

Частота радіаційно-індукованих аберацій хромосомного типу в лімфоцитах крові професіоналів групи 1

Група	Проаналізовано клітин		Y ± SE на 100клітин				
	разом	нормоплоїдів	А Кл	А Хр	А Хс	Диц + ЦК фр	Ац Фр
1	2968	2960	4,09 ± 0,36	4,32 ± 0,40	1,52 ± 0,23	0,37 ± 0,11	0,81 ± 0,16
Контроль	7530	7525	1,55 ± 0,19	1,61 ± 0,19	0,98 ± 0,18	0,14 ± 0,03	0,84 ± 0,19

Таблиця 4

Частота аберацій хроматидного типу та геномних порушень у лімфоцитах крові професіоналів групи 1

Група	Проаналізовано клітин		Y ± SE на 100клітин				
			А Хт*	Хт Фр	Хт Обм	Геномні порушення	
	разом	нормоплоїдів				гіперплоїди	поліплоїди
1	2968	2960	2,80 ± 0,31	2,06 ± 0,27	0,64 ± 0,15	0,07 ± 0,05	0,27 ± 0,10
Контроль	7530	7525	0,62 ± 0,09	0,56 ± 0,08	0,07 ± 0,04	0,01 ± 0,01	0,07 ± 0,03

Примітка. *— до складу аберацій хроматидного типу увійшли хроматидні фрагменти, хроматидні обміни та ізохроматидні делеції.

ників контрольної групи. Проте лише для дицентриків і центричних кілець із супутніми фрагментами це зростання було вірогідним.

Також мала місце тенденція до підвищення частоти аберацій хроматидного типу та їх окремих видів. Рівень аберацій хроматидного типу перевищував показник у контролі в 4,5 разу, хроматидних фрагментів — у 3,5, рівень хроматидних обмінів — у 9 разів.

У двох хворих 2-ї групи при порівнянні результатів цитогенетичного аналізу лімфоцитів крові з контрольними показниками виявлено значно підвищений рівень аберацій хромосом, відповідно в 20 і 40 разів. У випадку аберацій хромосомного типу та їх окремих видів картина була аналогічною. Частота аберацій хромосомного типу переважно зростала за рахунок дицентриків і центричних кілець із супутніми фрагментами. Так, у одного обстеженого частота аберацій хромосомного типу перевищувала контрольне значення в 65 разів, у іншого — в 61 раз. У обох професіоналів рівень вільних ацентричних хромосомних фрагментів був вище контрольних показників у 17 разів. Частоти аберацій хроматидного типу в обох випадках потрапляли в середину діапазону індивідуальних значень у групі 1: від 0,82 до 5,61 на 100 клітин.

Таким чином, при обстеженні гірників уранових шахт, хворих на РЛ, загалом було виявлено підвищений рівень радіаційно-індукованих аберацій хромосомного типу порівняно з показниками контрольної групи. Водночас у хворих, які отримували ПТ, цитогенетичні показники були значно вище, ніж у тих, яким протипухлинне лікування не проводилось.

Отже, за результатами обстеження у клініці ДУ ІМР АМНУ, професійні раки легень у гірників уранових шахт характеризуються: запізними стадіями виявлення онкологічної легеневої патології; розвитком злоякісного процесу на фоні хронічних обструктивних захворювань легень, які виникають внаслідок шкідливих виробничих впливів; особливостями гістологічної структури професійних раків легень, зокрема, переважанням дрібноклітинного раку порівняно з іншими гістологічними типами пухлин.

У обстежених гірників уранових шахт, хворих на професійний рак легень, виявлено підвищений рівень клітин з абераціями хромосом порівняно з контролем унаслідок пошкоджень як хромосомного, так і хрома-

тидного типів. Підвищена частота радіаційно-індукованих обмінних аберацій хромосомного типу вказує на вплив радіаційного фактора у професійних умовах. Підвищена частота хроматидних фрагментів, хроматидних обмінів та геномних порушень свідчить про можливий вплив на обстежених професіоналів факторів нерадіаційної природи.

