

تعیین دز رسیده به جنین در اسکن Ventilation/Perfusion ریه با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو

شهاب الدین وکیلی^۱، داریوش شهبازی گهرویی^۲

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: آمبولی ریوی (Pulmonary embolism یا PE) یک انسداد در یکی از رگ های ریه است و اسکن V/Q (Ventilation/Perfusion scan) به عنوان یکی از روش های تشخیصی آن در زنان باردار است که بررسی دز رسیده به جنین و مقایسه ی آن با مقادیر توصیه شده، اهمیت فراوانی دارد. هدف از انجام این مطالعه، تعیین دز رسیده به جنین در اسکن V/Q با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو بود.

روش ها: در این روش، از یک فانتوم زن باردار بزرگسال و تمام اندام های جا به جا شده ی بدن او برای انجام شبیه سازی استفاده شد. اعضای چشمه برای هر یک از رادیوداروهای مورد استفاده در دو اسکن تهویه و پرفیوژن ریه شامل ریه و مثانه برای رادیوداروهای ^{133}Xe (Xenon)، $^{81\text{m}}\text{Kr}$ (Krypton) و آئروسول $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA (Technetium diethylene-triamine-pentaacetate aerosol) برای اسکن تهویه ی ریوی و نیز ریه، مثانه و کبد برای رادیوداروی $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA (Technetium Macroaggregated Albumin) برای اسکن پرفیوژن ریه بودند.

یافته ها: برای $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA در دز تجویزی ۲۰۰ مگابکرل، مقدار دز رسیده به جنین ۱/۰۱ میلی گری و بیشینه ی دز ۱/۹۷ میلی گری بود که هر دو بیشتر از حد مجاز (۱ میلی گری) توصیه شده توسط International Commission on Radiological Protection (ICRP) بودند. برای $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA مقدار دز و بیشینه دز رسیده به جنین زیر ۱ میلی گری بود و برای ^{133}Xe و $^{81\text{m}}\text{Kr}$ مقدار دز رسیده به جنین ناچیز بود.

نتیجه گیری: با توجه به بالاتر بودن مقدار دز رسیده به جنین برای رادیوداروی $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA، باید به زن باردار در صورت لزوم اسکن، آگاهی لازم داده شود.

واژگان کلیدی: جنین، بارداری، پرتو، شبیه سازی مونت کارلو، اسکن تهویه- پرفیوژن

ارجاع: وکیلی شهاب الدین، شهبازی گهرویی داریوش. تعیین دز رسیده به جنین در اسکن Ventilation/Perfusion ریه با استفاده از شبیه سازی

مونت کارلو. مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۳۹۸؛ ۳۷ (۵۱۹): ۲۴۱-۲۳۷

مقدمه

آمبولی ریوی (Pulmonary embolism یا PE)، یک انسداد در یکی از رگ های ریوی است (۱) و یکی از علل اصلی مرگ و میر مادران در کشورهای توسعه یافته است (۲). احتمال ابتلا به آمبولی ریوی در زنان در دوران بارداری ۵ برابر می شود که این به خاطر سیستم انعقاد و عوامل مکانیکی مانند فشار وریدی می باشد. بیش از ۵۰ درصد موارد در ۲۰ هفته اول بارداری اتفاق می افتد (۳). اسکن V/Q ریه، یکی از روش های مرسوم در تشخیص آمبولی ریوی در زنان باردار است (۴).

جنین در حال رشد درون رحم در تمام طول دوره ی قبل از تولد نسبت به تابش های یونیزان حساس است (۵). مراحل اصلی رشد انسان قبل از تولد شامل تکثیر سلولی، تفکیک و حرکت آن می شود. پرتوی یونیزه کننده، می تواند در هر سه فرایند دخالت کند، اما

حساسیت به این پرتوها و اثرات بیولوژیکی ناشی از آن در هر یک از این مراحل متفاوت است (۶). به طور کلی، دوره ی رشد پیش از تولد به سه مرحله شامل دوره ی پیش از لانه گزینی (بازه ی زمانی لقاح تا جای گیری جنین در دیواره ی رحم)، دوره ی اندام سازی (شکل گیری اندام های بدن) و دوره ی جنینی (رشد ساختارهایی که قبل از آن شکل گرفته اند) تقسیم می شود (۷). نطفه در دوره ی اندام سازی در آسیب پذیرترین حالت خود قرار دارد؛ به همین دلیل، پرتوگیری نطفه در این دوره، سلامت آن را بیشتر از هر زمانی تهدید می کند (۸). این در حالی است که در بیشتر مواقع، زنان در این مرحله، از بارداری خود مطلع نیستند (۹).

