مقایسه پارامترهای دزیمتری مواد معادل ریه جهت ساخت فانتوم

لیلا تیموری خندان[۱] -صدیقه کاشیان [۲]- پیمان رضاییان *[۲]

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

۲- سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده:

تعیین دقیق میزان دز جذبی در پرتو درمانی از اهمیت ویژه ای برخوردار ا ست. همواره از فانتوم آب برای کالیبرا سیون سیستم‌های پرتودهی استفاده می شود و این در حالی است که ساختار برخی از بخشهای بدن نظیر سر و گردن و ریه با آب یکسان نیست. لذا طراحی و ساخت فانتوم هایی که رفتاری مشابه با بدن دا شته با شند، می تواند گامی موثر در این زمینه با شد. در این تحقیق ساختار فیزیکی و رفتار پرتویی موادی همچون سلوتکس، ژلاتین،چوب پنبه و لاتکس با بافت ریه مقایسه شد. بررسی های انجام شده نشان می دهد که ماده ژلاتین بهترین گزینه برای ساخت فانتوم ریه می باشد.

کلمات کلیدی: *پرتو درمانی، دزجذبی، ریه، ضریب جذب انرژی جرمی، توان توقف جرمی، ژلاتین*

Comparison of dosimetric parameters of lung equivalent material to construct phantom

Teimoori Khandan, Leila[1]; Kashian, Sedigheh[2]; Rezaeian, Peiman[2]

1-Physics Department, Faculty of Science, Azad Islamic University, Hamedan Branch
2-Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research School, AEOI

Abstract

Accurate estimation of absorbed dose in radiotherapy is so important. Water phantoms are always used to calibrate the therapeutic systems, while, the composition of some organs of the body such as the head, neck and lung are different from water. Hence design and construction of phantoms which have the same radiation properties of body is so important. In this research physical structure and radiation properties of lung tissue substitute materials such as Gelatin, Cork, Latex and Celotex are compared with lung tissue until design the lung phantom. Results show that Gelatin is good substitute for design and construction of lung phantom than the other substitute.

Keywords: Radiotherapy, Absorbed dose, Lung, Mass absorbance coefficient, mass stopping power, Gelatin

مقدمه :

ر ساندن حداکثر دز تاب شی به تومور سرطانی و کمترین میزان آن به بافت های سالم اطراف تومور، از جمله مهمترین م سائلی ا ست که در رادیوتراپی باید در نظر گرفته شود. لذا دز جذبی باید به دقت تعیین شود. از آنجا که امکان اندازه‌گیری دز جذبی دریافتی بیمار در حین درمان به صورت مستقیم وجود ندارد، لذا پیش از درمان، در یک برنامه طراحی درمان دز جذبی با ا ستفاده از الگوریتم‌های محا سبه دز تعیین می شود. یکی از کلیدی‌ترین کمیت‌های ورودی الگوریتم‌های درمانی آهنگ دز جذبی در عمق‌های مختلف فانتوم آب است. این در حالی‌است که ساختار بخشی از بدن را می‌توان معادل آب در نظر گرفت و بنابراین کالیبراسیون در فانتوم آب و برآورد آهنگ دز جذبی به خ صوص در ق سمت‌هایی مانند سر و گردن و ریه که از نظر ترکیب اتمی و چگالی متفاوت با آب هستند نتایج دقیقی به همراه نداشته باشد. از طرفی تحقیقات در سال‌های اخیر حاکی از آن است که جنس محیط و ساختار بافت تاثیر بسزایی روی دز جذبی دارد[۱و۲و۳]. از جمله بافت‌های ناهمگن بدن که چگالی و ساختاری متفاوت با آب دارد، بافت ریه است که پاسخ دریافتی از محا سبات با ا ستفاده از فانتوم آب با دز واقعی دریافتی تو سط ریه متفاوت ا ست و همین مو ضوع انگیزه‌ای برای ساختن فانتومی است که ماده تشکیل دهنده آن ساختاری مشابه با ریه داشته باشد و به جای فانتوم آب از آن استفاده شود. انتخاب ماده پیشنهادی برای ساخت فانتوم موضوع بسیار مهمی است، زیرا ماده مورد نظر نه تنها باید در دسترس وارزان قیمت باشد، از نظر ساختار اتمی باید مشابه با ساختار اتمی ریه باشد. علاوه بر این باید ماده ای که برای این منظور انتخاب می گردد، ویژگی های پرتویی نظیر ضریب تضعیف جرمی و توان توقف الکترون‌ها نیز باید بسیار نزدیک به مقادیر متناظر برای ریه باشد [۵و۶]. هدف از این تحقیق انتخاب یک ماده ی معادل ریه و در نهایت طراحی یک فانتوم ریه است. به همین منظور با توجه به ساختار اتمی، چند ماده م شابه با ریه انتخاب خواهد شد و سپس ن سبت‌های ضریب ت ضعیف جرمی و توان توقف الکترون‌ها برای این مواد محا سبه خواهد شد و در ادامه یک فانتوم ناهمگن ریه برای تحقیق بیشتر با ا ستفاده ازشبیه سازی دز دریافتی ریه و مواد انتخاب شده محاسبه و با هم مقایسه خواهند شد تا در نهایت مناسب‌ترین ماده برای ساخت فانتوم پیشنهاد شود.

