ارزیابی امکان درمان سرطان کبد به روش BNCT در راکتور تحقیقاتی تهران

بهزاد امین افشار[۱]، یاسر کاسه ساز[۲]، علی اصغر مولوی[۱]

[۱] گروه فیزیک دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار

[۲] پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای ایران، سازمان انرژی اتمی، انتهای خیابان کارگر شمالی، تهران

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی امکان درمان تومور کبد در راکتور تحقیقاتی تهران به روش BNCT است. به این منظور با در نظر گرفتن باریکه نوترونی طراحی شده و فانتوم استاندارد MIRD، پارامترهای ارزیابی درمان که بر اساس محاسبات دزیمتری تعریف می‌شوند، به کمک کد MCNPX محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. محاسبات به ازای عمق‌های مختلف تومور در کبد انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که مدت زمان لازم برای درمان تومورهای عمقی کبد حدود ۶۰ دقیقه است که در این مدت مقدار قابل توجهی دز توسط تومور جذب می‌گردد که منجر به نابودی آن می‌گردد.

Investigation on the BNCT for liver cancer at Tehran Research Reactor

Aminafshar, Behzad[1] ;Kasesaz, Yaser[2] ; Mowlavi, Ali asghar[1]

[1] Department of Physics, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
[2] Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran

Abstract

In the present work, the feasibility of using TRR BNCT beam line for treatment of liver cancer has been performed. To do this, the whole body MIRD phantom has been used including a typical tumor in different depth in the liver and the dose parameters have been calculated by using MCNPX Monte Carlo code. The results show that the required time to treat a typical deep seated tumor is between 25-50 min which is an acceptable treatment time.

PACS No. 89

مقدمه

یکی از کاربردهای روش نوترون درمانی با گیراندازی بور BNCT[1] در درمان سرطان کبد است [۳-۱]. در این روش بعد از تزریق داروی حامل بور-۱۰ و تجمع آن در تومور، ناحیه تومور با باریکه مناسبی از نوترون ها پرتودهی می گردد. جذب نوترون توسط هسته های بور-۱۰ منجر به تولید ذرات لیتیوم و آلفا می شوند که این ذرات سنگین و پر انرژی، با تخلیه انرژی خود در ناحیه سلول سرطانی باعث نابودی آن سلول می شوند [۳]. یکی از مهم ترین مولفه های این روش، ایجاد باریکه نوترونی مناسب می باشد. راکتور تحقیقاتی تهران، تنها چشمه نوترونی فعال در کشور است که می تواند در این راستا مورد استفاده قرار گیرد و طی شش سال اخیر تحقیقات گسترده ای جهت ایجاد باریکه نوترونی در آن صورت گرفته است و همچنان ادامه دارد [٤]. در یک تحقیق صورت گرفته، باریکه مناسبی جهت درمان تومورهای مغزی در راکتور تحقیقاتی تهران طراحی شده است [٥]. هدف اصلی در پژوهش حاضر، بررسی امکان استفاده از این باریکه نوترونی، برای درمان تومور کبد است. به این منظور با استفاده از فانتوم تمام بدن MIRD [٦] و در نظر گرفتن تومور درون کبد، محاسبات دزیمتری مورد نیاز توسط کد مونت کارلو MCNPX [٧] انجام و مورد ارزیابی قرار گرفته است. دقت گردید تا در تمام موارد خطای محاسبات کمتر از ٥ درصد باشد.

مواد و روش ها

باریکه نوترون: باریکه نوترونی مورد استفاده در این کار بر اساس مرجع [٨] در نظر گرفته شد که در آن یک دیسک به شعاع ۱۰ سانتی متر به ده قطاع دایره ای یک سانتی متری تقسیم، و طیف سه گروهی نوترون و نیز شار گاما در هر قطاع مطابق جدول ۱، در نظر گرفته شده است.

فانتوم: مدلی که برای بیمار در نظر گرفته شد، فانتوم استاندارد و تمام بدن MIRD بود. این فانتوم مدلی از یک انسان بالغ به وزن ۷۰ kg و قد ۱۷۰ cm می باشد. کره ای به شعاع ۱ cm به عنوان تومور در عمق های مختلف کبد بیمار در نظر گرفته شد. شکل ۱ نمایی از این فانتوم را نشان می دهد.