Hurwitz و همکاران، دز جنین در حالت پرفیوژن $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA (۷۴ MBq) را ۰/۳۰-۰/۲۱ میلی گری برای دوره ی ابتدایی

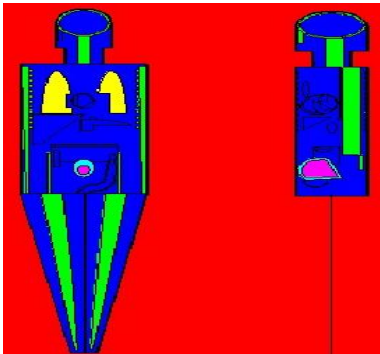
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- استاد، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده ی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

Email: shahbazi@med.mui.ac.ir

نویسنده ی مسؤؤل: داریوش شهبازی گهرویی

۲۰۰ مگابکرل برای $^{99m}\text{Tc-MAA}$ ؛ ۴۰ مگابکرل برای $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ ؛ ۳۷۰ و ۷۴۰ مگابکرل برای ^{133}Xe و ۶۰۰ مگابکرل برای ^{81m}Kr بود. $^{99m}\text{Tc-MAA}$ و $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ به ترتیب با نیمه‌عمر مؤثر ۳ ساعت و ۱۰۶ دقیقه، هر دو دارای دو پرتوی گاما با انرژی‌های ۱۴۰/۵ و ۱۴۲/۶ کیلو الکترون‌ولت؛ ^{133}Xe با نیمه‌عمر مؤثر ۵ دقیقه دارای پرتوی گاما با انرژی ۸۱ کیلو الکترون‌ولت و ^{81m}Kr با نیمه‌عمر مؤثر ۱۳ ثانیه دارای پرتوی گاما با انرژی ۱۹۰ کیلو الکترون‌ولت می‌باشند (۱۱). در جدول ۱، چگونگی توزیع رادیودارو در هر عضو و درصد انشعاب انرژی برای هر رادیودارو آمده است.



شکل ۱. فانتوم طراحی شده در سه ماهگی از زن باردار بر اساس فانتوم (MIRD) Medical internal radiation dosimetry

فایل ورودی داده‌ی فانتوم، در نرم‌افزار کد MCNPX وارد شد. اعضای چشمه برای هر یک از رادیوداروها تعریف گردید. انرژی بر جای مانده در هر سلول، توسط $*F8$ به دست آمد که با تقسیم این مقدار به جرم هر سلول، مقدار دز رسیده به هر سلول حاصل می‌شود. در نهایت، خروجی حاصل با تبدیل واحدهای مربوط محاسبه گردید که در این صورت، دز رسیده از اندام چشمه به اندام هدف به دست می‌آید.

جدول ۱. داده‌های مورد نیاز برای محاسبات دز به تفکیک برای هر رادیودارو (۱۱)

رادیودارو	اعضای چشمه	زمان باقی ماندن رادیودارو در بدن (ساعت)	نیمه‌عمر مؤثر	انرژی گاما- درصد انشعاب (کیلو الکترون‌ولت)	میزان دز تجویزی (مگابکرل)
$^{99m}\text{Tc-MAA}$	ریه	$4/89 \times 10^1$	۳ ساعت	۱۴۲/۶-۱/۴	۴۰
	کبد	$1/04 \times 10^1$		۹۸/۶-۱۴۰/۵	۵۰
آنزوسل $^{99m}\text{Tc-DTPA}$	مئانه	$2/17 \times 10^{-1}$			۷۴
	ریه	$1/03 \times 10^1$	۱۰۶ دقیقه	۱۴۲/۶-۱/۴	۲۰۰
^{133}Xe	مئانه	$7/48 \times 10^{-1}$		۹۸/۶-۱۴۰/۵	۴۰
	ریه	$2/20 \times 10^{-2}$	۵ دقیقه	۸۱/۰-۳۶/۹	۳۷۰
^{81m}Kr	ریه	$5/2 \times 10^{-3}$	۱۳ ثانیه	۱۹۰/۰-۶۵/۰	۷۴۰
					۶۰۰

