

XXIV

LA DIFERENCIA ENTRE LAS UNIDADES R

USADAS EN EUROPA Y NORTE AMÉRICA

Por el doctor FEDERICO VIERHELLER

Profesor suplente de Trabajos prácticos en física

ZUSAMMENFASSUNG

Unterschied zwischen den in Europa und Nord-Amerika gebräuchlichen R-Einheiten. — In vorliegender Arbeit wird gezeigt, dass :

1° Die deutsche R-Einheit—nach Glasser in Nord—Amerika—nur auf die primäre Strahlung des Röntgen—Strahlenbündels bezogen werden kann ;

2° Die deutsche Einheit — nach Behnen in Berlin — wohl auf die Sekundärstrahlung bezogen werden kann, d. h. auf die effektive Wellenlänge der gestreuten Strahlung ;

3° Die zur Erreichung eines bestimmten biologischen Effektes notwendigen R-Einheiten beider Autoren übereinstimmen, wenn man als Grundlage die effektive Wellenlänge der Gesamtstrahlung (primärer und sekundärer) annimmt ;

4° Eine gewisse Beziehung zwischen dem biologischen Effekt einerseits und der applizierten Wellenlänge andererseits, besteht, dass diese Beziehung aber bis heute nicht in Erscheinung getreten ist, weil die Unterschiede in den sekundären Strahlungen zu gering sind ;

5° Die nach Glasser und Behnen beziehungsweise auf die Gesamtstrahlung bezogenen R-Mengen nach einer vom Verfasser angegebenen Gleichung berechenbar sind.

LA DIFERENCIA ENTRE LAS UNIDADES R

USADAS EN EUROPA Y NORTE AMÉRICA

Es sabido, que la aplicación de la radiología con fines de diagnóstico es relativamente sencilla, en cambio, su aplicación con fines curativos ofrece aun hoy serias dificultades, pues todavía quedan por resolverse muchos problemas, para que pueda usarse la luz de Röntgen sin peligro ni inconvenientes como elemento curativo.

Uno de los capítulos más importantes de la radiología, que ha sido objeto de estudio por parte de los físicos en estos últimos tiempos, es la dosimetría, o mejor dicho, la creación de una unidad, mediante la cual puede ser aplicada una determinada cantidad de rayos X de cualquier longitud de onda.

Cualquier aplicación de rayos X origina en la piel un efecto biológico, que se manifiesta en forma de una rubefacción de la misma, análoga a la que produce el sol; empero así como los rayos solares pueden llegar a producir una necrosis de la piel, en mucho mayor grado la pueden producir los rayos Röntgen. Por lo tanto, la dosimetría tiene por primordial objeto, determinar qué cantidad de rayos de una longitud de onda cualquiera, es capaz de producir un marcado cambio del color en la piel, sin causar lesiones graves en la misma.

La determinación de esta cantidad de rayos Röntgen, expresada en unidades absolutas y universales, es precisamente de incumbencia del especialista en ciencias físicas. En este trabajo he tratado de dilucidar algunas discrepancias existentes de carácter puramente físico, para obtener así una unificación de la dosificación internacional.

Una dosificación de los rayos X en la terapia superficial y profunda, solamente es realizable por medio del empleo de una unidad *absoluta*, independiente del instrumento de medición e independiente también de los fenómenos de la absorción característica de los elementos, que forman

dicho instrumento. Tal unidad fué creada por primera vez en Francia por Solomón, quien la designó «Unidad **R**» (**Röntgen**). Para contrastar un instrumento de acuerdo con esta unidad **R**, es preciso hacer uso de un método ordenado de experimentación, basado en los siguientes principios: «Una **R** es la cantidad de rayos **Röntgen** que produce una ionización equivalente a la cantidad de rayos γ , que emite en un segundo un gramo de rádiom metálico, que se encuentra colocado a dos centímetros de distancia de la cámara de ionización (de eje a eje), previo pasaje a través de un filtro de platino de medio milímetro de espesor.»

