Volume 11, Number 3, Autumn 2016

A Mathematical Head Phantom for Dosimetry Measurements by Monte Carlo Method

Seyed Salman Zakariaee¹, Valialah Saba^{1*}

¹ Department of Radiology, Faculty of Paramedicine, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Introduction: In diagnostic and therapeutic procedures, dosimetric studies are performed on the dosimetric systems in order to comply the radiation safety standards. Monte Carlo methods are used due to the high complexity and cost of patient-specific phantom construction. The high complexity of the digitized phantoms greatly increases the time and computational task of the Monte Carlo calculation. In many studies, all of the defined components and high precision of the voxelized phantom are not necessary and the study objectives could be achieved by a simple digital phantom modeling. In this study, an anatomic-based human head phantom was modeled considering the importance of the digitized phantoms for Monte Carlo dosimetry measurements.

Methods and Materials: In this study, the anthropomorphic head phantom was simulated using MCNPx (version 2.4.0). The proposed head phantom consist of the skull, brain, eyes, eye lens, facial bones, neck and skin that are modeled based on the atomic compositions and density magnitudes reported by ICRU report No. 44 and the national institute of standards and technology (NIST) reports.

Results: The visual and structural characteristics of the modeled head phantom in different cross-sectional views were evaluated by two scientific experts. For modeled phantom, integrity and compliance of the structural features with the actual human head were confirmed by the experts.Simulated phantom is flexible and upgradeable. According to study objectives, other tissues including tumors, the specific tissue of interest, and etc. could be added to the model.

Discussion and Conclusion: Pre-clinical dosimetric studies including the determination of dose to organ at risks in the diagnostic and therapeutic situations as well as the effect of shielding methods and imaging geometries in the image quality could be evaluated using the modeled phantom.

Keywords: Digitized phantom, Monte Carlo dosimetry, Mathematical head phantom, Anthropomorphic phantom.

^{*(}Corresponding author) Vali Allah Saba, Department of Radiology, Faculty of Paramedicine, AJA University of Medical Sciences, Tehran, Iran. Cell: +982143822449 Email: vsaba@aut.ac.ir

سال یازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵



یک فانتوم سر ریاضیاتی برای بررسیهای دوزیمتری به روش مونتکارلو

سید سلمان ذکریایی'، ولی اله صبا^۱* ۱ گروه رادیولوژی، دانشکدهی پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ارتش، تهران، ایران.

چکیدہ

مقدمه: به منظور رعایت اصول حفاظت پرتویی در بسیاری از پروسههای درمانی و تشخیصی، بررسیهای دوزیمتری بر روی سیستمهایی دوزیمتریک انجام می شود. از روش های محاسباتی مونت کارلو به دلیل پیچیدگی و هزینهی بالای ساخت فانتومهای اختصاصی، استفاده می شود. پیچیدگی بالای فانتومهای دیجیتالی، زمان اجرا و بار محاسباتی روش دوزیمتری مونت کارلو را به شدت افزایش می دهد. در بسیاری از مطالعات، همه ی اجزا تعریف شده و دقت بالای فانتومهای دیجیتالی و کسل بندی شده لازم نیست و با مدل نمودن یک فانتوم دیجیتالی ساده می توان به اهداف مطالعه دست یافت. با توجه به اهمیت و جایگاه فانتومهای دیجیتالی در محاسبات دوزیمتری به روش مونت کارلو، در این مطالعه یک فانتوم سر انسان بر

م**وادو روشها:** در این مطالعه شبیه سازی فانتوم سر معادل انسان با استفاده از کد هستهای MCNPx (ورژن ۲.۴.۰) انجام می گردد. فانتوم سر پیشنهاد شده در این مطالعه دارای بخش های استخوان جمجمه، بافت مغز، چشم، لنز چشم، استخوان صورت، گردن و پوست می باشد که با توجه به ترکیب اتمی و دانسیته گزارش شده توسط گزارش ۴۴ ICRU و سایت انستیتو ملی استانداردها و تکنولوژی (NIST) مدل شده است.

