توسعه کتابخانه فانتوم های محاسباتی در گروه بزرگسالان بر مبنای شاخص‌های انتروپومورفیک

اخوان‌علاف،آزاده[۱]–تیانوو،ایکس‌آی[۱]–حبیب،زیدی[۱]

دانشگاه ژنو، دانشکده پزشکی، گروه پزشکی هسته‌ای

چکیده:

در این مطالعه، کتابخانه‌ای از فانتوم‌های انتروپومورفیک شامل بازه گسترده‌ای از مشخصات مورفومتریک و تفاوت‌های آناتومیک برای گروه بزرگسالان از فانتوم‌های مرجع ICRP مرد و زن ساخته شده‌است. داده‌های مورفومتریک از جداول منتشر شده در NHANES و تفاوت‌های آناتومیکی از اندازه‌گیری‌های تجربی استخراج شده‌است. در اولین مرحله وزن ارگان-ها وابسته به پارامترهای انتروپومورفیک محاسبه شده و با استفاده از یک الگوریتم اتوماتیک قد فانتوم و درصد توده آزاد چربی با تغییرات خطی در سه بعد تنظیم گردیده است و نهایتا اندازه دور کمر و وزن کل بدن با افزایش و یا کاهش لایه های چربی زیر پوستی به مقدار مطلوب رسیده است.

کلمات کلیدی:*فانتوم محاسباتی، کتابخانه فانتوم انتروپومورفیک، جرم مقیاس شده ارگان‌ها*

مقدمه :

نظر به اینکه در دهه‌های اخیر استفاده از پرتو در تصویربرداری‌های پزشکی به طور قابل توجهی افزایش یافته و به پیشرفت‌های چشمگیری در تشخیص و درمان بیماری‌ها منجر شده است، پایش مخاطرات بالقوه بهداشتی در بعضی کاربردهای نامناسب به عنوان موضوعی قابل بررسی در این زمینه مورد توجه قرار گرفته است. در تاریخچه دزنگاری از ابتدا تا کنون انواع فانتوم‌های محاسباتی مورد استفاده بوده است. فانتوم‌های محاسباتی از اشکال هندسی ساده آغاز و در حال حاضر به مدل‌های شخصی (person-specific) به عنوان مدل ایده آل رسیده است[۱]. در حوزه فانتوم‌های انتروپومورفیک، برای تولید مدل‌های شخصی تصاویر توموگرافیک پزشکی با قدرت تفکیک بسیار بالا نیاز است و به دنبال آن فرآیند زمانبر جداسازی آناتومیکی(segmentation)، چنین محدودیت‌هایی منجر به تعریف کتابخانه‌های فانتوم‌های آنتروپومورفیک شده‌است. به منظور بررسی اثر تفاوت‌های آناتومیکی و همچنین تفاوت‌های ظاهری افراد همچون قد و وزن و درصد وزن چربی کل بدن و نحوه توزیع آن، در دهه اخیر تولید فانتوم‌های وابسته به بیمار(patient-dependent phantom)مورد توجه قرار گرفته است[۲]. از نمونه‌های موفق در این زمینه می‌توان کتابخانه دانشگاه فلوریدا(Florida)را نام برد که با استفاده از روش BoundaryRepresentation (BREP) مدل شده است[۳]. سری فانتوم مذکور، از فانتوم مرجع UF hybrid adult male با استفاده از سطوح بسته Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS) در نرم افزار پردازش سطوح Rhinoceros توسعه یافته است. همچنین کتابخانه دانشگاه رنسلر (Rensselaer) از گسترش مدل رفرنس RPI با استفاده از روش‌های Polygon meshes در گروه سنی ۱۹ سال برای هر دو جنسیت مرد و زن ساخته شده است[٤]. رویکرد کتابخانه

فانتوم‌های انتروپومورفیک شامل فرضیاتی برای ساده‌سازی مسئله می‌شود که محل تمرکز مطالعات اخیر است. بررسی تفاوت‌های آناتومیکی افراد از جمله شکل، محل قرارگیری و جرم ارگان‌ها به دلیل کمبود داده‌های تجربی و همچنین منحصر بفرد بودن این ویژگی‌ها برای افراد مختلف، در تولید کتابخانه‌های فانتومی مورد اغماض واقع شده است.

