

دزسنجی فانتوم کودک تحت پرتودرمانی با شتابدهنده خطی پارانرژی

محمدی، نجمه* - اکبری، فاطمه

مرکز رادیوتراپی انکولوژی رضا (ع)، مشهد

چکیده:

یکی از روش‌های درمان سرطان مغز در کودکان، پرتودرمانی با استفاده از شتابدهنده‌های خطی می‌باشد. اما حین استفاده از شتابدهنده‌های خطی پارانرژی نوترون نیز تولید می‌شود که اثرات مخربی بر روی بدن دارد. از آنجا که کودکان در سن رشد هستند و دوره زندگی طولانی تری را در پیش دارند لازم است که از رسیدن پرتوهای نامطلوب به کودک هنگام درمان جلوگیری شود تا احتمال سرطان ثانویه در اندام سالم کاهش یابد. در این مطالعه فانتوم وکسل کودک ۱۴ ساله تحت تابش شتابدهنده 15 MV Siemens Primus در ناحیه سر قرار گرفته است. سپس توزیع دز فوتون و نوترون در فانتوم با استفاده از کد MCNPX2.6 محاسبه و بررسی شده است.

کلمات کلیدی: فانتوم وکسل، پرتودرمانی، شتابدهنده خطی، کد MCNPX

مقدمه:

شایع‌ترین علت مرگ و میر در کودکان ۱ تا ۱۴ سال، پس از تصادفات، ابتلا به سرطان است [۱و۲]. از روش‌های مختلف جراحی، شیمی‌درمانی و پرتو درمانی برای درمان سرطان در کودکان استفاده می‌شود. با این حال پیامدهای منفی استفاده از این روش‌ها در درمان کودکان وجود دارد. به طوری که این مسئله بسیار مورد توجه پزشکان است تا بتوانند خطر پذیری ابتلا به عوارض مختلف را در کودکان کاهش دهند. یکی از روش‌های درمان، استفاده از شتابدهنده‌های خطی پارانرژی برای از بین بردن سلول‌های سرطانی است. اما هنگام استفاده از این نوع شتابدهنده‌ها نوترون به طور ناخواسته از طریق برهم‌کنش فوتو هسته‌ای تولید می‌شود. نوترون‌ها به دلیل اثرات بیولوژیکی مخربی که دارند، در دزسنجی بسیار مورد توجه می‌باشند. نوترون‌ها پس از پراکندگی از سر شتابدهنده و نیز اتاق درمان به بیمار تحت پرتو درمانی رسیده و دز ناخواسته‌ای را در بدن بیمار، به خصوص بافت‌های سالم، ذخیره می‌کند. بنابراین عوارض پرتو درمانی نه تنها اندام تحت درمان، بلکه بافت‌های سالم دور از ناحیه درمان را نیز درگیر می‌کند. بافت‌های سالم در کودکان به دلیل اینکه در حال رشد هستند، بیشتر از بزرگسالان تحت تاثیر پرتو قرار می‌گیرند و نسبت به پرتو حساسیت بیشتری دارند. از سوی دیگر، به دلیل اینکه دوره زندگی کودکان بیشتر است زمان طولانی تری وجود دارد که سرطان ثانویه ناشی از پرتو درمانی خود را نشان دهد. بنابراین ضروری است که از میزان و چگونگی توزیع دز نوترون رسیده به کودک اطلاع داشت تا بتوان خطر ابتلا به سرطان ثانویه را کاهش داد. در این راستا،

طیف نوترون در فانتوم فیزیکی کودک تحت پرتو درمانی با شتابدهنده در سال ۲۰۱۳ توسط برخی محققان محاسبه شده است [۳]. مطالعات آن‌ها نشان داده است که با کاهش اندازه فانتوم شار نوترون افزایش می‌یابد. اما در مورد چگونگی توزیع دز بحث نشده است. بنابراین در این مطالعه، دز معادل فوتون و نوترون در اندام مختلف فانتوم محاسبه شده است. برای این منظور، فانتوم وکسل کودک ۱۴ ساله با استفاده از کد MCNPX2.6 به طور دقیق شبیه‌سازی شده و تحت تابش شتابدهنده 15 MV Siemens Primus در ناحیه سر قرار گرفته است.