یافتهها: فانتوم سر از لحاظ بصری و ویژگیهای ساختاری در نماهای مختلف توسط دو متخصص علوم تشریح به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. درستی و مطابقت ویژگیهای ساختاری فانتوم شبیه سازی شده با سر انسان توسط هر دو متخصص تأیید گردید. فانتوم مدل شده قابل تغییر و ارتقا میباشد و بر اساس اهداف مطالعاتی مختلف می توان بخش های دیگر از جمله تومور، بافتهای حیاتی و.. در آن لحاظ نمود.

بحث و نتیجه گیری:با استفاده از فانتوم دیجیتالی ارائه شده، می توان به بررسی های دوزیمتری پیش کلینیکی از جمله تعیین دوز جذبی بافتهای حیاتی در کاربردهای درمانی و تشخیصی و همچنین تأثیر روش های شیلدینگ و آرایش های تصویربرداری مختلف، کیفیت تصویر را ارزیابی نمود.

واژههای کلیدی: فانتوم دیجیتالی، روش دوزیمتری مونت کارلو، فانتوم ریاضیاتی سر، فانتوم انسان نما

مقدمه

نظر در این مطالعات پیش کلینیکی، این پروسه میتواند برای بیماران مورد استفاده قرار گیرد. جهت بررسیهای دوزیمتریک در مطالعات، از فانتومهای متعددی به عنوان جایگزین بدن انسان استفاده می شود. از آن جمله می توان به فانتومهای عمومی پیش

به منظور رعایت اصول حفاظت پرتویی در بسیاری از پروسههای درمانی و تشخیصی، بررسیهای دوزیمتری بر روی سیستمهایی دوزیمتریک انجام میشود. پس از تابش دهی و تأیید نتایج مورد

^{* (}نویسنده مسئول) ولیاله صبا، گروه رادیولوژی، دانشکدهی پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ارتش، تهران، ایران. ادرس الکترونیکی: vsaba@aut.ac.ir تلفن: ۲۱۴۳۸۲۲۴۴۹

ساخته (مانند فانتوم معادل بدن راندو آلدرسون) و فانتومهایی که به طور خاص برای آن تحقیق ساخته می شود، اشاره کرد (۱-۴). در کاربردهای بالینی برای هر کدام از این دو مجموعه، دو نوع فانتوم يكنواخت و فانتوم ناهمگن وجود دارد. در فانتوم يكنواخت، کلیه بافتهای بدن با ساده سازی اعمال شده معادل میانگین کل بافتهای بدن در نظر گرفته می شود. اما در فانتوم ناهمگن از مواد معادل بافتهای مختلف بدن استفاده می شود که ساختاری معادل بافتهای بدن دارد (۵). فانتومهای مورد استفاده باید ویژگی، عدد اتمی مؤثر و چگالی الکترونی مشابه با بافت بدن را داشته باشند. در این صورت اندرکنش پرتوهای یونیزان در این فانتومها دقيقاً مشابه بافت بدن مي باشد. از اين طريق مي توان نتايج حاصل از تابش پرتوهای یونیزان در بدن انسان را پیش بینی نمود. دلیل دیگر استفاده از فانتوم در مطالعات دوزیمتریک، تکرارپذیری این پروسه می باشد. فانتوم ساخته شده را می توان چندین بار تابش دهی نمود و بررسی های دوزیمتری مورد نظر را انجام داد (۱، ۶، ۷). به دلیل پیچیدگی و هزینهی بالای ساخت فانتومهای اختصاصی، در بسیاری از مطالعات از روش های محاسباتی و تئوری از جمله روش دوزیمتری مونت کارلو (Monte Carlo) استفاده می شود. در مطالعات و مدل سازی های مونت کارلو، فانتوم های دیجیتالی در محیط های برنامه نویسی Gate ،MCNPx و... تعریف می گردد (۸، ۹). مجموعه ی کاملی از فانتومهای دیجیتالی از لحاظ جنس، سن، فنوتیپ و... در مراکز مطالعاتی بصورت استاندارد طراحی شدهاند (۸، ۱۰–۱۹). هر یک از این فانتومهای دیجیتالی را می توان بنا به دقت لازم و اهداف یک مطالعه استفاده نمود. فانتومهای دیجیتالی به دو صورت فانتوم عمومي و فانتوم وكسل بندي شده (Voxelized phantom) طراحي شدهاند. فانتومهای دیجیتالی عمومی که با استفاده از اشکال هندسی ساده (برای مثال استوانه، مخروط، بیضی، کره و...) مدل شدهاند، دارای ویژگیهای کلی بدن انسان میباشد.این فانتومها بر اساس اهداف مطالعاتي بخصوص، داراي بخش هاي از بدن انسان بوده و بخش های دیگر نادیده گرفته می شود (۲۰). فانتومهای دیجیتالی اختصاصی بر اساس داده ای تصویربرداری شده از یک انسان، مدل شدهاند که دارای پیچیدگی و دقت بالاتری هستند (۹، ۱۶). پیچیدگی بالای این فانتومها، زمان اجرا و بار محاسباتی روش دوزیمتری مونت کارلو را به شدت افزایش میدهد. در بسیاری از

