



بررسی توزیع دز بالون حاوی گاز Xe-133 به منظور جلوگیری از تنگی دوباره عروق به روش شبیه‌سازی مونت کارلو با استفاده از کد MCNP

مسعودی، میلاد*^(۱) علامت ساز، محمدحسن^(۲) شکرانی، پروانه^(۳)

صنعتی اصفهان، فیزیک، فیزیک هسته‌ای

صنعتی اصفهان، فیزیک، فیزیک هسته‌ای

اصفهان، علوم پزشکی، فیزیک پزشکی

چکیده:

هر ساله، حدود یک چهارم کل مرگ و میر دنیا به علت بیماری گرفتگی رگ‌های کرونر قلب، اتفاق می‌افتد. ساده‌ترین درمان این بیماری، آنژیوپلاستی داخل مجرای عروق کرونری به روش باد کردن بالون در محل گرفتگی رگ است. در اینجا هدف ما نوع خاصی از براکی تراپی^۱ است که در آن به مدیریت بهینه‌ی دز تابشی دیواره داخلی رگ برای جلوگیری از تنگی دوباره آن پرداخته می‌شود. چشمه‌های مناسب برای این عمل گسیلنده‌های پرتو بتا می‌باشند. در این مقاله بالون‌گازی حاوی گازهای Xe-133 و CO₂ به منظور جلوگیری از تنگ شدن دوباره عروق شبیه‌سازی شده است که برای این کار از فن محاسبه مونت کارلو با استفاده از نرم افزار MCNPX ۲,۶ کمک گرفته شده است.

کلمات کلیدی: Xe-133، بالون، عروق کرونری، براکی تراپی، MCNP

مقدمه:

در بیماری شریان قلبی، مجرای رگ‌ها به تدریج تنگ و مسدود می‌شوند، اگر این اتفاق در سرخرگ‌های که ماهیچه‌های قلب را تغذیه می‌کنند، رخ دهد منجر به درد سینه می‌شود که به آن آنژین می‌گویند و در نهایت باعث بروز حمله قلبی می‌گردد. آنژیوپلاستی روشی برای باز نگه داشتن سرخرگ‌های تنگ شده می‌باشد به طوری که بتواند جریان خون آسان تر به قلب برسد. در طی این فرآیند یک بالون^۲ به آرامی درون سرخرگ قرار می‌گیرد و یک استنت^۳ سرخرگ را باز نگه می‌دارد [۱].

متاسفانه آنژیوپلاستی زیر پوستی^۴ (PTCA) مشکلاتی نیز دارد. یکی از مشکلات اصلی آن گرفتگی مجدد و یا تنگی دوباره جداره داخلی رگ است که بلافاصله "گرفتگی زودرس" یا پس از گذشت چند ماه "گرفتگی دیر هنگام" اتفاق می‌افتد. بنابراین به منظور جلوگیری از گرفتگی دوباره رگ از دانه‌های رادیواکتیو و یا

^۱ Brachytherapy

^۲ Balloon

^۳ Stent

^۴ Percutaneous Translumina Coronary Angioplasty



استنت های فلزی رادیواکتیو اندود یا بالون های پر شده با مواد رادیواکتیو استفاده می شود [۲]. براکی تراپی موقتی را می توان در آهنگ های دز پایین و یا بالا انجام داد.