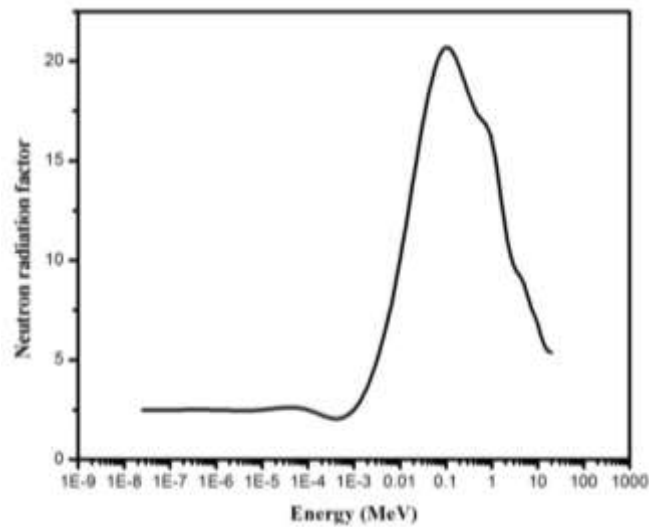
روش کار :

در این پژوهش، سر شتابدهنده 15 MV Siemens Primus و اتاق درمان به طور کامل با استفاده از کد MCNPX2.6 شبیه‌سازی شده است. جزئیات شبیه‌سازی و تایید آن در مطالعه قبلی گزارش شده است [۴]. فانتوم وکسل کودک ۱۴ ساله UF ساخت دانشگاه فلوریدا نیز به عنوان مدلی دقیق از بدن کودک به کار گرفته شده است. این فانتوم بر اساس عکس‌های CT ساخته شده و ابعاد وکسل‌های تشکیل دهنده آن برابر با $0.7 \times 0.7 \times 0.7 \text{ mm}^3$ است. طرح درمان شبیه‌سازی شده بر اساس طرح درمان اجرا شده در مرکز درمانی رضا (ع) و برای درمان تومور در ناحیه مغز می‌باشد. برای این طرح درمان، ۳ میدان تابشی مربعی $10 \times 10 \text{ cm}^2$ در جهت PA^1 و $RLAT^2$ و $LLAT^3$ در نظر گرفته شده است. فاصله سر شتابدهنده تا فانتوم نیز به گونه‌ای تنظیم شده است تا مغز در فاصله ۱۰۰ سانتیمتری از هدف سر شتابدهنده قرار گیرد. برای مقایسه توزیع دز فوتون و نوترون در فانتوم از کمیت دز معادل استفاده شده است. این کمیت برای هر نوع تابش R برابر است با حاصلضرب دز جذبی در ضریب وزنی تابشی WR. ضریب وزنی تابش برای پرتوهای مختلف در ICRP103 گزارش شده است. ضریب وزنی تابش برای فوتون دارای مقدار ۱ است و بنابراین دز معادل فوتون برابر با مقدار دز جذبی آن می‌باشد. اما ضریب وزنی تابشی نوترون وابسته به انرژی است که تغییرات آن بر حسب انرژی در شکل ۱ نشان داده شده است. در نتیجه، برای محاسبه دز معادل نوترون میانگین WR مربوط به نوترون‌های فرودی بر سطح فانتوم محاسبه شده و در مقدار دز جذبی نوترون اندام مختلف ضرب شده است.

¹ Posterior–Anterior

² Right-Lateral

³ Left-Lateral



شکل ۱: تغییرات ضریب تابش نوترون بر حسب انرژی

مقدار دز جذبی فوتون و نوترون در اندام مختلف با تالی F6 و شار نوترون نیز با استفاده از تالی F4 محاسبه شده است.