روش کار :

هدف در این تحقیق طراحی فانتوم ریه است، بنابراین جنس ماده انتخابی برای ساخت فانتوم بسیار مهم است، زیرا ماده منتخب باید چگالی و ساختار اتمی مانند ریه داشته باشد. بافت ریه عمدتاً از اکسیژن، هیدروژن و کربن تشکیل شده است و چگالی آن برابر ۱/۰۵ g/cm^3 می باشد. لذا از نظر ساختاری تا حدودی

مشابه خانواده پلیمرها می باشد. بررسی های انجام شده نشان می دهد، که ترکیباتی همچون ، چوپ پنبه[۱]، لاتکس[۲] و ژلاتین[۳] برای این منظور مناسب می باشند [٦و٥]. در صد وزنی عناصر تشکیل دهنده این مواد به همراه چگالی آنها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول (۱)- چگالی و درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده مواد انتخاب شده جهت طراحی فانتوم ریه

چگالی و درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده مواد انتخاب شده برای ریه(٪)

محیط	ریه[۴] [۷]	سلوتکس[۵] [۷]	چوپ پنبه[۵]	لاتکس[٦]	ژلاتین[٦]
چگالی (g/cm^3)	۰/۲٦-۱/۰٥	۰/۲٤	۰/۲۰	۰/۲٦	۱/۳۰
هیدروژن	۱۰/۱۳	٦/۲	۷/۷	۱۰/۱۰	٥۲/۰۰
بور	-	-	-	۸/۰۰	-
کربن	۱۰/۲۳	٤٤/٤	٥٦/٦	۷۹/۲۰	
نیتروژن	۲/۸۰	-	۰/۳۸	-	۱٦/۰۰
اکسیژن	۷٦/۰۰	٤۹/٤	۳٤/٥	۰/۱۲	۲۳/۰۰
سدیم	۰/۱۸	-	-	-	-
منیزیوم	۰/۰۰۷	-	-	-	-
آلومینیوم	۰/۰۰۱	-	-	-	-
سیلیس	-	-	۰/٦۷	-	-
فسفر	۰/۰۸	-	۰/۰٤	-	-
گوگرد	۰/۲۲	-	-	۱/۹۱	-
کلر	۰/۲٦	-	-	-	-
پتاسیم	۰/۱۹	-	۰/۰۱	-	-
کلسیم	۰/۰۱	-	-	-	-
آهن	۰/۰٤	-	-	-	-
روی	۰/۰۰۱	-	-	۰/٦۷	-

به منظور ا ستفاده از یک ماده خاص به عنوان ماده معادل ریه علاوه بر ت شابه ساختار اتمی و چگالی، مقادیر ضریب جذب انرژی جرمی و توان توقف جرمی ماده مورد نظر و ریه باید مشابه باشند. با توجه به وابستگی دز جذبی، به این دو پارامتر (ضـریب جذب انرژی جرمی و توان توقف جرمی)، تشـابه این دو پارامتر برای ماده مورد نظر و ریه از درجه‌ی اهمیت بالایی برخوردار ا ست. برای محا سبه ضریب جذب انرژی جرمی ($\frac{\mu_{en}}{\rho}$) از رابطه (۱) استفاده می‌شود[۸]:

$$\frac{\mu_{en}}{\rho} = \sum_i w_i \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_i \qquad (۱)$$

