

AVANCES TECNOLOGICOS EN TERAPIA RADIANTE

Dra. Elsa Cristina Raslawski

Luego del descubrimiento de los Rayos-X por Röntgen en el año 1895, otros investigadores comenzaron a analizar si las sustancias naturales también emitían radiaciones; esto dio lugar al descubrimiento de la radioactividad por parte de Becquerel en 1896 y al aislamiento del radium por Marie y Pierre Curie en 1898.

En la práctica y de forma casi inmediata se descubrió que las radiaciones producían efectos biológicos, tal como se demostró en los cambios cutáneos producidos en las manos de los propios investigadores, lo que llevó al estudio de estos fenómenos desconocidos hasta ese momento. Es así que, poco tiempo después del descubrimiento de las radiaciones en 1899 se inició el camino de la terapéutica con radiaciones; no se sabe con precisión quienes fueron los primeros en utilizar las radiaciones para el tratamiento del cáncer.

Es innegable que los primeros tratamientos fueron realizados en tumores superficiales antes del inicio del siglo XX. La tecnología de producción de los tubos de Rayos-X mejoró rápidamente y en el año 1920 se disponía ya de equipos para terapia de forma reproducibles. A fines de ése año se definió la primera unidad de medida de la radiación, el Röntgen, y la ciencia clínica y terapéutica de la radioterapia sentó las bases para realizar los enormes avances que siguieron evolucionando hasta el día de hoy. Es en 1922 cuando la Oncología se establece como disciplina médica.

La transformación se fue haciendo gradual y paulatinamente. Durante la primera mitad del siglo XX, los haces de radiación eran de baja energía, (150 - 300 kV) y si bien penetraban con cierta profundidad en los tejidos, la energía máxima se depositaba en la piel. Esto era ideal para las lesiones superficiales, pero limitaba en forma importante el tratamiento de masas ubicadas en profundidad. Para irradiar estos tumores profundos, era necesario administrar la radiación desde distintos ángulos, permitiendo que la energía de los distintos haces se sumara en el centro del tumor.

En la década del 1950, la radioterapia entró en la era del megavoltaje. Con la llegada de la primera bomba de cobalto, los radioterapeutas disponían de un haz de más de un millón de electron voltios (MV); con éste haz, la dosis máxima se obtenía a 5mm por debajo de la piel, con lo cual la piel dejó de ser una estructura limitante de la dosis; estas máquinas de cobalto añadían otra novedad a los tratamientos radiantes que es el tratamiento isocéntrico ya que la cabeza de la máquina podía rotar 360° alrededor del paciente. Hace 60 años los tratamientos radiantes consistían en irradiar con la dosis óptima a los tumores malignos. Conceptualmente en la Argentina se desconocía la importancia de un equipo simulador de tratamientos radiantes; tampoco era frecuente realizar radiografías de la zona a irradiar con el equipo de tratamiento, la cual se utiliza para verificar la exactitud de la aplicación de las radiaciones y utilizar dicha radiografía como documento del tratamiento radiante realizado.

Los pacientes eran tratados a lo sumo con dos

Jefe Servicio Terapia Radiante.
Hospital de Pediatría Juan P. Garrahan.

campos para un volumen tumoral casi desconocido ya que no existían la tomografía computada, la ecografía o la resonancia nuclear magnética. Se irradiaba un día un campo y al siguiente el otro, no solamente porque ésa había sido la técnica habitual, y entre otras cosas porque la mayoría de las obras sociales no reconocían más de una aplicación diaria.

Existían además dificultades en los tratamientos radiantes de los grandes volúmenes dado que los tamaños de campo máximos permitidos por la construcción de los equipos eran pequeños. Por ejemplo, en la enfermedad de Hodgkin todas las áreas ganglionares supra o infradiafragmáticas no podían incluirse en un solo campo de tratamiento, cada área ganglionar era irradiada por campos separados.

Esta situación creaba dos riesgos:

- 1- La superposición de áreas de tratamiento generaba áreas calientes o de sobredosis.
- 2- Por el contrario, separando demasiado los campos de tratamiento entre sí se creaban áreas con subdosis.

