



00-186

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

00-186

P16-2000-186

Р.Вагнер*, Б.Влчек*, В.П.Зорин, И.Коварж*,
А.Г.Молоканов, К.Турек*

ДОЗИМЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА
ГАММА-ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО АППАРАТА
РОКУС-М И КЛИНИЧЕСКИХ ДОЗИМЕТРОВ
ЛЯП ОИЯИ

*Институт ядерной физики ЧАН, Прага

2000

1. Введение

В процедурной кабине № 6 клиничко-физического комплекса ЛЯП ОИЯИ установлен аппарат для дистанционной гамма-терапии РОКУС-М, который может применяться как для статического, так и для ротационного облучения глубоко расположенных опухолей. Этот аппарат с источником излучения ^{60}Co активностью 7600 кюри (на 1 января 2000 г.) используется как для сочетанного (облучение протонами + гамма-терапия), так и самостоятельного лечения, а также в качестве резервного источника в случае выхода из строя ускорителя или оборудования протонного канала. Кроме того, аппарат применяется для проведения радиобиологических исследований и калибровки дозиметрических приборов в качестве вторичного эталона.

Для корректного решения задачи планирования лучевой терапии злокачественных опухолей необходимо знание радиационных и технических параметров установки [1]. Дозиметрические данные на радиоактивность источника, указанные в паспорте, не могут служить основой расчета мощности дозы в рабочем пучке излучения, так как в паспортную активность источника следует вносить поправки на самопоглощение излучения в источнике и поглощение в конструктивных элементах, на наличие рассеянного излучения и т.д. Поэтому необходимо измерять мощность дозы в некоторой калибровочной (опорной) точке в стандартных условиях. Эта величина характеризует интенсивность гамма-излучения пучка, контролирует ее постоянство и должна служить основой для расчета поглощенных доз при гамма-терапии. В качестве калибровочной физической величины удобно использовать керму в воздухе на расстоянии 750 мм от источника (условный центр ротации) при площади пучка $S=10 \times 10$ см, а в атласах карт изодоз и методических рекомендациях имеются таблицы коэффициентов, позволяющих перейти от этих „стандартных” к любым другим условиям облучения.

Во время открывания и закрывания затвора радиационной головки аппарата объект (пациент или образец) получает дополнительную дозу облучения, относительный вклад которой в общую дозу облучения увеличивается с уменьшением времени экспозиции, и его необходимо учитывать при малой экспозиции.

Целью настоящей работы явилось проведение измерений некоторых радиационных параметров установки РОКУС-М, а именно:

- кермы в опорной точке, реальном центре ротации и на расстоянии 1000 мм от источника – точке калибровки дозиметров;
- величины экспозиционной дозы за время открывания–закрывания затвора радиационной головки аппарата.

Кроме того, была проведена калибровка двух клинических дозиметров KD-27012 производства VEB Robotron-Messelektronik, Дрезден .

2. Методика измерений

Для измерения кермы в воздухе использовалась воздухоэквивалентная ионизационная камера NE-2571 (серийный номер 1848), прокалиброванная на

вторичном эталоне ^{60}Co Международного агентства по атомной энергии [2]. Ток с ионизационной камеры измерялся электрометром Keithley 35617 EBS (серийный номер 40762), который позволяет проводить измерения ионизационного тока или заряда с высокой чувствительностью и точностью.

Все основные измерения были проведены в геометрии свободного пространства. Стандартные условия измерений (рис.1): вертикальный пучок, расстояние от центра детектора до торцевой поверхности детектора – 750 мм (388,2 мм до наружной поверхности выходного окна радиационной головки); размеры радиационного поля 10×10 см на расстоянии 750 мм. Дека стола была достаточно удалена от пучка, расстояние детектора от пола составляло около 1200 мм, так что влияние на дозу рассеянных от пола и стола вторичных фотонов и электронов пренебрежимо мало. Значение кермы в воздухе было определено также на расстоянии 753,5 мм (центр ротации данного аппарата) и на расстоянии 1000 мм от источника. Измерения проводились с колпачками из воздухоэквивалентной пластмассы, толщина которых обеспечивала электронное равновесие в детекторе. Температура воздуха измерялась лабораторным термометром, атмосферное давление – при помощи механического барометра.

