

فهرست

۵	فهرست.....
۹	پیشگفتار
۱۱	فصل اول: مقدمه‌ای بر پرتودرمانی.....
۱۱	مقدمه
۱۴	دستگاه‌های پرتودرمانی کیلوولتاژ
۱۴	درمان با پرتو گرنز
۱۵	درمان تماسی
۱۵	درمان سطحی
۱۵	درمان ارتوولتاژ یا درمان عمقی
۱۵	درمان با ولتاژ بالا.....
۱۶	دستگاه‌های پرتودرمانی مگاولتاژ.....
۱۶	ژنراتور واندوگراف
۱۷	بتاترون
۱۸	سیکلوترون.....
۱۸	میکروترون.....
۱۹	شتاب‌دهنده خطی
۲۳	تولید باریکه فوتونی
۲۳	تولید باریکه الکترونی
۲۴	دستگاه پرتودرمانی کبالت-۶۰
۲۶	مراحل انجام پرتودرمانی
۲۶	کانونشنال سیمولاتور
۲۶	CT سیمولاتور
۳۱	فصل دوم: تکنیک‌های پرتودرمانی.....
۳۱	مقدمه
۳۲	پرتودرمانی دوبعدی (2D-RT).....
۳۳	پرتودرمانی سه بعدی کانفورمال (3D-CRT)

۳۳	پر تودرمانی با شدت متغیر تعدیل شده (IMRT).....
۳۵	بلاک.....
۳۶	MLC.....
۳۷	میخی و میکرو MLC.....
۴۲	پر تودرمانی با شدت متغیر قوسی حجمی (VMAT).....
۴۳	توموتراپی (Tomotherapy).....
۴۴	پر تودرمانی تحت هدایت تصویر (IGRT).....
۴۴	تصویربرداری پرتابل و رادیوگرافی.....
۴۵	CT اسکن در اتاق درمان.....
۴۵	توموتراپی.....
۴۶	پر تودرمانی حین عمل جراحی (IORT).....
۴۷	رادیوسرجری (Radiosurgery).....
۴۷	سایبرنایف (CyberKnife).....
۵۴	گامانایف (Gamma Knife).....
۶۲	پروتون درمانی (Proton Therapy).....
۶۹	فصل سوم: پر تودرمانی کانفورمال و حجم‌های درمانی
۶۹	مقدمه.....
۷۰	زنجیره پر تودرمانی کانفورمال.....
۷۴	حجم‌های درمانی.....
۷۹	فصل چهارم: تأیید درمان در پر تودرمانی
۷۹	مقدمه.....
۸۰	انواع تأیید درمان در پر تودرمانی.....
۸۲	تأیید درمان هندسی.....
۸۶	تکنیک‌های جبران حرکت تومور.....
۸۸	تأیید درمان دزیمتری.....
۹۳	فصل پنجم: CT اسکن و CT سیمولیشن
۹۳	CT اسکن.....
۹۵	اجزاء دستگاه CT اسکن.....
۹۷	CT سیمولیشن.....
۱۰۱	فصل ششم: ترکیب (Fusion) تصاویر در پر تودرمانی
۱۰۱	تصویربرداری در پر تودرمانی.....
۱۰۲	ثبت و ترکیب تصاویر.....
۱۰۴	نحوه انجام ثبت تصاویر.....

۱۰۸.....	نحوه انجام ترکیب تصاویر
۱۰۹.....	کاربردهای بالینی ترکیب تصاویر
۱۱۱	فصل هفتم: IGRT بر مبنای EPID
۱۱۱	مقدمه
۱۱۱	حرکت سیستم تنفسی
۱۱۲	اثرات دزیمتریک حرکت سیستم تنفسی
۱۱۳	ارزیابی لحظه‌ای حرکت
۱۱۳	تعریف، نقش و اهمیت تصویربرداری پورتال
۱۱۳	سیستم‌های تصویربرداری پورتال
۱۱۵	EPID
۱۱۷	EPID در کلینیک
۱۲۰	محدودیت‌ها و چالش‌های سیستم EPID
۱۲۱	سایر کاربردهای سیستم تصویربرداری پورتال
۱۲۳	فصل هشتم: IGRT بر مبنای CBCT
۱۲۳	مقدمه
۱۲۳	دستگاه CBCT
۱۲۷	مزایای تصویربرداری CBCT
۱۲۷	محدودیت‌های تصویربرداری CBCT
۱۲۸	آرتیفکت در تصاویر CBCT
۱۲۹	نویز در تصاویر CBCT
۱۳۰	مقایسه CBCT و CT
۱۳۳	فصل نهم: IGRT بر مبنای فلوروسکوپی
۱۳۳	مقدمه
۱۳۳	معرفی دستگاه فلوروسکوپی
۱۳۸	فلوروسکوپی در IGRT
۱۳۹	فصل دهم: IGRT بر مبنای اولتراسونوگرافی
۱۳۹	مقدمه
۱۴۱	تکنیک‌های مدیریت حرکت با اولتراسونوگرافی
۱۴۳	تأثیر دزیمتری مبدل‌های فراموت
۱۴۳	بافت‌های مورد بررسی با استفاده از اولتراسونوگرافی
۱۴۵	فصل یازدهم: IGRT با مانیتورینگ اپتیکی
۱۴۵	مقدمه
۱۴۵	ردیابی نوری با استفاده از مارکرها

