

محاسبه دوز مؤثر داخلی اندام‌های بدن پس از تزریق آنالوگ سوماتواستاتین نشان‌دار با تکنسیوم-99m با استفاده از کد شبیه‌سازی MCNPX

محسن محمودی میرهاشمی^۱، سیدپژمان شیرمردی^{۲*}، علی نگارستانی^۱، مصطفی عرفانی^۲

۱. پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران.

۲. دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۷

مقدمه رادیو داروها در پزشکی هسته‌ای دارای کاربردهای تشخیصی و درمانی هستند. رادیو داروهای با رادیونوکلئید گسیلنده گاما بیشتر در فرایند تشخیصی استفاده می‌شوند. آن هم به دلیل جذب پایین پرتو گاما در بافت نسبت به ذرات بتا و آلفا است. بررسی توزیع دوز جذبی رادیو داروهای تشخیصی در بدن از نظر حفاظت پرتوی دارای اهمیت ویژه‌ای است. هدف از انجام این تحقیق، محاسبه دوز دریافتی اندام‌های داخلی بدن انسان پس از تزریق رادیوداروی تشخیصی تکنسیوم-99m-اکتروتاید به موش است.

مواد و روش‌ها با استفاده از فانتوم MIRD و کد شبیه‌سازی MCNPX برای بدن مرد بزرگسال دوز مؤثر دریافتی اندام‌های مختلف بدن محاسبه شد. در این تحقیق از چشمه گاما با انرژی 140 keV و تالی ۴۶ برای محاسبه دوز تقریبی رادیوداروی تکنسیوم-99m-اکتروتاید استفاده شد.

یافته‌های پژوهش دوز رادیوداروی تکنسیوم-99m-اکتروتاید در اندام‌های مختلف بدن، براساس توزیع اطلاعات در بدن موش و با استفاده از کد شبیه‌سازی MCNPX برآورد شد. بیشترین دوز مؤثر مربوط به آدرنال و پانکراس با دوز جذب شده مؤثر حدود 185 MBq / 6 mSv و 185 MBq / 1/5 mSv به دست آمد

بحث و نتیجه‌گیری نتایج به دست آمده نشان داد که آدرنال و پانکراس به‌عنوان دو اندام در معرض خطر در تصویربرداری با رادیوداروی تکنسیوم-99m-اکتروتاید هستند.

کلیدواژه‌ها:

رادیوداروی تکنسیوم-99m-اکتروتاید، کد شبیه‌سازی MCNPX، فانتوم MIRD

مقدمه

رسیدند که می‌توان از تمرکز رادیو داروها در اندام‌های هدف تصاویری از آن تهیه کرد یا به درمان بافت سرطانی یا آسیب‌دیده کمک کرد. در سال‌های دهه ۱۹۸۰ برای تشخیص بیماری‌های قلبی از رادیو داروها استفاده شد و هم‌اکنون نیز با اطمینان بالا از رادیو داروها در حوزه درمان و تشخیص و پیگیری روند بهبود بیماری‌ها استفاده می‌شود. در پزشکی هسته‌ای از رادیو داروهای گسیلنده بتا و آلفا برای درمان سرطان استفاده می‌شود، این ذرات به علت انتقال انرژی خطی

بکرل در سال ۱۸۹۶ بر اساس مطالعات رونگنن آزمایش‌هایی انجام داد که به کشف مواد رادیواکتیو منجر شد. در سال ۱۹۳۶ برای نخستین بار از مواد رادیواکتیو برای درمان بیماری‌ها (لوسمی) در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی استفاده شد. تا سال ۱۹۵۰ کاربرد بالینی مواد رادیواکتیو به‌طور گسترده رواج نیافت و در حالت رکود باقی ماند. در سال‌های بعد و با توجه به تجربیات قبل متخصصان به این نتیجه

* نویسنده مسئول: سیدپژمان شیرمردی
نشانی:

دورنگار:

تلفن: ۰۲۱۸۸۰۰۰۱۱۱

pshirmardi@aeoi.org.ir

p_shirmardi@aut.ac.ir

شناسه ORCID: 0000-0001-8105-864X

شناسه ORCID نویسنده اول: 0000-0001-9013-5272

ناشی از تزریق رادیوداروی تکنسیوم- $99m$ دی فسفونات را محاسبه کردند که بیشترین دوز به ارگان کلیه با مقدار 4 mGy/MBq - $38/73E$ رسید. شانه ساززاده و همکاران [۶] دوز مؤثر ارگان‌های مختلف بدن ناشی از تزریق دو رادیوداروی تکنسیوم- $99m$ -بومیزین و 67Ga -بومیزین را باهم مقایسه کردند که پس از تزریق 185 MBq از رادیوداروی 67Ga -بومیزین دوز مؤثر رسیده به کل بدن $2/5 \text{ mSv}$ محاسبه شد که این مقدار برای تکنسیوم- $99m$ -بومیزین $1/33 \text{ mSv}$ به دست آمد.

استفاده از کد MCNPX یکی از ابزارهای مهم برای محاسبه دوز داخلی بدن است. برای محاسبه دوز با این روش، داده‌های تجربی ناشی از قربانی کردن موش وارد می‌شود. و ابزار دوزیمتری قابل اعتمادی است.

کد MCNPX کد کامپیوتری Fortran-90 برای ترابرد تابش به روش مونته کارلو است که توانایی ترابرد 34 نوع ذره و چهار یون سبک را تقریباً برای تمام انرژی‌ها دارد. این کد نسخه‌ای ارتقاء یافته از MCNP است و محصول کامپیوتری برای مدل‌سازی برهمکنش‌های تابش با ماده است که از لحاظ کیفیت نتایج تضمین شده است. نحوه تعریف ورودی و ساختار کلی آن شبیه نسخه‌های قدیمی مثلاً MCNP-4C است [۷]. هدف از انجام این تحقیق، محاسبه دوز دریافتی اندام‌های داخلی بدن انسان ناشی از تزریق رادیوداروی تشخیصی تکنسیوم- $99m$ -اکتروتااید به موش است.

مواد و روش‌ها

$99m\text{Tc}$ به صورت سدیم پرتکننتات ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$) از ژنراتور $99\text{Mo}/99m\text{Tc}$ ، از بخش رادیوایزوتوپ سازمان انرژی اتمی ایران تهیه شد. پس از دوشش تکنسیوم- $99m$ از ژنراتور، فرایند نشاندارسازی اکتروتااید صورت پذیرفت. سپس رادیوداروی تهیه شده به موش‌های نرمال با وزن تقریبی $25-30$ گرم (اندازه‌گیری وزن توسط ترازوی با دقت یک‌هزارم انجام شد) با سن حدود 45 تا 60 روز تزریق شد (200 حداکثر میکروکوری). موش‌ها در زمان‌های مختلف 1 ، 4 و 24 ساعت (زمان 24 ساعت پس از تزریق ترکیبات نشان‌دار با تکنسیوم- $99m$ زمان مناسبی برای پایان دادن به محاسبات است و آن به دلیل نیمه عمر نسبتاً پایین رادیونوکلید مورد نظر است) قربانی شدند، اندام‌های داخلی بدن آن‌ها را جدا کرده و سپس درون ظروف مخصوصی قرار داده، وزن کرده و با استفاده از دستگاه شمارنده چاهی یدور سدیم مدل 4001M-ORTEC (شکل ۱) به مدت 10 ثانیه شمارش شدند (این دستگاه شمارنده دارای پنجره انرژی بوده که برای شمارش پرتوهای