Pocos años después fué creada en Alemania otra unidad **R**, basada sobre el sistema C. G. S., cuyo autor es el físico **Behnken**, quien quería evitar la gran cantidad de fuentes de error, que se podían encontrar en la contrastación de un instrumento, cuando se usan los rayos ultrapenetrantes del rádiom. La definición de esta nueva unidad **R** (de **Behnken**) es la siguiente: «Una **R** (de **Behnken**) es la cantidad de energía radiante, capaz de producir una conductibilidad tal en la cámara de ionización, que la cantidad de electricidad que pasa, medida en corriente de saturación, corresponde a una unidad electroestática, que debe ser relacionada a un centímetro cúbico de aire a 18 C de temperatura y 760 milímetros de presión. Para hacer esta medición, debe llenarse una condición indispensable, que es la de usar todos los electrones formados en el aire y evitar los efectos de las paredes de la cámara.»

En varios trabajos fueron discutidas las ventajas y desventajas de las dos unidades, y hasta hoy no existe en los diversos países uniformidad en la dosificación. Sin duda alguna la unidad **R** de **Behnken** es más racional por su conexión directa con el sistema C. G. S., lo que simplifica enormemente todas las mediciones, convirtiéndolas al mismo tiempo en mediciones *absolutas*.

Las experiencias de **Behnken** se hicieron con una cámara grande de ionización, evitando de esta manera los efectos de las paredes y usando la energía entera de los electrones, producidos en el aire. Las experiencias de Solomón fueron efectuadas con una cámara pequeña, por lo cual no se puede asegurar si los dos efectos, mencionados en la definición de **Behnken**, se anulan. Prácticamente no se pueden suprimir nunca estos dos efectos, pero por lo menos se pueden elegir los materiales de la cámara de ionización en tal forma, que todos los electrones primarios, que penetran en las paredes de la cámara, antes de haber dado el resto de su energía cinética por la producción de electrones secundarios (lo que por una parte sería una pérdida para la medición de la energía exitante), son equilibrados en su efecto ionizante por los electrones o iones, que salen

de las paredes en los puntos de entrada y salida de los rayos incidentes (lo que, por otra parte, significaría un aumento de la energía exitante).

Según las investigaciones de varios autores, las cámaras pequeñas, que contienen pocos centímetros cúbicos de aire, sólo dan un resultado exacto, comparable al de una cámara grande, dentro de los límites de la calidad de rayos usados hoy en terapia superficial y profunda, cuando sus paredes son de carbón mezclado con un poco de silicio. Una tal cámara fué construída por primera vez por Glasser en Norte América y usada también para la determinación de la dosis eritematosa, expresada

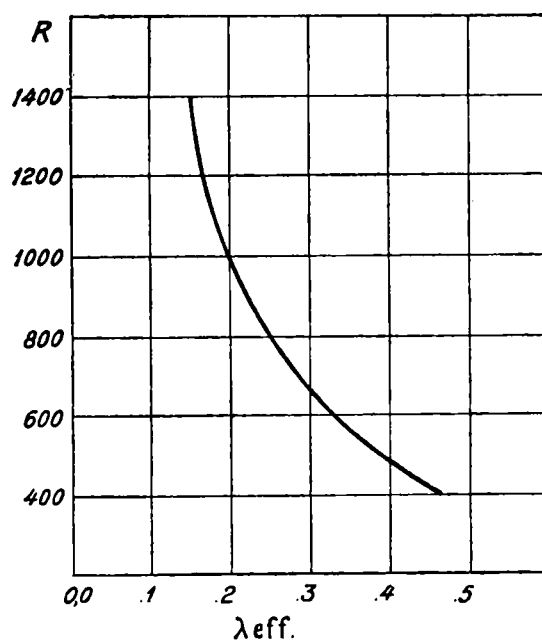


Figura 1

en unidades R, según la definición de Behnken. Pero mientras que en Alemania se necesitan de 750 hasta 800 R para la producción de un eritema bien definido, usando cualquier calidad de rayos, en Norte América se precisan para la producción del mismo efecto desde 300 hasta 1400 R para las diferentes calidades de rayos. Usando una cierta calidad de rayos, definida por 176 kilovoltios (corriente continua de alta tensión) en el tubo y un filtro de cobre de 0,5 milímetros de espesor, Glasser precisa 1200 R, lo que significa, que para esta calidad de rayos, la unidad de Norte América es 1,5 veces más pequeña, que la usada en Alemania.

