

TRATAMIENTO ONCOLÓGICO CON ACCELERADOR LINEAL

Introducción :

La característica básica del cáncer es la pérdida de la regulación del crecimiento de la célula normal y la capacidad de poder transmitir a sus células hijas esta anomalía genética para que se multipliquen en forma incontrolada y desarrollen la capacidad de invasión y diseminación (metástasis).

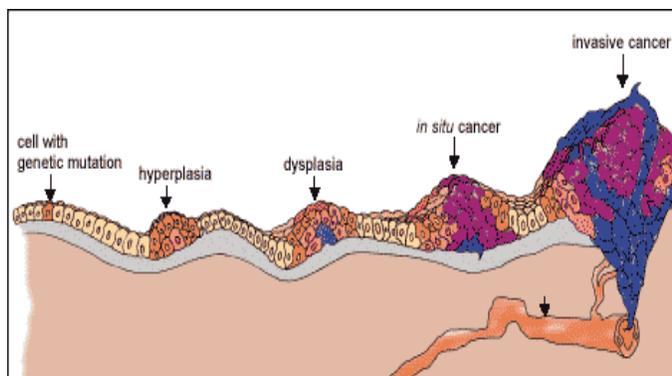


Fig. 1 Crecimiento y Metástasis del Cáncer

Las células cancerígenas pueden presentarse en cualquier parte del cuerpo y a cualquier edad. Invaden los tejidos por extensión directa o se dispersan a todas partes del cuerpo a través de los canales linfáticos o vasculares, su causa es aún desconocida.

Hoy en día, entre todas las enfermedades que afectan a las personas, el cáncer es considerado una de las principales causas de mortalidad en la población, hace mucho tiempo era sinónimo de muerte. Actualmente se dispone de tratamiento, siendo las principales:

- La cirugía
- La Quimioterapia y
- La Radioterapia

La Radioterapia

La radioterapia es el empleo de las radiaciones ionizantes en el tratamiento del cáncer, esto debido a la interacción de estas radiaciones con las células.

Desde que Wilhen Roentgen descubrió los rayos X en noviembre de 1895, la aplicación de estos rayos en el tratamiento del cáncer fue inmediato, ya en enero de 1896 se usó para el tratamiento de un paciente con cáncer a la mama en Chicago - Estados Unidos. Esta técnica de rayos X evolucionó hasta convertirse en la disciplina de radioterapia denominada teleterapia.

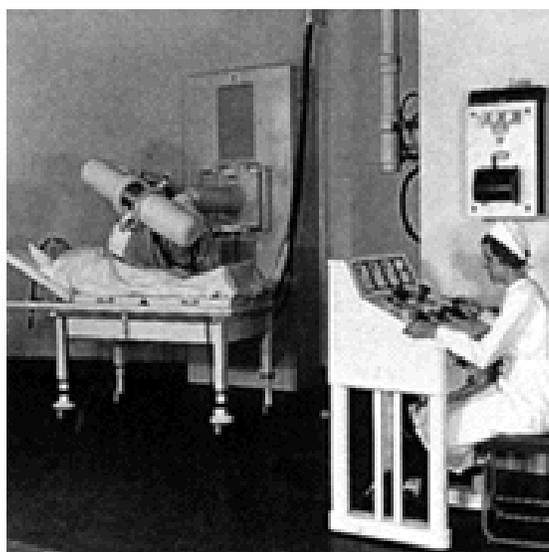


Fig. 2 La Teleterapia en sus inicios

Con el tiempo y la experiencia se vio que se lograban mejores resultados clínicos con la introducción de más altas energías. La teleterapia con cobalto 60 se utilizó por primera vez en octubre de 1951. A partir de los años 70's los aceleradores de electrones se hicieron más fiables en la producción de rayos X de alta energía.

El elemento radio fue identificado y aislado en 1898, pero su primera utilización satisfactoria en el tratamiento del cáncer que se ha documentado tuvo lugar en San Petersburgo en 1903. La aplicación del radio se desarrolló hasta transformarse en una disciplina denominada braquiterapia.