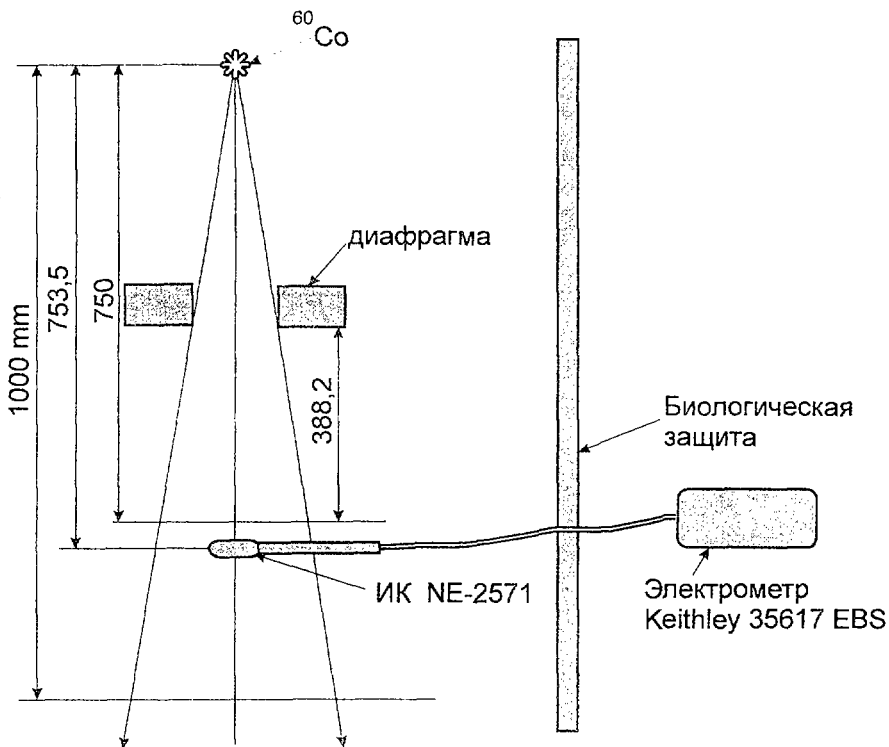


Рис.1. Принципиальная схема дозиметрических измерений

3. Результаты измерений

3.1. Керма в воздухе

Величина кермы в воздухе измерялась в течение 6 дней при различных значениях температуры воздуха и атмосферного давления. В измеренный ионизационный ток вносилась поправка на отклонения температуры и атмосферного давления воздуха от стандартных значений по следующей формуле:

$$j_{T,p} = \frac{273,15 + T}{293,15} \cdot \frac{101,325}{p} \cdot j,$$

где T – температура воздуха в °С; p – давление воздуха в кПа; коэффициент, учитывающий влажность воздуха (при условии относительной влажности в пределах от 30 до 70% он равен 0,997 [3]), вводился при измерении калибровочного коэффициента ионизационной камеры. Измерения в кабине № 6 проводились при влажности воздуха в указанном диапазоне. Для вычисления кермы использовалось уравнение

$$K_a = j_{T,p} \cdot N_{k,a},$$

где $N_{k,a}$ – калибровочный коэффициент ионизационной камеры NE-2571 для кермы в воздухе ($N_{k,a} = 41,8 \pm 0,2$ мГр/нК [2]); $j_{T,p}$ – ток ионизации, приведенный к стандартным значениям температуры и атмосферного давления.

В табл. 1 представлены результаты измерений кермы в трех точках на оси пучка излучения – 750,0, 753,5 и 1000 мм от торца источника гамма-терапевтического аппарата РОКУС-М, полученные в ноябре 1999 года и пересчитанные на 1 января 2000 года.

