

Médica Sur

Volumen 9
Volume

Número 3
Number

Julio-Septiembre 2002
July-September

Artículo:

Requerimientos para la operación y control de calidad en los servicios de radiocirugía y radioterapia estereotáctica

Derechos reservados, Copyright © 2002:
Asociación Médica del American British Cowdray Hospital, AC

Otras secciones de
este sitio:

- 👉 [Índice de este número](#)
- 👉 [Más revistas](#)
- 👉 [Búsqueda](#)

*Others sections in
this web site:*

- 👉 [Contents of this number](#)
- 👉 [More journals](#)
- 👉 [Search](#)

Requerimientos para la operación y control de calidad en los servicios de radiocirugía y radioterapia estereotáctica

Dr. Ramiro del Valle Robles,* Dr. Ricardo Valenzuela Romero,* Ing. Fís. Patricia Rojas Castillo,** Fís. Miguel A. Pérez Pastenes,** Dr. Ernesto Gómez González,*** Dr. José Jaramillo Magaña,**** Dr. Vicente Ramírez Castañeda,* Dr. Salvador Ruiz González,* Dr. Marco Zenteno,***** Dr. Roberto Corona,***** Lic. Enf. Josué Estrada Valdés,***** T.R. Adrián Rojas Hernández,***** T.R. Alejandro Calvo Fernández*****

Resumen

La radiocirugía consiste en la administración de altas dosis de radiación ionizante en fracción única a volúmenes cerebrales pequeños y bien definidos por medio de localización estereotáctica y la administración de múltiples haces de radiación angostos y convergentes en un punto. La radioterapia estereotáctica tiene las mismas bases con la excepción de que las dosis aplicadas son fraccionadas y que puede aplicarse a estructuras extracraneales. La radiocirugía fue desarrollada hace 30 años por el neurocirujano Lars Leksell de Suecia, sin embargo, fue hasta 1995 que se inició su aplicación en México. Actualmente existen siete centros en operación en nuestro país y hasta el momento no existe normatividad específica que regule este tipo de tratamientos ni organismo que certifique el entrenamiento de los profesionales que participan en los mismos. Por tal motivo, recientemente se ha formado la Sección de Radiocirugía y Radioterapia Estereotáctica del Colegio Mexicano de Cirugía Neurológica, la cual ha reunido a expertos y miembros del colegio para emitir recomendaciones básicas para la operación de centros que practican la radiocirugía y/o radioterapia estereotáctica. Se presentan los requisitos mínimos para la instalación y operación de un centro de radiocirugía y/o radioterapia estereotáctica, perfiles de los profesionales que participan en los procedimientos, programas de control de calidad propuestos y el equipamiento mínimo de acuerdo a la modalidad de tratamiento.

Palabras clave: Radiación ionizante, control de calidad, dosis única, fraccionamiento de la dosis, intracraneal, extracraneal, dinámica, intensidad modulada, estereotaxia, resonancia magnética.

Abstract

Radiosurgery is the delivery of high doses of ionizing radiation in a single fraction to small and well-delineated brain volumes localized stereotactically and through multiple narrow radiation beams converging to a point. Stereotactic radiotherapy has the same basis except that the dose is fractionated and can be delivered to extracranial structures. Radiosurgery was developed 30 years ago by Lars Leksell, neurosurgeon from Sweden, however, its application in Mexico began until 1995. There are seven centers in operation in our country and at this time, there is not specific regulation or organization certifying training of professionals involved in the procedures. Therefore, a Stereotactic Radiosurgery and Radiotherapy section of the Mexican College of Neurological Surgery has been formed recently and gathered experts and other college members to provide the basic recommendations for the operation of stereotactic radiosurgery and radiotherapy centers. Minimal requirements for installation and operation of a radiosurgery and/or stereotactic radiotherapy center, profile of professionals involved in the treatment, proposed quality control programs and minimal equipment according to treatment modality are presented.