در این مطالعه، تلاش شده است تا یکی از محدودیت‌های رویکرد فانتوم‌های وابسته به بیمار بهبود یابد. کتابخانه ای از فانتوم‌های آنتروپومورفیک شامل ۲۳۰ فانتوم مرد و ۲۴۹ فانتوم زن در گروه‌های سنی ۲۰ تا ۸۰ سال در سایزهای مختلف ساخته شده است. موضوع مورد توجه در این مطالعه، تفاوت‌های آناتومیکی افراد است که برای تخمین وزن ارگان‌های داخلی بر مبنای پارامترهای آنتروپومتریک مقالات علمی در دسترس در این زمینه جمع آوری شده و داده‌های قابل اعتماد گزارش شده از کالبد شکافی و تصویربرداری‌های تشخیصی استخراج شده است. در توسعه این کتابخانه از فانتوم‌های مرد و زن مرجع ICRP که با ساختار وکسل (voxel) موجود است استفاده شده است. این فانتوم‌های مرجع طی یک فرآیند اتوماتیک تغییر شکل پیدا کرده تا با پارامترهای مورفومتریک هدف منطبق شوند. داده‌های انتروپومتریک از پایگاه داده National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) [5][منتشر شده در سال ۲۰۱۶ استخراج شده است.

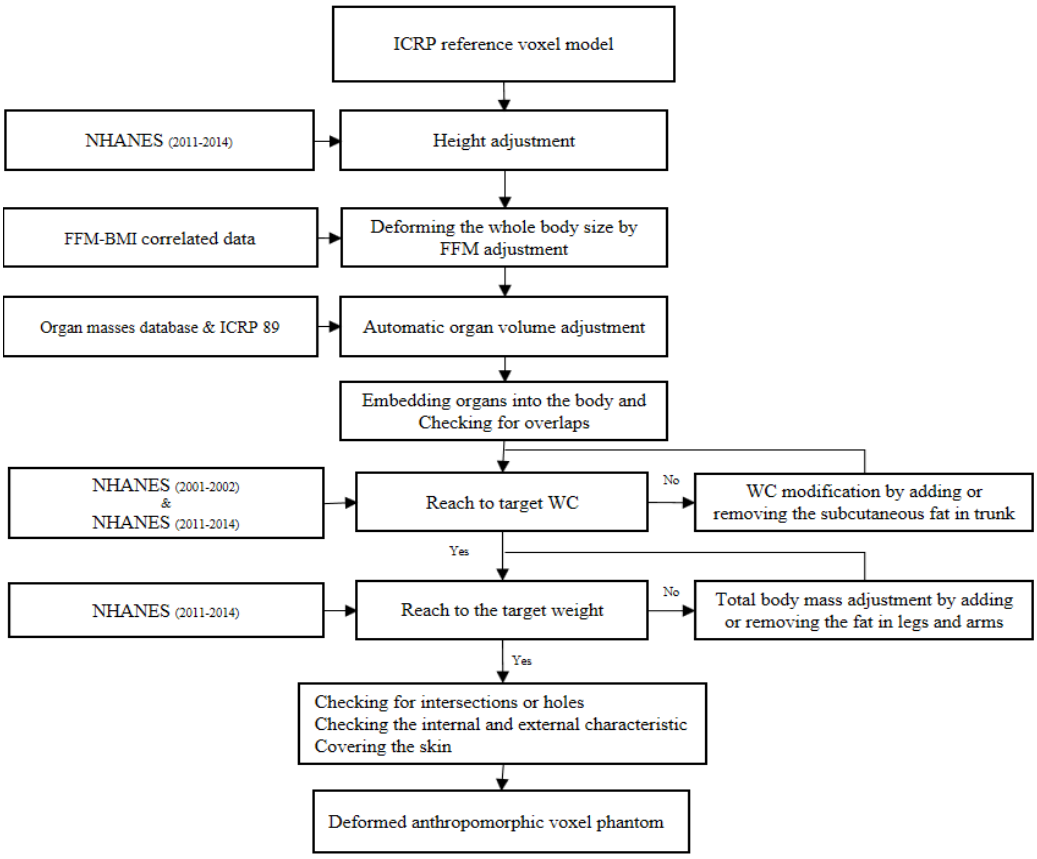
روش کار :