Otro de los problemas del tratamiento radiante era que al querer proteger un área determinada, esto debía realizarse con conformadores de campo convencionales y no con los conformadores de campo específicos para cada paciente.

En la mayoría de los servicios no existían profesionales físicos y los cálculos dosimétricos, y en realidad el tiempo de tratamiento para una determinada dosis, lo calculaban los médicos en forma manual. Los físicos eran contratados solamente para realizar la dosimetría de los equipos cuando se instalaban y raramente para controles dosimétricos posteriores.

Todos los servicios de radioterapia tenían equipos de radioterapia superficial y profunda, pocos servicios en cambio tenían bomba de cobalto con radio de giro de 80 cm; la mayoría poseía una bomba de cobalto con una distancia fuente piel de 60 cm ó 50 cm por lo cual, con éstas distancias no se podían realizar tratamientos radiantes isocéntricos, es decir, colocar el punto de radio de giro del equipo en el centro de la lesión, de manera que en cualquier ángulo del cabezal, el tumor fuera irradiado.

En los años 60 se disponían comercialmente de los equipos aceleradores lineales; por lo que se comenzó a utilizar haces de radiación con energías más elevadas, con niveles iniciales de 4-6 MV llegando a los niveles actuales de 25 MV y más. Con este equipamiento los isocentros están ahora a 100 cm, permitiendo la utilización de la máquina con mayor libertad en diferentes ángulos alrededor del paciente como así también con mayores tamaños de campo. La aparición de la bomba de cobalto y el acelerador lineal fueron

dos de los grandes pasos que ha dado la ciencia en éste terreno.

Con estos equipamientos las dosis de radiación ya no están limitadas por la tolerancia de las estructuras superficiales, sino más bien por la tolerancia de los tejidos normales que circundan al tumor.

Recién en el año 1978 se incorporan en la Argentina equipos aceleradores lineales y con ellos también planificadores de tratamiento radiante. Hasta la década de 1980, la planificación de la radioterapia se realizaba con radiografías simples y verificaciones en dos dimensiones. Hasta ese momento el radioterapeuta no tenía una idea clara de la localización exacta del tumor.

Adquiere entonces mayor importancia el físico en la planificación de los tratamientos radiantes y aparecen los primeros simuladores.

La calidad de los tratamientos mejoró junto con la calidad de los equipos y con las nuevas tecnologías en imágenes, como ser la tomografía computada.

A partir de estos acontecimientos se comenzó a simular y verificar a los pacientes; los planificadores de tratamientos daban más opciones para seleccionar la terapia adecuada. Es a partir de 1980, con la radioterapia conformada en tres dimensiones (RT3D), con la ayuda de la T.A.C. y de los sistemas informáticos de cálculo dosimétrico que se logran obtener imágenes virtuales de volúmenes de tratamiento.

Luego de la década de 1990, otras técnicas de imagen como la R.N.M., ecografía y P.E.T., que se han incorporado en la planificación de la radioterapia, permiten una delimitación más exacta del volumen tumoral para respetar los tejidos sanos.

Con el desarrollo de la informática y otras tecnologías las cuales fueron aplicadas a la oncología radiante comienza el nuevo paradigma de una especialidad totalmente diferente a la conocida hasta ese momento.

1. El acelerador lineal

Brinda en un mismo equipo la posibilidad de seleccionar entre una y dos energías de fotones de tal manera que de acuerdo a la profundidad del tumor y al espesor del paciente se elige el haz que va a otorgar una adecuada dosis para el mismo.

Así también los aceleradores tienen un mayor número de electrones con diferentes energías y sobre todo electrones de mayor energía de tal manera que se pueden tratar tumores más profundos y realizar una terapia combinada con electrones y fotones.

En la actualidad los aceleradores se fabrican sin contrapantalla, lo que permite una infinidad de combinaciones en forma simultánea, de dife-

rentes ángulos del cabezal y de la camilla (con la contrapantalla, determinados ángulos del cabezal y camilla son incompatibles).

