

ارزیابی دز مؤثر برای رادیوداروی ^{18}F cis-FPro با استفاده از فانتوم‌های مرجع ICRP

علیرضا صدرممتاز* و فرزین صفرنژاد

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

پست الکترونیکی: sadremontaz@yahoo.co.uk

چکیده

رادیوداروی cis-4-[^{18}F]fluoro-L-proline یکی از آمینو اسیدهای نشان‌دار شده با رادیونوکلیئید فلور-۱۸ است که به دلیل دارا بودن پرولین، می‌تواند به عنوان یک ردیاب برای شناسایی آهنگ سنتز غیرعادی کولائین مورد استفاده قرار گیرد. هدف از این مقاله برآورد دز جذبی و دز مؤثر ناشی از این رادیودارو با استفاده از فانتوم‌های مرجع ICRP و همچنین ضرایب وزنی بافت ICRP 103 است که تاکنون انجام نشده است. برای این منظور از روش MIRD برای برآورد دز جذبی اعضای مختلف استفاده شده است. داده‌های مربوط به توزیع رادیودارو در بدن از یک مطالعه متتشر شده در این زمینه برداشته شده است. همچنین به منظور اعتبار سنجی و مقایسه نتایج، مقادیر دز جذبی و دز مؤثر برای فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL محاسبه شده است. بر اساس نتایج، ضریب دز مؤثر ناشی از این رادیودارو با استفاده از ضرایب وزنی بافت ICRP 103 برابر 1.0×10^{-2} میلی سیورت بر مگابکرل می‌باشد. بالاترین دز جذبی بعد از تزریق این رادیودارو مربوط به کلیه‌ها می‌باشد. همچنین برای فعالیت‌های تزریقی یکسان، این رادیودارو منجر به دز مؤثر کمتری به بیمار نسبت به رادیوداروی FDG می‌شود.

کلیدواژه‌گان: رادیوداروی ^{18}F cis-FPro، روش MIRD، فعالیت تجمعی، ضریب دز جذبی، ضریب دز مؤثر.

۱. مقدمه

آمینو اسیدهای نشان‌دار شده با فلور-۱۸ انجام شده است. یکی از نمونه‌های آمیدوارکننده، cis-4-[^{18}F]fluoro-L-proline (cis-FPro) می‌باشد. پرولین یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده پروتئین‌های ساختاری پستانداران است. بعضی از بیماری‌ها مانند فیبروز ریه و رشد تومور، همراه با افزایش موضعی سنتز کولائین هستند. در نتیجه ^{18}F cis-FPro به عنوان یک ردیاب بالقوه برای شناسایی آهنگ سنتز غیرعادی کولائین پیشنهاد شده است. در گذشته مطالعه‌ای توسط Borner و همکارانش در مورد میزان دز جذبی و دز مؤثر ناشی از این

از آمینو اسیدهای نشان‌دار شده با گسیلنده‌های پوزیترونی در آنکولوژی و عصب‌شناسی استفاده می‌شود. آمینواسیدها به دلیل جذب پایین در بافت عادی مغز، به ویژه برای ارزیابی تومورهای مغزی جذاب هستند [۱]. آهنگ سنتز پروتئین و در نتیجه جذب آمینو اسید در بسیاری از تومورها در مقایسه با بافت عادی مغز، بالاتر است [۲]. اما اکثر آمینواسیدهای پیشنهاد شده برای PET تنها می‌توانند با کربن-۱۱ نشان‌دار شوند که نیمه عمر کوتاهی (۲۰ دقیقه) دارد و استفاده از آن‌ها را محدود می‌کند [۳، ۴]. تلاش‌های زیادی برای ساخت و ارزیابی

که در آن $\tilde{A}(r_s, T_D)$ فعالیت تجمعی یا تعداد کل فروپاشی‌های هسته‌ای روی داده در عضو چشمه در مدت زمان حضور ماده پرتوزا در آن است. مقادیر فعالیت تجمعی یا بر اساس مدل‌های بیوکینتیک و با استفاده از حل عددی یک مجموعه معادلات دیفرانسیلی، یا با تصویربرداری PET یا SPECT و یا با نمونه‌برداری از بافت تعیین می‌شود [۶]. همچنین $S(r_T \leftarrow r_S)$ عبارت است از دز جذبی در عضو هدف به ازای یک فروپاشی در عضو چشمه که معمولاً به اختصار مقدار S نامیده می‌شود. مقادیر این کمیت یا با استفاده از روش مونت کارلو و فانتوم‌های محاسباتی یا با تصاویر به دست آمده از آناتومی بیمار توسط CT یا MRI به دست می‌آید.

