مقاله پژوهشی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۷، شمارهٔ ٤، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۲۷-۳٤

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۰۲

مقایسه دزیمتری چهار نوع استنت پرتوزای مری به‌منظور درمان سرطان مری پیشرفته با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو

زهرا جلالوند[1*]، پیمان رفیعی‌پور[2]، شهاب شیبانی[3] و حسین پوربیگی[3]

[1]دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

[2]دانشکده مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

[3]پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

[*]تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، دانشکده فنی و مهندسی، کدپستی: ۷٦۸-۱۳۱۸۵

پست‌الکترونیکی: Zahra.jalalvand@gmail.com

چکیده

دستیابی به روشی بهینه برای درمان سرطان مری به دلیل حساسیت این بافت، همواره مورد توجه ویژه پژوهشگران قرار دارد. امروزه استفاده از استنت‌های مری حامل دانه‌های ید-۱۲۵ در براکی‌تراپی به‌منظور درمان سرطان پیشرفته مری، گسترش یافته است. بررسی توزیع دز هر نوع استنت پرتوزا قبل از استفاده بالینی ضروری است. در این مطالعه با استفاده از کد مونت‌کارلوی MCNPX2.6 و Geant4 توزیع دز در راستای محور طولی و راستای زاویه‌ای برای استنت آغشته به ید-۱۲۵ و سه مدل از استنت‌های مری حامل دانه‌های ید-۱۲۵ بر مبنای چینش‌های مختلفی از استقرار دانه‌ها، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، استنت‌های مری حامل دانه‌های ید-۱۲۵ با فاصله مراکز دو چشمه متوالی کمتر از ۲۰ mm پتانسیل بکارگیری بالینی برای درمان سرطان پیشرفته مری را دارا هستند.

کلیدواژگان: دزیمتری، سرطان مری پیشرفته، براکی‌تراپی، استنت مری، MCNPX، Geant4.

۱. مقدمه

سرطان مری پنجمین عامل مرگ و میر در دنیاست و به لحاظ پیش آگهی و پیامد بیماری به عنوان یکی از مهم‌ترین سرطان‌های بدخیم محسوب می‌شود. یکی از مهم‌ترین مشکلات بیماران مبتلا به این بیماری، نارسایی بلع[1] ناشی از تنگی مجرای مری می‌باشد و بسیاری از بیماران مبتلا به سرطان مری شانس عمل جراحی را به علت مرحله بیماری، سوء تغذیه، بار سنگین اقتصادی و غیره از دست می‌دهند. بنابراین، انسداد مری باید به طریقی تسکین یابد تا بیمار بتواند غذا بخورد و از عواقب ناگوار انسداد کامل پیشگیری شود. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که قرار دادن استنت روش درمانی مطمئن و کم‌هزینه‌ای است که کیفیت زندگی را

[1] Dysphasia

برای بیماران مبتلا به انسدادهای بدخیم غیر قابل عمل در مری در مقایسه با سایر تکنیک‌های تسکینی بهبود می‌بخشد [۱].

روش استنت‌گذاری نیز یک روش مقطعی می‌باشد، زیرا با پیشرفت سرطان امکان تنگی مجدد مجرای مری وجود داشته و استنت توانایی مقابله با آن را ندارد. بنابراین نیاز به یک روش ایمن و موثر در درمان سرطان مری احساس می‌شود. اخیراً استفاده از استنت‌های مری حامل دانه‌های براکی‌تراپی ید-۱۲۵ برای درمان سرطان مری پیشرفته مورد بررسی قرار گرفته است [۲-٤]. انجمن فیزیک پزشکان آمریکا[1] (AAPM) در گزارش‌های شماره ٦۰ و ۱٤۹ توصیه کرده است که توزیع سه‌بعدی هر استنت پرتوزا، قبل از استفاده بالینی باید به دقت مشخص گردد [۵، ٦].

هدف از انجام این تحقیق کمک به برنامه طراحی درمان با ارزیابی و مقایسه توزیع دز استنت آغشته به ید-۱۲۵ برای سه مدل از استنت‌های مری حامل دانه‌های ید- ۱۲۵ مبتنی بر نحوه چینش دانه‌ها می‌باشد. برای انجام شبیه‌سازی‌های ذکر شده و ترابرد ذرات درون فانتوم، از کد مونت‌کارلوی MCNPX نسخه ۲/٦ استفاده شد.