بارداری و در حالت تهویه ۳۷۰ مگابکرل ^{133}Xe ، دز جنین را ۰/۱۵ میلی‌گری در دوره‌ی ابتدایی بارداری به دست آوردند (۱۰). Russel و همکاران، دز جنین در حالت پرفیوژن ($^{99m}\text{Tc-MAA}$ MBq) را در سه ماهه‌ی اول بارداری ۰/۶ میلی‌گری و در حالت تهویه ($^{99m}\text{Tc-MAA}$ MBq) دز جنین را ۰/۱۷ میلی‌گری در سه ماهه‌ی اول به دست آوردند (Cook و Kyriou). دز رسیده به جنین برای پرفیوژن با دز کم ($^{99m}\text{Tc-MAA}$ MBq) را ۰/۱۲ میلی‌گری گزارش کردند (۱۲).

چنانچه گفته شد، بررسی دز رسیده به جنین و مقایسه‌ی آن با مقادیر توصیه شده، امری ضروری است (۱۳). یکی از روش‌های دزیمتری داخلی در پزشکی هسته‌ای، روش شبیه‌سازی مونت کارلو است (۱۴-۱۵). هدف از انجام این مطالعه، تعیین دز رسیده به جنین در اسکن V/Q با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو بود.

روش‌ها

در این پژوهش، برای انجام شبیه‌سازی به یک مدل کامپیوتری (فانتوم ریاضی) از زن باردار نیاز است. در این مدل، جنین و تمام اندام‌های جابه‌جا شده‌ی بدن مادر با استفاده از یک فانتوم زن بزرگسال شبیه‌سازی شد. از فانتوم زن بزرگسال در روش Medical internal radiation dosimetry (MIRD) استفاده شد و تغییرات لازم اعمال گردید. محاسبات مونت کارلو با استفاده از کد MCNPX 2.6.0 انجام شد. در شکل ۱، تصویر فانتوم جنین در سه ماهگی نشان داده شده است.

اعضای چشمه برای هر یک از رادیوداروهای مورد استفاده در دو اسکن تهویه و پرفیوژن ریه شامل ریه و مئانه برای رادیوداروهای ^{133}Xe ، ^{81m}Kr و آنزوسل $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ برای اسکن تهویه‌ی ریه، مئانه و کبد برای رادیوداروی $^{99m}\text{Tc-MAA}$ برای اسکن پرفیوژن ریه، بودند. اکتیویته‌ی مورد نظر برای هر رادیودارو شامل ۴۰، ۵۰، ۷۴ و

برای $^{99m}\text{Tc-MAA}$ در دز تجویزی ۲۰۰ مگابکرل، مقدار دز رسیده به جنین ۱/۰۱ میلی‌گری و بیشینه‌ی دز ۱/۹۷ میلی‌گری بود. برای $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ مقدار دز رسیده به جنین و مقدار بیشینه زیر ۱ میلی‌گری بود. برای ^{133}Xe و ^{81m}Kr مقدار دز رسیده به جنین ناچیز بود.

بحث

از آن جایی که اسکن V/Q ریه یکی از روش‌های تشخیصی آمبولی ریوی در زنان باردار است، از رادیوداروهای مختلف و یک فانتوم معادل جنین زن باردار بزرگسال در این مطالعه استفاده شده است. در این مطالعه، برای رادیوداروی $^{99m}\text{Tc-MAA}$ در دز تجویزی ۲۰۰ مگابکرل، مقدار دز رسیده به جنین ۱/۰۱ میلی‌گری و بیشینه‌ی دز ۱/۹۷ میلی‌گری؛ برای $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ در دز تجویزی ۴۰ مگابکرل مقدار دز رسیده به جنین ۰/۱۹ میلی‌گری و بیشینه‌ی دز ۰/۶۵ میلی‌گری؛ برای ^{133}Xe در دز تجویزی ۷۴۰ مگابکرل مقدار دز رسیده به جنین ۰/۰۰۰۴ میلی‌گری و بیشینه‌ی دز ۰/۰۰۰۸ میلی‌گری و برای ^{81m}Kr در دز تجویزی ۶۰۰ مگابکرل مقدار دز رسیده به جنین ۰/۰۰۰۱ میلی‌گری و بیشینه‌ی دز ۰/۰۰۰۲ میلی‌گری به دست آمد. ملاحظه می‌شود که دز $^{99m}\text{Tc-MAA}$ در محدوده‌ی دز تجویزی ۲۰۰ مگابکرل برای جنین بالاتر از حد مجاز توصیه شده توسط International Commission on Radiological Protection (ICRP) (۱ میلی‌گری) بود (۱۶).