De esta manera la radioterapia se dividió en:
Teleterapia, irradiación de tumores mediante un haz de radiación externa al cuerpo y



Braquiterapia, la colocación de fuentes radiactivas en contacto con el tejido, que abarca las aplicaciones intersticiales, intracavitarias y superficiales de la fuente.

Técnicas que han ganado rápida aceptación como tratamiento curativo y paliativo en la lucha contra el cáncer.

Muchos países desarrollados emprendieron la radioterapia en el marco general de la radiología, pero en los años 50's separaron esta disciplina en ascenso de la radiología diagnóstica.

La radioterapia es un método excelente para el tratamiento del cáncer pero sólo si es correctamente realizada. El resultado de esta modalidad de tratamiento (control tumoral, complicaciones) está estrechamente relacionado con la dosis que ha sido entregada al volumen blanco clínico y al tejido normal que lo rodea. Por lo tanto, una cuestión muy importante es la precisión requerida de las dosis y aquella que puede ser alcanzada en la práctica. Variaciones en la dosis de un 10 % pueden conducir a cambios significativos en la probabilidad de control tumoral y/o probabilidad de complicación del tejido normal.

Generalidades:

La radiación puede describirse como el movimiento de energía. La radiación electromagnética no tiene masa representándose como cuantos de energía denominados fotones. Los diferentes niveles de energía de los fotones conforman el espectro electromagnético y los dos tipos de energía electromagnética de interés para la radioterapia son los rayos X y los rayos gamma,

Se llama radiación ionizante a aquellas radiaciones capaces de ionizar átomos, moléculas.

Un átomo es ionizado cuando uno o más de sus electrones es separado del átomo, los electrones al ser lanzados mantienen cargado positivamente al átomo que al mantenerse así es químicamente reactivo y la reacción producida puede dañar al compuesto químico o la materia viva.

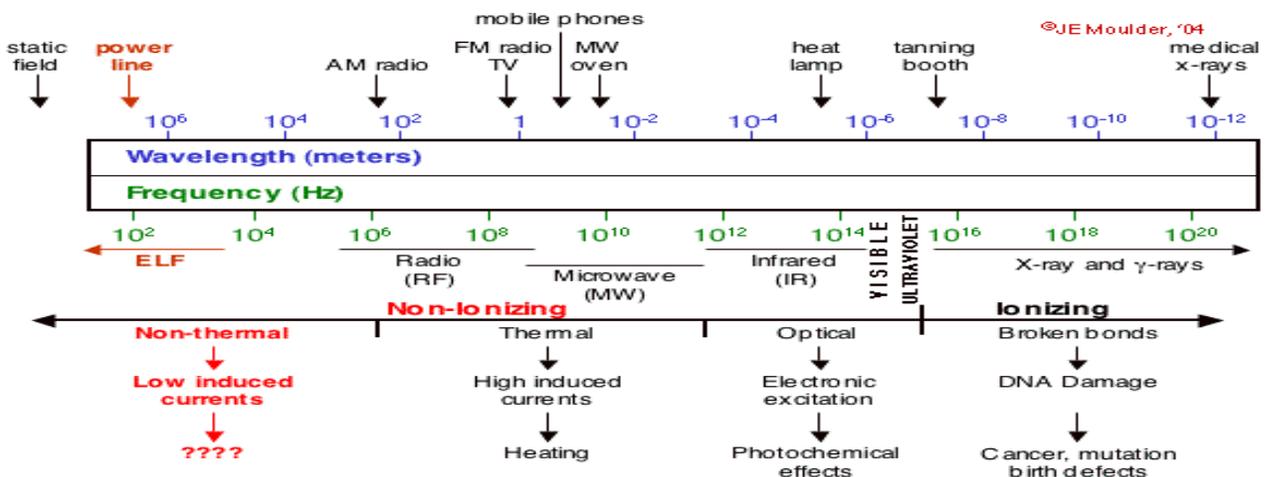
Otras clases de radiación tales como ondas de radio, luz visible, y ultrasonido no tienen la capacidad de producir la ionización, aunque pueden causar daño biológico por otros mecanismos si la energía depositada es suficientemente grande.