سیستم‌های تصویربرداری تحت هدایت نوری	۱۵۰
ردیابی نوری برای تصویربرداری Gated	۱۵۲
ردیابی نوری بدون استفاده از مارکر	۱۵۲
ردیابی لیزری موقعیت بیمار	۱۵۳
ردیابی رادیوفرکانسی موقعیت بیمار	۱۵۳
ردیابی چشمه‌های رادیواکتیو	۱۵۵
فصل دوازدهم: پرتودرمانی تطبیقی	۱۵۷
مقدمه	۱۵۷
نحوه انجام پرتودرمانی تطبیقی	۱۵۸
منابع	۱۶۱
واژه یاب	۱۶۳

پیشگفتار

در کتاب حاضر، به بررسی مفاهیم و مباحث مرتبط با پرتودرمانی تحت هدایت تصویر (IGRT) به صورت جامع و کاربردی پرداخته شده است. بنظر می‌رسد کتاب IGRT منبع مناسبی برای تدریس دانشجویان در رشته‌های فیزیک پزشکی، رادیوآنکولوژی و تکنولوژی پرتودرمانی باشد. این کتاب همچنین حاوی مطالب جامع و ارزشمندی برای پژوهشگران و علاقه‌مندان به حوزه IGRT است.

امید است مطالعه کتاب حاضر با ارتقاء سطح دانش و مهارت خوانندگان گرامی در زمینه IGRT همراه باشد. بدینوسیله از کلیه صاحب‌نظران و خوانندگان محترم تقاضا داریم، پیشنهادات علمی و ادبی خود را جهت بهبود و ارتقاء سطح علمی مطالب در چاپ‌های بعدی منعکس نمایند.

با آرزوی توفیق الهی
دکتر سید مسعود رضایی جو
دکتر ساحل حیدر حیدری

فصل اول

مقدمه ای بر پرتودرمانی

مقدمه

سرطان^۱ به گروهی از بیماری‌ها اطلاق می‌شود که در بردارنده تقسیم ناهنجار و غیرقابل کنترل سلول‌های بدن است؛ این بیماری می‌تواند به صورتی تهاجمی در بافت‌ها و اندام‌های مختلف انتشار یابد. سلول‌های سرطانی از سازوکارهای عادی تقسیم و رشد سلول‌ها تبعیت نمی‌کنند؛ علت دقیق این پدیده نامشخص است ولی احتمال دارد ناشی از عوامل ژنتیکی یا فاکتورهایی باشد که موجب تغییراتی در هسته سلول و در نتیجه اختلال در فعالیت طبیعی و تقسیم کنترل‌ناپذیر سلول‌ها می‌شود. معمولاً درمان سرطان به سه روش اصلی به شرح زیر انجام می‌گیرد:

۱. جراحی^۲: در تومورهای قابل دسترسی که در مراحل^۳ پایین هستند و یا متاستاز^۴ نداده‌اند، کاربرد دارد.
۲. شیمی‌درمانی^۵: برخی داروها از جمله داروهای سایتوتوکسیک^۶ فعالیت و رشد تومور را مختل می‌کنند. بعبارت دیگر، تشکیل دوک در تقسیم میتوز را به تأخیر انداخته و یا متابولیت سلول را مختل می‌سازند.

۳. پرتودرمانی^۷: استفاده از پرتوهای یونساز مانند پرتوهای ایکس^۸، گاما^۹، آلفا^{۱۰} و بتا^{۱۱} به منظور از بین

1. Cancer
2. Surgery
3. Stage
4. Metastasis
5. Chemotherapy
6. Cytotoxic
7. Radiotherapy
8. X-ray
9. γ -ray
10. α -particle
11. β -particle

بردن یا کوچک کردن بافت توموری است. این پرتوها یا از ماشین‌های مولد پرتو ایکس^۱ تابیده می‌شوند و یا از منابع و مواد پرتوزا^۲ ساطع می‌شوند. پرتودرمانی اصولاً با دو هدف درمان^۳ و با تسکین^۴ مورد استفاده واقع می‌شود. در اهداف تسکینی، صرفاً درد بیمار کاهش یافته و مرگ به تأخیر می‌افتد.