Hurwitz و همکاران (۱۰) و Russel و همکاران (۱۱)، دز جنین را برای رادیوداروهای ^{133}Xe و ^{81m}Kr ناچیز به دست آوردند که در این مطالعه نیز مقدار دز برای این دو رادیودارو ناچیز بود. همچنین، در مورد $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ دز جنین را زیر ۰/۲ میلی‌گری به دست آوردند که در این تحقیق، در حدود ۰/۲ میلی‌گری به دست آمد و بیشینه‌ی دز ممکن رسیده به جنین تحت شرایط خاص تصویربرداری نزدیک به ۰/۷ میلی‌گری به دست آمد که مقدار قابل ملاحظه‌ای می‌باشد و نیاز به توجه دارد، به خصوص در صورتی که نیاز به تجویز دز با اکتیویته‌ی بیشتر باشد. اما در مورد $^{99m}\text{Tc-MAA}$ Hurwitz و همکاران (۱۰) و Russel و همکاران (۱۱) و همچنین، Cook و Kyriou (۱۲) دز جنین را برای همه‌ی اکتیویته‌ها زیر ۱ میلی‌گری به دست آوردند، که در این مطالعه برای اکتیویته‌ی ۲۰۰ مگابکرل بیشتر از ۱ میلی‌گری بود. در مواردی که دز دریافتی جنین کمتر از ۱ میلی‌گری است، می‌توان گفت که خطر پرتو قابل صرف‌نظر کردن است و در صورتی که دز دریافتی بیشتر باشد، باید به فرد مورد آزمون اطلاع‌رسانی شود.

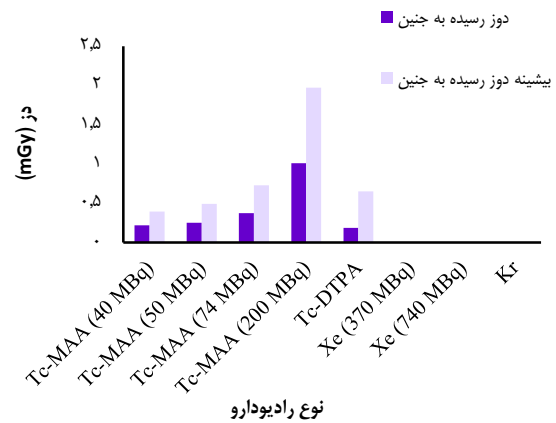
دز جنین برای $^{99m}\text{Tc-MAA}$ و $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ مقادیر بالاتری

$$\frac{\text{MeV}}{\text{gram}} \times \frac{1000\text{gram}}{1\text{kg}} \times \frac{10^6\text{eV}}{1\text{MeV}} \times \frac{1.6 \times 10^{-19}\text{J}}{1\text{eV}} = \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \text{Gy}$$

دز رسیده به جنین برای هر یک از رادیوداروها با استفاده از داده‌های خروجی MCNP محاسبه‌شد و اکتیویته‌ی هر رادیودارو با توجه به مقدار دزهای تجویزی مرسوم انتخاب شد. مقدار بیشینه‌ی دز ممکن رسیده به جنین برای هر رادیودارو در هر اکتیویته محاسبه گردید. تعداد تاریخچه (History) برای اجرای برنامه‌ی ۱۰ میلیون تاریخچه انتخاب شد که مقدار خطای مورد قبول در تالی که پایین‌تر از ۵ درصد می‌باشد، رعایت شد.

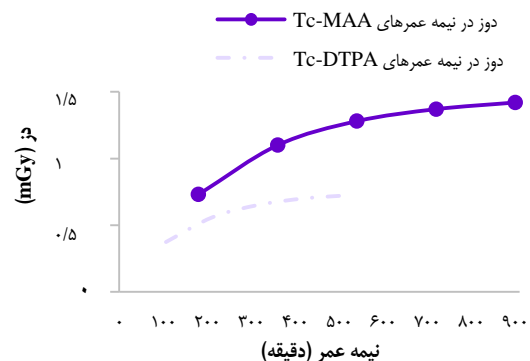
یافته‌ها

در شکل ۲، مقادیر دز رسیده به جنین و مقدار بیشینه‌ی دز ممکن رسیده به جنین برای هر اکتیویته (دزهای تجویزی مرسوم) به تفکیک برای هر رادیودارو نشان داده شده است.



