

METODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE POTASIO EN EL ORGANISMO Y EVALUACION DE LA DOSIS INTERNA QUE RECIBE LA POBLACION CUBANA POR EL APORTE DEL ^{40}K

G.M. López Bejerano, J.O. Arado López, J. Tomas Zerquera y N. Acosta Rodríguez,
Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Cuba

RESUMEN

El ^{40}K es la principal fuente natural presente en el organismo que influye en la dosis efectiva anual que recibe la población. Con el objetivo de evaluar el aporte de esta componente a las dosis recibidas por la población cubana, se desarrolló un método para determinar el contenido de potasio presente en el organismo y se evaluó la dosis debida a la incorporación de ^{40}K como función de la edad y el sexo en una muestra representativa constituida por 289 personas, agrupadas en rango de edades de 5 años, comprendidos entre 3 y 77 años. Las mediciones se realizaron en el Contador de Cuerpo Entero (CCE) del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), que fue calibrado para la determinación de ^{40}K en el organismo por método directo, utilizando un juego de simuladores representativo del Hombre de Referencia, 15, 10 y 5 años de edad, cada uno con el contenido de potasio reportado para estas edades por el ICRP. Para la estimación de las dosis se asumió una distribución uniforme de potasio en todo el cuerpo y se utilizó la metodología recomendada por la ICRP, usando los valores de la fracción de energía absorbida reportados por Cristi, M. and Eckerman, K.F. para grupos de edades y los calculados por interpolación lineal basado en el recíproco de las masas totales y los valores obtenidos para una función de ajuste, en estos dos últimos casos se tuvo en cuenta el peso corporal de la persona estudiada. Las determinaciones realizadas en una muestra representativa de la población cubana permitió conocer el contenido de potasio en ella en el sexo femenino y masculino. Se obtuvieron además los coeficientes de ajuste para la función dosis-edad para cada sexo. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por otros autores.

ABSTRACT

^{40}K is a principal natural source inside the body of the annual dose received by the population. With the purpose of evaluating the weight of this component in the whole dose, a method was developed in order to determine how much potassium is contained inside the body. Dose received of ^{40}K as a function of age and sex in a representative sample of 289 people, grouped on 5 years intervals, between 3 and 77 years. Measurements were done in the Whole Body Counter at the Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones. This counter was calibrated to determine ^{40}K inside the body by a direct method, employing a simulators game representing a Reference Man, 15, 10 and 5 years old, each one with the potassium quantity reported by ICRP. In order to estimate the doses a uniform potassium distribution in all the body was assumed. Recommended methodology by ICRP was used, employing the values of fractional absorbed energy reported by Cristi, M. and Eckerman, K.F. for different groups of ages and the calculated by linear interpolation based on the inverse of the whole masses and the values obtained for and adjustment function. In this two last cases each person weight was taken in account. Determinations made with a representative sample of cuban population allowed the knowledge of potassium inside the bodies of different sex. Coefficients for the function dose-age for each sex were obtained. Results matched the reports made by other authors.

INTRODUCCION

El potasio natural es una mezcla de tres isótopos ^{39}K , ^{40}K y ^{41}K con una abundancia isotópica de 93.08, 0.0118 y 6.91 % respectivamente. Este elemento se encuentra presente en el organismo humano siendo fundamentalmente intracelular, por lo que su determinación puede dar una cantidad estimada de la masa celular; así como es de interés

para la dosimetría pues es la principal fuente natural que influye en la dosis interna que recibe la población. Las primeras determinaciones del potasio corporal, a través de la medición del radionúclido ^{40}K fueron reportados por Sievet, Burch y Spiers, en 1953 Reines y otros autores realizaron estas mediciones en un contador corporal con un detector de centelleo líquido y en 1956 Miller y Marinelli emplearon el detector de Ioduro de Sodio, el cual ha

sido más ampliamente utilizado. Los niveles de potasio en personas normales y su dependencia con la edad y el sexo han sido registrados y estudiados en varios países [1, 2, 3].