به طور کلی در پرتودرمانی از سه تکنیک درمان خارجی یا تله‌تراپی (درمان از راه دور)^۵، درمان داخلی یا براکی‌تراپی (درمان از راه نزدیک)^۶ و درمان سیستمیک^۷ استفاده می‌شود.

در تله‌تراپی، دستگاه مولد اشعه در فاصله معینی از بیمار قرار می‌گیرد. در این حالت، پرتو در مسیر مشخص و به مقدار محاسبه‌شده توسط فیزیسیست به ناحیه مورد نظر تابانده می‌شود. در براکی‌تراپی، منبع رادیواکتیو (پرتوزا) در فاصله‌ای نزدیک به محل تومور و به صورت داخل بافتی، داخل حفره‌ای و یا سطحی قرار می‌گیرد. پرتودرمانی سیستمیک نیز با تجویز / تزریق مواد پرتوزا صورت می‌گیرد.

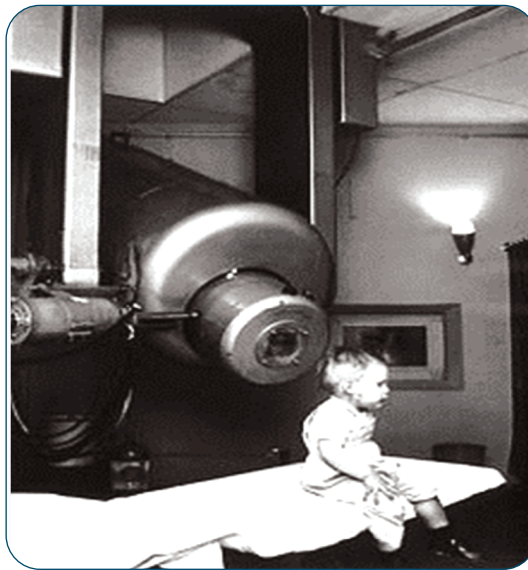
در پرتودرمانی، سلول‌های بافت هدف در ناحیه درمان در اثر آسیب به DNA تخریب می‌شوند و از ادامه رشد و تقسیم آن‌ها جلوگیری می‌شود. پرتودرمانی بر سلول‌های سالم ناحیه درمان نیز اثر می‌گذارد ولی این سلول‌ها بر خلاف سلول‌های سرطانی معمولاً بهبود یافته یا به سرعت خود را ترمیم می‌کنند. سلول‌های توموری در مقایسه با سلول‌های سالم، حساسیت بیشتری به پرتودرمانی نشان می‌دهند و در نتیجه، تعداد بیشتری از آن‌ها ضمن درمان از بین خواهد رفت. هدف نهایی در این تکنیک درمانی، از بین بردن حداکثر سلول توموری با حداقل آسیب به بافت سالم است. در حقیقت، کاربرد اصلی پرتودرمانی در معالجه، پیشگیری گسترش ضایعات و کاهش علائم بیماری همچون درد می‌باشد. در پرتودرمانی، جهت شناسایی و مکان‌یابی تومور از انواع مدالیته‌های تصویربرداری از جمله سی‌تی اسکن (CT-Scan)، ام‌آر‌آی (MRI)، اسپکت (SPECT) و پت (PET) استفاده می‌شود. پس از شناسایی و مکان‌یابی بافت هدف (ناحیه تومورال)، شبیه‌سازی^{۱۲} و طراحی درمان^{۱۳} بر اساس آناتومی بیمار و تصاویر اخذ شده، شروع می‌شود.

1. X-ray machines
2. Radioactive materials and sources
3. Radical
4. Palliative
5. Teletherapy
6. Brachytherapy
7. Systemic
8. Computed Tomography
9. Magnetic Resonance Imaging
10. Single Photon Emission Computed Tomography
11. Positron Emission Tomography
12. Simulation
13. Treatment planning

استفاده از پرتوهای یونیزان در درمان سرطان، فرایندی پیچیده است که در برگزیده تعداد زیادی از عوامل به هم پیوسته از جمله مشارکت تیم درمان شامل رادیوآنکولوژیست، فیزیسیست، دزیمتریست و تکنولوژیست پرتودرمانی است.

مشخص نیست که چه کسی برای نخستین بار در تاریخ جهان از پرتوهای یونیزان جهت مقاصد درمانی استفاده نموده است ولی اولین درمان را می توان متعلق به سال ۱۸۹۶ دانست که ویکتور دسپن بطور ناموفقی سعی در درمان سرطان معده با پرتوهای ایکس نمود. در آن زمان، پرتوها دارای انرژی کافی نبودند و لذا پرتودرمانی را صرفاً برای غده‌های سطحی امکان پذیر می نمودند.

