

Туяа эмчилгээний шугаман хурдасгуурын гүнд шингэсэн тунгийн харьцааг RHITS кодоор тооцоолсон үр дүн

Ц.Ганзул^a, Ш.Мөнхбат^c, Ү.Ундрах^{b,c,1}, Д.Болортуяа^a, М.Одсүрэн^b

^aМонгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн Физикийн судалгааны төв

^bМонгол Улсын Их Сургууль, Инженер Технологийн сургууль

^cХавдар Судлалын Үндэсний Төв, Туяа эмчилгээний тасаг

Туяа эмчилгээний хувьд тунгийн тархалтыг үнэлэхэд гүнд шингэсэн тунгийн харьцаа (PDD) нь эмчилгээний төлөвлөлт, чанарын баталгаажуулалтын гол үзүүлэлт болдог. Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд Varian TrueBeam шугаман хурдасгуурын 6 MB (МегаВольт) хүчдэлд харгалзах энергитэй фотоны хувьд гүнд шингэсэн тунгийн харьцааг RHITS кодоор тооцоолж гарган авсан үр дүнг хэмжилтийн утгатай харьцуулав. Судалгааны үр дүнд RHITS тооцооллын үр дүнг хэмжилтийн утгатай харьцуулахад 150-200 мм гүнд $\pm 2\%$ зөрүүтэй байсан нь AAPM TG-40 удирдамжид зөвлөсөн зөвшөөрөгдөх хязгаарт багтаж байна.

Түлхүүр үгс: шугаман хурдасгуур, RHITS код, PDD

Мэргэжлийн индекс (PACS number): 87.56J, 87.53.Bn, 87.55.x

I. ОРШИЛ

Сүүлийн жилүүдэд Монгол Улсад анагаах ухаанд ашиглагдаж буй цөмийн цацраг бүхий тоног төхөөрөмжийн тунгийн тархалт, аюулгүй байдлыг үнэлэх зэрэг судалгаа хийгдэж байна [1,2]. Хорт хавдрын эмчилгээнд туяа эмчилгээ онцгой ач холбогдолтой бөгөөд түүний дотроос шугаман хурдасгуурт суурилсан зайн туяа эмчилгээ нь хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг. Энэ төрлийн эмчилгээ нь өндөр энергитэй фотон, электрон цацрагийн тусламжтайгаар хавдрын эсэд хамгийн их тун, ойролцоох эрүүл эд эрхтэнд хамгийн бага тун өгөх зорилготойгоор нарийн физик төлөвлөлт хийгддэг [3].

Иймд шугаман хурдасгуурын чанарын хяналт, тунгийн тархалтыг нарийвчлан баталгаажуулах шаардлагатай бөгөөд энэ хүрээнд хүний биетэй хамгийн ойролцоо орчин болох усан фантом ашиглан гүнд шингэсэн тунгийн харьцаа (Percentage Depth Dose-PDD) хэмжилтийг хийдэг. PDD нь усан фантомд цацрагийн тунг гүнээс хамааран хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг илэрхийлдэг бөгөөд чанарын хяналт,

эмчилгээний үнэн зөв байдалд чухал ач холбогдолтой.

Америкийн Эмнэлгийн Физикийн Нийгэмлэг (AAPM)-ийн туяа эмчилгээний тоног төхөөрөмжийн чанарын хяналт, гүйцэтгэлийн зөвшөөрөгдөх хязгаарыг тодорхойлсон TG-40 удирдамж нь олон улсын хэмжээнд хүлээн зөвшөөрөгдсөн стандарт бөгөөд PDD утгыг үнэлэх чухал шалгуур болж байна.