El objetivo de este estudio es la estimación de la dosis efectiva anual por contaminación interna que recibe la población cubana debido al ^{40}K presente en el organismo.

En el presente trabajo presentamos los resultados obtenidos en la determinación del potasio ^{40}K por el método directo realizado en las instalaciones del Contador de Cuerpo Entero del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, en una muestra seleccionada representativa de la población cubana teniendo en cuenta el sexo y agrupada por rango de edades de 5 años, así como la dosis efectiva anual que recibe esta población producto de la presencia de este radionúclido en el organismo humano.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización del estudio se partió en la selección de una muestra representativa de la población cubana, tomando como dato de partida el censo de población realizado en el año 1994 [4]. El análisis se realizó por sexo y conformando estratos teniendo en cuenta la edad que incluye un rango de 5 años desde 0 hasta mayores de 60 años y teniendo en cuenta las mediciones de ^{40}K efectuada en un determinado número de personas para cada grupo etario y por sexos que comprendió como promedio 3 personas. La cantidad de personas por estratos se determina prefijando el margen de error que puede ser tolerado para los conteos obtenidos durante la medición de ^{40}K en la región de interés de este radionúclido, calculando la varianza para cada caso y asumiendo que los conteos individuales no varían en más de 3. Se usó una construcción proporcional [5]. El valor óptimo de la muestra a medir para cada sexo fue calculado por la fórmula:

$$n = \frac{Z^2 1 - \alpha / 2 \sum_{h=1}^L \omega_h Sh^2 / d^2}{1 + Z^2_{1-\alpha/2} \sum_{h=1}^L \omega_h Sh^2 / d^2 N}$$

donde:

N_h – número total de personas en el estrato

N – número total de personas en la población

S^2_h – varianza del estrato (definida de mediciones previas)

d – margen de error que puede ser tolerado

α – probabilidad de exceder el error prefijado.
Se eligió $\alpha = 0.05$

para: $\alpha = 0.05$, $Z_{1-\alpha/2} = 1.96$.

Los resultados de los cálculos por estratos y la cantidad de personas medidas se reflejan en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de personas a medir y medidas por estratos y sexos

Estrato años	Sexo femenino		Sexo masculino	
	Muestra calculada	Muestra medida	Muestra calculada	Muestra medida
0 - 4	3	6	4	5
5 - 9	4	12	5	7
10 - 14	3	10	4	10
15 - 19	3	5	4	9
20 - 24	4	14	6	11
25 - 29	5	11	6	15
30 - 34	4	10	5	19
35 - 39	3	4	4	5
40 - 44	3	4	4	4
45 - 49	3	3	3	1
50 - 54	2	2	3	6
55 - 59	2	5	2	4
60 - 64	2	1	2	1
> 65 años	4	1	2	3
Total	45	88	57	101

A la muestra estudiada se le aplicó una encuesta en la que se recogen datos específicos y generales que permiten su clasificación según los valores cubanos de peso para la talla [6] y conocer en ella la presencia de enfermedades que influyen en el contenido de potasio en las personas.

La determinación del contenido de potasio corporal se realizó por el método directo, en el cual este se evalúa por la medición de la velocidad de conteos de la radiación gamma emitida por el potasio ^{40}K presente en el organismo y por la conversión de esta a gramos de potasio natural, utilizando el factor de calibración obtenido mediante la medición de simuladores que contienen una cantidad conocida de potasio natural. La cantidad de potasio natural añadida en cada simulador fue la recomendada por la ICRP en su publicación 23 [7].

Las mediciones fueron realizadas en las instalaciones del Contador de Cuerpo Entero del

Centro de Protección e Higiene de las radiaciones [8]. Para la calibración del sistema de medición se utilizó un juego de simuladores con una estructura basada en el simulador BOMAB, que se aproxima a la distribución física del cuerpo humano para diferentes edades (5, 10, 15 y personas adultas). Los simuladores fueron llenados con bolsas plásticas que contienen la solución de referencia simulando una distribución uniforme en el organismo. En la Tabla 2 se resumen las características de los simuladores empleados en la calibración. Se realizó un ajuste lineal del factor de calibración en dependencia de la relación (Peso/Talla)¹² de los simuladores. Para la medición del fondo se emplearon simuladores similares, pero rellenos de sacos plásticos con agua. Se calculó el tiempo óptimo de medición que resultó igual a 30 min.

