د کابل پوهنتون د طبیعي علومو علمي- څېړنیزه مجله
jns.edu.af

بررسی تداوی سرطان معده توسط انرژی ذرات تعجیل‌یافته در تعجیل دهنده‌های هسته‌یی

پوهنمل نور محمد عزیزی[۱]، پوهنیار زمان محمدی[۲]

[۲،۱]دیپارتمنت فزیک هسته‌یی و اتومی، پوهنځی فزیک، پوهنتون کابل، کابل، افغانستان
ایمیل: nmdazizi786@gmmail.com

چکیده

تعجیل‌دهنده ذرات، وسیله‌یی برای افزایش انرژی حرکی ذرات چارج‌دار از قبیل، الکترون‌ها، پروتون‌ها، ذرات الفا و دیگر آیون‌های سنگین است. در این مقاله‌ی مروری مقایسوی سعی شده است که تداوی سرطان معده توسط انرژی ذرات تعجیل‌یافته در تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی مورد بررسی قرار گیرد. ابتدا تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی معرفی شده اند، بعد از آن اشعه‌ها و انرژی‌های مورد استفاده در تداوی سرطان معده، تعجیل‌دهنده‌های مورد استفاده در تداوی سرطان معده و مقایسه انرژی‌های ذرات تعجیل‌یافته در تداوی سرطان معده مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که بهترین تعجیل‌دهنده برای تداوی سرطان معده لینک، بهترین روش TOMO و محدوده‌ی انرژی MeV(6-25) می‌باشد. به دلیل این‌که استفاده از روش TOMO عوارض جانبی کمتر داشته و تداوی به‌شکل سریع صورت می‌گیرد، نتیجه‌بخش بوده و سازگاری بیشتر با حجرات اطراف تومور سرطانی را دارد.

واژه‌های کلیدی: تشعشع؛ تعجیل‌دهنده؛ رادیوتراپی؛ سرطان معده؛ کاربرد اشعه

Investigating the Treatment of Gastric Cancer by Accelerated Particle Energy in Nuclear Accelerators

Noor Mohammad Azizi[1] Zaman Mohammadi[2]

[1,2]Department of Nuclear and Atomic Physics, Faculty of Physics, Kabul University, Kabul, Afghanistan
Email: nmdazizi786@gmail.com

Abstract

A particle accelerator is a means to increase the kinetic energy of charged particles such as electrons, protons, alpha particles, and other heavy ions. The research method of this article is a comparative review, and it has been tried to investigate the treatment of gastric cancer by the energy of accelerated particles in nuclear accelerators. First, nuclear accelerators are introduced, followed by the rays used in the treatment of gastric cancer, the energies used in the treatment of gastric cancer, the accelerators used in the treatment of gastric cancer, and energy comparison. Accelerated particles have been investigated in the treatment of gastric cancer. The goals and importance of this research show that the best accelerator for gastric cancer treatment is Link, the best TOMO method, and the energy range (6-25) MeV. Because using the TOMO method has fewer side effects, the treatment is done quickly, effectively, and more compatible with the cells around the cancerous tumor.

Keywords: Accelerator; Application of Radiation; Gastric Cancer; Radiation; Radiotherapy; Treatment of Cancer

ارجاع: عزیزی، ن. و محمدی، ز. (۱۴۰۳). بررسی تداوی سرطان معده توسط انرژی ذرات تعجیل‌یافته در تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی. د کابل پوهنتون د طبیعي علومو علمي- څېړنیزه مجله، ۱۴۰۳هـ. ل، ۷ (۲)، ۴۳-۵۶. https://jns.edu.af/jns/article/view/27/version/27

مقدمه

یکی از ابزارهای فزیک هسته‌یی تعجیل‌دهنده‌های ذرات می‌باشد. اشعه‌های تولید شده توسط تعجیل‌دهنده‌های ذرات، امروزه به مقابله‌ی بسیاری از چالش‌های رویاروی بشر قرن ۲۱ می پردازد. این چالش‌ها در حوزه‌های انرژی، محیط زیستی، امنیتی، دفاعی، مراقبت‌های طبی، کشف پدیده‌های جدید و تحقیقات علمی می‌باشند. به‌همین منظور تعداد بی‌شماری از انواع مختلف تعجیل‌دهنده‌ها هر روزه در شفاخانه‌ها، کلینیک‌ها، کارخانه‌های تولیدی و صنعتی، بنادر و مراکز تحقیقاتی در اکثر نقاط جهان به کار برده می‌شوند. امروزه تعجیل‌دهنده‌ها در طب بسیار رایج و پرکاربرد هستند. تعجیل‌دهنده‌ها در طب جهت تداوی و تولید رادیو ایزوتوپ‌ها به کار برده می‌شوند. حدود ۳۰ فیصد تعجیل‌دهنده‌های جهان برای اشعه‌درمانی و حدود ۳ فیصد برای طب هسته‌یی اختصاص داده شده اند(حدادی و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از امراض مهلک که سالانه میلیون‌ها انسان را به کام مرگ می‌برد، سرطان معده می‌باشد($Das\ et\ al, 2005$). برای تداوی سرطان معده روش‌های گوناگون وجود دارد و یکی از شناخته‌شده‌ترین و بهترین روش‌های تداوی توسط عمل جراحی می‌باشد ولی در موارد نمی‌توان از جراحی استفاده کرد. به‌طور مثال وقتی که سرطان در تمام بدن پخش شده باشد، تومور سرطانی در جای قرار داشته باشد که عمل جراحی امکان‌پذیر نباشد؛ مانند قرار گرفتن در نزدیک قلب، معده و یا مغز، وقتی که تومورهای سرطان بسیار بزرگ باشند و زمانی که ترس از پخش شدن تومور سرطانی به دیگر بخش‌های بدن وجود داشته باشد، نمی‌توانیم از روش جراحی استفاده کنیم. در چنین حالات بهترین روش برای تداوی سرطان‌ها، رادیوتراپی می‌باشد. هم‌چنان بعد از جراحی یا پیش از جراحی نیز از رادیوتراپی برای تداوی سرطان‌ها به سبب افزایش چانس تداوی استفاده می‌شوند؛ زیرا قبل از جراحی تومور سرطانی را کوچک می‌سازد و بعد از جراحی حجرات کوچک سرطانی که توسط جراحی قابل برداشتن نباشند، از بین می‌برند. بنابراین، در موارد فوق از انرژی ذرات تعجیل‌یافته توسط تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی در تداوی سرطان‌ها به‌خصوص سرطان معده استفاده می‌شود. از اهداف عمده‌ی این تحقیق می‌توان به استفاده از انرژی ذرات تعجیل‌یافته برای تداوی سرطان معده در بدیل جراحی، کیموتراپی و غیره یادآوری کرد.