مقدار فعالیت تجمعی برای بعضی از رادیوداروهای پرکاربرد توسط ICRP در مدارک شماره ۵۳، ۸۰، ۱۰۶ و ۱۲۸ [۱۰-۷] آورده شده است. در این مدارک، توزیع رادیودارو در بدن به صورت جدولی از فعالیت تجمعی اعضا ضایچه‌ها در واحد فعالیت تزریقی به بدن بر حسب واحد زمان (ثانیه، دقیقه، ساعت یا روز) داده شده است. این پارامتر که در مدارک MIRD Pamphlet 21 ضریب فعالیت تجمعی^۳ نامیده شده است در گذشته به عنوان زمان اقامت^۴ شناخته می‌شد. مدارک ICRP، شامل داده‌های رادیوداروهای جدید مانند ^{18}F cis-FPro، نمی‌باشند. به این دلیل، از داده‌های منتشر شده توسط Borner در مورد توزیع این رادیودارو در بدن استفاده شده که در جدول ۱ ارائه شده است. Borner و همکارانش از تصویربرداری PET شش بیمار برای برآورد توزیع این رادیوداروی در بدن انسان ^{18}F cis-FPro استفاده کردند [۵].

رادیودارو انجام شده است [۵]. در تحقیق مذکور، دز جذبی و دز مؤثر با استفاده از فانتوم‌های ریاضی و ضرایب وزنی بافت پیشنهادی در مدرک شماره ۶۰ کمیسیون بین‌المللی حفاظت رادیولوژیکی^۱ (ICRP) محاسبه شده است. با وجود معرفی فانتوم‌های مرجع در مدرک ICRP 110 و تجدید نظر در مقادیر ضرایب وزنی بافت و روش محاسبه دز مؤثر در ICRP 103، تاکنون مطالعه‌ای در مورد محاسبه دز جذبی و دز مؤثر برای رادیوداروی ^{18}F cis-FPro با استفاده از فانتوم‌های مرجع ICRP و ضرایب وزنی بافت ICRP 103 صورت نگرفته است.

هدف از این مقاله، ارزیابی دز جذبی و دز مؤثر برای رادیوداروی ^{18}F cis-FPro با استفاده از فانتوم‌های مرجع ICRP و ضرایب وزنی بافت ICRP 103 می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

در این مقاله به منظور محاسبه دز جذبی ناشی از رادیوداروی ^{18}F cis-FPro از روش پیشنهاد شده توسط کمیته دز داخلی پزشکی^۲ (MIRD) استفاده شده است. این روش امکان محاسبه دز عضو هدف را در اثر حضور ماده پرتوزا در یک یا چند عضو ضایچه فراهم می‌کند. در روش MIRD فرض می‌شود که ماده پرتوزا به صورت یکنواخت در عضو چشمه توزیع شده است. دز جذبی میانگین، $D(r_T, T_D)$ ، به عضو هدف، r_T ، در مدت زمان T_D بعد از تزریق ماده پرتوزا از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۶]:

$$D(r_T, T_D) = \sum_{r_S} \tilde{A}(r_S, T_D) S(r_T \leftarrow r_S) \quad (1)$$

³ Time-integrated activity

⁴ Residence time

¹ International Commission on Radiological Protection (ICRP)

² Medical Internal Radiation Dose (MIRD)

جدول (۱): توزیع رادیوداروی ^{18}F cis-FPro در بدن [۵].

عضو چشمه	ضریب فعالیت تجمعی (ساعت)
بقیه اعضای بدن ^۱ (RB)	۲/۲۴۰۰
کبد	۰/۰۹۲۶
کلیه‌ها	۰/۰۵۹۳
لوزالمعده	۰/۰۰۸۵
محتوای مثانه	۰/۰۷۰۰

تجدید نظر شده ORNL با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX برای اعضای چشمه مشخص شده در جدول ۱ محاسبه شده است. لازم به یادآوری است که در مجموعه فانتوم‌های تجدید نظر شده ORNL، از فانتوم ۱۵ ساله همچنین به عنوان فانتوم زن بالغ نیز استفاده می‌شود. جزئیات بیشتر در مورد نحوه محاسبه مقادیر S در فانتوم‌های مرجع ICRP و فانتوم‌های تجدید نظر شده ORNL و اعضای هدف مورد نظر در جای دیگر ارائه شده است [۱۵، ۱۶].

۱.۲. محاسبه دز جذبی در واحد فعالیت تزریقی

در صورتی که در رابطه ۱ به جای فعالیت تجمعی از ضریب فعالیت تجمعی استفاده شود، مقدار دز جذبی در واحد فعالیت تزریقی به بدن (یا ضریب دز جذبی^۲) به دست می‌آید. به عبارتی، اگر مقادیر S بر حسب $\text{mGy}/(\text{MBq}\cdot\text{s})$ در مقدار ضریب فعالیت تجمعی بر حسب ثانیه ضرب شود، مقدار ضریب دز جذبی بر حسب mGy/MBq به دست خواهد آمد. بر این اساس و با استفاده از مقادیر محاسبه شده S برای رادیونوکلید فلئور-۱۸ و مقادیر ضریب فعالیت تجمعی در جدول ۱، ضریب دز جذبی برای اعضای هدف محاسبه شده است. لازم به یادآوری است که اصطلاح "بقیه اعضای بدن" عبارت است از "کل بدن"^۳ (TB) به جز اعضای موجود در جدول توزیع رادیودارو. به عنوان مثال در مورد رادیوداروی ^{18}F cis-FPro، با توجه به جدول ۱، بقیه اعضای بدن عبارت است از کل بدن به جز کبد، کلیه‌ها، لوزالمعده و محتوای مثانه. در نتیجه با توجه به توزیع متفاوت رادیوداروهای مختلف در بدن، اصطلاح بقیه اعضای بدن برای هر رادیودارو متفاوت است. به این دلیل، معمولاً مقادیر S برای بقیه اعضای بدن (RB) محاسبه نشده و در جداول منتشر شده مقادیر S موجود