بالایی که دارند، در مسیر کوتاهی انرژی خود را از دست می‌دهند. به‌طور مثال از رادیونوکلیدهای ساماریوم- 153 ، رنیوم- 186 و ایتريوم- 90 برای درمان سرطان و کاهش درد متاستاز سرطان‌های پروستات و استخوان، تسکین درد مفاصل استفاده می‌شود. رادیونوکلیدهای گسیلنده گاما به دلیل قدرت نفوذ بالای پرتو گاما و جذب کمتر در بافت معمولاً بیشتر کاربرد تشخیصی دارند. گالیوم- 67 ، تکنسیوم- $99m$ و ید- 123 از مهم‌ترین گسیلنده‌های گاما در پزشکی هسته‌ای هستند. با توجه به اینکه بیماری سرطان یکی از عوامل اصلی بروز مرگ‌ومیر در جهان امروز است و بعد از بیماری‌های قلبی عروقی دومین عامل شایع مرگ‌ومیر در کشورهای توسعه‌یافته و سومین عامل مرگ در کشورهای کمتر توسعه‌یافته است، استفاده از رادیو داروها جایگاه خاصی در تشخیص و درمان این بیماری باز کرده است. بیش از 90 درصد کاربردهای پزشکی رادیونوکلیدها مربوط به فعالیت‌های تشخیصی و حدود 10 درصد مربوط به فعالیت‌های درمانی است. یکی از مهم‌ترین رادیونوکلیدها برای تشخیص بیماری‌هایی همچون سرطان، نقاط عفونی، عملکرد غیرطبیعی اندام‌ها و ...، تکنسیوم- $99m$ است که در پزشکی هسته‌ای کاربرد زیادی دارد. این رادیونوکلید به دلیل خواص مهم ساختاری که دارد می‌تواند در ظرفیت‌های مختلف توسط فرایند نشاندارسازی به داروها یا مواد شیمیایی متصل شود. در صورتی که این رادیونوکلید معروف (تکنسیوم- $99m$) به یکی از مشتقات سوماتواستاتینی به نام اکتروتااید متصل شود، به‌عنوان رادیودارویی برای تشخیص سرطان‌های غدد درون‌ریز (تومورهای با رسپتورهای مثبت سوماتواستاتین) استفاده می‌شود [۱]. برای بررسی توزیع بیولوژیکی چنین ترکیباتی در بدن فعالیت‌های خاصی مانند بررسی توزیع رادیو داروها در بدن حیوانات صورت گرفته است [۲]، مشابه این ترکیبات رادیو داروهای بومیزین (BBN) و UBI هستند که برای تشخیص نقاط سرطانی، عفونی یا بررسی عملکرد اندام‌ها استفاده می‌شوند و با توجه به این‌که توزیع این‌ها در بدن علاوه بر این‌که تصویری از نقاط مورد نظر را به بیمار می‌دهد باعث تحویل دوز پرتویی به بدن می‌شود، کارهای مطالعاتی زیادی برای محاسبه دوز این رادیو داروها در بدن انجام شده است [۳]. آنجلا کلهر و همکاران [۴] دوز ناشی از تزریق $92/5 \text{ MBq}$ از رادیوداروی تکنسیوم- $99m$ -سلفور کلونید را در زنان باردار محاسبه کردند که پس از گذشت 9 ماه حاملگی بیشترین دوز به جنین با مقدار 2 mGy - $7/74E$ رسید. شهبازی و همکاران [۵] دوز جذب شده ارگان‌های مختلف بدن

$$\tilde{A}_{humanOrga}(t) = \tilde{A}_{animanOrga} \times \frac{OrganMass_{human} / BodyMass_{human}}{OrganMass_{animal} / BodyMass_{animal}} \quad (3)$$

محاسبه دوز جذب شده

دوز جذب‌شده در اندام‌ها به‌طور کلی با رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} \quad (4)$$

$d\varepsilon$: انرژی متوسط اشعه یونیزان در جرم dm است.