Література

1. Малащенко А.В. // *Мед. радиол. и радиац. безопасн.* — 2005. — Т. 50, № 6. — С. 10–12.
2. Глушинский М.В., Беляев А.В., Нечаев А.И., Зуевич Ф.И. // *Матер. Третьего отрасл. симпоз. по гиг. труда, радиац. безопасн., охране окруж. среды и проф. патол. при добыче и первич. перераб. радиоакт. руд (Санкт-Петербург, 4–9 сент. 1991 г.)*. — СПб: 1992. — С. 250–253.
3. Малащенко А.В. // *Мед. радиол. и радиац. безопасн.* — 2010. — Т. 55, № 2. — С. 5–12.
4. Голиков В.Я., Филлюшкин И.В., Петоян И.М. // *Там же.* — 1998. — Т. 43, № 3. — С. 66–72.
5. Демина Э.А. // *Международ. журн. радиац. мед.* — 2003. — Т. 5, № 1–2. — С. 99–100.
6. Tocarskaya Z.B., Scott B.R., Zhuntova G.V. et al. // *Health. Phys.* — 2002. — Vol. 83, № 6. — P. 833–846.
7. Bilban M., Bildan-Jakopin C. // *Mutagen.* — 2005. — Vol. 20, № 3. — P. 187–191.

Г.В. Гацкевич, И.Г. Тарутин, Н.Н. Яковлева

ГУ «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова»,
Минск, Республика Беларусь

Контроль качества абсолютных дозиметрических измерений в лучевой терапии Республики Беларусь

Quality assurance of absolute dosimetry measurements in radiation therapy in Republic of Belarus

Summary. A system of performing absolute dosimetry measurement on radiation therapy units in Republic of Belarus is presented. The requirements to the quality of measurement

are discussed. The results of international TLD postal audit of the measurement quality performed by IAEA are reported.

Key words: radiation therapy, dosimetry, IAEA, TLD audit.

Резюме. Представлено систему проведения абсолютных дозиметрических вимірювань на аппаратах променевої терапії Республіки Білорусь. Розглянуто вимоги щодо якості вимірювань. Наведено результати міжнародного аудиту якості вимірювань, виконаного МАГАТЄ методом «ТЛД-поштою».

Ключові слова: променева терапія, дозиметрія, МАГАТЄ, ТЛД-аудит.

Ключевые слова: лучевая терапия, дозиметрия, МАГАТЭ, ТЛД-аудит.

Отпуск дозы онкологическому больному с минимальной погрешностью является важнейшей характеристикой качества организации процесса лучевой терапии (ЛТ). Допустимая погрешность подведения дозы к опухоли, принятая в настоящее время в Республике Беларусь, составляет $\pm 5\%$. Следовательно, измерения поглощенных доз должны проводиться с погрешностью не хуже $\pm 3\%$.

Дозиметрический контроль отпуска поглощенной дозы является составной частью контроля качества лечебного процесса в онкологических учреждениях.

Для организации такого контроля требуются:

1. Нормативные методические документы.
2. Современное дозиметрическое оборудование.
3. Квалифицированные специалисты.

Методики измерения поглощенных доз (мощностей поглощенных доз), которыми руководствуются специалисты в онкологических учреждениях Республики Беларусь, изложены в следующих нормативных документах:

1. Белорусский протокол для определения поглощенной дозы в лучевой терапии фотонными пучками высоких энергий: Методические указания. — Минск, 1999.

2. Белорусский протокол для определения поглощенной дозы в лучевой терапии пучками электронов высоких энергий: Методические указания. — Минск, 1999.

3. Измерение мощности воздушной кермы и вычисление дозы и мощности дозы от радиоактивных источников, применяемых в аппаратах контактной лучевой терапии: Методические рекомендации. — Минск, 1999.

Данные документы соответствуют рекомендациям МАГАТЭ, изложенным в сборнике докладов № 398 в 2000 г.

Контролю подлежат:

- значение опорной мощности поглощенной дозы на гамма-аппаратах дистанционной лучевой терапии (ДЛТ) с источником ^{60}Co ;

- цена мониторной единицы на медицинских ускорителях;

- мощность воздушной кермы на аппаратах контактной лучевой терапии (КЛТ).

Получение в процессе измерений численных значений названных параметров с минимальной погрешностью чрезвычайно важно. Значения этих величин вносятся в планирующие системы, и любая ошибка при их определении может иметь тяжелые последствия для пациента.

Контролю также подлежат значения поглощенных доз в контрольных точках при верификации планов облучения на фантомах и проведения *in-vivo* дозиметрии.

Согласно нормативным документам измерения значений опорных мощностей поглощенных доз на гамма-аппаратах ДЛТ в онкологических диспансерах Республики Беларусь проводятся не реже 1 раза в квартал. Кроме того 1 раз в 2 года такой контроль проводится во время аттестации данных аппаратов лабораторией метрологии и дозиметрии РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова.