کتابخانه فانتوم‌های انتروپومورفیک به منظور تطبیق مشخصات فیزیکی یک بیمار واقعی با یکی از اعضای کتابخانه گسترش یافته است. در این مطالعه، فانتوم‌های وابسته به بیمار از نقطه نظر جنسیت، سن، قد و وزن افراد انتخاب می‌شوند. به همین دلیل انتخاب پارامترهای مورفومتریک از اهمیت خاصی برخوردار است تا در فرآیند تطبیق تمام گروه‌های سنی، قدی و وزنی در یک جامعه را شامل شود. آخرین گزارش منتشر شده شامل داده‌های آماری از ویژگی‌های ظاهری افراد به صورت تابع‌های توزیع تجمعی، از مطالعات تجربی پایگاه داده‌ای NHANES در این کتابخانه مورد استفاده قرار گرفته است. برای تنظیم توده آزاد چربی (fat free mass)و تطبیق اندازه دور کمر افراد متناسب با شاخص توده بدنی، از داده‌های تجربی منتشر شده در این زمینه بهره گرفته شده است. همچنین برای تطبیق جرم ارگان‌ها متناسب با مشخصات فیزیکی افراد، از روابط همبستگی چندگانه وابسته به جنسیت، سن، قد، وزن، و شاخص توده بدنی حاصل از مطالعات تجربی استفاده شده است. جهت توسعه فانتوم وابسته به بیمار، در مرحله اول قد و توده آزاد چربی با یک تغییر مقیاس سه بعدی در فانتوم مرجع ICRP با مقادیر هدف منطبش شد، سپس جرم ۱۳ ارگان مورد نظر شامل مغز، قلب، کلیه‌ها، ریه‌ها، کبد، تیروئید، لوزالمعده، طحال، مثانه به علاوه اندام‌های تناسلی متناسب با پارامترهای مورفومتریک در داخل فانتوم جاسازی شده و همپوشانی‌ها با رویکرد اولویت جرمی و حساسیت به اشعه حذف شدند. اندازه دور کمر، با افزودن و یا برداشتن لایه چربی زیر پوستی

فانتوم مرجع، به اندازه مورد نظر رسیده و نهایتا وزن کل بدن با مقدار هدف تطبیق داده شد. در شکل ۱ فلوچارت الگوریتم تغییر شکل فانتوها نمایش داده شده است.