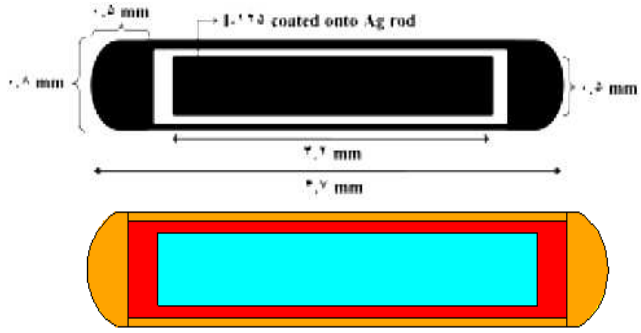
۲. مواد و روش‌ها

۱,۲. توصیف دانه‌ها

از ساختار دانه پرتوزای ید-۱۲۵ مدل IR-Seed ساخته شده در پژوهشکده کاربرد پرتوهای سازمان انرژی اتمی (شکل ۱)، برای شبیه‌سازی استفاده گردید. این چشمه دارای قلبی از جنس نقره به طول ۳/۲ mm و قطر ۰/۵ mm است که رادیوایزوتوپ ید -۱۲۵ به طور یکنواخت روی آن اندود شده است. این هسته نقره‌ای درون غلاف تیتانیومی با ابعاد طول ٤/۷ mm و قطر بیرونی ۰/۸ mm قرار گرفته است [۷]. انرژی میانگین چشمه ید-۱۲۵ برابر ۲۸/۳۷ keV و نیمه‌عمر آن برابر ۵۹/٤ روز می‌باشد. در شبیه‌سازی انجام گرفته تمامی مشخصات چشمه و طیف انرژی ید-۱۲۵ لحاظ شد. طیف فوتونی چشمه I-125 به کار رفته در این مطالعه بر اساس گزارش TG-43، AAPM در جدول ۱ نشان داده شده است [۸].

جدول (۱): طیف فوتونی چشمه I-125 طبق گزارش AAPM TG-43.

تعداد فوتون در هر واپاشی	انرژی فوتون (keV)
۰/٤۰٦	۲۷/۲۰۲
۰/۷۵۷	۲۷/٤۷۲
۰/۲۰۲	۳۰/۹۸
۰/۰٤۳۹	۳۱/۷۱
۰/۰٦٦۸	۳۵/٤۹۲



شکل (۱): ساختمان دانه ید-۱۲۵ مدل IR-Seed ساخته شده سازمان انرژی اتمی (بالا) و مدل شبیه‌سازی شده آن (پایین).

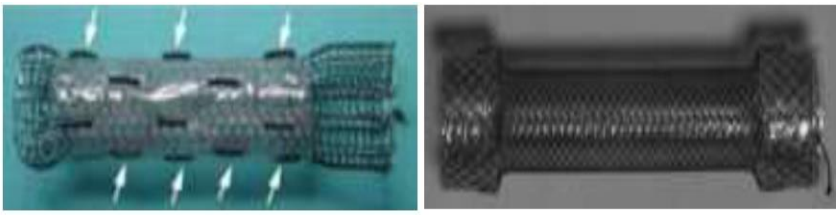
۲,۲. شبیه‌سازی استنت‌های مری

در این مطالعه استنت آغشته به ید-۱۲۵ به‌صورت یک استنت معمولی از جنس نیتینول آلیاژی از نیکل (۵۵/۸٪) و تیتانیوم (٤٤/۲٪) با قطر ۲٤ mm و طول ۱۲۰ mm شبیه‌سازی شد و یک لایه نازک پلیمری از جنس پلی‌اوریتنسن[2] ($C_3H_8N_2O$) با ضخامت ۸ µm طول ٤۰ mm و چگالی ۱/۰۰۵ g/cm^3 [۹] بر روی محیط استنت پوشیده شد و فضای درون استنت هوا

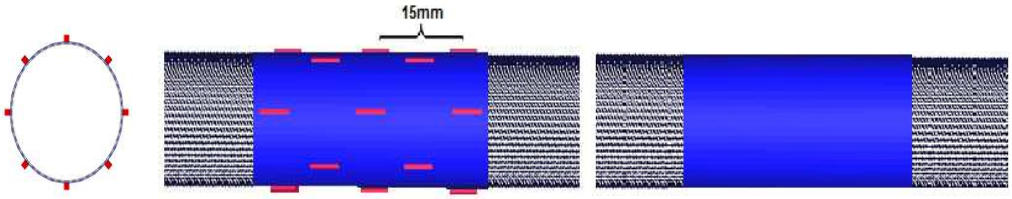
[1] American Association of Physicists in Medicine

[2] Polyurethan

در نظر گرفته شد. برای استنت حاوی دانه‌های ید-۱۲۵، دانه‌ها به صورت دسته‌های چهارتایی با فاصله زاویه‌ای ۹۰ درجه در صفحاتی عمود بر محور استنت چیده شدند. هر دسته نسبت به دسته قبل، به اندازه ٤٥ درجه جابه‌جایی زاویه‌ای دارد تا فضای خالی را بپوشاند.