شکل ۲. نمودار دز و بیشینه‌ی دز رسیده به جنین برای هر رادیودارو

در شکل ۳، نمودار تغییرات دز در نیمه‌عمرهای اول تا پنجم به تفکیک برای هر رادیودارو در اکتیویته‌ی مرسوم آمده است.



شکل ۳. تغییرات دز در نیمه‌عمرهای اول تا پنجم به تفکیک برای هر رادیودارو در اکتیویته‌ی مرسوم

اثر آمبولی ریه، برای زن باردار اسکن اضطراری محسوب می‌شود و حتی در صورت ضرر برای جنین به ناچار این اسکن انجام می‌شود، باید به زن باردار در صورت لزوم اسکن آگاهی لازم داده شود. در مورد اسکن تهویه، دز جنین برای ^{133}Xe و $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ناچیز به دست آمد و نیازی به توجه خاصی هنگام تجویز دز نیست، اما برای آئروسول تکنسیم در صورت نیاز به تجویز دزهای بالاتر، بررسی و ملاحظه‌ی دز جنین لازم است. در مورد اسکن پرفیوژن برای اکتیویته‌ی ۲۰۰ مگابکرل و بالاتر، سلامت جنین در خطر است.

تشکر و قدردانی

این مقاله، برگرفته از یافته‌های پایان‌نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی ارشد به شماره‌ی طرح ۳۹۷۵۵۵ می‌باشد که توسط دانشگاه علوم پزشکی اصفهان مورد حمایت مالی قرار گرفته است.

نسبت به ^{133}Xe و $^{81\text{m}}\text{Kr}$ به دست آمد که دلیل آن به خاطر نیمه‌عمر و مقدار جذب (Uptake) بیشتر تکنسیم نسبت به زنون و کریپتون در اعضای بدن که ناشی از نسبت توزیع این رادیوداروها می‌باشد. فانتوم مورد بررسی در این مطالعه، بر اساس بدن یک زن معمولی و متوسط طراحی شده بود و در شرایط متفاوت، نتایج تغییراتی خواهند داشت. توزیع رادیودارو در بدن بر اساس مقادیر متوسط موارد مشاهده شده بود و اطلاع دقیق از توزیع واقعی، نیازمند تصویربرداری مداوم از هر مورد در زمان‌های مختلف از بدو ورود رادیودارو به بدن می‌باشد که با توجه به محدودیت پرتودهی بیمار، به خصوص با توجه به باردار بودن بیمار، این امکان وجود ندارد. نتیجه‌گیری نهایی این که آمبولی ریه بیشتر به دلیل عدم تحرک زنان باردار، در سنین مختلف بارداری اتفاق می‌افتد که این عارضه، خطر جدی برای سلامت مادر محسوب می‌شود. برای $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ دز جنین بیشتر از حد مجاز توصیه شده در ICRP است، اما به دلیل این که اسکن ریه بر

