

Otra opción contra el cáncer de cerebro



Dr.: Julio César Selva Infante

Dr.: Jorge Enrique Medina Rubio

Lic.: Carlos Pupo Palma

Dra.: Tania Margarita Cruz Hernández

2006

Dr. Julio César Selva Infante

Médico Neuro-Cirujano; graduado en la Universidad de La Habana, Cuba, en 1994. Trabaja en el Hospital "Lucía Iñiguez Landin" de la provincia de Holguín, Cuba.

Profesor de Neurocirugía en la Universidad de Holguín.

Master en Neurocirugía de mínimo acceso al sistema nervioso central.

Dr. Jorge Enrique Medina Rubio

Médico Neurocirujano, graduado de la Universidad Mayor de San Marcos en 1978. Doctorado en salud pública, maestría en administración de servicios de salud. Profesor asociado de Neurocirugía de la Universidad Nacional Federico Villareal. Director General del Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas de Lima, Perú.

Otra opción contra el cáncer de cerebro

Dr.: Julio César Selva Infante

Dr.: Jorge Enrique Medina Rubio

Lic.: Carlos Pupo Palma

Dra.: Tania Margarita Cruz Hernández

2006

- © 2006 Dr. Julio César Selva Infante
Dr. Jorge Enrique Medina Rubio
Lic. Carlos Pupo Palma
Dra. Tania Margarita Cruz Hernández
- © 2006 IMPRENTA EDITORIAL ASENCIOS
JR. CUSCO 751 - A LIMA
TELEFONO 432-1037
LIMA 1 - PERÚ

Prohibida la reproducción parcial o total de las características gráficas de este libro. Ningún párrafo de esta edición puede ser reproducido, copiado o transmitido sin autorización expresa de los editores. Cualquier acto ilícito cometido contra los derecho de Propiedad Intelectual que corresponde a esta publicación será denunciado de acuerdo al D.L. 822 (Ley sobre el Derecho de Autor) y a las leyes internacionales que protegen la propiedad intelectual.

Editor

Isaías Asencios Guimaray

AGRADECIMIENTO

Se agradece a todo el personal Médico, Enfermeras, Auxiliares, Personal Administrativo del Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas de Lima - Perú y a todas aquellas personas que colaboraron para que este proyecto se haga realidad.

Los Autores.

PROLOGO

Es para mí grato y enorgullecedor, comentar el trabajo brillante, esfuerzo intelectual y personal de dilectos amigos y autores de esta obra concretada en este magnífico aporte a la Neurocirugía, que es producto valioso del sacrificio general de todos los que de una u otra forma, en el Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas apoyamos la Investigación Científica.

Este quehacer, que a su vez constituye la Misión y Visión de nuestro Instituto, es enaltecedor por cuánto para su ejecución, ha motivado desvelos entre otros esfuerzos en pro de un mandato superior; cual es dar fé de que con este accionar; se acerca mutuamente dos conocimientos, dos culturas y por que no decirlo, dos países hermanos, con un denominador común: la pobreza; pero también con un norte similar para salir del sub-desarrollo con el empleo de la alta tecnología integrada y adecuada oportunamente.

Es justamente el desarrollo de esta tecnología, sintetizada en la Braquiterapia, así denominada, lo que es digno de encomio, por cuanto los autores la han adaptado a las necesidades, requerimientos y posibilidades de nuestro entorno habiendo optado por dicha tecnología; por ser ésta mucho más barata que otras técnicas análogas, y sobre todo por estar ésta mucho más al alcance en la práctica, de la mayoría de los pacientes requirientes de esta terapia de radicación ionizante que atiende nuestro Instituto y que en su mayoría provienen de las esferas más pobres de nuestra sociedad.

Así como el Dr. Oscar Trelles Montes marcó una brillante época en el quehacer científico de nuestro Instituto, actualmente lo hacen los autores de este Trabajo, que marca un hito en la Neurocirugía Nacional.

Finalmente, asumo que la Braquiterapia por sus resonantes logros obtenidos, debe merecer el apoyo de la comunidad científica, del Ministerio de Salud, y del público en general; más aún cuando su presentación a la comunidad se realiza en momentos en que se celebra las fiestas de Cristo Pobre por los 306 años de creación de nuestro Instituto, por lo que debemos solazarnos y relevar el lustroso aporte que contribuye el trabajo.

Dr. César Augusto Aristondo Barreto.

UNA ANÉCDOTA NECESARIA

El 4 de junio de 1999, el colectivo de neurocirugía del Hospital "Lucía Íñiguez Landín" de Holguín, Cuba, discutió sobre una paciente de 64 años de edad, que presentaba un tumor canceroso del Sistema Nervioso Central (SNC) y reunía los parámetros y criterios establecidos para realizar un implante de Iridio-192 (material radiactivo mixto en forma de agujas o alambre que se introduce en el cerebro a través de cirugía estereotáctica). Se trataba de una circunstancia esperada para abrir una nueva opción de tratamiento en la eterna lucha contra el cáncer del cerebro. Una esperanza, una gran noticia.

Antes de realizar la cirugía, se explicó a los familiares las características del tratamiento, posibles complicaciones y medidas de protección radiológica dentro y fuera del hospital. La evolución resultó satisfactoria y al egreso recibió un manual de procedimiento "Manejo del paciente implantado en el área salud y su hogar" para el posterior seguimiento por el Médico de Familia y el adecuado manejo de sus familiares.

Vecinos aledaños a su vivienda hicieron llegar preocupaciones sobre el presunto daño que podía ocasionar el material radiactivo implantado en la paciente, a tal punto de afirmar que acudirían a todas las autoridades correspondientes, pues existía una "central electronuclear al lado de su casa". ¡Ridículo asunto!.

No obstante, se reunió una comisión emergente, integrada por el Jefe del Departamento de Física Médica del Hospital, el Jefe de Protección Radiológica, el investigador principal del proyecto neuroquirúrgico y un representante del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de la provincia. Las viviendas del paciente y de los vecinos fueron visitadas y se realizaron mediciones con equipos dosimétricos especiales, para demostrar que no existía daño a la salud humana. Además, se grabaron y transmitieron tres programas de radio y uno televisivo, a fin de explicar los principales aspectos relacionados con el material radiactivo empleado y la protección radiológica.

El generador de esta queja fue ¡un médico!. Si existía tamaño desconocimiento por parte de un profesional de la salud, ¿qué sería en la población?. Tal es la razón de este esfuerzo informativo.

INTRODUCCIÓN

A escala mundial, el cáncer sigue una ruta de dolor y muerte, que suma cada año 10 millones de enfermos y cobra 7 millones de vidas.

La incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles ha disminuido en los últimos años, con excepción del cáncer, segunda causa de muerte, precedido por las afecciones coronarias. Los especialistas en este tema consideran que los tumores oncogénicos pueden convertirse en la primera causa de muerte.

El hecho de que algunos tumores del cerebro suelen ser asintomáticos y se descubren en autopsias, hace pensar que la incidencia real es desconocida. No obstante, se afirma que cada año por cada 100 000 habitantes son diagnosticados entre 5 y 15 casos nuevos. Los tumores cerebrales resultan los tumores sólidos más frecuentes en niños. Aproximadamente a 1500 niños en Estados Unidos se les diagnostica tumor cerebral cada año. El meduloblastoma y los astrocitomas cerebelosos son los más comunes en la infancia.

Los tumores cerebrales, ya sean malignos o benignos, tienen su origen en las células del cerebro. Un tumor es un crecimiento anormal de tejido. Un tumor benigno no contiene células cancerosas y, generalmente, una vez extraído no vuelve a aparecer.

Los tumores del Sistema Nervioso Central (SNC) presentan peculiaridades que lo diferencian en cierto modo de tumores localizados en otras regiones del cuerpo humano. Ellos difícilmente se diseminan fuera del neuroeje, algunos prefieren exclusivamente determinadas localizaciones cerebrales y presentan un intervalo de edad establecido.

Los tumores cerebrales malignos contienen células cancerosas. Estos tumores generalmente crecen rápidamente e invaden los tejidos que los rodean. Estos no suelen diseminarse a otras partes del cuerpo, pero pueden reaparecer después del tratamiento. A veces, un tumor cerebral que no es canceroso se considera maligno debido a su tamaño, su ubicación y el daño que puede producir en las funciones vitales del cerebro.

El origen del cáncer del cerebro es multifactorial, pero la mayoría de los tumores cerebrales presentan anomalías en los genes que participan en el control del ciclo celular, propiciando que las células crezcan de manera no controlada. Estas anomalías se deben a alteraciones directas de los genes o a desarreglos de los cromosomas que hacen cambiar la función de un gen.

Los tumores intracraneales pueden originarse de las neuronas, de las células de la neuroglia, de los plexos coroideos, de las meninges, de las células de la hipófisis y de los componentes mesenquimales del cerebro.

Los gliomas constituyen el tumor canceroso más frecuente en el adulto. El término glioma hace referencia a los tumores derivados del tejido glial (célula del tejido cerebral encargada del soporte, sostén del resto de las células, es el "cemento del cerebro"). Debido al crecimiento desordenado de este tejido se forman los tumores cancerosos. Los tres tipos histopatológicos más frecuentes son: el Glioblastoma Multiforme (GM), el Astrocitoma Anaplásico (AA) y el Oligodendroglioma Anaplásico (OA). Los GM causan el 2% de la muerte por cáncer.

Muchas han sido las terapias para combatir esta penosa enfermedad, pero los resultados son variables y discutidos a nivel mundial. Las más utilizadas son: Cirugía, Radioterapia (RT), Quimioterapia (QT), Cirugía + RT + QT, terapia génica, terapia biológica (estimulantes inmunes no específicos, citoquinas, terapia celular adoptiva, anticuerpos monoclonales), anticuerpo monoclonal + Radioterapia, uso de cannabiones como agentes antitumorales. De ellas, la Braquiterapia Intersticial y la radiocirugía estereotáctica han ganado una aceptación progresiva con evidentes resultados superiores, por lo que nos propusimos hacer este trabajo para esclarecer las indicaciones, manejo del paciente, medidas de protección radiológica y, sobre todo, llevar una información al lector sobre la Braquiterapia Intersticial con Iridio- 192, como terapéutica en el cáncer del Sistema Nervioso Central.

Para realizar la técnica es necesario un soporte tecnológico, que incluye entre otros un marco estereotáctico con requerimientos específicos para esta práctica.

ALGO DE HISTORIA

El inicio de la Neurocirugía Estereotáctica se remonta a los primeros años del siglo XX (1906), cuando Robert Clarke impulsa las investigaciones sobre las estructuras cerebrales profundas y más tarde se materializa su idea original de aplicar la geometría al estudio del cerebro. Al no existir una relación constante entre el cráneo y sus estructuras internas, construye un mapa en el que cada punto está relacionado con tres planos perpendiculares entre sí e introduce un sistema cartesiano de coordenadas con el que cualquier punto puede describirse por sus tres coordenadas : x, y, z .

La computación propició un desarrollo sorprendente de los métodos estereotácticos, al dotar a las técnicas neuroquirúrgicas de complejos algoritmos computarizados para la determinación de un punto blanco o target, así como para el cálculo de las curvas de isodosis (curvas exponenciales de dosis de irradiación) durante la aplicación de fuentes radiactivas intersticiales o durante la radiocirugía estereotáctica.

La aparición de nuevas técnicas de imágenes: Tomografía Axial Computarizada (TAC), Resonancia Magnética Nuclear (RMN), Angiografía por Sustracción Digital (ASD) impulsa extraordinariamente la cirugía estereotáctica moderna, al permitir representar una lesión intracraneal en coordenadas tridimensionales precisas y reproducibles.

LOS ISÓTOPOS

Los isótopos radiactivos utilizados en la destrucción tisular de tumores cerebrales pueden situarse directamente en la zona tumoral y su esfera de acción biológica puede ser bien controlada. En la selección de los isótopos radiactivos para la destrucción del tejido deseado deben considerarse dos características fundamentales.

1. El tipo de radiación eficaz (Alfa, Gamma, Beta) y por lo tanto, el rango de variación del efecto radiante.
2. La vida media del isótopo radiactivo (tiempo requerido para que la mitad de los átomos originales en un elemento radiactivo se desintegre)

El Iridio-192 (isótopo radiactivo) es un radiante mixto que emite mayormente radiaciones Gamma con una energía de 0.2 MeV y una vida media de 74 días. Se utiliza para la Braquiterapia en forma de agujas metálicas de 0.3 a 0.5 mm de diámetro.

El problema de elevar la dosis de radiación sobre el tejido tumoral, sin interesar otras estructuras cerebrales ha llevado a introducir directamente el material radiactivo de corto alcance (Iridio-192) y que puedan circunscribir su acción a volúmenes pequeños. Actualmente con la precisión que aporta la TAC y la RMN para delimitar con exactitud la ubicación del tumor en el espacio, y la posibilidad de llevar al punto deseado del cerebro el material radiactivo mediante apoyo estéreo-táctico, han hecho recobrar nuevas esperanzas en un método que pudiera resolver el problema de la sobredosificación en el tumor cerebral.

Para ejercer la práctica, se necesita:

1. Equipo disimétrico para la vigilancia radiológica de zona.
2. Dosímetros personales.
3. Expedientes radiológicos para los trabajadores ocupacionalmente expuestos (Chequeo médico, complementarios).

4. Manual de Seguridad Radiológica.
5. Plan de Emergencia Radiológica.
6. Informe de Seguridad Radiológica.
7. Dispositivo para el corte del material radiactivo.
8. Local para almacenar el material radiactivo con protección y seguridad radiológica y física.
9. Cubículo o cuarto separado o aislado para el paciente implantado que cumpla criterios de protección contra radiaciones.
10. Permiso de transportación del material radiactivo.
11. Permiso de Adquisición del material radiactivo.
12. Sistema de planeamiento quirúrgico.

Todos estos trámites se llevan a cabo para lograr la Licencia y realizar la práctica de implante de Iridio-192 en tumores del SNC, otorgada por el Órgano Regulador Nuclear de cada país, en correspondencia con las disposiciones del Organismo Internacional de Energía Atómica.

Para la práctica de la Braquiterapia Intersticial, se realiza una biopsia estereotáctica mediante la planificación del punto a abordar en el cráneo del paciente. A través de un sistema de computadoras, tomografías, red de imágenes y con establecimiento de las coordenadas x , y y z se logra llegar al punto deseado en el cerebro (con margen de error de 0.1 mm), tomar un pequeño fragmento del tumor, que se analiza en Anatomía Patológica y, utilizando el método rápido de Scrasching, se logra precisar el tipo de tumor y su grado histológico, lo que confirmará la malignidad del tumor. Entonces, se decide transoperatoriamente la dosis terapéutica a aplicar de Iridio-192.

ESTEREOTAXIA

Significación

Estereotaxia (*Stereo*, del latín, tridimensional; y *Taxis*, posicionamiento): Es una técnica moderna de la neurocirugía que permite la localización y acceso preciso a estructuras intracraneales a través de apenas un pequeño orificio en el cráneo o dirigir la craneotomía en otro tipo de intervenciones quirúrgicas.

Aplicaciones

La Estereotaxia tiene entre sus aplicaciones, los siguientes procederes neuroquirúrgicos:

- Neurocirugía funcional estereotáctica.
- Cirugía de movimientos anormales.
- Cirugía de la epilepsia.
- Cirugía del dolor.
- Psicocirugía.
- Biopsia de lesiones intracraneales.
- Braquiterapia intersticial (Implante de material radiactivo).
- Punción y evacuación de quistes, hematomas intraparenquimatosos y abscesos cerebrales.
- Neuroendoscopia estereotáctica.
- Colocación de sistemas derivativos y sistemas de reservorio.
- Craneotomía esterotáctica.
- Resecciones estereotácticas volumétricas de lesiones intracraneales.
- Malformaciones Vasculares y Aneurismas.
- Abordaje guiado en la cirugía de base de cráneo y la columna cervical alta.

Ventajas

Estos procedimientos quirúrgicos no sólo mejoran la calidad de la atención al paciente, sino facilitan el trabajo del equipo médico, brindan mayor confiabilidad, reducen el tiempo quirúrgico, disminuyen los costos hospitalarios, reducen considerablemente las infecciones nosocomiales y permiten abordar lesiones del sistema nervioso que por métodos convencionales resultaría imposible.

Procedimiento

Para realizar cualquier tipo de cirugía por medio de esta técnica, procedemos de la siguiente forma:

Preparación psicológico-sanitaria

La Estereotaxia, como toda intervención quirúrgica, requiere preparar al paciente psicológicamente. Este método, específicamente por su novedad y características, hace de la preparación psicológica un aspecto tan fundamental como puede ser el tomógrafo o la propia computadora. Durante la primera etapa de la operación (la fijación del marco estereotáctico) al paciente se le exige máxima colaboración con el equipo médico, pues lleva implícita una carga emocional muy alta, dolorosa e impresionante, a pesar del uso de anestésico local, pues el paciente está completamente consciente y a menudo recuerda este proceder como el más difícil de la operación.

Hasta ahora, la preparación psicológica para un acto quirúrgico se dejaba a la consideración del médico asistencial. Pero atendiendo a que resulta un momento de comunicación especial entre el profesional y el enfermo que mayoritariamente transcurre de forma “espontánea”, con fundamentación de sus objetivos y propósitos.

Para la preparación psicológica, precisamos tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Particularidades individuales del sujeto:**

Cada persona resulta única e irrepetible de modo idéntico. Esta característica fundamental impone la necesidad de “personalizar” el contacto del médico-paciente. No existe un modo preestablecido para hacerlo.

Desde el inicio, el médico debe tratar de conocer distintos aspectos de la vida del paciente, entre ellos : nivel cultural, situación socioeconómica y familiar, incluidas las preocupaciones. Esto contribuye a conocer el medio en que se desenvuelve, carácter, funcionamiento patológico, aprehensividad, tristeza.

Con esta información, el médico puede adecuar su acción a la realidad del paciente, lograr una comunicación más certera y la satisfacción, al menos subjetiva, de la atención recibida en la institución.

- **Valor que otorga el paciente a su enfermedad.**

El médico debe evaluar no sólo el estado clínico de su paciente, sino debe tener en cuenta la importancia que le concede el enfermo a su estado.

¿Cómo el paciente siente la enfermedad?, ¿cómo la asimila?, ¿cómo se adapta a la nueva situación?, los mecanismos de afrontamiento, la receptividad a las orientaciones médicas. Ninguno de estos aspectos debe pasar inadvertido para el médico cuando quiere lograr la cooperación del paciente.

El objetivo es lograr un equilibrio entre la seriedad real de la situación y el impacto psicológico en el enfermo.

Es importante que el médico se esfuerce por reducir los temores irracionales o los argumentos ilógicos que expresa el paciente y que causan una visión inadecuada de la realidad.

Siempre será el médico quien decida qué información debe dar para lograr el mencionado equilibrio, cuidando de no dar lugar a la iatrogenia, hasta conducir al paciente a un punto que sea colaborador durante el proceso de restablecimiento de su salud.

- **Proceder médico a emplear**

Con el conocimiento previo del médico sobre el proceder o técnica a emplear en determinado paciente, este debe explicar con claridad qué pasará con el enfermo, qué se le va a hacer, cuándo, en qué lugar, dar tantos detalles como sea capaz de asimilar el paciente. En algunos casos puede buscarse la ayuda de un familiar, pero es preferible que el enfermo escuche del propio médico todo lo concerniente a su terapéutica.

Es importante traer aquí el tema del dolor. El médico debe ser sincero, no crear falsas expectativas; preparar para el dolor, convencer de la necesidad de la intervención a realizar, para el restablecimiento de la salud del paciente.

Aunque estos son los aspectos básicos a tener en cuenta a la hora de preparar psicológicamente para una operación, existen otros factores que pueden ser de vital trascendencia en el logro del objetivo:

El médico: Su personalidad y particularidades como profesional, habilidad para percibir de forma integral el proceso de enfermedad en el paciente, competencia comunicativa, el empleo con dominio de la sugestión, utilizada de forma terapéutica. No consolar al enfermo, sino enseñarle a convivir con la enfermedad y/o a superarla.

