

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان (ویژه نامه) ۱۴۰۱، صفحه ۷۳-۷۷
ششمین کنفرانس سنجش و ایمنی پرتوهای یون ساز و غیر یون ساز (مردادماه ۱۴۰۰)
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸

محاسبه دز جذبی ناشی از اسکن کلیه با رادیوداروی $Tc-99m$ DMSA

علیرضا صدرممتاز* و فرزین صفرنژاد

گروه فیزیک، دانشگاه گیلان، رشت، گیلان، ایران.

*گیلان، رشت، دانشگاه گیلان، گروه فیزیک، کدپستی: ۴۱۳۳۵-۱۹۱۴

پست الکترونیکی: sadremontaz@yahoo.co.uk

چکیده

رادیوداروی $Tc-99m$ DMSA یکی از پرکاربردترین رادیوداروهای مورد استفاده در پزشکی هسته‌ای است که به منظور بررسی مکان، اندازه، شکل و عملکرد کلیه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله مقدار دز جذبی اندام‌های مختلف و دز مؤثر بعد از تزریق این رادیودارو با استفاده از روش MIRD محاسبه شده است. برای این منظور ابتدا مقدار کسرهای جذبی ویژه برای فانتوم بالغ از مجموعه فانتوم‌های اصلاح شده ORNL به وسیله شبیه‌سازی مونت کارلو به دست آمده و با استفاده از آن‌ها مقادیر S برای هسته پرتوزای $Tc-99m$ محاسبه شده است. سپس با استفاده از داده‌های بیوکینتیک ICRP ۵۳، مقدار دز جذبی اندام‌های مختلف پس از تزریق رادیوداروی $Tc-99m$ DMSA محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که کلیه‌ها، دیواره مثانه، طحال و غده فوق کلیوی بیش‌ترین دز جذبی را بعد از تزریق دریافت می‌کنند. هم‌چنین مقدار دز مؤثر در واحد فعالیت تزریقی برابر $1.6E-02$ mSv/MBq برآورد شده است.

کلیدواژه‌گان: رادیوداروی $Tc-99m$ DMSA، روش MIRD، فعالیت انباشته، زمان اقامت، دز جذبی در واحد فعالیت تزریقی.

۱. مقدمه

از رادیوداروهای $Tc-99m$ DMSA یکی از شایع‌ترین رادیوداروها برای تصویربرداری از کلیه می‌باشد. از این رادیودارو به منظور تعیین مکان، اندازه، شکل و کارکرد کلیه‌ها استفاده می‌شود. از مهم‌ترین کاربردهای اسکن DMSA، تشخیص عفونت کلیه، بررسی عوارض ناشی از آن و تعیین درصد کارایی هر کلیه است. این اسکن، ساده و غیرتهاجمی بوده و معمولاً ۲ تا ۳ ساعت بعد از تزریق وریدی انجام می‌شود [۳].

از رادیوداروهای $Tc-99m$ DMSA یکی از پرکاربردترین هسته‌های درمانی استفاده می‌شود. به دلیل ویژگی‌های هسته‌ای، در دسترس بودن و هزینه پایین، یکی از پرکاربردترین هسته‌های پرتوزای مورد استفاده می‌باشد [۱]. رادیوداروهای $Tc-99m$ تقریباً ۸۰ درصد مطالعات پزشکی هسته‌ای را به خود اختصاص داده‌اند و تقریباً برای تصویربرداری از تمام اعضای مهم بدن در دسترس هستند [۲]. رادیوداروی

که در این رابطه E_i انرژی i امین گسیل از هسته پرتوزا، n_i احتمال گسیل آن و $\Phi_i(r_k \leftarrow r_h)$ عبارت است از کسر جذبی ویژه برای این انرژی. مقدار کسرهای جذبی ویژه غالباً با استفاده از روش مونت کارلو و فانتوم‌های محاسباتی، به دست می‌آیند.

۲.۲. فانتوم

در این مقاله از فانتوم بالغ از مجموعه فانتوم‌های اصلاح شده ORNL استفاده شده است [۵]. این مجموعه از فانتوم‌ها در سال ۲۰۰۷ توسط هان و همکارانش و بر اساس فانتوم‌های ارائه شده توسط کریستی و اکرم [۶] توسعه داده شده و شامل مدل‌های جدید برای بعضی از اعضا مانند سر، مغز، کلیه، غدد بزاقی و مسیرهای تنفسی است. ترکیب شیمیایی بافت‌های بدن در این فانتوم از ICRP ۸۹ [۷] و ICRU ۶۱ [۸] گرفته شده است.

