مقاله کنفرانسی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱، شمارهٔ ٤، زمستان (ویژه‌نامه) ۱٤۰۱، صفحه ۷۹-۸۲
ششمین کنفرانس سنجش و ایمنی پرتوهای یون‌ساز و غیریون‌ساز (مردادماه ۱٤۰۰)
تاریخ دریافت مقاله: ۱٤۰۰/۰۷/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۱/۰۵/۰۸

ارزیابی دز دریافتی در براکی‌تراپی سطحی برای درمان کلوئیدها به‌وسیله‌ی کد MCNP

علیرضا صدرممتاز و محمدرضا کاظمیان*

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه گیلان، رشت، گیلان، ایران.
*گیلان، رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، کدپستی: ۰۱۲۳٤-٥٦۷۸۹.
پست‌الکترونیکی: mohammadkazemiyan@gmail.com

چکیده

دزسنجی مرحله‌ی مهمی از طراحی و اجرای درمان سرطان است. در فرآیند درمان همواره تلاش بر این است که بیش‌ترین دز به بافت بدخیم وارد شود و در همین حال بافت‌های سالم در امان باقی بمانند. یکی از روش‌های درمان سرطان براکی‌تراپی است که به روش‌های گوناگون و با چشمه‌های متنوعی انجام می‌شود. چشمه‌ی متداول برای این روش، Ir-۱۹۲ است، هم‌چنین Cs-۱۳۷ نیز یکی از چشمه‌های بسیار پرکاربرد در این روش می‌باشد. در این مطالعه دز دریافتی اعضای هم‌جوار، در هنگام درمان کلوئیدها در روش براکی‌تراپی سطحی مورد مطالعه قرار گرفته است. چشمه‌ی مورد مطالعه Cs-۱۳۷ است و از کد MCNP٤C برای این مطالعه استفاده شده است.

کلیدواژگان: کلوئید، براکی‌تراپی، دز، بافت، عضو، پرتودرمانی.

۱. مقدمه

درمان سرطان به وسیله‌ی تابش، به دو روش تابش‌دهی داخلی و تابش‌دهی خارجی انجام می‌شود. تابش دهی داخلی براکی‌تراپی نیز نامیده می‌شود. براکی‌تراپی انواع مختلفی دارد که عبارتند از: ۱-درون‌حفره‌ای، ۲-درون‌بافتی، ۳-سطحی، ٤-درون‌لومنی، ٥-در حین جراحی و ٦-درون‌رگی.

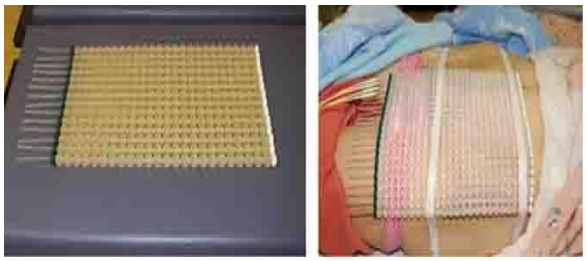
چشمه‌های مختلفی در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارتند از: ^{60}Co، ^{137}Cs، ^{198}Au، ^{192}Ir، ^{125}I و ^{103}Pd [۱]. چشمه‌ها برای استفاده در این روش به شکل‌های مختلف سیم، استوانه، کپسول و ... در می‌آیند. روش براکی‌تراپی برای درمان دامنه‌ی گسترده‌ای از ضایعات به کار برده می‌شود که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان سرطان پوست و درمان کلوئیدهای پوستی را ذکر کرد. کلوئیدها بافت‌های زخمی هستند که بیش از حد رشد می‌کنند؛ این امر به آن دلیل اتفاق می‌افتد که فیبروبلاست‌ها به دلیل تورم پیوسته در فرآیند درمان زخم، کولاژن اضافه تولید می‌کنند. کلوئیدها در قسمت‌هایی از پوست مانند شانه‌ها، سینه، قسمت‌های بالایی بازوها، گونه‌ها، لاله‌ی گوش که تنش بیش‌تری دارند رخ می‌دهند. این بافت‌ها معمولاً بدخیم نیستند اما به دلایل مختلف از قبیل درد، ایجاد ظاهر بد و خارش، درمان آن‌ها ضروری می‌شود. عمل برداشت کلوئیدها، کلوئیدوکتمی نام دارد که معمولاً با رادیوتراپی همراه می‌شود تا از وقوع مجدد آن‌ها جلوگیری گردد. از درمان با باریکه‌ی الکترونی (EBT) به‌طور گسترده استفاده می‌شود، اما از آن‌جا که

ایجاد یک باریکه یکنواخت با شکل مناسب دشوار است یافتن جایگزین‌های مناسب، ضروری می‌باشد[۲].