Los colimadores del haz han cambiado su construcción, dejaron de hacerse exclusivamente campos de tratamiento cuadrados o rectangulares; en la actualidad hay tres variables:

1. Los colimadores simétricos, (se utilizan poco) que conforma campos cuadrados o rectangulares.
2. Los colimadores asimétricos que conforman también campos cuadrados o rectangulares pero excéntricos al haz central.
3. Los colimadores de multihojas: están compuestos por dos bloques convencionales y dos bloques transversales compuestos desde 54 a 160 láminas en una aleación de tungsteno de 1cm. o menos de espesor. A través de un sistema informático, se pueden realizar campos de todas las formas, redondos, ovals, mixtos, etc.

Como consecuencia aparece la denominada radioterapia conformada con la cual se irradia el tumor en múltiples incidencias, adoptando el campo de irradiación la forma específica de la lesión a irradiar en cada incidencia del haz, logrando irradiar el tumor con su respectivo margen a la dosis adecuada para esa histología, con una mínima dosis a los tejidos circundantes. Este aspecto es importantísimo en Pediatría porque, con ello logramos disminuir las secuelas de manera considerable, efectos estos tan indeseados de la radioterapia.

La primera introducción comercial del colimador multihojas en Europa y los Estados Unidos fue en los finales de la década del 80, por lo tanto, hay mucha experiencia en grandes centros hospitalarios del mundo sobre su construcción, uso, dosimetría e indicaciones; éste sistema ha avanzado tanto, que ya existen varios colimadores de hojas mucho más pequeños; el colimador micromultihoja que se utiliza para radiocirugía en reemplazo de los colimadores preexistentes. El colimador micromultihojas permite en radiocirugía realizar un solo blanco de tratamiento, evitando así los múltiples blancos con una mayor uniformidad de dosis.

Para lograr la homogeneidad de la dosis, se debían utilizar los filtros en cuña, es decir filtros de radiación con forma de cuña en el sentido perpendicular al haz, de tal manera que por debajo del extremo grueso de la cuña hay poca dosis y debajo del extremo fino hay una alta dosis de radiación, en la actualidad se introduce en el mercado las cuñas virtuales incorporadas en el colimador del equipo dirigida por un software, con la ventaja de poder manejarse en todas las direc-

ciones del colimador y poder utilizar múltiples ángulos de cuña.

Además si se desea una dosis diferente a otra en una zona del tumor o se interpone en el haz un área crítica, se puede aplicar la "intensidad modulada de dosis".

La modulación de la intensidad de dosis (IMRT) fue aplicada por muchos años en Radioterapia con los filtros en cuña, podía lograrse la modulación de la intensidad de dosis en una sola dirección, pero el uso de ésta técnica tiene muchas limitaciones.

Los avances de la tecnología en computación y con la posibilidad del movimiento independiente de cada hoja del colimador multihoja transformó a la intensidad de modulación de dosis en una realidad clínica.

El colimador multihoja, permite realizar los tratamientos radiantes conformados, y con la modulación de la intensidad de dosis, se puede realizar el tratamiento radiante óptimo en pediatría, que es aplicar la mayor dosis al volumen tumoral con la mejor protección de los órganos vecinos.

Estas técnicas de intensidad modulada permiten el incremento de dosis hasta niveles prohibitivos para otras técnicas de irradiación mejorando el control local de algunos tumores, pero sobre todo mejora los efectos secundarios.

Para mejorar la calidad del tratamiento de los pacientes en cuanto a la verificación de la exactitud del posicionamiento, de la localización y colocación de los conformadores de campo se pueden capturar imágenes digitales durante el tratamiento y compararlos con la simulación original y/o acumularse durante todo el tratamiento de cada uno de los pacientes a fin de evaluar su precisión.

2. Simuladores de tratamiento

Hoy día no se simula a los pacientes con una imagen radiográfica plana sino por intermedio de imágenes tridimensionales con el simulador virtual, en donde podemos observar la imagen del volumen tumoral en el paciente en todas sus direcciones. Se puede delimitar, contornear, etc., la lesión y todas las estructuras vecinas, logrando un campo de tratamiento óptimo. A esta simulación se agregan dispositivos inmovilizadores de los pacientes como las máscaras descartables de cabeza y cuello, tórax, abdomen y pelvis y miembros. Las sesiones de terapia radiante deben realizarse con las máscaras dado que con esta modalidad hay mayor precisión en la repetibilidad de la simulación al tratamiento y entre los tratamientos, ya que evita todo tipo de movimiento externo del paciente (no evita el movimiento de los órganos).

