

RADIOTERAPIA PENDULAR

EL BETATRON DE 15 MILLONES DE VOLTIOS (1)

por los Profesores

DRES. J. BECKER y K. E. SHEER

La Roentgenterapia profunda, realizada con los tubos habituales, oscila entre una tensión de 200 hasta 250 kv., cuya intensidad, sin duda, no es la más útil ni efectiva.

Repetidas investigaciones con aparatos Roentgen y tensiones entre 400 kv. hasta 1.000 demostraron claramente que la complicación progresiva era exageradamente desproporcionada al aumento de la dosis alcanzada en los tejidos.

Los aparatos Roentgen para terapia de más alta energía que 1.000.000 de voltios, demuestran, sin duda, una favorable ventaja en lo que respecta a la dosis profunda. Uno de los primeros efectos del cruce de los rayos a través de los tejidos es una manifiesta elevación de la dosis debajo de la superficie.

Del resultado de esta conjunción de la energía del tubo con la materia resulta la creación de electrones "compt" de más alta energía. Estos, a su vez, dan origen a energía electrónica secundaria y todavía sucesivamente esta última será fuente de nuevos electrones, que podríamos llamar terciarios, determinando una intensa ionización.

Con el aparato Betatron no sólo es posible obtener radiaciones saturadas de poderosa energía roentgen, sino que también se pueden efectuar irradiaciones con electrones rápidos (2). Así se observa un corto aumento de la dosis debajo de la superficie, pero que luego se modifica muy poco en el lapso de pocos centímetros para caer rápidamente en pocos centímetros también, en una profundidad definida, a la dosis cero.

(1) El término "megaelectrónvolt", *Mev*, empleado en física nuclear, representa la energía que adquiriría un electrón al desplazarse en un campo eléctrico de un millón de voltios. (N. del T.)

(2) La radiación Beta está también formada por electrones rápidos que, como consecuencia de la desintegración nuclear, son desprendidos en forma de radiactividad. Así, se identifican los rayos Beta de la radiactividad atómica con los electrones rápidos del Betatron, y de aquí su nombre (N. del T.)

La profundidad o penetración en la que se produce la disminución llamativa de la dosis, no es solamente dependiente de la energía electrónica, sino también de la amplitud del campo de incidencia.

El mejor resultado se obtiene cuando la circunferencia del campo de incidencia es tan amplia como el alcance máximo del haz de los electrones. Por este motivo, los electrones rápidos están indicados clínicamente en aquellos focos cuya extensibilidad profunda no sea mayor de 6 cm.

Principio y componentes del Betatron

Como ya fué mencionado más arriba, es técnicamente casi diríamos imposible obtener rayos Roentgen con energía superior de 1.000.000 voltios con los tubos Roentgen corrientes, y el Betatron funciona según un principio completamente diferente.

Es bien conocida la forma como se generan los rayos X. Los electrones parten del cátodo y llegan al ánodo con una diferencia de potencial importante, y al llegar al ánodo son allí bruscamente detenidos, de modo que su energía de movimiento se transforma en rayos X. La energía de estos rayos Roentgen es proporcional a la energía cinética de los electrones.

La energía cinética de los electrones puede no sólo ser acrecentada mediante el aumento de la tensión entre cátodo y ánodo, sino también se puede conseguir el mismo resultado dejando correr los electrones por campos sucesivos de alta tensión. Si se colocan estos campos de tensión uno junto al otro, se obtiene un acelerador lineal. Pero en el Betatron acontece esta aceleración de los electrones por una vía circular que es recorrida por ello varias veces. Los fundamentos teóricos de Wideröe fueron especialmente eficientes para la realización del actual aparato. Poco antes de la guerra, Steenbeck inició por primera vez la obtención de rayos Roentgen con un pequeño Betatron de 1,8 mev. En 1940 fué Korst (EE. UU.) quien mencionó la obtención de un Betatron de 2,3 mev., al que le siguieron después aparatos más grandes. Al mismo tiempo, comenzó Gundin, de Siemens Reiniger Werke, la realización de un Betatron de 6 mev., aparato precursor del que ahora tenemos.

