

ВЛИЯНИЕ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ НА ИМПЛАНТИРУЕМЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ КАРДИОУСТРОЙСТВА

А.Ю. Курзюкова¹, А. Одложликова², М. Сэпши³, Д. Поспишил³, П. Шлампа²

¹ Уральский федеральный университет, Екатеринбург

² Масариков онкологический институт, Брно, Чешская Республика

³ Университетская больница, Брно, Чешская Республика

В Масариковом онкологическом институте 24 имплантируемых электронных кардиоустройств разных фирм были подвержены фракционному облучению на аппарате LINAC-2100CD пучком фотонов с номинальной энергией 18 МэВ до дозы 200 Гр. При этом у 55 % всех кардиостимуляторов и у 16 % имплантируемых кардиовертер-дефибрилляторов были обнаружены неисправности разных типов. Не все неисправности удалось устранить с помощью перепрограммирования. Полученные данные необходимы для выбора оптимальной стратегии лучевой терапии онкологических пациентов с имплантированными кардиоустройствами.

Ключевые слова: кардиостимулятор, кардиовертер-дефибриллятор, лучевая терапия, радиационно-индуцированные неисправности

Введение

В лечебной практике облучение онкологических пациентов с имплантированными электронными кардиоустройствами (ИЭК) является наиболее сложным случаем как с точки зрения выбора стратегии лечения, так и с точки зрения топометрического планирования лучевой терапии [1]. К сожалению, число таких пациентов увеличивается с каждым годом, что делает необходимым проведение тестирования электронных устройств с целью изучения возможных типов радиационно-индуцированных неисправностей и определения безопасной дозы, получаемой пациентами с ИЭК [2]. Известно, что вторичные нейтроны, которые возникают в результате фотоядерных реакций при прохождении излучения с энергией кванта выше порога 10 МэВ через вещество, являются основной причиной сбоев в работе импланти-

руемых электронных устройств [3, 4]. Но исследований, связанных с облучением ИЭК, особенно при высоких дозах, которые могут быть связаны с проведением у пациента повторных облучений, недостаточно [5]. Поэтому целью данной работы явилось облучение имплантируемых кардиовертер-дефибрилляторов (ИКД) и электронных кардиостимуляторов (ЭКС) дозой до 200 Гр и определение потенциально опасных неисправностей.

Методика исследования

В Масариковом онкологическом институте были протестированы 24 электронных кардиоустройства: 18 ЭКС и 6 ИКД, полученных способом *post-mortem* в Институте судебной медицины Университетской больницы им. Св. Анны (г. Брно). Облучение проводилось на уско-

рителе CLINAC-2100CD фирмы VARIAN. Для этого были выбраны наиболее тяжелые условия, с точки зрения функционирования кардиоустройств: номинальная энергия фотонов 18 МэВ, поле 40×40 см, устройства были помещены прямо в пучок излучения.

В первой части эксперимента облучение проводилось по 2 Гр до суммарной дозы 80 Гр, что соответствует максимальной величине дозы, которую получают пациенты за курс облучения. Поэтому этот диапазон доз требует особого внимания. Во второй части эксперимента облучение проводилось по 10 Гр/фр до суммарной дозы 200 Гр, где удалось уже более наглядно увидеть потенциально возможные неисправности. И поскольку иногда необходимо проведение повторного облучения (вплоть до нескольких дополнительных курсов облучения), данный диапазон также интересен для исследования влияния излучения на кардиоустройства.

Результаты исследования

При облучении до 80 Гр 19 устройств (5 ИКД и 14 ЭКС) функционировали без сбоев, а у 5 кардиоустройств (1 ИКД и 4 ЭКС) неоднократно были зарегистрированы сбои разного типа. При этом были зарегистрированы неисправности и дозы, связанные с ними. Данные, полученные в ходе эксперимента, представлены в табл. 1, где $D_{\text{ЭКС}}$, $D_{\text{ИКД}}$ – значения доз, при которых произошел сбой в работе ЭКС или ИКД соответственно.

Сбой типа ERI связан с преждевременным истощением батареи и был зарегистрирован у 1 ЭКС при дозе 10 Гр и у 1 ИКД при дозе 40 Гр. Однако данный тип неисправностей может быть также вызван и длительным временем работы устройства. Тем не менее, мы не можем исключить такую ситуацию у реальных пациентов, которым были имплантированы электронные устройства за несколько лет до проведения лучевой терапии. Такое нарушение не угрожает жизни пациента и может быть устранено с помощью перепрограммирования устройства. При возникновении такой неисправности ЭКС способен функционировать еще 2 месяца.

Неисправности типа Backup VVI представляют собой переход устройства в исходный режим работы (сбросу всех индивидуальных настроек) с возможностью восстановления требуемого режима. Данный тип неисправности

Таблица 1
Неисправности, возникшие в ЭКС и ИКД при облучении дозами до 80 Гр

Название сбоя	$D_{\text{ЭКС}}$	$D_{\text{ИКД}}$
ERI	10 Гр	40 Гр
Backup VVI	20 Гр	–
	30 Гр	
SW fault	20 Гр	–
Error in PM	30 Гр	–
Backup	80 Гр	–

был зарегистрирован у двух ЭКС при дозах 20 Гр и 30 Гр. Как и неисправность типа ERI, такое нарушение не угрожает жизни пациента и может быть также устранено с помощью перепрограммирования.

Неисправность типа SW fault говорит о том, что не удалось ни прочитать данные, ни перепрограммировать, ни вернуть устройство в первоначальный основной режим работы. Такая ошибка была зарегистрирована в 1 ЭКС при достижении дозы 20 Гр, что подчеркивает опасность облучения онкологических пациентов с имплантированными кардиоустройствами.