Tabla 2. Características de los simuladores empleados en la calibración

SIMULADOR	PESO (KG)	TALLA (CM)	CONTENIDO DE K(G)	ACTIVIDAD (BQ)	EFICIENCIA (CPS/BQ)
5 años	20	120	34.25	1063.52	2.44E-03
10 años	34	156	62.45	1939.36	2.18E-03
15 años	53.4	178	103.75	3221.84	2.03E-03
Adulto (Hombre de referencia)	66.12	179	132.97	4128.96	1.75E-03

Para chequear la reproducibilidad de las mediciones se midió el simulador del Hombre de referencia conteniendo ⁴⁰K varias veces. El coeficiente de variación fue de 2 %. La precisión fue calculada por la fórmula:

$$S(\%) = \frac{100 * \left(\frac{\sum_{1}^N (A_i - M)^2}{N - 1} \right)^{\frac{1}{2}}}{M}$$

donde:

M – valor medio de las mediciones

N – número de mediciones

A_i – valor de cada medición

El valor calculado de la precisión fue de 1.34 %.

Para la estimación de las dosis se asumió una distribución uniforme de potasio en todo el cuerpo y

un modelo de incorporación crónica. Se usó la metodología propuesta por la ICRP (30, 56, 67) [9, 01, 11], utilizándose tres variantes para el cálculo de la fracción de energía absorbida. Primeramente se emplearon los coeficientes reportados por Cristy, M. and Eckerman, K.F. para rangos de edades [12]. Como segunda variante estos valores fueron calculados usando la interpolación lineal del recíproco de las masas totales para el grupo de edades y el de las personas estudiadas y como tercera variante se ajustaron los valores reportados en esta publicación, a una función exponencial doble dependiente del peso de la persona estudiada.

Se confeccionó la base de datos POTASIO la que permite realizar los cálculos de las magnitudes determinadas en el estudio. POTASIO se encuentra dividida en módulos que garantizan una adecuada interacción con el usuario y la organización y procesamiento de la información obtenida durante la encuesta y en las mediciones de ⁴⁰K. Es un sistema de fácil explotación sin necesidad de un conocimiento especializado, ya que posee una ayuda incluida para cada una de las opciones que se activa al teclear F1 en cualquier lugar del sistema.

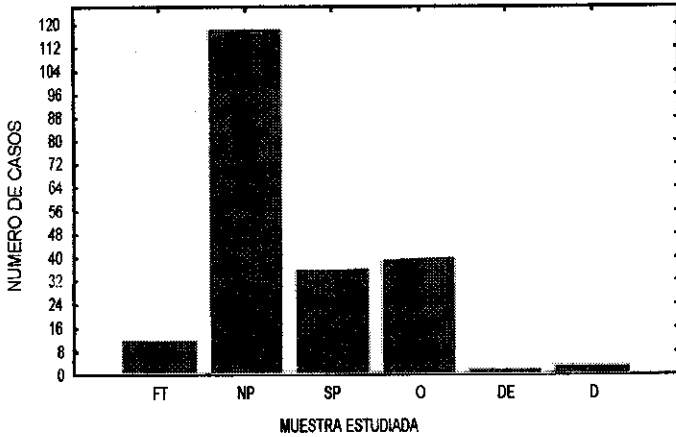
RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de los datos recogidos en la encuesta aplicada a un total de 189 personas, de ellas 88 corresponden al sexo femenino y 101 al sexo masculino, permite concluir que la muestra estudiada puede ser considerada sana y que su distribución, teniendo en cuenta los valores de peso para la talla como se observa en la Figura 1, es similar al reportado para la población cubana.