کاربرد: تخمین دز جذبی ارگان‌ها با روش مونت کارلو

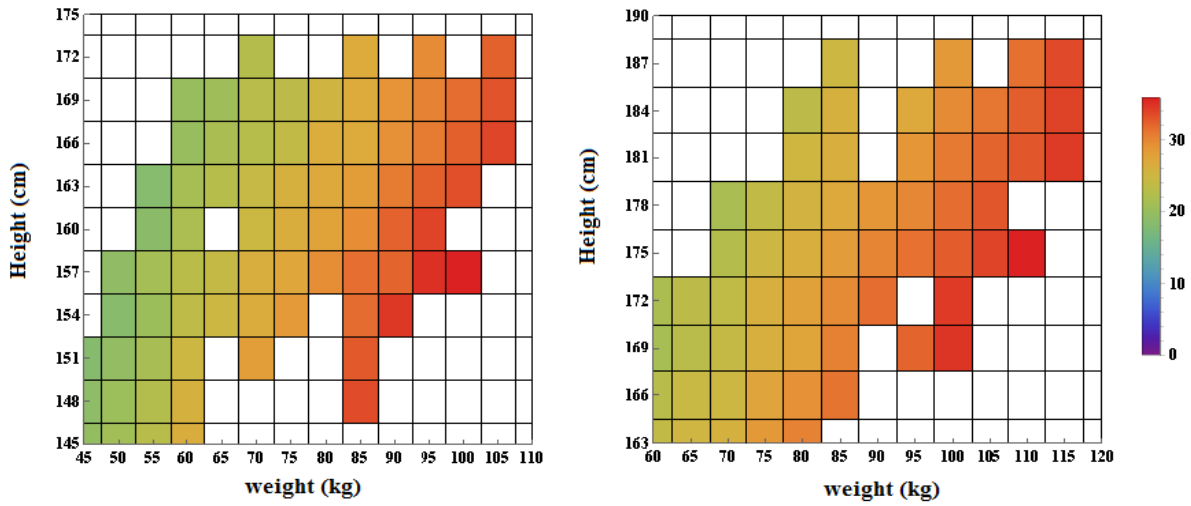
به منظور بررسی اثر مشخصات فیزیکی افراد بر نمایه دزیمتری ناشی از پرتوگیری، در این بخش فرآیند شبیه سازی مونت کارلویی یک پروتوکل اجرایی در معاینات رادیولوژیک با استفاده از سیستم CT گزارش شده است. تصاویر پزشکی یک بیمار زن با شاخص توده بدنی بالا که تحت پرتوگیری خارجی (CT scan) قرار گرفته بود انتخاب و مدل وکسلی (voxel) این بیمار توسط روش segmentation نیمه اتوماتیک تولید شد. از کتابخانه مذکور نیز فانتوم منطبق با مشخصات فیزیکی بیمار انتخاب شد. برای شبیه سازی مونت کارلویی این اسکن که با استفاده از دستگاه Discovery CT 750 HD در ناحیه قفسه سینه وشکم انجام گرفته، از یک برنامه اتوماتیک بر مبنای کد MCNPX که قبلا در گروه ما توسعه یافته استفاده شده است. پروتوکل معاینه مذکور شامل سرعت تخت ۵۵میلی متر/چرخش، ۰,۷ ثانیه زمان یک چرخش کامل، گام ۱,۳۷ و ٤٠ میلی متر عرض کولیماتور در ولتاژ ۱۲۰ کیلوولت و جریان تیوب متغیر با متوسط ۲۸۵ میلی‌آمپر ثانیه می‌باشد. نهایتا مقایسه‌ای بین دز جذبی ارگان‌ها در مدل اصلی بیمار، فانتوم مرجع ICRP و فانتوم منطبق با بیمار و همچنین دو نرم‌افزار تجاری محاسبات دزیمتری برای معاینات رادیولوژیک، Radimetrics و ImPACT،انجام گرفته است.



شکل ۱ نمای شماتیکی از الگوریتم تغییر شکل فانتوم.

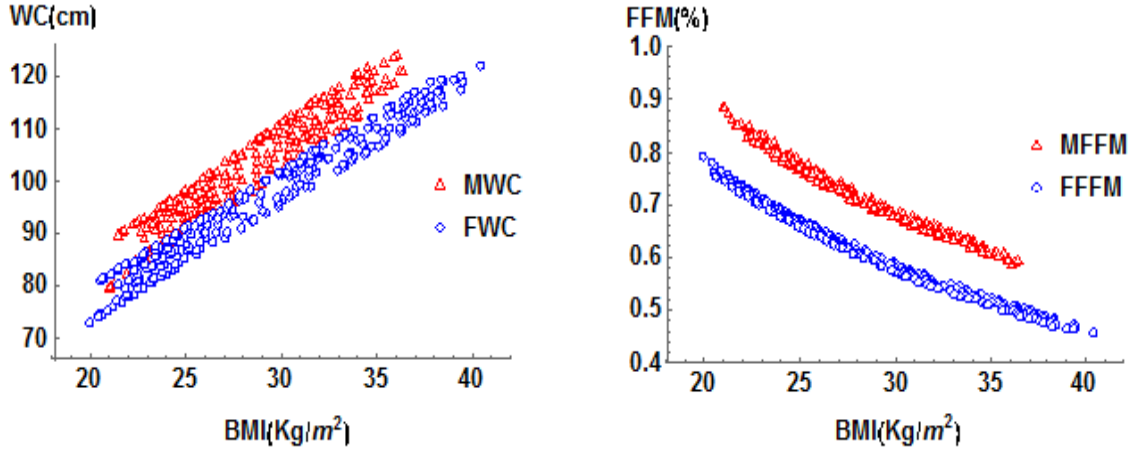
نتایج :

پارامترهای انتروپومورفیک اولیه مورد استفاده در توسعه این کتابخانه شامل ترکیبات مختلف قد و وزن برای هـر دو جنسیت در شکل ۲ نمایش داده شده است، به طوریکه نمایه رنگی نشانگر شاخص توده بدنی فانتوم‌ها می‌باشد.