References

- Bourjeily G, Paidas M, Khalil H, Rosene-Montella K, Rodger M. Pulmonary embolism in pregnancy. *Lancet* 2010; 375(9713): 500-12.
- Stone SE, Morris TA. Pulmonary embolism and pregnancy. *Crit Care Clin* 2004; 20(4): 661-77.
- Bajc M, Olsson B, Gottsater A, Hindorf C, Jogi J. V/P SPECT as a diagnostic tool for pregnant women with suspected pulmonary embolism. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2015; 42(8): 1325-30.
- Konstantinides SV, Torbicki A, Agnelli G, Danchin N, Fitzmaurice D, Galie N, et al. 2014 ESC guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism. *Eur Heart J* 2014; 35(43): 3033-3069k.
- Brent RL, Beckman DA, Jensh RP. Relative radiosensitivity of fetal tissues. In: Lett JT, Altman KI, editors. *Advances in radiation biology relative radiation sensitivities of human organ systems*. 12th ed. San Diego, CA: Academic Press; 1987. p. 239-56.
- Sitharama SA, Jindal B, Vuriti MK, Naredi BK, Krishnamurthy S, Subramania DB. Fetus in fetu: Case report and brief review of literature on embryologic origin, clinical presentation, imaging and differential diagnosis. *Pol J Radiol* 2017; 82: 46-9.
- Sadler TW, Langman J. *Langman's medical embryology*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins; 2011.
- Gomes M, Matias A, Macedo F. Risks to the fetus from diagnostic imaging during pregnancy: review and proposal of a clinical protocol. *Pediatr Radiol* 2015; 45(13): 1916-29.
- Xu XG, Eckerman KF. *Handbook of anatomical models for radiation dosimetry*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2009.
- Hurwitz LM, Yoshizumi T, Reiman RE, Goodman PC, Paulson EK, Frush DP, et al. Radiation dose to the fetus from body MDCT during early gestation. *AJR Am J Roentgenol* 2006; 186(3): 871-6.
- Russell JR, Stabin MG, Sparks RB, Watson E. Radiation absorbed dose to the embryo/fetus from radiopharmaceuticals. *Health Phys* 1997; 73(5): 756-69.
- Cook JV, Kyriou J. Radiation from CT and perfusion scanning in pregnancy. *BMJ* 2005; 331(7512): 350.
- Haramati LB, Patel VK, Freeman LM, Thacker P, Lee EY. Acute pulmonary embolism in adults and children: evidence-based emergency imaging, evaluation, and diagnosis. In: Kelly A, Cronin P, Puig S, Applegate KE, editors. *Evidence-based emergency imaging: optimizing diagnostic imaging of patients in the emergency care setting*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2018. p. 227-45.
- Papadakis GZ, Karantanis AH, Perisinakis K. "Pulmonary embolism diagnostics of pregnant patients: What is the recommended clinical pathway considering the clinical value and associated radiation risks of available imaging tests?". *Phys Med* 2017; 43: 178-85.
- Vock P. Clinical perspective on diagnostic X-ray examinations of pregnant patients - What to take into account. *Phys Med* 2017; 43: 165-71.
- Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP* 2000; 30(2): 7-67.

Determining the Fetal Dose in Ventilation/Perfusion Scan Using Monte Carlo Simulation

Shahabeddin Vakili¹, Daryoush Shahbazi-Gahrouei²

Original Article

Abstract

Background: Pulmonary embolism (PE) is a blockage in one of the pulmonary arteries. Ventilation/Perfusion (V/Q) scan is one of the diagnostic methods of PE in pregnant women. It is necessary to investigate fetal dose and compare it with recommended values. The aim of this study was to determine the fetal dose in V/Q scan using Monte Carlo simulation.

Methods: An adult pregnant woman phantom and all her displaced organs were used for simulation. Source organs were defined for each of the radiopharmaceuticals used in two lung ventilation and perfusion scans, including lung and bladder for ^{133}Xe , $^{81\text{m}}\text{Kr}$, and technetium diethylene-triamine-pentaacetate aerosol ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA-aerosol) for lung ventilation scan, and lung, bladder, and liver for $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -technetium macroaggregated albumin (MAA) for lung perfusion scan. Fetal dose was determined and evaluated using the simulation output after calculations.

Findings: For $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA at prescription dose of 200 MBq, fetal dose was found to be 1.01 mGy, maximum fetal dose was 1.97 mGy, and both of them were more than the values recommended by International Commission on Radiological Protection (ICRP). For $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA, fetal and maximum doses were below 1 mGy, and for ^{133}Xe and $^{81\text{m}}\text{Kr}$, fetal dose was negligible.

Conclusion: It is concluded that considering higher dose to the fetus (200 MBq of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA), if the pregnant woman scan is needed, her awareness must be done.

Keywords: Fetus, Pregnancy, Radiation, Monte Carlo method, Ventilation-perfusion scan

Citation: Vakili S, Shahbazi-Gahrouei D. **Determining the Fetal Dose in Ventilation/Perfusion Scan Using Monte Carlo Simulation.** J Isfahan Med Sch 2019; 37(519): 237-41.

1- MSc Student, Department of Medical Physics, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

2- Professor, Department of Medical Physics, School of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

Corresponding Author: Daryoush Shahbazi-Gahrouei, Email: shahbazi@med.mui.ac.ir