La cordialidad y sinceridad del médico poseen un valor incalculable.

El medio: Aquí se trata del ambiente institucional: La higiene, el confort, el trato del personal hacia el paciente, que la institución tenga los medios o recursos requeridos para el caso.

La preocupación por la privacidad del paciente, evitando que entre en contacto con tratamientos fallidos en otros enfermos o procedimientos invasivos.

Mitos sobre la institución: Debe tenerse en cuenta el criterio que tenga la población sobre la institución, las creencias populares sobre ella, la credibilidad en los resultados de los medios diagnósticos y en la capacidad y preparación de los profesionales.

Evaluación de los resultados de la preparación psicológica previa a la operación:

Para la preparación psicológica se utiliza un lugar con adecuada privacidad en la Sala de Neurocirugía del hospital, que propicie una comunicación franca y abierta.

Se explica, en la entrevista, detalles de cada paso de la operación, incluso con el apoyo de láminas del marco estereotáctico. Se busca transmitir confianza y seguridad en la técnica, la institución y el equipo médico; todo sin desestimar las particularidades del paciente como sujeto y el valor que él asigna a su enfermedad, para adecuar la influencia a las condiciones y necesidades de cada persona.

La evaluación de la respuesta del paciente se realiza a través de un Protocolo de Observación que se lleva durante el proceso de fijación del marco estereotáctico, donde el paciente expresa, en términos de disposición para cooperar, la efectividad de la preparación realizada.

El Protocolo de Observación diseñado para este fin consta de dos partes:

La primera parte evalúa respuestas de menor intensidad, relacionadas con tensión muscular y tolerancia al dolor.

La segunda parte evalúa respuestas somáticas y subjetivas de mayor intensidad.

A cabello íntegro

Para conocer el impacto de la cirugía a cabello íntegro, se realiza entrevistas semiestructuradas a los pacientes que serán sometidos a neurocirugía por métodos estereotácticos

BRAQUITERAPIA

Braquiterapia (*Braqui*, del griego, en proximidad; y *Terapia*, del griego, tratamiento): Es una técnica que utiliza diferentes sistemas, quirúrgicos o endoscópicos para la colocación de fuentes radiactivas en contacto o en el interior de un tumor, con la finalidad de depositar una dosis de radiación alta en este sin que se afecten los órganos próximos.

Historia

La historia de la Braquiterapia comienza en París en 1896, tras el descubrimiento de los rayos X por Roëntgen. Fue Henri Becquerel (Ver **Radiactividad**) quien descubrió las radiaciones invisibles emitidas por el uranio después de observar el ennegrecimiento de una placa fotográfica en contacto con cristales de uranio. Marie y Pierre Curie comenzaron a estudiar este nuevo material y en 1898 aislaron una nueva sustancia radiactiva contenida en la pechblenda a la que llamaron Radio (Radio-226). Su aplicación en la clínica fue casi inmediata, principalmente en procesos oncológicos.

La posibilidad de implantar fuentes radiactivas directamente dentro del tumor fue una estrategia ya sugerida en 1903 por Alexander Graham Bell. El primer caso ilustrado en la literatura médica de tratamiento con Braquiterapia data de 1914, en Dublín, con el tratamiento de un sarcoma de parótida inoperable mediante Braquiterapia Intersticial.

La primera aplicación de braquiterapia endoluminal se realizó en Nueva York, en 1921, utilizando fuentes radiactivas de radón que se introdujeron en el tracto respiratorio del paciente para el tratamiento de un carcinoma bronquial.

Las fuentes de radio han sido utilizadas en el tratamiento de los tumores desde el inicio de la Braquiterapia hasta la década de los sesenta.

Al principio, la Braquiterapia se utilizó de forma empírica, es decir, sin conocer el mecanismo de acción, la dosificación ni las reacciones adversas.

Del empirismo se pasó a un mayor conocimiento radiobiológico, que junto con el perfeccionamiento de los cálculos dosimétricos, permitieron evitar efectos indeseables. Simultáneamente, se incorporaron al "arsenal" terapéutico diversos isótopos radiactivos naturales y artificiales como el Cobalto-60, y más tarde el Cesio-137, el Iridio-192 y el Yodo-125. La introducción del Iridio-192 en forma de hilos para sustituir a las agujas de radio en la Braquiterapia Intersticial fue un hecho de gran importancia en este tipo de tratamientos.

Las décadas de los sesenta y setenta representan en Europa y particularmente en Francia, el máximo esplendor de la braquiterapia de baja tasa de dosis, imprescindible en el tratamiento conservador de cáncer de mama, cavidad oral, canal anal, piel, pene, vejiga, etc. La mayoría de los implantes braquiterápicos se lleva a cabo con Cesio-137, Iridio-192, Yodo-125 y Oro-198.

Con el desarrollo de la Braquiterapia, el tumor que más frecuentemente ha sido tratado es el de útero, utilizando métodos de tratamiento intracavitario (Braquiterapia endocavitaria), con fuentes de Cesio-137 de baja tasa de actividad, cuyo papel clínico está perfectamente definido.

Los isótopos radiactivos se utilizan habitualmente en la práctica clínica en forma de "semillas", hilos, alambres, agujas, cápsulas, etc.

En nuestra institución, utilizamos fuentes de ^{192}Ir (Ver **Iridio**) en forma de alambre para el tratamiento intersticial (Braquiterapia Intersticial) de algunos tumores cerebrales. Estas fuentes se colocan de modo permanente en el interior del tumor.

CLASIFICACIÓN DE LA BRAQUITERAPIA

Según la forma de colocación de la fuente

La Braquiterapia la podemos clasificar sobre la base de diferentes parámetros, en primer lugar, si atendemos a la forma de colocación del isótopo, tenemos:

- ***Braquiterapia endocavitaria:*** Cuando se introduce la fuente radiactiva en una cavidad (Ejemplo: vagina, cuello de útero).
- ***Braquiterapia intersticial:*** Cuando se dispone en el interior del tumor o de un órgano (Ejemplo: cerebro, mama, próstata).
- ***Braquiterapia endoluminal:*** Si mediante un sistema endoscópico situamos la fuente dentro de la luz de un órgano (Ejemplo: bronquio, esófago).
- ***Braquiterapia de contacto superficial:*** La fuente está en contacto, generalmente con la piel, adoptando su forma y sujeta con moldes de cera. (Ejemplo: nariz, resto de la cara).

Según la actividad de la fuente radiactiva

Pero también podemos clasificar la Braquiterapia, según la actividad de la fuente radiactiva, en:

- ***Baja tasa de dosis (LDR)***
- ***Tasa de dosis media (MDR)***
- ***Alta tasa de dosis (HDR)***

VENTAJAS

Su mayor ventaja es la de concentrar la máxima dosis de radiación en el tejido tumoral con escasa irradiación del tejido sano situado en la periferia, a

partir del hecho de que la dosis recibida en la proximidad de una fuente decrece muy rápidamente al alejarse de ella.

Presenta también las siguientes ventajas específicas:

- Terapia radiante permanente sobre el tumor.
- Se adecuan de manera más efectiva las curvas de isodosis a la forma y tamaño del tumor.
- El tratamiento no produce efectos colaterales, como por ejemplo: náuseas, caída del cabello, diarrea, quemaduras externas en la piel.
- No ocasiona daños sobre estructuras neurales, como la visión y la audición.

RADIATIVIDAD

Aunque el tema de la radiactividad se ha escuchado y leído, sobre la base de algunos acontecimientos ocurridos, desgraciadamente estos son relacionados con accidentes, como el de Chernobil. También se habla mucho de la problemática de los desechos radiactivos y, desde luego, la historia resalta las bombas atómicas utilizadas en la Segunda Guerra Mundial

Pero realmente es poco lo que se sabe del tema. Hace falta conocer los beneficios que causa, los alcances científicos y las precauciones que se debe tener con el manejo de la radiactividad. Es interesante informarse sobre el por qué ocurre, más sabiendo que todos los seres vivos están involucrados, se quiera o no, con ella, no importando el lugar en donde se encuentren, ya sea en la casa, en la oficina, en el campo, en la calle, o en la escuela. Al contrario de la creencia popular, la radiación no sólo la produce la industria nuclear o las armas nucleares: más del 85% de la dosis de radiación que recibimos proviene de fuentes naturales, del aire que respiramos, de los alimentos que ingerimos; incluso nuestro cuerpo es radiactivo; la propia Tierra es radiactiva por naturaleza y expone a sus habitantes a la radiación proveniente de las rocas superficiales y los suelos.

Entre dos latidos del corazón, como consecuencia de todos los radionúclidos que tenemos, entre 8.000 y 10.000 núcleos se desintegran en nuestro cuerpo. Dicho de otra forma, somos una pequeña fuente radiactiva. Cada hora, unos 30.000 núcleos se desintegran en nuestros pulmones a causa, simplemente, del aire que respiramos. Debido a los alimentos que consumimos, unos 15 millones de núcleos de Potasio-40 y unos 7.000 de Uranio natural se desintegran en el cuerpo. Más de 200 millones de rayos Gamma provenientes del suelo y de los materiales de construcción atraviesan cada hora al hombre. Varios cientos de miles de rayos cósmicos secundarios "visitan" al cuerpo. Cuando se viaja en avión, se expone a recibir una radiación mayor, ya que hay menos protección contra los rayos cósmicos. Un pasajero que viaje en avión a una altitud normal recibe en una hora, una dosis de radiación cuatro veces mayor que la que recibe de toda la industria nuclear en un año.

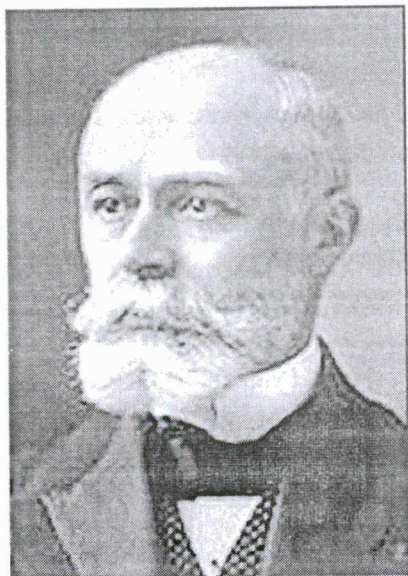
A esta radiación de carácter natural hay que sumar la radiación artificial, procedente de las aplicaciones médicas, industriales, la lluvia radiactiva o la energía nuclear. La fuente más conocida y más amplia es la aplicación médica, innumerables son los beneficios que reporta el uso de la radiación en el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades. Con ella se ha podido realizar exploraciones del cerebro y los huesos, tratar el cáncer y usar elementos radiactivos para dar seguimiento a hormonas y otros compuestos químicos de los organismos. Probablemente sea menos conocida la función que desempeña la radiación en la industria, la agricultura y la investigación: la inspección de soldaduras, la detección de grietas en metales fundidos, la datación de antigüedades y la preservación de alimentos son algunas de sus numerosas aplicaciones. Las investigaciones y los experimentos siguieron en el transcurso de la humanidad y se sigue trabajando para conocer mejor el átomo, ahora en lo más íntimo de su existencia, porque se cree que en su núcleo está la fuente de energía que se necesita para hacerle frente a la demanda, tanto del presente, como del futuro.

La radiactividad no se puede percibir por el olfato, el gusto, el tacto, el oído ni la vista. Sólo en los últimos años se ha aprendido a detectarla, medirla y controlarla. Surge como consecuencia de la existencia de numerosos núcleos

que son inestables, los cuales, para evitar esa situación y pasar a un estado de estabilidad, se transforman en otro tipo de núcleos con la emisión de determinadas partículas o radiación electromagnética.

La radiactividad puede ser peligrosa en determinadas circunstancias y sus riesgos no deben tomarse a la ligera. Puede dañar las células del organismo y la exposición a altos niveles puede ser nociva e incluso fatal, si se trata de manera inadecuada.

DESCUBRIMIENTO

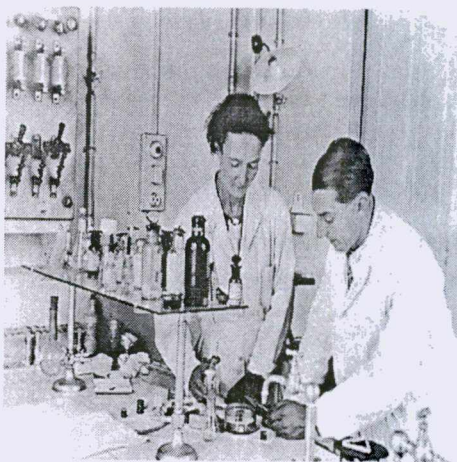


Henri Becquerel, descubridor
de la Radiactividad

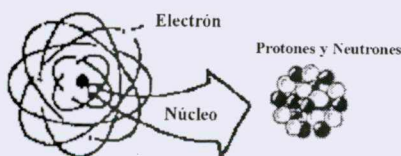
En 1896 el científico francés Henri Becquerel descubrió que ciertas sales de uranio emitían radiaciones espontáneamente, al observar que velaban las placas fotográficas envueltas en papel negro. Hizo ensayos con el mineral en caliente, en frío, pulverizado, disuelto en ácidos y la intensidad de la misteriosa radiación era siempre la misma. Por tanto, esta nueva propiedad de la materia, que recibió el nombre de *radiactividad*, no dependía de la forma física o química en la que se encontraban los átomos del cuerpo radiactivo, sino que era una propiedad que radicaba en el interior mismo del átomo. El estudio del nuevo fenómeno y su desarrollo posterior se debe casi exclusivamente a los esposos Curie,

quienes encontraron otras sustancias radiactivas como el torio, el polonio y el radio. El fenómeno de la radiactividad se origina exclusivamente en el núcleo de los átomos radiactivos.

**Esposos Marie y Pierre Curie,
descubridores de elementos
radiactivos**



Átomo



El átomo, formado por un núcleo con protones y neutrones, y de electrones que orbitan alrededor del núcleo, es la "imagen gráfica" que tenemos de la constitución de la materia

El núcleo es inestable, y busca la estabilidad mediante la expulsión de algunas partículas. Los procesos que se desarrollan en el interior de un núcleo en busca de su estabilidad determinan la expulsión de partículas alfa (núcleos de Helio, consistente cada uno en dos protones y dos neutrones); de partículas beta (Electrones resultantes de la transformación de un neutrón en un protón) y de rayos gamma, que son radiaciones invisibles y muy penetrantes. Estos elementos que se desintegran, se transforman en otros elementos nuevos, que pueden ser o no, a su vez, radiactivos.

La radiactividad consiste en la emisión de partículas y radiaciones de parte de los átomos de algunos elementos. En el centro de todo átomo hay un núcleo formado por protones y neutrones apretados los unos contra los otros. Cuando su número es muy elevado el

¿De dónde surge la radiactividad?

La mayor parte de la radiactividad que normalmente hay en el medio ambiente procede de los elementos naturales de la Tierra. Fundamentalmente viene del gas radón que se produce como consecuencia de la desintegración del uranio que contienen las rocas.

Otra parte importante de la radiactividad procede de los rayos cósmicos. La atmósfera filtra estos rayos y nos protege de sus efectos peligrosos.

Los cuerpos humanos también son una fuente de radiación porque almacenan pequeñas cantidades de potasio radiactivo, un producto que es necesario por otras muchas razones.

Pero la radiactividad puede producirse también en forma artificial, la mayor parte de las veces para usos médicos. Los rayos X se utilizan en Medicina para diagnosticar muchos problemas físicos y enfermedades. También se usan las radiaciones para curar el cáncer u otras enfermedades graves. Muchas industrias se benefician de las aplicaciones positivas de las radiaciones. Este es el caso de las Centrales Nucleares que producen electricidad. Un 1% de los niveles de radiactividad habitual lo producen las Centrales Nucleares operando en condiciones de normalidad.

La radiactividad está en todas partes: Una parte importante existe naturalmente; otra, mucho menor, se produce por procedimientos artificiales.

RADIACIÓN NATURAL

Siempre ha existido, ya que procede de las materias existentes en todo el universo, y puede ser radiación visible (como por ejemplo, la luz), o invisible (por ejemplo, los rayos ultravioletas) Esta radiación procede de las radiaciones cósmicas del espacio exterior (Sol y estrellas), pues ellos son gigantescos reactores nucleares, aunque lejanos; también proceden estas radiaciones de los elementos naturales radiactivos (uranio, torio, radio) que

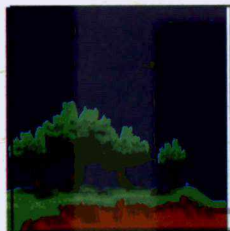
invisible (por ejemplo, los rayos ultravioletas) Esta radiación procede de las radiaciones cósmicas del espacio exterior (Sol y estrellas), pues ellos son gigantescos reactores nucleares, aunque lejanos; también proceden estas radiaciones de los elementos naturales radiactivos (uranio, torio, radio) que existen de forma natural en el aire, agua, alimentos, o el propio cuerpo humano (potasio, carbono-14). Más del 85% de la radiación total recibida por el ser humano es radiación natural, la que se clasifica de la siguiente manera:

- Radiación cósmica: 15%
- Radiación de alimentos, bebidas, etc.: 17%
- Radiación de elementos naturales: 56%

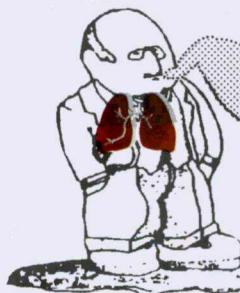
Contribuyentes al fondo radiactivo natural – 3 mSv/año por persona



Cósmica – 0.3 mSv



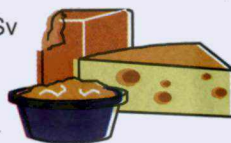
Terrestre – 0.3 mSv



Aire

Radón – 2 mSv

Alimentos – 0.4 mSv



La radiactividad natural también se introduce en el cuerpo y estas radiaciones internas llegan a la mayoría de los tejidos corporales. Las fuentes

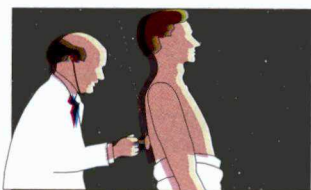
naturales de radiación son típicas de la manera actual de vivir. El arar la tierra libera gas radón a la atmósfera, los materiales radiactivos naturales se introducen en la cadena alimentaria, el aire que se respira, el agua que bebemos y los materiales de construcción: el concreto, la piedra y el ladrillo emiten radiación natural.