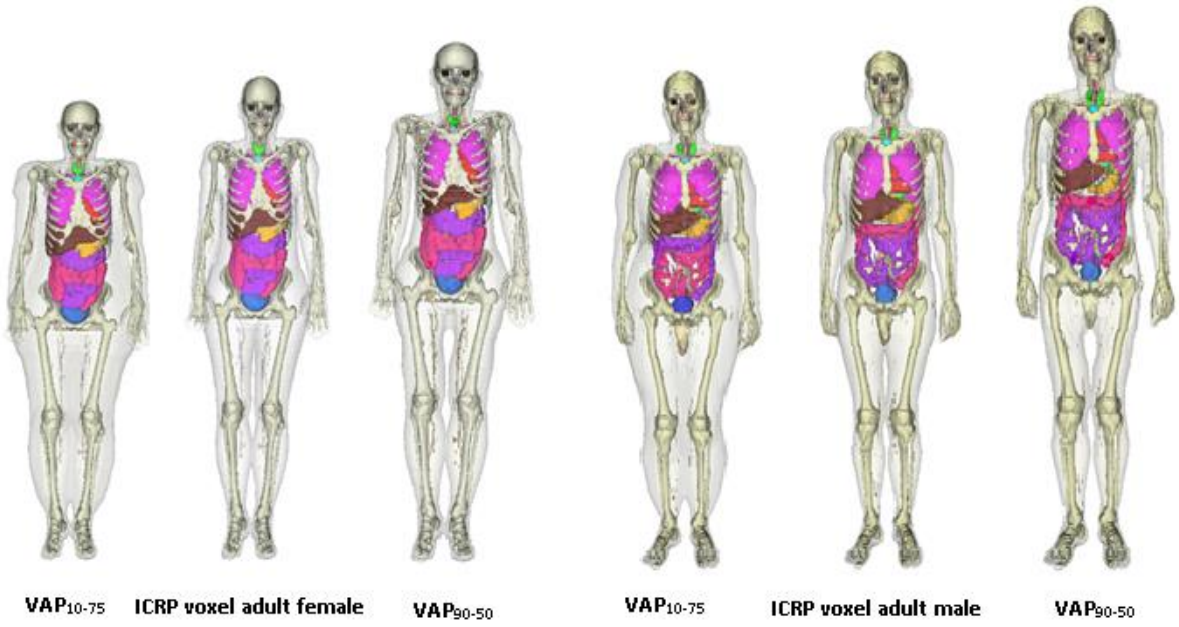
شکل ۲ مشخصات انتروپومورفیک شامل ترکیبات مختلف قد و وزن، نمایه رنگی نشانگر شاخص توده بدنی است.

شکل ۳ روند تغییرات توده آزاد چربی و اندازه دور کمر متناسب با شاخص توده بدنی را نشان می‌دهد.