شکل (۲): استنت حاوی دانه‌های ید-۱۲۵ (سمت چپ) [۴]، استنت معمولی (سمت راست) [۱۰].



شکل (۳): شبیه‌سازی استنت مری حامل دانه‌های ید-۱۲۵ برای فاصله‌ی بین دانه‌ای ۱۵ mm (سمت چپ) و استنت آغشته به ید (سمت راست).

فاصله مراکز هر دو چشمه متوالی در امتداد طول استنت (Δ) با هم برابر بوده و در شبیه‌سازی مقادیر ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر برای آن در نظر گرفته شد که برای این مقادیر Δ به ترتیب به ۲۸، ۲۰ و ١٦ دانه ید-۱۲۵ نیاز است. ساختار استنت حاوی دانه‌ها و استنت معمولی را در شکل ۲ و همچنین ساختار دو مدل از استنت‌های شبیه‌سازی شده را در شکل ۳ مشاهده می‌کنید. لایه پلیمری با رنگ آبی و هر یک دانه براکی‌تراپی با رنگ قرمز مشخص شده‌اند.

برای محاسبه دز از مش تالی نوع ۱ استفاده شد و تعداد ذرات ترابرد شده اولیه ۵۰۰ میلیون ذره بود. این تعداد ذرات منجر به بیشینه خطای آماری ٪۱ در شبیه‌سازی انجامید.

۳،۲. فانتوم

استنت در مرکز یک کره پر از آب با شعاع ۱۵ cm قرار گرفت. فانتوم در راستای محوری استنت، به حلقه‌های استوانه‌ای با پهنای ۰/۵ میلی‌متر تقسیم شد، به طوری که تمام استنت را پوشش دهد (در تمام فاصله‌های شعاعی ۱، ۲، ۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰ میلی‌متر). برای کسب توزیع دز زاویه‌ای نیز در راستای زاویه‌ای نیز یک استوانه توخالی با طولی برابر با لایه پلیمری و به پهنای ۰/۵ mm به ۹۰ قسمت تقسیم شد و مقدار دز در هر قسمت به دست آمد.

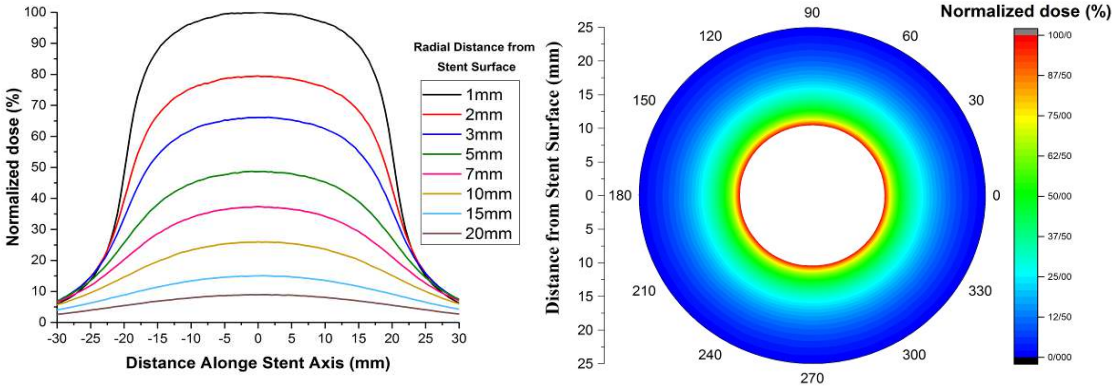
۳. بحث و نتایج

توزیع دز استنت آغشته به ید-۱۲۵ و استنت‌های حاوی دانه‌های ید-۱۲۵ با Δ برابر ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر به ترتیب در شکل‌های ٤ تا ۷ نشان داده شده است. مقادیر دز نسبت به دز بیشینه بهنجار شده و بر حسب درصد نمایش داده شده‌اند. مطابق شکل ۵ تا ۷ در نزدیکی سطح استنت حامل دانه‌های پرتوزا، افت و خیز دز بالاست و شدت دز در فاصله‌های نزدیک به سطح استنت در مقایسه با استنت آغشته به ید-۱۲۵، سریع‌تر افت می‌کند. مقایسه شکل ٤ و ۵ نشان می‌دهد، توزیع دز استنت حاوی دانه با فاصله بین دانه‌ای ۱۰ mm به توزیع دز استنت آغشته به ید-۱۲۵ نزدیک‌تر است. برای معیاری از یکنواختی نسبت دز قله به دز درّه (PVD)[1] را برای استنت‌های