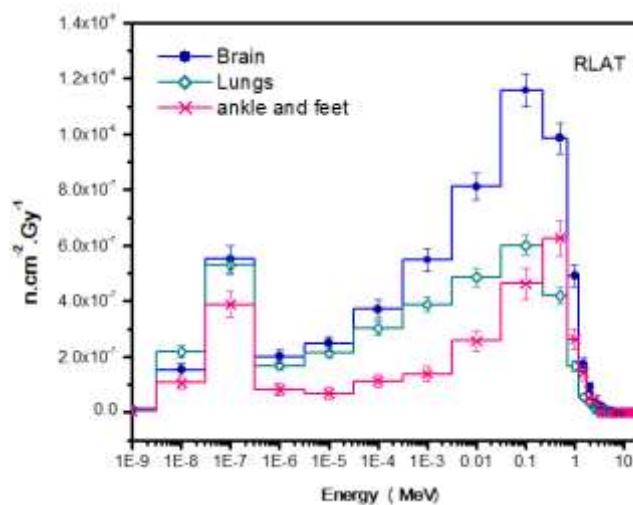
نتایج:

دز معادل فوتون در اندام مختلف فانتوم به ازای ۱ Gy دز جذبی فوتون در مغز برای ۳ جهت تابشی مختلف در جدول ۱ نشان شده است. خطای نسبی محاسبات در این قسمت کمتر از ۱٪ می‌باشد. در جدول ۱ مشاهده می‌شود که مقدار دز معادل فوتون برای جهت‌های مختلف تابش از ۱ mSv/Gy تا ۱۰۰۰ mSv/Gy در اندام‌های مختلف واقع در داخل ناحیه درمان و اندام سالم خارج از آن تغییر می‌کند. همان‌گونه که در پرتو درمانی خارجی انتظار می‌رود بیشترین دز فوتون در اعضای نزدیک و داخل میدان تابشی (مغز) ذخیره شده است. در حالی که با افزایش فاصله از ناحیه مورد درمان، مقدار دز فوتون به شدت کاهش می‌یابد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که دز ذخیره شده فوتون به جهت تابش دهی نیز وابسته است. زیرا در هر جهت تابشی، نوع و مقدار بافت در مسیر فوتون‌های فرودی متفاوت است.

برای بررسی اثر نوترون‌های تولید شده در سر شتابدهنده، ابتدا توزیع انرژی نوترون‌های رسیده به برخی اندام‌های فانتوم محاسبه گردید. شار نوترون رسیده به اندام مغز، ریه، میچ و استخوان پا که داخل و خارج میدان تابشی قرار دارند، در جهت تابشی RLAT، در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱: دز معادل فوتون در اندام های مختلف فانتوم بر حسب mSv/Gy

اندام/بافت	PA	RLAT	LLAT
مغز	۱۰۰۲/۳۶	۱۰۰۲/۸۶	۱۰۰۰
اسکلت	۸۰/۱۹	۷۲/۸۶	۶۸/۶۵
پوست	۳۷/۵	۴۰/۸۶	۳۴/۰۵
پروستات	۴۲۳	۱۷/۷۱	۱۲/۲۷
مثانه	۲۱/۲۳	۲۱/۸۹	۱۱/۷۰
غدد بزاقی	۲۰/۹۲	۳۳/۴۳	۳۲/۱۶
استخوان ران	۱۹/۵۳	۱۹/۲۶	۹/۷۶
مچ و استخوان پا	۱۰/۵۷	۱۶/۷۷	۸/۴۹
روده بزرگ	۹/۸۶	۱۵/۲	۱۰/۲۷
تیروئید	۸/۴۹	۱۱/۳۱	۱۰/۳۸
مجرای تنفسی	۷/۴۳	۹/۰۶	۹/۱۱
کلیه	۵/۱۷	۶/۴۶	۴/۶۵
مغز استخوان	۴/۹۸	۶/۳۴	۴/۵۷
دنده ها	۳/۳۷	۴/۸	۴/۳۸
ریه	۲/۸۵	۳/۵۱	۳/۹۲
غدد فوق کلیوی	۲/۵۵	۲/۸۳	۲/۷۸
معهده	۲/۲۶	۳/۶	۸/۳۸
قلب	۲/۴۱	۲/۹۷	۳/۷۳
کبد	۱/۸۳	۱۰/۲۹	۳/۱۱