La unidad francesa, según la definición de Solomón, es todavía más pequeña, que las dos recién mencionadas. Según Kaplan, se precisan para la producción del mismo efecto biológico en la piel, en las condiciones recién mencionadas (tensión y filtro), 2700 R de Solomón, to-

mando como base los 1200 R de Glasser, y 1800 R de Solomón cuando se toman como base los 800 R de Behnken. Para obtener estas cantidades de R francesas, es necesario determinar por medios físicos, la relación entre las unidades absolutas (norteamericanas y alemanas) y las francesas, o sino, determinar por medios biológicos la cantidad de R francesas, necesarias para la producción del eritema normal, por medio de un instrumento que ha sido contrastado físicamente.

La comparación fué realizada por primera vez por Kaplan en la clínica quirúrgica de Frankfurt, usando un ionómetro, contrastado de acuerdo con la definición de la unidad R, según Solomón.

Kaplan encontró para la relación entre las dos unidades la cifra 2,25. Pero como en varios trabajos franceses se citan cantidades diferentes de R, para la producción del mismo grado de eritema, se hicieron nuevos trabajos experimentales, según los cuales la unidad R francesa no es una unidad absoluta, sino que varía entre valores, cuya relación con la unidad de Behnken oscila entre 2,8 y 1,5 (1). Esta diferencia es causada por la repartición que sufre el rádiu dentro del tubo de metal, que sirve como filtro. También se comprobó que la cámara actual del dosímetro de Solomón no mide los valores verdaderos de las energías de las varias longitudes de ondas, sino que existe una apreciable relación, que varía entre 2,40 y 4,55 (2), valor que aumenta con la penetrabilidad de los rayos usados.

Aparte de las condiciones mencionadas, respecto a los electrones formados en el aire y en la pared respectivamente, la unidad R de Behnken no es nada más que la unidad *electroestática* del sistema C. G. S. Aceptando que la unidad R de Solomón permitiese una sola interpretación, por una descripción bien definida del dispositivo de experimentación y de la repartición del rádiu dentro del tubo de platino, entonces la unidad francesa representaría igualmente la unidad electroestática, con la diferencia que en la contrastación, según Glasser, la distancia del preparado del rádiu hasta la cámara disminuye de dos hasta 1,4 centímetros más o menos y empleando para las paredes, según las indicaciones de Glasser y Glocker, materiales tales que la cámara pequeña pueda medir como una cámara grande (cámara a paredes de aire).

Resulta, entonces, que si bajo ciertas condiciones la unidad francesa puede reducirse a la unidad alemana, sólo subsiste para nosotros la di-

(1) CARELLI Y VIERHELLER, *Semana Médica*, diciembre 31, 1925; CARELLI Y VIERHELLER, *Strahlentherapie*, 1926; VIERHELLER, *Estas Contribuciones*, 4, página 187, 1928.

(2) MURDOCH y STABEL, *Strahlentherapie*, marzo 27, 1927.

ferencia entre la unidad alemana usada en Alemania y la unidad alemana empleada en Norte América, cuya relación varía de 0,5 hasta 1,9 para las diferentes longitudes de onda usadas. Como las dos unidades son, en cierto sentido, unidades absolutas y como los nombres de los respectivos investigadores en Alemania y Norte América, son una garantía para el valor y la seriedad de sus conclusiones, la diferencia entre las unidades citadas sólo puede atribuirse a una diferente interpretación de las mismas.

Es bien sabido, que el efecto biológico lo producen en mayor grado los rayos secundarios, es decir, que una muy pequeña parte de ellos, absorbidos en la delgada capa sensible de la piel, son los que producen el eritema. Pero para producir los rayos secundarios, ondulatorios y electrónicos, se precisa una cierta cantidad de rayos primarios, muy diferente por cierto de la de los rayos secundarios. Sabemos que por el llamado efecto de Compton, la calidad primaria disminuye mucho, y el cálculo nos muestra que la calidad de los rayos secundarios se mantiene casi constante, cuando se usan rayos primarios, ya sea muy blandos o relativamente duros; siendo estos últimos los usados hoy en día en la terapia profunda. La tabla que sigue muestra el cambio de la radiación total y de la radiación primaria, relacionadas con tensiones y filtros diferentes.