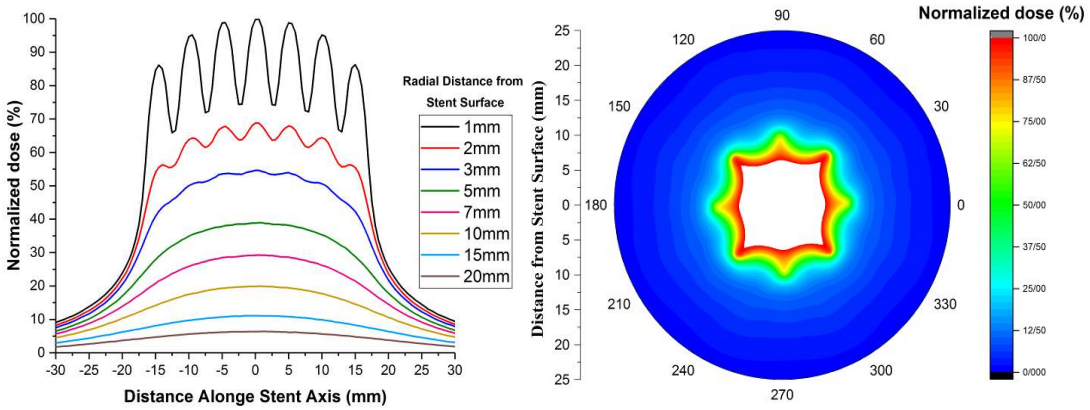
[1] Peak to Valley Dose

مری حامل دانه‌های ید-۱۲۵ تعریف کرده‌ایم. این ضریب میزان شدت دز در محل دانه را به فاصله‌های بین دانه‌ها نشان می‌دهد که هرچه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، مطلوب‌تر است. نسبت‌های PVD برای فاصله‌های مختلف دانه‌ها از هم و برای عمق‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. برای تأیید نتایج یک بار دیگر شبیه‌سازی با کد Geant4 نسخه ۱۰/۲ انجام شد. برای این منظور از قابلیت مش استوانه‌ای Geant4 و از کتابخانه emstandard_opt3 استفاده شد.

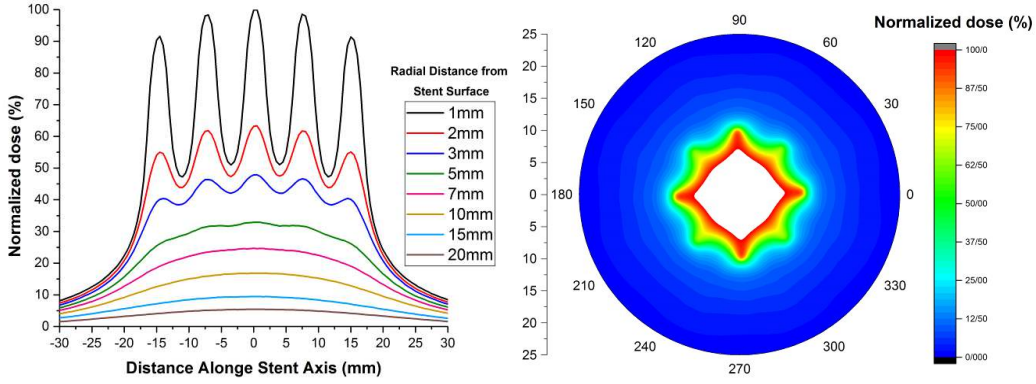
این کتابخانه دقیق‌ترین مدل‌های فیزیک کم انرژی را دارا و برای مطالعات پزشکی مناسب است و شامل برهم‌کنش‌های جذب فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون، پراکندگی رایله، تابش ترمزی، یونیزاسیون و تابش فلوئورسانس می‌باشد [۱۱]. نتایج توزیع دز محوری به دست آمده با Geant4 را برای چهار استنت ذکر شده در شکل ۸ مشاهده می‌کنید. مقادیر PVD محاسبه شده با Geant4 در جدول ۳ درج شده‌اند.