همان گونه که قبلاً اشاره شد، مقادیر S را می‌توان با روش مونت کارلو و با استفاده از فانتوم‌های محاسباتی محاسبه کرد. در این مقاله، از فانتوم‌های مرجع بالغ ICRP استفاده شده است. این فانتوم‌ها در سال ۲۰۱۰ در مدرک ICRP 110 معرفی شده‌اند [۱۱]. فانتوم‌های مرجع ICRP بر اساس تصاویر به دست آمده از دو فرد با ابعاد نزدیک به مقادیر مرجع داده شده در ICRP 89 [۱۲] تهیه شده‌اند. همچنین به منظور اعتبارسنجی و از آنجایی که دزهای گزارش شده توسط *Borner* برای رادیوداروی ^{18}F cis-FPro بر اساس فانتوم‌های ریاضی ORNL [۱۳] می‌باشند، دزهای جذبی و دز مؤثر برای رادیوداروی مذکور با استفاده از فانتوم‌های تجدید نظر شده ORNL نیز محاسبه شده است. این فانتوم‌ها در سال ۲۰۰۶ و توسط *Han* و همکارانش توسعه یافته و شامل اصلاحاتی بر روی فانتوم‌های اصلی ORNL می‌باشند [۱۴]. توضیحات بیشتر در مورد جزئیات فانتوم‌های مرجع ICRP و فانتوم‌های تجدید نظر شده ORNL به ترتیب در مدرک ICRP 110 و در مقاله منتشر شده توسط *Han* آورده شده است.

مقادیر پارامتر S رادیونوکلید فلئور-۱۸ برای فانتوم‌های مرجع مرد و زن بالغ ICRP با استفاده از کد مونت کارلوی GATE و برای فانتوم‌های مرد و زن بالغ از مجموعه فانتوم‌های

³ Total Body (TB)

¹ Reminder of Body (RB)

² Absorbed dose coefficient

آن عضو یا اعضا نباید در نظر گرفته شود. در مدارک ICRP در صورتی که هدف ارائه مقدار ضریب فعالیت تجمعی برای RB با شد در ICRP 53 از عبارت Remaining tissues و از ICRP 80 به بعد از عبارت Other organs and tissues استفاده شده است.

۲.۲. محاسبه دز مؤثر در واحد فعالیت تزریقی

در این مقاله مقدار دز مؤثر در واحد فعالیت تزریقی (ضریب دز مؤثر^۲) با استفاده از روش ارائه شده در مدارک ICRP 60 [۱۸] و ICRP 103 [۱۹] محاسبه شده است. بر اساس مدرک ICRP 60، دز مؤثر از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E = \sum_T w_T H_T(r_T, T_D) \quad (۵)$$

که در آن w_T ضریب وزنی بافت و $H_T(r_T, T_D)$ مقدار دز معادل در بافت است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H(r_T, T_D) = \sum_R w_R D(r_T, T_D) \quad (۶)$$

که در آن w_R ضریب وزنی پرتو و $D(r_T, T_D)$ مقدار دز جذبی در بافت می‌باشد. از آنجایی که برای تمام تابش‌های مورد استفاده در پزشکی هسته‌ای تشخیصی، w_R برابر یک است، مقدار دز معادل از نظر عددی برابر دز جذبی است [۷]. در نتیجه رابطه ۵ می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$E = \sum_T w_T D(r_T, T_D) \quad (۷)$$

مقدار ضرایب وزنی بافت توزیه شده در ICRP 60 و ICRP 103 در جدول ۲ آورده شده است. مقدار ضریب وزنی بافت مربوط به غدد جنسی در میانگین دز جذبی بی‌ضه‌ها و تخمدان‌ها ضرب می‌شود. مقدار ضریب وزنی بافت برای "بقیه بافت‌ها"^۳ یعنی ۰/۰۵، در مقدار میانگین وزنی-جرمی دز جذبی در بافت‌های اشاره شده در پانویس جدول ۲ ضرب می‌شود.