Key words: Ionizing radiation, quality control, single dose, dose fractionation, intracranial, extracranial, dynamic, intensity modulated, stereotaxy, magnetic resonance.

Introducción

Hace más de 30 años, que se inició la radiocirugía para el tratamiento de diversos padecimientos que afectan el sistema nervioso central.¹ Debido a los resultados obtenidos alrededor del mundo, en México se inició la radiocirugía en 1995 con el bisturí de rayos gamma.

Actualmente existen tres centros hospitalarios privados y cuatro gubernamentales que aplican tratamientos de radiocirugía (dosis única) y radioterapia estereotáctica (dosis fraccionada). Sólo un centro opera fuera del área metropolitana.

- * Neurocirugía.
- ** Física Médica.
- *** Radioterapia.
- **** Neuroanestesiología.
- ***** Neurorradiología y Terapia Endovascular.
- ***** Enfermería Neuroquirúrgica.
- ***** Tec. en Radioterapia.
- Sección de Radiocirugía y Radioterapia Estereotáctica del Colegio Mexicano de Cirugía Neurológica.

Al día de hoy no existe normatividad oficial para este tipo de tratamientos por lo que se formó con representación multiinstitucional, la Sección de Radiocirugía y Radioterapia Estereotáctica del Colegio Mexicano de Cirugía Neurológica en el año 2001.

Entre otras actividades, el citado Colegio ha consultado a través de los expertos de nuestro país y miembros activos de la Sección de Radiocirugía y Radioterapia Estereotáctica, las recomendaciones básicas para la operación y control de calidad en los servicios de radiocirugía y radioterapia estereotáctica.

Antecedentes

La radiocirugía gamma fue desarrollada por el profesor sueco Lars Leksell, en los años 60. Este procedimiento consiste en la administración de altas dosis de radiación ionizante en fracción única a volúmenes cerebrales pequeños y bien definidos por medio de localización estereotáctica y la administración de múltiples haces de radiación angostos y convergentes en un punto. La radioterapia estereotáctica tiene las mismas bases con la excepción de que las dosis aplicadas son fraccionadas y que puede aplicarse a estructuras extracraneales. Por su naturaleza, estos procedimientos requieren de un alto grado de control de calidad, además de profesionistas bien preparados y entrenados para los procedimientos de radiocirugía y radioterapia estereotáctica y contar con equipamiento e instalaciones adecuadas. Actualmente existen varias modalidades de la radiocirugía entre las cuales se encuentran la unidad Leksell Gamma Knife (rayos gamma), el ciclotrón o acelerador de partículas (iones pesados y protones) y los aceleradores lineales de electrones dedicados o modificados (rayos X de altas energías). En México solamente existen en funcionamiento las modalidades de Gamma Knife, acelerador lineal modificado y para fines de este año se espera el inicio de operaciones del primer acelerador lineal dedicado a radiocirugía y radioterapia estereotáctica incluyendo capacidad para radioterapia con intensidad modulada.

El control de calidad en radiocirugía y radioterapia estereotáctica involucra una serie de procedimientos clínicos y técnicos, así como un grupo multidisciplinario que participa en los tratamientos en el cual se incluyen a médicos neurocirujanos, radioterapeutas, neurorradiólogos, físicos médicos, neuroanestesiólogos, técnicos en radioterapia y personal de enfermería.

Un centro de radiocirugía y/o de radioterapia estereotáctica, independientemente de la modalidad, debe

cumplir con ciertos requisitos antes del arranque clínico y durante la operación normal del servicio.