Se pueden diferenciar por los distintos pasos

los métodos de simulación tradicional y el nuevo proceso de simulación:

- A. Simulación tradicional: inmovilización - fluoroscopia - parámetros anatómicos - marcación, de la radiografía, plan de tratamiento Standard, evaluación del plan, simulación, verificación, tratamiento del paciente.
- B. Nuevo proceso de simulación: inmovilización - T.A.C./ coordenadas / marcaciones - plan de tratamiento - simulación virtual / definición del volumen blanco / definición de los blancos normales - evaluación de los planes - optimización del plan de tratamiento - documentación del plan - simulación / verificación - tratamiento del paciente.

3. Planificadores de tratamiento

Las primeras planificaciones de los tratamientos radiantes se realizaban determinando el contorno de la superficie externa del cuerpo en forma manual. Esto se hacía moldeando un alambre de soldadura sobre la superficie externa a irradiar, luego cuidadosamente se retiraba el alambre moldeado y se dibujaba el contorno obtenido en una gran hoja de papel. Mediante la transposición de la localización de las estructuras normales a partir de radiografía obtenidas en distintos ángulos, se podía localizar aproximadamente la situación de estructuras importantes dentro de ese contorno corporal externo. Cuando se necesitaba un haz de un tamaño y dirección específica, se tomaba de las tablas la gráfica de las regiones de igual dosis (isodosis) y se colocaban en el dibujo del contorno del paciente. Si había necesidad de varios campos, se agregaban las curvas de isodosis adicionales para luego, en el lugar en donde las curvas de isodosis se superponían se sumaban las dosis obteniéndose así la planificación del tratamiento en forma totalmente manual. Este proceso obviamente era muy lento y requería mucho tiempo.

La planificación computarizada del tratamiento se inició a fines de los años 60, los perfiles de los haces se almacenaban en una computadora y se podía adaptar al contorno del paciente de manera rápida. Las primeras computadoras podían sumar las dosis de los múltiples haces en pocos minutos, sin embargo, la planificación se basaba en un solo corte transversal que se dibujaba a mano y cuya precisión era cuestionable. Este único corte se trataba como si representara todo el problema terapéutico.

Con la llegada de la T.A.C. la planificación de los tratamientos cambió rápidamente. Las imágenes son geométricamente precisas, y se ve en forma perfecta la estructura del paciente. Además se dispone con facilidad de múltiples cortes transversales del paciente en distintos niveles. No

obstante en las décadas del 70 y 80, la planificación se basaba en un solo corte transversal a través del centro del tumor o eventualmente con la adición de uno o más cortes por arriba y por debajo del plano central.

Es a mediados de los años 80 que se pueden obtener comercialmente sistemas diagnósticos que reproducían imágenes reconstruidas en tres dimensiones o 3D. Esto fue tomado rápidamente para la planificación de los tratamientos radiantes.

No obstante el proceso fue mucho más complejo en la radioterapia oncológica que en la radiología diagnóstica, por los siguientes motivos:

1. Las imágenes utilizadas para la planificación de la radioterapia, tenían que ser geométricamente precisas, porque las distorsiones de la forma, tamaño o la localización de las estructuras, podía afectar espectacularmente los cálculos de dosis y provocar potencialmente complicaciones.
2. Era necesario mostrar los haces de radiación sobre estructuras tridimensionales es el espacio 3-D. Esto significaba que los haces tenían que mostrarse con toda su divergencia en las tres dimensiones.
3. Era necesario poder calcular y mostrar una dosis de radiación en tres dimensiones. Esto significó crear un software que pudiera reconocer cuándo los objetos anatómicos estaban dentro o fuera del haz de radiación, creando modelos computarizados de distribución de dosis en tres dimensiones calculando y mostrando las dosis en 3-D en forma rápida y precisa.

La planificación del tratamiento en tres dimensiones ha proporcionado a los radioterapeutas oncológicos, a los físicos y a los dosimetristas la capacidad para utilizar una variedad de novedosas técnicas para planificar la dosis de radioterapia.