میزان بور-۱۰: به منظور مقایسه نتایج با مقادیر معتبر گزارش شده، میزان غلظت بور-۱۰ در بافت سالم کبد و تومور بر اساس مرجع [۳] به ترتیب ۱۰ ppm و ۲۰۰ ppm انتخاب گردید.

محاسبات دزیمتری: به طور کلی دز کل ناشی از چهار مولفه مختلف دز می باشد که عبارتند از دز ناشی از واکنش بور-۱۰، دز ناشی از پرتوهای گاما، دز ناشی از نوترون های حرارتی و دز ناشی از نوترون های سریع [٤]. هر کدام از این مولفه های دز از نظر رادیوبیولوژیکی تاثیرات مختلفی دارند که این امر با در نظر گرفتن ضریب تاثیر رادیوبیولوژیکی مربوط به هر مولفه دز، میزان دز کل لحاظ می گردد. این ضرایب نیز بر اساس مرجع [۲] برای گاما برابر ۱، برای واکنش بور-۱۰ برابر ۲/٥ در تومور و ۰/۹٤ در بافت سالم، برای نوترون های حرارتی و سریع برابر ۳/۰ در نظر گرفته شد. برای محاسبه هر کدام از مولفه های دز با در نظر گرفتن ضرایب تبدیل شار به دز مربوطه [۳] و با استفاده از کارت های F4/DE4/DF4 توسط کد محاسبه گردید.

معیار ارزیابی: دو معیار مهم جهت ارزیابی درمان در نظر گرفته می‌شود:

۱) میزان دز در تومور به دز میانگین در بافت سالم که هر چه مقدار آن بیشتر باشد، مطلوب تر است

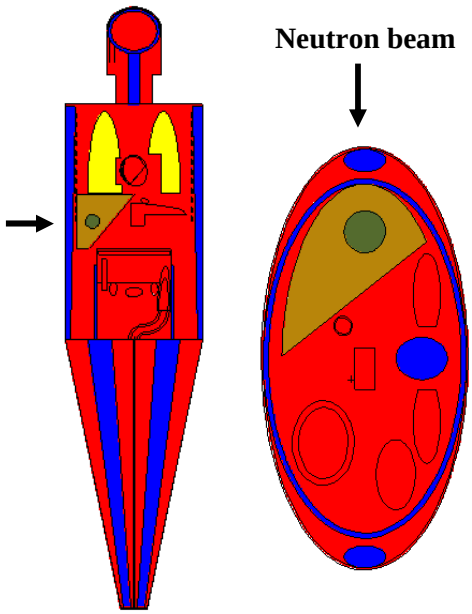
۲) زمان درمان، یعنی مدت زمانی که دزجذبی میانگین در بافت سالم کبد برابر Gy-eq ٥ شود این زمان باید منطقی باشد [۲].

[1] Boron Neutron Capture Therapy

نتایج

جدول ۲، میزان مولفه‌های دز را در تومورهای با عمق مختلف نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد سهم قابل توجهی از دز، ناشی از واکنش نوترون با بور-۱۰ می‌باشد که عامل مهمی در موفقیت درمان است.

جدول ۳، نیز مقدار دز تومور، دز میانگین در بافت سالم کبد، نسبت دز تومور به دز میانگین بافت سالم و نیز زمان درمان را برای عمق‌های مختلف تومور نشان می‌دهد که با دو چشمه نوترونی دیگر مقایسه شده است [۲]. همانطور که مشاهده می‌گردد مقدار پارامترهای درمانی بسیار مطلوب و مناسب و قابل مقایسه با دیگر چشمه های نوترونی در این زمینه است.



شکل ۱ چپ: نمایی از فانتوم استفاده شده شامل توموری در کبد، راست: مقطع برش خورده از فانتوم

جدول۱: طیف سه گروهی نوترون وگاما درهر قطاع دیسک ($\times 10^{10}$ 1/s)