۳.۲. محاسبه کسرهای جذبی ویژه و مقادیر S

در این تحقیق، ابتدا مقادیر کسرهای جذبی ویژه برای فانتوم اصلاح شده ORNL برای ۱۲ انرژی فوتون بین ۱۰ keV تا ۴ MeV با استفاده از کد MCNPX به دست آمد. تمام نتایج به دست آمده دارای ضریب تغییر $\frac{\sigma_{\phi}}{\phi}$ ۱۰۰ کم‌تر از ۱۰٪ هستند. مقادیر کسرهای جذبی ویژه برای پرتوهای بتا، برای مواقعی که عضو چشمه و هدف یکی باشد برابر $1/m_k$ (جرم عضو هدف) و برای مواقعی که عضو چشمه و هدف متفاوت باشد، صفر در نظر گرفته شده است. همچنین برای اعضای مانند معده که دارای دیواره و محتوا هستند، در مواقعی که چشمه در داخل محتوا باشد، مقدار کسر جذبی ویژه پرتوهای بتا در دیواره برابر $1/2 m_h$ در نظر گرفته شده که m_h جرم عضو چشمه (در این جا محتوا) است [۹].

بر اساس توصیه‌های کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژیکی^۱، سود هر گونه فعالیت که منجر به پرتوگیری افراد شود باید بیش‌تر از زیان‌های ناشی از آن باشد. در نتیجه سود و زیان ناشی از فعالیت‌های پرتوی باید بررسی شود. برآورد دز جذبی یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی مخاطرات ناشی از روش‌های رادیولوژی تشخیصی و همچنین پیش‌بینی تأثیر درمان با پرتو است [۴]. در این مقاله، دز جذبی اندام‌های مختلف پس از تزریق رادیوداروی DMSA Tc-۹۹m محاسبه شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. روش MIRD^۲

یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی دز ناشی از هسته‌های پرتوزای داخل بدن، روشی است که توسط کمیته دز داخلی پزشکی پیشنهاد شده است. در این روش، دز عضو هدف با فرض توزیع یکنواخت چشمه پرتوزا در عضو چشمه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{D}(r_k) = \sum_h \tilde{A}_h \times S(r_k \leftarrow r_h) \quad (1)$$

که در آن \tilde{A} عبارت است از فعالیت انباشته در عضو چشمه یا تعداد کل تبدیلات هسته‌ای^۳ روی داده در عضو چشمه در مدت زمان حضور ماده پرتوزا در آن. مقدار فعالیت انباشته با استفاده از مدل‌های بیولوژیکی یا تصویربرداری از بیمار به دست می‌آید. پارامتر $S(r_k \leftarrow r_h)$ نیز عبارت است از میانگین دز جذبی در عضو هدف به ازای واحد فعالیت انباشته در عضو چشمه یا میانگین دز جذبی در عضو هدف به ازای یک تبدیل هسته پرتوزا در عضو چشمه که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S(r_k \leftarrow r_h) = \sum_i E_i n_i \Phi_i(r_k \leftarrow r_h) \quad (2)$$

³ Nuclear Transformation

⁴ Coefficient of variation

¹ International Commission on Radiological Protection (ICRP)

² Medical Internal Radiation Dose (MIRD)

$$\tau_h = \frac{\bar{A}_h}{A} \quad (۳)$$

با استفاده از این رابطه می‌توان رابطه ۱ را به شکل زیر نوشت:

$$\bar{D}(r_k) = A \cdot \sum_h \tau_h \times S(r_k \leftarrow r_h) \quad (۴)$$

که با اندکی تغییر به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\frac{\bar{D}(r_k)}{A} = \sum_h \tau_h \times S(r_k \leftarrow r_h) \quad (۵)$$

جدول (۱): انرژی و احتمال گسیل واپاشی‌های ناشی از $Tc-99m$.