باتوجه به هدف اصلی این تحقیق، سؤالات موضوع را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

۱. کدام نوع اشعه یا ذره و با چه مقدار انرژی در تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی می‌تواند سرطان معده را به شکل بهتر تداوی نماید؟

۲. چگونه می‌توانیم با انرژی ذرات تعجیل‌یافته سرطان معده را تداوی نماییم؟

۳. آیا از همه تعجیل‌دهنده‌ها می‌توانیم برای تداوی سرطان معده استفاده کنیم؟

۴. روند تداوی سرطان معده با اشعه چگونه است؟

روش تحقیق

این تحقیق مروری و مقایسوی می‌باشد. برای انجام این تحقیق اولاً مقالات نشرشده در ژورنال‌های معتبر بین‌المللی موجود در نشریه‌های مثل گوگل‌اسکالر، اسکاپوس، Pubmed وغیره با استفاده از اصطلاحات کلیدی مانند سرطان معده، تداوی، رادیوتراپی، تعجیل‌دهنده، کاربرد اشعه و روش‌های تشعشع که ارتباط بسیار نزدیکی با عنوان تحقیق داشتند، انتخاب و به دقت غور و بررسی شده و بعد از یادداشت‌برداری در تکمیل این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته اند. مقالات و کتاب‌های که شامل این تحقیق شده اند، به زبان فارسی(دری) و انگلیسی و شامل مقالات نشرشده بین سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۲۳ از نشریات معتبر علمی می‌باشند، معلومات از مقالات به‌شکل کمی و کیفی جمع‌آوری شده و در این تحقیق استفاده شده اند.

تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی

یکی از مهم‌ترین تجهیزات دانش فزیک هسته‌یی تعجیل‌دهنده‌های ذرات می‌باشد. قبل از اختراع آن‌ها در سال ۱۹۳۲م، تنها منبع شناخته شده‌ی ذرات که می‌توانست تعاملات هسته‌یی را تسریع کند، ذرات طبیعی الفای نشر شده مثل رادیوم، بودند. در حقیقت، تنها نوع تعامل هسته‌یی شناخته شده‌ی تعاملی بود که در طی آن ذرات الفا را با یک هسته‌ی تعامل می‌دادند که در نتیجه آن یک پروتون تولید می‌شود. امروزه استفاده از ذرات طبیعی الفای نشر شده برای تسریع تعاملات هسته‌یی به‌صورت گسترده محدود شده است؛ زیرا تعجیل‌دهندها، ذرات الفا و عناصری بین‌هایدروجن و یورانیم را با شدت و انرژی‌های بالا تولید می‌کنند و تعجیل یا شتاب می‌دهند(آبرخت و همکاران، ۱۳۸۹).

تعجیل‌دهنده ذره یا ذرات، وسیله‌یی برای افزایش انرژی حرکی ذرات چارجدار از قبیل، الکترون‌ها، پروتون‌ها، ذرات الفا و دیگر آیون‌های سنگین است(ورما و همکاران، ۱۳۹۶). یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این دستگاه این است که به حدی می‌تواند به سرعت این ذرات، تعجیل دهد که سرعت شان به نزدیکی سرعت نور برسد. بنابراین، به‌طور ساده‌تر می‌توان گفت: تعجیل‌دهنده ذرات، دستگاهی است که با استفاده از ساحه الکترومقناطیسی(ترکیب ساحه‌های برقی و مقناطیسی)، سرعت یا انرژی آیون‌های چارجدار و ذرات را افزایش می‌دهند(مستاجران، ۱۳۹۵).

انواع اشعه‌های مورد استفاده برای تداوی سرطان معده

اشعه‌های که برای تداوی سرطان معده استفاده می‌شوند، اشعه‌های آیونایز شده نامیده می‌شوند؛ زیرا آیون‌ها (ذرات چارجدار برقی) را در حجرات انساج که از آن‌ها عبور می‌کنند تشکیل می‌دهند. آن‌ها با حذف الکترون‌ها از اتوم‌ها و مالیکول‌ها آیون ایجاد می‌کنند. این آیون‌ها می‌توانند حجرات را از بین ببرند و یا تغییر ژن دهد و یا باعث توقف رشد حجرات شود.

دیگر انواع تشعشعات مثل امواج رادیویی، مایکروموج‌ها، نور ماتحت سرخ و نور قابل دید اشعه‌های آیونایز شده نیستند؛ زیرا آن‌ها انرژی به قدر کافی برای تولید آیون را ندارند.

تشعشعات آیونایز شده را می‌توان به دو گروپ عمده طبقه‌بندی کرد:

- تشعشعات فوتونی (اشعه‌ایکس و اشعه‌گاما).
- تشعشعات ذرات(مانند الکترون‌ها، پروتون‌ها، نیوترون‌ها، آیون‌های کاربن، ذرات الفا، ذرات بیتا).

بعضی از انواع اشعه‌های آیونایز شده انرژی بیشتری نسبت به سایرین دارند. هر چه مقدار انرژی بیشتر باشد، اشعه می‌تواند به انساج بیشتر نفوذ کند(*Albert et al*, 2021).