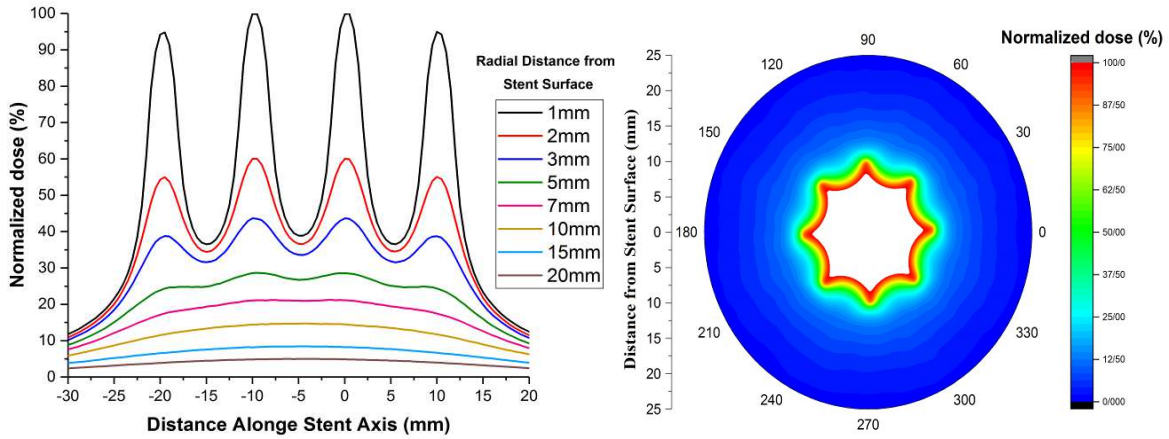
شکل(۴): توزیع دز شعاعی و زاویه‌ای حاصل از استنت آغشته به ید-۱۲۵.



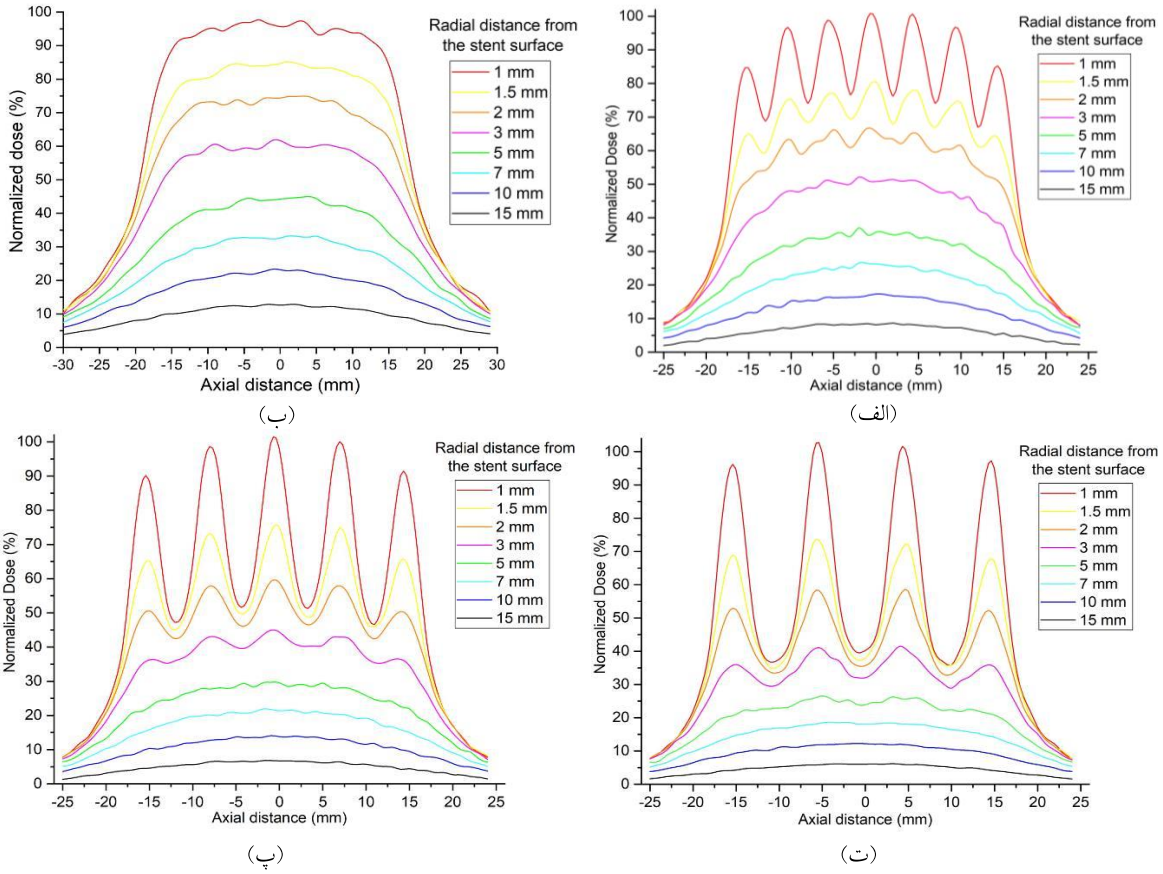
شکل(۵): توزیع دز طولی و زاویه‌ای حاصل از استنت حاوی دانه‌های ید-۱۲۵ برای Δ=۱۰ mm.