با پیشرفت تکنولوژی در سال ۱۹۶۰ ابتدا با عمل جراحی کاتر توخالی در بدن قرار می گرفت و سپس چشمه رادیواکتیو کاشته می شد. در سال ۱۹۸۰ با کمک سیستم کنترل از راه دور این عمل صورت گرفت و تنها دریافت کننده تابش بیمار بود. در درمان های بعدی این امکان فراهم شد که چشمه رادیواکتیو در بافت مورد درمان بیمار قرارداده شود و پس از مدت زمان معینی برداشته شود. نخستین آزمایش ها بر روی انسان توسط متخصصین قلب در کاراکس^۱ (کوندائو^۲ و همکارانش در سال ۱۹۹۴) انجام شد. آزمایش بر روی ۲۱ بیمار با ۲۲ آسیب عروقی انجام شد که در آن پس از آنژیوپلاستی، از چشمه ^{۱۹۲}Ir بر روی مونوریل^۳ درون یک کاتر باریک که یک انتهای آن بسته است، استفاده شد [۳]. پائول وکسبرگ^۴ و همکارانش در سال ۲۰۰۲ تغییرات ضخامت عروقی پس از کاشت یک استنت رادیواکتیو را بررسی کردند. آن ها ۱۵ بیمار را که برای آن ها استنت رادیواکتیو ^{۳۲}P استفاده شده بود مورد بررسی شش ماهه قرار دادند. استنت های رادیواکتیو منجر به یک نوع از تنگی مجدد می شوند که عمدتاً در لبه های استنت رخ می دهد (در لبه ها بارزترین و در بدنه استنت کم ترین) [۴]. در گزارش دیگری نشان داده شد که استفاده از بالون پر شده با مواد رادیواکتیو می تواند روش بهتری نسبت به استنت های رادیواکتیو و کاترهای بتازا باشد، زیرا دز یکنواختی را به دیواره رگ می رساند. برای بالون های مایع، چشمه های Re-188 و Re-186 پیشنهاد های خوبی می توانند باشند [۵]. از موارد دیگر استفاده شده از بالون رادیواکتیو می توان از آزمایش بالون گازی ^{۱۳۳}Xe نام برد که توسط مارک اپل و همکاران انجام شد، اکتیویته متوسط این گاز در بالون با قطر کوچک ۳/۵ mm و قطر بزرگ ۴۵ mm برابر $12/1 \pm 67/7$ mCi می باشد. این آزمایش بر روی خوک به دلیل مشابهت عروق آن به انسان انجام گرفته است و نتایج رضایت بخشی از آن گزارش شده است [۶].

در این مقاله سعی می شود، میزان توزیع دز در ضخامت رگ کرونری ناشی از بالون گازی حاوی گاز ^{۱۳۳}Xe با استفاده از شبیه سازی MCNP^۶ با کمک فن محاسبه مونت کارلو صورت پذیرد.

روش کار :

کد پر قدرت و چند منظوره MCNP برای شبیه سازی مسائل گوناگون و به دست آوردن کمیت های مورد نظر با روش مونت کارلو به کار می رود. MCNPX برای حل مسائل ترابرد نوترون، فوتون، الکترون و ... یا مسائلی که تلفیقی از این ذرات در آن موجود است، به کار می رود [۷]. در این مقاله، بالون مورد بررسی با ۹۵٪ حجمی گاز CO₂ و ۵٪ حجمی گاز Xe به ترتیب با چگالی های $10^{-3} \times 1/842$ و $10^{-3} \times 5/485$ گرم بر

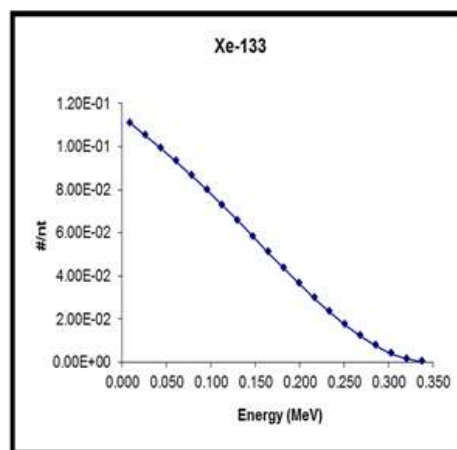
^۱ Carax
^۲ Qundao
^۳ Monorail
^۴ Paul Wexberg