Los requisitos mínimos que se recomienda deben cumplirse son:

1. Realizar el cálculo y diseño de blindajes para la sala de tratamiento de acuerdo a las características del equipo y el tipo de radiación que produce.²
2. Obtener autorización para la construcción de la sala de tratamiento por parte del órgano regulador nacional, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), especificando blindajes propuestos con el cálculo correspondiente, sistemas de seguridad y de emergencia en la sala.²
3. Construir la sala de acuerdo a la autorización emitida por la CNSNS. La sala debe estar equipada con sistema de video e intercomunicación con el paciente, monitor de radiación, paros de emergencia, indicadores luminosos de radiación y letreros de seguridad de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) aplicables.
4. Obtener licencia de operación ante la CNSNS.² En el caso de Gamma Knife, se debe obtener licencia de operación para equipo que contiene material radiactivo (Cobalto 60). En el caso de acelerador lineal modificado, si ya se cuenta con licencia de operación para tratamientos de radioterapia se deberá solicitar modificación a la licencia para incluir la aplicación en tratamientos de radiocirugía y radioterapia estereotáctica. En el caso de aceleradores lineales dedicados, la licencia deberá obtenerse específicamente para radiocirugía y radioterapia estereotáctica.

Esta licencia debe estar vigente en todo momento que el servicio esté en operación.

5. Contar con el manual de procedimientos y las constancias de medición del rango de confianza en la precisión de las imágenes digitalizadas de tomografía, angiografía y resonancia magnética.³

Requiere especial atención, el cálculo del grado de distorsión de las imágenes de resonancia magnética, debido a que por factores físicos inherentes a la inhomogeneidad de los tejidos y su interacción con el campo magnético con el que trabaja cada centro, todos los equipos de resonancia magnética tienen valores diferentes de distorsión espacial.^{4,5}

En el uso de la angiografía por sustracción digital deberá considerarse el factor de distorsión debido a la conversión analógica a digital de las imágenes originales de rayos X, lo cual produce imágenes cur-

vas,⁶ además de factor de magnificación. Dicho fenómeno deberá compensarse con sistemas (software) específicos para la corrección o bien se hace una comparación de las imágenes de la angiografía analógica convencional y las imágenes obtenidas mediante sustracción digital, quedando a criterio de los operarios, en caso de discrepancia, si la definición de las estructuras vasculares es geométricamente confiable.

Si el plan de tratamiento se diseña sobre imágenes distorsionadas espacialmente, entonces el tratamiento con altas dosis de radiación ionizante se aplicaría físicamente fuera del objetivo correcto.

También debemos tener en cuenta, que los beneficios y complicaciones de la radiocirugía y radioterapia estereotáctica no se obtienen en forma inmediata, en comparación con la cirugía tradicional abriendo el cráneo, lo cual implica que a mediano y largo plazo, incluso años después del tratamiento, se pueden presentar complicaciones atribuibles al efecto biológico de la radiación ionizante y confundirse o manipularse la información hacia el paciente y su familia, de que dichas complicaciones son parte de la historia natural de la enfermedad, independientemente que la enfermedad sea un tumor benigno o maligno, una lesión vascular del tipo de las fistulas arteriovenosas o bien cualquier padecimiento tratado como funcional relacionado con dolor, temblor, epilepsia y trastornos psiquiátricos principalmente.

6. Los perfiles y funciones del personal entrenado y certificado para realizar los procedimientos son los siguientes:

Médico neurocirujano

Una vez que el neurocirujano haya acreditado su especialidad ante el consejo mexicano de su especialidad, deberá también acreditar su entrenamiento y experiencia clínica en radiocirugía de acuerdo a los lineamientos del Colegio Mexicano de Cirugía Neurológica en su Sección de Radiocirugía y Radioterapia Estereotáctica, la cual está integrada por todas las especialidades médicas y profesionales que concurren en la realización de los procedimientos de radiocirugía y radioterapia estereotáctica.

Dichos lineamientos de la sección, consideran fundamentalmente que el neurocirujano esté familiarizado con las técnicas de planeación quirúrgica estereotáctica, así como la acreditación del curso de seguridad radiológica para personal ocupacionalmente expues-

to, impartido por una institución o empresa autorizada por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.

Deberá también acreditar por lo menos un curso de introducción a la radiocirugía correspondiente al tipo de unidad de radiación de la cual sea operario.