Таблица 1

Измеренные в ноябре 1999 года величины кермы
на гамма-аппарате РОКУС-М (размеры поля 10×10 см)

Дата измерения	Расстояние от источника, мм	Ток*, нА	Мощность кермы*, мГр/с	Мощность экспозиционной дозы*, Р/мин	
24.11.99	750	0,6193	25,88	176,6	
24.11.99		0,6197	25,90	176,7	
25.11.99		0,6200	25,92	176,8	
25.11.99		0,6199	25,91	176,8	
25.11.99		0,6199	25,91	176,8	
25.11.99		0,6198	25,91	176,8	
26.11.99		0,6200	25,91	176,8	
26.11.99		0,6198	25,91	176,8	
29.11.99		0,6206	25,94	177,0	
29.11.99		0,6209	25,95	177,1	
Средняя величина			176,8 ± 0,07%		

Дата измерения	Расстояние от источника, мм	Ток *, нА	Мощность кермы *, мГр/с	Мощность экспозиционной дозы *, Р/мин
26.11.99	753,5	0,6143	25,68	175,2
26.11.99		0,6142	25,67	175,2
26.11.99		0,6150	25,71	175,4
29.11.99		0,6149	25,70	175,4
29.11.99		0,6149	25,70	175,4
Средняя величина				175,3 ±0,06%

Дата измерения	Расстояние от источника, мм	Ток *, нА	Мощность кермы *, мГр/с	Мощность экспозиционной дозы *, Р/мин
26.11.99	1000	0,3486	14,57	99,4
26.11.99		0,3487	14,57	99,4
29.11.99		0,3484	14,56	99,4
29.11.99		0,3484	14,57	99,4
Средняя величина				99,4 ±0,03%

* На 1 января 2000 года.

3.2. Доза при открывании-закрывании затвора

Экспозиционная доза при открывании и закрывании затвора радиационной головки аппарата вычислялась по результатам измерения ионизационного заряда в течение 0,5, 1 и 3 минут.

Таблица 2

Зависимость заряда ионизации от времени, установленного на таймере-секундомере, управляющем открыванием - закрыванием затвора

Время таймера*, с	29,974	59,974	179,974
Заряд (нК) - измерение 1	20,07	39,07	115,03
Заряд (нК) - измерение 2	20,07	39,07	115,02

*Разница между реальным и заданным временем работы таймера составляет 0,026 с.

Измеренные величины заряда экстраполировались на ось ординат (ось заряда ионизации).

Если $t = 0$ с $\Rightarrow Q = 1,0824$ нК, тогда

$$K = Q \cdot N_k \cdot k_{T,p} = 1,0824 \cdot 41,8 \cdot 0,99106 = 44,839 \text{ мГр} \Rightarrow X = 5,100 \text{ Р.}$$

Таким образом, за время открывания-закрывания затвора радиационной головки экспозиционная доза на оси пучка в опорной точке составляет

$$X = 5,034 \text{ Р (на 1 января 2000 года).}$$

3.3. Калибровка клинических дозиметров

В поле излучения источника гамма-аппарата была проведена калибровка двух клинических дозиметров типа KD-27012 с воздухоэквивалентными ионизационными камерами ВАК-253, применяемых для проведения дозиметрических измерений на медицинских пучках клинико-физического комплекса ЛЯП ОИЯИ. На камеры надевались колпачки из воздухоэквивалентной пластмассы, толщина которых обеспечивала электронное равновесие в детекторе.

Измерения проводились на расстоянии 1000 мм от источника при размерах поперечного сечения пучка 10×10 см. Сначала в эту точку устанавливалась ионизационная камера NE-2571, измерялась керма и пересчитывалась в экспозиционную дозу. Затем в эту же точку последовательно помещались камеры ВАК-253. Калибровка камер проводилась путем установки, с помощью ручек коррекции, на шкалах клинических дозиметров величины мощности экспозиционной дозы, равных аналогичным величинам, измеренным ионизационной камерой NE-2571. Затем камеры клинических дозиметров помещались в контрольные источники; показания мощности дозы на приборах от этих источников являются контрольными значениями для коррекции ионизационного тока на температуру, давление и влажность. Через 3 дня была проверена градуировка клинических дозиметров.