سانتی متر مکعب در شرایط STP پر شده است. گاز زنون یک گاز از گروه گازهای نجیب با عدد اتمی ۵۴ می باشد. در این پژوهش ایزوتوپ ^{133}Xe مورد بررسی قرار می گیرد. این گاز رادیواکتیو شامل دو نوع ذره گسیلی، بتا منفی با حداکثر انرژی 364 keV و فوتون های کم انرژی (پرتو ایکس) با نیم عمر $5/2$ روز می باشد. در شکل (۱) طیف انرژی ذرات بتا نشان داده شده است [۸]. همان طور که بیان شد گاز ^{133}Xe شامل فوتون های کم انرژی (پرتو ایکس) نیز می باشد که در جدول (۱) تعدادی از فوتون ها با بالاترین درصد های واپاشی و انرژی های آنها بیان شده است [۹].

جدول شماره (۱)

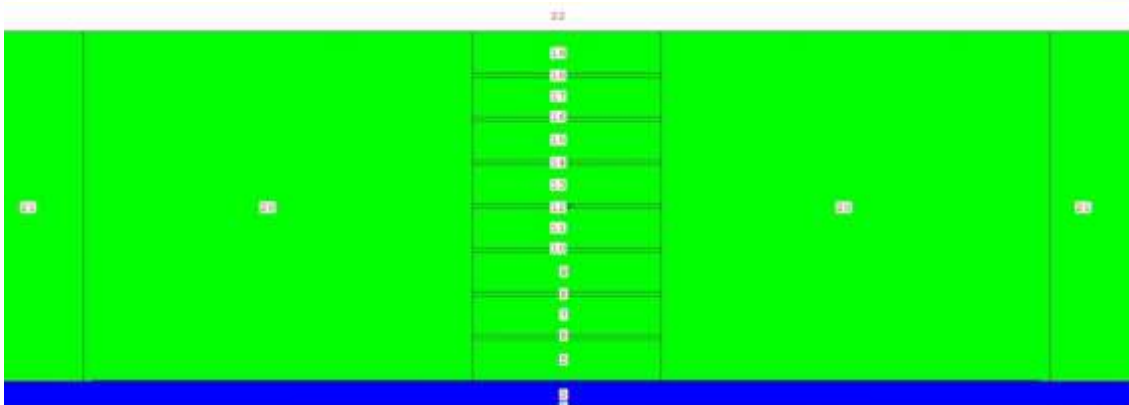
Intensity (%)	Energy (keV)
۲۶/۵۰۰۰	۳۰/۹۷۳
۱۴/۴۰۰۰	۳۰/۶۲۵
۴/۷۶۰۰	۳۴/۹۸۷
۲/۴۶۰۰	۳۴/۹۲۰
۲/۳۰۰۰	۴/۲۸۶
۱/۴۸۰۰	۳۵/۸۱۸
۱/۴۷۰۰	۴/۶۲۰



شکل شماره (۱)

در این پژوهش دو برنامه جدا جدا برای ذرات بتا و فوتون های کم انرژی (اشعه ایکس) در کد MCNPX اجرا گردیده است، که در آن یک رگ کرومیری با فانتوم استوانه ای شکل شبیه سازی شده است. این فانتوم شامل دو استوانه توی در توی با سطح مقطع دایره می باشد که شعاع استوانه کوچک برابر شعاع داخلی رگ و شعاع استوانه بزرگتر برابر شعاع خارجی رگ می باشد. فضای مابین این دو استوانه برابر ضخامت رگ است که با ماده بافت نرم شبیه سازی شده است. بالون حاوی گاز زنون به شکل بیضی گون می باشد بنابراین برای شبیه سازی از ماکروبادی بیضی گون استفاده گردید. در این قسمت هم از دو بیضی گون استفاده شد زیرا بالون دارای ضخامت می باشد و برای ایجاد آن باید دو بیضی گون با شعاع های متفاوت ایجاد شود، که فضای بین این دو بیضی گون با ماده ^1pet در نظر گرفته می شود. برای محاسبه دز دریافتی توسط دیواره رگ کرومیری می توان با استفاده از کارت مش تالی تقسیم بندی های شبکه را در دیواره رگ انجام داد ولی به علت محدودیت های سیستم های اجرایی و زمان اجرا، از روش ساده و جایگزین دیگری استفاده شد تا درستی این شبیه سازی مورد نظر تایید گردد. در این روش دیواره داخلی رگ با تقسیم بندی دستی شبکه بندی شد و با استفاده از تالی $f6$ مقدار نرخ دز محاسبه شد.