تشعشعات فوتونی. اشعه‌های فوتونی پرانرژی تا حد زیادی رایج‌ترین شکل تشعشع است که برای تداوی سرطان از آن استفاده می‌گردد. این همان نوع تشعشع است که در ماشین‌های اشعه‌ی ایکس استفاده می‌شود و از یک منبع رادیواکتیف مانند کوبالت، سیزیم و یا ماشینی به نام تعجیل‌دهنده-خطی(Linac) می‌آیند. اشعه‌های فوتونی پر انرژی بر حجرات در مسیر خود تأثیر می‌گذارند، آن‌ها از بدن عبور می‌کنند تا به سرطان برسند و هم‌چنان از سرطان عبور می‌کنند و از بدن خارج می‌شوند(*Repka et al*, 2014).

تشعشعات ذرات. اشعه‌های الکترونی یا اشعه‌های ذرات نیز توسط یک تعجیل‌دهنده خطی تولید می‌شوند. الکترون‌ها بخش‌های از اتوم هستند که دارای چارج منفی می‌باشند؛ سطح انرژی آن‌ها پایین بوده و نمی‌توانند در اعماق بدن به آسانی داخل شوند. بنابراین، از اشعه‌های الکترونی بیشتر برای تداوی سرطان پوست، تومورهای نزدیک به سطح پوست، غده لنفاوی و در موارد کمی برای تداوی سرطان معده استفاده می‌گردند(*Repka et al*, 2019).

اشعه‌های پروتون شکلی از تشعشع اشعه ذرات هستند. پروتون‌ها بخش‌های از اتوم‌ها هستند که دارای چارج مثبت بوده و در مرکز اتوم قرار دارند. آن‌ها انرژی خود را پس از طی فاصله‌ی معین رها می‌کنند و آسیب کمتر به انساج که از آن‌ها عبور می‌کنند وارد می‌سازند. این باعث می‌شود که آن‌ها بسیار به شکل درست در آخر مسیر شان حجرات سرطانی را از بین ببرند. بنابرین، تصور می‌شود که اشعه‌های پروتونی می‌توانند تشعشعات بیشتری را به سرطان منتقل کنند در حالی که آسیب کمتری به انساج طبیعی مجاور وارد می‌کنند. اشعه‌درمانی با اشعه پروتون به‌طور معمول برای انواع خاصی از سرطان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد(*Albert et al*, 2021).

اشعه‌های نیوترون برای بعضی از سرطان‌ها مثل سرطان‌سر، گردن، پروستات، معده و هم‌چنان برای برخی از تومورهای غیر قابل جراحی استفاده می‌شوند. نیوترون ذره‌یی در بسیاری از اتوم‌ها است که چارج برقی ندارد. در تداوی بعضی از سرطان‌ها و تومورها به دلایل از تشعشعات نیوترونی استفاده می‌گردد که استفاده از تشعشعات ذرات دیگر کارساز نمی‌باشند؛ ولی استفاده از تشعشعات نیوترونی

کمتر می‌باشد، به سبب اینکه هدف‌گیری آن به نسبت نداشتن چارج مشکل بوده، می‌توانند به DNA آسیب بیشتر برسانند و نسبت به فوتون‌ها اثرات شدیدتری را روی انساج سالم وارد نمایند (*Repka et al*, 2014).

تشعشع آیون کاربن می‌تواند در تداوی سرطان‌های که به اشعه معمولی به خوبی پاسخ نمی‌دهند مفید می‌باشد (سرطان‌های مقاوم در مقابل اشعه). به آن تشعشعات آیونی سنگین نیز می‌گویند؛ زیرا از ذره‌یی استفاده می‌کنند که سنگین‌تر از پروتون یا نیوترون است. ذره، بخشی از اتوم کاربن است که خود حاوی پروتون، نیوترون و الکترون است. به خاطر سنگین بودن تشعشع آیون کاربن می‌تواند آسیب بیشتری نسبت به دیگر تشعشعات به حجره‌ی هدف وارد نمایند. مانند پروتون‌ها، تشعشع آیون‌های کاربن را می‌توانیم به قسمی‌تنظیم نماییم که بیشترین آسیب را در پایان مسیرش به حجرات سرطانی وارد نماید؛ ولی اثرات آن بر انساج سالم نیز می‌تواند شدیدتر باشد. این نوع تشعشعات فقط در چند مرکز در جهان وجود دارد (Guttone , 2013).

ذرات الفا و بیتا عمده‌تاً توسط مواد رادیواکتیف خاصی تولید می‌شوند که ممکن است تزریق، بلعیده و یا وارد بدن گردد. از ذرات الفا و بیتا معمولاً در تصویربرداری استفاده می‌گردد؛ اما می‌تواند در تداوی بعضی از سرطان‌ها به خصوص سرطان معده مفید باشد (Podgorsak, 2015).

انرژی‌های مورد استفاده در تداوی سرطان معده

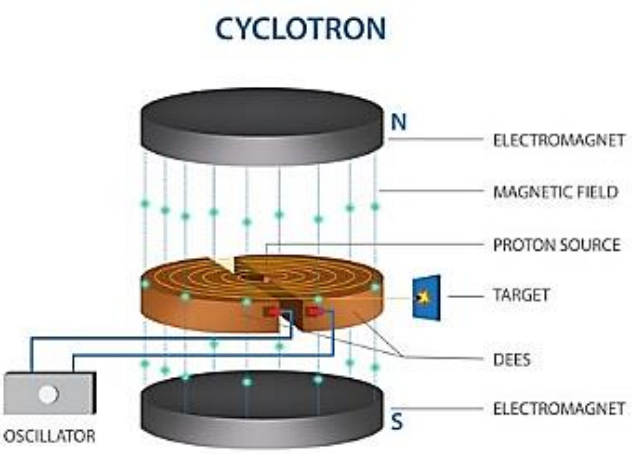
از هر نوع انرژی نمی‌توانیم برای تداوی سرطان‌ها به‌خصوص تداوی سرطان معده استفاده نماییم، به دلیل این‌که اگر انرژی کم باشد نمی‌تواند حجرات سرطانی را از بین ببرد و اگر انرژی زیاد باشد، می‌تواند به حجرات سالم که در اطراف حجرات سرطانی قرار دارند، آسیب‌های جدی وارد نماید و گاهی اوقات باعث تولید سرطان‌های دیگر می‌شوند و یا گاهی سوختگی در بدن ایجاد می کنند که غیرقابل ترمیم اند. بنابراین، محدوده‌یی از انرژی ذرات تعجیل یافته در تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی می‌تواند برای تداوی سرطان معده استفاده شوند. طبق تجارب کلینیکی انجام شده، انرژی الکترون تعجیل‌یافته در سیستم‌های تعجیل‌دهنده‌ی خطی برای تداوی سرطان معده از MeV(18-6) و گاهی اوقات این انرژی از MeV(25-6)می‌باشند که البته به نوعیت ماشین بستگی دارد. اگر خواسته باشیم با پروتون تراپی و نیوترون تراپی سرطان معده را تداوی نماییم از MeV(300-50) نیاز است (*Huang et al*, 2020).