نیست. بنابراین یک روش، استفاده از مقادیر S به دست آمده برای کل بدن به عنوان چشمه است. برسی‌ها نشان داده که این روش ممکن است منجر به اختلاف زیاد در دز اعضای هدف شود. اسنایدر^۱ و همکارانش روشی برای برآورد مقادیر S برای بقیه اعضای بدن به صورت زیر ارائه کرده‌اند [۱۷]:

$$S(r_T \leftarrow RB) = \frac{m_{TB}}{m_{RB}} S(r_T \leftarrow TB) - \sum_{r_S} \frac{m_S}{m_{RB}} S(r_T \leftarrow r_S) \quad (۲)$$

که در این رابطه، m_{TB} جرم کل بدن و m_{RB} جرم بقیه اعضای بدن است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$m_{RB} = m_{TB} - \sum_S m_S \quad (۳)$$

که در آن m_S جرم عضو چشمه می‌باشد. در روابط ۲ و ۳ باید تمام اعضای چشمه در نظر گرفته شوند. لازم به ذکر است که در بعضی از مواقع به خصوص در جداول ارائه شده در مدارک ICRP، مقدار ضریب فعالیت تجمعی برای کل بدن ارائه شده است. باید دقت کرد که در این موارد برای محاسبه دز، لازم است که ابتدا مقدار ضریب فعالیت تجمعی برای بقیه اعضای بدن با رابطه زیر محاسبه شود:

$$\tilde{A}_{RB} = \tilde{A}_{TB} - \sum_S \tilde{A}_S \quad (۴)$$

که در آن \tilde{A}_{RB} ، \tilde{A}_{TB} و \tilde{A}_S به ترتیب عبارتند از ضریب فعالیت تجمعی بقیه اعضای بدن، کل بدن و عضو چشمه. سپس مقادیر پارامتر S برای بقیه اعضای بدن با رابطه ۲ محاسبه شده و در مقدار محاسبه شده از رابطه ۴ ضرب شود. همچنین در مواردی، مقدار ضریب فعالیت تجمعی گزارش شده برای کل بدن به صورت Total body (excluding ...) آورده شده است. در این موارد باید دقت کرد که سهم مربوط به اعضای اشاره شده در پرانتز از مقدار ضریب فعالیت تجمعی گزارش شده برای کل بدن کم شده و در نتیجه در روابط ۲ تا ۴، سهم

³ Remainder tissues

¹ Snyder

² Effective dose coefficient

جنسیت مرد و زن محاسبه شود. ضرایب وزنی بافت ارائه شده توسط ICRP مقادیر میانگین برای سنین و جزسیت‌های مختلف بوده و در نتیجه مقدار دز مؤثر بر اساس میانگین دزهای جذبی برآورد شده برای بافت T در فانتوم مرد مرجع، $D(r_T, T_D)^{Male}$ ، وزن مرجع، $D(r_T, T_D)^{Female}$ و بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E = \sum_T w_T \left[\frac{D(r_T, T_D)^{Male} + D(r_T, T_D)^{Female}}{2} \right] \quad (۸)$$

مقدار ضریب وزنی بافت برای "بقیه بافت‌ها" یعنی ۰/۱۲ در مقدار میانگین حسابی دز جذبی در ۱۳ بافت اشاره شده در پانویس جدول ۲ (۱۲ بافت مشترک به اضافه یک بافت اختصاصی برای مرد یعنی پروستات و یک بافت اختصاصی برای زن یعنی رحم/دهانه رحم) ضرب می‌شود. در صورتی که در روابط ۷ و ۸ از ضریب دز جذبی به جای دز جذبی استفاده شود، مقدار ضریب دز مؤثر بر حسب mSv/MBq به دست خواهد آمد.

۳.۲. اعتبارسنجی نتایج

به منظور اعتبارسنجی نتایج، مقادیر دز جذبی و دز مؤثر محاسبه شده برای فانتوم مرد بالغ از مجموعه فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL محاسبه و با مقادیر منتشر شده توسط Borner مقایسه شده است. نتایج در جدول ۳ آورده شده است. به جز در یک مورد (لوزالمعده)، مقدار اختلاف نسبی بین نتایج کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. میانگین اختلاف نسبی بین نتایج برابر $52/23 \pm 5/0$ درصد می‌باشد. همچنین اختلاف نسبی بین ضریب دز مؤثر، برابر ۳/۵۹ درصد می‌باشد. در نتیجه توافق بسیار خوبی بین نتایج به دست آمده در این مقاله با مقادیر گزارش شده توسط Borner وجود دارد. در انتها باید توجه کرد که فانتوم‌های ریاضی ORNL و همچنین فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL، فانتوم‌هایی دوجنس‌سه می‌باشند و در نتیجه هم شامل اندام‌های جنسی زنانه و هم شامل اندام‌های جنسی مردانه هستند. به همین دلیل فانتوم مرد بالغ شامل

در صورتی که یکی از اعضای موجود در پانویس، بالاترین دز جذبی را در بین تمام اعضای بدن دریافت کند، مقدار ضریب ۰/۰۲۵ به آن بافت تعلق گرفته و ضریب ۰/۰۲۵ به میانگین وزنی-جرمی دز جذبی در بقیه اعضای اشاره شده در پانویس اختصاص داده خواهد شد. بر اساس روش ICRP 60، یک دز مؤثر جداگانه برای فانتوم مرد بالغ و یک دز مؤثر جداگانه برای فانتوم زن بالغ محاسبه می‌شود.