¹ Polyethylene Terephthalate (PET)



شکل شماره (۲)

در این شبیه سازی استوانه ها با طول ۵ سانتی متر در شعاع های ۰/۱۵۸۰۰۰۱ و ۰/۲۵۸۰۰۰۱ سانتی متر و بیضی گون با طول ۴ سانتی متر و شعاع کوچک با اندازه ۰/۱۵ سانتی متر ایجاد شد. برای شبکه بندی دستی یک استوانه متقاطع با دیواره های داخلی و خارجی رگ ایجاد شد. شکل (۲) نمایی از این شبکه بندی دیواره رگ در صفحه YZ را نشان می دهد که در آن نرخ دز در هر سلول شماره گذاری شده محاسبه شد. در این روش دیواره داخلی رگ با تقسیم بندی دستی شبکه بندی شد و با استفاده از تالی f6 مقدار نرخ دز محاسبه شد. در تبدیل واحد تالی f6 به واحد مورد بررسی برای اعتبار سنجی باید از معادلات زیر استفاده شود تا مقدار ضریب مورد نیاز به دست آید. با توجه به آن که واحد تالی f6 برابر (MeV/gr.dis) می باشد و واحد مورد نیاز برای اعتبار سنجی (cGy/mCi per hour) می باشد، داریم:

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

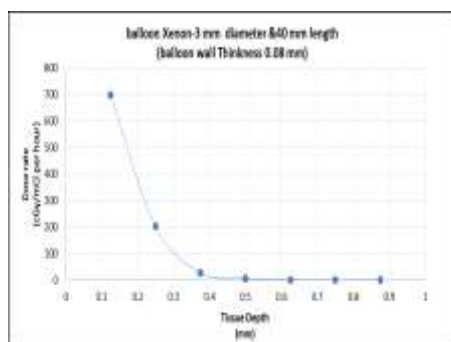
$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

$$1 \text{ MeV/gr.dis} = 1.6 \times 10^{-10} \text{ Gy} \times 3.8 \times 10^7 \times 3600 = 2188.8 \text{ cGy/mCi per hour}$$

بنابراین برای تبدیل واحد MeV/gr.dis به cGy/mCi per hour کافی است مقدار ۲۱۸۸/۸ در خروجی تالی ضرب کرده تا بتوان واحد مورد نیاز را به دست آورد سپس با مقایسه شبیه سازی با کار تجربی مارک اپل و همکاران درستی آن تایید شود.

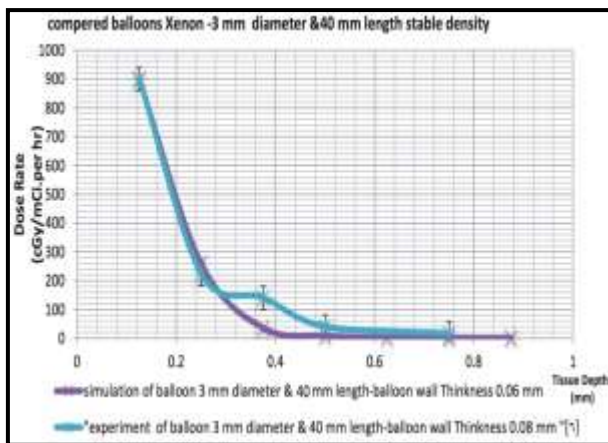
نتایج :

حال بالون گازی بیضی گون با قطر بزرگ ۳ میلی متر و با ضخامت دیواره بالون ۸۰ میکرون را در نظر گرفته و برای تاریخچه هشتصد میلیون ذره بتا و یک میلیارد پرتو X، نرخ دز برای عمق های مختلف دیواره رگ محاسبه شده و در شکل (۳) آورده شده است.