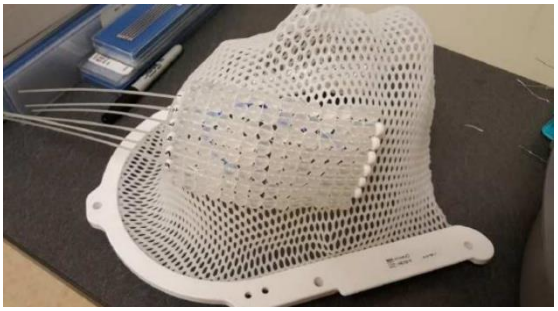
محاسبات دزسنجی در غالب موارد به‌طور مستقیم روی بیمارها در شرایط واقعی ممکن نیست و به ناچار برای این منظور باید از آدمک ها یا فانتوم های محاسباتی یا فیزیکی استفاده کرد. فانتوم‌های محاسباتی برای دزیمتری از دهه‌ی شصت میلادی شروع به گسترش کردند. فانتوم MIRD به وسیله‌ی فیشرو اشنایدر در آزمایشگاه ملی ریدج Oak در دهه ی ٦٠ میلادی با ۲۲ عضو داخلی توسعه یافت [۳]. نمونه‌های بالغ این فانتوم «آدم» و «حوا» نام گرفتند که به ترتیب به یک مرد و یک زن با قد و وزن استاندارد مربوط هستند. طبق گزارش سال ۲۰۰۲ کمیته‌ی بین المللی حفاظت در برابر پرتوها (ICRP) آدم یک مرد با قد ۱۷٦ سانتی متر و وزن ۷۳ کیلوگرم است[٤]. با بهبود روش‌های تصویربرداری در میانه‌ی دهه‌ی هشتاد میلادی مدل‌های قطع نگاری برشی بر پایه‌ی استفاده از داده‌های حاصل از تصاویر CT و MRI گسترش پیدا کردند. مدل‌سازی آناتومی بدن انسان با قابلیت ورود به کدهای محاسباتی معمولاً حاصل معامله‌ای بین دقت مدل و حجم محاسبات است. امروزه با پیشرفت ابزارهای محاسباتی، برای تحلیل محاسبات دزسنجی از کدهای مختلفی استفاده می‌شود [۵].

۲. روش انجام کار

در این مطالعه برای ارزیابی صحت نتایج از هندسه‌ی مشابه با مطالعه اوتا و همکاران استفاده شد [۲]. اساس مطالعه بر پایه‌ی تحلیل براکی‌تراپی سطحی با دز بالا (HDR-SBT) می‌باشد که به منظور درمان ضایعات پوست از قبیل سرطان پوست و کلوئیدها مورد استفاده قرار می‌گیرد، برتری این روش نسبت به روش EBT قابلیت تمرکز دز بهتر آن است. برای انجام درمان از اپلیکاتور فریبورگ فلپ استفاده می‌شود، این اپلیکاتور قابلیت دارد تا متناسب با هندسه ی عضو تحت درمان، شکل‌دهی شود. تصاویر مربوط به این اپلیکاتور در شکل‌های ۱ و ۲ دیده می‌شود که در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌است.



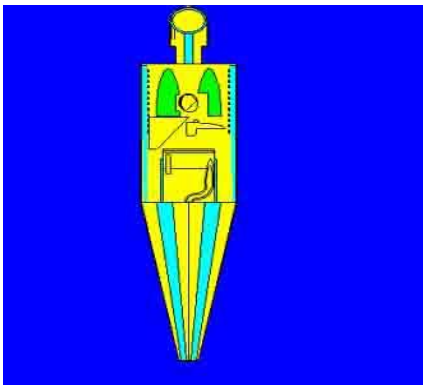
شکل (۱): اپلیکاتور فریبورگ فلپ در درمان ناحیه ی کمر [۲].