نوع واپاشی	انرژی (مگاالکترون ولت)	احتمال گسیل
الکترون تبدیل داخلی	۰/۰۰۱۶	۰/۷۴۶۰
	۰/۱۱۹۵	۰/۰۸۸۰
	۰/۱۲۱۶	۰/۰۰۵۵
	۰/۱۳۷۵	۰/۰۱۰۷
	۰/۱۳۹۶	۰/۰۰۱۷
	۰/۱۴۰۰	۰/۰۰۱۹
	۰/۱۴۰۴	۰/۰۰۰۴
	۰/۱۴۲۱	۰/۰۰۰۳
الکترون اوژه	۰/۰۰۲۲	۰/۱۰۲۰
	۰/۰۱۵۵	۰/۰۲۰۷
ایکس	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۴۸
	۰/۰۱۸۳	۰/۰۲۱۰
	۰/۰۱۸۴	۰/۰۴۰۲
	۰/۰۲۰۶	۰/۰۱۲۰
گاما	۰/۱۴۰۵	۰/۸۹۰۶
	۰/۱۴۲۶	۰/۰۰۰۲

جدول (۲): زمان اقامت برای اعضای چشمه بعد از تزریق $Tc-99m$ DMSA [۱۲].

عضو	زمان اقامت
کل بدن (به جز محتوای مثانه)	۶/۷۷ ساعت
کلیه‌ها	۳/۷۱ ساعت
کبد	۲۵/۱ دقیقه
طحال	۲/۵ دقیقه
محتوای مثانه	۲۴ دقیقه

براساس رابطه ۵ حاصل ضرب مقادیر S در زمان اقامت برابر است با مقدار دز جذبی در واحد فعالیت تزریقی به بدن با استفاده از مقادیر S محاسبه شده و داده‌های جدول ۲ و رابطه

به منظور اعتبارسنجی، مقدار کسرهای جذبی محاسبه شده با مقادیر گزارش شده توسط هان [۱۰] مقایسه شده است. در ۸۱٪ از موارد، مقدار اختلاف نسبی نتایج کمتر از ۱۰ درصد، در ۸٪ از موارد، اختلاف نسبی بین ۱۰ تا ۲۰ درصد و در ۱۱٪ از موارد، اختلاف نسبی بین نتایج بیش تر از ۲۰٪ بوده است. تقریباً ۸۰٪ از موارد با اختلاف نسبی بیش تر از ۲۰٪ مربوط به فوتون‌های با انرژی کمتر از ۵۰ keV است. در نتیجه توافق خوبی بین نتایج دو شبیه‌سازی به‌ویژه برای فوتون‌های با انرژی بیش تر از ۵۰ keV وجود دارد. در انرژی‌های پایین، تعداد کمی از فوتون‌های گسیلی از چشمه می‌توانند به عضو هدف برسند. همچنین کسر کوچکی از انرژی گسیلی از چشمه به اعضای هدف می‌رسد، در نتیجه مقدار کسرهای جذبی ویژه کم است. این دو مورد منجر به افزایش عدم قطعیت آماری نتایج می‌شود. این مسئله یکی از دلایل توافق ضعیف‌تر بین نتایج در انرژی‌های پایین می‌باشد.

همان‌گونه که از رابطه ۲ مشخص است، برای محاسبه مقادیر S ، علاوه بر مقدار کسرهای جذبی ویژه، به مقدار انرژی و احتمال گسیل پرتوهای ناشی از فروپاشی هسته پرتوزا نیاز است. برای این منظور از داده‌های واپاشی ارائه شده در سایت RADAR [۱۱] استفاده شده است. انرژی و احتمال گسیل واپاشی‌های در نظر گرفته شده برای $Tc-99m$ در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است. در مرحله بعد، با استفاده از یک کد پایتون، مقادیر S برای هسته پرتوزای $Tc-99m$ برای ترکیب‌های مختلف چشمه-هدف محاسبه شد. هم چنین اطلاعات مربوط به مقادیر فعالیت انباشته از مدرک ۵۳ ICRP [۱۲] گرفته شده که در جدول ۲ آورده شده است. در این مدرک فعالیت انباشته اعضای چشمه بر حسب پارامتری به نام زمان اقامت^۱ داده شده که عبارت است از فعالیت انباشته در عضو چشمه به ازای واحد فعالیت تزریقی به بدن، A :

¹ Residence Time

۳. بحث و نتایج

با توجه به جدول ۴ مشخص است که در هر دو فانتوم اصلاح-شده ORNL و داده‌های ICRP ۵۳، کلیه‌ها بیش‌ترین دز جذبی را پس از تزریق $Tc-99m$ DMSA، دریافت می‌کنند. میزان دز کلیه‌ها تقریباً ۱۰ برابر بیش‌تر از دز دیواره مثانه است که دومین عضو با بیش‌ترین دز جذبی است.