Tabla. Distribución de la muestra estudiada por enfermedades que influyen en el contenido de potasio en el organismo.

ENFERMEDADES	No. MUESTRAS
Sano	154
Obesidad	3
Hipertensión	15
Afecciones cardiovasculares	6
Afecciones tiroideas	5
Afecciones renales	7
Afecciones musculares	4

DISTRIBUCION DE LA MUESTRA ESTUDIADA
POR SEXOS SEGUN LOS VALORES DE PESO PARA LA TALLA



Leyenda:
 FT: Fuera de talla
 NP: Normo peso
 SP: Sobrepeso
 O: Obeso
 DE: Delgado
 D: Desnutrido

Figura 1.
Distribución de la muestra estudiada según los valores de peso para la talla

Se determinó el contenido y el contenido específico de potasio en dependencia del sexo. Los valores obtenidos fueron promediados y ajustados para cada grupo de edades estudiado. En las Figuras 2 y 3 se presentan los resultados obtenidos para el contenido de potasio en función de la edad para el sexo masculino y el sexo femenino respectivamente, los que concuerdan con resultados de estudios similares realizados por otros autores [1,3].

Las ecuaciones de ajuste obtenidas para el contenido y el contenido específico de potasio en dependencia de la edad son dadas:

Contenido de potasio:

Sexo masculino

$$K(g) = -6.83 + 10.0(\text{edad}) - 0.19(\text{edad})^2 + 3.62 \times 10^{-4}(\text{edad})^3 + 1.12 \times 10^{-5}(\text{edad})^4$$

Sexo femenino

$$K(g) = 15.61 + 5.81(\text{edad}) - 0.14(\text{edad})^2 + 1.1 \times 10^{-3}(\text{edad})^3$$

Contenido específico de potasio:

Sexo masculino

$$K(g)/Kg = 2.15 - 0.03(\text{edad}) + 0.002(\text{edad})^2 - 4.03 \times 10^{-5}(\text{edad})^3 + 2.52 \times 10^{-7}(\text{edad})^4$$

Sexo femenino

$$K(g)/Kg = 2.44 - 0.11(\text{edad}) + 0.005(\text{edad})^2 - 8.87 \times 10^{-5}(\text{edad})^3 + 2.52 \times 10^{-7}(\text{edad})^4$$

Se estudió la relación de los valores del contenido de potasio con la relación $(P/T)^{1/2}$ (este parámetro es considerado un índice de la constitución corporal), observando que el contenido de potasio aumenta con este índice, pero es ligeramente dependiente del sexo, lo que está en concordancia con los resultados obtenidos en [2]. Las ecuaciones de ajuste obtenidas fueron:

Sexo masculino:

$$K(g) = -1.22.88 + 4417.25(P/T)^{1/2}$$

Sexo femenino:

$$K(g) = -62.69 + 2246.03(P/T)^{1/2}$$

Partiendo de los valores medidos de la actividad de ^{40}K , fue calculada la dosis efectiva debida a la incorporación de este radionúclido para la población cubana, empleando tres variantes en el cálculo de los valores de la fracción de energía absorbida. Primeramente se emplearon los coeficientes reportados por Cristy, M. and Eckerman, K.F. para rangos de edades. Como segunda variante estos valores fueron calculados usando la interpolación lineal del recíproco de las masas totales para el grupo de edades y el de las personas estudiadas y como tercera variante se ajustaron los valores reportados en esta publicación a una función exponencial doble dependiente del peso de la persona estudiada, dicha función es:

$$\phi\gamma(P) = 1.4249 \times 10^{-2} \times \exp(-1.7718 \times 10^{-2} \times (P(Kg))) + 5.5479 \times 10^{-2} \times \exp(-1.9530 \times 10^{-1} \times (P(Kg)))$$

donde: $\phi\gamma(P)$: es la fracción de energía absorbida en dependencia del peso corporal.

$P(Kg)$: es el peso corporal en Kg .