En principio, un Betatron así responde a un transformador. Alrededor de un núcleo de hierro se encuentra la bobina primaria de cobre, que es recorrida por corriente alternada. En el núcleo de hierro se forma entonces un campo magnético alternado que induce en

una bobina secundaria una corriente alternada. Esta bobina secundaria se encuentra en el Betatron formada por un recipiente circular y hueco de cerámica o vidrio. Mientras se realiza la intensificación del campo magnético, los electrones que se encuentran en esa bobina secundaria y recta son llevados al recorrido circular de la superficie interna de la vasija hueca, siempre que se cuide que por la fuerza centrífuga no abandonen ese recorrido circular. Para este fin, se encuentra un campo magnético que, opuestamente al campo acelerador, se halla siempre invariable y, por lo tanto, debe ser originado por corriente continua. Poco antes de que el campo magnético alcance su más alto valor, los electrones, que mientras tanto alcanzaron alta energía y velocidad cercana a la de la luz, son arrojados de su camino por un impulso eléctrico. Ellos pueden así ser dirigidos directamente por una abertura en la vasija circular y conducidos a un anticátodo, donde se producirán rayos Roentgen.

El Betatron de Heidelberg puede ser manejado fácilmente para proyectar las radiaciones deseadas. El block magnético total, con el vaso circular, ha sido construido lo más pequeño posible, de modo que, incluido el blindaje protector envolvente de plomo de 12 cm. de grosor, pesa sólo 650 kg.

Por otra parte, la movilidad del block emisor permite una irradiación rotatoria o giratoria; es decir, de acuerdo con el principio de la irradiación pendular. Por medio de esta forma pendular es posible concentrar la dosis máxima en la profundidad deseada sobre un tumor, mientras que la dosis alrededor del tumor se reduce notablemente.

Efectos biológicos de los rayos Roentgen ultrafuertes y electrones rápidos

Para la aplicación clínica de estos rayos ricos en energía, se pueden obtener efectos más importantes, aunque en dosis iguales a las de aparatos comunes. Un ejemplo de esta segunda posibilidad es la muerte de las bacterias coli o el descenso de los reticulocitos en la sangre de la laucha. Para la terapia carcinomatosa humana parecería hasta ahora que se necesita una dosis algo más elevada con los rayos Roentgen ultrafuertes y, por el contrario, con los electrones rápidos una dosis menos intensa para obtener con ambos la regresión tumoral como habitualmente con la terapia profunda Roentgen.

Refiriéndose a la amplitud terapéutica, hay que distinguir la diferente radiosensibilidad entre células tumorales y células normales.

La forma más favorable de aplicación de los rayos Roentgen ultrafuertes debe aún ser delimitada por medio de experimentos biológicos y clínicos.

En nuestro departamento "Betatron" se encuentran por este motivo también laboratorios en los que se efectúan los mencionados experimentos biológicos en animales de investigación, y en parte también se efectúan con el empleo de isótopos radiactivos como indicadores.

Indicaciones para la irradiación con rayos Roentgen ultrafuertes y electrones rápidos

Nosotros hemos limitado nuestras indicaciones a aquellos casos en los que con los métodos de radioterapia profunda corriente no se podría esperar un éxito. Con los electrones rápidos hemos irradiado hasta ahora principalmente carcinomas de vulva, de laringe (en aquellos que existe una contraindicación quirúrgica), como así también en cáncer de lengua y piso de la boca que resultaban inoperables. También irradiamos metástasis de ganglios linfáticos subcutáneos en distintas partes del cuerpo.

Con los rayos Roentgen ultrafuertes, irradiamos hasta ahora carcinomas de pulmón, infiltraciones de los parametrios del cáncer genital femenino, y también metástasis óseas.

Esta limitación en las indicaciones será sin duda alguna ampliada con la experiencia actual y futura, siempre en crecimiento.

Sería prematuro hablar ya de resultados de la irradiación con el Betatron, pues sólo tenemos menos de medio año de observación. Las experiencias realizadas hasta ahora, prometen que los rayos ultrafuertes Roentgen, así como también los electrones rápidos, representarán un esencial enriquecimiento de nuestros recursos terapéuticos para el tratamiento de los procesos tumorales.

(Entresacado del trabajo publicado en "Sem. Médica", 96, 1955.)