Radiación artificial

Proviene de fuentes creadas por el hombre. Los televisores o los aparatos utilizados para hacer radiografías médicas son las fuentes más comunes de las que recibimos radiación artificial. La generada en las centrales nucleares, pertenece a este grupo. La radiación artificial total recibida por el ser humano es del orden del 12% de todas las radiaciones recibidas. Se clasifica de la siguiente manera:

- Televisores y aparatos domésticos: 0.2%
- Centrales nucleares: 0.1%
- Radiografías médicas: 11.7%

Las fuentes artificiales contribuyen en un promedio de 0.6 mSv/año



Médicas – 0.5 mSv



0.05 mSv por viaje

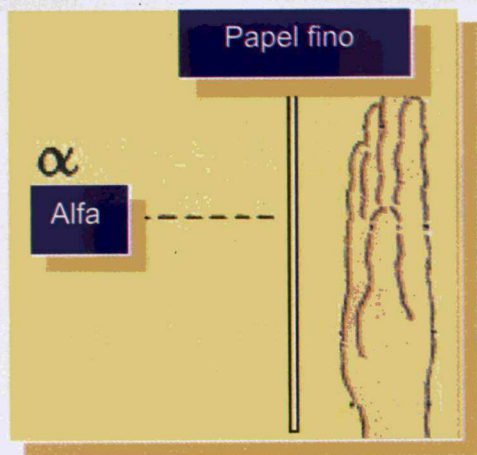
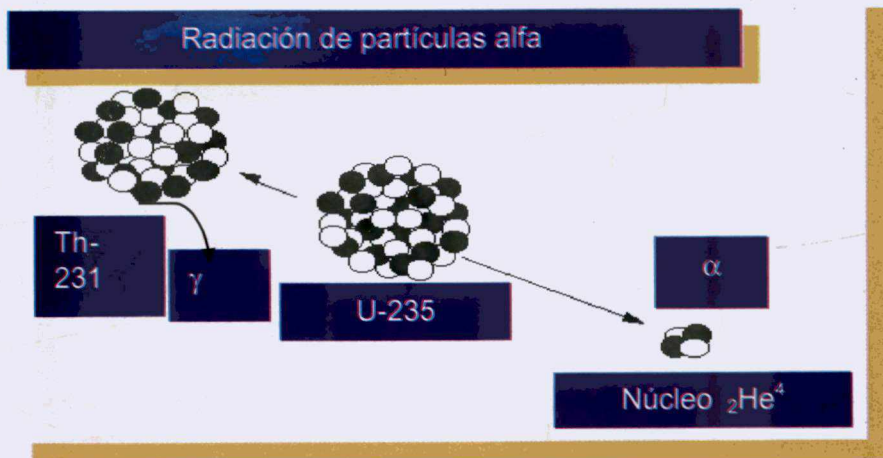
Centrales nucleares y lluvia
radiactiva < 0.05 mSv



TIPOS DE RADIACIÓN

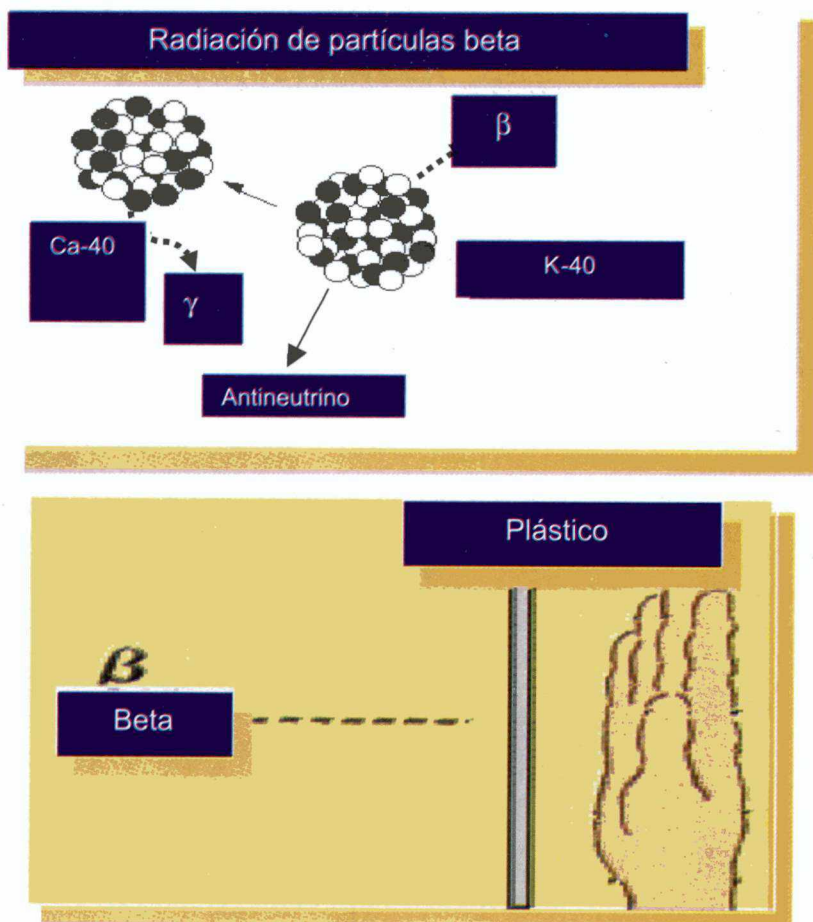
Radiación Alfa

Son flujos de partículas cargadas positivamente, compuestas por dos neutrones y dos protones. Son desviadas por campos eléctricos y magnéticos. Son poco penetrantes, aunque muy ionizantes.



Radiación Beta

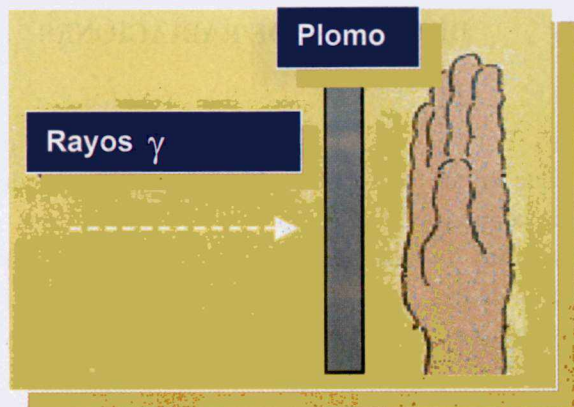
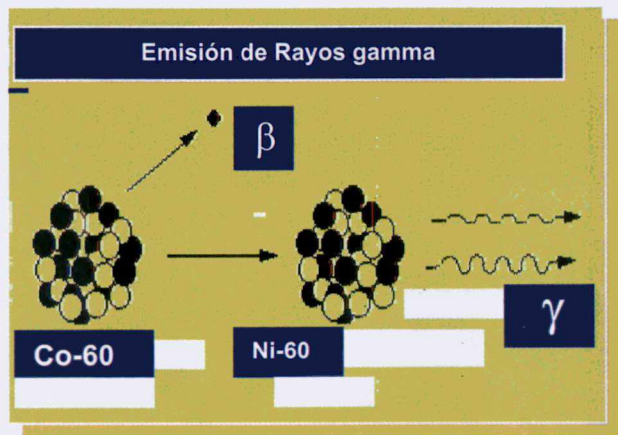
Son flujos de electrones resultantes de la desintegración de los neutrones del núcleo. Son desviados por campos eléctricos y magnéticos. Son más penetrantes, aunque su poder de ionización no es tan elevado como el de las partículas alfa.



RADIACIÓN GAMMA

Son ondas electromagnéticas. Es el tipo más penetrante de radiación. Al no tener carga, los campos eléctricos y magnéticos no la afectan. Es muy peligrosa.

Cuando un átomo emite una radiación alfa o beta se transforma en otro átomo de un elemento diferente. Este nuevo elemento puede ser radiactivo, transformándose en otro, y así sucesivamente, dando lugar a las llamadas series radiactivas.



¿Cómo se puede medir la radiactividad?

La radiactividad es invisible y silenciosa, pero se puede medir por distintos procedimientos. Pero para conocer los efectos de las radiaciones nos interesa saber de qué tipo son, qué intensidad tienen y cuánto tiempo duran. Es decir, además de saber cuál es el nivel o la cantidad de radiación, necesitamos conocer cómo son las radiaciones que se producen, qué efecto tienen y cuánto tiempo duran esos efectos. En particular, nos interesa saber de qué manera las radiaciones pueden afectar al ser humano. Para ello utilizamos unas unidades que llamamos Sievert y distintos equipos de medición, según los diferentes tipos de radiación.

La ley establece que en los lugares de trabajo que utilicen equipos o materiales radiactivos hay que controlar las dosis de radiación que pueden recibir los trabajadores y la población en general. Para ello se utilizan dosímetros personales y otros controles ambientales. De modo que en cada momento puede conocerse cuántas radiaciones ha recibido una persona y de qué tipo son y controlar si esa cantidad está dentro de los límites tolerables para que su salud no se vea afectada.

Así se hace en las centrales nucleares y en las industrias y hospitales que utilizan elementos radiactivos.

DETECCIÓN DE RADIACIONES

Los sentidos humanos no son capaces de detectar directamente las radiaciones que emiten los núcleos radiactivos y, por tanto, desde sus orígenes fue necesaria la utilización de equipos capaces de medirlas. Con la ayuda de estos instrumentos, la radiación ionizante se ha convertido en uno de los peligros ambientales más fácilmente detectables. La detección es posible porque la ionización provoca cambios eléctricos y químicos en la mayoría de los materiales, tanto gases, líquidos como sólidos. Las partículas neutras, como los neutrones, no son detectables directamente por estos

equipos y hay que recurrir a reacciones nucleares intermedias para poner de manifiesto su presencia.

Existen diversos métodos para la detección de las radiaciones, entre los que se encuentran:

Detección fotográfica

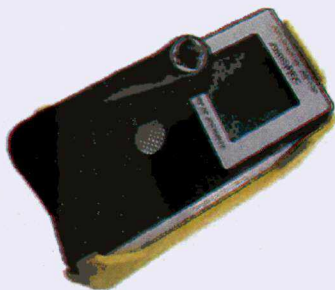
Las emanaciones procedentes de sustancias radiactivas afectan a las placas fotográficas al igual que la luz común. El descubrimiento de Becquerel de la radiactividad se debió a la exposición inesperada de una placa de este tipo envuelta en papel negro que se colocó cerca de una muestra cerrada de un compuesto que contenía uranio. Una vez revelada y fijada la placa, pudo relacionarse la intensidad de la mancha con la cantidad de radiación que chocó contra ella.



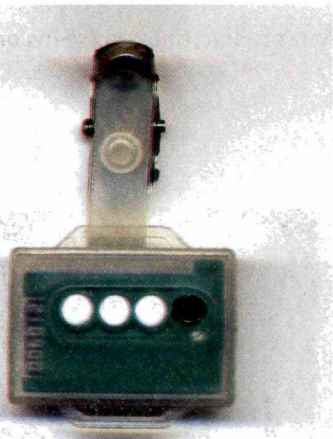
Modelo de dosímetro filmico

Detección por fluorescencia

Las sustancias fluorescentes pueden absorber radiación de alta energía como los rayos gamma y emitir posteriormente luz visible. Al absorber la radiación los átomos que la reciben, saltan a estados electrónicos excitados. Los electrones excitados regresan a los estados basales mediante una serie de transiciones en algunas de las cuales se emite la luz visible. Este método puede emplearse para la detección cuantitativa de la radiación, empleando un instrumento llamado contador de centelleos.



Detector de centelleo NaI (TI)



Dosímetro personal TLD (Termoluminiscente) empleado en Braquiterapia por los trabajadores

CÁMARAS DE NIEBLA

La cámara de niebla contiene aire saturado con vapor. Las partículas emitidas por las sustancias radiactivas ionizan las moléculas de aire de la cámara, y cuando esta se enfría se condensan gotitas de líquido sobre los iones. Es posible seguir la trayectoria de las partículas observando los rastros que quedan en la niebla. Estos pueden fotografiarse para estudiarse con detalles.

CONTADOR GEIGER

Es el contador de ionización de gas más común. Cuando una partícula radiactiva penetra al contador, produce un breve impulso de corriente eléctrica. La radiactividad de una muestra se calcula por el número de estos impulsos.



Modelo de contador Geiger

APLICACIONES

Muy variado es el campo de aplicación de las radiaciones, para sólo mencionar algunos ejemplos, podemos mencionar:

Radioterapia en Medicina

Durante muchos años se empleó el Radio-226 (^{226}Ra) en tratamientos del cáncer. Hoy se usan otros elementos, como el Cobalto-60 (^{60}Co), el Cesio-137 (^{137}Cs) y el Iridio-192 (^{192}Ir) en la radioterapia. La eficacia de esta terapia depende del hecho, que las células malignas, que crecen o se dividen rápidamente, son más susceptibles a los daños por radiación que las células normales.



Acelerador lineal de uso en Radioterapia

Se puede emplear el Yodo-131 (^{131}I) para el tratamiento del hipertiroidismo. La glándula tiroides concentra selectivamente al ^{131}I . La sección de la glándula que es hiperactiva quedará expuesta a una gran dosis del isótopo y

será la que se destruya específicamente. El mal funcionamiento de la glándula tiroides desarrolla el bocio en las personas y causa muchos trastornos en el metabolismo.

DIAGNÓSTICO

Se emplean los trazadores radiactivos normalmente en el diagnóstico médico. Al respecto de cómo se debe detectar la radiactividad fuera del cuerpo, generalmente se escogen isótopos radiactivos (radionúclidos) emisores de rayos gamma. También, el radionúclido debe ser efectivo a bajas concentraciones y debe tener una semivida corta para reducir la posibilidad de daños al paciente.

Se emplea el ^{131}I para determinar la función tiroidea, que es donde el organismo concentra al yodo. En este proceso, se ingiere una pequeña cantidad de yoduro radiactivo de sodio o de potasio. Se enfoca un detector a la glándula tiroides y se mide la cantidad de yodo en la glándula. Este cuadro se puede comparar con el de una tiroides normal para detectar cualquier diferencia.

Los médicos pueden examinar la eficiencia cardiaca en el bombeo y verificar la evidencia de una obstrucción en las arterias coronarias mediante el barrido nuclear. El radionúclido Talio-201 (^{201}Tl), al inyectarse en el flujo sanguíneo, se aloja en el tejido sano del corazón. El ^{201}Tl emite radiación gamma, que se detecta mediante un dispositivo especial llamado cámara de centelleo. Los datos obtenidos se traducen simultáneamente en cifras mediante una computadora. Con esta técnica se puede observar si el tejido cardiaco ha muerto, después de un ataque al corazón y si la sangre fluye libremente a través de los conductores coronarios.

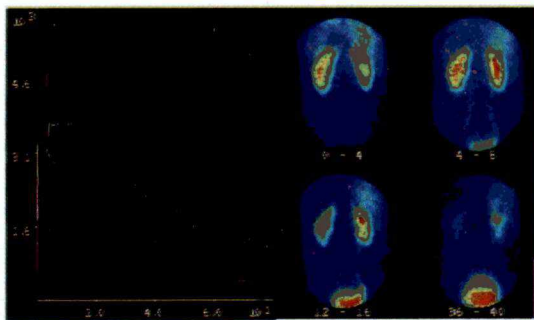
Una de las últimas aplicaciones de la química nuclear es el uso de la tomografía de emisión de positrones (PET) en la medida de procesos dinámicos en el organismo, como el uso de oxígeno o el flujo sanguíneo. Para esta aplicación, se fabrica un compuesto que contiene un radionúclido emisor de positrones, como el Carbono-11 (^{11}C), el Oxígeno-15 (^{15}O) o el

Nitrógeno-13 (^{13}N). Se inyecta el compuesto en el organismo y se coloca al paciente en un instrumento que detecta las emisiones de positrones. Una computadora produce una imagen tridimensional de la zona.

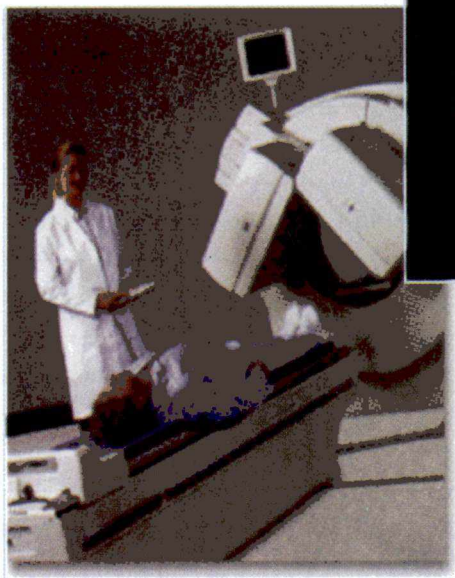
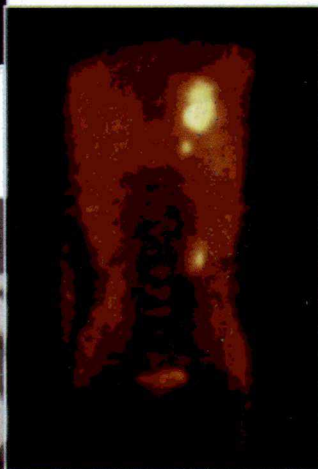
Los barridos de emisión de positrones se han empleado para localizar las zonas del cerebro relacionadas con los ataques epilépticos. El cerebro emplea la glucosa a velocidad distinta del tejido normal.

ALGUNOS RADIONÚCLIDOS O ISÓTOPOS RADIATIVOS, SUS VIDAS MEDIAS Y SUS APLICACIONES MÉDICAS COMO MARCADORES EN EL CUERPO HUMANO

RADIONÚCLIDO	VIDA MEDIA	ÁREA DEL CUERPO QUE SE ESTUDIA
^{131}I	8.1 días	Tiroides
^{59}Fe	45.1 días	Glóbulos rojos
^{32}P	14.3 días	Ojos, hígado, tumores
^{51}Cr	27.8 días	Glóbulos rojos
^{87}Sr	2.8 horas	Huesos
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.0 horas	Corazón, huesos, hígado, pulmones



Medicina Nuclear



AGRICULTURA

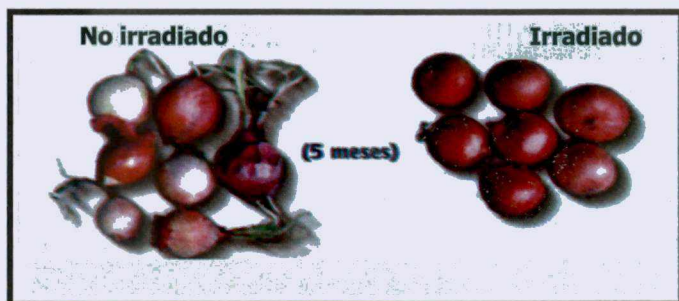
La utilización de la radiación gamma del ^{60}Co y otras fuentes en la investigación agrícola ha posibilitado desarrollar granos resistentes a las enfermedades o altamente productivos. Las semillas se exponen a la radiación gamma para inducir mutaciones. Las plantas más saludables y

vigorosas que crecen de semillas irradiadas, se seleccionan y se propagan para obtener variedades nuevas y mejoradas para uso comercial.

La preservación de alimentos mediante radiación es otra aplicación benéfica. El alimento se expone a radiación gamma o a un haz de partículas beta suministradas respectivamente por ^{60}Co o ^{137}Cs . Se destruyen los microorganismos que pudieran causar deterioro del alimento, pero sólo se eleva ligeramente la temperatura de éste, el alimento no se vuelve radiactivo como resultado de este proceso, pero aumenta notablemente su duración en almacén.

Se ha usado radiactividad para controlar y, en algunas zonas, eliminar insectos dañinos para los cultivos.

Las técnicas nucleares son, además, ideales para medir la eficacia del aprovechamiento de los fertilizantes por los cultivos y para vigilar el contenido de humedad.



Preservación de alimentos mediante radiación

Energía Nuclear

Casi toda la electricidad para uso comercial es producida por máquinas que consisten en una turbina que mueve un generador eléctrico mediante un eje. La energía necesaria para hacer girar a la turbina puede suministrarla una caída de agua, como en las plantas hidráulicas, o el vapor de agua generado en una caldera mediante el calor de un combustible, como en las plantas

térmicas. Estas centrales generadoras queman combustibles fósiles, como son el carbón, el petróleo o el gas natural.

La demanda mundial de energía, principalmente a partir de combustibles fósiles, ha continuado creciendo a una velocidad acelerada. Aún a las tasas actuales de consumo, la reserva mundial estimada de combustibles fósiles, es suficiente sólo para unos pocos siglos. Es obvio que se necesita desarrollar otras fuentes de energía. Hoy el uranio constituye la alternativa más productiva.

A finalizar 1989, existían 426 centrales nucleares conectadas a la red eléctrica en 25 países. Actualmente la cantidad de energía eléctrica representa más del 20% de la demanda.



Central
Electronuclear

DESECHOS RADIATIVOS

Luego de muchos años de investigación, desarrollo y aplicaciones industriales, hoy se puede afirmar que existen soluciones tecnológicas bastante seguras para manejar adecuadamente los desechos radiactivos. Estos no sólo provienen de los reactores que generan electricidad, sino también de los hospitales, la industria, la agricultura y la investigación.