Los valores de las dosis efectivas estimadas por las variantes 2 y 3 fueron similares. Se determinó la relación entre la dosis efectiva y la edad de las personas estudiadas, presentando la variante 2 mejor coeficiente de regresión, por lo que los valores reportados en este trabajo corresponden a esta variante.

Las dosis efectivas estimadas para la población cubana oscila entre 140.0 y 177.6 μSv para el sexo femenino. Se pudo apreciar que para el rango de edades comprendidos entre 0 y 14 años esta decrece en función de la edad, a partir de los 15 años el comportamiento es también decreciente, pero en menos proporción.

Las funciones de ajuste en cada rango de edades y para cada sexo están dadas por las expresiones siguientes:

Personas correspondientes entre los 0 y 14 años:

Sexo masculino:

$$H_E(\text{Sv}) = 1.88 \times 10^{-4} - 3.24 \times 10^{-6} (\text{edad})$$

Sexo femenino:

$$H_E(\text{Sv}) = 1.86 \times 10^{-4} - 4.21 \times 10^{-6} (\text{edad})$$

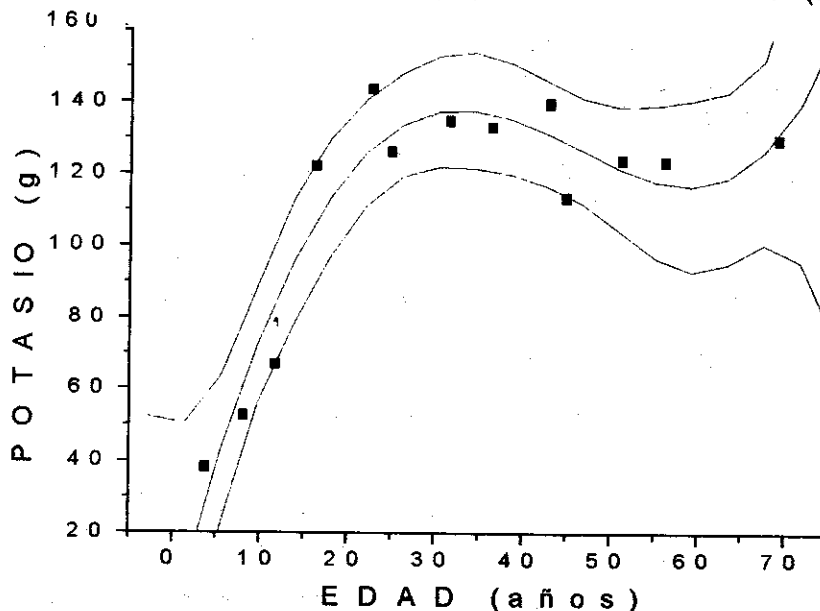


Figura 2. Contenido de potasio en dependencia de la edad, para el sexo masculino.