Estos avances permitieron:

1. El uso de múltiples cortes transversales: esto permitió planificar el tratamiento en todos los cortes transversales del volumen de interés.
2. Integración de todas las modalidades de imagen transversal: es decir integrar las imágenes modernas a la oncología además de la T.A.C. la resonancia nuclear magnética (R.N.M.) la tomografía computarizada de emisión de fotones (S.P.E.C.T.) o la emisión de positrones (P.E.T). La R.N.M. se ha convertido en un elemento indispensable para la planificación terapéutica especialmente en los tumores del sistema nervioso central. En los sistemas de planificación de la radioterapia bi-dimensionales esta integración no era posible.
3. La descripción tri-dimensional completa de la anatomía y de las regiones de interés.
4. El uso de haces no coplanares: pueden utili-

zarse muchos haces de campos cruzados a partir de múltiples ángulos y direcciones para crear volúmenes de altas dosis que conforman o se ajustan a la forma del tejido tumoral a la vez que respetan la mayor cantidad posible de tejido adyacente normal. Este estilo conformado requiere no solamente que los haces se emitan en forma cruzada a partir de muchas direcciones, sino también, que cada campo se moldee por un bloque protector diseñado a la medida o conformado por el colimador multihojas ajustado a la forma real de la zona tumoral.

5. El uso de representaciones desde el punto de vista del haz: esto permite ver la región tumoral desde cualquier ángulo arbitrario, permitiendo por lo tanto una localización precisa y el diseño de haces no coplanares. Se asegura que cada campo del plan incluye completamente la región a tratar y tendrá una protección más precisa de los tejidos normales críticos.
6. El cálculo de dosis en tres dimensiones.
7. La visualización de la dosis en tres dimensiones.
8. Otros: herramientas para verificar el plan (R.R.D. o reconstrucción radiológica digital), herramientas para examinar la relación entre dosis y volumen (H.D.V. o histograma de dosis-volumen) y herramientas de comparación de planes.

En la actualidad a partir de la evaluación de la lesión y sus tejidos periféricos, se generan planes de tratamiento (planificación inversa). El planificador de tratamiento debe ser capaz de generar los haces, el volumen de tratamiento, las estructuras críticas, etc., en forma tridimensional; además deben ser capaces de planificar tratamientos radiantes utilizando la tecnología más avanzada de los equipos de tratamiento como el colimador multihojas, intensidad modulada de dosis y cuñas virtuales.

4. Control de calidad

En los últimos tiempos han surgido amplias exigencias referentes a las gestiones y controles de calidad.

Los controles de calidad se refieren no solamente a los controles dosimétricos y de funcionamiento de los equipos (simulador virtual, simulador standard, aceleradores, bombas de cobalto, dosímetros, planificadores de tratamiento, etc.) sino también a la documentación y verificación constante de cada uno de los tratamientos radiantes y sus resultados (Auditoria).

5. Radiocirugía

La radiocirugía estereotáxica es una técnica de irradiación externa en la que se emplean múltiples haces de radiación convergentes para administrar una alta dosis de radiación a un volumen peque-

ño y en una sola sesión. La característica relevante de la radiocirugía es conseguir reducir al máximo las dosis de radiación más allá de los límites del blanco tumoral. La aplicación en los tratamientos radioterápicos de métodos esterotáxicos utilizados en neurocirugía, ha dado lugar a un gran desarrollo del tratamiento tanto de los tumores intracraneales como extracraneales.

4. Blancos de irradiación.

A raíz del avance tecnológico e informático y por supuesto los radiobiológicos han surgido nuevas definiciones de los volúmenes a tratar con las dosis prescritas independientes de la técnica a utilizar para evaluar los resultados de los tratamientos radiantes y sus controles de calidad.