Aproximadamente una vez al año, se extrae una parte del combustible nuclear colocado dentro del reactor nuclear y se sustituye por uno nuevo. El combustible “gastado”, el cual es muy radiactivo, debe aislarse por miles de

años con mucho cuidado, de lo contrario causaría daños irreparables a las personas y al ambiente. Es extraído del reactor por manos mecánicas y colocado en piscinas con agua para enfriarlo y aislarlo por poco tiempo, mientras es llevado al depósito permanente. También se almacena en contenedores de hormigón o acero mientras se les da el lugar definitivo.

Este uranio “gastado” también se reutiliza en la actualidad; algunos países disponen de plantas de reelaboración a nivel industrial para la obtención de uranio y plutonio.

También se cuenta con otros tipos de desechos radiactivos sólidos, líquidos y gaseosos. Entre los sólidos se cuenta papel, vidrio, metales y otros materiales. Cada uno tiene su manera de ser tratado para evitar problemas.

Los sólidos altamente radiactivos se sellan en recipientes de metal o cerámica resistentes a la corrosión, para evitar que la humedad los afecte. Actualmente algunos países que se dedican a la reelaboración del combustible gastado, lo vitrifican. Hay acuerdos de que la manera idónea para aislar esos desechos es colocarlos en cavidades profundas de la tierra, con barreras tecnológicas y naturales, como por ejemplo minas de sal, granito, arcilla, basalto (roca volcánica) y otras más.

Hay desechos radiactivos, que aunque requieren un cuidado especial para su manejo, estos no demandan una gestión tan compleja como los que son generados en las centrales electronucleares.



Vista exterior de un repositorio permanente de desechos radiactivos



¿Cuánto dura la radiactividad?

Cada elemento radiactivo tiene su propia vida. Algunas partículas sólo son activas durante períodos de tiempo muy cortos mientras que otras, como el Uranio-235 (^{235}U), se mantienen activas durante miles de millones de años. En el transcurso de este tiempo y en sucesivas desintegraciones, los elementos inestables se transforman en otros, para terminar convirtiéndose en elementos estables. De este modo, el ^{235}U se transforma en radón antes de convertirse en plomo. Cada paso se produce a un ritmo determinado. A este ritmo se le llama semivida. Cuando ha transcurrido una semivida, la cantidad de sustancia radiactiva se reduce a la mitad, y así sucesivamente. Como ejemplo, si hoy se tuviera 1.0 g de ^{226}Ra , al cabo de 1 620 años se tendría 0.5 g; al final de otro período de 1 620 años, quedarían 0.25 g, y así sucesivamente.

Ejemplos:

RADIOISÓTOPO	VIDA MEDIA	DESINTEGRACIÓN
^{238}U	4 500 millones de años	Alfa
^{14}C	5 570 años	Beta
^{226}Ra	1 620 años	Alfa, Beta y Gamma
^{60}Co	5.3 años	Gamma
^{222}Rn	4 días	Beta

Como puede apreciarse, algunos elementos son radiactivos durante períodos de tiempo muy prolongados. Este hecho obliga a controlarlos hasta que se conviertan en elementos estables "no radiactivos".

¿Cómo afecta la radiactividad a las personas?

La radiactividad existe desde el principio de los tiempos. Y ha habido épocas en las que el nivel de radiactividad natural era muy superior al actual. Pero sólo en tiempo reciente hemos podido conocer los efectos de las radiaciones. Para estudiar este tema, se crea, en los años veinte, la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Dos décadas más tarde, durante la Segunda Guerra Mundial, las explosiones de Hiroshima y Nagasaki, en Japón, muestran al mundo el efecto devastador de las grandes dosis de radiación. Esta es una lección que la humanidad no debe olvidar: las radiaciones pueden matar.

Cuando una célula se irradia, es decir, recibe radiaciones, sufre distintas alteraciones, que pueden ser más o menos graves, según la dosis recibida. Si las células afectadas son las que interfieren en la reproducción, los efectos pueden transmitirse de padres a hijos.

Sin embargo, el cuerpo humano dispone de mecanismos de reparación que le permiten reaccionar y recuperarse de los efectos nocivos, de una dieta inadecuada, de la contaminación, de los rayos ultravioletas o condiciones de trabajo peligrosas. De la misma forma que superamos los virus y las enfermedades, el hombre es capaz de vivir en un ambiente naturalmente radiactivo.

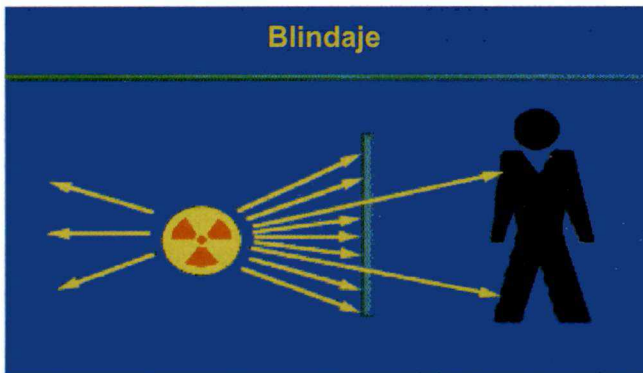
Como hemos dicho, las radiaciones pueden matar, pero también pueden curar. El cáncer, por ejemplo, es una de las enfermedades que las radiaciones pueden curar: el tejido enfermo se destruye y otras células sanas ocupan su lugar.

Los efectos de las radiaciones dependen de las dosis recibidas. Pueden ser beneficiosas o perjudiciales, según el uso que hagamos de ellas.

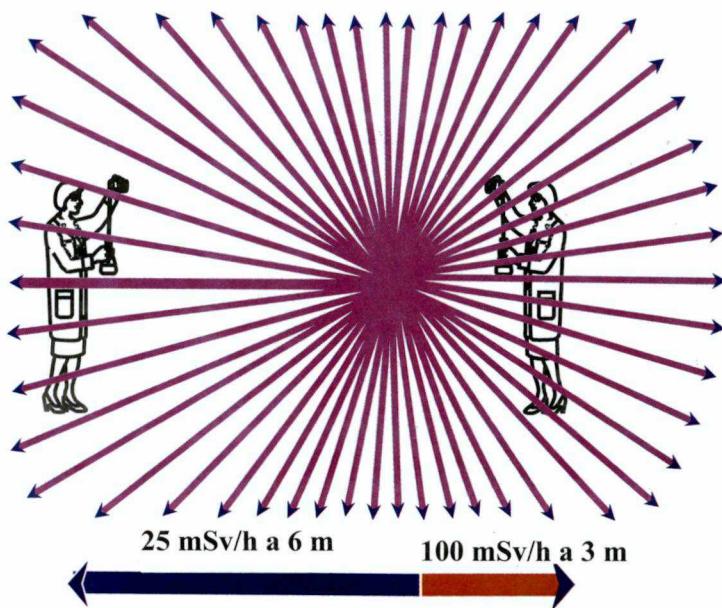
Cómo protegernos de la radiactividad

Hay tres formas fundamentales de protegernos de las radiaciones:

1. Interponiendo obstáculos (Blindajes) entre ellas y nosotros



2. Alejándonos de la fuente que las produce



3. Reduciendo el tiempo de exposición

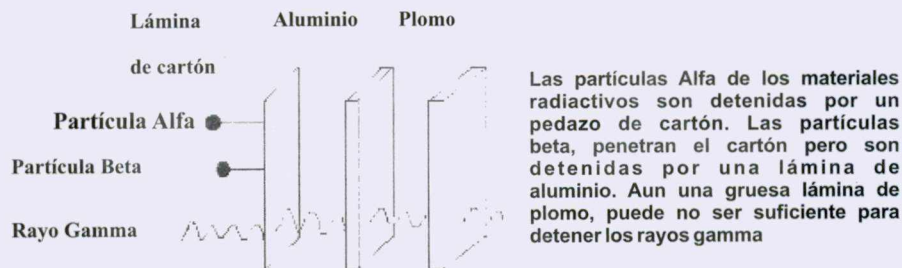


Algo semejante a lo que hacemos cuando queremos protegernos de los rayos del sol. El uso de equipos adecuados permite reducir la cantidad de radiación absorbida en usos médicos.

En el caso de las centrales nucleares, los muros de cemento y niveles adecuados de agua limitan el riesgo de los trabajadores.

Una adecuada contribución de barreras de protección y una distancia suficiente permiten manipular con seguridad objetos muy radiactivos.

Para reducir al máximo la exposición a las radiaciones, los operadores efectúan distintos entrenamientos antes de pasar a realizar sus tareas en zonas radiactivas.



IRIDIO

Número
atómico

77

Ir

Iridio

192.2

2-8-18-32-15-2

Estructura
electrónica

Símbolo

Nombre

Masa atómica

Iridio, de símbolo Ir, representa el $1 \cdot 10^{-7}\%$ en peso de la corteza terrestre, se encuentra en sedimentos aluviales aleado con platino, como platiniridio, y con osmio, como osmiridio.

Es un metal blanco ligeramente amarillento, muy duro y quebradizo, por lo que es difícil de trabajar.

El iridio fue descubierto por el químico británico Smithson Tennant en 1804 y debe su nombre a la naturaleza iridiscente de algunos de sus componentes. Se obtiene como subproducto de la minería del níquel. Es el más caro de todos los elementos del grupo y parece ser el más denso.

Es el metal más resistente a la corrosión, por lo que se usó para la construcción del prototipo internacional de kilogramo y el antiguo de metro.

Se usa principalmente como material de aleación para platino; la aleación, que contiene aproximadamente un 10% de iridio, es mucho más dura que el platino puro. Las aleaciones platino-iridio con porcentajes de iridio mayores, se usan para hacer instrumentos de precisión, herramientas quirúrgicas, puntas de estilográficas, patrones de pesos y longitudes, contactos eléctricos y fabricación de crisoles y otros aparatos que trabajan a altas temperaturas.

PROPIEDADES FÍSICAS

Es un elemento metálico blanco, frágil y extremadamente duro y raro, ocupando el lugar 77 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre.

Estado físico: Sólido

Color: Blanco

Estructura cristalina: Cúbica

Número Atómico: 77

Masa Atómica: 192.2

Número de protones / electrones: 77

Número de neutrones (Isótopo ^{192}Ir): 115

Primer potencial de ionización (eV): 9.25

Radio atómico (Å): 1.36

Punto de Fusión (°C): 2 446

Punto de Ebullición (°C): 4 428

Densidad (kg/m³): 22650; (20 °C)

Isótopos: Dos isótopos naturales: ^{191}Ir (37,3%) y ^{193}Ir (62,7%). Treinta y tres inestables, el de mayor período de semidesintegración es el ^{192}Ir (74 días)

PROPIEDADES QUÍMICAS

Desde el punto de vista químico, el iridio es extremadamente inerte, resistiendo incluso la acción del agua regia. En sus compuestos químicos forma sales trivalentes y tetravalentes.

Tiene mucha menor resistencia a la oxidación que el platino o el rodio, pero mayor que el rutenio o el osmio. Aproximadamente a 600°C se forma una

fina película de óxido adherente, IrO_2 . No lo ataca ningún ácido, incluyendo el agua regia.

Los compuestos principales son el tricloruro de iridio, IrCl_3 , un compuesto de color verde e insoluble en agua; el cloruro de iridio (IV) y sodio, $\text{Na}_2\text{IrCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, sólido cristalino de color negro soluble en agua; el cloruro de iridio (III) y sodio, $\text{Na}_3\text{IrCl}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, un sólido cristalino de color verde olivo, soluble en agua, y el cloruro de iridio (IV) y amonio, $(\text{NH}_4)_2\text{IrCl}_6$, sólido cristalino de color rojinegro, relativamente insoluble.

Símbolo	Ir
Clasificación	Metales de transición Grupo 9
Electrones en los niveles de energía	2, 8, 18, 32, 15, 2
Configuración electrónica	$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^7 6s^2$
Números de oxidación	+2, +3, +4, +5, +6
Propiedades ácido / base	Básico
Sintético	No

Características de las fuentes empleadas en Braquiterapia

FORMA DE REPRESENTACIÓN

- Nombre de la fuente: Iridio192 (^{192}Ir)
- Forma de presentación: Alambre, sección transversal de 0.3 mm (0.1 mm de Platino).

- Longitud del alambre: 50 cm
- Actividad unitaria: 150 mCi (5.55 GBq)

Características físicas del radionúclido ^{192}Ir

- Período de semidesintegración ($T_{1/2}$): 74 días
- Energía: Radiación gamma (γ): 0.2 MeV y 1.4 MeV
Radiación beta (β): 0.67 MeV

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Cualquier práctica que involucre el empleo de fuentes de radiaciones ionizantes, implica un conjunto de requerimientos para garantizar la protección radiológica, tanto de los trabajadores que están expuestos ocupacionalmente a la acción de las mismas, como de los pacientes objetos de estudio, el público y el medio ambiente.

Con este fin, es preciso elaborar un programa de protección radiológica que abarca una serie de aspectos como, por ejemplo, los requisitos de los locales donde permanezcan o se manipulen las fuentes, las exigencias para su transportación y la preparación del personal facultado para su empleo.

De cumplirse todas las condiciones necesarias para que la práctica se realice con la seguridad radiológica requerida, se emite por parte del Órgano Regulador Nuclear de cada país y en correspondencia con las disposiciones del Organismo Internacional de Energía Atómica, de un documento (Licencia) que autoriza su ejecución.

PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Este programa comprende los siguientes aspectos:

- Organización y gestión comprometida con la seguridad de la instalación y el cumplimiento del principio ALARA (Del inglés As

Low As Reasonable Achievable: Tan bajo como razonablemente sea alcanzable).

- Asunción por la institución de la responsabilidad general por la seguridad de la práctica.

La institución es la máxima responsable por garantizar la protección y seguridad de las fuentes, del cumplimiento de las condiciones de vigencia establecidas en la autorización para la ejecución de la práctica, así como de las regulaciones jurídicas, técnicas o de procedimientos aplicables. Esta responsabilidad no podrá ser delegada en ningún caso.

- Garantía del cumplimiento de las regulaciones y las condiciones de la licencia o autorización para la ejecución de la práctica.
- Establecimiento de una estructura organizativa que permita conocer el estado de la seguridad.

Se definirá las estructuras jerárquicas para la toma de decisiones en materia de protección y seguridad; se adoptará disposiciones organizativas y establecerá líneas de comunicación cuyo resultado sea la circulación expedita de la información sobre la protección y seguridad en los diversos niveles de la entidad, así como entre dichos niveles.

- Designación de un Responsable de Protección Radiológica

Será designado un responsable directo por el funcionamiento seguro y confiable de las fuentes y de la instalación, a quien la dirección de la institución le conferirá las atribuciones y proporcionará los medios necesarios para que durante la ejecución de la práctica realice acciones y tareas relacionadas con su responsabilidad.

Son obligaciones de los Responsables de Protección Radiológica, las siguientes:

- a) Participar en la elaboración, actualización y aplicación de la documentación exigida como parte del proceso de obtención de autorizaciones.

- b) Velar por el adiestramiento y comprobación de los conocimientos del personal ocupacionalmente expuesto sobre las normas y procedimientos de seguridad establecidos para la práctica específica y por la realización de ejercicios prácticos de emergencia.
- c) Velar por el cumplimiento de los requisitos de seguridad establecidos y otras normas y procedimientos aplicables, así como por el cumplimiento de las condiciones de vigencia de la autorización.
- d) Comunicar de inmediato al titular de autorización y a la autoridad reguladora correspondiente cualquier hecho que, a su juicio, pueda implicar un aumento del riesgo de exposición, tanto para el personal ocupacionalmente expuesto como para los miembros del público.
- e) Supervisar el programa de pruebas de los sistemas, elementos y componentes importantes para la seguridad.
- f) Efectuar pruebas de fuga a las fuentes de radiaciones ionizantes en el momento de su recepción y en los períodos establecidos en las condiciones de vigencia de las autorizaciones, así como después de ocurrido algún suceso radiológico.
- g) Establecer y garantizar la ejecución del programa de vigilancia radiológica de la práctica.
- h) Acompañar a los inspectores estatales de seguridad radiológica en el transcurso de sus diligencias de inspección y proporcionarles la información solicitada por estos.
- i) Mantener actualizados los registros establecidos.
- j) Acudir de inmediato a la instalación en caso de suceso radiológico, para coordinar y supervisar las operaciones que deban llevarse a cabo e informar de las mismas en correspondencia con los procedimientos establecidos.
- k) Cumplir con las demás obligaciones relacionadas con las actividades de seguridad radiológica que les señale el titular de la autorización.

- Conocimiento y seguimiento por los trabajadores de procedimientos previamente elaborados.
- Definición clara de las responsabilidades.

Se precisará la responsabilidad en materia de protección y seguridad de cada individuo a todos los niveles, y que tengan la capacitación y calificación adecuadas.

- Familiarización por los trabajadores con la estructura organizativa de la entidad, incluyendo las relaciones específicas de autoridad y responsabilidad.
- Existencia de asesoría externa en seguridad radiológica.

Se podrá disponer de servicios de expertos cualificados para el asesoramiento externo en seguridad radiológica cuando se considere necesario o a requerimiento de la autoridad reguladora correspondiente.

Adecuada selección y entrenamiento del personal.

- Identificación de los requisitos de los cargos y consideración de los mismos en el proceso de selección del personal.
- Identificación de las necesidades de capacitación para cada puesto de trabajo.
- Entrenamiento previo de todo el personal antes de ser designado para el puesto correspondiente.
- Establecimiento de una periodicidad apropiada para la capacitación del personal.
- Registro de las capacitaciones recibidas por el personal.
- Inclusión en el programa de entrenamiento de la protección radiológica básica, efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, uso de los instrumentos de detección de las radiaciones ionizantes, manual de protección radiológica, informe de seguridad radiológica y plan de emergencia radiológica de la práctica.

- Actualización del entrenamiento, siempre que sea necesario.
- Establecimiento de disposiciones para asegurar que las personas de nueva incorporación a la entidad reciban el entrenamiento requerido y que se tengan en cuenta las necesidades de entrenamiento del personal afectado por cualquier reorganización interna de la entidad.

Control efectivo de la exposición ocupacional.

La institución será responsable por la protección de sus trabajadores contra la exposición ocupacional, proveniente de fuentes de radiaciones ionizantes. Debe garantizar que:

- Se limiten las exposiciones ocupacionales en conformidad con lo establecido en las Normas Básicas de Seguridad.
- Se optimicen la protección y la seguridad.
- Se registre las decisiones relativas a las medidas de protección y seguridad ocupacionales.
- Se establezca principios rectores, procedimientos y disposiciones organizativas de protección.
- Se cuente con las instalaciones, equipos y servicios de protección y seguridad idóneos y suficientes, en correspondencia con la magnitud y probabilidad previstas de la exposición ocupacional.
- Se preste los servicios necesarios de vigilancia de la salud y atención médica.
- Se cuente con medios de protección y equipos de vigilancia radiológica adecuados y se adopten medidas para su uso correcto.
- Se cuente con los recursos humanos idóneos y suficientes, así como con un sistema adecuado de capacitación en materia de protección y seguridad que incluya actividades periódicas de readiestramiento, para asegurar el nivel de competencia necesario.
- Se adopten disposiciones para facilitar la consulta y cooperación con

Los trabajadores en cuestiones de protección y seguridad.

- Existan todas las condiciones necesarias para promover una cultura de seguridad.

La dirección de la institución, como condición previa para dar ocupación a un trabajador, está en la obligación de obtener su historial de exposición ocupacional anterior y demás información necesaria con el fin de ofrecerle la protección y seguridad adecuadas.