ماشین‌های تعجیل‌دهنده‌ی مورد استفاده در تداوی سرطان معده

بیتاترون(Betatron). بیتاترون در سال ۱۹۴۰ توسط D.W. Kerst به عنوان یک تعجیل‌دهنده الکترون حلقوی برای تحقیقات فزیک هسته‌یی اختراع شد؛ ولی پس از اختراع به زودی برای رادیوتراپی(تداوی توسط اشعه) مورد استفاده قرار گرفت. برای شناخت و کاربرد بیتاترون در رادیوتراپی نکات ذیل را در نظر می‌گیریم.

۱. این ماشین از یک آهن‌ربا تشکیل شده است و توسط جریان متناوب تغذیه می‌شود و فریکونسی جریان متناوب بین ۵۰ تا ۲۰۰ هرتز می‌باشد. الکترون‌ها به‌شکل حلقوی بین یک مقناطیس دوقطبی دایروی شکل دوران می‌کند.
۲. از نظر مفهومی، بیتاترون را می‌توان انالوگ یک ترانسفارماتور در نظر گرفت. جریان اولیه جریان متناوب است که آهن‌ربا را تحریک می‌کند و جریان ثانویه جریان الکترونی است که در محفظه خلاء (کلچه‌یی‌شکل) دوران می‌کند.
۳. الکترون‌ها توسط ساحه برقی القاء شده در محفظه‌ی کلچه‌یی‌شکل با تغییر فلکس مقناطیسی تعجیل یا شتاب می‌گیرند و توسط ساحه مقناطیسی موجود در یک مدار دایروی‌شکل دوران می‌کنند.
۴. در دهه‌ی ۱۹۵۰ بیتاترون نقش مهمی در رادیوتراپی مگاولتیجی داشت. با این حال با توسعه لینک آن‌ها به فراموشی سپرده شد، به دلیل مزایایی که لینک‌ها نسبت به بیتاترون دارند، مانند: خروجی اشعه بسیار بالاتر(حد اکثر $10\ G/min$ برای لینک و $1\ G/min$ برای بیتاترون)، اندازه ساحه بزرگ‌تر لینک نسبت به بیتاترون، داشتن صروصدای کم‌تر لینک نسبت به بیتاترون(آبرخت و همکاران، ۱۳۸۹).

سایکلوترون (Cyclotron). سایکلوترون در سال ۱۹۳۰ توسط E. O. Lawrence برای تعجیل دادن آیون‌ها توسط انرژی حرکی چند میگا الکترون ولتی انکشاف داده شد. در ابتدا سایکلوترون برای تحقیقات اولیه فزیک هسته‌یی مورد استفاده قرار گرفت. اما بعداً سایکلوترون برای تولید رادیوایزوتوپ در طب هسته‌یی و هم‌چنین در تولید اشعه‌های پروتون، نیوترون برای رادیوتراپی مورد استفاده قرار گرفت. در این اواخر اهمیت سایکلوترون در معرفی توموگرافی انتشار پوزیترون(PET)، توموگرافی کمپیوتری ماشین‌های (CT) و برای استفاده در رادیوتراپی به‌طور چشمگیری اهمیت پیدا کرده است(علم‌خیل و همکاران،۱۳۹۴).



شکل ۱: تعجیل‌دهنده سایکلوترون (kerst, 1940)

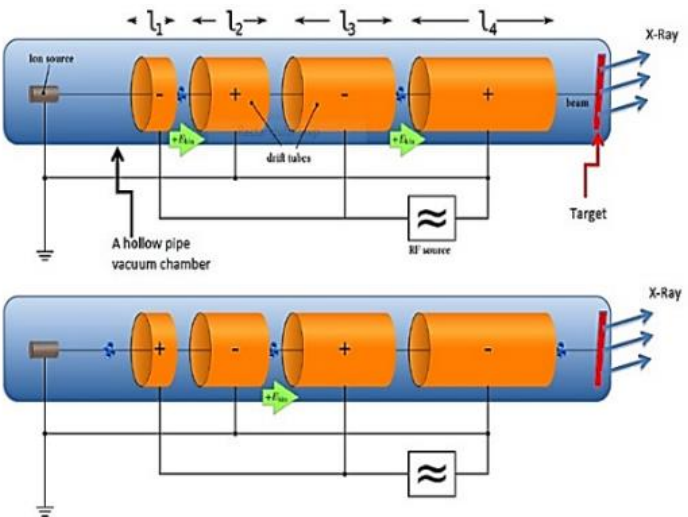
نکات ذیل اهمیت سایکلوترون را نشان می‌دهد:

۱. در یک سایکلوترون ذرات در طول یک مسیر مارپیچی تعجیل می‌گیرند.

۵. یک ولتیج فریکونسی رادیویی(RF) با فریکونسی ثابت بین (10-30)MHz بین الکترود اعمال می‌شود و ذره چارج‌دار در هنگام عبور از شکاف بین دو الکترود تعجیل می‌گیرد.

٦. در کنار الکترودها ساحه برقی وجود ندارد. و ذرات در اثر اعمال ساحه مقناطیسی به پایین می رود بعد از دوران زیاد در مدار دایروی شکل به سرعت زیادی خارج می‌گردد. اگر جهت ساحه برقی معکوس گردد، ذرات دوباره در سراسر مدار دایروی شکل تعجیل می‌گیرند(ورما و همکاران،۱۳۹٦).