شکل ۲: طیف نوترون رسیده به اندام مختلف فانتوم

همان طور که مشاهده می‌شود در هر سه اندام، صرف نظر از این که داخل یا خارج میدان تابشی قرار داشته باشد، نوترون‌ها دارای دو قله در ناحیه حرارتی و سریع هستند. قله نوترون‌های سریع در ناحیه حدود MeV ۰,۱ می‌باشد که به دلیل ماهیت فوتونوترون‌های تولیدی در سر شتابدهنده می‌باشد. با توجه به شکل ۱ ملاحظه می‌گردد که در این ناحیه نوترون‌ها دارای بیشترین مقدار WR می‌باشند. بنابراین ضرورت ارزیابی مقدار دز نوترون رسیده به بیمار تحت پرتودرمانی بیش از پیش آشکار می‌شود. دز معادل نوترون به ازای ۱ Gy دز جذبی فوتون در مغز، برای اندام مختلف در ۳ جهت تابشی، در جدول ۲ نشان داده شده است. در برخی اندام‌ها خطای نسبی به دست آمده در نتایج برنامه MCNP بیشتر از ۱۰٪ بوده است. این عدم قطعیت بالا به این دلیل است که دز جذبی نوترون با افزایش عمق در بدن به شدت کاهش می‌یابد. به طوری که پس از عمق ۵ cm دز جذبی نوترون ۵۰٪ درصد کاهش یافته است. زیرا سطح مقطع پراکندگی کشسان نوترون در محدوده انرژی نوترون‌های فرودی به سطح بدن بزرگ است. بنابراین نتایج با خطای نسبی کمتر از ۱۰٪ گزارش شده است.

جدول ۲: دز معادل نوترون در اندام‌های مختلف فانتوم بر حسب mSv/Gy

اندام/بافت	PA	RLAT	LLAT
چربی	۰,۳۹	۰,۲۸	۰,۳
مغز استخوان	۰,۳۵	۰,۰۳	۰,۰۶
مغز	۰,۳۵	۰,۴۳	۰,۵۱
روده بزرگ	۰,۱۳	۰,۱۱	۰,۱۸
ریه	۰,۲۸	۰,۱۵	۰,۱۸
پوست	۰,۳۷	۰,۳۴	۰,۳۶
قلب	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۲۴
کبد	۰,۰۷	۰,۲۵	۰,۰۸
جمعیه	۰,۲	۰,۲۷	۰,۳۴
مچ و استخوان پا	۰,۰۶	۰,۱۶	۰,۱۳
استخوان ران	۰,۱۱	۰,۱	۰,۰۹
دنده‌ها	۰,۲۳	۰,۱۱	۰,۱۲
اسکلت	۰,۱۸	۰,۱۵	۰,۱۶

با توجه به نتایج این جدول چربی زیر پوست، مغز استخوان، و مغز بیشترین دریافت دز معادل نوترون را داشته‌اند. هم‌چنین میزان دز معادل نوترون، همانند دز معادل فوتون، به جهت تابشی نیز وابسته است. اما ملاحظه می‌شود که توزیع دز نوترون نسبت به فوتون تقریباً یکنواخت است و همه اندام/بافت‌ها دز نوترون

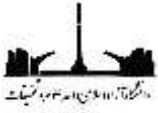
را تقریباً در یک محدوده بزرگی دریافت می‌کنند. دلیل این رفتار این است که نوترون‌های تولید شده در سر شتابدهنده از طریق یک مسیر مستقیم به بدن بیمار نمی‌رسند بلکه از فک‌ها، کف و دیواره‌های اتاق درمان پراکنده شده و بر بدن بیمار فرود می‌آیند. هم‌چنین به دلیل پراکندگی نوترون‌ها در داخل بدن، بافت‌های سالم واقع در خارج از ناحیه تومور دز ناخواسته‌ای از نوترون را دریافت می‌کنند.