Las radiaciones corpusculares (y la radiación gamma) se producen por la desintegración nuclear de átomos inestables (radiactivos). Los núcleos de los átomos radiactivos emiten espontáneamente diferentes tipos de corpúsculos, neutrones, protones, partículas beta, entre otras, buscando su estabilidad nuclear.

Las principales clases de radiación ionizante (corpúsculos y electromagnética) son:

- Los rayos Gamma y rayos X (pequeños paquetes de energía conocidos como fotones)
- Las partículas beta (electrones de alta velocidad)
- Los neutrones (partículas sin carga, de masa aproximadamente igual al núcleo de hidrógeno)
- Las partículas alfa (partículas pesadas cargadas, de masa igual al núcleo del Helio)

Fig. 3 Espectro Electromagnético





Estos cuatro tipos de radiación difieren en la forma de obtenerlos, su interacción con los átomos y su capacidad de penetración en la materia.

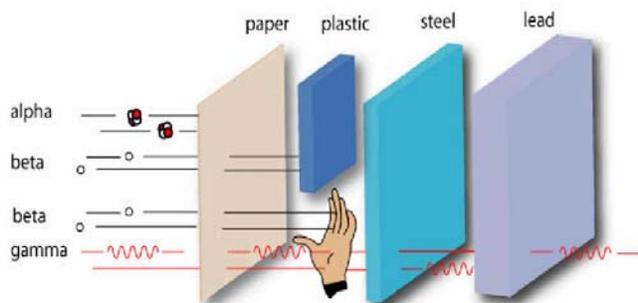


Fig. 4 Capacidad de Penetración de la Radiación Ionizante

Interacción con la Materia:

Cuando un haz de fotones incide sobre un objeto interacciona con la materia atenuando la energía de los fotones, parte de ella la atraviesa sin interactuar, otra es absorbida o dispersada.

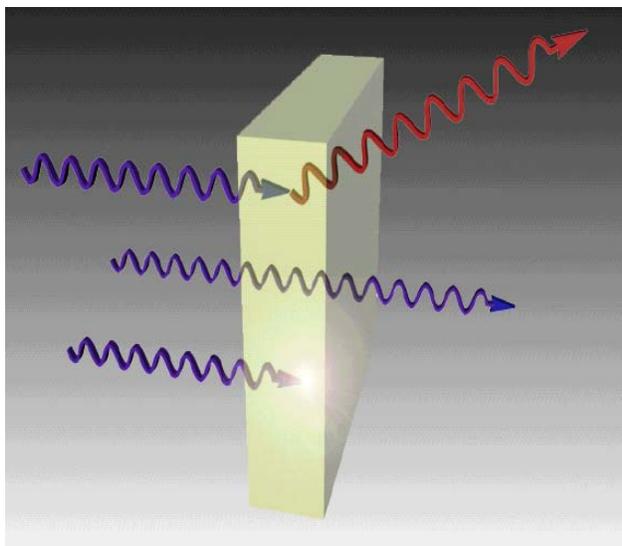


Fig. 5 Interacción de la Radiación con la Materia

El depósito de energía en el recorrido de la radiación no es lineal sino progresivo a lo largo del trayecto, siendo el final del trayecto donde se tiene más interacciones. Para comparar los diferentes tipos de radiaciones se introdujo el término transferencia lineal de energía (LET), que expresa la cantidad de energía cedida por una radiación en una distancia de una micra.

Unidades:

Para el caso de materiales radiactivos, se introduce el concepto de Actividad, que es el número de desintegraciones por unidad de tiempo. La unidad en el sistema internacional es el Becquerelio (Bq). Hace años la unidad conocida como Curie era muy utilizada y aún se emplea. Un Becquerelio contiene una cantidad ínfima de radiactividad. Un Curie que equivale a la radiactividad de un gramo del elemento radiactivo Radio, es igual a 37 mil millones de Becquerelios.