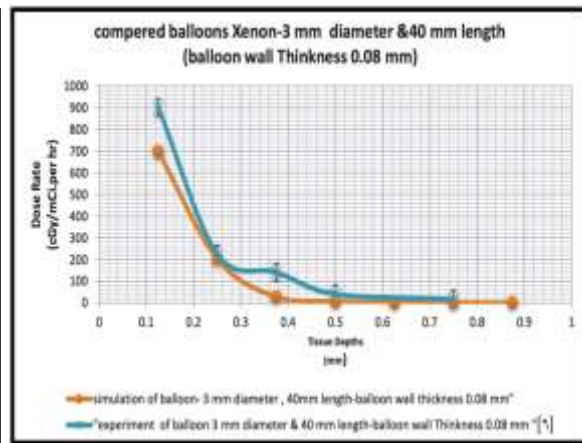


شکل شماره (۳)

حال برای اعتبار سنجی برنامه شبیه سازی، باید آن را با کار تجربی مقایسه کرد. نتایج در شکل (۴) گزارش شده است. در این مقایسه آنچه مشخص است، این شبیه سازی از روال نرخ دز تجربی پیروی می کند. ولی به علت ذکر نشدن شرایط فشار و دما در کار تجربی و وابستگی چگالی به پارامترهای موجود نمی توان شرایط آزمایشگاهی را به طور کامل در شبیه سازی لحاظ کرد. در این شبیه سازی همانطور که ذکر شد، شرایط STP در نظر گرفته می شود. به نظر می رسد با در نظر گرفتن ضخامت کمتر دیواره بالون نمودار نرخ دز مربوط به بالون حاوی گاز زنون با شرایط تجربی توافق مناسب تری داشته باشد. بنابراین ضخامت بالون مربوطه ۶۰ میکرون در نظر گرفته می شود و میزان نرخ دز در این حالت برای عمق های مختلف حساب می شود و در شکل (۵) با حالت تجربی مقایسه می شود.

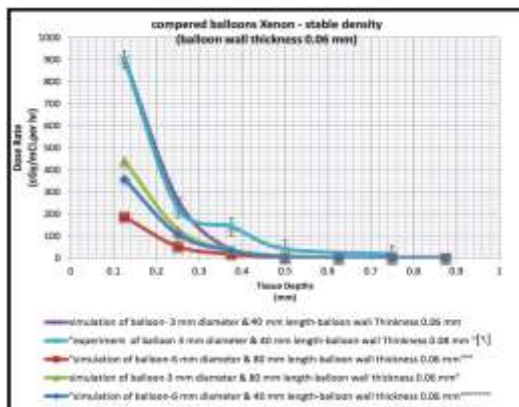


شکل شماره (۵)



شکل شماره (۴)

همانطور که مشخص است روال کاهش دز با افزایش عمق بافت شبیه سازی شده، با داده های تجربی سازگاری نشان می دهد. بنابراین برنامه شبیه سازی بالون حاوی گاز زنون با ضخامت دیواره ۶۰ میکرون را می توان با داده های تجربی بالون حاوی گاز زنون با ضخامت ۸۰ میکرون تطبیق داد. حال که رضایت نسبی از اعتبار سنجی برنامه شبیه سازی برقرار می باشد، می توان شرایط مختلف بالون را مورد بررسی قرار داد. در



شکل شماره (۶)

این قسمت با در نظر گرفتن شرایط STP می توان مقدار حجم گاز درون بالون را افزایش داد. افزایش حجم بالون با در نظر گرفتن ضخامت ثابت را می توان از روش های افزایش شعاع کوچک بیضی گون، افزایش شعاع بزرگ (طول) بیضی گون، افزایش شعاع های کوچک و بزرگ بیضی گون و همچنین تغییر ضخامت بالون پی گیری کرد نتایج کار برای ۴ مورد مختلف در شکل (۶) آورده شده است.