Siempre se ha hablado del volumen a irradiar, pero el mismo no estaba bien definido; es por ello que la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Irradiación en Septiembre de 1993 publicó una serie de definiciones y normas en el ICRU REPORT 50, de tal manera que el volumen a irradiar comprende a:

- El volumen del tumor macroscópico (G.T.V.): es la extensión y la localización expresa, palpable o visible/demostrable del tumor.
- El volumen blanco clínico (C.T.V.): es un volumen de tejido que contiene un G.T.V. y/o enfermedad microscópica subclínica. Este volumen debe ser tratado adecuadamente, para alcanzar la finalidad de la terapia: curación o paliación.
- El volumen blanco de planificación (P.T.V.): es un concepto geométrico y se define para seleccionar los tamaños y configuraciones apropiados de los haces, teniendo en cuenta los efectos netos de todas las posibles variaciones geométricas e imprecisiones de modo que se asegure que la dosis prescrita es realmente absorbida en el C.T.V.
- El volumen tratado: es aquél volumen encerrado por una superficie de isodosis, seleccionada y especificada por el oncólogo radioterapeuta como la apropiada para alcanzar el propósito del tratamiento.
- El volumen irradiado: es aquél volumen de tejido que recibe una dosis considerada significativa en relación con la tolerancia del tejido normal.
- Órganos de riesgo: son aquellos tejidos normales cuya sensibilidad a la radiación puede influir significativamente en la planificación del tratamiento y/o en la dosis prescrita.

¿Cuál es el aporte en el futuro?

Para la Radioterapia la evolución de los aceleradores de última generación incorporan nuevas herramientas basadas en la tecnología de

T.A.C. que permite la obtención de imágenes volumétricas de cada sesión de tratamiento, pudiendo corregir el posicionamiento del paciente en el caso de que no coincidan las imágenes tridimensionales obtenidas en la T.A.C. con la correspondiente a la simulación virtual.

¿Qué se aporta para el futuro?, la presencia de una evolución tecnológica como la Radioterapia 4D, o sea la radioterapia guiada por imágenes en donde se tiene en cuenta los movimientos fisiológicos de los órganos activos durante el tratamiento radiante.

Rol de la radioterapia en los cánceres pediátricos

La radioterapia ha tenido un rol importante en el tratamiento del cáncer pediátrico antes del desarrollo de la quimioterapia, siendo utilizada con un intento curativo como única modalidad o como coadyuvante luego de la cirugía. Los tratamientos en un comienzo fueron adaptados de los tratamientos de los adultos con pequeñas modificaciones. Los efectos tardíos que ocurrieron años después, incluyendo los segundos tumores, obligaron ya sea a disminuir las dosis e incluso omitir la radioterapia en algunos sitios tumorales. En la segunda mitad del siglo XX con el desarrollo de la quimioterapia se fue desplazando la radioterapia, creándose las terapias multimodales que mejoraron la eficacia del tratamiento reduciendo la toxicidad. La cirugía, la quimioterapia y la radioterapia son utilizadas en la actualidad en diferentes combinaciones y secuencias; la radioterapia es utilizada en dosis más bajas en la mayoría de los casos y con campos muy limitados.

En los inicios del siglo XXI han surgido nuevas técnicas de radioterapia como la radioterapia conformada, IMRT y protonterapia, que delimitan mucho mejor el campo de radiación, pudiendo incrementarse la dosis en el tejido tumoral disminuyéndolas en los tejidos críticos circundantes.

Las indicaciones de la radioterapia en pediatría son las siguientes:

1. Leucemias agudas: se utiliza como profilaxis y/o tratamiento en los casos de compromiso en el sistema nervioso central (S.N.C.) y como tratamiento en las recaídas testiculares. En la mayoría de los protocolos actuales se utiliza la radioterapia craneal (12 a 18 Gy) solamente en los pacientes de alto riesgo. Otra aplicación es la irradiación corporal total previa al trasplante de médula ósea.
2. Linfomas no Hodgkin: la radioterapia tiene un rol importante en aquellos pacientes que no han tenido una respuesta completa a la quimioterapia, se utiliza como profilaxis y tratamiento del S.N.C., enfermedad testicular y mediastinal.