La Dosis de radiación es la medida de energía absorbida por unidad de masa (Joule/kg) y su unidad es el Gray (Gy). Sin embargo, la misma dosis de distintos tipos de radiación no producen los mismos efectos biológicos debido al patrón de depósito de energía (1Gy de fotones de rayos X produce menor efecto biológico que 1Gy de neutrones).

Como lo que importa es el daño biológico, la dosis adsorbida se multiplica por un factor sin dimensiones (llamado factor de calidad) y al resultado se llama dosis equivalente que también se mide en Joule/kg pero su unidad es el Sievert (Sv).

Tipo de Partícula	Factor de Calidad
Fotones (X y γ) y electrones	1
Neutrones, Protones, alfa	10
Núcleos pesados	20

Si un cuerpo ha sido irradiado con rayos X y ha adsorbido una dosis de 1Gy, ha recibido una dosis equivalente de 1Sv. Sin embargo, si hubieran sido neutrones en vez de rayos X a la misma dosis (1Gy), la dosis equivalente recibida sería 10Sv.

Por último, cuando una persona es irradiada, no todos los órganos responden igual, unos son más radiosensibles que otros, por ello se ha creado la magnitud dosis efectiva que se obtiene de multiplicar la dosis equivalente por un factor de ponderación del tejido. Esta magnitud se mide en Sievert y se acepta como el mejor parámetro para determinar la probabilidad de aparición de efectos biológicos.



Tejido u Órgano	Factor de Ponderación
Gónadas	0.2
Colon	0.12
Mama	0.05
Piel	0.01
Superficie ósea	0.01

Como no somos sensibles a las radiaciones ionizantes, requerimos de instrumentos de medida para detectarlas. Los detectores de radiaciones ionizantes poseen un volumen sensible, que absorben la energía de la radiación que la atraviesa, que lo traduce en efectos físicos y químicos medibles. Los dispositivos pueden aportar distinta información: detectarla, contarla (número de partículas), medir la cantidad de energía o la dosis depositada (cámaras de ionización, detectores de termoluminiscencia, dosimetría por emulsión fotográfica, semiconductores)

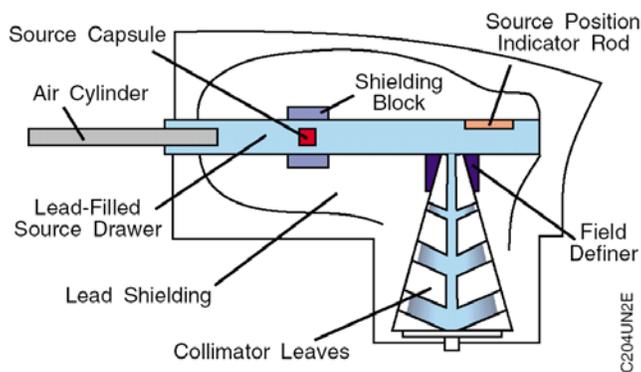


Fig. 6 Algunos Tipos de Detectores de Radiación

Teleterapia:

Esta técnica actualmente se realiza mediante las denominadas bombas de Cobalto o equipo de Cobaltoterapia y los aceleradores de electrones o aceleradores lineales (LINAC). En éstos, la administración de las radiaciones ionizantes es externa, es decir, un haz de radiación se dirige hacia la zona de interés mediante la superficie cutánea.

Las bombas de cobalto son equipos que tienen en el centro de una cabeza blindada un elemento radiactivo (pastilla de Cobalto 60) que a través de un cilindro deslizante puede pasar a la posición de exposición, este desplazamiento y su retorno a la zona blindada lo hace automáticamente. El tipo de radiación que se aplica son rayos gamma.



C204UN2E

Fig. 7 Partes de un Equipo de Cobaltoterapia
Se puede decir que esta tecnología es sencilla y económica. Tiene la desventaja de irradiar una baja energía y el poder de radiación disminuir con el tiempo (vida media del cobalto 60 cinco años aproximadamente). Para países en desarrollo es una excelente alternativa si se va a aplicar radiaciones a baja energía.