مطالعات که به صورت اختصاصی بر روی یک ارگان انجام می شود، همهی اجزا تعریف شده و دقت بالای فانتوم های دیجیتالی و کسل بندی شده لازم نیست و با مدل نمودن یک فانتوم دیجیتالی ساده می توان به اهداف مطالعه دست یافت. با توجه به اهمیت و جایگاه فانتوم های دیجیتالی در محاسبات دوزیمتری به روش مونتکارلو، در این مطالعه یک فانتوم سر انسان بر اساس داده های آناتومیک سر جهت مطالعات دوزیمتریک ناحیه سر در محیط برنامه نویسی MCNPx تعریف و پیاده سازی می شود.

م**واد و روش ها** ۱- شبیهسازی مونتکارلو

امروزه همگام با پیشرفت کامپیوترها، محاسبات مونت کارلو نیز با دقت بیشتری انجام میشود.با استفاده از نرم افزار کد نویسی MCNP انتقال و اندرکنش فوتونها، الکترونها و سایر ذرات در محدودهی وسیعی از انرژیها قابل شبیه سازی میباشد. در مسیر حرکت ذرات و برخورد آن با مواد مختلف، برخوردهای زیادی از قبیل جذب فوتوالکتریک، پراکندگی همدوس و ناهمدوس و تولید زوج اتفاق میافتد. این اندر کنش ها در کد مونتکارلو با استفاده از توابع آماري و توزيع احتمالات بررسي مي گردد (۲۱). نرمافزار Monte Carlo N-particle) MCNP) یکی از پرکاربردترین نرم افزارها در زمینه دزیمتری، طراحی و تأیید پروسههای تشخیصی و درمان میباشد.نرم افزار فوق با در اختیار داشتن اطلاعات کامل از مقاطع اندر کنش های مختلف، قادر به شبیه سازی ترابرد ذرات نو ترون، الکترون، فو تون و ... در داخل محیط های مختلف می باشد. الگوریتم به کار رفته در کد مونت کارلو کلیه واکنش های فیزیکی را که منجر به جایگذاری انرژی در ماده می شود را با دقت بسیار بالایی شبیه سازی میکند (۲۱). در این مطالعه شبیه سازی مونتکارلو با استفاده از کد هستهای MCNPx (ورژن ۲.۴.۰) انجام می گردد.

۲- هندسه و ویژگیهای فانتوم سر شبیه سازی شده بافت های داخل جمجمه تقریباً دارای اعداد اتمی و دانسیته یکسانی هستند. بنابراین در فانتومهای مبتنی بر شکل (Shapebased) همگی به صورت یک بافت همگن در داخل استخوان جمجمه در نظر گرفته می شوند. در فانتوم ORNL/TM-۸۳۸۱ که در سال ۱۹۹۶ سید سلمان ذکریایی و ولیالہ صبا

توسط SanghyunPark در گروه مهندسی هسته ای دانشگاه Hanyang کشور کره کد شده است، از بافت هایی همچون تیروئید، چشم نیز صرفنظر شده و استخوان صورت بصورت یک پوسته استوانه ای بدون اعمال مکان چشم مدل شده است (۲۰).