طحال و غده فوق کلیوی نیز اعضای دیگر با دز بیش‌ترین دز جذبی هستند. کمترین دز جذبی نیز مربوط به سینه‌ها، تیروئید و بیضه‌ها است. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از فانتوم اصلاح‌شده ORNL با داده‌های ارائه‌شده ICRP ۵۳ (که به جز بعضی از اعضا مثل سینه‌ها، از داده‌های ۱۱ MIRD استفاده کرده است) نشان می‌دهد که مقدار دز جذبی فانتوم اصلاح‌شده ORNL به‌طور میانگین 16.55 ± 0.47 بیش‌تر از داده‌های ICRP ۵۳ است.

این تفاوت‌ها به تفاوت‌های آناتومیکی موجود بین دو فانتوم مربوط است. به‌عنوان مثال در مورد سینه‌ها، مقادیر دز جذبی در ICRP ۵۳ با استفاده از فانتوم ۱۵ ساله ORNL محاسبه شده است که با توجه به ابعاد کوچکتر و وزن کمتر این فانتوم، منجر به دز جذبی بیش‌تری برای سینه‌ها در داده‌های ICRP ۵۳ شده است. از جمله دلایل دیگر اختلافات بین مقادیر دز جذبی، مربوط به اختلاف در فواصل بین اعضا در اثر اضافه شدن اعضای جدید به فانتوم اصلاح‌شده ORNL و همچنین اختلاف در ترکیب شیمیایی بافت‌ها می‌باشد.

مقدار دز مؤثر در واحد فعالیت تزریقی برای فانتوم اصلاح‌شده ORNL برابر $1.6E-02$ mSv/MBq برآورد شده است که تقریباً ۶۹ درصد از این مقدار مربوط به کلیه‌ها، ۷ درصد مربوط به دیواره مثانه، ۵ درصد مربوط به طحال و ۴ درصد مربوط به غدد جنسی است.

۵، مقدار دز جذبی در واحد فعالیت تزریقی برای اعضای مختلف به‌دست آمده و به منظور اعتبارسنجی با نتایج ارائه‌شده توسط ICRP ۵۳ مقایسه شده است.

۴.۲. محاسبه دز مؤثر

دز مؤثر از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$E = \sum_T w_T H_T \quad (6)$$

که در آن w_T ضریب وزنی بافت و H_T دز معادل می‌باشد که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \quad (7)$$

که در آن w_R ضریب وزنی پرتو و $D_{T,R}$ نیز دز جذبی در بافت T ناشی از پرتو R است. از آنجایی که ضریب وزنی پرتو برای الکترون‌ها و پرتوهای گاما، برابر یک است، مقدار دز معادل با دز جذبی برابر است:

$$H_T = \sum_R D_{T,R} = D_T \quad (8)$$

در نتیجه رابطه ۶ به‌صورت زیر در خواهد آمد:

$$E = \sum_T w_T D_T \quad (9)$$

مقدار ضرایب وزنی بافت از ICRP ۲۶ [۱۳] گرفته شده که در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به این جدول و رابطه ۹، مقدار دز مؤثر در واحد فعالیت تزریقی محاسبه شده است. جدول (۳): مقدار ضرایب وزنی بافت مورد استفاده در این تحقیق [۱۳].

اندام	ضریب وزنی بافت (w_T)
غدد جنسی	۰/۲۵
سینه‌ها	۰/۱۵
مغز استخوان	۰/۱۲
ریه‌ها	۰/۱۲
تیروئید	۰/۰۳
سطوح استخوان	۰/۰۳
بقیه اعضا*	۰/۳۰

* مقدار ضریب وزنی بافت بقیه اعضا، بین پنج عضوی که بیش‌ترین دز جذبی را دریافت کرده‌اند، تقسیم می‌شود.

کلیه‌ها، بیش‌ترین دز جذبی را دریافت کرده و به میزان ۷ درصد در دز مؤثر تأثیر دارد که افزایش تعداد دفعات تخلیه مثانه، منجر به کاهش دز جذبی این عضو و در نتیجه دز مؤثر بیمار می‌گردد.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله مقدار دز جذبی اندام‌های مختلف بدن و دز مؤثر بیمار بعد از تزریق رادیوداروی $Tc-99m$ DMSA با استفاده از روش MIRD و فانتوم‌های اصلاح‌شده ORNL محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد تزریق این رادیودارو منجر به دریافت $1.6E-02$ mSv/MBq دز توسط بیمار می‌گردد که سهم غالب آن مربوط به دز دریافتی توسط کلیه‌ها است. لازم به یادآوری است که از آن‌جایی که آناتومی و نحوه توزیع رادیودارو در بدن یک بیمار واقعی لزوماً با داده‌های مرجع یکسان نیست، دز واقعی دریافت شده توسط بیمار ممکن است با مقادیر برآورد شده در این تحقیق متفاوت باشد.