جدول (۲): ضرایب وزنی بافت توصیه شده توسط ICRP

عضو	ICRP 60 [18]	ICRP 103 [19]
مغز استخوان، روده بزرگ، ریه، معده	۰/۱۲	۰/۱۲
سینه‌ها	۰/۰۵	۰/۱۲
بقیه بافت‌ها*	۰/۱۲	۰/۰۵
غدد جنسی	۰/۲۰	۰/۰۸
مثانه	۰/۰۵	۰/۰۴
مری	۰/۰۵	۰/۰۴
کبد	۰/۰۵	۰/۰۴
تیروئید	۰/۰۵	۰/۰۴
سطوح استخوان	۰/۰۱	۰/۰۱
پوست	۰/۰۱	۰/۰۱
مغز	-	۰/۰۱
غدد بزاقی	-	۰/۰۱
مجموع	۱/۰۰	۱/۰۰

* بقیه بافت‌ها در ICRP 60: غده فوق کلیوی، مغز، روده کوچک، کلیه‌ها، ماهیچه‌ها، لوزالمعده، طحال، تیموس، رحم.

بقیه بافت‌ها در ICRP 103: غده فوق کلیوی، ناحیه ET^۱، کیسه صفرا، قلب، کلیه‌ها، غدد لنفاوی، ماهیچه‌ها، مخاط دهان، لوزالمعده، روده کوچک، طحال، تیموس، پروستات (مختص مردان)، رحم/دهانه رحم (مختص زنان). بر اساس توابع صیبه‌های موجود در ICRP 103، برای مقاصد حفاظت پرتوی مفید است که یک دز مؤثر واحد برای هر دو

¹ Extrathoracic (ET) region

در ابتدا لازم به یادآوری است که فانتوم‌های مرجع ICRP فانتوم‌هایی اختصاصاً صی برای هر جنس می‌باشند و در نتیجه فانتوم مرد بالغ شامل اندام‌های جنسی زنانه یعنی تخمدان‌ها و رحم نبوده و همچنین فانتوم زن بالغ شامل اندام‌های جنسی مردانه یعنی پروستات و بیضه‌ها نیست. از جدول ۴ مشخص است که در هر دو فانتوم مرد و زن بالغ، کلیه‌ها، دیواره مثانه و ریه‌ها بالاترین دز جذبی را دریافت می‌کنند. کمترین میزان دز جذبی نیز در هر دو فانتوم مربوط به پوست می‌باشد. در تمام موارد، ضریب دز جذبی یک عضو در فانتوم زن بالغ بیشتر از ضریب دز جذبی همان عضو در فانتوم مرد بالغ است. دلیل این امر کوچک‌تر بودن فانتوم زن بالغ و در نتیجه فاصله کمتر بین اعضا در این فانتوم و همچنین جرم کمتر اعضا در آن است. ریزیب میزان ضریب دز مؤثر محاسبه شده بر اساس روش ICRP 60، برای فانتوم‌های مرد و زن بالغ به ترتیب برابر 1.0×10^{-2} و 1.75×10^{-2} میلی‌سیورت بر مگابکرل می‌باشد. باید توجه کرد از آنجایی که بالاترین دز جذبی در هر دو فانتوم مربوط به کلیه‌ها می‌باشد و بر اساس پانویس جدول ۲، کلیه‌ها یکی از اعضا موجود در فهرست بقیه بافت‌های ICRP 60 می‌باشد، ضریب 0.25 به آن اختصاص داده شده است. میزان ضریب دز مؤثر بر اساس روش ICRP 103 نیز برابر 1.0×10^{-2} میلی‌سیورت بر مگابکرل می‌باشد.

مقایسه نتایج فانتوم‌های مرجع ICRP با نتایج فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL نشان می‌دهد که برای فانتوم مرد بالغ، مقدار ضرایب دز جذبی فانتوم مرجع ICRP به طور میانگین $2.0/3.4 \pm 2.2$ در صد بیشتر از ضرایب دز جذبی در فانتوم تجدیدنظر شده ORNL است. اگرچه در بسیاری از موارد اختلاف نسبی بین نتایج کمتر از ۱۰ درصد است اما در مواردی مانند غده فوق‌کلیوی، ریه‌ها و دیواره مثانه، اختلاف نسبی بین نتایج بیشتر از ۲۰ درصد می‌باشد. برای فانتوم زن بالغ، مقدار ضرایب دز جذبی فانتوم مرجع ICRP به طور میانگین

اندام‌های جنسی زنانه یعنی رحم و تخمدان می‌باشد. در واقع فانتوم مرد بالغ همزمان نشان‌دهنده یک زن بالغ با ابعادی بزرگتر از زن مرجع می‌باشد.