El Acelerador Lineal:

Estos equipos actualmente se están haciendo comunes debido a que han alcanzado tamaños relativamente pequeños, permiten el uso de diferente energías (baja, mediana y alta energía) y tipos de radiación (electrones y fotones).

Los aceleradores lineales aceleran electrones, los cuales son aplicados directamente a los tejidos, los electrones dejan de avanzar al cabo de unos centímetros.

Para una irradiación más profunda, los electrones son transformados en rayos X al bombardear un blanco con los electrones acelerados. Al mismo tiempo, al depositar en profundidad su energía, los rayos X también irradian considerablemente los tejidos sanos.

El acelerador Lineal, se compone básicamente de:

Un cañón de electrones, que genera electrones libres y los enfoca en las primeras cavidades del acelerador con cierta energía.

Una fuente de Microondas, es de dos tipos: Magnetron y Klystron, el primero es un generador amplificador de microondas, mientras que el segundo es solo amplificador, por lo que requiere de un generador de baja intensidad.



Una guía aceleradora, al cual se le aplica la energía electromagnética de la fuente de microondas y los electrones provenientes del cañón de electrones. La aceleración de los electrones se da por la absorción de la energía electromagnética. Las primeras cavidades se encargan del agrupamiento de los electrones suministrados por el cañón de electrones y las últimas cavidades se encargan de la aceleración bajo la influencia de los pulsos de microondas de alta potencia entregados a la guía desde un Klystron o un Magnetron, dichos electrones son acelerados a velocidades cercanas a la velocidad de la luz.

Una guía de onda, dispositivo que permite llevar las microondas desde la fuente generadora hacia la guía aceleradora.

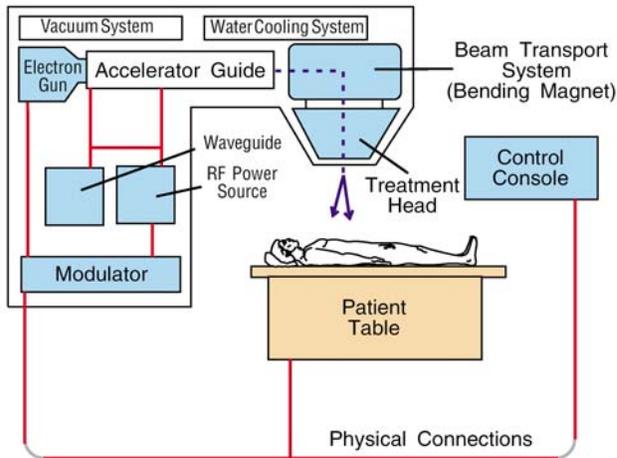


Fig. 8 Partes de Un Equipo Acelerador Lineal

Un modulador, es un circuito que se encarga de suministrar pulsos de alto voltaje al cátodo de la fuente de microondas y al cañón de electrones.

Sistema de deflexión del haz, permite desviar el haz de electrones mediante campos magnéticos para su aplicación sobre el paciente.

Posterior al sistema de deflexión, el haz de electrones se ensancha mediante una lámina metálica dispersora dando al haz una forma útil mediante una segunda lámina y el campo se limita mediante un sistema de colimadores móviles.

Para producir fotones se intercala tras el haz de electrones, un elemento de alto número atómico llamado blanco o target, que mediante frenado se obtiene los rayos X, el haz que es lobulado, se homogeniza mediante un filtro aplanador.

La cantidad y calidad de radiación se controla mediante un sistema de cámaras de ionización.

