

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТОЯНСТВА ВОДОЭКВИВАЛЕНТНОЙ ТОЛЩИНЫ СТОЛЕШНИЦ В ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

С.А. Владимиркин¹, В.А. Киселев^{1,2}, А.М. Демидова^{1,2}, Ю.Д. Удалов¹,
С.Е. Гриценко¹, А.А. Ораскина¹

¹ Федеральный научно-клинический центр медицинской радиологии
и онкологии ФМБА России, Москва

² Димитровградский инженерно-технологический институт – филиал
Национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”,
Димитровград

Стол, используемый для укладки и позиционирования пациентов в протонной терапии, может влиять на точность распределения дозы от лечебного пучка при лечении. Чтобы ограничить избыточное влияние на пробег протонов, необходимо знать определенную водозэквивалентную толщину (ВЭТ) столешницы и точно отражать ее в расчетах системы дозиметрического планирования (СДП). Представленный в данной статье метод базируется на разнице измеряемой глубины пробега протонного пучка, детектируемого многослойной ионизационной камерой и проходящего через столешницу и без нее. В исследовании использовался прикрепленный к нозлу модификатор пробега протонного пучка (range shifter, RS) известной ВЭТ для оценки столешниц до их ввода в клиническую эксплуатацию. Нозл представляет из себя систему доставки протонного пучка, состоящий из квадрупольных магнитов, ионизационных камер и рентгеновской трубки. Также были проведены КТ-исследования для оценки внутренней однородности тестируемых столешниц.

В рамках этого исследования оценивались несколько вставок деки kVue, Proton one (Qfix Systems, Avondale, PA). Результаты показывают, что вставки в значительной степени взаимозаменяемы для данного типа конструкции и использования RS во время лечения с углами гантри, при которых протонный пучок, проходя через столешницу, не влияет на ВЭТ столешниц, добавляя отклонение примерно 0,1 мм. Также было определено, что воспроизводимость метода определения ВЭТ имеет отклонение не более $\pm 0,03$ мм. Метод тестирования столешниц перед внедрением в клинический процесс протонной терапии, описанный в данной работе, также может быть применен и к другим системам иммобилизации пациента.

Ключевые слова: протонная терапия, столешница, водозэквивалентная толщина, переключатель диапазона, пик Брэгга

DOI: 10.52775/1810-200X-2022-96-4-12-20

Введение

Протонная терапия основана на использовании свойств пучка высокоэнергетических протонов при прохождении через вещество. Протоны распространяются в водозэквивалентной среде, постепенно теряя энергию, и в зависимости от начальной энергии останавливаются на определенной глубине. Это свойство протонного пучка используется в протонной терапии для точной локализации максимума дозы в опухоли. Чтобы обеспечить конформное облучение мишени и минимизацию воздействия на окружающие здоровые структуры, используют многопольное облучение с различных направлений, по некоторым из которых пучок может проходить через столешницы [1]. Многие аспекты процесса лечения влияют на точность доставки дозы, включая визуализацию, иммобилизацию, планирование лечения, однородность ВЭТ, гарантию качества (QA) протонного пучка и технику его доставки [2]. Требуется тщательное рассмотрение каждого из этих аспектов, чтобы план лечения точно отражал дозу, доставляемую пациенту во время лечения.

Пик Брэгга позволяет протонной терапии достичь конформного и однородного дозного распределения в мишени, при этом расположение дистального края считается наиболее важным фактором. Неточный расчет пробега протонов в процессе планирования может привести либо к недостаточной дозе в дистальной части опухолевой мишени, либо к доставке избыточной дозы к нормальным структурам за мишенью. Расчет дозы внутри мишени должен быть точным. Чтобы обеспечить правильный расчет пробега протонов, важно понимать, что любое устройство, расположенное перед пациентом (ближе к источнику протонов), включая столешницу, может изменить распределение дозы.