واحد دوز جذب‌شده متفاوت است که erg/g یا j/kg است. با توجه به اینکه ذرات مختلف می‌توانند در دوزهای یکسان جذبی، آثار متفاوت بیولوژیکی در بافت‌های بدن ایجاد کنند، از این رو می‌توان اثر نوع ذره را در محاسبات دوز در نظر گرفت. دوز ناشی از تأثیرگذاری نوع ذره، به‌عنوان دوز معادل تعریف می‌شود که برابر است با دوز جذب‌شده ضربدر ضریب وزنی پرتو (W):

$$H = D \times W \quad (5)$$

جدول ۱. ضرایب وزنی برخی پرتوها (W) [۱۰]

نوع تابش	ضریب وزنی پرتو
ذرات آلفا	۲۰
ذرات بتا	۱
پرتوهای گاما و ایکس	۱

علاوه بر آن، با توجه به تأثیرپذیری مختلف بافت‌های گوناگون در بدن ناشی از دوزهای یکسان پرتو، برای محاسبه دوز دریافتی با لحاظ کردن نوع بافت از دوز مؤثر استفاده می‌شود. دوز مؤثر E ، کمیتی است که علاوه بر این که نقش پرتوهای مختلف را در بروز آثار بیولوژیکی منظور می‌دارد نقش پرتوگیری بافت‌های مختلف را در نظر می‌گیرد و برابر است با حاصل ضرب دوز معادل در ضریب وزنی بافت [۱۱]. (W_T)

$$E = W_T \times H \quad (6)$$

معادله عمومی برای دوز جذب‌شده در ارگان می‌تواند با رابطه (۷) نشان داده شود.

$$D = \frac{k A \sum n_i E_i \phi_i}{m} \quad (7)$$

D : دوز جذب‌شده. \tilde{A} : اکتیویته انباشت

گامای رادیونوکلیدهای مختلف قابل تنظیم است). قبل از شروع شمارش، نخست پنجره روی رادیونوکلید تکنسیوم-۹۹m تنظیم می‌گردد. مکانیزم آشکارسازی یا شمارش پرتو گاما بدین صورت است که هنگامی که پرتو گامای ناشی از تجمع تکنسیوم-۹۹m در اندام موش از آن اندام به بیرون نفوذ می‌کند، با برخورد به کریستال شمارنده (آشکارساز) تولید نور کرده و نور تولیدشده تولید الکترون می‌کند و جریان الکترونی خروجی نشان‌دهنده آشکارسازی پرتو گامای برخوردار است.



شکل ۱. نمای بیرونی آشکارساز چاهی مورد استفاده در کار مدل 4001M-ORTEC

پس از شمارش میزان اکتیویته اندام‌های مختلف، آن‌ها را توسط ترازو شمارش کرده تا میزان شمارش آن‌ها به ازای هر گرم از وزن بافت به دست آید. نسبت شمارش هر گرم از اندام حیوان به کل شمارش شاهد با ID/g تعریف می‌شود یا به‌طور کلی درصد دوز تزریقی در هر گرم معادل درصد اکتیویته تزریقی در هر گرم $(\%IA / g \equiv \%ID / g)$ است. غلظت اکتیویته تکنسیوم-۹۹m در زمان t ، $C_{tissue}(t)$ به‌عنوان درصد اکتیویته تزریقی در هر یک از ارگان‌ها محاسبه شد [8].

$$C_{tissue}(t) = \frac{A_{tissue}(t) / M_{tissue}}{A_{total}} \quad (1)$$

A_{tissue} : اکتیویته متمرکز شده در بافت نمونه.