Неисправность типа Error in PM, обнаруженная у ЭКС при достижении дозы 30 Гр, представляет собой сбой в коммуникации – данные считались, но при этом был обнаружен сбой и не удалось перепрограммировать устройство в требуемый режим.

Сбой типа Backup, который мы наблюдали при дозе 80 Гр, является аналогом неисправности Backup VVI, но без возможности перепрограммирования в нужный режим работы.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что уже при сравнительно небольших значениях доз облучения могут возникать неисправности разных типов. Большинство из них поддаются перепрограммированию, что делает возможным проведение лучевой терапии у пациентов с ИЭК.

Но наиболее интересным для нас диапазоном доз в данной работе является диапазон облучения до 200 Гр. В данном случае у 10 из 18 ЭКС и у 1 из 6 ИКД были обнаружены неисправности разных типов. Все обнаруженные ошибки в работе кардиоустройств представлены в табл. 2.

Анализируя полученные данные при облучении до 200 Гр, можно сделать вывод о

Таблица 2
Неисправности, возникшие в ЭКС и ИКД
при облучении дозами до 200 Гр

Название сбоя	$D_{\text{ЭКС}}$	$D_{\text{ИКД}}$
ERI	10 Гр	40 Гр
Backup VVI	20 Гр	-
	30 Гр	
	90 Гр	
	100 Гр	
	110 Гр	
170 Гр		
SW fault	20 Гр	-
Error in PM	30 Гр	-
Backup	80 Гр	-

том, что с увеличением дозы стало больше неисправностей типа Backup VVI: за время эксперимента 6 ЭКС неоднократно показывали данную неисправность. Такое нарушение не угрожает жизни пациента и может быть устранено с помощью перепрограммирования устройства. У ИКД таких сбоев в работе обнаружено не было.

Выводы

В ходе работы был обнаружен целый ряд неисправностей, таких как ERI, Backup VVI, SW fault, Error in PM, Backup, которые могут возникнуть во время курса лучевой терапии. Причем все основные сбои были связаны с невозможностью проконтролировать состояние ЭКС после облучения, в то время как само устройство функционировало нормально. При этом частота сбоев в устройствах увеличивается с ростом дозы.

Можно отметить, что ИКД продемонстрировали наибольшую стойкость к излучению по сравнению с ЭКС.

Также было подтверждено, что вторичное нейтронное излучение оказывает большее влияние на функционирование имплантированных электронных устройств, чем суммарная доза облучения пациента. Это необходимо учитывать при выборе методов топометрического планирования и облучения у пациентов с ИЭК.

При использовании современных облучающих аппаратов типа TrueBeam номинальная энергия фотонов составляет 6 или 10 МэВ, что заведомо исключает возникновение вто-

ричных нейтронов в радиационной головке ускорителя. Кроме того, целесообразно использовать более современные методы планирования типа VMAT (RapidArc) с функцией Jaw Tracking, когда изменяется не только положение пластин МЛК, но и положение диафрагм при вращении гантри, и тем самым уменьшается уровень трансмиссионного излучения.

С помощью современных методов инверсного планирования лучевой терапии (таких как IMRT, VMAT, SBRT) опытный физик может добиться минимальной дозы, попадающей на ИЭК при облучении опухоли, расположенной даже очень близко к устройству. Далее, для более точного определения дозы, попадающей на ИЭК и рассчитанной с помощью системы планирования, необходимо исключить артефакты на КТ-снимках, возникающие вследствие имплантации ИЭК в биологическую ткань.

Информация о неполной радиационной стойкости ЭКС и о типах возможных неисправностей при лучевой терапии является основой дальнейшей работы материаловедов для защиты электронных составляющих ИЭК от излучения.

Список литературы

1. Hashii H., Hashimoto T., Isibe T. et al. Comparison of the effects of high-energy photon beam irradiation (10 and 18 MV) on 2 types of implantable cardioverter-defibrillators // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2012. P. 71–72.
2. Zweng A., Schuster R., Hawlicek R. et al. Life-threatening pacemaker dysfunction associated with therapeutic radiation: a case report // *Angiology.* 2009. P. 509–512.
3. Hashimoto T., Tomonori I., Haruko H. et al. Influence of secondary neutrons induced by proton radiotherapy for cancer patients with implantable cardioverter defibrillators // *Radiat. Oncol.* 2012. P. 7–10.
4. Uiterwaal G.J., Springorum B.G.F., Scheepers E. et. al. Interference detection in implantable defibrillators induced by therapeutic radiation therapy // *Netherlands Heart J.* 2006. P. 330–334.
5. Hurkmans C. W., Knegjens J. L., Oei B. S. et al. Management of radiation oncology patients with a pacemaker or ICD: A new comprehensive practical guideline in the Netherlands // *Radiat. Oncol.* 2012. P. 187–198.

INFLUENCE OF RADIATION THERAPY ON IMPLANTABLE CARDIAC PACEMAKERS

A. Kurzyukova¹, A. Odlozhilikova², M. Seps³, D. Pospisil³, P. Slampa²

¹ B.N. Eltsyn Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

² Masaryk Memorial Cancer Institute, Brno, Czech Republic

³ University Hospital, Brno, Czech Republic

24 cardiac implatable electric devices from different manufacturers were irradiated up to 200 Gy on LINAC-2100CD in Masaryk Memorial Cancer Institute. In this case, 55 % pacemakers and 16 % implantable cardioverter-defibrillators have different types of malfunctions. Not all of them were able to operate after reprogramming. The data obtained are important for radiotherapy planning for cancer patients with cardiac implated electric devices.

Key words: *pacemakers, radiation therapy, radiation-induced malfunctions*

E-mail: kurzyukovanastya@gmail.com