شعاع تابش (cm)	نوترون			گاما
	حرارتی ۰-۰/۵ev	فوق حرارتی ۰/۵eV-۱۰keV	سریع >۱۰keV	
۰-۱	۰/۰۱	۰/۲۸	۰/۰۸	۰/۰۲
۱-۲	۰/۰۳	۰/۸۰	۰/۲٤	۰/۰٦
۲-۳	۰/۰٤	۱/۱٤	۰/۳٤	۰/۰۷
۳-٤	۰/۰۵	۱/۳۵	۰/٤۱	۰/۰۵
٤-۵	۰/۰۵	۱/۵۳	۰/٤۷	۰/۰٤
۵-٦	۰/۰۵	۱/٦۲	۰/۵۱	۰/۰۳
٦-۷	۰/۰٦	۱/٦۸	۰/۵٤	۰/۰۲
۷-۸	۰/۰۷	۱/۷۳	۰/۵۷	۰/۰۲
۸-۹	۰/۰۸	۱/۷۹	۰/٦۰	۰/۰۱
۹-۱۰	۰/۱۰	۱/۸۳	۰/٦۲	۰/۰۱

جدول۲: نرخ دز جذبی مولفه‌های مختلف ($\times 10^{-4}$ Gy/s)

عمق (cm)	گاما	نوترون سریع	نوترون حرارتی	واکنش بور	مجموع
۳/۵	٤/۸	۱٦/۰	۵/۰	۳٤٤/۱	۳٦۹/۹
٤/۵	٤/٦	۱۲/۲	٤/۲	۲۹۱/۷	۳۱۲/۸
۵/۵	٤/۵	۹/۳	۳/٤	۲۳۵/٦	۲۵۲/۷
٦/۵	٤/۳	۷/۲	۲/٦	۱۷۹/۹	۱۹۳/۹

جدول۳: پارامترهای درمانی محاسبه شده برای عمق‌های مختلف تومور

عمق تومور (cm)	دز میانگین بافت سالم (Gy-eq)	دز تومور (Gy-eq)	دز تومور به دز میانگین	زمان درمان (min)
۳/۵	۵	۱۳۳/۲	۲۶/٦٤	٦۰
٤/۵	۵	۱۱۲/٦	۲۲/۵۲	٦۰
۵/۵	۵	۹۱/۰	۱۸/۲	٦۰
٦/۵	۵	٦۹/۸	۱۳/۹٦	٦۰
۵ KUR [۳]	۵	٤۰	۸	۱۳۵
۵ AB-BNCT [۳]	۵	۳٦	۷/۲	۳۰

بحث و نتیجه گیری

نتایج کلی حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که باریکه نوترونی طراحی شده در راکتور تحقیقاتی تهران قابلیت استفاده در درمان تومورهای کبدی را دارا می‌باشد. زمان درمان محاسبه شده برای درمان یک تومور عمقی در کبد حدود ٦۰ دقیقه می باشد که در این مدت زمان می توان مقدار قابل توجهی دز به ناحیه تومور رساند و آن را نابود نمود. در مقایسه با مقدار دز تومور در دو چشمه مقایسه شده، می‌توان گفت که جهت دریافت دزی معادل دز دو چشمه دیگر، می‌توان زمان درمان را نصف یعنی در حدود ۳۰ دقیقه در نظر گرفت که در این شرایط نیز مقدار دز تومور برای نابودی آن کفایت می‌کند.

مراجع

[1] Koivunoro, H., et al. "BNCT dose distribution in liver with epithermal D–D and D–T fusion-based neutron beams." Applied Radiation and Isotopes 61.5 (2004): 853-859.

[2] Krstic, Dragana, et al. "MCNP simulation of the dose distribution in liver cancer treatment for BNC therapy." Open Physics 12.10 (2014): 714-718.

[3]Suzuki, Minoru, et al. "Impact of accelerator-based boron neutron capture therapy (AB-BNCT) on the treatment of multiple liver tumors and malignant pleural mesothelioma." Radiotherapy and oncology 92.1 (2009): 89-95.

[4] Kasesaz, Y., et al. "BNCT project at Tehran Research Reactor: Current and prospective plans." Progress in Nuclear Energy 91 (2016): 107-115.

[5] Kasesaz, Yaser, Hossein Khalafi, and Faezeh Rahmani. "Design of an epithermal neutron beam for BNCT in thermal column of Tehran research reactor." Annals of Nuclear Energy 68 (2014): 234-238.

[6] Krstić, D., and D. Nikezić. "Input files with ORNL—mathematical phantoms of the human body for MCNP-4B." Computer physics communications 176.1 (2007): 33-37.

[7] Pelowitz, Denise B. "MCNPXTM user's manual." Los Alamos National Laboratory, Los Alamos (2005).

[8] Jarahi, Hossein, et al. "Evaluation of the effective dose during BNCT at TRR thermal column epithermal facility." Applied Radiation and Isotopes (2016).