جدول (۳): مقایسه ضریب دز جذبی و دز مؤثر به دست آمده در این

تحقیق با نتایج منتشر شده توسط Borner برای فانتوم مرد بالغ از

مجموعه فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL.

عضو هدف	این تحقیق (mGy/MBq)	Borner (mGy/MBq)
غده فوق کلیوی	1.35×10^{-2}	1.43×10^{-2}
روده کوچک	1.37×10^{-2}	1.42×10^{-2}
دیواره معده	1.27×10^{-2}	1.34×10^{-2}
کلیه‌ها	4.92×10^{-2}	4.40×10^{-2}
کبد	1.65×10^{-2}	1.69×10^{-2}
ریه‌ها	1.11×10^{-2}	1.15×10^{-2}
ماهیچه‌ها	1.06×10^{-2}	1.15×10^{-2}
تخمدان‌ها	1.39×10^{-2}	1.46×10^{-2}
لوزالمعده	2.05×10^{-2}	2.47×10^{-2}
مغز استخوان	1.19×10^{-2}	1.24×10^{-2}
سطوح استخوان	1.22×10^{-2}	1.27×10^{-2}
پوست	8.31×10^{-3}	9.01×10^{-3}
طحال	1.29×10^{-2}	1.34×10^{-2}
بیضه‌ها	1.14×10^{-2}	1.17×10^{-2}
تیروئید	1.07×10^{-2}	1.16×10^{-2}
دیواره مثانه	4.23×10^{-2}	4.41×10^{-2}
رحم	1.50×10^{-2}	1.58×10^{-2}
کل بدن	1.15×10^{-2}	1.17×10^{-2}
دز مؤثر (mSv/MBq)	1.46×10^{-2}	1.51×10^{-2}

۳. بحث و نتایج

مقدار ضریب دز جذبی اندام‌های مختلف و ضریب دز مؤثر ناشی از تزریق رادیوداروی ^{18}F cis-FPro برای فانتوم‌های مرجع مرد و زن بالغ ICRP در جدول ۴ آورده شده است.

تجدیدنظر شده ORNL است. در $52/29 \pm 5/18$ - درصد کمتر از ضرایب دز جذبی فانتوم

جدول (۴): ضرایب دز جذبی ناشی از رادیوداروی ^{18}F cis-FPro

برای فانتوم‌های مرجع مرد و زن بالغ ICRP.

عضو هدف	مرد بالغ (mGy/MBq)	زن بالغ (mGy/MBq)
غده فوق کلیوی	$1/73 \times 10^{-2}$	$1/88 \times 10^{-2}$
مغز	$9/46 \times 10^{-3}$	$1/10 \times 10^{-2}$
سینه‌ها	$9/96 \times 10^{-3}$	$1/23 \times 10^{-2}$
دیواره کیسه صفرا	$1/49 \times 10^{-2}$	$1/75 \times 10^{-2}$
دیواره روده	$1/36 \times 10^{-2}$	$1/59 \times 10^{-2}$
کوچک	$1/29 \times 10^{-2}$	$1/48 \times 10^{-2}$
دیواره معده	$1/27 \times 10^{-2}$	$1/47 \times 10^{-2}$
روده بزرگ	$1/36 \times 10^{-2}$	$1/55 \times 10^{-2}$
قلب	$4/19 \times 10^{-2}$	$4/69 \times 10^{-2}$
کلیه‌ها	$1/78 \times 10^{-2}$	$2/11 \times 10^{-2}$
کبد	$1/98 \times 10^{-2}$	$2/33 \times 10^{-2}$
ریه‌ها	$1/07 \times 10^{-2}$	$1/29 \times 10^{-2}$
ماهیچه‌ها	-	$1/74 \times 10^{-2}$
تخم‌دان‌ها	$1/97 \times 10^{-2}$	$2/21 \times 10^{-2}$
لوزالمعده	$1/23 \times 10^{-2}$	$1/44 \times 10^{-2}$
مغز استخوان	$1/02 \times 10^{-2}$	$1/21 \times 10^{-2}$
سطوح استخوان	$8/28 \times 10^{-3}$	$9/76 \times 10^{-3}$
پوست	$1/35 \times 10^{-2}$	$1/53 \times 10^{-2}$
طحال	$1/13 \times 10^{-2}$	-
بیضه‌ها	$1/20 \times 10^{-2}$	$1/44 \times 10^{-2}$
تیموس	$1/12 \times 10^{-2}$	$1/29 \times 10^{-2}$
تیروئید	$2/21 \times 10^{-2}$	$2/34 \times 10^{-2}$
دیواره مثانه	-	$1/90 \times 10^{-2}$
رحم/دهانه رحم	$9/40 \times 10^{-3}$	$1/15 \times 10^{-2}$
غدد بزاقی	$1/68 \times 10^{-2}$	-
پروستات	$1/34 \times 10^{-2}$	$1/53 \times 10^{-2}$
مری	$9/37 \times 10^{-3}$	$1/17 \times 10^{-2}$
ناحیه ET	$9/71 \times 10^{-3}$	$1/16 \times 10^{-2}$
مخاط دهان		