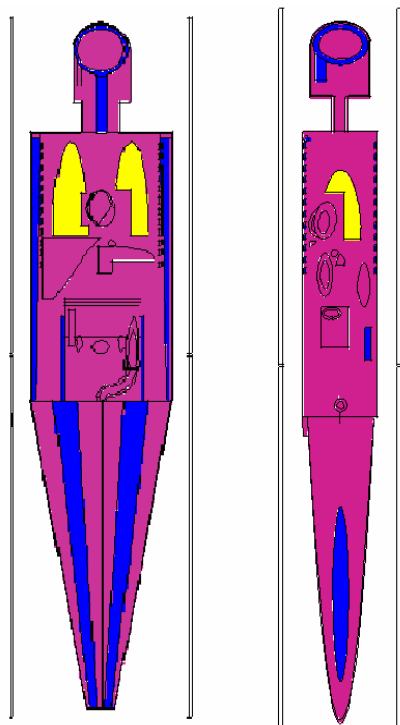
M_{tissue} : جرم بافت نمونه.

A_{total} : اکتیویته کل تزریقی به موش.

سپس اکتیویته انباشت در ارگان چشمه با رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\tilde{A}_h = \int_{t_1}^{\infty} A_h(t) dt \quad (2)$$

$A_h(t)$: اکتیویته هر ارگان در زمان t است



شکل ۲. مدل «مرد بزرگسال» فانتوم MIRD

یافته‌های پژوهش

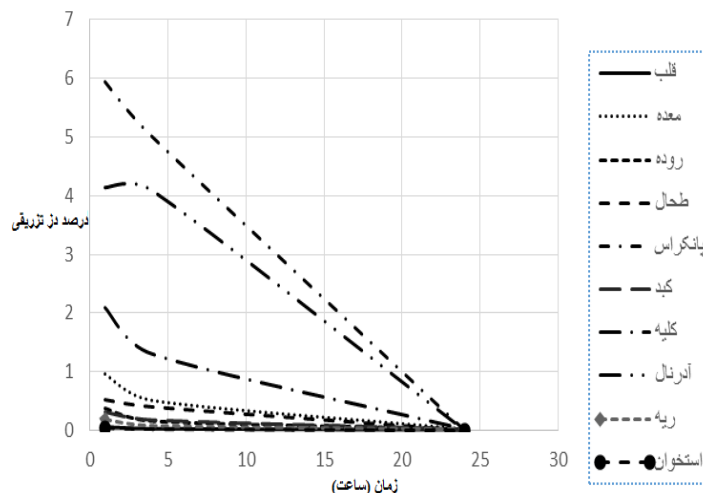
پس از تزریق رادیوداروی مذکور به موش‌ها، دسته نخست پس از گذشت ۱ ساعت از زمان تزریق رادیودارو، دسته دوم پس از ۴ ساعت و دسته سوم پس از گذشت ۲۴ ساعت، قربانی شده و پس از جداسازی اندام‌ها و شمارش فعالیت آن‌ها با استفاده از آشکارساز چاهی یدور سدیم، درصد دوز تزریقی در هر گرم از اندام‌ها به دست آمد.

n_i : تعداد تابش‌های با انرژی E گسیل شده از تبدیل هسته‌ای.
 ϕ_i : کسر انرژی جذب‌شده در ارگان هدف.
 K: ثابت تناسب است.