بحث و نتیجه گیری :

الف- با افزایش دو برابری شعاع کوچک بالون مقدار حجم بالون حدود چهار برابر افزایش می یابد و با ثابت در نظر گرفتن چگالی مقدار مول گاز افزایش می یابد، نتیجه این فرآیند کاهش نرخ دز می باشد. از جمله علت های پیشنهادی این مشاهده، تاثیر مسافت طی شده ذره بتا در بالون تا رسیدن به بافت و افزایش مقدار ماده و در نتیجه خودجذبی توسط الکترون های گاز های موجود در بالون می باشد.

ب- با افزایش دو برابری شعاع بزرگ بالون، مقدار حجم درون بالون حدود دو برابر افزایش می یابد، در حالی که چگالی و شعاع کوچک بالون ثابت در نظر گرفته می شود، نرخ دز نسبت به حالت اولیه کاهش نشان می دهد که علت پیشنهادی این مشاهده را می توان خودجذبی گاز های موجود در بالون دانست.

ج- با افزایش دو برابری شعاع های کوچک و بزرگ بالون مقدار حجم درون بالون حدود هشت برابر افزایش می یابد، با فرض ثابت بودن چگالی مقدار مول گازها در درون بالون افزایش می یابد، نرخ دز نسبت به حالت اولیه کاهش و نسبت به بقیه حالات کمترین مقدار را دارا می باشد. از جمله علت های پیشنهادی این مشاهده تاثیر مسافت طی شده ذره بتا در بالون تا رسیدن به بافت و افزایش مقدار ماده و در نتیجه خودجذبی توسط الکترون های گاز های موجود در بالون دانست.

د- تاثیرات ضخامت بالون با جنس پلی اتیلن ترفتالات در نرخ دز برای دو حالت ۸۰، ۶۰ میکرون مورد تحقیق قرار گرفت. بیشترین مقدار نرخ دز برای بالون با ضخامت ۶۰ میکرون و کمترین آن با ضخامت ۸۰ میکرون مشاهده گردید. از علت های این مشاهده می توان از تاثیر چگالی بالون در برد موثر و در نتیجه افزایش جذب ذرات بتا در ضخامت بالون نام برد.

مراجع :

- [1] <http://www.cancer.gov/publications/patient-education/brachytherapy.pdf>.
- [2] F.M. Khan, J.P. Gibbons, Khan's the physics of radiation therapy, Lippincott Williams & Wilkins 2014.
- [۳] M. Murthy, Restenosis: A challenge to angioplasty, *Resonance* 6 (2001) 61-51.
- [۴] P. Wexberg, C. Kirisits, M. Gyöngyösi, M. Gottsauner-Wolf, M. Ploner, B. Pokrajac, R. Pötter, D. Glogar, Vascular morphometric changes after radioactivestent implantation : a dose-response analysis, *Journal of the American College of Cardiology* 39 (2002) 400-407.
- [5] H. Pourbeigi, S. Sheibani, H. Ghafourian, M. Ghahremani, Dosimetry of "Re-186" radioisotope in intravascular brachytherapy to reduce vascular restenosis, *Journal of Nuclear Science and Technology* (2006) 10-16.
- [6] M. Apple, R. Waksman, R.C. Chan, Y. Vodovotz, J. Fournadjiev, B.G. Bass, Radioactive 133-Xenon Gas-Filled Balloon to Prevent Restenosis, *Circulation* 106 (2002) 725-729.
- [7] MCNPX User's Manual, Version 2.4.0, LA-CP-02-408 (2003)
- [8] K. F. Eckerman, R. J. Westfall, J. C. Ryman, and M. Cristy, "Availability of Nuclear Decay Data in Electronic Form, Including Beta Spectra not Previously Published," *Health Phys.* 67(4):338-345 (1994).
- [9] <http://www.nndc.bnl.gov/~burrows/nndconl.html>