مقایسه ضرایب دز مؤثر محاسبه شده برای رادیوداروی cis- ^{18}F FPro با استفاده از فانتوم‌های مرجع ICRP و فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL نشان می‌دهد که در تمام موارد، دزهای مؤثر برآورد شده با استفاده از فانتوم‌های مرجع ICRP کمتر از دزهای مؤثر برآورد شده با استفاده از فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL است اما اختلاف بسیار کمی بین نتایج وجود دارد. اختلاف نسبی بین نتایج برای دزهای مؤثر برآورد شده با استفاده از روش ICRP 60، زیر یک درصد و برای دز مؤثر برآورد شده بر اساس روش ICRP 103، کمی بیش از یک درصد می‌باشد. البته لازم به یادآوری است که بررسی‌های انجام شده قبلی در مورد اثرات استفاده از فانتوم‌های مرجع ICRP بر روی مقادیر دز مؤثر نشان می‌دهد که در اکثر موارد، استفاده از فانتوم‌های مرجع ICRP و ضرایب وزنی بافت ICRP 103، منجر به کاهش مقادیر دز مؤثر می‌شود [۱۶، ۲۰، ۲۱]. در فانتوم‌های ریاضی مانند فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL، اعضای بدن با استفاده از شکل‌های ساده ریاضی تعریف شده و فاصله بین اعضا بیشتر از حالت واقعی است. در حالی که در فانتوم‌های وکسل‌مانند فانتوم‌های مرجع ICRP که بر اساس تصاویر CT یا MRI تهیه شده‌اند، فاصله اعضا کمتر است. در نتیجه انتظار بر این است که میزان دز جذبی اعضا و دز مؤثر در فانتوم‌های وکسل‌مانند بیشتر از فانتوم‌های ریاضی باشد.

این در مورد دز جذبی اعضا، در بیشتر موارد صادق است و دز جذبی برآورد شده برای فانتوم مرجع ICRP بیشتر از دز جذبی عضو متناظر در فانتوم تجدیدنظر شده ORNL است. اما همان‌گونه که اشاره شد این امر در مورد دز مؤثر صادق نیست و در بیشتر موارد دز مؤثر برآورد شده برای فانتوم

۴. نتیجه گیری

در این مقاله مقادیر ضریب دز جذبی و دز مؤثر در اثر تزریق رادیوداروی ^{18}F cis-FPro با استفاده از روش MIRD برای فانتوم‌های مرجع مرد و زن بالغ ICRP و همچنین فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که کلیه‌ها بیشترین و پوست کمترین دز جذبی را در اثر تزریق این رادیودارو دریافت می‌کنند. میزان دز مؤثر برآورد شده برای این رادیودارو با استفاده از ضرایب وزنی بافت ICRP 103 برابر $1/52 \times 10^{-2}$ میلی‌سیورت بر مگابکرل می‌باشد. مقایسه نتایج فانتوم‌های مرجع ICRP و همچنین فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL نشان می‌دهد که با وجود اختلاف زیاد در مقدار ضریب دز جذبی در بعضی از اعضا، تفاوت زیادی بین مقادیر ضریب دز مؤثر وجود ندارد. اگرچه در تمام موارد، دزهای مؤثر برآورد شده برای فانتوم‌های مرجع ICRP کمتر از فانتوم‌های تجدیدنظر شده ORNL می‌باشد.

۵. مراجع

1. H. J. Wester, M. Herz, W. Weber, P. Heiss, R. Senekowitsch-Schmidtke, M. Schwaiger, G. Stocklin, Synthesis and radiopharmacology of O-(2-[^{18}F]fluoroethyl)-L-tyrosine for tumor imaging. J. Nucl. Med. 40 (1) (1999) 205-212.
2. H. J. Biersack, H. H. Coenen, G. Stocklin, K. Reichmann, A. Bocjisch, P. Oehra, M. Kashab, O. Rollmann, Imaging of brain tumors with L-3-[^{123}I]iodo-alpha-methyl tyrosine and SPECT. J. Nucl. Med. 30 (1) (1989) 110-112.
3. T. Inoue, K. Tomiyoshi, K. Ahmed, M. Sarwar, K. Aoyagi, S. Amano, S. Alyafei, H. Zhang, K. Endo. Biodistribution studies on L-3-[fluorine-18]fluoro-alpha-methyl tyrosine: a potential tumor-detecting agent. J. Nucl. Med. 39 (4) (1998) 663-667.
4. T. Ogawa, S. Miura, M. Murakami, H. Iida, J. Hatazawa, A. Inugami, I. Kanno, N. Yasui, T. Sasajima, K. Uemura. Quantitative evaluation of neutral amino acid transport in cerebral gliomas using positron emission tomography and fluorine-18 fluorophenylalanine. Eur. J. Nucl. Med. 23 (8) (1996) 889-895.