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд Хавдар Судлалын Үндэсний Төвийн туяа эмчилгээний тасагт ашиглагдаж буй Varian TrueBeam шугаман хурдасгуурын 6 MB (МегаВольт) хүчдэлд харгалзах энергитэй фотоны хувьд PDD-г тооцоолсон. Судалгаанд цацрагийн үүсгүүрээр IAEA-н PHSP файлыг ашиглаж, хэмжилтийн нөхцөлийн дагуу RHITS кодоор PDD тооцооллыг хийж гүйцэтгэсэн. Тооцооллын үр дүнг хэмжилт, стандарт онолын утгуудтай харьцуулан AAPM TG-40 удирдамжид зөвлөсөн зөрүүний зөвшөөрөгдөх хязгаарын дагуу үнэлэв.

¹ undrakh.unenbat@gmail.com

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

2.1 Гүнд шингэсэн тунгийн харьцаа-PDD

Чанарын хяналт, баталгаажуулалт, физик төлөвлөлт, тунгийн тархалтыг үнэлэхэд голлон ашигладаг үзүүлэлтийн нэг нь гүнд шингэсэн тунгийн харьцаа (PDD) юм. Энэ нь цацраг усан фантомын төв тэнхлэгийн дагуу тодорхой гүнд шингэсэн тунг хамгийн их шингэсэн тунтай харьцуулж, хувиар илэрхийлсэн үзүүлэлт юм. PDD-г дараах байдлаар тодорхойлно [4]:

$$PDD = \frac{D_d}{D_{d_{max}}} 100 \quad (1)$$

Энд: D_d - d гүнд шингэсэн тун, $D_{d_{max}}$ хамгийн их шингэсэн тун.

PDD-г практикт усан фантом ашиглан үүсгүүрээс фантомын гадаргуу хүртэл (SSD) 100 см зайд, 40×40 см² хүртэлх талбайд, төв тэнхлэгийн дагуу 0-300 мм хүртэлх гүнд хэмжилтийг хийдэг [5].

Хэмжилтийн үр дүнг стандарт онолын утгатай эсвэл компьютер тооцооллын үр дүнтэй харьцуулж зөрүүг тодорхойлдог бол AAPM TG-40 тайланд PDD утгын зөвшөөрөгдөх зөрүүг $\pm 2\%$ гэж үздэг [6].

2.2 Хэмжилтийн арга зүй

Туяа эмчилгээний Varian TrueBeam шугаман хурдасгуур нь 6, 10, 15 MB хүчдэлээр электроныг хурдасгаж атомын дугаар өндөртэй бай дээр тусч фотон цацрагийг үүсгэдэг [7]. Энэ ажлаар 6 MB хүчдэлд харгалзах фотоны хувьд усан фантом ашиглан SSD-100 см, 10×10 см² хэмжээтэй талбайд 0-200 мм гүнд PTW Semiflex TM31010 иончлолын камераар хэмжилтийг хийж гүйцэтгэсэн. (Зураг 1)