لینک‌ها(Linacs). لینک‌های طبی تعجیل‌دهنده‌هایی هستند که الکترون‌ها را تعجیل می‌دهند و انرژی ۴ تا ۲۵ مگا الکترون ولت استفاده می‌کند. در یک لینک الکترون‌ها در یک مسیر مستقیم تعجیل می‌گیرند. انواع مختلفی از لینک برای استفاده کلینیکی موجود است. بعضی از آن‌ها اشعه ایکس را تولید می‌کنند که انرژی آن‌ها در حدود(۴ تا ٦ میگا الکترون ولت) می‌باشند. بعضی دیگر از آن‌ها هردو اشعه ایکس و الکترون‌ها را تولید و تعجیل داده که انرژی آن‌ها در حدود(٦ تا ۱۸ میگا الکترون ولت) می‌باشند(کرین،۱.ک،۱۳۹۰).



شکل۲: تعجیل‌دهنده خطی یا لینک(فلدر و همکاران،۱۳۷۴)

نسل‌های لینک: در طول ۴۰ سال گذشته، لینک‌های طبی از طریق پنج نسل متفاوت، متمایز گردیده اند، ماشین‌های نسل جدید بسیار پیچیده بوده نسبت به ماشین‌های که در سال ۱۹٦۰ ساخته شده بودند. ویژگی‌های پنج نسل از ماشین‌های لینک در ذیل آورده شده است:

۱. فوتون‌های کم انرژی(۴- ۸ میگا الکترون ولت)؛

۲. فوتون‌های با انرژی متوسط (۱۰-۱۵ میگا الکترون ولت) و الکترون‌ها؛
۳. فوتون‌های با انرژی زیاد (۱۸- ۲۵ میگا الکترون ولت) و الکترون‌ها؛
۴. فوتون‌های با انرژی زیادتر که در عملیات کنترول شده کمپیوترها و دستگاه تصویربرداری الکترونیکی استفاده می‌گردد و
۵. فوتون‌های با انرژی خیلی زیاد که مدولاسیون شدت اشعه فوتون در MLC استفاده می‌گردد (Podgorsak, 2015).

مقایسه انرژی ذرات تعجیل‌یافته در تعجیل‌دهنده‌ها برای تداوی سرطان معده

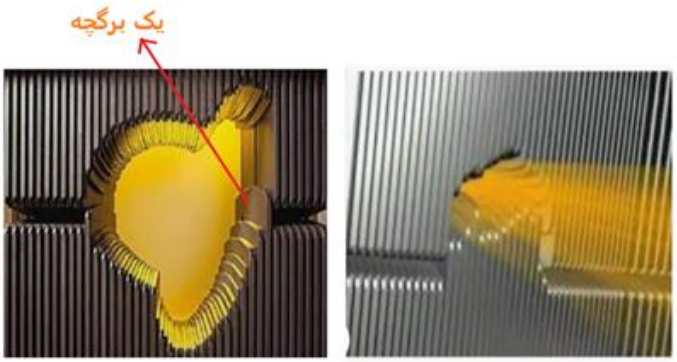
می‌دانیم که تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی ذراتی را تعجیل می‌دهند که رنج انرژی آن‌ها محدوده وسیعی را در بر می‌گیرند، یعنی انرژی ذرات تعجیل یافته در سیستم‌های تعجیل‌دهنده (تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی) از محدود کیلوالکترون ولت تا گیگا الکترون ولت را شامل می‌شوند. ما نمی‌توانیم از تمام انرژی‌های ذرات تعجیل‌یافته برای تداوی سرطان‌ها استفاده نماییم و هم‌چنان نمی‌توانیم از تمام تعجیل‌دهنده‌ها برای تداوی سرطان‌ها به‌خصوص سرطان معده در رادیوتراپی استفاده نماییم، تعجیل‌دهنده‌ی خطی رایج‌ترین ابزار برای تداوی سرطان‌ها به‌خصوص سرطان معده در جهان محسوب می‌شود(منتظم و همکاران، ۱۳۹۴)

معمولاً در تداوی رادیوتراپی سرطان معده و دیگر انواع سرطان‌ها از بعضی روش‌های تداوی استفاده می‌شوند که باعث مطلوب شدن و بهینه شدن تداوی سرطان معده می‌گردند. با استفاده از این روش‌های تداوی میزان موفقیت تداوی سرطان معده سنجش می‌شومد. طوری‌که بیشترین آسیب به تومورهای سرطانی و کم‌ترین آسیب به حجرات سالم رسانده شود. به‌طور مثال در روش Intensity Modulated Radiothropy به‌طور خلاصه IMRT یا (رادیوتراپی تعدیل شده با شدت) از انرژی ٦ میگا الکترون ولت، در روش VMAT (Volumetric-Modulated arc therapy) یا (رادیوتراپی تعدیل شده چرخشی) از انرژی ٦ میگا الکترون ولت تا ۱۰ میگا الکترون ولت و در روش تداوی توموتراپی(Tomotherapy) به‌طور خلاصه TOMO و یا تموتراپی حلزونی از ٦ میگا الکترون ولت تا ۱۰ میگا الکترون ولت استفاده می‌شود(*Huang et al*, 2020).

پس از استفاده از سی تی اسکن در طراحی تداوی، روش تداوی IMRT به‌عنوان یکی از پیشرفت‌های جالب در رادیوتراپی مورد توجه قرار گرفته است. در این روش، اشعه‌ها از جهات مختلف به تومور سرطانی معده تابانیده شده ولی نکته مهم آن است که با توجه به‌شکل تومور در هر جهت، هم زمان با گردش منبع تولید اشعه در اطراف بدن بیمار شکل ساحه اشعه‌دهی مطابق آن تغییر می‌نماید. توزیع دوز مطلوب در هدف، پس از منطبق شدن این نوع اشعه‌ها(از جهات مختلف تابیده شده اند) بر روی یک‌دیگر به دست می‌آیند. برای تداوی تومورهای سرطانی پروستات، ریه، پستان و معده از این روش استفاده می‌شود. با استفاده از این روش می‌توان دوز با یک نواختی بیشتر به تومور سرطانی معده تاباند و اشعه‌گیری انساج سالم را به حد اقل ممکن کاهش داد. انرژی اشعه‌های تابانده شده در این روش در

حدود ٦ میگا الکترون ولت می‌باشد که نسبت به روش‌های دیگر انرژی کم‌تری نیاز است(حدادی و همکاران، ۱۳۹۱).