Puede hacerse mención a una serie de medidas para controlar de forma efectiva la exposición ocupacional:

- Control de las fuentes (actividad, almacenamiento, transportación interna, manipulación y corte de los alambres, desechos generados).
- Colocación de blindajes en la meseta donde se efectúa el corte del alambre de Iridio. Blindaje del contenedor de transportación del segmento de Iridio a implantar.
- Control de las dosis ocupacionales, mediante:
 - Vigilancia radiológica del personal a través de TLD en cuerpo entero y extremidades.
 - Vigilancia radiológica de áreas.
 - Controles administrativos.
- Comprobación durante el trabajo de la tasa de dosis en los límites del área controlada y en los lugares de permanencia de personal, con un monitor de tasa de dosis.
- Comprobación con un monitor de tasa de dosis de que la fuente ha quedado implantada inmediatamente después de retirar la cánula de implante.
- Limitación estricta del acceso al local de preparación del segmento a implantar, así como al salón de operaciones donde se efectúa el implante y al cubículo de ingreso postoperatorio.

- Creación de facilidades de comunicación en el cubículo de ingreso postoperatorio que disminuyan la exposición del personal de enfermería.

Control efectivo de la exposición del público

Se establecerá, aplicará y mantendrá criterios rectores, procedimientos y disposiciones organizativas de protección y seguridad en lo referente a la exposición del público, asegurando la optimización de su protección, así como la capacitación apropiada en materia de protección y seguridad del personal encargado de las funciones relacionadas con la protección del público, equipos de monitoreo y programas de vigilancia radiológica apropiados para evaluar la exposición del público, registros adecuados del monitoreo y la vigilancia radiológica, planes de emergencia y planes de medidas para caso de accidentes en correspondencia con la naturaleza y magnitud del riesgo de que se trate, manteniéndolos listos para su activación.

Puede hacerse mención a una serie de medidas para controlar de forma efectiva la exposición del público:

- Control estricto de la ubicación y manipulación de las fuentes en áreas públicas (ruta de las fuentes desde que se transportan hasta la entidad, dentro de la entidad, implantadas en el paciente). Seguimiento hasta su decaimiento a un nivel de actividad que no represente peligro para el público o recuperación del segmento en caso de fallecimiento del paciente; o se gestionen como desecho radiactivo.
- Cumplimiento de un programa de vigilancia radiológica de áreas de acceso público y registro del resultado de las mediciones realizadas.
- Disposición de un local para el almacenamiento hasta su evacuación de la entidad de los desechos radiactivos generados.
- Entrega a pacientes y familiares de las instrucciones a seguir durante el período de aislamiento en el hogar.

- Creación de condiciones y disposición de los pacientes en el cubículo de ingreso postoperatorio de forma tal que las tasas de exposición en los cubículos contiguos sean similares al fondo radiactivo natural.

Efectiva planificación y preparación de respuesta a emergencias radiológicas.

Planificación y preparación de la respuesta a emergencias radiológicas, a través de:

- Identificación de las situaciones de accidentes potenciales más importantes: Pérdida o robo, exposición a altas tasas de dosis como consecuencia de un error de procedimiento, accidente de tránsito en el auto donde se transporta la fuente radiactiva
- Para cada clasificación de los sucesos radiológicos, según corresponda, describir las actividades previstas para acometer las acciones siguientes:
 - Evaluación y seguimiento.
 - Aviso al personal de la instalación e integrantes de la estructura de respuesta a emergencias.
 - Acciones correctivas.
 - Vigilancia y protección radiológica.
 - Asistencia médica.
 - Recuperación.

GARANTÍA DE CALIDAD

Durante la realización de la práctica, pueden ejecutarse diversas actividades con el fin de garantizar su calidad, tales como el control de documentos, inspecciones o auditorías internas y la toma de acciones correctivas. Este programa debe permitir cerciorarse adecuadamente de que se satisfacen los

requisitos prescritos en lo referente a protección y seguridad y disponer de mecanismos y procedimientos de control de calidad para examinar y evaluar la efectividad global de las medidas de protección y seguridad.

PONENCIA:

Título: "Otra opción contra el cáncer de cerebro"

Se realiza un estudio descriptivo prospectivo, siendo nuestro universo el total de pacientes intervenidos neuroquirúrgicamente durante tres años de trabajo (de junio del 2001 a Octubre del 2004) en el servicio de Neurocirugía del Hospital "Lucia Iñiguez Landín" de Holguín, Cuba, en colaboración con el Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas de Lima, Perú; donde con el consentimiento verbal y escrito del jefe de Servicio se revisaron los expedientes clínicos de los pacientes operados por cirugía de mínimo acceso por métodos estereotácticos, en los que se realizó biopsia estereotáctica y Braquiterapia Intersticial con Iridio-192, siendo nuestro universo 66 pacientes portadores de tumores cancerosos del sistema nervioso central. Se analizaron las siguientes variables: calidad de vida, mortalidad según diagnóstico histológico de la patología y tipo de tratamiento empleado; mostrando los resultados de la protección radiológica durante la práctica de la Braquiterapia Intersticial.

Se muestra el diseño y construcción de un dispositivo para el corte del alambre de Iridio-192.

Se promueve la interrelación de la atención primaria y la secundaria a través del médico de familia en pacientes implantados con Iridio-192; y su incorporación a la comunidad, se elabora un texto en formato digital titulado *Otra opción contra el cáncer del cerebro*; estableciéndose criterios y procedimientos para la práctica de la Braquiterapia Intersticial.

Este trabajo le brinda una opción terapéutica a aquellos pacientes que en épocas anteriores a la aplicación de esta tecnología no tenían variantes de

tratamiento y eran remitidos a sus áreas de salud, para tratamiento paliativo sin calidad de vida y condenados a una rápida muerte.

Se discutieron en colectivo de neurocirugía 66 pacientes portadores de tumores malignos gliales del Sistema Nervioso Central (SNC), en los que se le aplicó como proceder terapéutico la Braquiterapia Intersticial con Iridio-192 (^{192}Ir), regidos por protocolo de trabajo aprobado por el Consejo Científico del Hospital "Lucía Iníguez" y el Comité Técnico Asesor del Instituto Nacional de Ciencia Neurológicas, que cumplieran los criterios de inclusión en dicho protocolo.

A la totalidad de los pacientes intervenidos por Cirugía Estereotáctica y Braquiterapia se le realizó los siguientes estudios:

- Rayos X de cráneo AP y lateral. Otras vistas, según indicación.
- TAC de cráneo contrastada (a la inclusión en protocolo, a los 6 meses, al año, 2 años y a los 3 años).
- Angiografía cerebral, si se consideró necesario.
- Estudios neurofisiológicos:
 - Electroencefalograma estándar y con análisis automatizado.
 - Potenciales evocados somatosensoriales: Visuales, de tallo cerebral.
- Estudios neuropsicológicos.
- Resonancia Magnética Nuclear de cráneo (RMN).

A los pacientes incluidos en protocolo intervenidos por cirugía de mínimo acceso al sistema nervioso central guiados por imágenes y asistidos por computadoras (técnicas estereotácticas) y en los que se aplicó la Braquiterapia Intersticial se realizaron 3 procedimientos terapéuticos siguientes:

1. **Cirugía Directa más Braquiterapia (CD+B):** Paciente que se lleva al salón de operaciones, se aplica anestesia general y se le realiza resección parcial de la tumoración (extraer parte de la lesión, no toda) con toma de muestra para Scratching (Biopsia transoperatoria donde se hace un escarchado o extendido de la muestra y se visualiza con el microscopio), diagnosticándose malignidad histológica. No se le realiza exéresis total de la lesión, por encontrarse parte de la tumoración en área elocuente (Zona topográfica del cerebro que cumple funciones vitales) cuyo abordaje provocaría invalidez y deterioro de la calidad de vida del paciente. Evolutivamente se realiza Tomografía Axial Computarizada de cráneo (TAC) contrastada, apreciándose fragmento residual de tumor no extraído en el que se decide aplicar Braquiterapia Intersticial con Iridio-192 a la dosis correspondiente.
2. **Biopsia Estereotáctica más Braquiterapia (BE+B):** Paciente en el que se realiza Biopsia Estereotáctica con anestesia local a través de un orificio de trépano (mínimo acceso al SNC), introduciéndose una cánula de 2.1 mm con apoyo del sistema estereotáctico, tomando una muestra; realizando diagnóstico transoperatorio (Scratching) de malignidad histológica, decidiéndose aplicar Braquiterapia Intersticial con Iridio-192 a la dosis correspondiente.
3. **Biopsia Estereotáctica más Radioterapia más Braquiterapia (BE+R+B):** Paciente en el que se realiza Biopsia Estereotáctica con anestesia local a través de un orificio de trépano, introduciéndose una cánula de 2.1 mm con apoyo del sistema estereotáctico, tomando una muestra; realizando diagnóstico transoperatorio (Scratching) de malignidad histológica, dadas las características anatómicas anormales del tumor (valoradas por TAC), donde se aprecia tumor de más de 4 cm, difuso, de límites irregulares con edema cerebral (inflamación del cerebro), con inflamación perilesional que desplaza las estructura de línea media, sin criterios de cirugía directa, se discute con el neurooncólogo para la aplicación de la radioterapia externa (ver *Protocolo*) de 60 Gy de Cobalto-60. Evolutivamente, se

realiza TAC de cráneo y se aprecia citorreducción de la lesión tumoral cumpliendo criterios para la aplicación de la Braquiterapia Intersticial con Iridio-192 a la dosis correspondiente.

Debemos señalar que este proceder permite llegar a zonas del cerebro difíciles de abordar por cirugía convencional, que estos pacientes normalmente no tenían variantes de tratamiento y eran remitidos a sus áreas de salud, para recibir un tratamiento paliativo sin calidad de vida y condenados a una rápida muerte. Con este método, le ofrecemos una nueva opción de tratamiento.

La dosis de material radiactivo a implantar se determina de acuerdo con el grado de malignidad del tumor, topografía y edad del paciente. Las mismas oscilan entre 60 Gy y 120 Gy. Todos los resultados fueron comprobados y analizados según evolución clínica y radiológica, y comparados con la bibliografía actualizada de la investigación (Ver Anexos).

ADMINISTRACIÓN DEL IRIDIO 192

Una vez incluidos nuestros pacientes portadores de tumores malignos del SNC en los que se realiza cirugía estereotáctica; previa preparación psicológica, se les coloca el marco estereotáctico, con anestesia local haciéndolo partícipes de este procedimiento. Se lleva al tomógrafo, donde se les realiza tomografía con cortes de 13 mm y las imágenes que contienen los marcadores de referencia son enviadas a través de una red de imágenes a una estación de trabajo en el salón de operaciones para proceder al planeamiento quirúrgico. El planeamiento quirúrgico se realiza en la computadora del Salón de Operaciones aplicando un software cubano (*STASSIS*). Se determina las coordenadas cartesianas (coordenadas espaciales x, y, z y ángulos Alfa y Beta) de puntos de interés y trayectorias del instrumental quirúrgico, así como las dimensiones, densidad y volumen de la lesión. Se efectúa el cálculo de dosis, basado en las curvas de isodosis, según

radioisótopo y sus características físicas, tamaño del tumor, localización y tipo histológico; se hace una pequeña incisión en el lugar planificado, trepanación de la bóveda ósea e implante a través de cánulas de 2.1 mm, se desliza el material radiactivo (Iridio192), cuya dosis ha sido calculada y preparada anteriormente, teniendo en cuenta el diagnóstico histológico transoperatorio realizado por método de Scrashing.

Esta técnica consta de los siguientes pasos:

- Tomar la muestra.
- Depositarla en suero fisiológico.
- Extenderla en la lámina.
- Sumergirla en alcohol absoluto.
- Contrastar con hematoxilina durante 1 minuto.
- Secar las láminas al aire.
- Lavar con suero fisiológico 1 minuto.
- Fijar con alcohol ácido 1 minuto.
- Lavar con suero fisiológico 1 minuto.
- Sumergirla en eosina durante 1 minuto.
- Dejar secar al aire.
- Fijar con alcohol ascendente hasta 100 grados.
- Fijar con alcohol silol.
- Marcar las láminas.
- Montar.

Documentos necesarios para ejercer la práctica con material radiactivo (iridio- 192)

1. Equipo dosimétrico para la vigilancia radiológica de zona.
2. Dosímetros personales.
3. Expedientes radiológicos para los trabajadores ocupacionalmente expuestos (Chequeo médico, complementarios).
4. Manual de Seguridad Radiológica.
5. Plan de Emergencia Radiológica.
6. Informe de Seguridad Radiológica.
7. Fabricación de un dispositivo para el corte del material radiactivo.
8. Construcción de un local para almacenar el material radiactivo con protección y seguridad tanto radiológica como física.
9. Acondicionamiento de un cubículo para el paciente implantado que cumpla criterios de protección contra radiaciones.
10. Permiso de transportación del material radiactivo.
11. Permiso de Adquisición del material radiactivo.
12. Sistema de planeamiento quirúrgico.

Todos estos trámites se llevan a cabo para lograr la Licencia y realizar la práctica de implante de Iridio-192 en tumores del SNC, que emite el Órgano Regulador Nuclear.

HIPÓTESIS

Este trabajo, "Otra opción contra el cáncer del cerebro", establece un mejor manejo, con elevación de la calidad de vida y supervivencia en pacientes que padecen de cáncer cerebral.

Nuestro trabajo constituye una ponencia de nuevo aporte, donde se diseña un protocolo de investigación para el manejo del paciente a quien se le aplica la Braquiterapia Intersticial con Iridio-192, el cual es aprobado por el Consejo Científico del Hospital "Lucía Iñiguez" de Holguín, Cuba, y el Comité Técnico Asesor del Instituto Nacional de Ciencia Neurológicas de Lima, Perú.

Procedemos a realizar una argumentación de los criterios de inclusión por los resultados obtenidos a lo largo de nuestro trabajo:

- Para la realización de la Braquiterapia en cualquiera de sus modalidades a larga distancia (teleterapia) o a corta distancia (braquiterapia) es necesario realizar una biopsia de la lesión o corroborar la malignidad histológica de la misma ; teniéndose en cuenta que en los tumores cerebrales existe la llamada malignidad biológica, cuando el tumor se encuentra en un área elocuente del cerebro. Se ha demostrado que las radiaciones actúan a nivel biológico, desprendiendo energía y actuando en los átomos de las moléculas, que en función de la energía e intensidad de la radiación producen muerte celular, en el volumen del espacio orgánico que ha sido sometido a la radiación. La base del desequilibrio que producen las radiaciones es la ionización, que consiste en la expulsión de un electrón orbital y se produce un par de iones. Esta lesión anatómica se traduce como una lesión molecular que se sitúa a nivel de la molécula de ADN (daño directo) o en la molécula del H_2O intracelular (daño indirecto), lo cual significa diferentes mecanismos de acceder al objetivo último, la muerte celular. Esta se produce de manera indiscriminada y por ello tanto los tejidos sanos, como tumorales sufren su efecto. La utilidad en su manejo se fundamenta en que las radiaciones son más lesivas para los tejidos con mayor poder de multiplicación, puesto que su acción es más importante sobre las células en mitosis características de los tumores malignos.

Ver efectos agudos y crónicos de las radiaciones en Protocolo "Otra opción contra el cáncer del cerebro".

- Para la realización de la cirugía directa a la lesión: El paciente debe poseer gradación según escala de Karnofsky por encima de 50 puntos; el tumor debe encontrarse en área accesible, no elocuente, sin que la resección del mismo produzca lesión invalidante, que deterioren la calidad de vida del paciente.
- Basándonos en estudios tomográficos contrastados del paciente, que evidencian la lesión, realizamos mediciones en centímetros, tomando como zona límite del tumor, el realce anular y homogéneo del contraste en los márgenes tumorales, escogemos el diámetro mayor de la lesión. En nuestra experiencia luego de implantados tres pacientes con tumores mayores de 4 cm, se produjo un edema perilesional importante que desplazaba estructuras de línea media con severa hipertensión intracraneal llevando a la muerte a los pacientes (7.5%). Estos pacientes no fueron incluidos en protocolo. Comprobamos en 5 pacientes, donde la curva de más alta gradación (curva de isodosis de 60-120 Gy en dependencia del tipo histológico) eran planificadas en los márgenes tumorales, estas producen recidiva del tumor por fuera de la planificación de esta curva de isodosis (Ver Anexos), por lo que decidimos situar esta curva de alta gradación a 1.5 cm por fuera de las márgenes tumorales medibles por la captación del contraste homogéneo en la TAC de cráneo.

JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DE LA DOSIS:

Una vez realizada la biopsia de la lesión y la planificación de la dosis correspondiente comprobamos que con la dosis de 60 Gy en márgenes tumorales, en lesiones de bajo grado se ha obtenido resultado de respuesta objetiva antitumoral en el 62% de los casos, de acuerdo a los datos obtenidos de nuestros pacientes, consideramos que se debe utilizar dosis de 60 Gy en tumores de bajo grado, pero que esta curva de isodosis de alta gradación (es la curva de isodosis calculada por el software donde mantiene la más alta

tasa de dosis) sea situada de 1-1.5 cm por fuera de las márgenes tumorales, medibles y definidos por el realce o captación del contraste en la TAC de cráneo. En cuatro de los casos implantados donde se situó la curva de alta gradación en márgenes tumorales se demostró recidiva por fuera de la curva 6.71%. Pensamos que estos tumores son puramente infiltrantes a través del intersticio celular, al colocar esta curva mas periférica al tronco o nicho tumoral, abarca mayor área de la lesión y la recidiva es menor.

En tumores cerebrales de alto grado de malignidad y Glioblastomas Multiformes, utilizamos de 90 Gy 120 Gy, se ha obtenido resultado con respuesta objetiva antitumoral en el 37.9%. Somos del criterio que la dosis de aplicación en estos tipos de tumor depende no solo de su malignidad histológica, sino también de su topografía cerebral, impidiendo que la aplicación de la misma sea capaz de producir herniaciones cerebrales (desplazamiento del parénquima cerebral a través de orificios naturales del cerebro) En estos pacientes se debe utilizar las curvas de isodosis de alta gradación (hasta 120 Gy), con procedimiento igual al utilizado en las lesiones de bajo grado.

Después de revisar los expedientes clínicos de los pacientes, comprobamos los resultados obtenidos:

De un total de 66 pacientes implantados con Iridio-192, su calidad de vida según escala de función o validez de Karnofsky (Ver Anexos), en grado A o estadio 1, se encontraban 14 pacientes al inicio del tratamiento (21.2%), culminando 23 pacientes (34.8%) a los 3 años de valorados los mismos. En el grupo B o estadio 2 de esta misma escala se encontraban 52 pacientes (78.7%) culminando a los 3 años de evaluación 25 pacientes para el 37.8%. En el grupo C o estadio 3, inicialmente no se encontraban pacientes, por ser criterios de inclusión gradación A y B; pero evolutivamente en el tiempo se evidenció que 18 pacientes de estadio B pasaron a C, culminando con el fallecimiento de los mismos, representando el 27.2% del total de nuestra muestra.

Al integrar estos resultados, el 72.6% de los pacientes en estadios A y B, mejoraron su calidad de vida, logrando incorporarse a las tareas sociales, 9 (13.6%) de nuestros pacientes escalaron de estadio B a estadio A (Tabla # 1).

Es meritorio señalar que algunos de estos pacientes se reincorporaron a la vida social, por ejemplo, un pintor de obras de arte, logró reincorporarse normalmente a su vida laboral.

En análisis de la mortalidad según diagnóstico histológico (Glioma de bajo grado, alto grado y Glioblastoma Multiforme), apreciamos que el mayor grupo de pacientes correspondía al Glioblastoma Multiforme, que representaba el 64.2% de nuestra muestra, seguido por los tumores gliales de alto grado. La literatura internacional plantea que el Glioblastoma Multiforme es el tumor más frecuente en el SNC, en nuestra casuística representó el 21.2%, razón que consideramos esta en su dependencia, de que estos pacientes casi siempre debutan con deterioro importante de su calidad de vida y se encontraban en escala de Karnofsky por debajo de 50 puntos, por lo que no cumplen criterios de inclusión (Tabla #2).

