the EPR radiation signal on the absorbed dose D for a bone sample that, after reaching the value of the absorbed dose of 10 Gy, was subjected to chemical treatment in diethylenetriamine at $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 30 min

Для выяснения влияния химической обработки облученных образцов костного материала в гидразин гидрате при температурах 40 °С и 60 °С на радиационную составляющую ЭПР сигнала были проделаны еще две серии опытов.

Сначала образцы были облучены дозой 6 Гр, затем облучения проводились с шагом 20 Гр. Химическая обработка в каждом из этих опытов проводилась после достижения значений поглощенной дозы 66 Гр.

Были получены зависимости амплитуды радиационного сигнала A_{pp} от поглощенной дозы в диапазоне 0–120 Гр для образцов костного материала, которые были подвергнуты химической обработке после достижения значения поглощенной дозы в 66 Гр в серии опытов для температуры 40 °С и после достижения значения поглощенной дозы в 40 Гр в серии опытов для температуры 60 °С.

Результаты и обсуждение

После математической обработки спектров ЭПР были построены зависимости амплитуды радиационного сигнала от поглощенной дозы для разных образцов. Амплитуды радиационного сигнала были приведены к значениям массы образца 100 мг.

Полученные в результате обработки экспериментальных данных коэффициенты приведены в табл. 1.

После химической обработки образцов костного материала при 30 °С в течение 30 мин в растворах разных аминов произошло существенное уменьшение амплитуды нативного сигнала, которое составило: 4 для гидразин гидрата, 3,3 для диэтилентриамин и 2,1 для этилендиамина.

Произошло некоторое уменьшение массы образцов, величина этих изменений представлена в табл. 1. В результате химической обработки облученных образцов костного материала также произошло и уменьшение амплитуды радиационного сигнала.

Величина ослабления этой амплитуды также представлена в табл. 1.

Коэффициент ослабления радиационного сигнала оказывается большим, чем коэффициент уменьшения массы образца, для всех восстановителей.

Отношение коэффициентов зависимости амплитуды радиационного сигнала от поглощенной дозы для диапазонов доз 2–10 Гр и 10–50 Гр (после химической обработки) примерно равно коэффициенту ослабления радиационного сигнала после химической обработки. Это означает, что прямая зависимость амплитуды радиационного сигнала от поглощенной дозы для диапазона доз 10–50 Гр практически проходит через начало координат. Следовательно, можно считать, что для процедуры оценки поглощенной дозы по методу добавок не нужно вводить никаких дополнительных поправок, и использовать калибровочную прямую, получаемую после химической обработки образца.

По совокупности двух факторов — наименьшего ослабления амплитуды радиационного сигнала и наблюдавшегося при этом наибольшего ослабления амплитуды нативного сигнала после химической обработки костных образцов, — можно сделать вывод, что оптимальным восстановителем для проведения химической обработки костных образцов до проведения ЭПР измерений следует признать раствор гидразин гидрата.

При проведении химической обработки костных образцов в растворе гидразин гидрата при температурах выше 30 °С происходит существенное уменьшение и массы образцов, и амплитуды радиационного сигнала при температуре 40 °С (уменьшение амплитуды радиационного сигнала составило 1,3 раза) и, особенно, при 60 °С (уменьшение амплитуды радиационного сигнала составило 1,6 раза), поэтому оптимальной представляется обработка образцов при температуре 30 °С.

Таблица 1

Изменение массы образца, амплитуды нативного сигнала, амплитуды радиационного сигнала и коэффициента зависимости амплитуды радиационного сигнала от поглощенной дозы при химической обработке образцов костного материала в растворах органических восстановителей при температуре 30 °С

Changes in the mass of the sample, the amplitude of the native signal, the amplitude of the radiation signal, and the coefficient of dependence of the amplitude of the radiation signal on the absorbed dose during chemical treatment of bone samples in solutions of organic reducing agents at a temperature of 30 °С

№ образца	Химическая обработка	Коэффициент уменьшения массы образца после химической обработки	Коэффициент уменьшения амплитуды радиационного сигнала образца после химической обработки	Изменение коэффициента зависимости амплитуды радиационного сигнала образца от дозы после химической обработки	Коэффициент ослабления нативного сигнала после химической обработки
1	Диэтилентриамин	1,09	1,33	1,42	3,3
2	Диэтилентриамин, до проведения облучений	1,06			3,3
3	Этилендиамин	1,03	1,11	1,16	2,1
4	Этилендиамин, до проведения облучений	1,05			2,1
5	Гидразин гидрат	1,01	1,08	1,08	4
6	Гидразин гидрат, до проведения облучений	1,02			4

Заключение

По результатам анализа полученных в результате проведения опытов данных можно сделать следующие выводы.