تعجیل‌دهنده خطی یا همان لینک دارای ابزاری به نام MLC یا مولتی‌لیف‌کولیماتور(Multi-Leaf Collimator) است. مولتی‌لیف‌کولیماتور از تعداد زیادی قطعات نازکی سربی(شبیه به برگچه‌ها) تشکیل شده است که می‌تواند به‌طور مستقل حرکت کنند.



شکل۳: MLC شامل برگچه‌های کنار هم (Guttone , 2013)

آن‌ها می‌توانند اشکالی را تشکیل دهند که دقیقاً در اطراف ناحیه تداوی قرار می‌گیرند. در حالی‌که دستگاه در اطراف بیمار حرکت می‌کند. برگچه‌های سربی می‌توانند حرکت کنند. این روش سبب می‌شود تا اشعه‌های رسیده به بیمار دقیقاً مشابه به خود تومور باشد و تومور دوز بالایی از اشعه را دریافت کرده و در حالی که حجرات سالم و نورمال اطراف تومور سرطانی، دوز کم‌تری دریافت می‌کنند. هر اشعه رادیوتراپی به تعداد زیادی اشعه‌های کوچک تقسیم می‌شود که می‌توانند شدت تشعشع را تغییر دهند. این امر اجازه می‌دهد تا دوزهای مختلف اشعه در سراسر تومور سرطانی داده شوند(*Nagaich et al*, 2018).

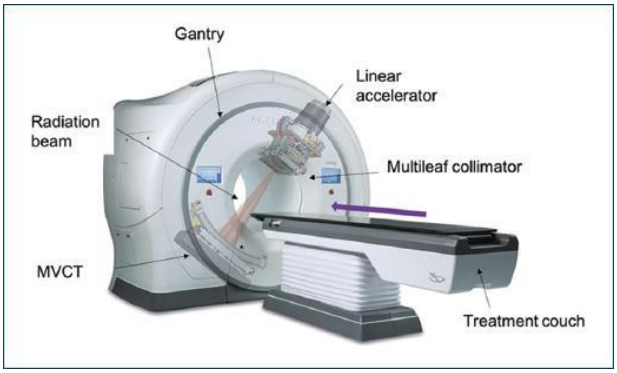
رادیوتراپی تعدیل شده چرخشی(VMAT) با رادیوتراپی تعدیل شده با شدت(IMRT) معمولی متفاوت است و در آن دستگاه رادیوتراپی در طول یک جلسه رادیوتراپی در یک طرح قوس‌مانند در اطراف بیمار می‌چرخد. انجام رادیوتراپی به این روش، تداوی سرطان معده را بسیار دقیق‌تر می‌کند؛ زمان تداوی را کوتا می‌کند و در آن دوز اشعه کم‌تری استفاده می‌شود، پروسه تداوی معمولاً حدود ۱۰ دقیقه طول می‌کشد (Gilbert , 2011).

رادیوتراپی تعدیل شده چرخشی یک تخنیک تداویی مدرن است که استفاده از آن، امکان تداوی سریع‌تر و با دوز کم‌تری از اشعه را برای مریض فراهم می‌کند. هم‌چنین اشعه‌درمانی تعدیل‌شده‌ی چرخشی یا VMAT به تیم تداوی انکولوژی این توانایی را می‌دهد که تداوی‌های متمرکزتری را برای سرطان مریض ارائه دهد(خواستار و همکاران، ۱۳۹۹).

در طول تداوی با رادیوتراپی VMAT یک دستگاه تعجیل‌دهنده خطی به دور مریض می‌چرخد و اشعه‌های تشعشع را به‌صورت قوس‌های پیوسته بدون وقفه، با شدت قابل تنظیم روی سرطان معده متمرکز می‌کند. انرژی مورد استفاده در این روش از ٦ میگا الکترون ولت تا ١٠ میگا الکترون ولت می‌باشند $(Huang\ et\ al, 2020)$.

توموتراپی یا TOMO نوع پیشرفته‌ی از اشعه‌درمانی است. این روش در آلمان یکی از بهترین و اثربخش‌ترین روش‌هایی است که توانسته است جان بسیاری از بیماران را نجات دهد. کاربردهای دستگاه توموتراپی در سراسر جهان این است که این دستگاه به روش سه‌بعدی و با سی تی اسکن تخصصی، محل تومور را به‌طول کاملاً دقیق مشخص کند (Gilbert , 2011).

در دستگاه توموتراپی از یک گیرنده کمپیوتری استفاده شده است و همین‌طور تعجیل‌دهنده‌ی خطی نیز وجود دارد. این دستگاه به جای این‌که از لوله برای عبور اشعه ایکس استفاده نماید، یک تعجیل‌دهنده‌ی خطی کوچک را دور بیمار می‌چرخاند. البته که شدت تعجیل‌دهنده‌ی خطی به واسطه دستور داکتر تنظیم خواهد شد. نیاز است که تشعشع‌دهی با تعجیل‌دهنده‌ی خطی و توموگراف به صورت همزمان انجام شوند. این هم‌زمانی کمک می‌کند تا حجرات سرطانی از بین بروند و به سایر حجرات سالم بدن نیز آسیبی وارد نشود $(Piotrowski\ et\ al, 2012)$. در تداوی سرطان معده به‌طریقه توموتراپی نیز از انرژی $(6-10)MeV$ استفاده می‌شود.