بحث و نتیجه‌گیری :

روشن است که اندازه‌گیری دز در اندام‌های بدن بسیار دشوار و حتی غیر ممکن است. شبیه‌سازی مونت کارلو ابزاری قدرتمند است که به کمک آن می‌توان مدل واقع‌گرایانه‌ای از هندسه خاص بیمار را فراهم کرد و دز رسیده به بیمار را با دقت خوبی ارزیابی نمود. در این مطالعه نشان داده شد که دز فوتون رسیده به کودک تحت پرتو درمانی، با افزایش فاصله از ناحیه درمان کاهش می‌یابد. اما دز ناشی از نوترون‌ها به فاصله از ناحیه درمان وابسته نمی‌باشد. به طوری که نتایج نشان می‌دهند دز معادل نوترون در اندام سطحی و استخوان‌ها بیشتر است. هم‌چنین طبق نتایج به دست آمده، دز مغز استخوان در فانتوم کودک بیش از فانتوم بزرگسال است [۵]. با توجه به اهمیت مغز استخوان در کودکان در حال رشد، این مسئله باید در پرتودرمانی‌ها در نظر گرفته شود. و با تمهیداتی مانند قرار دادن حفاظ نوترون، دز نامطلوب رسیده به کودک کاهش یابد. با این‌که مقدار دز نوترون ذخیره شده در بدن، بسیار کمتر از دز فوتون رسیده به ناحیه درمان و حتی اندام خارج از میدان تابشی است، اما باید توجه داشت که ذرات ناشی از برهم‌کنش نوترون با ماده دارای LET بالا بوده و احتمال ذخیره شدن انرژی آن‌ها در یک و یا چند سلول مجاور زیاد است. بنابراین، نوترون می‌تواند منجر به شکست دوگانه در DNA سلول شود. ترمیم شکست‌های دوگانه سخت‌تر از شکست یگانه DNA است و با تابش نوترون احتمال جهش در سلول و خطرپذیری ایجاد تومور افزایش می‌یابد. بنابراین با در نظر گرفتن اثرات زیست‌پرتوشناختی نوترون بر بدن، حتی مقدار کم آن می‌تواند خطر سرطان ثانویه را در بیماران تحت پرتودرمانی افزایش دهد. این موضوع به ویژه برای بیماران جوان و یا زنان بارداری که ممکن است تحت پرتودرمانی قرار گیرند، بسیار حائز اهمیت است.

مراجع :

1. Jemal A, Siegel R, Ward E, et al. Cancer Statistics, CA, Cancer J Clin. 59:1–25, 2009
2. Bleyer W, The impact of childhood cancer on the United States and the world. CA Cancer J Clin. 40:355–367, 1990
3. Gonzalez-Soto1 X, Exposito MR, et al., Neutron spectra inside an adult and children anthropomorphic phantoms in high energy radiotherapy, World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, IFMBE Proceedings 39, 1145–1148, 2013 .
4. Mohammadi N, Miri-Hakimabad H, et al., Neutron spectrometry and determination of neutron contamination around the 15 MV Siemens Primus LINAC, J Radioanal Nucl Chem 304:1001–1008, 2015.



5. Mohammadi N, Miri-Hakimabad H, et al., Patient-specific voxel phantom dosimetry during the prostate treatment with high-energy linac, J Radioanal Nucl Chem 304:785–792, 2015.