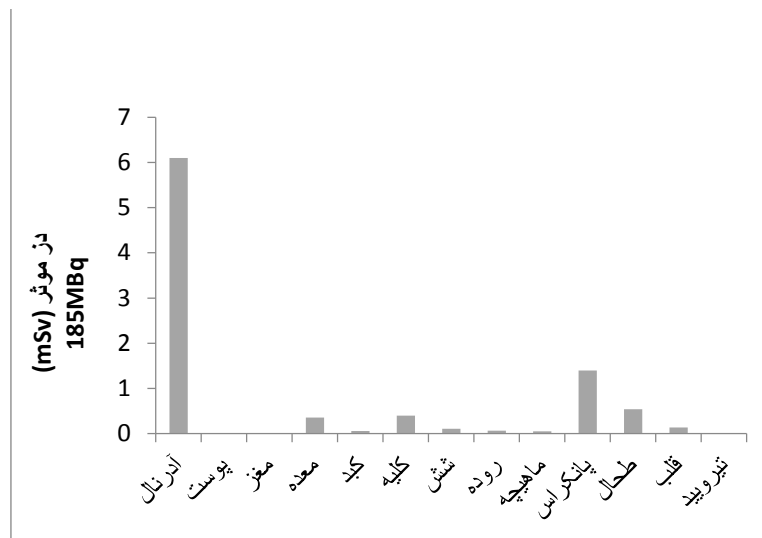
با محاسبه اکتیویته انباشت از رابطه (۲) برای موش و سپس تبدیل آن به اکتیویته انباشت انسان از رابطه (۳)، می‌توان دوز دریافتی ارگان‌های مختلف را با استفاده از رابطه (۷) محاسبه کرد. با در نظر گرفتن اندام‌های مختلف به‌عنوان چشمه و هدف، دوز محاسبه شده برای هر اندام از مجموع دوز دریافتی از پرتوهای گسیل شده از اندام‌های دیگر به‌علاوه دوز دریافتی از خود اندام به دست می‌آید.

همان‌طور که در مقدمه نیز اشاره شد، کد MCNP، کد همه منظوره ترابرد ذرات است که در این مطالعه با استفاده از آن، دوز مؤثر ناشی از پرتوهای گامای گسلی شده از چشمه تکنسیوم-99m در اندام‌های مختلف بدن محاسبه می‌شود. یکی از معروف‌ترین فانتوم‌های دوزیمتری در کد MCNP فانتوم MIRD است که در سال ۱۹۹۶ توسط محققان دانشگاه هانگیانگ کره جنوبی نوشته شده است [۱۲]. در این مسئله از مدل «مرد بزرگسال» فانتوم MIRD متشکل از مواد بافت نرم، بافت استخوان و بافت ریه استفاده شده است (شکل ۲).

چشمه رادیودارویی تکنسیوم-99m به‌عنوان چشمه‌ای حجمی با توزیع یکنواخت و با استفاده از تکنیک رد ذرات در بافت‌های مختلف (مطابق توزیع رادیودارو در موش و تبدیل آن به مدل انسانی که قبلاً در آزمایش تجربی به‌دست آمده بود) قرار داده شد. انرژی چشمه ۱۴۰ keV و از تالی (MeV/g) F6 برای محاسبه دوز استفاده شد. در انتها به دلیل اینکه نتایج کد MCNP به ازای یک ذره محاسبه می‌شود، خروجی در میزان اکتیویته انباشت در اندام‌ها ضرب شد و تبدیل واحد (MeV/g) به صورت پذیرفت.



شکل ۳. تغییرات درصد دوز تزریقی بر گرم (ID/g) در اندام‌های مختلف



شکل ۴. دوز مؤثر ناشی از تزریق ۱۸۵ MBq رادیوداروی تکنسیوم-۹۹m-اکتروتاید در هر گرم از ارگان‌های مختلف بدن انسان