شکل(۶): توزیع دز طولی و زاویه‌ای حاصل از استنت حاوی دانه‌های ید-۱۲۵ برای Δ=۱۵ mm



شکل(۷): توزیع دز طولی و زاویه‌ای حاصل از استنت حاوی دانه‌های ید-۱۲۵ برای Δ=۲۰ mm



شکل(۸): الف) توزیع دز طولی به دست آمده از Geant4 برای استنت آغشته به ید. ب) استنت‌های حامل دانه‌های ید-۱۲۵ با Δ=۱۰ mm. پ) Δ=۱۵ mm. ت) Δ=۲۰ mm

بررسی توزیع دز طولی و زاویه‌ای استنت‌های مختلف نشان می‌دهد با افزایش فاصله مراکز دو چشمه متوالی، غیریکنواختی توزیع دز افزایش می‌یابد. غیریکنواختی توزیع دز از لحاظ بالینی به خصوص در نقطه مرجع مطلوب نیست، زیرا به علت ایجاد افت دز در فضای خالی بین دانه‌ها، در محل‌های درّه شاهد نقاط سرد[1] خواهیم بود و احتمال بازگشت تومور بدخیم در آن‌جا بیشتر است. با کاهش فاصله مراکز دانه‌ها، می‌توان توزیع دز را به سمت یکنواختی میل داد.

[1] Cold Spot

البته با کاهش فاصله بین دانه‌ها و در نتیجه افزایش تعدادشان بر روی سطح استنت باید فعالیت دانه‌ها نسبت به حالت قبل کاهش یابد [۱۲] و همچنین باید در نظر گرفته شود که افزایش دانه‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. بنا به شرایط بالینی می‌توان توزیع دز مطلوب را با تعداد کمتری دانه ید–۱۲۵ به دست آورد. انتخاب نوع چینش دانه‌ها به شرایط بالینی، وضعیت بیمار و مرحله سرطان وی بستگی دارد. بنابراین تعداد، نحوه چینش دانه‌های پرتوزا باید توسط سیستم برنامه‌ریزی درمان، مبتنی بر مکان و اندازه تومور تعیین گردد. مطابق با جدول ۲ مقدار PVD برای استنت حامل دانه‌های ید–۱۲۵ برای Δ بیشتر از ۲۰ mm به خصوص در نقطه مرجع قابل قبول نمی‌باشد و توزیع دز استنت حاوی دانه‌های ید–۱۲۵ با فاصله بین دانه‌ای ۱۰ mm مقادیر مطلوب‌تری دارد. از آنجا که یکنواختی توزیع دز در فاصله مرجع مهم است و با توجه به مقادیر PVD، استفاده از استنت مری حامل دانه‌ها با فاصله ۲۰ mm از لحاظ بالینی امکان پذیر است ولی بیش از آن توصیه نمی‌شود.

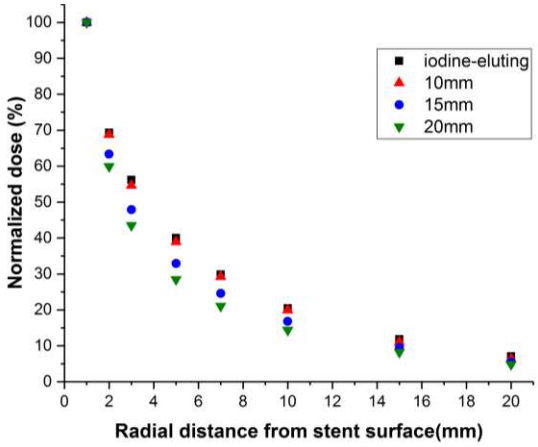
جدول (۲): مقادیر PVD به دست آمده از MCNPX برای استنت‌های حاوی دانه‌های ید–۱۲۵.

فاصله بین دو دانه متوالی(Δ)	فاصله شعاعی از سطح استنت مری حامل دانه‌های ید–۱۲۵ (mm)			
	۱	۲	۳	۵
۱۰ mm	۱/۳۵	۱/۰۸	۱/۰۲	۱
۱۵ mm	۱/۹۶	۱/۳۳	۱/۱۴	۱
۲۰ mm	۲/۷۳	۱/۷۳	۱/۳۸	۱/۱۵

جدول (۳): مقادیر PVD به دست آمده از Geant4 برای استنت‌های حاوی دانه‌های ید–۱۲۵.