Устройства для укладки и иммобилизации являются необходимым элементом лечения при дистанционной лучевой терапии, поскольку они фиксируют пациента в стабильном и воспроизводимом положении для визуализации, планирования и лечения. В протонной терапии изменение пробега протонов с помощью этих устройств необходимо точно учитывать при планировании лечения на основе КТ. Кроме того, если во время проведения лечения используются углы поворота гантри, при которых пучок проходит через столешницу, любое раз-

личие в пробеге протонов, вызванное этим положением пучка, необходимо учитывать при его расчете или включать в неопределенность пробега протонов. Также важен угол падения пучка, проходящего через столешницу, так как если падение выполняется не по нормали, ВЭТ увеличивается.

Компьютерная томография является основой расчета дозы как при фотонной, так и при протонной терапии. При протонной терапии единицы Хаунсфилда (HU) преобразуются в относительную тормозную способность протонов (relative stopping power, RSP). Материалы, которые не лежат на калибровочной кривой КТ, преобразующей HU в RSP, будут создавать неточность, связанную с назначенным им RSP, если в план лечения не включено правильное значение RSP. Поэтому, прежде чем устройство может быть допущено до клинического использования, его ВЭТ необходимо оценить, чтобы убедиться, что оно не оказывает неблагоприятного влияния на точность измерения пробега протонов [3].

В этой статье описывается процедура проверки водозэквивалентности вводимых в эксплуатацию столешниц и их вставок kVue и BoS фирмы Qfix в Федеральном научно-клиническом центре медицинской радиологии и онкологии ФМБА России, г. Димитровград (ФНКЦРиО ФМБА России). Для достижения поставленной задачи используется метод сравнения измеренной глубины пробега протонов (R90), детектируемого многослойной ионизационной камерой и проходящего через столешницу и без прохождения через нее и, тем самым, получения ВЭТ стола. Под пробегом протонов (R90) здесь и далее понимается глубина в воде, соответствующая дистальной части кривой интегральной глубинной дозы (IDD) на уровне 90 % от максимального значения. Результаты, полученные в этой работе, могут быть репрезентативными для устройств определенной конструкции. Описанные в работе процедуры могут применяться к другим системам позиционирования и иммобилизации пациента в центрах протонной терапии. Благодаря данному методу тестирования столешниц на однородность их физических характеристик, а именно R90 и WET, увеличивается пропускная способность ускорителя, так как снимается ограничение в углах планируемых пучков, а также уменьшается требуемое количество полей [4].

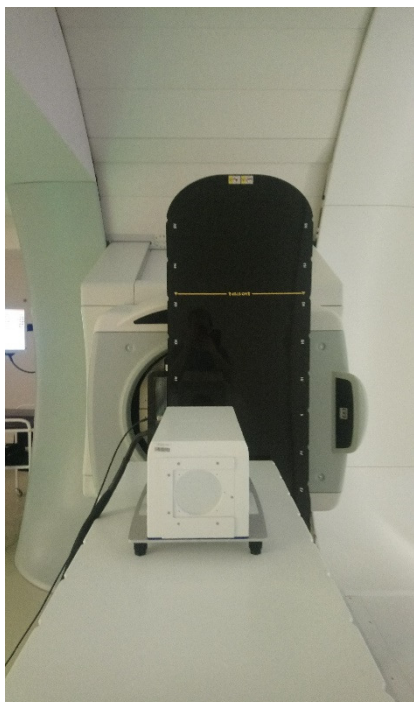


Рис. 1. Расположение оборудования с тестируемой столешницей

Материал и методы

Для измерений использовался позиционер пациента с шестью степенями свободы для размещения исследуемой столешницы между нозлом и многослойной ионизационной камерой высокого разрешения Giraffe фирмы IVA Dosimetry, расположенной в изоцентре.

Профиль дозы по глубине IDD на открытом поле и с использованием RS был измерен для протонов с энергией 100, 120, 160, 180 и 200 МэВ. Расположение оборудования с тестируемой столешницей показаны на рис. 1. Далее регистрировалось положение R90 для каждого случая.

Для оценки внутренней структуры каждой столешницы была проведена компьютерная томография с целью проверки на наличие очевидных неоднородностей, таких как пустоты или области с плотностью выше номинальной. Значения ВЭТ усреднялись по небольшой площади. Значения СТ воздуха были также учтены, поскольку они могли повлиять на расчетную ВЭТ [5, 6]. Каждое устройство было проверено на однородность по 12 точкам.