Además del curso de introducción a la radiocirugía, deberá acreditar un número no menor de cincuenta tratamientos de radiocirugía y/o radioterapia estereotáctica, ya sea como director o asistente de las planeaciones de los tratamientos, incluyendo aquellos planes de tratamiento en los que haya participado durante el o los cursos de introducción a la radiocirugía y/o radioterapia estereotáctica.

Todo lo anterior acredita al profesional de la neurocirugía como un especialista capacitado para seleccionar las indicaciones y contraindicaciones clínicas de la radiocirugía y la radioterapia estereotáctica, al tener que definir y diseñar un plan de tratamiento considerando la neuroanatomía, neurofisiología y radiobiología de las lesiones y tejidos sanos, en conjunto con el radioterapeuta, neurorradiólogo y físico, con especial interés en el análisis de todas las opciones de tratamiento sobre una base del estudio de los riesgos y beneficios para cada paciente en particular, debiendo quedar entendido en el consentimiento informado, las expectativas de éxito y riesgos de complicaciones.

Médico radioterapeuta

Tener título universitario de la especialidad, estar certificado por el Consejo Mexicano en Radioterapia; experiencia y entrenamiento en radiocirugía.

La función del médico radioterapeuta es discutir el caso clínico con el resto del grupo de profesionales de radiocirugía, indicar la dosis al volumen blanco y las dosis máximas a estructuras críticas, dependiendo del diagnóstico, volumen de tratamiento y localización. Discutir con el neurocirujano y el físico médico la distribución de la dosis para obtener el tratamiento más óptimo.

Médico neurorradiólogo

El neurorradiólogo para participar en las técnicas de radiocirugía debe acreditar la especialización en radiología y estudios de posgrado en neurorradiología con lo cual deberá estar capacitado para el diagnóstico de aquellos problemas, tratables con radiocirugía. Sin embargo, cuando las imágenes de rayos X, tomografía

axial, angiografía cerebral y resonancia magnética son utilizadas para administrar un tratamiento de radiocirugía se requiere que el neurorradiólogo esté familiarizado además con la definición espacial (estereotáctica) de los objetivos donde se a de aplicar la radiación, así como profundos conocimientos de anatomía de las estructuras sanas que rodean el objetivo de tratamiento.

En el caso de las malformaciones arteriovenosas, existen dos tipos de procedimientos, dependiendo de los cuales, el neurorradiólogo debe contar con un entrenamiento formal. En el caso de procedimientos de angiografía diagnóstica, después de cursar la especialidad de radiología, debe acreditar un entrenamiento formal en neurorradiología de al menos dos años en una institución reconocida y experiencia mínima de 100 procedimientos angiográficos diagnósticos. En el caso de los procedimientos de angiografía terapéutica, además de ser neurorradiólogo, neurólogo o neurocirujano, debe contar con un entrenamiento formal en neurorradiología intervencionista (terapia endovascular neurológica) de al menos dos años en una institución reconocida, contar como mínimo con una experiencia de 500 procedimientos angiográficos diagnósticos y 50 embolizaciones. El neurorradiólogo debe dominar las técnicas de cateterización superselectiva de los vasos cerebrales cuando se requiera definir anatómica y funcionalmente en forma precisa las arterias cerebrales sanas, así como las arterias malformadas.

Médico neuroanestesiólogo

Será capaz al finalizar su adiestramiento de laborar en cualquier centro hospitalario que cuente con un servicio de cirugía general, cuidados intensivos y radiocirugía y podrá participar activamente en la elaboración de programas para el manejo integral de los pacientes a su cargo. En estas circunstancias, participará en la difusión de los conocimientos que adquirió durante su entrenamiento en neuroanestesiología para proporcionar un aspecto normativo integral para la aplicación a corto plazo de los conocimientos adquiridos con el consecuente avance evolutivo de la especialidad.