[1] Cork
[2] Latex
[3] Gelatin
[4] Lung
[5] Celotex

در این رابطه w_i و $\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_i$ به ترتیب درصد وزنی و ضریب جذب انرژی جرمی عنصر iام است. همچنین به صورت مشابه توان توقف جرمی ترکیب به صورت زیر نوشته می‌شود[۸]:

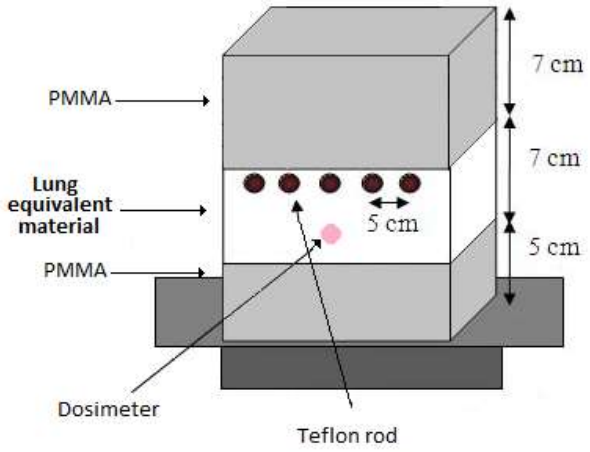
$$\frac{dE}{\rho dx} = \sum_i w_i \left(\frac{dE}{\rho dx}\right)_i \qquad (۲)$$

در این رابطه $\left(\frac{dE}{\rho dx}\right)_i$ توان توقف جرمی عنصر i ام است.

به دلیل اینکه هنگام پرتودهی ریه، پرتو پس از عبور از چند بافت مختلف از جمله پوست، بافت نرم بدن و قفسه سینه، درنهایت به بافت ریه می‌رسد، فانتومی که برای این اندام طراحی می‌شود باید فانتومی ناهمگن و حتی‌المقدور بسیار شبیه به ساختار بدن باشد، براین اساس فانتوم پیشنهادی متشکل از چندلایه هم‌ارز لایه های مختلف بدن است، به این ترتیب که در ابتدا یک لایه معادل بافت نرم بدن درنظرگرفته می‌شود، سپس ستون فقرات و بافت هم‌ارز بافت ریه و لایه نهایی، مجددا لایه‌ای معادل بافت نرم بدن می‌باشد. از PMMA به عنوان معادل بافت نرم بدن [۱] و از تفلون نیز برای ماده معادل استخوان استفاده می شود [٦]. به منظور انجام شبیه‌سازی از کد محاسباتی MCNP.4C استفاده شد. فانتوم ناهمگن موردنظر، با توجه به اینکه بیمار از پشت مورد پرتودهی قرار می‌گیرد، فانتومی با سطح مقطع ۳۰×۳۰ سانتی‌متر مربع با ضخامت کل ۱۹ سانتی متر با سه لایه در نظر گرفته شده است. لایه اول ۷ سانتی متراز جنس PMMA معادل بافت نرم بدن، لایه دوم از ماده معادل جنس ریه به ضخامت ۷ سانتی متر استفاده شده است که در آن ۵ استوانه از جنس تفلون برای شبیه سازی ستون فقرات تعبیه شده است و در نهایت از ۵ سانتی‌متر PMMA به عنوان لایه سوم فانتوم استفاده شده است. شمایی از فانتوم مورد طراحی شده در شکل (۱) آورده شده است. دز جذبی در کره‌ای از جنس آب به شعاع ۰/۵۲۳ سانتیمتر (حجم آن معادل حجم اتاقک یونش cc ۰/٦ است) محاسبه شد شد. بدین منظور دز جذبی در کره مذکور با استفاده از تالی F4 محاسبه شد. بر این اساس، با تعیین تالی F4 در بازه‌های مختلف انرژی و با بهره‌گیری از رابطه (۳) میزان دز جذبی بر حسب واحد گری بر تعداد ذره گسیل شده از چشمه محاسبه شد.