اولین بخش پرتودرمانی در ایران در سال ۱۳۴۷ در بیمارستان امام خمینی تهران (انیستیتو کانسر) با نصب نخستین دستگاه کبالت ۶۰ شروع به کار نمود. در ابتدای کار، این بخش توسط چند پزشک هندی اداره می شد؛ پس از آن‌ها پروفسور ملکی و پروفسور افشاری متخصصین رادیولوژی، شروع به درمان بیماران نمودند. پس از این اقدام، رشته‌های تخصصی رادیوتراپی و فیزیک پزشکی در ایران دایر شد.



شکل ۱-۱: درمان نخستین بیمار مبتلا به رتینوبلاستوما در سال ۱۹۵۷ توسط یک شتاب دهنده خطی

در طی سال‌های اخیر، رشته رادیوتراپی - آنکولوژی تغییرات چشمگیری را پشت سر گذاشته است. در ابتدا متخصصین برای طراحی درمان بیماران با استفاده از آنچه روش دو بعدی ($2D$) نامیده می شد، آموزش دیده بودند. روش $2D$ ، از یک شبیه‌ساز مرسوم اشعه ایکس برای طراحی میدان‌های پرتویی که بر اساس

تکنیک‌های ترکیب اشعه استاندارد و استفاده از مارکرهای استخوانی بر روی صفحه رادیوگرافی است، استفاده می‌کند؛ این روش در حالی که هنوز توسط برخی کلینیک‌ها استفاده می‌شود، به طور گسترده با روش سه بعدی (۳D) کانفورمال جایگزین شده است. در پرتودرمانی کانفورمال / تطبیقی، طرح درمان ۳D است و از کامپیوتر برای هدف‌گیری دقیق تومور استفاده می‌شود. امروزه بیشتر متخصصین رادیو آنکولوژی از این روش استفاده می‌کنند. در روش ۳D، تصاویر سه بعدی CT، MRI و PET تهیه و به کمک نرم‌افزارهای مخصوص، پرتوهایی که با شکل تومور مطابقت دارند، طراحی می‌شوند. از آنجایی که در این تکنیک بافت سالم اطراف تومور به طور وسیع از پرتو دور می‌باشد، می‌توان از دزهای بالاتر برای درمان استفاده کرد. از این تکنیک در درمان تومورهای مختلف از جمله نازوفارنکس، پروستات، ریه، کبد و تومورهای مغزی استفاده می‌گردد.

امروزه از روش‌های پیشرفته‌تری مانند پرتودرمانی با شدت تعدیل یافته (IMRT^۴) برای درمان تومورها استفاده می‌شود. در روش IMRT که نوعی پرتودرمانی تطبیقی سه بعدی (۳D-CRT) است، از پرتو ایکس با شدت‌های متفاوت برای انتقال دزهای متفاوت پرتو به نواحی کوچک بافت به طور همزمان استفاده می‌شود. در این تکنولوژی، دز بیشتری به بافت تومورال و دز کمتری به بافت سالم اطراف می‌رسد؛ لذا IMRT ممکن است عوارض جانبی درمان را کاهش دهد. پرتودهی در این روش بوسیله یک شتاب دهنده خطی مجهز به کولیماتور چند برگه‌ای یا MLC^۴ انجام می‌شود. کولیماتور به شکل دهی دقیق پرتوها کمک می‌کند. با چرخش دستگاه به دور بدن بیمار، پرتوها از بهترین زوایا وارد تومور می‌شوند؛ پرتوها تا حد امکان با شکل تومور تطبیق داده می‌شوند. در ادامه، به سیر تحولی دستگاه‌های پرتودرمانی می‌پردازیم. دستگاه‌های پرتودرمانی بر اساس کیفیت پرتو به دو نوع کیلو ولتاژ^۵ و مگا ولتاژ^۶ تقسیم می‌شوند. تا حدود سال ۱۹۵۰، بیشتر پرتودرمانی‌های خارجی با اشعه ایکس تولیدی در محدوده کیلوولتاژ انجام می‌شد. هنوز هم استفاده از پرتوهای کم انرژی به خصوص در درمان ضایعات سطحی کاربرد دارد.

دستگاه‌های پرتودرمانی کیلوولتاژ

درمان با پرتو گرنز^۷

اصطلاح درمان با پرتو گرنز برای توصیف درمان با پرتو ایکس نرم (بسیار کم انرژی)، تولید شده در

1. Three-dimensional
2. Intensity Modulated Radiation Therapy
3. Three-dimensional Conformal Radiation Therapy
4. Multileaf collimator
5. Kilovoltage
6. Megavoltage
7. Grenz ray therapy