فاصله بین دو دانه متوالی(Δ)	فاصله شعاعی از سطح استنت مری حامل دانه‌های ید–۱۲۵ (mm)			
	۱	۲	۳	۵
۱۰ mm	۱/۳۰	۱/۰۸	۱/۰۲	۱
۱۵ mm	۱/۹۵	۱/۳۰	۱/۱۳	۱
۲۰ mm	۲/۶۲	۱/۶۵	۱/۲۹	۱/۱۳

شکل ۹ مقایسه‌ای از افت شدت دز استنت برحسب فاصله شعاعی از سطح آن را برای چهار نوع استنت مختلف نشان می‌دهد.



شکل(۹): مقایسه‌ای از افت شدت دز استنت‌های مختلف برحسب فاصله شعاعی از سطح آن‌ها.

مطابق شکل ۹ با افزایش فاصله دانه‌ها از هم، شدت دز در فاصله‌های نزدیک به سطح استنت سریع‌تر افت می‌کند. افت شدت دز برحسب فاصله شعاعی برای استنت حاوی دانه‌های ید– ۱۲۵ با فاصله بین دانه‌ای ۱۰ mm به افت شدت دز استنت آغشته به ید–۱۲۵ نزدیک‌تر است. شکل ۹ برد مؤثر ۲۰ mm چشمه ید–۱۲۵ را نیز نشان می‌دهد که این مزیت را دارد که با نفوذ به عمق دیواره مری، بتواند دز تجویزشده را به تومور برساند؛ زیرا شدت دز در فاصله ۱۵ mm تقریباً به ۱۰٪ مقدار دز در سطح استنت رسیده است که این مقدار قابل توجهی است. نقطه مرجع دز در کاربردهای بالینی برابر ۵ mm از سطح استنت در نظر گرفته می‌شود. دز تجویزی برای تومور مری ۴۰–۵۰ Gy گزارش شده است [۱۳].

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه توزیع دز در راستای محور طولی، راستای زاویه‌ای و همچنین افت شدت دز بر حسب فاصله شعاعی از سطح استنت، برای استنت آغشته به ید–۱۲۵ و سه مدل از استنت‌های مری حامل دانه‌های ید– ۱۲۵ بر مبنای چینش‌های

مختلفی دانه‌ها با استفاده از کد مونت‌کارلوی MCNPX2.6، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. از کد Geant4 برای تأیید نتایج استفاده شد. با مقایسه توزیع دز زاویه‌ای و نمودارهای افت شدت دز بر حسب عمق در می‌یابیم که مقدار دز استنت‌های حاوی دانه‌های ید– ۱۲۵ نسبت به استنت آغشته به ید–۱۲۵ سریع‌تر افت می‌کند و همچنین شدت دز در نزدیکی سطح استنت‌های حاوی دانه‌های ید–۱۲۵ بیشتر از استنت‌های آغشته است که با توجه به این هدف پرتودرمانی که بیشترین دز به تومور برسد و بافت سالم کمترین آسیب را ببیند، مطلوب‌تر است. با افزایش فاصله مراکز دو چشمه متوالی بیشتر از ۲۰ mm، به علت ایجاد نقاط سرد و افت دز در فضای خالی بین دانه ها، احتمال بازگشت تومور بدخیم در آن‌جا بیشتر است.

بنابراین استنت‌های مری حامل دانه‌های ید–۱۲۵ با فاصله بین دو دانه کمتر از ۲۰ mm، پتانسیل بکارگیری بالینی برای درمان سرطان پیشرفته مری به عنوان یک روش درمانی موثر را دارا هستند. یک مزیت دیگر استنت حامل دانه‌ها می‌تواند این باشد که انعطاف پذیری آن‌ها نسبت به استنت آغشته به ید–۱۲۵ بیشتر است. چراکه می‌توان برای اهداف طراحی درمان، تعداد دانه‌ها را در یک سمت بیشتر از سمت دیگر استنت قرار داد و یا حتی میزان فعالیت بعضی از دانه‌ها را بیشتر یا کمتر کرد. این کارها برای استنت آغشته به ید–۱۲۵، محدودیت بیشتری دارد. از طرفی باید در مورد فرّار بودن و تصعید ید–۱۲۵ نیز مراقب بود که به دلیل مجاورت مری به غده تیروئید، استفاده از استنت‌های مری حامل دانه‌ها نسبت به آغشته به ید–۱۲۵ برتری دارد.