تومور یا متاستازهای ناشی از آن را شناسایی کرد. یکی از مهم‌ترین این ترکیبات، اکتروتاید است که در تومورهای دارای گیرنده سوماتواستاتینی تمرکز قابل ملاحظه‌ای دارد. در این مطالعه با استفاده از کد شبیه‌سازی MCNPX، دوز دریافتی اندام‌های داخلی بدن ناشی از تزریق رادیوداروی تکنسیوم-۹۹m-اکتروتاید (از آنالوگ‌های سوماتواستاتین) محاسبه شد. با توجه به جایگاه مناسب مشتقات سوماتواستاتینی برای تصویربرداری از تومورها در پزشکی هسته‌ای، این ترکیب شیمیایی مهم موقعیت ویژه‌ای در انکولوژی پیدا کرده است. نشاندارسازی این مشتق سوماتواستاتینی با نوکلیدهای مختلف انجام می‌شود، اما در این مطالعه از تکنسیوم-۹۹m برای نشاندارسازی استفاده شد. با توجه به اینکه تکنسیوم-۹۹m به‌عنوان رادیونوکلیدی با انرژی ایدئال و مناسب برای تصویربرداری اسپکت به شمار می‌رود. از این رو با استفاده از فرایند نشاندارسازی، تکنسیوم-۹۹m به اکتروتاید متصل شد. و با تزریق این ترکیب نشان‌دار به موش، انباشت آن در اندام‌های مختلف به دست آمد. با داشتن داده‌های مربوط به اندام‌های مختلف مانند کلیه، پانکراس، معده، روده، استخوان، ریه، طحال، آدرنال، کبد و قلب و... در موش، محاسبات دوز در انسان بر اساس توزیع رادیودارو در موش‌های نرمال برآورد شد. بیشترین دوز جذب‌شده مؤثر مربوط به آدرنال $185 \text{ MBq} / 6 \text{ mSv}$ و پانکراس $185 \text{ MBq} / 1.4 \text{ mSv}$ است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که آدرنال و پانکراس به دلیل دوز دریافتی مؤثر بالا، به‌عنوان اندام‌های در معرض خطر در تصویربرداری با رادیوداروی تکنسیوم-۹۹m-اکتروتاید هستند.

شکل (۳) نمودار تغییرات درصد دوز تزریقی در هر گرم یا (%ID/g) در زمان‌های ۱، ۴ و ۲۴ ساعت پس از تزریق داخل وریدی رادیودارو در اندام‌های مختلف موش را نشان می‌دهد. پس از تزریق، افزایش انباشت اکتیویته مشاهده می‌شود و سپس با گذشت زمان دفع رادیودارو با توجه به نیمه عمر بیولوژیکی آن انجام می‌شود (شکل ۳).

در ادامه با تبدیل نتایج به‌دست‌آمده از تشریح موش به مدل انسانی و با داشتن اکتیویته انباشت در اندام‌های مختلف، فانتوم انسان در کد MCNPX شبیه‌سازی شد و میزان دوز دریافتی اندام‌های مختلف در شکل ۴ نشان داده شد. بیشترین دوز مؤثر دریافتی از توزیع بیولوژیکی رادیودارو، مربوط به آدرنال و پانکراس با دوز جذب شده مؤثر حدود $185 \text{ MBq} / 6 \text{ mSv}$ و $185 \text{ MBq} / 1.4 \text{ mSv}$ است و از این رو در اسکن با این رادیودارو اندام‌های فوق در معرض خطر بیشتری هستند (شکل ۴).

بحث و نتیجه‌گیری

رادیو داروهای با رادیونوکلید گسیلنده پرتوهای گاما اغلب برای تشخیص بیماری‌ها و بررسی عملکرد اندام‌های داخل بدن استفاده می‌شود. از مهم‌ترین گسیلنده‌های پرتوهای گاما می‌توان Tc-99m را نام برد. نشان‌دار کردن ترکیبات شیمیایی مصنوعی، طبیعی یا داروها با Tc-99m کمک شایانی برای ردیابی این ترکیبات در بدن و ارزیابی پخش آن‌ها در اندام‌ها خواهد داشت. با توجه به وجود گیرنده‌های مختلف بر سلول‌های تومورهای سرطانی می‌توان با نشان‌دار کردن ترکیباتی که قابلیت اتصال به این گیرنده‌ها را دارند محل