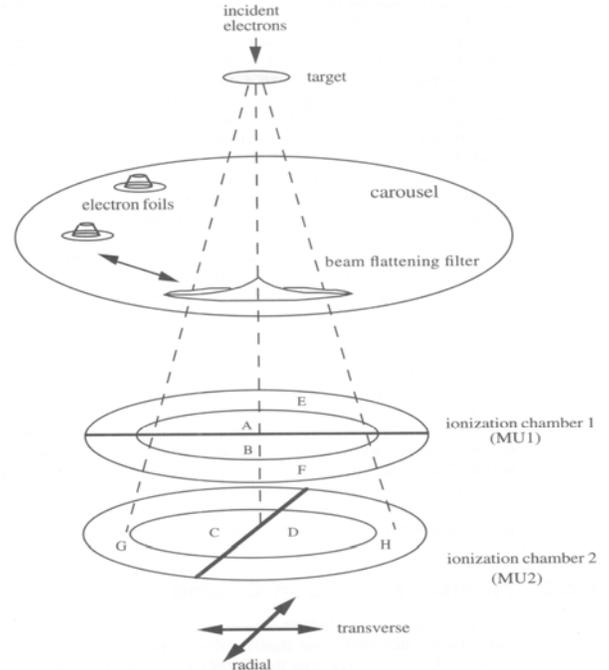


Fig. 9 Esquema de una Cámara de Ionización
Los haces de radiación se describen mediante relaciones obtenidas experimentalmente, empleando dosímetros (detectores calibrados en unidad de dosis) en un maniquí de geometría conocida y propiedades radiológicas similares al cuerpo humano (agua o compuestos acrílicos).

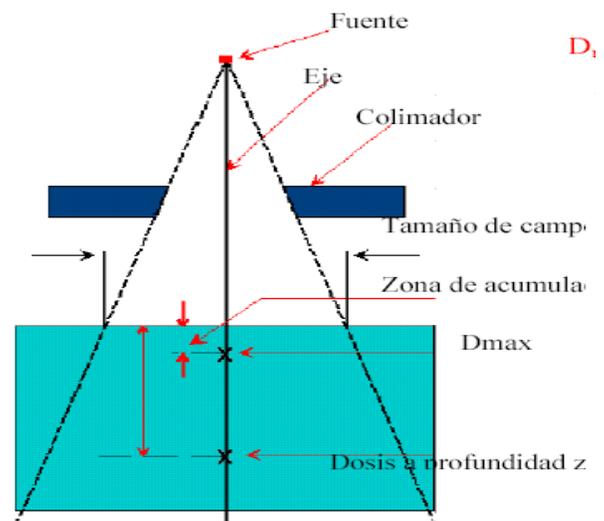


Fig. 10 Detección de los Haces de Radiación en un fantomas



El haz puede describirse mediante el rendimiento de dosis en profundidad. Las medidas se realizan en un maniquí de superficie plana y condiciones de referencia (distancia fuente superficie, tamaño de campo, etc.) y con el detector a distintas profundidades del eje de radiación que se relacionan con la dosis máxima (D_d/D_{max}). Como se observa en la figura anterior.

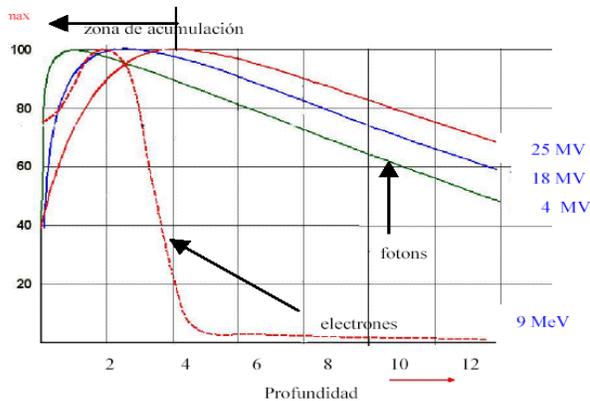


Fig.11 Curvas Dosis (d_d/d_{max}) a diferentes profundidades y energías

La Distribución de la dosis en un plano dan la curva de isodosis.