شکل (۲): اپلیکاتور فریبورگ فلپ در درمان ضایعات سر [٦].

این اپلیکاتور از ماده‌ای به چگالی ۱.۱۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب ساخته شده‌است و دارای کره‌های متصل به هم هر یک به قطر ۱ سانتی‌متر است. کره‌ها به‌صورت آرایه‌ای در یک صفحه قرار می‌گیرند که صفحه‌ی مذکور انعطاف‌پذیر بوده و قابلیت شکل‌گیری در قالب دلخواه را دارد. چشمه‌ی پرتوزا توسط کاتر به مرکز هریک از کره‌ها (دانه‌ها) انتقال داده می‌شود، با توجه به قطر کره‌ها، گام انتقال cm ۱ است. از آن‌جایی که چشمه در مرکز هر دانه مستقر می‌شود به این محل اصطلاحاً «مکان اقامت» می‌گویند. اندازه‌ی اپلیکاتور ۲٤ cm×۲٤ cm است که می‌تواند به اندازه‌ی دلخواه بریده شود [۲]. در مطالعه‌ی مرجع از Ir–۱۹۲ به‌عنوان چشمه استفاده شده است اما در این مطالعه Cs–۱۳۷ نقش چشمه را ایفا می‌کند، البته در ابتدا، شبیه سازی با Ir–۱۹۲ انجام شد تا صحت نتایج مورد بررسی قرار بگیرد. نیمه عمر Cs–۱۳۷ نسبتاً طولانی است که این امر نیازمندی به تعویض چشمه در بازه‌های کوتاه را کاهش می‌دهد، همچنین این چشمه از محصولات شکافت است که در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود و در نتیجه نسبت به Ir–۱۹۲ که از طریق فعال

سازی نوترونی ساخته می شود فراوانی بیش‌تری دارد. واپاشی ^{137}Cs از نوع $\beta-$ است که هسته‌ی دختر آن ^{137}Ba شبه پایدار است. ^{137}Ba شبه پایدار با نیمه عمر ۱۶۵ ثانیه، به حالت پایه‌ی خود واپاشی می‌کند که حاصل این واپاشی یک پرتو گاما با انرژی ۶۶۲ keV است. همچنین ^{192}Ir واپاشی های $\beta-$ و گیراندازی الکترون دارد. در واپاشی $\beta-$ هسته ی دختر در حالت برانگیخته قرار دارد که برای رسیدن به حالت پایه، پرتوی گاما با انرژی ۳۸۰ keV گسیل می کند. انواع واپاشی و اکتیویته‌ی ویژه‌ی دو رادیونوکلئید Ir-۱۹۲ و Cs-۱۳۷ در جدول ۱ آورده شده است [۷]، همچنین هندسه‌ی شبیه‌سازی بر اساس فانتوم MIRD-5 که توسط مؤسسه‌ی ORNL ارائه شده، طرح‌ریزی شده‌است. شکل این فانتوم (مرد) با برش صفحه‌ی xz در تصویر ۳ دیده می‌شود.



شکل (۳): فانتوم MIRD-5 طراحی شده مؤسسه Oak.

مشابه با اوتا و همکاران ناحیه‌ی آسیب‌دیده با ابعاد ٤ cm ×٤ cm در منطقه‌ی سینه‌ی فانتوم فرض شد و به شکل یکسان ناحیه‌ی چشمه به‌صورت منطقه‌ای با ابعاد ۵ cm ×۵ cm تعریف شده‌است. مرکز ناحیه‌ی درمان در مختصات (۰,-۱۰,۵۵) قرار گرفته‌است این مختصات مربوط به سینه‌ی بیمار و در ناحیه نزدیک به جناغ است. دز کلی تجویز شده در HDR-SBT، ۱۸ گری است (۶ گری در هر مرحله) که عمق مرجع دو سانتی‌متری زیر پوست درنظر گرفته می‌شود. دز در عمق ۲ تا ۲.۱ میلی‌متری زیر پوست بدون استفاده از حفاظ سربی اندازه‌گیری می‌شود. این کار یک بار با چشمه‌ی Ir-۱۹۲ به‌منظور بررسی صحت نتایج حاصل از هندسه وکد و مقایسه‌ی آن با مطالعات دیگر انجام شد و بار دیگر نیز از چشمه‌ی Cs-۱۳۷ استفاده گردید. اکتیویته‌ی ایریدیوم-۱۹۲ و سزیم-۱۳۷ همانند آن‌چه که در شرایط مشابه به در نظر گرفته می‌شود ۳۷۰ گیگابکرل (۱۰ کوری) قراردادهشد[۲] (یک گرم از سزیم-۱۳۷ اکتیویته‌ای در حدود ۳/۱۲ ترابکرل دارد) [۸].