شکل۴: ماشین توموتراپی را نشان می‌دهد $(Escobar\ et\ al, 2019)$

به طور خلاصه می‌توانیم مزایای توموتراپی را طوری ذیل بنوسیم:

عوارض جانبی کمتر. پس از جراحی، شخص نیاز به کیمیاتراپی و یا مصرف دارو دارد. سرگیچه، حالت تهوع، بی‌حالی و بسیاری از موارد دیگر از عوارض جانبی روش‌های تداوی سرطان هستند؛ اما چنین رویکردی در توموتراپی دیده نمی‌شود.

تداوی سریع. از آنجایی‌که در این روش فقط قرار است حجرات سرطانی درگیر شوند مشخص است که سرعت تداوی بالاتر خواهد بود. البته اگر حجرات سرطانی بخش‌های مختلفی از بدن را درگیر کرده باشند این روش بهترین گزینه محسوب می‌شود.

نتیجه‌بخشی بهتر. در روش کیموتراپی یا اشعه درمانی، نتیجه‌بخش بودن وابسته به شرایط و گاه بدون تخمین خواهد بود. خوش‌بختانه توموتراپی به قسمی است که شما می‌توانید به نتیجه امیدوار باشید، چون حجرات ناسالم شناسایی شده و به سادگی از بین می‌روند.

سازگاری بیشتر. حقیقت امر این است که توموتراپی می‌تواند حجرات ناسالم را درجه بندی کند و به واسطه اشعه مناسب، روند نابود سازی را دنبال نماید($Escobar\ et\ al, 2019$).

خلاصه‌ی از یافته‌های تحقیق

با استفاده از تحقیق صورت گرفته درباره تداوی سرطان معده توسط انرژی ذرات تعجیل‌یافته در تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی به یافته‌های ذیل دست یافتیم:

۱. تعجیل‌دهنده‌های مورد استفاده در تداوی سرطان معده عبارت از بیتاترون، سایکلوترون و انواع لینک‌ها می‌باشند. در حالاتی که عمل جراحی امکان‌پذیر نباشد، از انرژی ذرات تعجیل‌یافته در تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی فوق الذکر برای از بین بردن تومورهای سرطانی معده استفاده می‌شوند.
۲. تعجیل‌دهنده‌های خطی یا لینک‌ها بیشترین موارد استعمال را در تداوی سرطان معده دارد.
۳. از تمام انرژی‌های ذرات تعجیل‌یافته در تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی نمی‌توانیم برای تداوی سرطان معده استفاده نماییم. فقط محدوده‌ی کوچکی از انرژی ذرات تعجیل‌یافته یعنی انرژی در حدود (6-25)MeV می‌تواند در تداوی سرطان معده مفید باشند.
۴. از بین روش‌های که برای تداوی سرطان معده استفاده می‌شود، بهترین روش توموتراپی می‌باشد.

بحث و مناقشه

یکی از روش‌ها تداوی سرطان معده، تداوی توسط ذرات تولید شده توسط تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی می‌باشند. این ذرات می‌توانند الکترون‌ها، پروتون‌ها، نیوترون‌ها، ذرات الفاء و یا ذرات سنگین دیگر مثل کاربن باشند. تداوی توسط اشعه یا رادیوتراپی می‌توانند مزایایی نسبت به جراحی یا کیموتراپی داشته باشند. به‌طور مثال وقتی که ترس از سرایت تومور به بخش‌های دیگر بدن وجود داشته باشد و یا سرطان در بخشی از بدن وجود داشته باشد که عمل جراحی امکان‌پذیر نباشد و یا برای نتیجه‌بخشی بهتر قبل و بعد از عمل جراحی از رادیوتراپی در تداوی سرطان‌ها، به‌خصوص سرطان معده استفاده می‌شوند. تمام ماشین‌های تعجیل‌دهنده نمی‌توانند در تداوی سرطان معده استفاده شوند و بهترین ماشین تعجیل‌دهنده لینک‌ها و مقدار انرژی از ۵ الی ۲۵ میگا الکترون ولت می‌باشند. روند تداوی سرطان معده قسمی است که تومور در معرض تشعشات قرار گرفته و در اثر برخورد ذرات کوچک شده و یا از بین می‌روند.

نتیجه‌گیری

یکی از سرطان‌های بسیار مهلک و خطرناک سرطان معده می‌باشد، برای تداوی سرطان معده روش‌های مختلف از قبیل جراحی، کیموتراپی، اشعه‌درمانی و غیره پیشنهاد شده و در ساحه عمل هم تطبیق شده

است. از انرژی ذرات تعجیل‌یافته در تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی برای تداوی سرطان‌ها به‌خصوص سرطان معده استفاده می‌شود. قابل تذکر است از همه انرژی‌های ذرات تعجیل یافته در تعجیل‌دهنده‌های هسته‌یی نمی‌توانیم در تداوی سرطان معده استفاده نماییم. معمولاً از انرژی‌های ذرات برای تداوی سرطان معده استفاده می‌نماییم که محدوده انرژی آن‌ها از MeV(18-6) باشد. در شرایط امروز معمولاً از روش‌های IMRT، VMAT و TOMO برای تداوی سرطان معده استفاده می‌نمایند که محدوده انرژی آن‌ها بین MeV(10-6) می‌باشند. هم‌چنان می‌توانیم تذکر دهیم که بهترین ماشین برای تداوی سرطان معده لینک، بهترین روش TOMO و محدود انرژی مورد استفاده (6-25)MeV می‌باشد. به دلیل اینکه استفاده از TOMO عوارض جانبی کمتر داشته، تداوی به شکل سریع صورت می‌گیرد، نتیجه‌بخش بوده و سازگاری بیشتر با حجرات اطراف تومور سرطانی دارد. اشعه‌های مورد استفاده در تداوی سرطان معده، الکترون، پروتون، ذرات الفا، ذرات بیتا و اشعه‌های سنگین کاربن می‌باشند.

منابع

آبرخت، گ. بالاتیکین، آ. ب. & بیکام، ج. (۱۳۸۹). *مبانی علوم هسته ای*. (ا. گل کند، & ح. فراتی راد، مترجم) تهران: سازمان انرژی اتمی ایران.