۵. مراجع

[1] K.J. Napier, M. Scheerer and S. Misra. Esophageal cancer: A Review of epidemiology, pathogenesis, staging workup and treatment modalities, World Journal of Gastrointestinal Oncology, 6(5) (2014) 112–120.

[2] J. Guo, G. Teng, G. Zhu, S. He, W. Fang, G. Deng and G. Li. Self-expandable Esophageal Stent Loaded with 125I Seeds: Initial Experience in Patients with Advanced Esophageal Cancer, Radiology, 247(2) (2008) 574–581.

[3] J. Guo, H. Zhu, A. Mao, W. Lv, J. Ji, W. Wang, B. Lv, R. Yang, W. Wu, C.-F. Ni, J. Min, G.-Y. Zhu, L. Chen, M.-L. Zhu, Z.-Y. Dai, P.-F. Liu, J.-P. Gu, W.-X. Ren, R.-H. Shi, G.-F. Xu, S.-C. He, G. Deng and G.-J. Teng. Conventional stents versus stents loaded with ^{125}iodine seeds for the treatment of unresectable oesophageal cancer: a multicentre, randomised phase 3 trial, Lancet Oncology, 15 (2014) 612–619.

[4] W. Zhongmin, H. Xunbo, C. Jun, H. Gang, C. Kemin, L. Yu and L. Fenju. Intraluminal Radioactive Stent Compared with Covered Stent Alone for the Treatment of Malignant Esophageal Stricture. Cardio Vascular and Interventional Radiology, 35 (2012) 351–58.

[5] R. Nath, H. Amols, C. Coffey, D. Duggan, S. Jani, Z. Li, M. Schell, C. Soares, J. Whiting, P. E. Cole, I. Crocker and R. Schwartz, Intravascular brachytherapy physics: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 60, Medical Physics, 26(2) (1999) 119–152.

[6] S.T. Chiu-Tsao, D.R. Schaart, C.G. Soares and R. Nath. Dose calculation formalisms and consensus dosimetry parameters for intravascular brachytherapy dosimetry: Recommendations of the AAPM Therapy Physics Committee Task Group No. 149, Medical Physics, 34(11) (2007) 4126–4158.

[7] V. Lohrabian, S. Sheibani, M.R. Aghamiri, B. Ghozati, H. Pourbeigi and H.R. Baghani. Determination of Dosimetric Characteristics of IrSeed 125I Brachytherapy Source, Iranian Journal of Medical Physics, 10(3) (2013) 109–117.

[8] M.J. Rivard, B.M. Coursey, L.A. DeWerd, W.F. Hanson, M.S. Huq, G.S. Ibbott, M.G. Mitch, R. Nath and J.F. Williamson. Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations, AAPM-TGU1, 31(3) (2004) 633–674.

[9] Z. Chen, Y. Chen and W. Li. Preparation of 1251 Radioactive Covered Metal Stent, Journal of Isotopes, 27(2) (2014) 109–115.

[10] E.S. Kim, S.W. Jeon, S.Y. Park, C.M. Cho, W.Y. Tak, Y.O. Kweon, S.K. Kim and Y.H. Choi. Comparison of double-layered and covered Niti-S stents for palliation of malignant dysphagia, Journal of Gastroenterology and Hepatology, 24 (2009) 114–119.

[11] S. Agostinelliae, J. Allisonas, K. Amakoe, J. Apos, H. Araujoaj, P. Arcel, M. Asaig, D. Axeni, S. Banerjeebi, G. Barrandan, F. Behnerl, L. Bellag, J. Boudreaubd, L. Brogliaar, A. Brunengoc, H. Burk, S.

Chauviebj, J. Chumah, R. Chytraceka, G. Cooperm, G. Cosmoa, P. Degtyarenkod, A. Dell'Acquaa, G. Dep, D. Dietrichaf, R. Enamiab, A. Feliciellobj, C. Fer, H. Fesefeldtl, G. Folgera, F. Foppianoac, A. Forti, S. Garelliac, S. Giania, R. Giannitrapanibo, D. Gi and et al. Geant4-a simulation toolkit, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 506 (2003) 250–303.

[12] H.M. Yu, H.T. Zhang, B.Y. Ding, A.X. Sui, J. Wang and J. Wu. Esophageal stent covered with radioactive 125I seeds arranged at different distance: dosimetric comparison study Interventional Radiology, 24(4) (2015) 338–341.

[13] L. Gaspar, S. Nag, A. Herskovic, R. Mantravadi and B. Speiser. American Brachytherapy Society (ABS) consensus guidelines for brachytherapy of esophageal cancer, International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics, 38(1) (1997) 127–132.