جدول (۱): مشخصات رادیونوکلئیدهای مورد استفاده در مطالعه [۷].

فعالیت ویژه (کوری بر گرم)	نوع واپاشی	نیمه عمر	رادیونوکلئید
۸۷	بتای منفی (۱۰۰ درصد)	۳۰ سال	سزیم ۱۳۷
۹۲۰۰	بتای منفی (۹۵/۲٤ درصد) گیر اندازی الکترون (٤/۷٤ درصد)	۷۳۸ روز	ایریدیوم ۱۹۲

ابتدا برنامه ۵۰ بار اجرا شد که ۲۵ بار آن برای چشمه‌ی ^{192}Ir و ۲۵ بار دیگر برای چشمه‌ی ^{137}Cs است. چشمه هربار در هر یک از ۲۵ موضع ممکن اپلیکاتور (که با ابعاد ۵ cm ×۵ cm تعریف شده بود) قرار گرفت. به ازای هر بار اجرای برنامه، دز در نقطه‌ای ثابت (نقطه مرجع) در عمق ۲.۰۵ سانتی‌متری زیر پوست فانتوم به‌دست آمد. سپس همه خروجی‌های دز نسبت به داده با بیش‌ترین مقدار (نقطه ای که درست بالای نقطه‌ی مرجع اندازه‌گیری دز قرار می‌گیرد) نرمال شدند. به این ترتیب برای هریک از نقاط یک ضریب وزنی به دست‌آمد. از این ضریب وزنی می‌توان برای محاسبه زمان اقامت چشمه در هر نقطه برای رسیدن به دز کل ٦ گری استفاده کرد، نقاطی که دارای ضریب وزنی کمتری هستند، باید زمان اقامت بیش‌تری داشته باشند. واضح است از آن‌جایی که شکل اپلیکاتور مربعی با ابعاد ۵ cm ×۵ cm در نظر گرفته شده است نتیجه‌ی دز وارده برای نقاطی از محل چشمه که از لحاظ مکانی متقارن هستند تقریباً یکسان به‌دست می‌آید. در نهایت دز وارد بر اعضای مجاور یعنی قلب، ریه، معده، مری، غده‌ی تیموس، تیروئید و مغز محاسبه شد و نقاط دورتر نادیده گرفته شدند. از آن‌جایی که کد MCNP

توانایی انجام محاسبات وابسته به زمان را ندارد در این مرحله چشمه به‌صورت تابعی از مکان در ۲۵ نقطه‌ی مختلف تعریف گردید و بر اساس ضریب وزنی به‌دست آمده به هر کدام از این نقاط یک وزن احتمال داده‌شد. این کار به‌طور کامل می‌تواند نقش زمان اقامت را ایفا کند بدون آن که باعث به وجود آمدن خطای خاصی در محاسبات شود.

۳. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از محاسبات در جدول ۲ آورده شده است. نتایج مربوط به ^{192}Ir به جز موارد مری و تیروئید در همخوانی خوبی با مطالعه‌ی اوتا و همکاران می‌باشد.

جدول (۲): خروجی شبیه‌سازی [۷].