در مدل ارائه شده در این مطالعه بافتهای حیاتی از جمله چشم به صورت جداگانه و با توجه به ترکیب اتمی و دانسیته گزارش شده توسط گزارش ۲۴ ICRU و سایت انستیتو ملی استانداردها و تکنولوژی (NIST) مدل شده است (۲۲، ۲۳).فانتوم سر پیشنهاد شده در این مطالعه دارای بخشهای استخوان جمجمه، بافت مغز، شده در این مطالعه دارای بخشهای استخوان جمجمه، بافت مغز، شبیه سازی فانتوم سر از نتایج اپیدمیولوژیکی مطالعات و اطلاعات آناتومیک انجام شده در این زمینه استفاده شد (۲۴–۲۶).

الف) استخوان جمجمه

استخوان جمجمه به صورت یک پوسته بیضی شکل با ضخامت ۹/۰ سانتی متر مدل شد. در مدل نمودن این بخش از دو سطح بیضی با معادلات ۱و ۲ به ترتیب برای سطح داخل و سطح خارجی جمجمه استفاده شد. فضای بین این دو بیضی به عنوان استخوان جمجمه با دانسیته ۷/۹۲ gr/cm رفته شد. ترکیب اتمی و ویژگی های بافت استخوانی مدل شده در جدول ۱ لیست شده است. (1) 0<1- 2022957 (x-x0) + 0.013521 (y-y0)²

0.017778 (x- x0)² +0.01108 (y-y0)² +0.022613 (z- z0)² -1<0 (2)) بافت مغز

در مطالعات دوزیمتری برای بافت خاکستری و سفید مغز، ترکیبات اتمی و دانسیته یکسانی در نظر گرفته شده است. بنابراین در فانتوم سر ارائه شده در این مطالعه، بافت مغز به صورت یک جسم بیضی با دانسیته ۱/۰۴ gr/cm۳ با معادلهی ۳ مدل گردید. ترکیب اتمی و ویژگی های بافت مغز مدل شده در جدول ۱ لیست شده است. (3)

0.022957 (x- x0)² + 0.013521 (y- y0)² + 0.030246 (z- z0)² -1>0

ج) چشم برای بافت چشم در فانتوم مدل شده از یک حجم بیضی گون با معادله ی ۴ و ۵ استفاده شد. بافت چشم ماده ای با دانسیته ۳/۰۴ gr/cm در نظر گرفته شد که حاوی بافت لنز می باشد. ترکیب اتمی و ویژگی های بافت چشم مدل شده (بدون لنز) در جدول ۱ لیست شده است.

- $\begin{array}{ll} 0.62 \ (x-x0)^2 + 0.2508 \ (y-y0)^2 + 0.62 \ (z-z0)^2 \ -1{>}0 & (4) \\ 4.02 \ (x-x0)^2 + 25.5108 \ (y-y0)^2 + 4.02 \ (z-z0)^2 \ -1{<}0 & (5) \end{array}$
 - د) لنز چشم

برای مدل نمودن بافت لنز چشم با ابعاد ۲ × ۲ mm ×۱ cm از یک حجم بیضی گون با معادلهی ۶ استفاده شد. بافت لنز چشم مادهای با دانسیته ۲/۰۷ gr/cm در نظر گرفته شد. ترکیب اتمی و ویژگیهای بافت لنز چشم مدل شده در جدول ۱ لیست شده است.

جدول ۱- ترکیب اتمی، دانسیته و ویژگیهای بافتهای تشکیل دهندهی سر انسان (۲۲، ۲۳)