Además, tener habilidades en el manejo de pacientes de todas las edades, en el manejo de la vía aérea en situaciones especiales y aplicar sus conocimientos para la ventilación mecánica en situaciones donde la permanencia física del anestesiólogo no es posible, conocer los principios físicos de la resonancia magnética, la

tomografía computada, angiografía por sustracción digital, los diversos equipos de radiocirugía y de los sistemas de estereotaxia más comunes aplicados a este tipo de procedimientos, conocer y aplicar los principios básicos de protección radiológica, higiene radiológica y sus consecuencias. Conocer y aplicar los procedimientos ante situaciones de urgencia radiológica y/o urgencia médica en situaciones de exposición ocupacional, conocer y aplicar la fisiopatología asociada a los traslados de pacientes bajo anestesia general a los diferentes sitios durante la aplicación de cualquier tratamiento radioquirúrgico, tener habilidades en el manejo de pacientes durante procedimientos invasivos de terapia neurovascular tanto en el diagnóstico como el tratamiento. Contar con la certificación correspondiente y demostrar fehacientemente su entrenamiento en cualquiera de estas áreas y mantener el nivel de entrenamiento requerido para su ejercicio.

Físico médico

El físico médico que participa en los proyectos debe tener título profesional en el área de físico-matemáticas, con experiencia en el uso médico de las radiaciones ionizantes, especialmente en la calibración de equipos, planeación de tratamientos y protección radiológica en radioterapia. Además de estos requisitos, el físico deberá aprobar un curso de introducción a la radiocirugía acreditado por los fabricantes del sistema de radiocirugía.

El físico deberá acreditar su experiencia y entrenamiento ante el Colegio Mexicano de Cirugía Neurológica en la subsección de Física Médica de la sección de Radiocirugía y Radioterapia Estereotáctica.

La función del físico médico inicia desde la aceptación del sistema de radiocirugía después de su instalación y la caracterización de los haces de radiación para la configuración del sistema de planeación. Desarrollar e implementar el programa de garantía de calidad que incluye verificaciones periódicas del equipo de radiocirugía del sistema de planeación y la calibración radiológica completa. Durante los tratamientos, el físico debe estar presente durante todo el procedimiento, vigilando los parámetros que pudieran afectar la exactitud del tratamiento: mediciones del contorno craneal, distorsión de imágenes, definición de las imágenes en el espacio estereotáctico, parámetros de tratamiento. Participar con los médicos neurocirujanos y radioterapeutas en la planeación del tratamiento y la revisión final del mismo.

Técnico radioterapeuta

Tener título de técnico en radiología, entrenamiento y experiencia en radioterapia y protección radiológica, entrenamiento en el manejo de los equipos de radiocirugía.

La función del técnico radioterapeuta es colaborar con el físico médico durante las verificaciones necesarias al equipo de radiocirugía previas al tratamiento, de acuerdo a la modalidad y participar durante los tratamientos en la operación general del equipo.

Personal de enfermería

Tener el título de licenciatura en enfermería o equivalente, ser especialista en el área neuroquirúrgico, así como conocimientos básicos en procedimientos y cirugías basadas en estereotaxia. Sus funciones consisten en proveer el apoyo, medicamentos y equipo necesarios durante la colocación del marco estereotáxico, realizar la parte asistencial y preventiva que el paciente requiere durante todo el procedimiento y apoyar al médico neuroanestesiólogo cuando el paciente requiere ser sometido a anestesia general, así como proveer y mantener el material, equipo y medicamentos necesarios para tal efecto.

Se recomienda que todo el personal aquí descrito como parte del grupo interdisciplinario de profesionales acredite su entrenamiento y experiencia ante la sección de Radiocirugía del Colegio Mexicano de Cirugía Neurológica y se recomienda que además acrediten un curso de seguridad radiológica para personal ocupacionalmente expuesto impartido por una institución o empresa autorizada por la CNSNS.