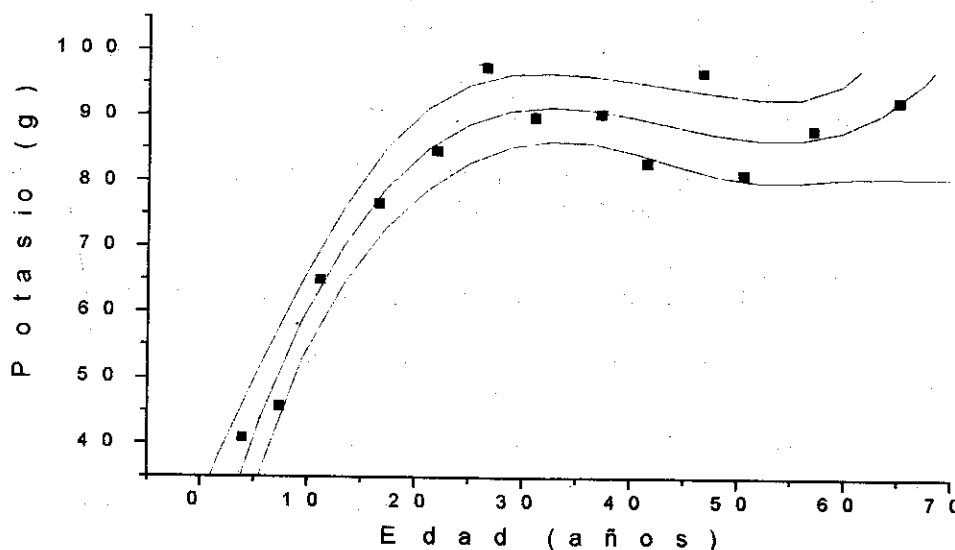


Figura 3. Contenido de potasio en dependencia de la edad, para el sexo femenino.

Personas mayores de 15 años:

Sexo masculino:

Sexo femenino:

$$H_E(\text{Sv}) = 3.59 \times 10^{-6} + 1.05 \times 10^{-5}(\text{edad}) - \\ 3.9 \times 10^{-7}(\text{edad})^2 + 5.81 \times 10^{-9}(\text{edad})^3 - \\ 3.11 \times 10^{-11}(\text{edad})^4$$

$$H_E(\text{Sv}) = 6.81 \times 10^{-6} + 2.11 \times 10^{-5}(\text{edad}) - \\ 9.06 \times 10^{-7}(\text{edad})^2 + 1.57 \times 10^{-9}(\text{edad})^3 - \\ 9.52 \times 10^{-11}(\text{edad})^4$$

Las dosis estimadas de ^{40}K para la población cubana están comprendidas entre los 111.9 y 177.6 μSv lo que concuerda con el valor de dosis de 180 μSv reportado por el UNSCEAR [13].

REFERENCIAS

- [1] ANDRASI, A. and E. BELEZNAVY ((1979): "Natural Potassium Content and Internal Radiation Burden of the Hungarian Adult Population from K-40", **Health Physics** 37 (october), 591-592. Pergamon Press Ltd., Printed in U.S.A.
- [2] NAVESTEN, Y. and V. LENGER (1983): "Total body potassium using a Whole-Body Counter", *Acta radiologica Oncology* 22 Fasc. 2, 167-175.
- [3] ABDEL-WAHAB, M.S. *et al* (1992): "A Simple Calibration of a Whole-Body Counter for the Measurement of Total Body Potassium in Humans", **Appl. Radiat.** 4(10), 1285-1289.
- [4] Publicación 24 del Centro de Estudios de la Población y Desarrollo (1994). La Habana, Cuba.
- [5] GILLART, RICHARD O. "Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. ISBN 0-442-23050-8
- [6] COLECTIVO DE AUTORES. Medicina general integral. Tomo I. Editorial Pueblo y Educación. II Edición Corregida en 1987, p. 29. Tabla 4-23.
- [7] ICRP-Oublication 23. Report of the Task Group on Reference Man. Programon Press. (1975).
- [8] CRUZ SUAREZ, R.; G.M. LOPEZ BEJERANO y C.A.N. OLIVEIRA (1996): Laboratorio del Contador de Cuerpo Entero en Cuba. Características y resultados de calibración. Memorias del III Congreso sobre Seguridad Radiológica y Nuclear II, 897. Cuzco. Perú.
- [9] ICRP – Publication 30 limits for Intake of Radionuclides by Workers. Pergamon Press. 1978
- [10] ICRP – Publication 56. Age-dependent Doses to Members of the Publics from Intake of Radionuclides. Part 1. Pergamon Press, 1989.
- [11] ICRP- Publication 67. Age-dependent Doses to Members of the Publics from Intake of Radionuclides: Part 2 Ingestion Dose coefficients. Pergamon Press, 1993.
- [12] CRISTY, M. and K.E. ECKERMAN (1987): "Specific absorbed fracphtotan sources". ORNL/TM-8381/V2. Oak Redge National Laboratory.
- [13] United Nations. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation, 1988. Report to General Assembly, with annexes. United Nations sales publication E.88.IX.7 United Nations, New Yor, 1988.