Al valorar la mortalidad según tipo de tratamiento o proceder a realizar (CD+B; BE+B; BE+R+B) apreciamos que en 23 pacientes fue necesario realizar BE+R+B, fallecieron 11, para un 47.8%, en el tratamiento donde aplicamos CD+B, nuestros resultados fueron mejores; con solo 2 fallecidos de los 21 incluidos, para un 9.5%, esto coincide con la literatura revisada, donde el Principio oncológico de exéresis del mayor porcentaje posible de la lesión, produce descompresión y disminuye la hipertensión intracraneal, mejora el cuadro clínico, ya que al realizarse la extracción de la mayor cantidad de tumor posible, disminuye la presión intracraneal, causa directa, muchas veces, de la muerte del paciente (Tabla #3).

Uno de los aspectos más relevantes en nuestro trabajo, es la supervivencia, valorada en el tiempo, de nuestros pacientes, reconociéndose que de un total de 66 pacientes incluidos, en las que se aplicó braquiterapia Intersticial con Iridio-192, en tumores gliales malignos, al culminar 3 años, 48 pacientes se encontraban estables para un 72.7% de supervivencia, el 34,8% de nuestros pacientes es capaz de desarrollar una actividad normal y de trabajar, el 37.8% precisa un cierto grado de asistencia (Tabla #4).

Nos propusimos, además, la tarea de diseñar y construir un dispositivo para el corte del material radiactivo (Iridio-192), este se presenta en forma de alambre, de sección transversal de 0.3 mm (0.1 mm de Platino) en forma de espiral. Para su fabricación utilizamos planchas de plomo de 1 cm de espesor para todas las paredes del dispositivo (guillotina) disponiéndola en forma de caja rectangular, con un tornillo y bloque de teflón que impulsa el alambre

hacia el exterior, luego de su corte con previa medición en dispositivo previsto. Esta caja es cubierta con una tapa plomada de 1 cm de espesor, que incluye una mampara plomada con 2 orificios para la introducción de los brazos del operador que va a efectuar el corte del material radiactivo. Este dispositivo ahorra cuantiosos recursos a la economía del país y garantiza la protección radiológica de los trabajadores ocupacionalmente expuestos durante su empleo.

Queremos señalar que se encontraron informaciones curiosas en nuestra investigación: Por ejemplo; el área del tumor aledaña al implante cuando reintervenimos algunos casos, lejos de estar blanda, licuada por necrosis, estaba endurecida, renitente, y el estudio anatomo-patológico arrojó una zona de gliosis, con proliferación conectiva. Otra curiosidad es la recidiva tumoral cuando la curva de isodosis de alta gradación se situaba en los mismos márgenes tumorales.

Al adentrarnos en nuestro trabajo de aplicación de la Braquiterapia Intersticial con Iridio-192, nos damos cuenta de que no existe un conocimiento adecuado de esta terapéutica, ni del manejo de este tipo de paciente en la comunidad ni área de salud.

Nos propusimos inicialmente entregarle a cada paciente, al egreso del hospital, un documento orientador del manejo familiar. Impartimos 3 cursos de adiestramiento de 80 horas de duración al año, para todos los médicos de la familia y el personal a fin, donde se explicaba manejo del paciente implantado en el área de salud y todo lo relacionado con la protección radiológica. Se visitaron los hogares de los pacientes implantados, se realizaron tres programas de radio, uno televisivo y múltiples publicaciones en la prensa nacional, orientando todo lo relacionado con el uso terapéutico del Iridio-192.

Concretando el conocimiento del adecuado manejo de los tumores cerebrales y el uso terapéutico del Iridio-192, mediante la Braquiterapia Intersticial y apoyo estéreo-táctico, nos propusimos realizar un CD interactivo multimedia que incluye diferentes aplicaciones, y el profesional de la salud (medico de familia) y toda persona interesada en el tema, tenga un caudal de enriquecimiento de nuevas ideas en el manejo de tumores cerebrales malignos y puedan conocer, esta opción de tratamiento.

La Neurocirugía Estereotáctica es una tecnología de punta, propia de países desarrollados, por lo que la institución que la lleva a cabo tiene la posibilidad

de convertirse en un centro de referencia en la aplicación de estos procedimientos quirúrgicos, lo que contribuye al desarrollo de las neurociencias, y desde el punto de vista económico disminuyen los costos hospitalarios (en medicamentos, suturas, material neuroquirúrgico, anestesias, estadía hospitalaria), reducen el tiempo quirúrgico y las infecciones nosocomiales.

Desde el punto de vista social, se logra brindar una mejor atención integral al paciente, para quien existen varias ventajas:

- La apertura es simple y exacta, según lo deseado.
- Se logra una localización exacta de la craneotomía, proporcional al tamaño del tumor, con simulación automatizada en el transoperatorio.
- Incisión de la piel con colgajo pequeño, con menor pérdida de sangre y potencialmente menor riesgo de sepsis.
- Exacta orientación espacial durante toda la intervención, facilitada por la guía láser y los retractores cilíndricos estereotácticos.
- Se reconoce con mayor exactitud la interfase tumor tejido normal, lográndose resecciones totales.
- Mejores resultados estéticos.
- Mejor pronóstico para el paciente.

Con respecto a la Braquiterapia Intersticial:

- El tratamiento radiante se efectúa directamente sobre el tumor, con menor daño para el tejido sano.
- La terapia radiante es de modo permanente sobre el tumor.
- Se logra entregar una mayor dosis de radiación sobre el tumor.
- Se adecuan las curvas de isodosis a la forma y tamaño del tumor.
- Menor edema agudo por radiación.
- Menor radionecrosis.
- No caída del cabello.
- No quemaduras externas en piel.
- No daño sobre estructuras neurales: Visión, audición.

CONCLUSIONES

- Mediante el presente trabajo se definen criterios y procedimientos para la práctica de la Braquiterapia Intersticial con Iridio-192 en tumores cerebrales malignos.
- La calidad de vida según escala de Karnofsky determina que el 72.6% de los pacientes en estadio A y B mejoran; logrando incorporarse a las tareas sociales.
- La mortalidad según diagnóstico histológico de la patología muestra que el mayor número de pacientes eran portadores de Glioblastoma Multiforme para un 64.2%. Según tipo de tratamiento empleado, el 47.8% de los pacientes en los que se realizó BE+R+B falleció.
- Se diseña y construye un dispositivo para el corte del Alambre de Iridio-192; mostrando funcionabilidad y mayor protección para el trabajador ocupacionalmente expuesto.
- Se logra incrementar la interrelación de la atención primaria y secundaria a través del médico del área de salud.
- Se elabora en formato digital el texto Otra opción contra el cáncer del cerebro (CD interactivo multimedia).

RECOMENDACIONES

- Profundizar en el estudio de las ventajas de la Cirugía Estereotáctica a través de nuevas investigaciones en otros campos de aplicación: la Cirugía Vascular de Aneurismas Intracraneales y Malformaciones Arteriovenosas; y en la Cirugía Funcional del Parkinson.

Tabla N° 1. Calidad de vida

Karnofsky	Inicio de tratamiento		6 meses		1 año		2 años		3 años	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Grado A	14	21.2	14	21.2	14	21.2	14	21.2	23	34.8
Grado B	52	78.7	49	74.2	42	63.6	30	45.4	25	37.8
Grado C	-		3		7		8		18	27.2

Fuente: Historias Clínicas

Tabla N° 2. Mortalidad, según diagnóstico histológico

Diagnóstico Histológico	No de Pacientes	Fallecidos	%
Glioma de bajo grado de malignidad	41	3	7.3
Glioma de bajo grado de malignidad	11	6	54.5
Glioblastoma Multiforme	14	9	64.2
Total	66	18	64.2

Fuente: Historias Clínicas

Tabla N° 3. Mortalidad, según tipo de proceder o tratamiento

Tipo de tratamiento				No.	Fallecido	%
Cirugía Directa y Braquiterapia (CD+B)				21	2	9.5
Biopsia Estereotáctica y Braquiterapia (BE+B)				22	4	19
Biopsia Estereotáctica, Radioterapia y Braquiterapia (BE+R+B)				23	11	47.8

Fuente: Historias Clínicas**Tabla N° 4. Supervivencia de pacientes implantados con Iridio-192**

Supervivencia No. De Pacientes	6 meses		1 año		2 años		3 años	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
66	63	95.5	56	84.8	48	72.7	48	72.7

Fuente: Historias Clínicas

Tabla N° 5. Ventajas de la Braquiterapia Intersticial con Iridio-192, en comparación con la Radioterapia externa con Cobalto-60

Braquiterapia Intersticial (Iridio-192)	Radioterapia externa (Cobalto-60)
Tratamiento radiante sobre el tumor	Tratamiento radiante sobre el tumor y tejido sano
Respeto la interfase tumor – tejido sano	No respeta la interfase tumor – tejido sano
Terapia radiante permanente sobre el tumor	Número limitado de sesiones del tratamiento radiante
Se logra dar una mayor dosis de Radiación sobre el tumor	Menor dosis de radiación sobre el tumor
Se adecuan las curvas de isodosis a la forma y tamaño del tumor	Campos rectangulares que no posibilitan adecuar las curvas de isodosis a la forma y tamaño del tumor
Menor edema agudo por radiación	Mayor edema agudo por radiación
Menor radionecrosis	Mayor radionecrosis
No caída del cabello	Caída del cabello
No quemaduras externas en piel	Quemaduras externas en piel

Fuente: Bibliografía internacional

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

Título: “Otra opción contra el cáncer de cerebro”

Fecha: 10 de Mayo del 2001.

Versión: 00.

Clasificación del protocolo: Nuevo aporte

Centros Promotores:

- Hospital “Lucía Ñíguez Landín”, Holguín, Cuba.
- Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas, Lima, Perú.

Declaración de confidencialidad:

Este documento es de carácter confidencial y queda prohibida su reproducción o divulgación sin el consentimiento por escrito del promotor.

Auditorías internas: Nombre de la persona responsable de las auditorías internas.

El tratamiento mediante la Braquiterapia Intersticial con Iridio-192, en pacientes con criterios de inclusión, conducirá a un aumento de sobrevida

con relación a la sobrevida histórica de los portadores de tumores cerebrales malignos del Sistema Nervioso Central.

Objetivo general:

- Profundizar en el conocimiento integral de la Braquiterapia con Iridio-192, en tumores cerebrales malignos del Sistema Nervioso Central.

Objetivos específicos:

- Definir criterios y procedimientos para la práctica de la Braquiterapia Intersticial con Iridio- 192 en tumores cerebrales malignos.
- Determinar calidad de vida, según escala de Karnofsky.
- Identificar la mortalidad, según diagnóstico histológico de la patología y tipo de tratamiento empleado.
- Determinar sobrevida en el tiempo.
- Describir los resultados de la protección radiológica durante la práctica de la Braquiterapia Intersticial con Iridio-192 en tumores cerebrales malignos.
- Diseño y construcción de un dispositivo para el corte del alambre de Iridio-192.
- Incrementar la interrelación de la atención primaria y la secundaria a través del médico de familia en pacientes implantados con Iridio-192; y su incorporación a la comunidad.
- Elaboración en formato digital del texto *Otra opción contra el cáncer del cerebro*.

- Establecer criterios y procedimientos para la práctica de la Braquiterapia Intersticial con Iridio- 192 en tumores cerebrales malignos

Concepción General y Tratamiento

Se trata de un protocolo de investigación, donde se incluirá 66 pacientes portadores de tumores malignos del SNC, atendidos en el Hospital Clínico Quirúrgico “Lucía Íñiguez Landín”, Holguín, Cuba.

El tratamiento de estos pacientes será basado en tres procedimientos:

- Cirugía Directa + Braquiterapia
- Biopsia Estereotáctica + Braquiterapia
- Biopsia Estereotáctica + Radioterapia + Braquiterapia

Cirugía Directa: Operación quirúrgica de cráneo a cielo abierto a través de técnicas convencionales.

Mínimo acceso: Operación quirúrgica de cráneo por métodos estereotácticos, guiados por Tomografía Axial Computarizada (TAC) y asistidos por computadora.

Selección de sujetos

Universo

Pacientes con diagnóstico de tumores cerebrales malignos atendidos en las consultas de Neurocirugía del Hospital Clínico Quirúrgico “Lucía Íñiguez Landín”, con asesoramiento directo del Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas de Lima, Perú.

Criterios de inclusión en el protocolo:

- Tumor del SNC, con malignidad histológica, confirmada por Anatomía Patológica mediante biopsia de la lesión
- Tumor maligno del Sistema Nervioso, diagnosticado por TAC o RMN que no reúne criterios de cirugía directa sobre la lesión (Tumor localizado en la profundidad de los hemisferios cerebrales, en áreas imposibles de resear: tálamo, núcleos grises centrales, cápsula interna, áreas elocuentes del cerebro), cuyo abordaje provocaría lesiones invalidantes y calidad de vida deficiente para el paciente
- Tumor del SNC, no mayor de 4 cm de tamaño en su diámetro mayor, medido en el área parcialmente definida por el realce o captación del contraste en las márgenes tumorales mediante la TAC de cráneo
- Tumor maligno operado mediante cirugía directa donde se le realizó resección parcial y el resto de la lesión se encuentra en un área imposible de resear
- Tumor maligno del SNC sin criterio de cirugía directa, con criterio de tratamiento radiante, según las normas establecidas en el país, que luego de la aplicación del mismo, se realiza TAC evolutiva, demostrando citorreducción del área tumoral y adquiriendo criterios de Braquiterapia Intersticial con Iridio-192
- Índice de Karnofsky mayor de 50 puntos.
- Parámetros de Laboratorio Clínico:

Hb 10 g/L; leucocitos totales más de $4 \cdot 10^9$ células/L; plaquetas $> 100 \cdot 10^9$ /L.

- Funcionamiento hepático dentro de límites normales y/o sin antecedentes de alguna afección hepática demostrada por TGP, TGO o Fosfatasa alcalina
- Función renal: creatinina sérica 132 mmol/L
- Pacientes del sexo femenino en edad fértil deberán poseer un test de embarazo negativo y emplear métodos contraceptivos, tales como: dispositivos intrauterinos, anticonceptivos orales o ligadura de trompas.

Criterios de exclusión del protocolo:

- No cumplir algún criterio de inclusión.
- Embarazo o lactancia.
- Prueba de gestación positiva en pacientes en edad fértil.
- Presentar una enfermedad crónica asociada en fase de descompensación, por ejemplo: cardiopatía, diabetes, hipertensión arterial.
- Estados febriles.
- Procesos sépticos severos.
- Estados alérgicos agudos o de gravedad.

Criterios de interrupción del tratamiento:

- Muerte intercurrente (causas no relacionadas con el tumor).
- Pérdida de seguimiento del paciente y desconocimiento de la evolución.
- Muerte por evolución natural.

Las muestras se tomarán durante el acto quirúrgico donde se realice la resección tumoral.

Esta técnica consta de los siguientes pasos:

- Tomar la muestra
- Depositarla en suero fisiológico
- Extenderla en la lámina
- Sumergirla en alcohol absoluto
- Contrastar con hematoxilina durante 1 minutos
- Secar las láminas al aire
- Lavar con suero fisiológico 1 minuto
- Fijar con alcohol ácido 1 minuto
- Lavar con suero fisiológico 1 minuto
- Sumergirla en eosina durante 1 minuto
- Dejar secar al aire
- Fijar con alcohol ascendente hasta 100 grados
- Fijar con alcohol silol
- Marcar las láminas
- Montar

Justificación de la selección de la dosis:

Una vez realizada la biopsia de la lesión y la planificación de la dosis correspondiente comprobamos que con la dosis de 60 Gy en márgenes tumorales, en lesiones de bajo grado se ha obtenido resultado de respuesta

objetiva antitumoral en el 62% de los casos, de acuerdo a los datos obtenidos de nuestros pacientes, consideramos que se debe utilizar dosis de 60 Gy en tumores de bajo grado, pero que esta curva de isodosis de alta gradación (es la curva de isodosis calculada por el software donde mantiene la más alta tasa de dosis) sea situada de 1-1,5 cm por fuera de las márgenes tumorales, medibles y definidos por el realce o captación del contraste en la TAC de cráneo.

En tumores cerebrales de alto grado de malignidad y Glioblastomas Multiformes utilizamos de 90 Gy 120 Gy, se ha obtenido resultado de respuesta objetiva antitumoral en el 37.9% Somos del criterio que la dosis de aplicación en estos tipos de tumor depende no solo de su malignidad histológica sino también de su topografía cerebral, impidiendo que la aplicación de la misma sea capaz de producir herniaciones cerebrales (desplazamiento del parénquima cerebral a través de orificios naturales del cerebro), en estos pacientes se debe utilizar las curvas de isodosis de alta gradación (hasta 120 Gy), con procedimiento igual al utilizado en las lesiones de bajo grado.

Administración del Iridio192 (Ver Radiactividad)

Con anestésico local se procede a la colocación del marco estereotáctico en un local exterior del Salón de Operaciones. La posición del marco está en dependencia de la localización de la lesión y de la técnica quirúrgica a realizar. Se realiza la tomografía que contiene los marcadores de referencia (TAC estereotáctica). Luego, por medio de la red de imágenes intrahospitalaria, el estudio se envía al Salón de Operaciones para proceder al planeamiento quirúrgico.

El planeamiento quirúrgico se realiza en la computadora del Salón de Operaciones aplicando un software cubano (*STASSIS*). Se determina las coordenadas cartesianas (coordenadas espaciales x, y, z y ángulos *alfa* y *beta*) de puntos de interés y trayectorias del instrumental quirúrgico, así como las dimensiones, densidad y volumen de la lesión. Se efectúa el cálculo de dosis basado en las curvas de isodosis, según radioisótopo y sus características físicas, tamaño del tumor, localización y tipo histológico.

Se hace una pequeña incisión en el lugar planificado, trepanación de la bóveda ósea e implante a través de cánulas de 2.1 mm, se desliza el material radiactivo (Iridio192), cuya dosis ha sido calculada y preparada anteriormente, teniendo en cuenta el diagnóstico histológico transoperatorio realizado por método de Scrasing.

Medidas de seguridad para el almacenamiento del producto:

- Control estricto de la ubicación y manipulación de las fuentes en áreas públicas (ruta de las fuentes desde que se transportan hasta la entidad, dentro de la entidad, implantadas en el paciente) Seguimiento hasta su decaimiento a un nivel de actividad que no represente peligro para el público o recuperación del segmento en caso de fallecimiento del paciente; o se gestionen como desecho radiactivo.
- Cumplimiento de un programa de vigilancia radiológica de áreas de acceso público y registro del resultado de las mediciones realizadas.
- Disposición de un local para el almacenamiento hasta su evacuación de la entidad de los desechos radiactivos generados.
- Entrega a pacientes y familiares de las instrucciones a seguir durante el período de aislamiento en el hogar.
- Creación de condiciones y disposición de los pacientes en el cubículo de ingreso postoperatorio de forma tal que las tasas de exposición en los cubículos contiguos sean similares al fondo radiactivo natural.