7. Contar con parámetros bien establecidos para la selección de pacientes, ya que no todos los casos son candidatos a este tipo de procedimientos. Los parámetros deben incluir por lo menos diagnóstico, tamaño y localización de la lesión, expectativas del tratamiento, edad y condición del paciente. Asimismo, es necesaria la discusión con el paciente sobre las opciones de tratamiento existentes, la probabilidad de éxito del tratamiento y los posibles efectos colaterales.
8. Previo a la administración del tratamiento, se debe entregar al paciente un consentimiento informado donde los médicos describen las expectativas de éxito y riesgos de complicaciones. El consentimiento informado, deberá estar firmado por los profesionales

en neurocirugía, radiooncología, física, así como el paciente y dos testigos con identificación oficial en el caso de pacientes adultos y en el caso de pacientes menores de edad, serán ambos padres o los tutores responsables legalmente acreditados quienes autoricen un tratamiento de radiocirugía y/o radioterapia estereotáctica a un menor de edad. Una de las firmas de los profesionales, deberá corresponder al encargado de seguridad radiológica ante la CNSNS.

9. El servicio debe contar con un programa de control de calidad con procedimientos escritos que especifiquen personal responsable, equipo utilizado, parámetros de referencia y frecuencia de las verificaciones de acuerdo a la probabilidad de cambio del parámetro y al impacto que pueda tener si el cambio se presenta. Se debe contar con formatos de verificación diseñados de acuerdo al sistema de radiocirugía utilizado.

Este programa debe abarcar especialmente los aspectos que puedan resultar en una dosis inadecuada o un error en la localización del volumen de tratamiento. Para lograr esto, es necesario incluir por lo menos los siguientes puntos en el programa de control de calidad de radiocirugía:⁷

- Verificaciones periódicas del equipo de tratamiento: funcionamiento general, funcionamiento de paros de emergencia, parámetros mecánicos del equipo (coincidencia del isocentro mecánico con el isocentro radiológico), medición de tasa de dosis, perfiles de campo, curvas de isodosis, etc.
- Verificaciones periódicas de distorsión de imágenes para planeación de tratamiento. Debido a que las imágenes que se utilizan para la planeación del tratamiento (resonancia magnética, tomografía axial computarizada y angiografía digital) generalmente pueden presentar distorsiones inaceptables para los procedimientos de radiocirugía, es necesario contar con fantasmas o simuladores y software especial que permitan determinar y corregir, cuando sea posible, las distorsiones que presentan las imágenes para planeación, especialmente las imágenes por resonancia magnética⁴ y las de angiografía digital.⁶
- Verificaciones durante el procedimiento completo: verificación de la fijación del marco estereotáctico, mediciones de contorno craneal, adquisición de imágenes, revisión de distorsión de imágenes, definición de imágenes en el espacio estereotáctico, determinación de coordenadas, definición del volumen de tratamiento, distribución de la dosis, decisión de la do-

sis de prescripción, evaluación de tratamiento con histogramas dosis-volumen, protección de estructuras sanas adyacentes y cristalinos, autorización del tratamiento, verificaciones del equipo de tratamiento antes de iniciarlo, doble revisión de colocación de coordenadas o isocentros,⁸ tamaño de colimador y otros parámetros dependiendo del tipo de equipo de administración de dosis, programación de tiempo de tratamiento o unidades monitor, vigilancia del paciente durante la administración de dosis.

10. Aunque actualmente no se cuenta con normatividad nacional específica para radiocirugía en materia de protección radiológica y de control de calidad en estos equipos, existen Normas Oficiales Mexicanas que aplican parcialmente, por lo que se recomienda cumplir con aquellos aspectos que se aplican y además con las recomendaciones internacionales existentes sobre protección radiológica, determinación de dosis absorbidas y control de calidad en radiocirugía y radioterapia estereotáctica.