$$D = \sum_i (\varphi_i)(E_i)\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_i \qquad (۳)$$

در این رابطه i شماره بازه انرژی، E_i و Φ_i $(\frac{\mu_{en}}{\rho})_i$ به ترتیب انرژی، تالی F4 و ضریب جذب انرژی جرمی در این بازه انرژی است. همچنین برای شبیه سازی از یک چشمه مسطح فوتونی کبالت-٦۰ با سطح مقطع دایره‌ای به شعاع ۱۰سانتی‌متر برای یک اندازه میدان ۱۰×۱۰ سانتیمتر مربع استفاده شده است.



شکل (۱)- فانتوم شبیه سازی شده متشکل از لایه های PMMA معادل بافت در اطراف ماده معادل بافت ریه.

نتایج:

همانطور که در بخش روش کار نیز ذکر شد، برای اینکه دو ماده رفتار پرتویی شبیه به هم داشته باشند، لازم است کمیت‌های ضریب جذب انرژی جرمی پرتوهای گاما و تون توقف جرمی الکترون های تولید شده برای دو ماده یکسان باشند. نتایج محاسبات نسبت ضریب جذب انرژی جرمی مواد ذکر شده در جدول (۱) به بافت ریه در بازه‌ی انرژی ۰/۰۰۱ تا ۱۰ مگاالکترون ولت در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲)- نسبت ضریب جذب انرژی جرمی مواد مشابه بافت ریه به بافت ریه [۸].

انرژی(MeV)	سلوتکس به ریه	چوپ پنبه به ریه	لاتکس به ریه	ژلاتین به ریه
۰/۰۰۱	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۵۱	۰/۷۲
۰/۰۱	۰/۷۳	۰/٦۱	۰/۷۳	۰/۵۸
۰/۱	۰/۹۳	۰/۹۲	۱/۰۲	۰/۹۰
۱	۰/۹٦	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۵
۱۰	۰/۹٦	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹٤

داده‌های جدول (۲) حاکی از این است که ضریب جذب انرژی جرمی مواد انتخاب شده به خصوص در انرژهای بیش از ۱۰۰ کیلوالکترون ولت نزدیک به ضریب جذب انرژی جرمی ریه است. همچنین نسبت ضریب توان توقف جرمی الکترون‌ها برای مواد ارائه شده در جدول (۱) به بافت ریه در بازه‌ی انرژی ۰/۰۰۱ تا ۱۰ مگاالکترون ولت نیز در جدول(۳) بیان شده است.

جدول(۳)- نسبت توان توقف الکترونها برای مواد منتخب به بافت ریه در انرژی‌های مختلف [۹].

انرژی(MeV)	سلوتکس به ریه	چوپ پنبه به ریه	لاتکس به ریه	ژلاتین به ریه
۰/۰۰۱	۰/۹۷	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۹۷
۰/۰۱	۰/۹۷	۰/۹۸	۱/۰۱	۰/۹۶
۰/۱	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۵
۱	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۱	۱
۱۰	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۹٤

همانطور که جدول (۳) نشان می دهند، ضریب توقف جرمی مواد انتخاب شده بسیار نزدیک به ریه است. لذا برای بررسی بیشتر و انتخاب ماده بهینه، دز جذبی در سلول دزیمتری مشخص شده در شکل ۱ برای مواد مختلف و بافت ریه با استفاده از کد MCNP و به روش مونت کارلو محاسبه و در جدول شماره ٤ ارائه شده است.

جدول ٤- نتایج محاسبه دز جذبی در مواد معادل ریه.