Коэффициенты коррекции на температуру, давление и влажность, а также калибровочные коэффициенты F, представляющие собой отношение величины, измеренной калибруемым клиническим дозиметром, к величине, измеренной стандартной ионизационной камерой NE-2571, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты калибровки клинических дозиметров KD-27012

Номер дозиметра	Номер камеры	Коэффициент коррекции*	Коэффициент F в режиме мощность дозы
31076	6182	59,28	0,995 ± 0,3%
31038	2043	47,14	0,996 ± 0,3%

*На 1 января 2000 года.

4. Оценка погрешностей измерений

Погрешности измерений вычислены по методике, описанной в работе [4]. Суммарная погрешность на уровне доверительной вероятности 95% была рассчитана по формуле

$$U_{95} = 1,13 \cdot [(2s)^2 + \sum_i a_i^2]^{1/2},$$

где s – среднее квадратичное отклонение случайной компоненты погрешности (предполагается нормальное распределение); a_i – максимальная погрешность i -й компоненты систематической погрешности (предполагается прямоугольное распределение).

Основные погрешности и их величины при калибровке гамма-аппарата РОКУС-М в опорной точке приведены в табл. 4.

Суммарная погрешность измерения экспозиционной дозы в опорной точке гамма-аппарата РОКУС-М равна 0,8% на уровне доверительной вероятности $\pm 95\%$.

Таблица 4

Погрешности определения мощности экспозиционной дозы гамма-аппарата РОКУС-М

Источник погрешности	a_i/\bar{y} или $2s/\bar{y}$
Измерение заряда (тока)	0,3%
Поправка на плотность воздуха	0,2%
Поправка на насыщение	0,1%
Измерение расстояния источник – камера	0,2%
Долговременная стабильность	0,2%
Неоднородность поля	0,1%
Погрешность определения калибровочного коэффициента камеры NE-2571 (No 1848)	$U_{95} = \pm 0,5\%$
Погрешность переноса экспозиционной дозы	$U_{95} = \pm 0,54\%$
Суммарная погрешность калибровки гамма-аппарата РОКУС-М	$U_{95} = \pm 0,74\%$

5. Выводы

Измерена керма и определена мощность экспозиционной дозы в трех точках на оси пучка в поле 10×10 см гамма-терапевтического аппарата РОКУС-М. Прокалиброваны два клинических дозиметра KD-27012, используемые в дозиметрических измерениях на медицинских пучках. Вычислена экспозиционная доза по результатам измерения кермы при открывании и закрывании затвора радиационной головки аппарата, которая может достигать 5% от разовой дозы при

фракционированном облучении пациента. Учет этой дозы обязателен при оптимальном планировании лучевой терапии. Суммарная погрешность калибровки гамма-аппарата РОКУС-М составляет $U_{95} = \pm 0,74\%$, что вполне удовлетворяет требованиям гарантии качества лучевой терапии, а также позволяет использовать данный аппарат в качестве облучателя биологических объектов и эталонного источника гамма-излучения для калибровки дозиметрической аппаратуры.

Литература

1. Патнер Т.Г., Фадеева М.А. Техническое и дозиметрическое обеспечение дистанционной гамма-терапии. М.: Медицина, 1982.
2. IAEA Calibration Certificate No. CZE/01/99: IAEA Dosimetry Laboratory, Vienna, Austria, 1999.
3. ICRU Rep. No.31: Average Energy Required to Produce Ion Pair. ICRU Pub. Washington, 1979.
4. Novotný J., Kovář I.: Čs. standardisace, 5, 237, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 августа 2000 года.