La normatividad nacional relacionada es la siguiente:

- Reglamento General de Seguridad Radiológica.
- NOM-002-SSA2-1993. Para la organización, funcionamiento e ingeniería sanitaria del servicio de radioterapia.
- NOM-032-NUCL-1997. Especificaciones técnicas para la operación de unidades de teleterapia que utilizan material radiactivo.
- NOM-002-NUCL-1994. Pruebas de fuga y hermeticidad de fuentes selladas.
- NOM-012-STPS-1999. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se producen, usen, manejen, almacenen o transporten fuentes de radiaciones ionizantes.
- NOM-026-NUCL-1999. Vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.
- NOM-031-NUCL-1999. Requerimientos para la calificación y entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.

Algunas de las recomendaciones y protocolos internacionales relacionados son los siguientes:

- Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams. An International Code of Practice, 2ª edición IAEA Technical Report Series No. 277.

- Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water, IAEA.
- AAPM Report 54 Stereotactic Radiosurgery. Radiation Therapy Committee Task Group 42.
- Radiochromic Film Dosimetry: Recommendations of AAPM Therapy Committee Task Group 55.
- NCRP 49 Structural Shielding design and Evaluation for Medical use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV.
- NCRP 51 Radiation Protection Design Guidelines for 0.1-100 MeV Particle Accelerator Facilities (1977).

11. Contar con el equipo de medición y control de calidad especial para realizar mediciones en los campos de radiación angostos que se usan en radiocirugía. Como equipo mínimo el siguiente:⁹

- Fantoma o simulador para determinación de distorsión en las imágenes por resonancia magnética.
- En caso de requerir la determinación de densidad de tejidos, un fantoma de calibración de números Hunsfield para tomografía.
- Fantoma o simulador y software para determinación y corrección de distorsión en imágenes de angiografía digital.
- Cámara de ionización para mediciones absolutas, detector tipo diodo o diamante para mediciones relativas, con diámetros activos máximos de 3 mm.
- En el caso de aceleradores lineales, un fantoma con sistema de barrido.
- El siguiente equipo propio o servicio contratado a laboratorio certificado:
 - a) Cristales termoluminiscentes (TLD) de dimensiones iguales o menores a 2 mm para sistemas de acelerador lineal y de 1 mm para gamma knife. b) Película radiocrómica y fotodensitómetro de alta resolución (0.1 mm).¹⁰

Como se ha indicado, la radiocirugía demanda un estricto control de calidad además de un equipo de profesionales especializados y un mínimo de equipamiento e instrumentos de precisión adicionales al sistema de administración de dosis, por lo que se considera que esta tecnología médica relativamente nueva en nuestro país debe iniciar un proceso de reglamentación, tanto en materia de protección radiológica y control de calidad como de certificación de los profesionales que participan en los procedimientos.