عدد لفاوی	$1/30 \times 10^{-2}$	$1/50 \times 10^{-2}$
مرجع ICRP کمتر از دز مؤثر برآورد شده برای فانتوم تجدیدنظر شده ORNL است. حدید ^۱ و همکارانش [۲۰] نشان دادند که یکی از دلایل اصلی این امر، هندسه غیرواقعی مثانه در فانتوم‌های ریاضی است. به گونه‌ای که میزان دز جذبی برآورد شده برای دیواره مثانه در فانتوم تجدیدنظر شده ORNL در مواردی دو برابر فانتوم مرجع ICRP است. در نتیجه تاثیر هندسه غیرواقعی مثانه (که منجر به افزایش دز مؤثر می‌شود) بر تاثیر فاصله زیاد بین اعضا در فانتوم‌های ریاضی (که منجر به کاهش دز مؤثر می‌شود)، غلبه کرده و در نتیجه دزهای مؤثر برآورد شده برای فانتوم‌های ریاضی در اکثر موارد، بیشتر از دزهای مؤثر برآورد شده برای فانتوم‌های وکسلی می‌باشد.		
به منظور محاسبه میزان دز جذبی اعضا مختلف، داده‌های ارائه شده در جدول ۴ یعنی ضرایب دز جذبی بر حسب (mGy/MBq) باید در میزان فعالیت تزریقی به بیمار بر حسب MBq ضرب شود. در این صورت میزان دز جذبی اعضا بر حسب mGy محاسبه خواهد شد. همچنین با ضرب کردن ضریب دز مؤثر بر حسب (mSv/MBq) در میزان فعالیت تزریقی بر حسب MBq، میزان دز مؤثر بر حسب mSv محاسبه خواهد شد.		
باید توجه داشت که مقادیر دز دریافتی واقعی توسط بیماران در اثر تزریق رادیوداروی ^{18}F cis-FPro در بیشتر موارد برابر مقادیر به دست آمده در این تحقیق نمی‌باشد. عواملی مانند توزیع متفاوت رادیودارو در هر بیمار و تفاوت‌های آناتومیکی بین بیماران و فانتوم‌های مرجع، منجر به ایجاد اختلافاتی در مقادیر دز دریافتی هر بیمار می‌شود. با این وجود برآورد دز مؤثر برای رادیوداروها، معیاری از میزان خطر اثرات تصادفی پرتو را فراهم کرده و امکان مقایسه رادیوداروها و روش‌های مختلف تشخیصی مورد استفاده در پزشکی هسته‌ای را فراهم می‌کند.		

¹ Hadid

5. A. R. Börner, K. J. Langen, H. Herzog, K. Hamacher, V. Muller-Matteis, T. Schmitz, R. Ackermann, H. H. Coenen. Whole-body kinetics and dosimetry of cis-4-[^{18}F]fluoro-l-proline. *Nucl. Med. Biol.* 28 (3) (2001) 287-292.
6. 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 (3) (2009) 477-484.
7. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53. *Ann. ICRP* 18 (1988).
8. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals, ICRP Publication 80 (Addendum 2 to ICRP Publication 53). *Ann. ICRP* 28 (1998).
9. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals, ICRP publication 106 (Addendum 3 to ICRP Publication 53). *Ann. ICRP* 38 (2008).
10. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. *Ann. ICRP* 44 (2015).
11. ICRP. Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110. *Ann. ICRP* 39 (2009).
12. ICRP. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values, ICRP Publication 89. *Ann. ICRP* 32 (3-4) (2002).
13. M. Cristy, K. F. Eckerman. Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. ORNL/TM 8381/V 1-7, Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory (1987).
14. 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 (4) (2006) 337-356.
15. A. Sadre Momtaz, F. Safarnejad, InRaDoS: An internal radiation dosimetry computer program, *Iranian J. Nucl. Med.* 29 (2) (2021) 79-85.
16. A. Sadre Momtaz, F. Safarnejad, Effective Dose to Adult Patients Undergoing Renal Scans With $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (DMSA, DTPA, EC and MAG3). *Radiation Protection Dosimetry* (2022).
17. W. S. Snyder, M. R. Ford, G. G. Warner, S. B. Watson. A tabulation of dose equivalent per microcurie-day for source and target organs of an adult for various radionuclides. ORNL-5000, Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory (1974).
18. ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP*, 21 (1-3) (1991) 1-201.
19. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann. ICRP* 37 (2-4) (2007) 1-332.
20. L. Hadid, A. Gardumi, A. Desbrée, Evaluation of absorbed and effective doses to patients from radiopharmaceuticals using the ICRP 110 reference computational phantoms and ICRP 103 formulation. *Radiation Protection Dosimetry*, 156 (2) (2013) 141-159.
21. M. Andersson, L. Johansson, D. Minarik, S. Leide-Svegborn, S. Mattson, Effective dose to adult patients from 338 radiopharmaceuticals estimated using ICRP biokinetic data, ICRP/ICRU computational reference phantoms and ICRP 2007 tissue weighting factors. *EJNMMI Phys.* 1 (1) (2014)9.