1. Для уменьшения нижнего предела измерения поглощенной дозы и повышения надежности получаемых оценок значений поглощенной дозы с помощью метода ЭПР требуется уменьшить нативную составляющую ЭПР-сигнала, не затрагивая, по возможности, радиационную составляющую сигнала ЭПР. Такой эффект может быть достигнут в результате проведения химической обработки образцов кости химическими растворителями, воздействие которых приведет к разрушению структур, ответственных за появление нативного сигнала.

2. В качестве таких органических растворителей были выбраны растворы аминов, которые воздействуют на коллагеновые соединения, присутствующие в костях и ответственные за появление нативного сигнала в спектре ЭПР. После химической обработки образцов костного материала при 30 °С в течение 30 мин в растворе разных аминов произошло существенное уменьшение амплитуды нативного сигнала, которое составило: 4 для гидразин гидрата, 3,3 для диэтилентриамиона и 2,1 для этилендиамиона.

3. По результатам анализа влияния химической обработки образцов кости в растворах трех аминов (растворах этилендиамиона, диэтилентриамиона и гидразин гидрата) на нативную и радиационную составляющую их спектров ЭПР был сделан вывод о том, что оптимальным восстановителем следует признать раствор гидразин гидрата.

4. При воздействии на костные образцы раствором гидразин гидрата при разных температурах (30 °С, 40 °С, 60 °С) было установлено, что при температуре 40 °С и, в особенности, при температуре 60 °С происходит разрушение структуры кости и существенное уменьшение как массы образца, так радиационной составляющей сигнала ЭПР. Поэтому оптимальной является обработка костных образцов в гидразин гидрате при температуре 30 °С в течение 30 мин.

Для образцов костного материала, которые подвергались предложенной химической обработке в гидразин гидрате, удастся уверенно определить амплитуду радиационного сигнала со значением в 2–3 Гр против минимальных значений доз 6–8 Гр для образцов костного материала, которые не подвергались химической обработке.

Development of Chemical Samples Preparation Method to Reduce the Lower Limit of Absorbed Dose Assessment by Electron Paramagnetic Resonance Spectrometry

V.P. Pantelkin, V.E. Zhuravleva, A.G. Tsovyanov

A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia, atsovyan@mail.ru

ABSTRACT

Purpose: Development of a method of chemical sample preparation to reduce the lower limit of the absorbed dose estimation by EPR spectrometry.

Material and methods: The required number of bone samples was prepared to study the effect of chemical treatment of bone material samples in organic solvents on their EPR spectra. They were subjected to primary treatment to separate the bones from the remains of soft biological tissue, then a dense bone was isolated and its defatting was carried out. Further, a series of parallel experiments on chemical treatment of bone materials in solutions of three organic reducing agents (hydrazine hydrate, ethylenediamine and diethylenetriamine) were done to reduce the magnitude of the native signal when carrying out works on reconstruction of absorbed doses using EPR spectroscopy. Recording of EPR spectra was performed on the ELEXSYS E500 Bruker spectrometer equipped with a high-q cylindrical resonator SHQE. Irradiation of the samples was carried out on the X-ray biological unit RUB RUST-M1.

Results: To reduce the lower limit of detection of the absorbed dose and improve the reliability of the assessment of the absorbed dose using the EPR method, it is required to reduce the native component of the EPR signal without affecting, if possible, the radiation component of the EPR signal. To achieve this effect, a chemical treatment in solutions of amines was proposed, which affect the collagen compounds that present in the bones and which are responsible for the appearance of a native signal in the EPR spectrum. After chemical treatment of bone material samples at 30 °С for 30 minutes in a solution of different amines, there was a significant decrease in the amplitude of the native signal, which was: 4 for hydrazine hydrate, 3.3 for diethylenetriamine and 2.1 for ethylenediamine. For bone material samples that were subjected to the proposed chemical treatment in hydrazine hydrate, it is possible to confidently determine the amplitude of the radiation signal by a value of 2–3 Gy against the minimum dose values of 6–8 Gy for bone material samples that were not chemically treated.

Conclusion: It was found that during the chemical treatment there is a significant reduction of the native signal in the spectra of EPR of bone materials, the decrease of the radiation signal at the same time was slightly. Comparison of the results of treatment of bone materials in three organic reducing agents showed that the best results are obtained by the use of hydrazine hydrate at a temperature of 30 °С for 30 minutes.