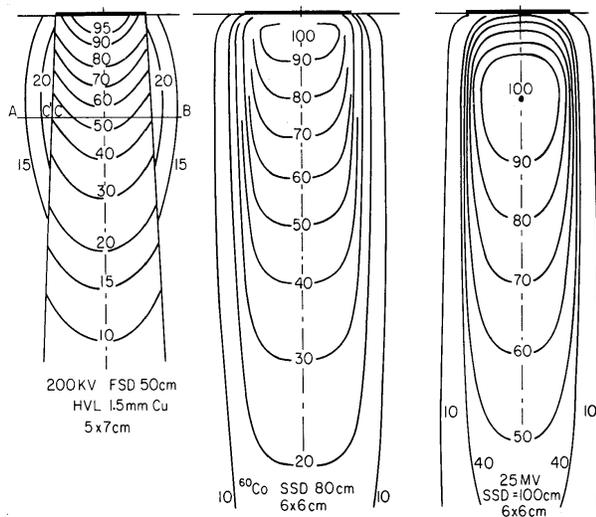


Fig. 12 Curvas de Isodosis para electrones, ^{60}Co y fotones a 25MV

Planificación:

La planificación trata de optimizar la radiación bajo una serie de restricciones. La distribución de la dosis debe concentrarse en el tumor, dejando intactos los tejidos sanos adyacentes, pero esto no es posible debido a que la radiación atraviesa los tejidos sanos dejando parte de

su energía allí. Dependiendo del nivel de exposición y su sensibilidad a la radiación, crea la posibilidad de dañar el tejido sano. Así se tiene dos objetivos en conflicto, que son: el control de tumor y evitar dañar el tejido sano.

Todo el proceso radioterapéutico se realiza a través de una cadena compuesta de múltiples pasos: adquisición de datos, cálculo de dosis, análisis y verificación; hasta llegar a la irradiación del paciente.

Una vez decidido realizar un tratamiento por radioterapia es necesario obtener información respecto al tumor: su ubicación anatómica, con el fin de cumplir las restricciones que los tejidos sanos y órganos impongan.

La fuente principal de información lo constituye el tomógrafo. Las imágenes se someten a un proceso que permite trazar los contornos exteriores del volumen de interés. Datos que son empleados en las técnicas de visualización de imágenes y análisis de distribución de dosis.

El problema del cálculo de la dosis se debe a que la radiación que llega a un punto no llega en forma directa, aproximadamente un 30% llega por radiación en su primera dispersión y un 10% por dispersión múltiple. Como puede observarse en la siguiente figura, la radiación directa llega al punto "P" por la ruta "d" y por dispersión de la radiación en el volumen "dV" le llega por la ruta "b".

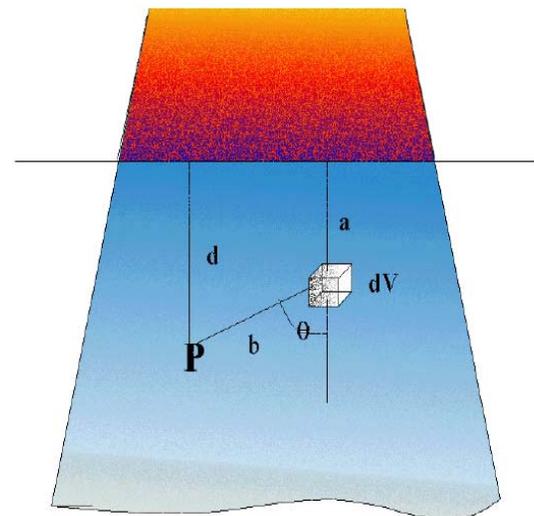


Fig. 13. Dosis en el punto P debido a la radiación directa y a la dispersión en el volumen dV.



Para realizar el cálculo de la radiación total en un punto se han elaborado diferentes técnicas algorítmicas siendo las principales: matriciales, analíticas, semiempíricas y físicas.

Para soluciones a problemas complejos cuya solución analítica no es posible se recurre al método de Monte Carlo, que es un método numérico basado en el muestreo, este método es muy eficaz en las proximidades de los cambios de fase en donde los otros métodos fallan.

En décadas pasadas para estimaciones con suficiente precisión se tomaba ciento de horas, hoy con el avance de la capacidad de cómputo se logran tiempos de cómputo en minutos.