TABLA I

Número	Tensión en el tubo (kw)	Filtro en milímetros	Longitud de onda efectiva primaria en U. A.	Longitud de onda efectiva total en U. A.
1.....	85	0,5 Al	0,280	0,264
2.....	124	2,0 »	0,229	0,212
3.....	151	4,0 »	0,206	0,194
4.....	176	0,5 Cu	0,155	0,163
5.....	176	1,0 »	0,145	0,160
6.....	176	3,0 »	0,118	0,138

Las dos primeras radiaciones muestran una mejoría en la calidad dentro del agua, lo que es debido a una absorción mayor de los rayos más blandos de la mezcla heterogénea, es decir, que el efecto de la absorción pura es mayor que el « efecto Compton ». Comparando la primera y la penúltima calidad de radiaciones de la tabla I, se observa, que cuando existe un cambio en la longitud efectiva de los rayos primarios de 48 por ciento, el cambio de la longitud efectiva de la radiación total muestra

solamente una diferencia de 39 por ciento. Esta diferencia aumenta todavía, si se comparan las radiaciones primarias con las correspondientes secundarias. La radiación número 5 de la tabla I, según nuestro cálculo, debe tener una radiación secundaria pura, de 0,176 U. A. y la radiación secundaria de la primaria número 2 de la misma tabla, puede ser aceptada como igual a la radiación total, porque, como vemos, el « efecto Compton » queda anulado completamente por el efecto de la absorción pura. Obtenemos entonces el valor 0,21; de esta manera sólo resulta una diferencia de 16 por ciento, cuando la diferencia en las radiaciones primarias es de 48 por ciento.

Consideremos ahora, dentro del cuerpo atravesado por los rayos, un volumen pequeño, por ejemplo, un centímetro cúbico. Ahora bien, aplicando durante un tiempo dado t una cantidad igualmente dada de rayos, dentro de este centímetro cúbico, será absorbida una cierta parte de rayos primarios y también una cierta cantidad de rayos secundarios. La suma de estas dos energías absorbidas la llamaremos nR . Si aumentamos la tensión y el filtro hasta llegar a una calidad máxima, entonces serán absorbidas durante el mismo tiempo t , menos unidades R , debido a la mayor penetrabilidad de los rayos primarios y secundarios. Por consiguiente, para que sea absorbida la misma cantidad de R , tiene que ser aumentado el tiempo de irradiación hasta T . La cantidad de R de los rayos primarios aplicados, ha aumentado, a causa del aumento del tiempo de irradiación, es decir, que durante el tiempo T , en el centímetro cúbico, fué absorbida la misma cantidad de nR .

Como sabemos que el efecto biológico en el cuerpo es producido sobre todo por los rayos secundarios, ondulatorios del « efecto Compton » y electrónicos, esto nos permite calcular, por medio de la ley de la absorción pura, la cantidad de R para una calidad cualquiera, toda vez que conocemos la longitud efectiva de cualquier radiación y la cantidad de R de la misma, necesaria para la producción del eritema. Designemos dos de las calidades usadas generalmente hoy en día en la terapia, con las longitudes efectivas λ_1 y λ_2 . En el fenómeno de la absorción pura, las cantidades absorbidas, dependen de la tercera potencia de la longitud de onda efectiva, porque en la práctica existen solamente haces heterogéneos de rayos. (La potencia exacta es 2,8, si el tejido atravesado no absorbe en forma característica, lo que no sucede ni en el cuerpo humano ni en el agua.) Obtenemos entonces la ecuación siguiente:

$$R_2 = R_1 \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{2,8} \quad (1)$$

De la figura 2 se deduce que cuanto menor es la longitud de onda absorbida, tanto mayor es la cantidad de rayos secundarios y también la cantidad de electrones secundarios, siempre que se relacione a la misma cantidad de radiación primaria absorbida. Pero cuando el efecto secundario crece o aumenta el efecto biológico, podemos disminuir el resultado obtenido de la ecuación, por medio de la relación de las cantidades