بافت	نسبت متوسط	دانسيته	تركيب
	Z/A	(g/cm ³)	(نسبت وزنی: عدد اتمی)
Eye Lens	0.54709	1.070E+00	1:0.096000;6:0.195000;7:0.057000;8:0.646000;11:0.001000;15:0.001000;16:0.003000;17: 0.001000
Brain, Grey/Whit e Matter	0.55239	1.040E+00	1: 0.107000;6: 0.145000;7: 0.022000;8:0.712000;11:0.002000;15:0.004000;16:0.002000;17:0.003000;19:0.003000
Bone, Cortical	0.51478	1.920E+00	1000:0.07337 ; 6000:0.25475 ; 7000:0.03057 ; 8000:0.47893 ; 9000:0.00025 ; 11000:0.00326
			12000:0.00112 ; 14000:0.00002 ; 15000:0.05095 ; 16000:0.00173 ; 17000:0.00143 ; 19000:0.00153 ; 20000:0.10190 ; 26000:0.00008 ; 30000:0.00005 ; 37000:0.00002 ; 38000:0.00003 ; 82000:0.00001
Tissue, Soft	0.54996	1.060E+00	1:0.102000 ; 6:0.143000 ; 7:0.034000 ; 8:0.708000 ; 11:0.002000 ; 15:0.003000 ; 16:0.003000 ; 17:0.002000 ; 19:0.003000
skin	0.54680	1.040E+00	1000:0.10454 ; 6000:0.22663 ; 7000:0.0249 ; 8000:0.63525 ; 11000:0.00112 ; 12000:0.00013 ; 14000:0.0003 ; 15000:0.00134 ; 16000:0.00204 ; 17000:0.00133 ; 19000:0.00208 ; 20000:0.00024 ; 26000:0.00005 ; 30000:0.00003 ; 37000:0.00001 ; 40000:0.00001

 $4.02 (x - x0)^2 + 25.5108 (y - y0)^2 + 4.02 (z - z0)^2 - 1 > 0$ (6)

ذ) استخوان صورت

در مدل نمودن استخوان صورت از دو سطح بیضی شکل با معادلات ۷ و ۸ به ترتیب برای سطح داخل و سطح خارجی استفاده شد. استخوان مدل شده دارای طول ۶/۸ cm در راستای ساجیتال می باشد. فضای بین این دو بیضی با مادهای معادل بافت استخوان صورت با دانسیته ۱/۹۲ gr/cm^۳ در نظر گرفته شد. ترکیب اتمی و ویژگیهای بافت استخوانی مدل شده در جدول ۱ لیست شده است.

- 0.031888 (x- x0)² + 0.017313 (y -y0)² -1>0 (7) (8)
- 0.020408 (x- x0)² + 0.012346 (y -y0)² -1<0

ر) بافت نرمال بافت نر مال فانتوم مدل شده (غیر از بافت های ذکر شده) به صورت مادهای با دانسیته ۳/۰۶ gr/cm در نظر گرفته شد. ترکیب اتمی و ویژگی های بافت نر مال مدل شده (بدون لنز) در جدول ۱ لیست شده است.

و) گردن

برای مدل نمودن استخوان ناحیهی گردن فانتوم، از یک حجم استوانهای به طول ۱۵ cm با قاعده بیضی شکل با معادله ۹ استفاده شد. دانسیته مادهی استخوان گردن ۱/۹۲ gr/cm^۳ در نظر گرفته شد. ترکیب اتمی و ویژگیهای بافت استخوان گردن در جدول ۱ لیست شده است.

0.25 (x- x0)² + 0.16 (y -y0)² -1>0 (9)

ه) يوست

برای مدل نمودن بافت پوست از مادهای معادل پوست بدن با دانسیته ۱/۰۴ gr/cm^۳ و ضخامت ۲ mm استفاده شد. ترکیب اتمی و ویژگی های بافت پوست مدل شده در جدول ۱ لیست شده است.

بحث و نتيجه گيري

۱- استخوان جمجمه

بافت استخوان جمجمه، پوست و مغز شبیه سازی شده در محیط MCNPx در شکل ۱ به صورت بصری در سه نما استاندارد (Sagittal، Coronal و Transverse) با استفاده از نرم افز ار Visual Editor نرم افز ار مونت کارلو نشان داده شده است.

۲- چشم بافت چشم و لنز چشم شبیه سازی شده در محیط MCNPx در شکل ۲ به صورت بصری در سه نما استاندارد (Coronal ،Sagittal و Transverse) با استفاده از نرم افز ار Visual Editor نرم افز ار مونت کارلو نشان داده شده است.

۳- استخوان صورت

بافت استخوان صورت شبیه سازی شده در محیط MCNPx در شکل ۳ به صورت بصری در سه نما استاندارد (Coronal ،Sagittal و Transverse) با استفاده از نرم افز ار Visual Editor نرم افز ار مونت کارلو نشان داده شده است.



شکل ۱– سه نما استاندارد (Soronal ،Sagittal) و Transverse) استخوان جمجمه شبیه سازی شده در محیط MCNPx. در این تصویر بافتهای پوست و مغز نیز نشان دادده شده است.