References

- [1]. Shirmardi S, Gandomkar M, Mazidi M, Shafiei M, Maragheh MG. Synthesis and evaluation of a new bombesin analog labeled with ^{99m}Tc as a GRP receptor imaging agent. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2011; 288: 327-335.
- [2]. Sadeghzadeh M, Shanehsazzadeh S, Lahooti A. Assessment of the effective absorbed dose of 4-benzyl-1-(3-[^{125}I]-iodobenzylsulfonyl) piperidine in humans on the basis of biodistribution data of rats. *Nuclear medicine communications*. 2015; 36: 90-94.
- [3]. Shirmardi SP, Gandomkar M, Maragheh MG, Shamsaei M. Preclinical evaluation of a new bombesin analog for imaging of gastrin-releasing peptide receptors. *Cancer biotherapy & radiopharmaceuticals*. 2011; 26: 309-316.
- [4]. Keleher A, Wendt R, Delpassand E, Stachowiak AM, Kuerer HM. The safety of lymphatic mapping in pregnant breast cancer patients using $\text{Tc-}^{99\text{m}}$ sulfur colloid. *The breast journal*. 2004; 10: 492-495.
- [5]. Shahbazi-Gahrouei D, Cheky M, Moslehi M. Estimation of organ absorbed doses in patients from $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -diphosphonate using the data of MIRDose software. *Journal of medical signals and sensors*. 2012; 2.
- [6]. Shanehsazzadeh S, Lahooti A, Shirmardi SP, Erfani M. Comparison of estimated human effective dose of ^{67}Ga and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -labeled bombesin based on distribution data in mice. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015; 305: 513-520.
- [7]. MCNP X, Monte Carlo Team, MCNP a general purpose Monte Carlo n-particle transport code, Tech. rep., Los Alamos National Laboratory, 2003.
- [8]. Jalilian AR, Shanehsazzadeh S, Akhlaghi M, Garousi I, Rajabifar S, Tavakoli M. Preparation and biodistribution of [^{67}Ga]-DTPA-gonadorelin in normal rats. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2008; 278: 123-129.
- [9]. Sparks R, Avdogan B. Comparison of the effectiveness of some common animal data scaling techniques in estimating human radiation dose, Oak Ridge Associated Universities, TN (United States), 1999.
- [10]. Mountford P. Risk assessment of the nuclear medicine patient. *The British journal of radiology*. 1997; 70: 671-684.
- [11]. Valentin J, Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals:(Addendum 2 to ICRP Publication 53) ICRP Publication 80 Approved by the Commission in September 1997. *Annals of the ICRP*. 1998; 28: 1-1.
- [12]. Lazarine AD, Medical physics calculations with MCNP: A primer Texas A&M University; 2006.

Calculation of the effective dose in the internal organs from ^{99m}Tc -Somatostatine analogue using MCNPX simulation code

Mohsen Mahmoudi Mirhashemi¹, Seyed Pezhman Shirmardi^{2*}, Ali Negarestani¹,
Mostafa Erfani²

1. Department of Nuclear Engineering, Kerman Graduate University, Iran
2. Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), P.O.Box: 14395-836, Tehran, Iran

Abstract

Background & Objectives Radiopharmaceuticals have several applications in medicine such as diagnostic and therapeutic. Radiopharmaceuticals with gamma emitter radionuclides are used more in diagnostics. It is due to the low absorption of gamma in the tissue relative to the particles of beta and alpha. The aim of this research is calculation of effective dose distribution in human body due to injection of ^{99m}Tc -Octrotide (Somatostatine analogue) in mice body.

Materials & Methods Effective dose in human body is estimated using MIRD phantom and MCNPX for different organs. Energy of source and tally are considered 140keV and F6, respectively.

Results Effective dose after injection of ^{99m}Tc - Octreotide is estimated by MCNPX simulation code. The adrenals and pancreas received the most effective dose relative to the other organs 6mSv/185MBq, 1.5 mSv/185MBq, respectively.

Discussion & Conclusion The results showed that the adrenal and pancreas are the organs of at risk in ^{99m}Tc -Octreotide radiopharmaceutical imaging..

Received: 2017/09/16

Accepted: 2018/07/08

Keywords: MCNPX simulation code, MIRD phantom, radiopharmaceutical, ^{99m}Tc -Octreotide.