Исследуемые столешницы были разработаны компанией Qfix Systems, Avondale, PA, и являются частью системы иммобилизации kVue. Основой системы kVue является базовая

дека, изображенная на рис. 2, которая крепится к роботизированному позиционеру пациента. Эта дека содержит опорные направляющие из углеродного волокна, которые поддерживают вставку и могут быть перемещены из основного пути пучка, когда пациент находится на столе. Вставки, прикрепленные к базовой деке, используются как столешницы и крепятся к деке с помощью фиксирующего механизма, который приводит в действие два установочных штифта в каждой вставке.

Элементы системы kVue включают в себя: вставку BoS, используемую для лечения области голова/шея, а также стандартную вставку kVue standart insert [7, 8]. Вставки с

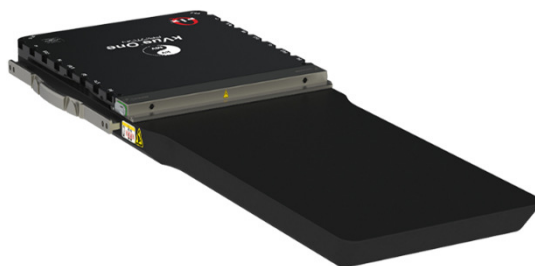


Рис. 2. Базовая дека kVue



Рис. 3. Изображение а) стандартной вставки и б) вставки BoS с размеченными сегментами для проведения исследования ВЭТ

размеченными сегментами для проведения исследования изображены на рис. 3. Все устройства были оценены с точки зрения дальнейшего клинического применения.

Во всех вставках используется конструкция из пеноматериала, покрытая оболочкой из углеродного волокна для сохранения прочности и минимизации неоднородности. Вставка BoS также имеет контурный подголовник, который не содержит вспененного сердечника, а полностью состоит из углеродного волокна. Эта опора головы имеет упрощенную конструкцию, чтобы свести к минимуму краевые эффекты.

Результаты и обсуждение

В данной работе оценивались физические характеристики базовой деки, стандартной вставки kVue, а также вставки BoS. При исследовании ВЭТ стандартная вставка была разделена на 4 сегмента (down, mid, up, top), основываясь на разнице толщины каждой из частей. В каждом сегменте было выбрано 3 точки для большего охвата исследуемой области. Также проводилось тестирование как с использованием RS, так и без него. Результаты, полученные при исследовании сегментов *top* и *down* стандартной вставки, были записаны в отдельные таблицы, так как эти сегменты имеют отличную от остальных толщину.

При оценке физических характеристик вставок BoS было также произведено разделение на область, используемую для лечения головы/шеи (head), и область в районе предполагаемого расположения плечевого сустава пациента (neck).

Далее были получены референсные значения в открытом поле без RS для исследования ВЭТ. Результаты проведенных измерений указаны в табл. 1.

В табл. 2 приведены результаты измерений R90 для стандартной вставки kVue в открытом поле.

Проанализировав значения, полученные при измерении R90 для стандартной вставки kVue, сделали вывод, что R90 в сегменте *down* имеет отклонение от общего значения других областей исследования, равное ± 1 мм. Тем не менее, общее значение в этом сегменте доста-

Таблица 1

Референсные данные в открытом поле, см

Энергия, МэВ	R90
100	7,72
120	10,7
160	17,65
180	21,62
200	25,94

Таблица 2

Результаты измерений R90 для стандартной вставки kVue (сегменты *up*, *mid*) в открытом поле, см

Энергия, МэВ	<i>up</i>			<i>mid</i>			Среднее значение, см
	Left	Mid	Right	Left	Mid	Right	
100	6,43	6,42	6,43	6,43	6,43	6,43	6,43
120	9,4	9,39	9,4	9,4	9,4	9,41	9,40
160	16,38	16,37	16,37	16,38	16,38	16,38	16,38
180	20,35	20,34	20,35	20,35	20,35	20,35	20,35
200	24,67	24,66	24,65	24,67	24,67	24,67	24,67

Таблица 3
ВЭТ стандартной вставки (сегменты *up*, *mid*) в открытом поле

Энергия, МэВ	ВЭТ, см	Отклонение, см
100	1,29	1,28 ±0,03
120	1,3	
160	1,27	
180	1,27	
200	1,27	

точно однородное для допуска к клинической эксплуатации с допущением, что этот факт будет учитываться при дозиметрическом планировании.