Key words: Electron Paramagnetic Resonance, radiation signal, native signal, absorbed dose, bone, chemical treatment

For citation: Pantelkin VP, Zhuravleva VE, Tsovyanov AG. Development of Chemical Samples Preparation Method to Reduce the Lower Limit of Absorbed Dose Assessment by Electron Paramagnetic Resonance Spectrometry. Medical Radiology and Radiation Safety. 2020;65(2):50-6. (In Russ.).

DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-2-50-56

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Местные лучевые поражения. В кн.: Радиационная медицина. Руководство для врачей-исследователей и организаторов здравоохранения. Под ред. Л.А. Ильина. Т. 2. — М.: ИздАт, 2001, С.161-202. [Local Radiation Injuries in: Radiation Medicine. A Guide for Medical Researchers and Health Care Organizers. Ed. by L. A. Ilyin. Vol. 2. — Moscow. IzdAt, 2001:161-202. (in Russ.)].
2. Барабанова АВ, Баранов АЕ, Бушманов АЮ, Гуськова АК. Радиационные поражения человека. Избранные клинические лекции, методическое пособие. Под ред. АЮ Бушманова, ВД Ревы. — Москва. 2007. [Barabanova AV, Baranov AE, Bushmanov AY, Guskova AK. Radiation damage to humans. Selected clinical lectures, methodological guide. Eds. by AY Bushmanov, VD Reva. Moscow, 2007. (in Russ.)].
3. Надежина НМ, Галстян ИА, Сачков АВ, Малиновская ИА. Перспективы диагностики и лечения местных лучевых поражений. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2004;49(4):21-8. [Nadezhina NM, Galstyan IA, Sachkov AV, Malinovskaya IA. Prospects for the diagnosis and treatment of local radiation injuries. Medical Radiology and Radiation Safety. 2004;49(4):21-8. (in Russ.)].
4. Галстян ИА, Илевич ЮР, Клещенко ЕД и др. Возможности ретроспективного определения дозы при лучевых поражениях. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2004;49(5):5-13. [Galstyan IA, Ilevich YuR, Kleshchenko ED, et al. Possibilities of retrospective dose estimation in radiation injuries. Medical Radiology and Radiation Safety. 2004;49(5):5-13. (in Russ.)].
5. Надежина НМ, Барабанова АВ, Галстян ИА. Трудности диагностики и лечения пострадавших от воздействия потерянных источников ионизирующего излучения. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2005;50(4):15-20. [Nadezhina NM, Barabanova AV, Galstyan IA. Difficulties in diagnosis and treatment of victims of exposure to lost sources of ionizing radiation. Medical Radiology and Radiation Safety. 2005;50(4):15-20. (in Russ.)].
6. Барабанова АВ. Местные лучевые поражения кожи. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2010;55(5):79-84. [Barabanova AV. Local radiation lesions of the skin. Medical Radiology and Radiation Safety. 2010;55(5):79-84. (in Russ.)].
7. Козицина АН, Иванова АВ, Глазырина ЮА, Цмокалюк АН, Ивойлова АВ, Петров АС. ЭПР-спектроскопия, электрохимические и комбинированные методы анализа. Учеб.-метод. пособие. Под ред. Ю.А. Глазыриной. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. 60 с. [Kozitsyna AN, Ivanova AV, Glazyrina YA, Tsmokalyuk AN, Ivoylova AV, Petrov AS. EPR spectroscopy, electrochemical and combined methods of analysis. Training manual. Ed. by AY Glazyrina. Ekaterinburg: publishing House of Ural University, 2018. 60 p. (in Russ.)].
8. Ikeya M. New applications of electron spin resonance: dating, dosimetry and microscopy. Singapore; River Edge: World Scientific, 1993. 500 p.
9. Samoylov AS, Bushmanov AY, Galstyan IA, Nadezhina NA, Pantelkin VP, Aksenenko AV, et al. Local radiolesion in X-ray inspection specialists. Radiation Protection Dosimetry. 2016;171(1):117-20.
10. The Radiological Accident in Lia, Georgia. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014.
11. Fattibene P, Callence F. EPR dosimetry with tooth enamel: A review. Appl Radiat and Isotopes. 2010;68(11):2033-116.
12. Скрипник ДГ. Влияние физико-химической обработки эмали зуба человека на сигнал ЭПР. Автореф. дисс. к.х.н. Обнинск, 2004, 23 с. [Skripnik DG. Effect of physical and chemical treatment of human tooth enamel on the EPR signal. Abstract of thesis for the degree of PhD Chem, Obninsk, 2004, 23 p. (in Russ.)].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Financing. The study had no sponsorship.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Поступила: 17.12.2018. **Принята к публикации:** 12.03.2020.

Article received: 17.12.2018. **Accepted for publication:** 12.03.2020.