عضو	دز معادل زیستی دریافتی برحسب میلی‌گری با چشمه‌ی ایریدیوم-۱۹۲	خطای نسبی نسبت به مطالعه‌ی اوتا و همکاران	دز معادل زیستی دریافتی برحسب میلی‌گری با چشمه‌ی سزیم-۱۳۷
قلب	۲۱۷/۷۷	٪ ۸	۳۱۲/۱۵
ریه‌ها	۷۸/۲٤	٪ ٤	۱۱۹/۱۱
معده	۲۲/۰۳	٪ ۲	۳٤/٤٥
مری	۷۲/۱۹	٪ ۱۵	۹۱/۲۲
غده‌ی تیموس	۱۲٥٤/٦٦	٪ ۹	۱٤۰۱/٤۹
تیروئید	۳٦/۲۱	٪ ۱٦	٤۹/٤۰
مغز	۲/۹۲	٪ ۹	۳/۸۱

همان‌طور که قبلاً اشاره شد ^{137}Cs یک ایزوتوپ در دسترس (از این نظر که طی فرآیند شکافت در راکتور به وجود می‌آید) و با نیمه عمر بالا است (که این امر نیازمندی جایگزینی چشمه را کاهش می دهد و حمل و نقل آن را آسان می‌کند) هم‌چنین این رادیوایزوتوپ دارای مد واپاشی $\beta-$ است که با توجه به برد پایین ذرات $\beta-$ و نهشت انرژی زیاد آن به ازای واحد طول، مد مناسب برای مقاصد درمانی است. از معایب این چشمه می‌توان به اکتیویته ی ویژه ی پایین آن نسبت به ^{192}Ir اشاره کرد که این امر باعث می شود برای حصول اکتیویته‌ی یکسان به جرم بیش‌تری از ^{137}Cs نیاز باشد، همچنین انرژی پرتوی گامای این رادیوایزوتوپ نسبت به ^{192}Ir بیش‌تر است که این امر باعث نفوذ پذیری بیش‌تر می‌شود و به‌طور ناخواسته دز دریافتی نواحی دورتر را افزایش می‌دهد. این موضوع توسط مطالعه‌ی حاضر نیز تأیید می‌شود، به‌طوری که با چشمه‌ی ^{137}Cs تمامی اعضای مورد مطالعه، دز بیش‌تری نسبت به حالت ^{192}Ir دریافت کرده‌اند که این میزان افزایش دز گاهی نزدیک به ۵۰٪ هم می‌شود. برای هر دو چشمه، غده‌ی تیموس بیش‌ترین دز را دریافت کرده است؛ این غده با توجه به این که محل بلوغ لنفوسیت‌های بی است دارای اهمیت است. بعد از این غده رتبه‌های بعدی مربوط به قلب و ریه است. از آن‌جایی که در این مطالعه چشمه در ناحیه‌ی سینه‌ی فانتوم قرار داده شد میزان بالای دز رسیده به قلب، ریه و تیموس قابل توجیه است. مغز در این مطالعه کم‌ترین دز را دریافت کرد که به نظر می‌رسد این موضوع به دلیل دور بودن آن از ناحیه ی درمان و خاصیت حفاظتی جمجمه است. به‌عنوان نتیجه‌ی کلی، از این مطالعه نتیجه می‌شود ^{137}Cs با توجه به خواص مناسب فیزیکی آن و نتایج عددی نزدیک به ^{192}Ir می‌تواند گزینه‌ی مناسبی به‌عنوان چشمه‌ی براکی‌تراپی سطحی باشد.

٤. مراجع

1. E. B. Podgorsak, *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. International Atomic Energy Agency, 2005.
2. M. Ohta, N. Nakao, S. Kuribayashi, T. Miyashita, N. Shigematsu, N. Hayashizaki. Evaluation of radiation exposure in Ir-192 brachytherapy for treatment of keloids. *Energy Procedia* 131 (2017) 363-370.
3. K. A. Van Riper. Building geometry models for Monte Carlo transport codes," 2007 *IEEE Nucl. Sci. Symposium Conf. Record*, Honolulu, HI, USA (2007) 2008-2015.
4. ICRP, 2000 Annual Report International Commission on Radiological Protection (2002) 1-30.
5. M. Sullivan, Brachytherapy Discussion, 2016.
6. D. Delacroix, J. P. Guerre, P. Leblanc, C. Hickman. *Radionuclide and radiation protection data handbook* 2002. *Rad. Prot. Dosim.* 98 (1) (2002) 5-6.
7. R. L. Bunting. Nuclear Data Sheets for A=137. *Nucl. Data Sheets* 15 (1975) 335-369.
8. G. Audi, F. G. Kondev, W. Meng, W. J. Huang, S. Naimi. The NUBASE2016 evaluation of nuclear properties, *Chinese Phys. C* 41 (3) (2017) 030001.