جدول (۴): مقدار دز جذبی در واحد فعالیت تزریقی برحسب

اختلاف نسبی %	فانتوم اصلاح شده ORNL		عضو
	ICRP 53	mGy/MBq	
-۲۰/۲۷	$1/30 \times 10^{-2}$	$1/04 \times 10^{-2}$	غده فوق کلیوی
-۲۹/۴۰	$1/80 \times 10^{-2}$	$1/27 \times 10^{-2}$	سینه‌ها
-۵/۶۵	$1/90 \times 10^{-2}$	$1/79 \times 10^{-2}$	دیواره مثانه
۸/۰۹	$1/70 \times 10^{-1}$	$1/84 \times 10^{-1}$	کلیه‌ها
-۲/۱۵	$2/50 \times 10^{-2}$	$2/45 \times 10^{-2}$	ریه‌ها
-۴/۱۰	$3/70 \times 10^{-2}$	$3/55 \times 10^{-2}$	تخمدان‌ها
۱۲/۵۷	$9/00 \times 10^{-2}$	$1/01 \times 10^{-2}$	لوزالمعده
-۰/۰۶	$9/70 \times 10^{-2}$	$9/69 \times 10^{-2}$	کبد
۱۰/۷۷	$1/30 \times 10^{-2}$	$1/44 \times 10^{-2}$	طحال
۲/۷۱	$1/80 \times 10^{-2}$	$1/85 \times 10^{-2}$	بیضه‌ها
۳۲/۶۶	$1/10 \times 10^{-2}$	$1/46 \times 10^{-2}$	تیروئید

در بسیاری از موارد امکان کاهش دز جذبی بیمار با استفاده از افزایش آهنگ دفع رادیودارو از بدن وجود دارد. این کار به‌عنوان مثال با استفاده از افزایش دفعات تخلیه مثانه با نوشاندن آب یا داروهای ادرارآور یا تخلیه روده با استفاده از داروهای ملین امکان‌پذیر است. همان‌گونه که اشاره شد، مثانه بعد از

۵. مراجع

- G. B. Saha. *Fundamentals of Nuclear Pharmacy*. 6th ed. Springer, New York, 2010.
- D. Hernández-Valdés, A. Blanco-González, A. García-Fleitas, Z. Rodríguez-Riera, G. Meola, R. Alberto, et al. Insight into the structure and stability of Tc and Re DMSA complexes: A computational study. *J. Mol. Graphics Modelling*. 71 (2017) 167-75.
- E. Tsukamoto, K. Itoh, C. Katoh, T. Mochizuki, T. Shiga, K. Morita, et al. Validity of $99mTc$ -DMSA renal uptake by planar posterior-view method in children. *Ann. Nucl. Med.* 13 (1999) 383-387.
- W. E. Bolch, K. F. Eckerman, G. Sgouros, S. R. Thomas. A generalized schema for radiopharmaceutical dosimetry--standardization of nomenclature, MIRD pamphlet No. 21. *J. Nucl. Med.* 50 (2009) 477-84.
- E. Y. Han, W. E. Bolch, K. F. Eckerman. Revisions to the ORNL series of adult and pediatric computational phantoms for use with the MIRD schema. *Health Phys.* 90 (2006) 337-56.
- M. Cristy, K. F. Eckerman. Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory. ORNL/TM-8381/V1. 1987.
- ICRP. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values: ICRP Publication 89. *Ann. ICRP.* 32 (2002).
- ICRU. Photon, Electron, Proton and Neutron Interaction Data for Body Tissues; ICRU Report 46. *Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements.* 24 (1992).
- W. S. Snyder, M. R. Ford, G. G. Warner, S. B. Watson. "S," absorbed dose per unit cumulated activity for selected radionuclides and organs; MIRD Pamphlet 11. Society of Nuclear Medicine, New York, 1975.
- E. Y. Han. Revised series of stylized anthropometric phantoms for internal and external radiation dose assessment, Ph.D. Thesis, University of Florida, 2005.
- <https://www.doseinfo-radar.com>.
- ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53. *Annals of the ICRP.* 18 (1988).
- ICRP. Recommendations of the ICRP; ICRP Publication 26. *Ann ICRP.* 1 (1977).