اعیانی ، و. (۱۳۹۷). ارزیابی اهمیت تشخیصی میزان تغیرات بیان ژن آرگونات ۲ در مبتلایان به سرطان روده بزرگ . فصلنامه علمی پژوهشی ابن سینا، اداره بهداشت، امدان و درمان بهاجا. ۴۸.

بندار، ص. (۱۳۹۴). سرطان، مزایا و کاستی‌های روش‌های درمانی. مجله پزشکی، شماره ۱۱۳ و ۱۱۴، واحد علوم دارای. ۱۲، ۱۳.

حدادی، غ. حدادی ، م. & وردیان، م. (۱۳۹۱). مروری بر روش‌های مختلف پرتو درمانی. مجله پوهنتون علوم پزشکی فسا، سال دوم، شماره ۴. ۲۳۵، ۲۳۶.

خردمند، ن. بابایی، آ. & محمدی، م. (۱۳۹۶). تاریخچه سرطان، روش‌های درمان باستان و مدرن. مجله زیست شناسی ایران، جلد اول شماره ۲. ۱، ۲، ۷، ۸،۹.

خواستار، س. غفاری نظری، ه. & جلالی، س. (۱۳۹۹). ایمنوتراپی و رادیوتراپی: یک درمان ترکیبی موثر علیه سرطان. فصلنامه علمی پژوهشی دانشکده پزشکی و خدمات بهداشت درمانی شهید بهشتی. ۷۲.

رحیقی، ج. جعفرزاده، م. & لامعی رشتی ، م. (۱۳۹۲). ساخت شتاب دهنده‌های الکتروستاتیکی با بیشینه انرژی KeV۲۰۰. پژوهشکده علوم هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران. ۸۲، ۸۳، ۸۴.

روشنایی، ق. کاظم نژاد ، ا. & صدیقی، ص. (۱۳۹۰). برآورد بقای بعد از عود بیماران مبتلا به سرطان معده و بررسی عوامل مرتبط به آن. مجله کومش، جلد ۱۲، شماره۳. ۲۲۴،۲۲۳.

علم خیل، ک. & شاداب، ع. (۱۳۹۴). برق و مقناطیس. کابل: انتشارات سعید.

فلدر، ه. ف. & هنلی، ا. م. (۱۳۷۴). فیزیک زیر اتمی. (م. بارزی & م. فلاحی مروست، مترجم) تهران: انتشارات پوهنتونی.

کرین، ا. ک. (۱۳۹۰). آشنایی با فیزیک هسته ای (جلد دوم). (ن. میرفخرایی، & م. مدرس، مترجم) تهران: انتشارات پوهنتونی.

لامعی رشتی، م. قاسمی، ف. & زارعی ، س. (۱۳۹۴). بررسی اهمیت وکاربرد شتاب دهنده‌ها در دنیای امروز. مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۵، شماره ۲, ۲۳۵.

لی لی، ج. (۱۳۹۰). اصول فیزیک هسته ای (نسخه اول). (ج. اول، تدوین، & م. ابوکاظمی ، مترجم) تهران: نوپردازان.

مزدک، ح. طلوع قمری، ز. & غلام پور، م. (۱۳۹۸). بررسی بروز سرطان معده در آستان اصفهان، ایران. مجله دانشکده پزشکی، پوهنتون علوم پزشکی تهران, ۲۵۲.

مستاجران، م. (۱۳۹۵). اصول و مبانی فیزیک شتاب دهنده‌ها. یزد: پوهنتون یزد.

منتظم ، م. مهدوی،س. & قاسمی ، ف. (۱۳۹۴). بررسی وضعیت شتاب دهنده خطی الکترون در درمان سرطان در ایران. مجله تحقیق فیزیک ایران، جلد ۱۵، شماره . ۲۶۰، ۲۶۱، ۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۴.

ورما، آ. ا. & میتال، و. ک. (۱۳۹۶). مقدمه‌یی بر فیزیک هسته‌یی و ذرات. (ل. غلام‌زاده ، & ز. رضایی ، مترجم) یزد: پوهنتون یزد.

A Das ،T Ferbel .(2005) .Introduction to Nuclear and Particle Physics .London: Word Scientific.

Albert, S. R. & Cervantes, A. C. (2021). Stomach Cancer Early Detection, Diagnosis and Staging. American Cancer Socioty.11,12,23,24. https://amp.cancer.org.

C Guttone . (2013) .Applicantion of Particle Accelarator in Medical Physics . Medical physics.https://cds.cern.ch › files.۱۰ .

D W kerst.(1940) .Acceleration of Electrons by Magnatic Induction .Oxford University Publication .35,45. https://link.aps.org › doi › PhysRev.60.47.

Escobar-Peralta, E. Gil-García, R. & Quezada-Bautista, A. (2019). Helical tomotherapy: advanced radiotherapy technology. 4. http://www.scielo.org.mx › scielo.

Gilbert , S. (2011). Introduction To Cancer. General Knowledge. 2,3. https://www.ncbi.nlm.nih.gov › books › NBK470200.

Huang, S. F. lin, C. J. & Shiau, A. C. (2020). Optimal Tumor Coverage with differnt beam energys by IMRT, VMAT and TOMO Effects on patient with Proximal gastric cancer. Medicine. 7,8: doi: 10.1097/MD.0000000000023328 .

Nagaich, N. & Sharma, R. (2018). Gasrric Cancer -An Update. Tumor Medicine and Prevetion. 86,87. https://scholar.google.de › citations.

Piotrowski, T. Skórska, M. & Jodda, A. (2012). Tomotherapy – a different way of dose. 4. doi:10.5114/wo.2012.27332.

Podgorsak, E. B. (2015). Treatment Machines For External Beam Radithropy. Mentral. 134,135,136. https://www.irsn.fr › files › syllabus_chapitre.

Repka, M. C. & Salem, M. E. (2014). The Science Bebind Radition Thrapy. American Cancer Society. 3,4,5. https://www.cancer.org › PDF › Public › 6151.00.