Evaluación de la sobrevida

Se calculará la sobrevida a partir de la colocación del Iridio192 en el tumor (al

- Hemoglobina
- Leucocitos totales
- Conteo Diferencial
- Conteo de Plaquetas
- Proteínas Totales
- Glicemia
- TGP
- TGO
- Fosfatasa Alcalina
- Bilirrubina
- Creatinina
- Urea
- Proteinuria
- Hematuria
- Hematocrito
- Parcial de Orina

Evaluación de la respuesta antitumoral

Para la medición del volumen tumoral se utilizará la Tomografía Axial Computarizada (TAC), que se realizará previa a la inclusión en el protocolo, al mes, 3 meses, 6 meses, un año y 3 años de aplicado el tratamiento. Teniendo en consideración que, de producirse un episodio agudo de hipertensión intracraneal (HIC), se realizará una TAC de urgencia para valorar conducta

Recolección y manejo de los datos

La recolección de la información y la descripción del contenido de cada uno son los siguientes:

- Datos demográficos

- Criterios de inclusión
- Criterios de exclusión
- Historia clínica anterior
- Historia de la enfermedad actual
- Examen físico del tumor primario antes de la administración
- Examen físico general
- Examen fisiconeurológico
- Laboratorio clínico
- Radioterapia
- Evaluación de la respuesta antitumoral (desde la 2^{da} semana hasta el mes 12)
- Salida del paciente

BIBLIOGRAFÍA

1. Beauchesne P, Bertrand S, Development of an intracerebral gliomamodel in whole body irradiated hairless rats. *Anticancer Res.*;20(2A):703 6, MarApr 2000.
2. Bejjani BP, Dormont D, Pidoux B, Yelnik J, Bilateral subthalamic stimulation for Parkinson's disease by using three dimensional stereotactic magnetic resonance imaging and electrophysiological guidance. *JNeurosurg.*; 92(4):615 25 Apr., 2000.
3. Bowers DC, Georgiades C, Aronson LJ, Tectal gliomas: natural history of an indolent lesion in pediatric patients. *Pediatr Neurosurg.*;32(1):24 9 Jan., 2000.
4. Bradley G: Yearbook of neurology and neurosurgery. Frameless systems, 1999.
5. Coutr Brown CM: Preoperative skin depilation and its effect on postoperative wound infections. *J Royal Voll Surg Edinb* 26:238 241, 1981.
6. Cormell PW: Brain tumors of disordered embriogenesis. *J Neurological Surgery*. Philadelphia, 32223 47, 1997.
7. Duffau H, Intraoperative direct subcortical stimulation for identification of the internal capsule, combined with an image guided stereotactic system during surgery for basal ganglia lesions. *Surg Neurol.*;53(3):250 4 Mar., 2000.
8. Duma C., Stereotactic Radiosurgery of Cavernous Sinus meningiomas as an Addition or Alternative to Microsurgery, *Neurosurgery* 32: 699 705, 2000.
9. Galloway R., Interactive Image Guided Neurosurgery, *IEEE Trans Biomed Eng* 39:1226 1231, 1997.

10. Gardner BP, Gordon DS: Postoperative infections in shunts for hydrocephalus: Are prophylactic antibiotics necessary? *Br Med J* 284:1914 1915, 1994.
11. Garner JS: CDC guideline for prevention of surgical wound infections, 1985. *Infect Control* 7:193 200, 1996.
12. Gulaldi NC, Kostakoglu L, Impact of radiotherapy on normal brain tissue: semi automated quantification of decrease in perfusion. *Ann Nucl Med.*;14(1):17 23. Feb., 2000.
13. Hamilton HW, Hamilton KR, Lone FJ: Preoperative hair removal. *Can J Surg* 20:269 273, 1997.
14. Lederman G, Wronski M, Treatment of recurrent glioblastoma multiforme using fractionated stereotactic radiosurgery and concurrent paclitaxel. *J Clin Oncol.*;23(2):155 9. Apr., 2000.
15. López G: Cirugía a cráneo abierto con acceso mínimo, guiado por imágenes y asistido por computadoras, Trabajo para optar por el título de Especialista en Neurocirugía. La Habana, 1998.
16. Keegan MT, Flick RP, Anesthetic management for two stage computer assisted, stereotactic thalamotomy in a child with Hallervorden Spatz Disease. *J Neurosurg Anesthesiol.*;12(2):107 11. Apr., 2000.
17. Khil MS, Kolozsvary A, Increased tumor cures using combined radiosurgery and BCNU in the treatment of 9l glioma in the rat brain. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1;47(2):511 6, May., 2000.
18. Kondziolka D., Radiobiology of radiosurgery: Part II. The rat C6 Glioma Model, *Neurosurgery* 31:280 288, 1999.
19. Metha M., Defining the Role of radiosurgery in the Management of Brain Metastases, *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 24:619 625, 1998.
20. Montes JM, Wong JH, Fayad PB, Stereotactic computed tomographic guided aspiration and thrombolysis of intracerebral

- hematoma: protocol and preliminary experience. *Stroke*.;31(4):834 40. Apr., 2000.
21. Motti E, Picralli R: Stereotactic radiosurgery, 8:45, Supl 1, 1996.
 22. Nieder C, Stereotactic radiosurgery plus whole brain radiotherapy versus radiotherapy alone for patients with multiple brain metastases: regarding Kondziolka et al. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 1;46(4):1081 2. Mar., 2000.
 23. Ochoa L. "Craneotomía y resección volumétrica", Trabajo para optar por el título de Especialista en Neurocirugía, La Habana, 1976.
 24. Reinhardt H., Sonic Stereometry in Microsurgical Procedures for deep Seated Brain Tumors and Vascular Malformations, *Neurosurgery* 32:51 57, 1998.
 25. Salva S., Braquiterapia en tumores del Sistema Nervioso Central, Trabajo para optar por el título de Especialista en Neurocirugía, La Habana, 1990.
 26. Selva J., Pupo C., Biopsia y Craneotomía dirigidas por Estereotaxia, guiada por Tomografía y asistida por computadora, Holguín, 1999.
 27. Selva J., Pupo C., Cirugía de mínimo acceso intracraneal por métodos estereotácticos, Holguín, 2002
 28. Selva J., Pupo C., Resultados del sistema Estereotáctico Cubano en Holguín. Expoanir 2003
 29. Stack BC Jr, Lowe VJ, Radioguided surgical advancements for head and neck oncology. Hardeman S. *South Med J*. 93(4):360 3. Apr, 2000.
 30. Stuart Lee K, Kelly OL Jr: Tumores del Sistema Nervioso Central. Casos reportados. *J. Neurosurgery*, 4:84, 1996.
 31. Taub E, Mathematical theory of stereotactic coordinate transformation: elimination of rotational targeting error by addition of a third reference point. Technical note. *J Neurosurg*.;92(5):884 8. May., 2000.

ANEXOS

ESCALA DE KARNOFSKY (ESTADO DE FUNCIÓN O DE VALIDEZ).

A. Capaz de desarrollar una actividad normal y de trabajar

No precisa ningún cuidado especial

100- No presenta síntomas o signos de enfermedad.

90- Capaz de una actividad normal, ligeros síntomas o signos de enfermedad.

80- Actividad normal con esfuerzo. Algunos síntomas o signos de enfermedad.

B. Incapaz de trabajar. Puede vivir en su domicilio y ocuparse de sus necesidades personales. Precisa un cierto grado de asistencia.

70- Puede cuidar de si mismo. Incapaz de desarrollar una actividad o trabajo activo normales.

60- Precisa ocasionalmente asistencia, pero es capaz de atender por si mismo a la mayor parte de sus propias necesidades.

50- Requiere asistencia y frecuentes cuidados médicos.

C. Incapaz de valerse por sí mismo. Requiere hospitalización. Rápida progresión de la enfermedad.

40- Incapacidad. Encamado. Requiere asistencia y cuidados especiales.

30- Grave incapacidad. Estado severo. La muerte no es inminente.

20- Estado grave. Intenso tratamiento de sostén.

10- Estado muy grave. Proceso fatal que progresa rápidamente.

0- Muerte.

Criterios de evaluación de respuesta en tumores sólidos:

De acuerdo a los Criterios de Evaluación de Respuesta en tumores sólidos solamente se considerarán los cambios en los diámetros mayores de los tumores (Medición unidimensional)

Nota: Las lesiones se clasificarán en medibles o no medibles usando los criterios que a continuación se describen:

Enfermedad medible:

Se define como enfermedad medible aquella que puede ser exactamente medida en al menos una dimensión (se refiere al diámetro mayor) y poseen un diámetro no menor de 10 mm y no mayor de 40 mm usando TAC espiral. Todos los tumores deben ser medidos en mm (o fracciones decimales de cm)

Enfermedad no medible:

Son todas aquellas lesiones cuyo diámetro mayor sea menor de 10 mm o mayor de 40 mm usando TAC espiral.

Lesiones múltiples del Sistema Nervioso Central con captación no homogénea, irregular del contraste, donde no se puede definir o precisar las márgenes tumorales.

Lesiones dianas:

Todas las lesiones únicas medibles menores de 40 mm, que reúnan los criterios de inclusión en el protocolo, deben ser identificadas como lesiones dianas, registradas y medidas antes de comenzar el estudio. Estas mediciones deben ser utilizadas como referencia para caracterizar la respuesta objetiva antitumoral basada en el comité de criterio de evaluación de respuesta en

tumores sólidos, tomando como parámetro la estabilización y progresión o recidiva.

TAC convencional: Estas técnicas deben ser realizadas con cortes contiguos de 3 mm o menos de grosor. La TAC espiral debe ser realizada usando un algoritmo de reconstrucción de 3 mm contiguos.

Criterios de respuesta:

Evaluación de las lesiones dianas:

Enfermedad Progresiva: Incremento de al menos el 20% en la suma de los diámetros mayores de las lesiones diana, tomando como referencia la suma más pequeña de diámetros mayores registrada desde el inicio del tratamiento o la aparición de una o más nuevas lesiones.

Enfermedad Estable: Reducción no suficiente para calificar como respuesta parcial o incremento insuficiente para calificar como enfermedad progresiva, tomando como referencia la suma más pequeña de diámetros mayores desde el inicio del tratamiento.

Enfermedad Progresiva: Aparición de una o más de nuevas lesiones y/o progresión inequívoca de las lesiones no-dianas existentes.

En algunas circunstancias, puede ser difícil distinguir la enfermedad residual del tejido normal. Cuando la evaluación de la respuesta completa dependa de esta determinación, se recomienda el estudio de la lesión dudosa (aspiración por aguja fina o biopsia), antes de confirmar la respuesta completa.

CLASIFICACIÓN DE LOS TUMORES CEREBRALES

Criterio de Malignidad Biológica

Malignidad biológica: Se caracteriza por la topografía de la lesión. A mayor profundidad en el SNC, mayor malignidad.

Clasificación:

La clasificación de las neoplasias del SNC ha sido realizada de diferentes maneras, dependiendo del concepto de las células de origen. Estos conceptos continúan variando con la Biología Molecular. Según las células de origen, la malignidad citológica es una evaluación morfológica en un pleomorfismo citológico y nuclear, la celularidad, necrosis, mitosis y capacidad de invasión, y la malignidad biológica es la probabilidad de que el tumor sea letal para el paciente.

Kernohan y colaboradores en el año 1949 modificaron la clasificación de Baily y Cushing de 1929, y se basaron en la clasificación de Broders para los tumores epiteliales de otras localizaciones, realizando una clasificación en grados de malignidad de los tumores neuroectodérmicos del I al IV; siendo su objetivo principal dar una evaluación pronóstica. Sin embargo, la muestra del tumor puede no ser representativa del mismo en su totalidad: Ejemplo, el astrocitoma pilocítico del cerebelo no tiene el mismo potencial anaplásico de un astrocitoma cerebral y de otros tumores también clasificados en grado I.

La clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 1979 es satisfactoria desde el punto de vista clínico y terapéutico. La clasificación de Daumas-Dupont descansa en criterios histológicos que incluyen: atipia celular, mitosis, proliferación endotelial y necrosis. La dividen en grados:

I - que no tiene las características anteriores, II - que tiene una de las características, III - que tiene dos características y IV - que tiene tres y más características. Además, se ha realizado una clasificación basada en el sistema TNM de la UICC y otra que se basa en astrocitomas bien

diferenciados, astrocitomas anaplásicos y glioblastomas multiformes, así como otras clasificaciones. Ninguna clasificación basada en criterios puramente histológicos es satisfactoria si no se conoce bien y no se indica el grado de malignidad del tumor y la probable evolución.

Diagnóstico por imágenes:

Radiografía simple de cráneo: Donde se puede observar calcificaciones que aparecen en los meningiomas, craneofaringiomas, oligodendrogliomas, pinealomas, etc.

Tomografía Axial Computarizada y con contraste: Donde se puede observar extensiones del tumor tanto como haya sido rota la barrera hematoencefálica, grado del tumor, combinación de áreas hipodensas y necrosis.

Resonancia Magnética Nuclear: Donde se observa cambios en el parénquima cerebral y buena observación de las estructuras normales.

Angiografía cerebral: Observación del patrón vascular típico, malformaciones arteriovenosas.

Otras: Mielografía, yodoventriculografía, gammagrafía, cámara de positrones y cámara gamma.

En el 50% de los casos el diagnóstico es clínico y en las lesiones difíciles de alcanzar se utiliza la biopsia estereotáctica.

Pronóstico:

El pronóstico de los tumores cerebrales primarios se determina por el tipo histológico, el grado tumoral, el tamaño del tumor postoperatorio, la localización, la edad del paciente y la evolución y duración de los síntomas. Con diferentes modalidades de tratamiento.

REQUISITOS PARA INICIAR EL TRATAMIENTO POR RADIACIONES IONIZANTES:

El paciente debe ser remitido con un resumen de historia clínica, donde conste el diagnóstico histológico, la descripción del acto operatorio, el volumen tumoral (alto, ancho, distancia anteroposterior) antes y después de la operación, el por ciento de exéresis quirúrgica, diagramas de localización, así como TAC y RMN, si la tuviera.

Campo de irradiación o puerta de entrada:

En los tumores de bajo grado de malignidad, tratar de irradiar la menor cantidad posible de tejido normal con técnicas que sólo irradien el tumor (filtros en cuñas, técnicas con ángulos, etc). Cuando son quísticos y se han extirpado totalmente no irradiar si son de bajo grado de malignidad. Existen estructuras como la vaina del nervio óptico asiento de Astrocitomas, que es difícil de irradiar por el daño a las estructuras del globo ocular. En los tumores potencialmente malignos grado II, si no están cerca de la línea media o no cruzan ésta, se debe irradiar dando mayor peso al lado donde se encuentra la lesión o con técnicas que no irradien el lado donde no se encuentra el tumor; y cuando cruzan la línea media irradiar con igual peso a ambos lados. En la mayoría de los tumores en la zona de irradiación, tomar el área tumoral más el límite de seguridad que va desde 1 a 3 cm fuera del mismo (volumen blanco).

En los tumores que diseminan a través del líquido cefalorraquídeo (LCR) es necesario irradiar, además del encéfalo, todo el eje cerebroespinal (meduloblastoma, algunos ependimomas, el papiloma maligno de los plexos coroides). La irradiación de todo el encéfalo también se puede aplicar en el Astrocitoma Anaplásico maligno grado III, en el Glioblastoma Multiforme, en el Oligodendroglioma Anaplásico Maligno. Para irradiar la médula espinal se debe tener radiografías en posición lateral estrictas para poder

determinar la profundidad de la misma a los niveles cervical, dorsal, lumbar y sacro desde la piel.

Órganos críticos para la irradiación:

Encéfalo: Hipófisis, Hipotálamo, Tronco encefálico, Tejido cerebral, Ojos (cristalino, retina), Cerebelo.

Médula Espinal: Médula espinal como tal, en la región cervical el tiroides, en la región dorsal el mediastino y la médula ósea, en la región lumbar el intestino delgado y el grueso, y en la región sacra los ovarios. También las vértebras.

Asimismo, también la piel, el cuero cabelludo (que comienza a perderse a partir de 25 Gy y cuya pérdida es definitiva a partir de los 40 Gy), el pabellón auricular, etc.

Dosis de irradiación:

Encéfalo:

- En niños menores de 2 años de edad no está indicada la irradiación
 - En niños de más de 2 años y hasta 3 años: 20 Gy
 - Mayores de 3 años y hasta 15 años: hasta 50 Gy.
 - Adultos: Dosis total de 50 a 60 Gy

En los casos de irradiación de todo el encéfalo en los adultos la dosis es de 46 Gy a 50 Gy más una dosis suplementaria con campo reducido al tumor de 10 Gy a 20 Gy, y en los niños a todo el encéfalo es de 25 Gy más una dosis suplementaria al tumor de 10 Gy a 20 Gy.

Astrocitoma subependimario de células gigantes (tumor ventricular de la esclerosis tuberosa) grado I

Aparece en los jóvenes como parte del complejo de la Esclerosis Tuberosa y se localizan en la parte media del suelo del ventrículo lateral, dando lugar a la obstrucción del agujero de Monro. El tratamiento es la cirugía y, si existen restos tumorales, añadir irradiación.

Astrocitoma fibrilar, protoplasmático, gemistocítico. Grado II

Crecimiento lento, son más infiltrantes que el pilocítico y el subependimoma y pueden ir hacia formas anaplásicas; siendo el gemistocítico el que más lo hace. El tratamiento es la cirugía más la irradiación. La supervivencia a los 5 años, 41-51%.

Astrocitoma. Grado III-IV

Existen dudas en relación con esta entidad patológica, son raros, aparecen en la tercera y cuarta década de la vida y generalmente malignos. El tratamiento es a) cirugía más irradiación de todo el encéfalo b) cirugía más irradiación con campos amplios, c) cirugía más irradiación más quimioterapia.

Puede ser difícil de distinguir del Glioblastoma, aunque tiene mejor pronóstico que este. El tratamiento es a) cirugía más irradiación de todo el encéfalo, b) cirugía más irradiación con campos amplios, c) cirugía más irradiación más quimioterapia. Supervivencia a los 5 años, 18-48%.

TUMOR DE LA OLIGODENDROGLIA

Variantes: 1- Oligodendroglioma, 2- Oligodendroglioma con astrocitoma, 3- Oligodendroglioma anaplásico maligno.

Oligodendriogloma grado I: Son de crecimiento lento durante años. Presentan a menudo calcificaciones. El más frecuente es el grado II. Tratamiento: cirugía más radiación. Supervivencia a los 5 años, 70-85%.

Oligoastrocitoma grado II: Es una mezcla de Oligodendroglioma y astrocitoma. El tratamiento es la cirugía más irradiación.

Oligodendroglioma anaplásico maligno grado III: Puede transformarse en un tipo sumamente anaplásico, siendo entonces difícil de distinguir del glioblastoma. El tratamiento es a) cirugía más irradiación de todo el encéfalo, b) cirugía más irradiación con campos amplios, c) cirugía más irradiación más quimioterapia. Supervivencia a los 5 años, 17-43%.

TUMORES EMBRIONARIOS Y POCO DIFERENCIADOS

1-Glioblastoma grado IV. Variantes: a) Glioblastoma con componentes sarcomatosos (Glioblastoma con sarcoma) y b) Glioblastoma de células gigantes (Glioblastoma Monstruo Celular).

Son de crecimiento rápido muy celulares, presentan necrosis y son frecuentes en adultos. El Astrocitoma, el Oligodendroglioma y el Ependimoma pueden terminar en un Glioblastoma. Tratamiento: cirugía más irradiación de todo el encéfalo y cirugía más irradiación con campos

amplios, y cirugía más irradiación más quimioterapia. Supervivencia a los 5 años: hasta el 20%.

Debemos plantear que utilizamos la clasificación de Kernohan modificada: Bajo grado de malignidad, Alto grado y Glioblastoma Multiforme.

En las fotos se muestran tumores de alto grado de malignidad (Fig. 1, Fig.2, Fig. 3, Fig. 4).

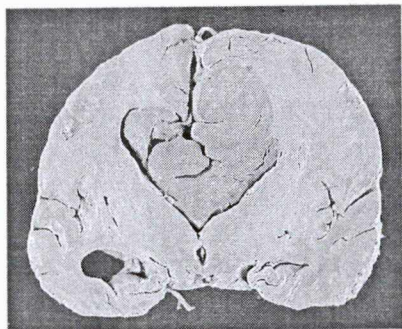


Fig. 1

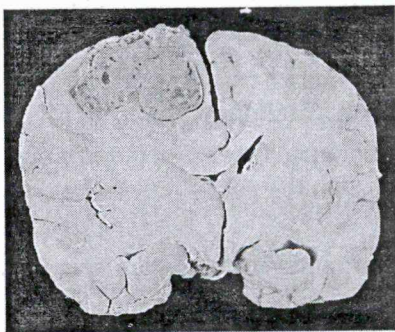


Fig. 2

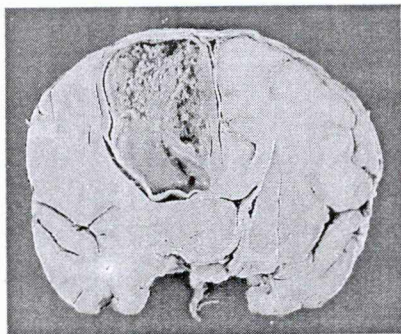


Fig. 3

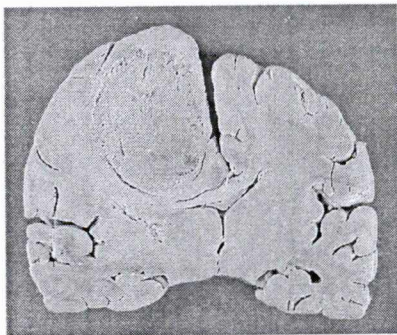


Fig. 4

* Cortesía del Museo de Cerebro del Instituto Nacional de Ciencias Neurológicas de Lima - Perú.