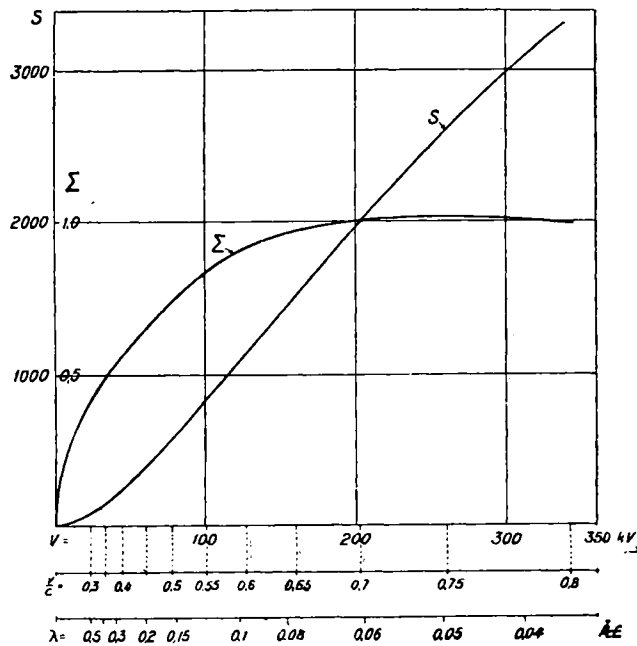


Figura 2

de energías secundarias, que corresponden a las radiaciones a compararse entre sí. Obtendremos, entonces, la ecuación definitiva siguiente :

$$R_2 = R_1 \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{2.8} \frac{s_1}{s_2} \quad (2)$$

donde R_1 , es la cantidad de R aplicables de la longitud de onda λ_1 y R_2 la cantidad de R aplicables de la longitud λ_2 ; s_1 y s_2 son las cantidades de radiaciones secundarias, que corresponden según la figura 2, a las radiaciones de las longitudes de ondas λ_1 y λ_2 .

Las cifras s_1 y s_2 se obtienen de la figura 2, que muestra la relación entre la radiación secundaria total (S) por una parte, de los electrones secundarios (Σ) por la otra y de la longitud absorbida λ .

La tabla II muestra los diferentes valores para la cantidad de R aplicables, relacionados a las longitudes efectivas de las radiaciones *primarias*. Como base hemos tomado el valor de 800 R (rayos primarios +

secundarios), porque este valor, que es la base de los valores alemanes (según Behnken), forma también parte de la curva, trazada según los resultados de Glasser, que se pueden ver en la figura 1. Esta curva nos da la relación entre las R aplicables y las correspondientes longitudes de ondas *primarias*.

De la literatura alemana sobre este asunto se deduce, que la cantidad de R necesaria para la producción del eritema, es prácticamente independiente de la longitud aplicada y tiene el valor casi constante de 800 R (primarios + secundarios). La longitud efectiva primaria, que corresponde, según la curva de Glasser, a esta misma cantidad de R, es de 0,25 U. A. Los valores de la penúltima columna de la tabla 2 han sido calculados según la fórmula indicada y corresponden exactamente a los valores de Glasser, indicados en la última columna.

TABLA II

λ efectiva primaria en U. A.	s	R calculados Vierheller	R observados de Glasser
0,40	150	420	450
0,25	300	780	780
0,20	400	1090	1000
0,18	490	1198	1100
0,14	750	1560	1500

Ahora, si nos referimos a las longitudes de ondas *secundarias*, resultan también diferentes valores para las R que producen la dosis eritematosa, pero como las diferencias entre las longitudes secundarias son muy pequeñas, no podemos esperar una modificación notable de la cantidad de R mencionadas. Esto no habla en contra del resultado obtenido por los autores alemanes, que encontraron una constancia casi absoluta con diferentes calidades, porque las diferencias que pudieran presentarse se encuentran dentro del límite de tolerancia de las experiencias biológicas. En la figura 3, presentamos un gráfico, hecho según las observaciones de Hess (¹), donde podemos ver una cierta relación entre las R y la longitud efectiva correspondiente. La constancia casi completa en las dos curvas inferiores, no existe en la curva superior, que marca las relaciones para un campo pequeño. Hemos podido mostrar (²), que la ca-

(¹) P. HESS, *Strahlentherapie*, página 735, 1927.