Для получения ВЭТ стандартной вставки из референсных данных, полученных на открытом поле без RS, вычитались данные R90 стандартной вставки, затем усреднялись на всех энергиях протонного пучка. В табл. 3 внесены данные ВЭТ стандартной вставки (сегменты *up*, *mid*). Отклонение составило

±0,015 см, что указывает на однородность материала исследуемой вставки.

Аналогичным методом отдельно была проведена проверка R90 на открытом поле сегмента *top* стандартной вставки. Разница толщины с остальными сегментами равна 1 см. Данные по R90 сегмента *top* указаны в табл. 4.

Из полученных значений R90 была рассчитана ВЭТ сегмента *top* стандартной вставки (табл. 5). Отклонение составило ±0,001 см. Это показывает, что сегмент *top* стандартной вставки имеет большую однородность, чем сегменты *up* и *mid* той же вставки.

Данные по R90 на открытом поле сегмента *down* указаны в табл. 6. Разница толщины с сегментами *up* и *mid* составила 1 мм.

Полученные значения ВЭТ сегмента *down* стандартной вставки записаны в табл. 7. Отклонение равно ±0,001 см, из чего следует, что сегменты *top* и *down* имеют одинаковое отклонение среднего значения ВЭТ.

Таблица 4
Результаты измерений R90 для стандартной вставки kVue (сегмент *top*) на открытом поле, см

Энергия, МэВ	<i>top</i>			Среднее значение, см
	Left	Mid	Right	
100	7,17	7,14	7,15	7,15
120	10,14	10,12	10,12	10,13
160	17,11	17,08	17,09	17,09
180	21,07	21,05	21,05	21,06
200	25,39	25,37	25,37	25,38

Таблица 5
Полученные данные ВЭТ стандартной вставки (сегмент *top*) на открытом поле, см

Энергия, МэВ	ВЭТ, см	Отклонение, см
100	0,57	0,564 ±0,001
120	0,57	
160	0,56	
180	0,56	
200	0,56	

Таблица 7
Полученные данные ВЭТ стандартной вставки (сегмент *down*) на открытом поле, см

Энергия, МэВ	ВЭТ, см	Отклонение, см
100	1,38	1,376 ±0,001
120	1,39	
160	1,37	
180	1,37	
200	1,37	

Таблица 6
Результаты измерений R90 для стандартной вставки kVue (сегмент *down*) на открытом поле, см

Энергия, МэВ	<i>down</i>			Среднее значение, см
	Left	Mid	Right	
100	6,34	6,34	6,34	6,34
120	9,31	9,31	9,31	9,31
160	16,28	16,28	16,28	16,28
180	20,25	20,25	20,25	20,25
200	24,57	24,57	24,57	24,57

Таблица 8

Референсные данные, полученные с использованием RS, см

Энергия, МэВ	R90
120	3,25
160	10,26
180	14,23
200	18,58

Таблица 10

Полученные данные ВЭТ стандартной вставки (сегменты *up*, *mid*) с использованием RS, см

Энергия, МэВ	ВЭТ, см	Отклонение, см
120	1,27	1,267 ± 0,002
160	1,28	
180	1,26	
200	1,26	

Таблица 9

Результаты измерений R90 для стандартной вставки kVue (сегменты *up*, *mid*) с использованием RS, см

Энергия, МэВ	<i>up</i>			<i>mid</i>			Среднее значение, см
	Left	Mid	Right	Left	Mid	Right	
120	1,98	1,96	1,97	2	1,98	1,97	1,98
160	8,98	8,97	8,97	9	8,98	8,97	8,98
180	12,97	12,95	12,96	12,99	12,97	12,96	12,97
200	17,32	17,3	17,31	17,34	17,32	17,31	17,32

Далее были проведены измерения ВЭТ стандартной столешницы с использованием RS протонного пучка аналогичным методом. Измерения на энергии 100 МэВ были исключены, так как из-за RS пик Брэгга оказался вне области исследования. Полученные референсные данные по остальным энергиям указаны в табл. 8.