سید سلمان ذکریایی و ولیالہ صبا



شکل۲– سه نما استاندارد (Coronal ،Sagittal و Transverse) بافت چشم شبیه سازی شده در محیط MCNPx. در این تصویر بافتهای لنز چشم و استخوان جمجمه نیز نشان داده شده است.

۴- گردن

بافت گردن شبیه سازی شده در محیط MCNPx در شکل ۴ به صورت بصری در سه نما استاندارد (Coronal ،Sagittal و Transverse) با استفاده از نرم افزار Visual Editor نرم افزار مونتکارلو نشان داده شده است.

برش هایی از نماهای استاندارد (Coronal ،Sagittal و Coronal ،Sagittal) فانتوم شبیه سازی شده در محیط MCNPx و همچنین موقعیت این برش های مقطعی در تصاویر ۵-۷ نشان داده شده است.

فانتوم سر از لحاظ بصری و ویژگیهای ساختاری در نماهای مختلف توسط دو متخصص علوم تشریح به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. درستی و مطابقت ویژگیهای ساختاری فانتوم

شبیه سازی شده با سر انسان توسط هر دو متخصص تأیید گردید. فانتوم مدل شده قابل تغییر و ارتقامی باشد و بر اساس اهداف مطالعاتی مختلف می توان بخش های دیگر از جمله تومور، بافت های حیاتی و.. در آن لحاظ نمود.در پرتودهی از راه دور (Teletherapy) و نزدیک (Brachytherapy)، قبل از اجرای یک پروتکل درمانی بر روی بیمار توزیع دوز جذبی در بافت های حیاتی و بافت تومور باید بررسی فانتوم فیزیکی مشابه بدن اعمال می گردد (۱). در بسیاری از موارد فانتوم فیزیکی مشابه بدن اعمال می گردد (۱). در بسیاری از موارد نمی باشد. بنابراین از روش های محاسبات تحلیلی، طراحی درمان و... استفاده می شود. یکی از دقیق ترین روش ها محاسباتی، روش دوزیمتری مونتکارلو می باشد. در محاسبات شبیه سازی نیازی



شکل۳– سه نما استاندارد (Coronal ،Sagittal و Transverse) استخوان صورت شبیه سازی شده در محیط MCNPx. در این تصویر بافتهای چشم و بافت نرم صورت نیز نشان داده شده است.



شکل۴– سه نما استاندارد (Coronal ،Sagittal و Transverse) استخوان گردن شبیه سازی شده در محیط MCNPx. در این تصویر بافتهای پوست و بافت نرم گردن نیز نشان داده شده است.



شکل ۵- چند برش از نمای Transverse فانتوم سر انسان شبیه سازی شده و موقعیت این برش مقطعی در فانتوم سر.



شکل ۶- دو برش از نمای Sagittal فانتوم سر انسان شبیه سازی شده و موقعیت این برش مقطعی در فانتوم سر.



شکل ۷– دو برش از نمای Coronal فانتوم سر انسان شبیه سازی شده و موقعیت این برش مقطعی در فانتوم سر.

به داشتن و ساختن سیستمهای واقعی نیست. حالات مختلفی که میتوان با شبیه سازی مورد بررسی قرار داد، به فرد امکان تعیین پارامترهایی با بیشترین تأثیر (و همچنین پارامترهایی با اهمیت کمتر) در عملکرد سیستم را فراهم میکند. این مسئله موجب کاهش هزینههای پژوهش های مختلف و کاهش زمان محاسبات میشود. بنابراین در شبیه سازی کنترل بالایی بر پارامترهای سیستم وجود دارد (۳۰). در این روش منبع پرتوزا، آرایش هندسی پرتودهی و

همچنین فانتوم معادل انسان مدل می شود. با استفاده از این آرایش مدل شده، مقدار دوز رسیده به ارگان های حیاتی در آرایش های مختلف را می توان تعیین نمود (۲۷–۲۹).