(²) VIERHELLER, *Physikalische Zeitschrift*, 1927; SARALEGUI y VIERHELLER, *Strahlentherapie*, 1928.

lidad de la radiación difusa en el rayo central de un campo pequeño es superior a la que existe en un campo grande, aunque la radiación primaria quede constante. En el recorrido inclinado de la curva, que corresponde al campo pequeño, vemos también por esta razón, una confirmación de la existencia de una cierta relación entre las diferentes cantidades de R y las longitudes de ondas efectivas.

Ahora bien, cuando aceptamos para la longitud efectiva de la radiación *secundaria* pura, correspondiente a la primaria número 5 de la tabla I, el valor de $0,176 U. A.$ y para la longitud de onda *secundaria* de la radiación primaria número 2 de la misma tabla, el valor de $0,21 U. A.$, obtenemos el siguiente resultado :

$$R_2 = 800 \left(\frac{0,21}{0,176} \right)^{2,8} \frac{18}{30} = 790.$$

Este cálculo, que antecede, muestra claramente, que tomando los rayos secundarios, queda constante la dosis eritematosa, por lo menos dentro de las oscilaciones posibles en las experiencias biológicas. *Llegamos, por lo tanto, a la conclusión que las radiaciones usadas hasta hoy en la terapia superficial y profunda, muestran una diferencia tan pequeña, en su parte verdaderamente activa (en sentido biológico), que no se puede encontrar ninguna relación apreciable entre la longitud efectiva y la cantidad de R correspondiente.* Las calidades de las ondas secundarias provenientes de las radiaciones primarias 3 y 4, se encuentran ubicadas naturalmente entre las correspondientes de los números 2 y 5 (extremos) o sea también cerca de 800 R. La ecuación general, que hemos empleado para el cálculo de estas relaciones, ofrece un pequeño cambio y es la siguiente :

$$R_2 = R_1 \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^{2,8} \frac{q_1}{q_2}, \quad (3)$$

donde q_1 y q_2 son las cantidades correspondientes a la radiación *ondulatoria* secundaria, medida en la superficie del agua ; estos dos valores pueden usarse indistintamente, porque las longitudes de ondas de las radiaciones difusas muestran muy pequeña diferencia. En el caso de las radiaciones secundarias, mencionadas anteriormente, la relación entre las cantidades de rayos reflejados es $\frac{18}{30}$. Vemos, pues, una constancia de las R aplicables en buena concordancia con las curvas de la figura 3.

Desde luego, la cantidad absoluta de los rayos secundarios, que producen el efecto biológico (eritema en la piel), tiene que ser menor que

800 R, aceptados por nosotros ; pero en el resultado del cálculo esto no cambiará nada, e indudablemente puede ponerse cualquier constante en lugar de los 800 R, por ejemplo, la constante Λ , la cual tiene que ser multiplicada por el factor :

$$\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{2,8} \frac{q_1}{q_2}$$

de manera que resultaría la ecuación general siguiente :

$$R_2 = \Lambda \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^{2,8} \frac{q_1}{q_2}$$

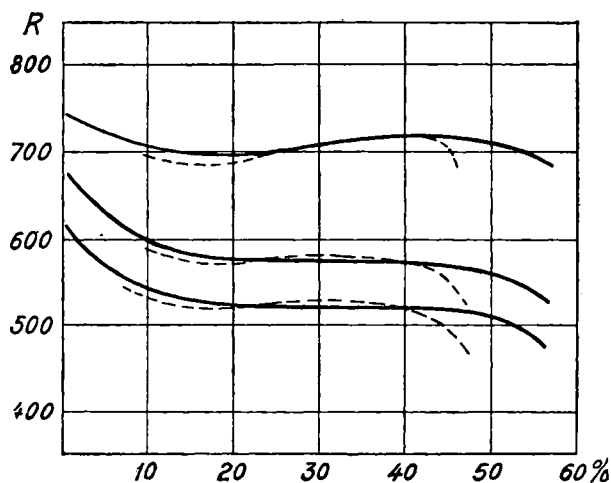


Figura 3

El factor mencionado tiene, en nuestro caso, el valor de 0,99, que difiere poco de 1,00, de manera que queda casi constante la parte Λ de las R aplicables, relacionadas a la radiación secundaria pura.