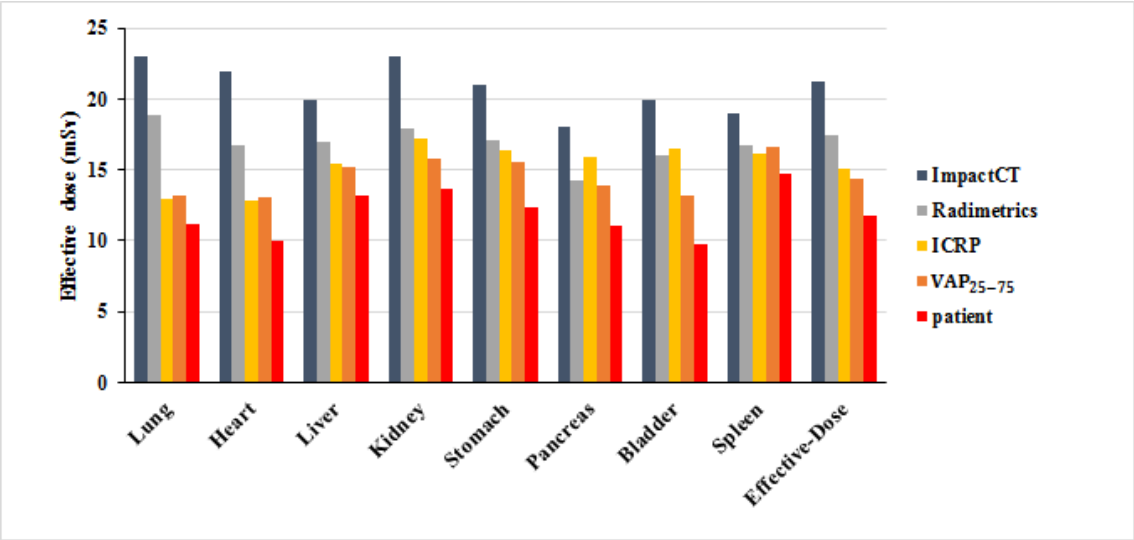
شکل ۳ روند تغییرات توده آزاد چربی و اندازه دور کمر متناسب با شاخص توده بدنی

به عنوان نمونه‌ای از فانتوم‌های patient-dependent حاصل از این کتابخانه، در شکل ٤ نمای روبرو از تصاویر سه بعدی برای هر دو جنسیت نمایش داده شده است. نام هر فانتوم بر مبنای مخفف VAP (voxel adult phantom) و درصد قد و درصد وزن گزارش شده در NHANES معرفی شده است.



شکل ٤ نمای سه بعدی از سری فانتوم در مشخصات فیزیک متفاوت برای جنسیت زن و مرد

در محاسبات دزیمتری، نتایج حاصل از مدل اصلی بیمار به عنوان نتیجه مرجع در نظر گرفته شده و با نتایج حاصل از دیگر مدل‌ها مقایسه شده‌است. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود مدل منطبق شده با بیمار بهترین نتایج را با متوسط خطای ۲۲,٤٪ نشان می‌دهد در حالیکه نتایج حاصل از فانتوم مرجع ICRP و گزارشات Radimetrics و ImPACT دز جذبی ارگان‌ها را به ترتیب با متوسط خطای ۳۰٪، ٤۳٪ و ۷٦٪ نشان می‌دهند.



شکل ۵ دز جذبی ارگان‌ها ناشی از پرتوگیری خارجی توسط دستگاه CT

بحث ونتیجه گیری :

با توجه به ضرورت دقت محاسبات دزیمتری در مسائل رادیولوژی و پرتودرمانی، توسعه یک کتابخانه جامع که شامل توزیع وسیعی از مشخصات فیزیکی افراد یک جامعه می‌باشد مورد نیاز است. با توجه به منحصر بفرد بودن آناتومی هر فرد در حال حاضر نمی‌توان مدل دقیق بیمار را شبیه‌سازی کرد، اما کتابخانه فانتوم‌های وابسته به بیمار قدم موثری در بهبود تخمین نتایج دزیمتری برداشته‌اند.

مراجع :

۱. Zaidi, H. and B.M.W. Tsui, *Review of Computational Anthropomorphic Anatomical and Physiological Models.* Proceedings of the IEEE, 2009. **97**(12): p. 1938-1953.

۲. Xu, X.G., *An exponential growth of computational phantom research in radiation protection, imaging, and radiotherapy: a review of the fifty-year history.* Phys Med Biol, 2014. **59**(18): p. R233-302.

۳. Johnson, P.B., et al., *Hybrid patient-dependent phantoms covering statistical distributions of body morphometry in the U.S. adult and pediatric population.* Proceedings of the IEEE, 2009. **97**(12): p. 2060-2075.

٤. Na, Y.H., et al., *Deformable adult human phantoms for radiation protection dosimetry: anthropometric data representing size distributions of adult worker populations and software algorithms* .Phys Med Biol, 2010. **55**(13): p. 3789-811.

٥. Fryar, C., et al., *Anthropometric reference data for children and adults: United States, 2011–2014. National Center for Health Statistics.* . Vital Health Stat, 2016. **3**(39.(