Последующие исследования проводились с использованием RS для сравнения с полученными данными по R90 и ВЭТ без использования RS. В табл. 9 приведены результаты измерений R90 для стандартной вставки kVue с использованием RS.

Для получения ВЭТ стандартной вставки из референсных данных, полученных на открытом поле с использованием RS, вычитались данные R90 стандартной вставки, затем усреднялись на всех энергиях протонного пучка. В табл. 10 отражены данные ВЭТ стандартной вставки (сегменты *up*, *mid*). Полученное отклонение ±0,001 см показывает, что исполь-

зование RS во время лечения при углах гантри, направленных через сегменты *up* и *mid* не влияет на ВЭТ вставки.

Аналогичным методом отдельно была проведена проверка ВЭТ сегмента *top* стандартной вставки с использованием RS. Разница толщины с остальными сегментами также составила 1 см, что необходимо учесть при дозиметрическом планировании. Данные измерений R90 для сегмента *top* стандартной вставки kVue указаны в табл. 11. Отклонение составило ±0,001 см.

Данные измерений ВЭТ для сегмента *top* стандартной вставки kVue с использованием RS указаны в табл. 12. Выявленное отклонение ±0,001 см показывает, что использование RS при направлении пучка через сегмент *top* стандартной вставки также не влияет на ВЭТ вставки.

Аналогично были получены данные по R90 с использованием RS протонного пучка сегмента *down* (табл. 13).

Таблица 11

Результаты измерений R90 для стандартной вставки kVue (сегмент *top*) с использованием RS, см

Энергия, МэВ	<i>top</i>			Среднее значение, см
	Left	Mid	Right	
120	2,69	2,67	2,68	2,68
160	9,69	9,67	9,69	9,68
180	13,68	13,66	13,67	13,67
200	18,02	18,01	18,02	18,02

Таблица 12
Полученные данные ВЭТ стандартной вставки (сегмент *top*) с использованием RS, см

Энергия, МэВ	ВЭТ, см	Отклонение, см
120	0,57	0,567 ±0,001
160	0,58	
180	0,56	
200	0,56	

Таблица 14
Полученные данные ВЭТ стандартной вставки (сегмент *down*) с использованием RS, см

Энергия, МэВ	ВЭТ, см	Отклонение, см
120	1,37	1,370±0,001
160	1,38	
180	1,36	
200	1,37	

Таблица 13
Результаты измерений R90 для стандартной вставки kVue (сегмент *down*) с использованием RS, см

Энергия, МэВ	<i>down</i>			Среднее значение, см
	Left	Mid	Right	
120	1,88	1,87	1,88	1,88
160	8,88	8,88	8,88	8,88
180	12,87	12,86	12,87	12,87
200	17,21	17,21	17,22	17,21

Из данных по R90 с использованием RS сегмента *down* была вычислена ВЭТ. Полученные значения показаны в табл. 14. Отклонение также составило ±0,001 см, что отражает однородность как исследуемой области вставок kVue, так и однородность используемого в лечении RS.

Далее были проведены проверки ВЭТ вставки BoS на открытом поле и с использованием RS на тех же энергиях протонного пучка.

В табл. 15 приведены результаты измерений R90 для вставки BoS на открытом поле. Разница в толщине между сегментами *head* и *neck* составила ±1 см, что следует учитывать при дозиметрическом планировании.

Для получения ВЭТ вставки BoS использовался тот же метод, что и для стандартной вставки kVue. Отклонение составило ±0,015 см для области *neck* и 0,005 см для области *head*,

что является допустимым значением для допуска вставки BoS в клиническую эксплуатацию (табл. 16).

При получении данных для тестирования вставки BoS с RS протонного пучка из исследования, как и в случае со стандартной вставкой, была исключена энергия 100 МэВ, так как пик Брэгга находился вне области измерения.

Результаты измерений R90 для вставки BoS с использованием RS указаны в табл. 17.

Для получения ВЭТ вставки BoS использовался аналогичный метод, что и для стандартной вставки kVue. Отклонение составило ±0,001 см для области *neck* и ±0,005 см для области *head* (табл. 18). Полученные отклонения показывают, что использование RS при протонном пучке, направленном через поверхность вставки BoS также не влияет на ее ВЭТ.