3. Linfoma de Hodgkin: la radioterapia mantiene un rol importante en el tratamiento de la enfermedad de Hodgkin. Los estudios están focalizados a reducir los efectos tardíos minimizando la intensidad de la quimioterapia y omitiendo la radioterapia. Tasas cercanas al 98% de supervivencia global se obtienen en pacientes que presentan respuesta inicial a la quimioterapia seguida con bajas dosis de radiación en los campos comprometidos inicialmente o sin otro tratamiento.
4. Tumores del S.N.C.: los tumores del S.N.C. son los tumores sólidos más frecuentes en pediatría, siendo la cirugía la mejor indicación de tratamiento. La radioterapia es indicada ya sea luego de la cirugía o de la biopsia. Las dosis habituales oscilan entre 54 y 60 Gy. Luego de la radioterapia se observan alteraciones del crecimiento y neurológicas, sobre todo en los niños más pequeños. Por esta razón el uso de la quimioterapia puede hacer que se retrase el tratamiento radiante y evite algunas complicaciones. Con la radioterapia conformacional ha disminuido significativamente las dosis de radiación en el S.N.C.
5. Retinoblastoma: la radioterapia es utilizada con el intento de preservar la visión sobre todo en los casos de retinoblastoma bilateral. Las dosis utilizadas varía entre 40 y 45 Gy utilizándose diferentes técnicas de tratamiento como ser el colimador de Schipper, IMRT, esterotáxica o la protonterapia. Es importante en estos casos que el radioterapeuta tenga gran experiencia en el manejo de la radioterapia pediátrica dada la necesidad de sedación del paciente y la complejidad de la planificación del tratamiento radiante.
6. Neuroblastomas: la radioterapia es utilizada en casos en que los pacientes con tumores sintomáticos que no responden rápidamente a la quimioterapia, en los pacientes de riesgo intermedio, en los cuales el tumor no ha podido ser resecado completamente y en los pacientes con respuesta pobre a la quimioterapia.
7. Tumor de Wilms: este tumor es muy radiosensible y puede ser curado con radioterapia aún a dosis muy bajas. Se ha demostrado que la radioterapia post operatoria no es necesaria en los estadios I y II, con histología favorable, y que debe ser rutinariamente administrada en los estadios III.
8. Tumores óseos: en el tumor de Ewing la radioterapia es secundaria luego de la quimioterapia y la cirugía. Se la aplica en aquellas localizaciones donde la cirugía no puede resecar al tumor en forma completa o parcial. En los osteosarcomas juega un rol muy pequeño dada la radiorresistencia del tumor.

9. Carcinomas: el tumor mas frecuente en pedia-
tría es el carcinoma nasofaríngeo, siendo el
tratamiento estándar la quimioterapia inicial
seguida de radioterapia, lográndose una so-
breviva global a 5 años de mas del 75%.
10. Radioterapia paliativa: es utilizada para aliviar
los síntomas de la enfermedad metastásica o
enfermedad localizada incontrolable.