Один раз в квартал в диспансерах проводится и настройка цены мониторной единицы (ЦМЕ) на ускорителях

для фотонного излучения и электронов различных энергий. Внеочередную настройку ЦМЕ проводят в тех случаях, когда во время проведения ежедневных проверок установлено отклонение ЦМЕ более чем на 2%.

Мощность воздушной кермы на аппаратах КЛТ измеряют во время перезарядки источников и через полтора месяца после перезарядки.

Значения поглощенных доз в контрольных точках при верификации планов облучения на фантомах и *in-vivo* измерения проводят в нашем Центре, как правило, для обеспечения выполнения методики IMRT. Реже используют при других методиках облучения.

К дозиметрическому оборудованию, используемому для измерений доз и их мощностей, относятся клинические дозиметры с набором различных детекторов и фантомы различных типов. Данное оборудование поставлялось в Республику Беларусь, в основном, фирмой PTW-Freiburg и хорошо себя зарекомендовало.

В настоящее время в Республике Беларусь в 12 онкологических диспансерах имеется 20 клинических дозиметров UNIDOS. Эти же диспансеры обеспечены также малыми водными и твердотельными фантомами. Автоматизированные трехкоординатные водные фантомы имеются в 5 онкодиспансерах. Пять онкологических диспансеров неплохо оснащены и другим дозиметрическим оборудованием и оборудованием для контроля технических параметров аппаратов ЛТ.

Характеризуя подготовку специалистов в области дозиметрии, следует отметить, что, к сожалению, в настоящее время в высших учебных заведениях Республики Беларусь отсутствуют учебные программы по специальности «медицинская физика». Некоторые теоретические основы для работы в области клинической дозиметрии получают студенты в Белорусском госуниверситете им. Ленина, Университете им. Сахарова, Политехнической академии, Радиотехническом университете. А основные навыки работы с дозиметрическим оборудованием молодые специалисты получают только на рабочих местах. Иногда удается направлять инженеров на курсы, которые проводятся международными организациями (как правило до 5 дней). Еще меньшая вероятность повышения квалификации по проектам МАГАТЭ. Следует сказать, что для подготовки специалиста, способного решать основные задачи дозиметрии, требуется не менее 2 лет, а высококвалифицированного специалиста — не менее 5 лет. Как головная организация РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова старается оказывать помощь онкологическим диспансерам республики в повышении квалификации технического персонала, обслуживающего аппараты ЛТ. Так, в последние 10 лет на базе Центра не реже 1 раза в 2–3 года проводились обучающие семинары для инженеров-физиков республики. В текущем году запланировано проведение двух 5-дневных семинаров. Организовывались стажировки молодых специалистов в нашем Центре, инспекционные посещения специалистами Центра других онкодиспансеров с целью оказания методической помощи. Все это позволило повысить точность отпуска дозы пациентам и качество дозиметрического обеспечения методик ЛТ в республике.

С 2000 г. Республика Беларусь участвует в программе почтового ТЛД-аудита, организуемого МАГАТЭ. Целью программы является повышение точности и согласованности клинической дозиметрии при проведении лучевой терапии и оценка текущей ситуации и повышения качества процесса ЛТ в лечебных учреждениях. В учреждении присылают несколько термоминисцентных детекторов, которые следует облучить дозой 2 Гр. После этого детекторы отсылают в МАГАТЭ, где специалисты определяют дозы, отпущенные детекторам. Результаты высылаются

*Результаты проведенных по линии МАГАТЭ проверок (ТЛД-аудит)
точности отпуска дозы на аппаратах ЛТ в онкологических диспансерах Республики Беларусь
в 2002–2010 гг.*