Таблица 15
Результаты измерений R90 для вставки BoS на открытом поле, см

Энергия, МэВ	<i>neck</i>	<i>head</i>
100	6,5	7,44
120	9,47	10,42
160	16,45	17,38
180	20,42	21,35
200	24,74	25,67

Таблица 16
Полученные данные ВЭТ вставки BoS (сегменты *head*, *neck*) на открытом поле, см

Энергия, МэВ	Сегменты	
	<i>neck</i>	<i>head</i>
100	1,22	0,28
120	1,23	0,28
160	1,20	0,27
180	1,20	0,27
200	1,20	0,27
Среднее значение отклонения	0,015	0,005

Таблица 17
Результаты измерений R90 для вставки BoS
с использованием RS, см

Энергия, МэВ	Сегменты	
	<i>neck</i>	<i>head</i>
120	2,04	2,98
160	9,04	9,98
180	13,03	13,96
200	17,38	18,31

Таблица 18
Полученные данные ВЭТ стандартной
вставки (сегменты *head*, *neck*)
с использованием RS, см

Энергия, МэВ	Сегменты	
	<i>neck</i>	<i>head</i>
120	1,21	0,27
160	1,22	0,28
180	1,20	0,27
200	1,20	0,27
Среднее значение отклонения	0,02	0,01

В данной работе оценивались физические характеристики: базовой деки, стандартной вставки kVue, а также вставки BoS с использованием RS и на открытом поле для исследования однородности ВЭТ во всех областях исследования, а также для проверки возможности использования RS при углах гантри, направленных через поверхность вставок. Все результаты проведенных исследований показывают, что вставки kVue предоставляют возможность использовать при дозиметрическом планировании пучки, проходящие через столешницу, тем самым уменьшая пробег протонов через здоровые ткани.

Заключение

Метод оценки, изложенный в данной работе, обеспечивает быстрый и эффективный способ определения ВЭТ столешниц и их элементов перед клиническим применением в протонной терапии. Метод оказался воспроизводимым при многократных измерениях одной и той же точки в пределах $\pm 0,001$ см. Мы считаем, что перед внедрением любого оборудования, такого как столешница или иммобилизирующего устройства в клиническую эксплуатацию (включая сменные устройства) следует оценивать ВЭТ с использованием методологии, описанной в данной работе, чтобы гарантиро-

вать, что влияние, которое они оказывают на пробег протонов, а также любые неоднородности, не внесенные в КТ-кривую при валидации планирующей системы, были учтены.

Устройства kVue, протестированные в этой работе, имели достаточно однородную ВЭТ с максимальным отклонением $\pm 0,15$ мм, что является основанием допустить их до клинической эксплуатации. Конструкция сердцевины из пеноматериала не имела областей с разницей в плотности, которые не были бы видны ни при компьютерной томографии, ни при измерении.

Также при анализе данных, полученных при исследовании R90 элементов kVue с использованием RS и без него, было выявлено, что применение RS не влияет на ВЭТ столешниц, добавляя отклонение менее $\pm 0,05$ мм, что не влияет на клинический результат.

В работе описывается практический метод проверки ВЭТ устройств для укладки и позиционирования пациента до клинического использования в протонной терапии путем как измерения R90, так и проверки ВЭТ. Такая проверка необходима для того, чтобы гарантировать, что столешницы, используемые в процедурных кабинетах, имеют одинаковую ВЭТ во всех областях облучения. Эта работа была сосредоточена на методе тестирования вставок Qfix kVue в ФНКЦРиО ФМБА России до их клинического использования, но этот метод также применим к другим устройствам позиционирования и иммобилизации. Представленные результаты можно рассматривать в качестве следующей рекомендации: валидация ВЭТ устройства позиционирования пациента должна быть завершена до ее клинического применения, чтобы гарантировать, что параметры точно охарактеризованы в СДП протонного комплекса, поскольку изменения в клиническом процессе, калибровке КТ и алгоритме СДП могут повлиять на планирование лечения.