COMPLICACIONES DEL TRATAMIENTO POR IRRADIACIÓN

Encéfalo:

Respuesta temporal (al inicio o al final del tratamiento) cefaleas, vómitos, náuseas, desorientación.

Síndrome de somnolencia, Freeman 1973 (en niños)

Síndrome temprano de desmielinización (5500 cGy) náusea, vómitos, ataxia, disartria, disfagia, nistagmus, Romberg.

Necrosis tardía del cerebro.

Radionecrosis: Síndrome de Brown-Sequard por desmielinización local o difusa.

Además, se produce: Enanismo, trastorno del desarrollo de la columna vertebral con aplastamiento de vértebras y desviación en "S" itálica, deficiencia en el desarrollo intelectual y hormonal, disfunción primaria tiroidea.

ASPECTOS FÍSICOS DE LA PLANEACIÓN

Técnica:

La radioterapia de tumores localizados en el cráneo requiere mucho cuidado en el posicionamiento de la cabeza para garantizar la reproducibilidad diaria. La parte posterior del cráneo es redondeada y tiende a rodarse fácilmente de un lado a otro, mientras que la mandíbula tiende a moverse hacia arriba y abajo. Además, los pacientes que requieren irradiación del SNC generalmente presentan dificultades para mantenerse quietos durante el tratamiento.

Se puede resumir que las modalidades más empleadas en la irradiación de tumores en el cráneo, en dependencia del grado y tipo histológico, son las siguientes:

- Irradiación Cerebral Total
- Irradiación Cerebral Parcial
- Irradiación de la Médula Espinal
- Irradiación Cerebral más Médula Espinal

Localización:

Los tumores en los lóbulos frontales pueden ser tratados con el paciente decúbito supino, aunque, en caso de tumores más posteriores o en las regiones temporoparietales, pudiera colocarse en posición decúbito prono o lateral, respectivamente.

Localización con TAC:

Este medio imagenológico es muy recomendado cuando será utilizada una técnica de reducción o reimpresión de campos, así como cuando se pretende emplear más de dos puertos de entrada de campos.

El paciente debe ser colocado en la camilla del tomógrafo en la misma posición en que será tratado, empleando los mismos soportes e inmovilizadores y marcar sobre el paciente el nivel del corte de referencia, realizando este marcaje con materiales radioopacos que no introduzcan ruidos de “artefacto” en la imagen, los cuales deben permanecer hasta el proceso de simulación y/o planeación, con vistas a que sirvan de referencia para la entrada de los campos de radiación.

Localización con Radiografía Convencional:

Si no se dispone de TAC, se requiere tomar del contorno externo del paciente por métodos convencionales (cinta plomada, banda de yeso, etc.) en el nivel de corte de referencia. Se procede entonces a la realización de placas radiográficas ortogonales a la región de interés, empleando para ello una malla de localización y marcadores radioopacos sobre la piel en el nivel de referencia, así como indicadores del grado de magnificación de la placa.

Sobre la base de la información clínica y radiológica se dibujará el Volumen Blanco Clínico sobre las radiografías. Luego, a partir de las referencias de los marcadores en piel y la malla localizadora, se transfiere el Volumen Blanco de Planeación al corte transversal.

Planeación:

Con el corte de planificación del paciente, adquirido por cualquiera de las vías conocidas (TAC, RX convencional, atlas anatómico u otro método) se escogerá una técnica isocéntrica o a DFS constante en dependencia de las características de la unidad de tratamiento. El centro de los campos se colocará a partir de las referencias en piel realizadas durante la localización y/o simulación.

Irradiación Cerebral Total:

Para la irradiación de todo el encéfalo se puede emplear una técnica conocida con el nombre de campos en “figura o escalera” (fig.1a) donde se

utilizan campos rectangulares amplios con protección de los ojos y partes blandas de la cara. La conformación de esta "figura o escalera" que cubre todo el encéfalo y que comienza a 1 o 2 cm de la línea media frontal, sigue el borde superior de la órbita hasta el borde externo de la misma, bajando desde ahí hasta el arco zigomático y sigue en línea recta hasta alcanzar el borde externo del conducto auditivo bajando en ángulo recto hasta encontrar una línea recta que viene desde el límite inferior de la nariz y desde ahí hacia atrás hasta el agujero occipital; o la primera y segunda vértebra cervical. También existe una técnica similar en la cual sólo se protegen los ojos y se rota el colimador para cubrir todo el encéfalo y eludir las partes blandas de la cara como se muestra en la fig.1b. Para este último caso, cierta flexión del cuello proyectando la barbilla hacia adelante podría ayudar a lograr dicho objetivo. Si esta técnica se realiza sin rotación del colimador no se requiere flexión del cuello. Las dosis serán reportadas según las recomendaciones del ICRU-50 (ICRU, del inglés International Commission on Radiation Units: Comisión Internacional de Unidades Radiológicas)

Irradiación Cerebral Parcial:

La irradiación de una porción del encéfalo es empleada generalmente como segunda fase de la irradiación cerebral total, como medio de reimpresión ("*boost*") de dosis sobre el Volumen Tumoral Grueso (VTG) en sí, con márgenes de 1-2 cm alrededor de este. En algunos casos también se emplea como única fase, tales como tratamientos paliativos de metástasis, astrocitomas de bajo grado de malignidad, tumores de la glándula pituitaria, etc. En los tumores de alto grado de malignidad el margen debe llegar hasta 3 cm alrededor del VTG.

La técnica de irradiación varía según la ubicación del tumor. Si está en línea media se puede emplear 2 campos contrapuestos laterales como se muestra en la fig.2a, y en caso que con dicha técnica no se cumplan los criterios de homogeneidad recomendados en el ICRU-50 (que la variación de dosis dentro del Volumen Blanco de Planeación (VBP) no sea mayor de un 10%), se puede filtrar con cuñas, generalmente de 30 grados, los campos laterales y agregar un tercer campo anterior o posterior, en dependencia de la ubicación del tumor en esta dirección, sin filtro (ver fig.2b). En caso de ser necesario,

también se diferenciarían los pesos de los campos laterales respecto al campo anterior o posterior, generalmente siendo este último el de mayor peso.

Para tumores localizados fuera de la línea media, ya sea lateralizados en línea media antero-posterior o fuera de esta, se emplean diferentes técnicas que van desde el uso de campos angulados y filtrados con cuñas hasta campos simples directos como pueden apreciarse en las figuras 3,4,5,6 y 7.

Para los tumores de la región hipofisaria se pueden emplear dos técnicas fundamentalmente. La primera consiste en irradiar la hipófisis con dos campos contrapuestos pequeños sin filtros en cuña y la segunda es similar a esta, pero agregando un campo simple anterior. En las fig. 8 y 9 se puede observar la distribución de las curvas de isodosis correspondientes a ambas técnicas.

FIGURAS

A)

b)

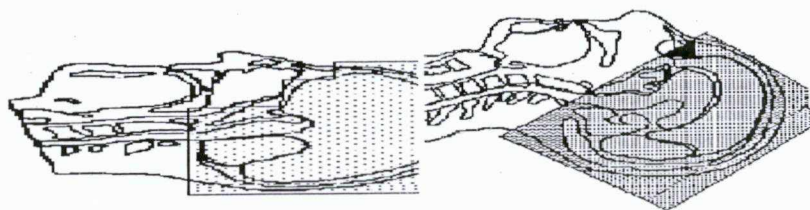


Fig. 1. Técnica de irradiación de todo el encéfalo a) con campo en figura, con protección de los ojos y partes blandas de la cara y, b) con campo rectangular, sólo con protección de los ojos.

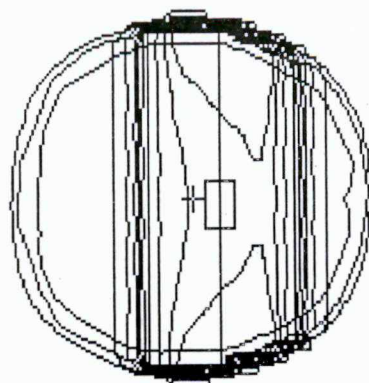


Fig. 2. Tumor de la línea media. Técnica de dos campos contrapuestos con igual peso, con Co-60 y DFS = 80 cm.

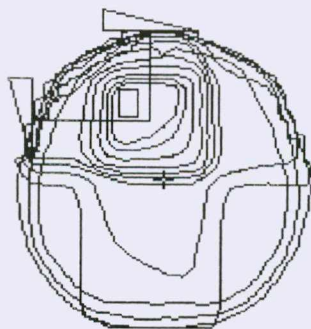


Fig 3. Tumor de la región frontal de bajo grado de malignidad que no llega a la línea media. Técnica con dos campos con filtros en cuña angulados a 90 grados, con Co-60 y DFI = 80 cm.

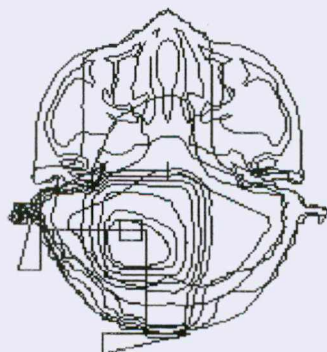


Fig.4. Tumor de la fosa posterior (Cerebelo, un solo hemisferio) de baja malignidad que no llega a línea media. Técnica para irradiar solamente el tumor y el límite de seguridad. Dos campos angulados a 90 grados con filtros en cuña, con Co-60 y DFI = 80 cm.

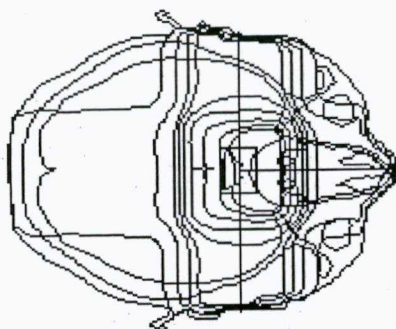


Fig. 9. Tumor de la línea media, región sellar (Hipófisis). Técnica de tres campos, dos laterales y uno anterior frontal con protección ocular con Co-60, DFS = 80 cm.

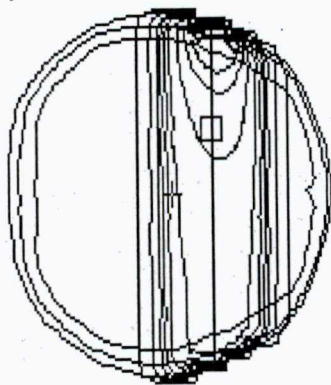


Fig. 6. Tumor de un lóbulo cerebral que no llega a la línea media de bajo grado de malignidad. Técnica de dos campos contrapuestos dando mayor peso al campo del lado donde se encuentra la lesión, con Co-60 y DFS = 80 cm.

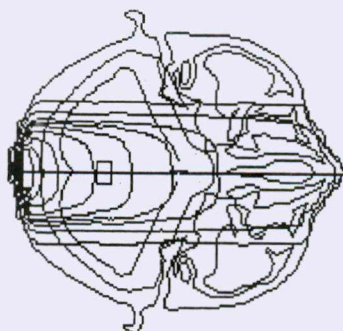


Fig. 7. Tumor del Vermis Cerebeloso o Cuarto Ventrículo (Meduloblastoma, Ependimoma) Campo suplementario posterior para complementar dosis, con Co-60 y DFS = 80 cm. Límites del campo: Superior-Protuberancia occipital externa, Inferior-Agujero occipital.

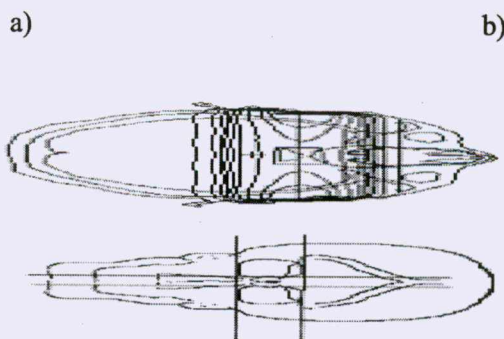


Fig. 8. Tumor de la línea media, región Sellar (Hipófisis). b) Técnica de dos campos contrapuestos con Co-60, DFI = 80 cm, b) Zona de irradiación para el tratamiento de la hipófisis.

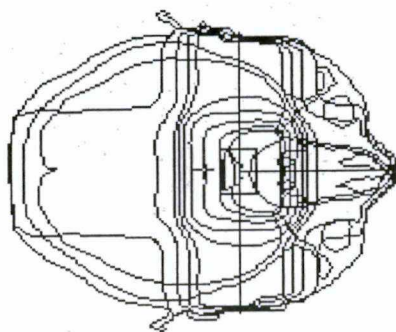
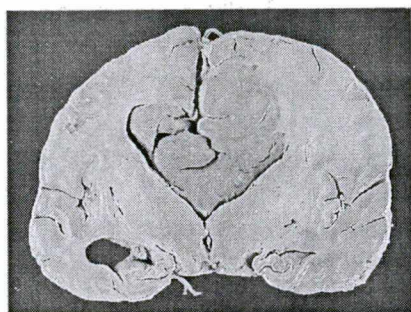


Fig. 9. Tumor de la línea media, región sellar (Hipófisis). Técnica de tres campos, dos laterales y uno anterior frontal con protección ocular con Co-60, DFS = 80 cm.



GLOSARIO

Actividad: En una cantidad dada de una sustancia radiactiva, número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo.

Braquiterapia: Es el tratamiento radioterápico, que consiste en la colocación de fuentes radiactivas encapsuladas dentro o en la proximidad de un tumor (distancia "corta" entre el volumen a tratar y la fuente radiactiva).

Coordenadas cartesianas: Coordenadas utilizadas en la cirugía estereotáctica para localizar los puntos de interés.

Curvas de isodosis: Curvas de igual valor de dosis para el tratamiento radiante al paciente.

Dosimétrico: Perteneciente o relativo a la dosimetría, que es la medida de la acumulación de una radiación ionizante.

Endoscópico: Relativo a la técnica de exploración visual de una cavidad o conducto del organismo.

Estereotaxia: Técnica que permite la localización y acceso preciso de estructuras intracraneales a través de apenas un pequeño orificio en el cráneo o dirigir la craneotomía en otro tipo de intervenciones quirúrgicas.

Fuente radiactiva: Sustancia o equipo emisor de radiaciones.

Ionización: Disociación de una molécula en iones o conversión de un átomo o molécula en ión.

Ionizante: Capaz de producir el fenómeno de ionización.

Iridio: Es un elemento químico de número atómico 77 que se sitúa en el grupo 9 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Ir. Se trata de un metal de transición, del grupo del platino, duro, frágil, pesado, de color blanco plateado.

Isótopo: Cada uno de los elementos químicos que poseen el mismo número de protones y distinto número de neutrones. Todos los isótopos de un elemento ocupan el mismo lugar en la tabla periódica y poseen las mismas propiedades químicas.

Lluvia radiactiva: Deposición de partículas radiactivas, liberadas en la atmósfera por explosiones nucleares o escapes de instalaciones y centrales nucleares, sobre la superficie de la Tierra.

Marco estereotáctico: Aditamento que se fija al cráneo del paciente para la cirugía estereotáctica.

Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA): Pertenecer a los órganos conexos del Sistema de las Naciones Unidas. Tiene como objetivo el asegurar que la asistencia prestada no se utilice con fines militares, establece normas de seguridad nuclear y protección ambiental, ayuda a los países miembros mediante actividades de cooperación técnica y alienta el intercambio de información científica y técnica sobre la energía nuclear.

Período de semidesintegración: Período en el que la intensidad de la radiactividad pasa a ser la mitad de su valor original.

Radiación electromagnética: Ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica.

Radiactividad: Fenómeno físico natural o artificial, por el que algunas sustancias o elementos químicos llamadas radiactivos, son capaces de emitir radiaciones, las cuales tienen la propiedad de impresionar placas fotográficas, ionizar gases, producir fluorescencia, atravesar cuerpos opacos a la luz ordinaria, etc.

Radio: Del latín, radius, "rayo", de símbolo Ra, es un elemento metálico radiactivo, blanco plateado y químicamente reactivo. Pertenecer al grupo 2 (o IIA) del sistema periódico, y es uno de los metales alcalinotérreos. Su número atómico es 88.

Radioterapia: Tratamiento de las enfermedades, y especialmente del cáncer, mediante radiaciones.

Rayos cósmicos: Partículas subatómicas procedentes del espacio exterior, que tienen una energía elevada debido a su gran velocidad.

Rayos X: Radiación electromagnética penetrante, con una longitud de onda menor que la luz visible, producida bombardeando un blanco generalmente de wolframio con electrones de alta velocidad.

Semivida: Vida media, tiempo en que se reduce a la mitad el número de átomos.

Sievert (símbolo Sv): Es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades de dosis de radiación. Definida como la dosis recibida en una hora a una distancia de 1 cm desde una fuente de 1 mg de radio en una placa de platino de 0,5 mm de espesor.

Software: Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.

Tumor oncogénico: Tumor maligno.

Uranio: De símbolo U, es un elemento metálico radiactivo, principal combustible de los reactores nucleares. Su número atómico es 92 y es un miembro de los actínidos del sistema periódico.

Quimioterapia: Es, de forma general, cualquier tratamiento médico basado en la administración de sustancias químicas (fármacos). En medicina se llama tratamiento quimioterápico al que se administra para curar la tuberculosis, algunas enfermedades autoinmunes y el cáncer. El término quimioterapia suele reservarse para los fármacos empleados en el tratamiento de las enfermedades neoplásicas, que tienen como función el impedir la reproducción de las células cancerosas. Dichos fármacos se denominan citostáticos o citotóxicos.

INDICE

Prólogo	7
Una anécdota necesaria	9
Introducción	11
Algo de historia	13
Los isótopos	14
Estereotaxia	16
Ventajas - Procedimiento	17
Preparación psicológico - sanitaria	18.
Particularidades individuales del sujeto	18.
Valor que otorgue el paciente a su enfermedad.	19
Proceder médico a emplear	19
Evaluación de los resultados de la preparación psicológica a la operación	20.
La preparación sanitaria	21
Planeamiento quirúrgico	23
Intervención quirúrgica	24
Braquiterapia	25
Clasificación de la braquiterapia	27
Radiactividad	28
Descubrimiento	30
Radiación natural	32
Radiación artificial	34.
Tipos de radiación	35
¿Cómo se puede medir la radiactividad?	38
¿Cuánto dura la radiactividad?	48
¿Cómo afecta la radiactividad a las personas?	49
Programa de protección radiológica	55
Garantía de calidad	62
Ponencia	63
Documentos necesarios para ejercer la práctica con material radiactivo (IRIDIO - 192)	68
Conclusiones	75
Recomendaciones	76
Tabla N° 1 - Tabla N° 2	77
Tabla N° 3 - Tabla N° 4	77
Tabla N° 5	78
Protocolo de investigación	79
Bibliografía	89
Anexos	93
Glosario	115
Indice	119

Este libro se terminó de imprimir
el mes de Mayo del 2006 en la
Imprenta Editorial Asencios,
Jr. Cusco 751-A
Lima - Perú.



Cristo Pobre