Диспансер	2002 г.		2004 г.		2006 г.		2008 г.		2010г.	
	Гамма-изл. С о-60	Фотоны	Гамма-излуч. Со-60	Фотоны	Гамма-излуч. Со-60	Фотоны	Гамма-излуч. Со-60	Фотоны	Гамма-излуч. Со-60	Фотоны
РНПЦ ОМР	Рокус 1 -0,0% Рокус 2 -1,7 %	Ускоритель 6 МВ -1,0%	Рокус 1 -2,3 % Рокус 2 -0,4 %	Ускоритель 6 МВ -1,3 %	Рокус 1 -1,2 %	Ускоритель 6 МВ -0,2 %	Рокус 1 -0,8 %	Ускоритель 6 МВ -1,0%	Theratron -2 %	Ускоритель 6 МВ -1,4 %
Поверочная лаборатория РНПЦ ОМР	Агат-С +1,1 %		Агат-С +0,7 %						Агат-С -0,7 %	
Витебский ОД	Агат-Р -1,7 %		Teragam -1 %	Ускоритель 6 МВ 0,0%	Teragam -1,6 %	Ускоритель 6 МВ -0,5 %	Teragam -1,1 %	Ускоритель 6 МВ 0,0%	Teragam -2,5 %	Ускоритель 6 МВ -2,7 %
Гомельский ОД	Рокус 1 +3,3 % Рокус 2 -1,5 %		Рокус 1 +2,4 % Рокус 2 +3,1 %	Ускоритель 6 МВ +2,7% Ускоритель 23 МВ -2,1 %	Рокус АМ -1,7 %	Ускоритель 6 МВ -0,4 %	Рокус АМ -0,3 %	Ускоритель 6 МВ -3,1 %	Рокус АМ -0,4 %	Ускоритель 6 МВ -0,4 %
Минский ОД	Агат-С -1,8 % Агат-Р -3,1 %		Агат-Р +4,4 % Theratron +2,2 %		Theratron -4,1 %		Theratron -1,1 %		Theratron -5 %	
Брестский ОД	Агат-Р +0,9 % Рокус АМ -3,0%		Рокус АМ 0,0%	Ускоритель 6 МВ +0,4 %	Агат-Р -3,1 %	Ускоритель 6 МВ -1,1 %			Агат-Р -0,5 %	Ускоритель 6 МВ -0,5 %
Барановичский ОД					Агат-Р -1,7 %		Рокус АМ -1,3 %			
Бобруйский ОД					Theratron -0,7 %		Theratron -1,7 %		Theratron -1,8 %	
Гродненский ОД					Рокус АМ -1,8 %		Рокус АМ -0,7 %			
Могилевский ОД					Агат-С -1,0%		Theratron -1,2 %		Theratron -0,6 %	
Полоцкий ОД					Рокус АМ -4,2 %		Рокус АМ -1,9 %		Рокус АМ -1,9 %	
Пинский ОД									Рокус АМ -4,1 %	

в адрес нашего Центра. Положительным считается результат, когда отпущенная доза отличается от требуемой не более чем на 5%. В этой программе участвовали 12 онкологических диспансеров нашей республики. Результаты ТЛД-аудита представлены в таблице.

За этот период имелось 8 случаев отпуска доз ТЛД-детекторам с погрешностью, большей $\pm 5\%$. Причины этого выяснялись и тщательно анализировались.

Так, два случая объяснялись тем, что вместо режима «поглощенная доза», в дозиметре был установлен режим «воздушная керма». Это и дало отличие около 10%.

В одном случае измерения проводились с поврежденной ионизационной камерой. Еще в одном случае доза была отпущена за время, рассчитанное на планирующей системе с ошибочно выбранной глубиной контрольной точки, без последующего контрольного измерения с помощью клинического дозиметра. Остальные ошибки были допущены специалистами с недостаточной квалификацией. Повторная проверка, проведенная Агентством, показала правильные результаты измерений.

Опыт участия в программе МАГАТЭ свидетельствует, что хорошие результаты достигнуты благодаря использованию современного дозиметрического оборудования (в основном фирмы PTW-Freiburg) и достаточно хорошей квалификации инженеров-физиков. Следует также отметить высокое качество поверки клинических дозиметров лабораторией метрологии и дозиметрии РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова, без которой измерения с требуемой погрешностью проводить было бы невозможно.

Дополнительно можем дать следующие рекомендации.

При измерениях поглощенных доз и мощностей таких доз на аппаратах ЛТ следует строго придерживаться методических рекомендаций из сборника технических докладов МАГАТЭ № 398 или национальных нормативных документов, разработанных на основе этого документа.

Значения коэффициентов, которые используются при измерениях, следует определять с максимально возможной точностью. Особенно это относится к выбору поправочных коэффициентов на качество излучения, температуру и атмосферное давление.

С клиническим дозиметром должны быть поверены не менее двух детекторов излучений (ионизационных камер). Желательно иметь в учреждении не менее двух клинических дозиметров.

Необходимо проводить поверку и иного используемого оборудования — барометров, термометров, линеек, уровней и т.д. Особенно важно уделять постоянное внимание подготовке и повышению квалификации персонала, работающего в области клинической дозиметрии.