سید سلمان ذکریایی و ولیالہ صبا

همچنین در مطالعات تصویربرداری برش نگاری کامپیوتری اشعه ایکس (CT)، برش نگاری کامپیوتری نشر تک فوتونی (SPECT)، برش نگاری نشر پوزیترون (PET) و... نتیجه اعمال حالتهای مختلف شیلدینگ، حضور ماده کنتر است و هندسههای تصویربرداری در دوز جذبی بافتهای حیاتی، نویز و کیفیت تصویر را می توان بررسی نمود (۵، ۳۱–۳۶).

هدف از انجام این مطالعه تعریف و پیاده سازی یک فانتوم سر انسان بر اساس دادههای آناتومیک سر جهت مطالعات دوزیمتریک ناحیه سر در محیط برنامه نویسی MCNPx بود. صحت و تطابق فانتوم مدل شده با ویژگیهای سر انسان توسط متخصصین علوم تشریح تأیید گردید. با استفاده از فانتوم دیجیتالی ارائه شده، میتوان به بررسیهای دوزیمتری پیش کلینیکی از جمله تعیین دوز جذبی بافتهای حیاتی در کاربردهای درمانی و تشخیصی و همچنین تأثیر روشهای شیلدینگ و آرایشهای تصویربرداری مختلف در کیفیت تصویر را ارزیابی نمود.

تشكر و قدردانی

این مطالعه با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی ارتش انجام شده است. نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ارتش برای حمایتهای بی دریغ خود در انجام این مطالعه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

References

- Khan FM, Gibbons JP. Khan's the physics of radiation therapy: Lippincott Williams & Wilkins; 2014.
- 2- Staton RJ, Jones AK, Lee C, Hintenlang DE, Arreola MM, Williams JL, et al. A tomographic physical phantom of the newborn child with real-time dosimetry. II. Scaling factors for calculation of mean organ dose in pediatric radiography. Medical physics. 2006;33(9):3283-9.
- 3- Kan MW, Leung LH, Wong W, Lam N. Radiation dose from cone beam computed tomography for image-guided radiation therapy. International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics. 2008;70(1):272-9.
- 4- Hurwitz LM, Yoshizumi TT, Goodman PC, Frush DP, Nguyen

G, Toncheva G, et al. Effective dose determination using an anthropomorphic phantom and metal oxide semiconductor field effect transistor technology for clinical adult body multidetector array computed tomography protocols. Journal of computer assisted tomography. 2007;31(4):544-9.

- 5- He B, Du Y, Song X, Segars WP, Frey EC. A Monte Carlo and physical phantom evaluation of quantitative In-111 SPECT. Physics in medicine and biology. 2005;50(17):4169.
- 6- Snyder W, Cook M, Nasset E, Karhausen L, Howells GP, Tipton I. Report of the task group on reference man. International Commission of Radiological Protection. 1974;23:112.

19

- Nutton D, Harris S. Tissue equivalence in neutron dosimetry. Physics in medicine and biology. 1980;25(6):1173.
- 8- Kramer R, Khoury H, Vieira J, Loureiro E, Lima V, Lima F, et al. All about FAX: a Female Adult voXel phantom for Monte Carlo calculation in radiation protection dosimetry. Physics in medicine and biology. 2004;49(23):5203.
- 9- Caon M, Bibbo G, Pattison J. An EGS4-ready tomographic computational model of a 14-year-old female torso for calculating organ doses from CT examinations. Physics in medicine and biology. 1999;44(9):2213.
- 10- VIP-Man phantom developed by RRMDG at Rensselaer Polytechnic Institute in Troy, NY [Internet]. 2016. Available from: http: //www.rpi.edu/dept/radsafe/public_html/project. htm.
- 11- Xu X, Chao T, Bozkurt A. VIP-Man: an image-based wholebody adult male model constructed from color photographs of the Visible Human Project for multi-particle Monte Carlo calculations. Health Physics. 2000;78(5):476-86.
- 12- Lee C, Lee C, Williams JL, Bolch WE. Whole-body voxel phantoms of paediatric patients—UF Series B. Physics in medicine and biology. 2006;51(18):4649.
- 13- Christ A, Kainz W, Hahn EG, Honegger K, Zefferer M, Neufeld E, et al. The Virtual Family—development of surface-based anatomical models of two adults and two children for dosimetric simulations. Physics in medicine and biology. 2009;55(2):N23.
- 14- Saito K, Wittmann A, Koga S, Ida Y, Kamei T, Funabiki J, et al. Construction of a computed tomographic phantom for a Japanese male adult and dose calculation system. Radiation and environmental biophysics. 2001;40(1):69-76.
- 15- Nagaoka T, Watanabe S, Sakurai K, Kunieda E, Watanabe S, Taki M, et al. Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry. Physics in medicine and biology. 2003;49(1):1.
- 16- Kim CH, Choi SH, Jeong JH, Lee C, Chung MS. HDRK-Man: a whole-body voxel model based on high-resolution color slice images of a Korean adult male cadaver. Physics in medicine and biology. 2008;53(15):4093.
- 17- Zhang B, Ma J, Liu L, Cheng J. CNMAN: a Chinese adult male voxel phantom constructed from color photographs of a visible anatomical data set. Radiation protection dosimetry. 2007;124(2):130-6.
- Petoussi-Henss N, Zankl M, Fill U, Regulla D. The GSF family of voxel phantoms. Physics in medicine and biology. 2001;47(1):89.
- Zankl M, Eckerman K. The GSF voxel computational phantom family. Handbook of Anatomical Models for Radiation Dosimetry. 2010:65-85.
- The ORNL Mathematical Phantom Series [Internet]. 1996.
 Available from: http://homer.hsr.ornl.gov/VLab/VLabPhan.