De estos cálculos resulta, entonces, que obtenemos la relación entre las R aplicables y las longitudes de ondas efectivas según Glasser, cuando nos referimos a las longitudes efectivas de las *radiaciones primarias* ; y que, en cambio, obtenemos valores casi iguales de la cantidad de R aplicables, según los *autores alemanes*, cuando nos referimos a las longitudes efectivas de las *radiaciones secundarias*. Esta constancia *no* existe en realidad y resulta solamente por la poca exactitud, observada comúnmente en experiencias de esta naturaleza.

Aceptando ahora como correcta la cantidad de R según Glasser en su relación con la radiación primaria e igualmente como justa la cantidad de R usadas en Alemania, en su relación con la radiación secundaria pura, puede calcularse un valor medio de los R aplicables para cada lon-

gitud de onda efectiva de las *radiaciones totales*, disminuyéndose el valor dado por Glasser y aumentándose el de los autores alemanes.

Refiriéndonos a una calidad primaria dada por la longitud efectiva de 0,1545 U. A., producidos por una tensión de 176 kilovoltios y un filtro de cobre de 0,5 milímetros de espesor, se pueden aplicar según Glasser a esta longitud efectiva 1200 R. Esta cantidad de R debe ser disminuída, cuando nos relacionamos a la longitud efectiva de la radiación total de 0,163 U. A. El factor A de la ecuación (1) correspondiente es el siguiente :

$$\left(\frac{0,1545}{0,1630}\right)^{2,8} \frac{600}{560} = 0,9$$

Vale decir, que en vez de 1200 R se aplican solamente 1080 R. Similarmen- te si se aumenta la cantidad de R de Behnken de 800 R hasta 960 R, se obtiene el factor siguiente :

$$\left(\frac{0,179}{0,169}\right)^{2,8} \frac{480}{560} = 1,2.$$

La diferencia entre estos resultados es de 10 por ciento, es decir, que cabe perfectamente dentro de la exactitud biológica aceptada. En la misma forma hemos calculado los otros dos resultados, que figuran en la tabla III. Los factores s_1 y s_2 etc., son los de la figura 2.

TABLA III

Tensión	Filtro	Efectiva primaria en U. A.	Efectiva secundaria en U. A.	Efectiva total en U. A.	R Glasser	R Behnken	R total	
							Glasser	Behnken
176 kw	0,5 Cu	0,1545	0,1790	0,1626	1200	800	1080	960
176 »	1,0 »	0,1450	0,1760	0,1550	1300	800	1140	1040
176 »	3,0 »	0,1180	0,1740	0,1380	1600	>800	1280	>1120

Esta tabla muestra claramente que las R según los diversos autores no son muy diferentes entre sí, cuando las relacionamos a la radiación total. En término medio la unidad R, según Behnken, es solamente 1,12 veces más grande que la de Glasser. Esta diferencia podrá ser debida quizás a la aplicación, por parte de los norteamericanos, de una cantidad absoluta de R mayor, para obtener el consabido eritema, o sea por un resultado biológico más pronunciado que el que sirve de base en Europa.

CONCLUSIONES

1ª La unidad R alemana, según Glasser, sólo puede ser referida a la longitud efectiva *primaria* del haz de rayos Röntgen ;

2ª La unidad R alemana, según Behnken, debe ser referida a la longitud efectiva *secundaria* (de los rayos difusos) ;

3ª Las cantidades de R según Glasser y Behnken, necesarias para varias longitudes de ondas, son iguales, cuando se refieren a las longitudes efectivas de las radiaciones *totales* ;

4ª Existe una relación entre el efecto biológico y la calidad de los rayos aplicados. Esta relación no se presenta con mayor nitidez, debido a la diferencia relativamente pequeña entre las diversas radiaciones secundarias usadas hasta hoy ;

5ª *Las diferentes cantidades de R, según Glasser y Behnken o tomando por base las radiaciones totales, son calculables usando ecuaciones matemáticas dadas por nosotros.*

FEDERICO VIERHELLER.

(Entregado a la Comisión de publicaciones el 10 de junio de 1928; impreso en octubre de 1928.)