Список литературы

1. Slater JM. Selecting the optimum particle for radiation therapy. *Technology in Cancer Research & Treatment*. 2016; 6(4): 35-9.
2. Киселев ВА, Демидова АМ, Маслюкова ЕА, Фомина ЕС. Оптимизация программы ежедневной гарантии качества системы протонной терапии. *Медицинская физика*. 2021; (1(89)): 22-23. [Kiselev VA, Demidova

- AM, Maslyukova EA, Fomina ES. Optimization of the daily quality assurance program of the proton therapy system. *Medical Physics*. 2021; 1(89): 22-3 [In Russian]].
3. Кузнецова ЕВ, Матич А, Колесников АН и др. Определение непреднамеренной ошибки в значении энергии протонного пучка для лучевой терапии. Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. 2021; 10(3): 217-29. DOI 10.1134/S2304487X2103007X. – EDN VVOTXV.
 4. Удалов ЮД, Крючко ДС, Слобина ЕЛ и др. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620627 РФ. База данных пациентов, получавших протонную терапию по поводу онкологических заболеваний в системе ФМБА России : № 2021620501 : заявл. 26.03.2021. : опубл. 02.04.2021; заявитель Федеральный научно-клинический центр медицинской радиологии и онкологии ФМБА РФ. EDN KGBDVF.
 5. Wroe AJ, Ghebremedhin A, Gordon IR, Schulte RW, Slater JD. Water Equivalent Thickness Analysis of Immobilization Devices for Clinical Implementation in Proton Therapy. *Technol Cancer Res Treat*. 2018 Oct; 13(5): 415-20. DOI: 10.7785/tertxpress.2013.600260.
 6. Lesyna D. Facility overview for a proton beam treatment center. *Technology in Cancer Research & Treatment*. 2019; 6: 41-8.
 7. Schulte RW, Fargo RA, Meinass HJ, Slater JD, Slater JM. Analysis of head motion prior to and during proton beam therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2000; 47: 1105-10.
 8. Jemal A, Siegel R., Murray WE, Xu J, Thun MJ. *Cancer Statistics 2017*. *CA Cancer J Clin*. 2017; 57: 43-66.

VERIFICATION OF UNIFORMITY OF DOSIMETRIC CHARACTERISTICS OF COUCH TOPS FOR CLINICAL USE IN PROTON RADIATION THERAPY

S.A. Vladimirkir¹, V.A. Kiselev^{1,2}, A.M. Demidova^{1,2}, Yu.D. Udalov¹, S.E. Gritsenko¹, A.A. Oraskina¹

¹ Federal Scientific Clinical Center of Medical Radiology and Oncology, Moscow, Russia

² Dimitrovgrad Institute of Engineering and Technology - branch of National Research Nuclear University "MEPhI", Dimitrovgrad, Russia

In proton therapy the couches used for patient positioning and alignment can affect the uncertainty in the dose distribution from the applied proton beam. In order to limit the additional uncertainty of the proton range, it is necessary to know the determined water equivalent thickness (WET) of the couch top and carefully reflect it in the calculations of the dosimetry planning system. The method presented in this article is based on the difference in the measured depth of the proton beam detected by the multi-layer ionization chamber with the beam passing through the couch top and without passing through it. A range shifter (proton beam modifier) installed in the nozzle with the known WET for evaluating couch tops before commissioning was used in this research work. A nozzle is a proton beam delivery system consisting of quadrupole magnets, ionization chambers and an X-ray tube. CT scans were also acquired to evaluate the internal homogeneity of the test couch tops.

Several kVue couch inserts Proton one (Qfix Systems, Avondale, PA) were evaluated in this study. The results show that the inserts are largely interchangeable for this type of design and the use of the range shifter during treatment, using gantry angles with the proton beam passing through the couch top, does not affect its WET, adding a deflection of approximately 0.1 mm. It was also determined that the reproducibility of the WET determination method has a deviation less than ± 0.03 mm. In conclusion, the described above method of couch top testing before commissioning in proton therapy can also be applied to other patient immobilization systems.

Key words: *proton therapy, couch top, water equivalent thickness, range shifter, Bragg peak*

E-mail: sergey.vladimirkir@mail.ru