html.

- 21- Manual MUs. Version 2.4. 0. Intersil Americas Inc. 2002.
- 22- Bethesda M. Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement, Report 44 of the International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU; 1989.
- 23- NIST Standard Reference Database [Internet]. 2016. Available from: https://www.nist.gov/pml/.
- 24- Roy A, Kar M, Mandal D, RAy RS, Kar C. Variation of axial ocular dimensions with age, sex, height, BMI-and their relation to refractive status. Journal of clinical and diagnostic research: JCDR. 2015;9(1): AC01.
- 25- Marieb EN, Hoehn K. Human anatomy & physiology: Pearson Education; 2007.
- 26- Netter FH, Colacino S. Atlas of human anatomy: Ciba-Geigy Summit, NJ; 1989.
- 27- Barquero R, Edwards T, Iñiguez M, Vega-Carrillo H. Monte Carlo simulation estimates of neutron doses to critical organs of a patient undergoing 18MV X-ray LINAC-based radiotherapy. Medical physics. 2005;32(12):3579-88.
- Faddegon B, Schreiber E, Ding X. Monte Carlo simulation of large electron fields. Physics in medicine and biology. 2005;50(5):741.
- Chetty I, Siebers J. TH-B-T-6E-01: Monte Carlo Applications in Conformal, IMRT and 4D Clinical Treatment Planning: Pitfalls and Triumphs. Medical Physics. 2005;32(6):2152-3.
- Sale K. Overview and applications of the Monte Carlo radiation transport kit at LLNL. Lawrence Livermore National Lab., CA (US), 1999.
- 31- Bhat M, Pattison J, Bibbo G, Caon M. Off-axis x-ray spectra: a comparison of Monte Carlo simulated and computed x-ray spectra with measured spectra. Medical physics. 1999;26(2):303-9.
- 32- Chan HP, Higashida Y, Doi K. Performance of antiscatter grids in diagnostic radiology: experimental measurements and Monte Carlo simulation studies. Medical physics. 1985;12(4):449-54.
- 33- Boone JM. Parametrized x-ray absorption in diagnostic radiology from Monte Carlo calculations: Implications for x-ray detector design. Medical physics. 1992;19(6):1467-73.
- 34- Kimiaei S, Ljungberg M, Larsson SA. Evaluation of optimally designed planar-concave collimators in single-photon emission tomography. European journal of nuclear medicine. 1997;24(11):1398-404.
- 35- Kacperski K, Spyrou NM. Performance of three-photon PET imaging: Monte Carlo simulations. Physics in medicine and biology. 2005;50(23):5679.
- 36- Perisinakis K, Raissaki M, Tzedakis A, Theocharopoulos N, Damilakis J, Gourtsoyiannis N. Reduction of eye lens radiation dose by orbital bismuth shielding in pediatric patients undergoing CT of the head: a Monte Carlo study. Medical physics. 2005;32(4):1024-30.