Referencias

1. Leksell L. A note on the treatment of acoustic tumors. *Acta Chir Scand* 1971; 137(8): 763-5.
2. Reglamento General de Seguridad Radiológica. *Diario Oficial de la Federación*. Noviembre 1988.
3. Kondziolka D, Dempsey PK, Lunsford LD, Kestle JRW, Dolan EJ, Kanal E, Tasker RR-A comparison between magnetic resonance imaging and computed tomography for stereotactic coordinate determination. *Neurosurgery* 1992; 30(3): 402-6.
4. Gauvin A. Geometrical distortion of magnetic resonance images. *Master Thesis*, McGill University, Mayo 1992.
5. Posewitz A, Jones D, Young RE. *Evaluating MRI inaccuracies*. Proceedings of 7th Annual LGKS Mtg; 1995.
6. Wallin A, Lubbert K. Correction of angiographic images for stereotactical convergence radiation. *Electromedica* 1998; 66(1): 8-11.
7. The American Association of Neurological Surgeons Task Force, The American Society for Therapeutic Radiology and Oncology Task Force. Consensus Statement on Stereotactic Radiosurgery: Quality Improvement. *Neurosurgery* 1994; 34(1): 193.
8. Flickinger JC, Lunsford LD, Kondziolka D, Maitz A. Potential human error in setting stereotactic coordinates for radiosurgery: implications for quality assurance. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1993;27(2): 397-401.
9. American Association of Physicist in Medicine Radiation Therapy Task Group 42. AAPM Report 54. *Stereotactic Radiosurgery*. New York, 1995.
10. Sanders M, Sayeg J, Coffey CW, Patel P, Walsh J. Beam profile analysis using Gaf Chromic films. *Stereotactic and Func Neurosurg* 1993; 61: 124-9.
- Flickinger JC. An integrated logistic formula for prediction of complications from radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989; 17(4): 879-85.
- Flickinger JC, Schell MC, Larson Da. Estimation of complications for linear accelerator radiosurgery with the integrated logistic formula. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1990; 19(1): 143-8.
- Flickinger JC, Lunsford LD, Kondziolka D. Dose prescription and dose-volume effects in radiosurgery. *Neurosurg Clin N Am* 1992; 3(1): 51-9.
- Flickinger JC, Lunsford LD, Kondziolka D. Dose-volume considerations in neurosurgery. Boston; 1990.
- Gerbi BJ, Roback DM, Humphrey SD, Hall WA. Maintaining accuracy in stereotactic radiosurgery. *IJROBP* 1995; 32(4): 1199-203.
- Kalend AK, Wu A, Zwicker RD, Zheng Z. *Comments of dose measurements for a narrow beam in radiosurgery*. Proceedings of ISRS. Stockholm: 1993: 172.
- Leber KA, Bergloff J, Langmann G, Mokry M, Schröttner O, Pendl G. Radiation sensitivity of visual and oculomotor pathways. *Stereotact Funct Neurosurg* 1995; 64(Suppl 1): 233-8.
- Leber KA, Bergloff J, Pendl G. Dose-response tolerance of the visual pathways and cranial nerves of the cavernous sinus to stereotactic radiosurgery. *J Neurosurg* 1998; 88(1): 43-50.
- Maitz AH, Wu A, Lunsford LD, Flickinger JC, Kondziolka D, Bloomer WD. Quality assurance for Gamma Knife stereotactic radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1995; 32(5): 1465-71.
- McLaughlin WL, Soares CG, Sayeg JA, McCullough EC, Kline RW, Wu A, Maitz AH. The use of a radiochromic detector for the determination of stereotactic radiosurgery dose characteristics. *Medical Physics* 1994; 21(3): 379-88.
- Novotny J, Viadyka V, Simonova G, Liscak R. Radiation safety during radiosurgical treatment. Proceedings of ISRS; Stockholm: 1993: 167.
- Shaw E, Kline R, Gillin M, Souhami L, Hirschfeld A, Dinapoli R, Martin L. Radiation therapy oncology group: radiosurgery quality assurance guidelines. *IJROBP* 1993; 27: 1231-9.
- Tishler RB, Loeffler JS, Lunsford LD, Duma C, Alexander E III, Kooy HM, Flickinger JC. Tolerance of cranial nerves of the cavernous sinus to radiosurgery [see comments]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1993; 27(2): 215-21.

Lecturas recomendadas

- Arndt J, Backlund EO, Larsson B, Leksell L. Stereotactic irradiation of intracranial structures: physical and biological consideration. *INSERM* 1979; 12: 81-92.
- Berk HW, Agarwal SK. Quality assurance of Leksell Gamma-units. *Stereotact Funct Neurosurg* 1991; 57(1-2): 106-12.
- Coffey CW, Sanders M, Cashon K, Miller R, Walsh J, Patel P. A tissue equivalent phantom for stereotactic radiosurgery localization and dose verification. *Stereotact Funct Neurosurg* 1993; 61.
- Ericson K, Söderman M, Maurincomme E, Lindquist C. Clinical experience with stereotactic digital subtraction angiography with distortion correction software. *Stereotact Funct Neurosurg* 1996; 66(Suppl 1): 63-70.

Correspondencia:
neurosurg@prodigy.net.mx rdvld@aol.com
www.elportalmedico.com.mx
www.medicasur.com.mx