Зураг 1. PDD хэмжилтийн нөхцөл

2.3 PHITS тооцоолол

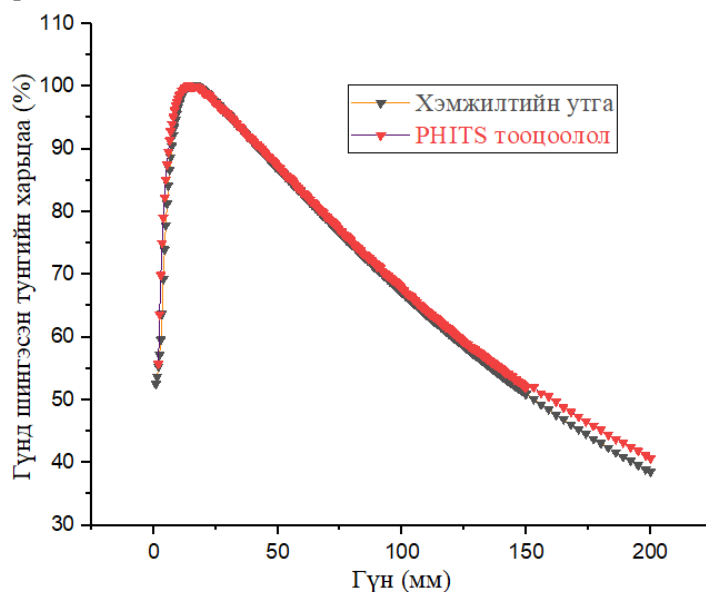
PHITS кодоор шингэсэн тунг тооцоолохдоо бид шугаман хурдасгуурын толгой хэсгийн цацрагийг хэлбэржүүлж буй бүрэлдэхүүнийг судалгааны хүрээнд авч үзсэн. Ингэхдээ цацрагийн үүсгүүрээр шугаман хурдасгуурын хувьд электрон, фотоны дэлгэрэнгүй мэдээллийг агуулсан ОУАЭА-ын өгөгдлийн сан болох phase-space (PHSP) файлыг PHITS кодын хувьд хувирган ашигласан. PHSP нь цацрагийн чиглэл, кинетик энерги, төрөл зэргийг агуулсан байх бөгөөд Монте Карло тооцооллын хувьд шугаман хурдасгуурын бүтцийг бүрэн загварчилсантай адил цацрагийн үүсгүүрийн найдвартай эх сурвалж болдог [8]. Учир нь PHSP файлыг төрөл бүрийн судалгаа, тооцоололд ашиглах зориулалтаар өндөр нарийвчлалтайгаар тооцоолж, баталгаажуулсан байдаг. Цацрагийг хэлбэржүүлэх буюу анхдагч болон хоёрдогч коллиматор, FF² бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг Зураг 2-ын дагуу тооцоонд ашиглав.

² Flattening Filter (FF) - Шугаман хурдасгуурын толгой хэсэгт байрлах бөгөөд цацрагийн тархалтыг жигд болгох үүрэгтэй.



Зураг 2. Шугаман хурдасгуурын цацрагийг хэлбэржүүлж буй бүрэлдэхүүн хэсгүүд

Тооцоололд хэмжилтийн арга зүйн дагуу $SSD = 100$ см, 10×10 см² хэмжээтэй талбайд, усан фантомын 0–200 мм гүнд T-Deposit гаралтаар шингэсэн тунг тодорхойлсон. PHITS код нь



Зураг 3. Хэмжилт болон PHITS тооцооллын үр дүн

Хүснэгт 1. Хэмжилт болон PHITS тооцооллын утгуудыг стандарт онолын утгатай харьцуулсан үр дүн

	Стандарт онолын утга [9]	Хэмжилтийн утга	PHITS тооцоолол	Зөрүү
Z_{max}	15 мм	14.5-15 мм	14-15.5 мм	
PDD (50 мм)	86	86.9	87.2	0.3%
PDD (100 мм)	67	67.1	67.6	0.7%
PDD (150 мм)		51.0	51.9	1.9%

Монте Карло аргад үндэслэн бөөмийн харилцан үйлчлэлийг тооцдог. Энэ судалгаанд нэг давталтад 10000 бөөм, нийт 15000 давталтаар T-Deposit шингэсэн тунг тооцов. Шингэсэн тунг Тэгшитгэл 1-ийн дагуу хувиар илэрхийлж PDD-г гаргасан.

III. ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Гүнд шингэсэн тунгийн харьцааг PHITS кодоор тооцоолон, хэмжилтийн үр дүн мөн стандарт онолын утгатай харьцуулан Зураг 3, Хүснэгт 1-т тус тус үзүүлэв.

Гүн болон гүнд шингэсэн тунгийн харьцааны хамаарлаас (Зураг 3) харахад 0–150 мм хооронд хоёр үр дүнгийн зөрүү маш бага байна. Харин гүний хэмжээ ихсэж фотон гүн рүү нэвтрэх тусам шингэсэн тун буурч байгааг ажиглаж болно.

Хүснэгт 1-ээс үзэхэд хамгийн их тун шингэх гүн болох Z_{max} нь PHITS тооцооллын хувьд 14–15.5 мм-ийн хооронд байгаа нь хэмжилт, стандарт онолын утгатай (15 мм) нийцэж байна. Мөн PDD-ийн утгуудыг харьцуулан үзэхэд, 150 мм-с гүнд PHITS тооцооллын үр дүн хэмжилтийн утгаас 1.9% зөрүүтэй байв.