ماده	دز جذبی[۱]	نسبت دز جذبی ماده به ریه	عدم قطعیت نسبی (٪)
ریه	$۳/۲۱\times۱۰^{-۵}$	۱	۰/۰۱
سلوتکس	$۳/۲۳\times۱۰^{-۵}$	۱/۰۱٦	۰/۰۱
چوپ پنبه	$۳/۲٤\times۱۰^{-۵}$	۱/۰۱۹	۰/۰۱
لاتکس	$۳/۲۳\times۱۰^{-۵}$	۱/۰۱٦	۰/۰۱
ژلاتین	$۳/۲۲\times۱۰^{-۵}$	۱/۰۰۳	۰/۰۱

۱- مقدار دز جذبی به صورت مگاالکترون ولت بر گرم به ازای یک ذره گسیلی از چشمه محاسبه شده است.

در دومین ستون از جدول (٤)، مقادیر دزجذبی در سلول دزیمتری نشان داده شده در شکل (۱) محاسبه شده است. واحد دز جذبی محاسبه شده به صورت مگاالکترون ولت بر گرم به ازای یک ذره گسیلی از چشمه محاسبه شده است. همچنین در این جدول نسبت دز جذبی در ماده به ریه محاسبه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که در میان مواد پیشنهاد شده مقدار دز جذبی در ژلاتین نزدیک ترین مقدار به دز جذبی در ریه را دارد.

بحث و نتیجه گیری:

پرتو درمانی به عنوان بخشی از درمان تومورهای بدخیم سرطانی بکار می رود. اهداف درمانی در این روش در صورتی محقق می گردد که میزان دز جذب شده در بافت تومور برابر مقدار تعیین شده از طرف پزشک

متخصص باشد. بنابراین تعیین دقیق دز جذبی از اهمیت بالایی برخوردار است. معمولاً از فانتوم آب برای کالیبراسیون میدانهای درمانی استفاده می شود. این در حالی است که جنس فانتوم از عوامل موثر در تعیین میزان دز جذبی است.

هدف از این تحقیق انتخاب یک ماده ی معادل ریه و در نهایت طراحی یک فانتوم ریه بود. به همین منظور با توجه به ساختار اتمی موادی همچون سلوتکس، ژلاتین، چوب پنبه و لاتکس انتخاب شدند و سپس نسبتهای ضریب تضعیف جرمی و توان توقف جرمی الکترون‌ها در این مواد محاسبه شد. نتایج محاسبات نشان می دادند که نسبت ضرایب تضعیف جرمی مواد به ریه برای انرژی‌های بیش از ۱۰۰ کیلوالکترون ولت و همچنین توان توقف آنها به ریه در انرژی های مختلف تقریباً برابر یک است. در ادامه شبیه سازیهای برای فانتوم طراحی شده که شامل بافت بدن و ستون فقرات نیز بود صورت گرفت. با بررسی نتایج شبیه سازی‌ها پیشنهاد می گردد، از ژلاتین به عنوان ماده معادل بافت ریه استفاده شود.

مراجع :

1- Senthilkumar S, Ramakrishnan V, Fabrication of Low Cost in-House Slab Homogeneous and Heterogeneous Phantoms for Lung Radiation Treatment. Iran. J. Radiat. Res., 2011; 9(2): 109-119.
2- Bahadori A, et al. Calculation of Organ Doses for a Large Number of Patients Undergoing Computed Tomography Examinations, AJR Am J Roentgenol. 2015; 205.
3- Voigts-Rhetz von, et al , Perturbation Correction for Alanine Dosimeters in Different Phantom Materials in High-Energy Photon Beams, Phys Med Bio, 2016, 61(3)70.
4- Moreno MZ, Monte Carlo Simulation for Dosimetric verification in Photon and Electron Beam Radiotherapy. UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, 2005.
5- Chang KP et al , A Comparison of Physical and Dosimetric Properties of Lung Substitue materials, Med Phys. 2012 Apr;39(4)2013
6- White DR, Tissue Substitutes in Experimental Radiation Physics. Radiation Physics Department, London, E. C. lA. 1978, 7BE England.
7- McConn RJ, Gesh CR, Rucker RA, William RG, Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling, Homeland Security, 2011, Department of Energy Contract DE-AC05-76RL01830.
8- Hubbell, J. and S. Seltzer, Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients (version 1.4). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2004.
9- Suplee, C., Stopping-Power & Range Tables for Electrons, Protons, and Helium Ions. 2009.