LECTURA RECOMENDADA

1. Perez - Brady: Principles and Practice of Radiation Oncology. 2da Edición. 1992. Lippincott.
2. Khan - Potish: Treatment Planning in Radiation Oncology. 1998. Williams and Wilkins.
3. Dickerman JD: The late effects of childhood cancer therapy. Pediatrics. 2007;119(3):554-68. Review. Erratum in: Pediatrics. 2007;119(5):1045.
4. Halperin EC, Constine LS, Tarbell NJ et al. Late effects of cancer treatment in Pediatric Radiation Oncology, 2nd ed, Raven Press, New York 1994; 485-554.
5. Pearson HA: History of pediatric hematology oncology. Pediatr Res. 2002;52(6):979-92.
6. Nachman JB, Sposto R, Herzog P, et al.: Randomized comparison of low-dose involved-field radiotherapy and no radiotherapy for children with Hodgkin's disease who achieve a complete response to chemotherapy. J Clin Oncol 20 (18): 3765-71, 2002.
7. Link MP, Shuster JJ, Donaldson SS, et al.: Treatment of children and young adults with early-stage non-Hodgkin's lymphoma. N Engl J Med 337 (18): 1259-66, 1997.
8. Pui CH: Central nervous system disease in acute lymphoblastic leukemia: prophylaxis and treatment. Hematology Am Soc Hematol Educ Program. 2006;142-6.
9. Bunin N, Aplenc R, Kamani N, et al.: Randomized trial of busulfan vs total body irradiation containing conditioning regimens for children with acute lymphoblastic leukemia: a Pediatric Blood and Marrow Transplant Consortium study. Bone Marrow Transplant. 2003;32(6):543-8.
10. Jereb B, Burgers JM, Tournade MF, et al.: Radiotherapy in the SIOP (International Society of Pediatric Oncology) nephroblastoma studies: a review. Med Pediatr Oncol 22 (4): 221-7, 1994.
11. Green DM: The treatment of stages I-IV favorable histology Wilms' tumor. J Clin Oncol 22 (8): 1366-72, 2004.
12. Haas-Kogan DA, Swift PS, Selch M, et al.: Impact of radiotherapy for high-risk neuroblastoma: a Children's Cancer Group study. Int J Radiat Oncol Biol Phys 56 (1): 28-39, 2003.
13. Laprie A, Michon J, Hartmann O, et al.: High-dose chemotherapy followed by locoregional irradiation improves the outcome of patients with international neuroblastoma staging system Stage II and III neuroblastoma with MYCN amplification. Cancer. 2004;101(5):1081-9.
14. Ris MD, Packer R, Goldwein J, et al.: Intellectual outcome after reduced-dose radiation therapy plus adjuvant chemotherapy for medulloblastoma: a Children's Cancer Group study. J Clin Oncol 19 (15): 3470-6, 2001.
15. Johnson DL, McCabe MA, Nicholson HS, et al.: Quality of long-term survival in young children with medulloblastoma. J Neurosurg 80 (6): 1004-10, 1994.
16. Packer RJ, Sutton LN, Goldwein JW, et al.: Improved survival with the use of adjuvant chemotherapy in the treatment of medulloblastoma. J Neurosurg 74 (3): 433-40, 1991.
17. Duffner PK, Horowitz ME, Krischer JP, et al.: Postoperative chemotherapy and delayed radiation in children less than three years of age with malignant brain tumors. N Engl J Med 328 (24): 1725-31, 1993.
18. Mansur DB, Klein EE, Maserang BP: Measured peripheral dose in pediatric radiation therapy: a comparison of intensity-modulated and conformal techniques. Radiother Oncol. 2007;82(2):179-84.
19. Marec-Berard P, Philip T: Ewing sarcoma: the pediatrician's point of view. Pediatr Blood Cancer. 2004;42(5):477-80.
20. Ozyar E, Selek U, Laskar S, et al.: Treatment results of 165 pediatric patients with non-metastatic nasopharyngeal carcinoma: a Rare Cancer Network study. Radiother Oncol. 2006;81(1):39-46.
21. Reisner ML, Viegas CM, Grazziotin RZ, Santos Batista DV, Carneiro TM, Mendonca de Araujo CM, Marchiori E: Retinoblastoma--comparative analysis of external radiotherapy techniques, including an IMRT technique. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2007 1;67(3):933-41.
22. Merchant TE, Gould CJ, Wilson MW, et al.: Episcleral plaque brachytherapy for retinoblastoma. Pediatr Blood Cancer 43 (2): 134-9, 2004.
23. Deutsch M, Tersak JM: Radiotherapy for symptomatic metastases to bone in children. Am J Clin Oncol. 2004;27(2):128-31.
24. Parker W, Filion E, Roberge D, Freeman CR: Intensity-modulated radiotherapy for craniospinal irradiation: target volume considerations, dose constraints, and competing risks. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2007 1;69(1):251-7.
25. Hall EJ: Intensity-modulated radiation therapy, protons, and the risk of second cancers. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2006 1;65(1):1-7.
26. Paulino AC, Ferenci MS, Chiang KY, et al. : Comparison of conventional to intensity modulated radiation therapy for abdominal neuroblastoma. Pediatr Blood Cancer. 2006 Jun;46(7):739-44.
27. Hodgson DC, Goumnerova LC, Loeffler JS, et al.: Radiosurgery in the management of pediatric brain tumors. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2001;50(4):929-35.
28. Skinner R, Wallace WH, Levitt GA: UK Children's Cancer Study Group Late Effects Group. Long-term follow-up of people who have survived cancer during childhood. Lancet Oncol. 2006 Jun;7(6):489-98.