IV. ДҮГНЭЛТ

1. Энэхүү судалгааны ажлаар Монте Карло аргад суурилсан PHITS кодыг ашиглан Varian TrueBeam шугаман хурдасгуурын 6 MB (МегаВольт) хүчдэлд харгалзах фотоны гүнд шингэсэн тунгийн харьцаа (PDD)-г тооцоолов.
2. PHITS тооцооллын үр дүнг хэмжилт болон стандарт онолын утгатай харьцуулахад 50, 100, 150 мм гүний хувьд хамгийн ихдээ 1.9%-ийн зөрүүтэй байсан нь AAPM TG-40 удирдамжид заасан $\pm 2\%$ -ийн зөвшөөрөгдөх хязгаарт багтаж байв.
3. Иймд энэхүү судалгаагаар PHITS кодыг PDD тооцоололд ашиглахад нарийвчлал сайтай байгааг харуулав. Цаашид шугаман хурдасгуурт суурилсан тунгийн тооцоолол, эмчилгээний төлөвлөлт, цацрагийн хамгаалалтын судалгаа зэрэгт уг кодыг өргөнөөр ашиглах боломжтой гэж үзэж байна.

V. НОМ ЗҮЙ

- [1] Ц.Ганзул Д.Болортуяа М.Одсүрэн, PET/CT оношилгооны үеийн цацрагийн хамгаалалт, тунгийн тооцоолол, Физик Сэтгүүл **36**, 40 (2024).
- [2] Ц.Ганзул М.Одсүрэн Д.Болортуяа, Эмнэлгийн рентген төхөөрөмжийн

цацрагийн хамгаалалтын тооцоолол, Физик Сэтгүүл **35**, 49 (2024).

- [3] S. Corradini et al., MR-guidance in clinical reality: current treatment challenges and future perspectives, Radiation Oncology **14**, 92 (2019).
- [4] B. Bilalodin and F. Abdullatif, Modeling and Analysis of Percentage Depth Dose (PDD) and Dose Profile of X-Ray Beam Produced by Linac Device with Voltage Variation, Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika **8**, 206 (2022).
- [5] M. Hossain and J. Rhoades, On beam quality and flatness of radiotherapy megavoltage photon beams, Australas Phys Eng Sci Med **39**, 135 (2016).
- [6] G. J. Kutcher et al., Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40, Med Phys **21**, 581 (1994).
- [7] P. M. J.-C. R. Alan E. Nahum, Handbook of Radiotherapy Physics: Theory and Practice (Taylor & Francis, 2007).
- [8] A. Rucci, C. Carletti, W. Cravero, and B. Strbac, Use of IAEA's phase-space files for the implementation of a clinical accelerator virtual source model, Physica Medica **30**, 242 (2014).
- [9] E.B. Podgorsak, Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students (IAEA, 2005).

Simulation of Percentage Depth Dose in a Medical Linear Accelerator Using PHITS Code

Ts.Ganzul^a, Sh.Munkhbat^c, U.Undrakh^{b,c}, D.Bolortuya^a, M.Odsuren^b

^aNuclear Research Center, National University of Mongolia

^bSchool of Engineering and Technology, National University of Mongolia

^cRadiation Oncology Department, National Cancer Center

In radiation therapy, the percentage depth dose (PDD) is a key parameter for evaluating dose distribution and essential role in treatment planning and quality assurance. In this study, the PDD for 6 MV photon generated by a Varian TrueBeam linear accelerator was calculated using the PHITS code. The calculated results were then compared with the measured value. The comparison showed that the PHITS-calculated PDD values differed by $\pm 2\%$ at depths of 150–200 mm, which is within the acceptable tolerance limits recommended by the AAPM TG-40 report.

Key words: medical linear accelerator, PHITS code, percentage depth dose