El Procedimiento Clínico se inicia cuando el paciente es derivado a un especialista radioncólogo para determinar la conveniencia o no del tratamiento por radioterapia, para ello el especialista va a requerir toda la información acerca de la enfermedad (historia clínica, extensión de la enfermedad, qué pruebas se han realizado, qué tratamiento ha recibido el paciente) y toda la información radiodiagnóstica (placas). El especialista entrevista al paciente tratando de extraer toda la información específica de interés para la radioterapia.

Los preparativos necesarios antes del tratamiento son:

- Fabricación de dispositivos de inmovilización, que permita la comodidad del paciente y la reproducibilidad del tratamiento con la más mínima variación.
- La realización de prueba de imagen con un Tomógrafo de planificación.
- Simulación, que permite la delimitación de los campos de tratamiento en un aparato que reproduce con exactitud la geometría de los aparatos de tratamiento pero que no emiten radiación de tratamiento sino rayos X de diagnóstico. Una alternativa es la simulación virtual que con la información del tomógrafo permite diseñar los campos sin la presencia del paciente
- Durante este proceso se realiza unas marcas en la piel para asegurar que los rayos externos se dirijan correctamente.

Los tratamientos son generalmente diarios de lunes a viernes, cada sesión dura entre 10 a 20 minutos dependiendo del tipo de cáncer. Los recesos especialmente de fin de semana sirven para que las células normales se recuperen.

La mayor parte del tiempo que dura el tratamiento se emplea para colocar al paciente en la mesa, la

alineación y solo una pequeña parte del tiempo se usa para la radiación.

Durante la radiación, los técnicos salen de la sala y controlan al paciente a través de un circuito cerrado de televisión para asegurarse que el paciente no se mueva y no tenga ningún problema.

La radiación estereotáctica y la radiación conformal utilizan simulación terapéutica tridimensional y rayos emitidos desde muchas direcciones para minimizar el daño a los tejidos normales. En la actualidad, estos tratamientos se utilizan principalmente para tratar tumores cancerosos del cerebro, la médula espinal y la próstata.

Periódicamente el médico realiza una evaluación para ver la respuesta del tumor y la tolerancia al tratamiento.

La radioterapia es un tratamiento de gran complejidad en el sentido que requiere de profesionales de alta especialización, equipos de alto costo y tecnología en una infraestructura especial.

Las normativas mínimas requeridas por un centro de tratamiento respecto al equipamiento, infraestructura, recursos humanos y funcionamiento (actividades clínicas, control de calidad interno y externo del equipo y protección radiológica) son establecidas en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), El Organismo Internacional de Energía Atómica y El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

Bibliografía:

National Cancer Institute www.cancer.gov/espanol

Healthcare products Comparison Systems HPCS – ECRI

Requisitos de Seguridad Radiológica en Teleterapia – Oficina Técnica de la Autoridad Nacional IPEN



Precautions in the Management of Patients who have Received Therapeutic Amounts of Radionuclides, Setiembre 2005, publicado por la National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP).

PRECAUTIONS IN THE MANAGEMENT OF PATIENTS WHO HAVE RECEIVED THERAPEUTIC AMOUNTS OF RADIONUCLIDES, Setiembre 2005 de National Council on Radiation Protection and Measurements.

Aspectos Físicos de la Garantía de Calidad en Radioterapia: Protocolos de Control de Calidad – Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Boletín Tecnológico Evaluación de Tecnología en Salud

•Boletín N° 17

Edición :

Sub Gerencia de Evaluación Tecnológica
Gerencia de Planeamiento y Evaluación de Inversiones
Oficina Central de Planificación y Desarrollo

Comité Editorial :

- Dra. Elizabeth Zevallos Sanchez
- Ing. Jorge Documet Celis
- Ing. Max Bonilla Ruiz
- Ing. Luis Roca Maza
- Ing. Edgar Vilca Gray

Teléfono : 265-6000 / Anexo 2405

*Se invita a las personas
interesadas en difundir artículos
tecnológicos, tenga a bien remitirlo
a la siguiente dirección electrónica:
luroca@essalud.gob.pe*