

Exposición a rayos X del operador de equipos radiográficos portátiles de mano en odontología con distintas angulaciones verticales

X-rays exposure to the operator of dental handheld portable radiographic equipment with different vertical angulations.

C. Fuentealba Muñoz*, A.M. Rodríguez Casas**, A. Espinoza Leyton***, A. Hidalgo Rivas****

RESUMEN

Introducción: La radiación retrodispersa es la causa principal de irradiación al operador de equipos radiográficos portátiles de mano en odontología (ERPM). Su uso correcto incluye, entre otras, usar angulación vertical de 0°. El objetivo del presente estudio fue evaluar la exposición a rayos X del operador usando un ERPM con angulación vertical correcta e incorrecta, comparando dosis con límites anuales internacionales.

Material y métodos: Se usó un ERPM Kavo Nomad Pro 2 (Kavo Kerr, Charlotte, NC, EE.UU), con angulaciones verticales de 0°, +40° y -20°. Se midió radiación retrodispersa en cabeza, tórax y gónadas del operador con cámara de ionización Fluke 451P (Fluke Biomedical, Everett, WA, EE.UU). Se estimó dosis absorbida por órgano, dosis efectiva anual y dosis absorbida por órgano anual con cargas de trabajo de 5, 10 y 20 mAmin/semana.

Resultados: Los mayores valores de dosis absorbida por órgano fueron en cristalino (0,22 µGy) con angulación vertical -20° y gónadas masculinas (0,196 µGy) con angulación +40°. La dosis efectiva anual fue mayor al usar angulación vertical incorrecta, con valores: 0,9, 1,7 y 3,5 mSv, para cargas de trabajo: 5, 10 y 20 mAmin/semana respectivamente. La dosis absorbida anual por órgano (mGy) con angulación vertical incorrecta para todas las cargas de trabajo fue, en orden creciente: gónadas femeninas, tiroides, cristalino y gónadas masculinas.

Conclusiones: La dosis de radiación retrodispersa fue mayor con angulación vertical incorrecta. Esta dosis estuvo bajo los límites de dosis internacionales, aunque debe recordarse toda dosis implica alguna posibilidad de aparición de efectos estocásticos, los cuales no requieren de una dosis umbral.

PALABRAS CLAVE: rayos X, radiografía dental, protección radiológica, equipo dental, exposición a la radiación.

ABSTRACT

Introduction: Backscattered radiation is the main cause of irradiation to the operator of handheld intraoral dental X-ray device (HIDXD). Its correct use includes, among others, using vertical angulation of 0°. The objective of this study was to evaluate the operator radiation exposure when using an HIDXD with correct

-
- * Cirujano Dentista. Programa de Especialización en Imagenología Oral y Maxilofacial, Universidad de Talca, Talca, Chile.
- ** Cirujano Dentista. Especialista en Imagenología Oral y Maxilofacial. Hospital del Salvador, Providencia, Chile. Hospital de Carabineros del General Humberto Arriagada Valdivieso, Ñuñoa, Chile.
- *** Ingeniero de la Sección de Radiaciones Ionizantes y No Ionizantes del Departamento Salud Ocupacional del Instituto de Salud Pública de Chile.
- **** Cirujano Dentista. Programa de Especialización en Imagenología Oral y Maxilofacial, Universidad de Talca, Talca, Chile. Especialista en Imagenología Oral y Maxilofacial. Doctor en Radiología Oral.

and incorrect vertical angulation, comparing estimated doses with internationally established annual limits.

Material and methods: An HIDXD Kavø Nomad Pro 2 was used (Kavø Kerr, Charlotte, NC, USA), with vertical angles of 0°, +40° and -20°. Backscattered radiation exposure was measured in head, chest and gonads of the operator with Fluke 451P ionization chamber (Fluke Biomedical, Everett, WA, USA). Absorbed dose per organ, annual effective dose and annual absorbed dose per organ were estimated with workloads of 5, 10 and 20 mAmin/week.

Results: The highest values of absorbed dose per organ were observed in the lens (0.22 µGy) with vertical angulation -20° and male gonads (0.196 µGy) with angulation +40°. The annual effective dose was higher when using the HIDXD with incorrect vertical angulation, with values: 0.9, 1.7 and 3.5 mSv, for workloads: 5, 10 and 20 mAmin/week respectively. The annual absorbed dose per organ (mGy) with incorrect vertical angulation for all workloads was, in increasing order: female gonads, thyroid, lens and male gonads.

Conclusions: Backscattered radiation dose was higher when using incorrect vertical angulation. This dose was below international dose limits, although it should be remembered that even low doses imply some possibility of stochastic effects, as they do not require a threshold dose.

KEY WORDS: X-ray, dental radiography, radiation protection, dental equipment, radiation exposure.

Fecha de recepción: 5 de enero de 2024.

Fecha de aceptación: 20 de enero de 2024.

C. Fuentealba Muñoz, A.M. Rodríguez Casas, A. Espinoza Leyton, A. Hidalgo Rivas. *Exposición a rayos X del operador de equipos radiográficos portátiles de mano en odontología con distintas angulaciones verticales.* Avances en Odontología 2024; 40 (3): 158-166.

INTRODUCCIÓN

Los rayos X son un tipo de radiación ionizante que puede inducir daño biológico en quienes se expongan a ellos ^(1,2). El daño puede ser 1) determinístico, que depende de la dosis, es decir, se produce superado un umbral; o 2) estocástico, que para producirse no requiere superar un umbral de dosis, pero un aumento en la dosis provoca un aumento en su probabilidad de aparición. ⁽²⁾ En radiología dental, debido a la emisión de dosis de radiación bajas y muy bajas ⁽³⁾, es más probable la manifestación de daño estocástico – y muy improbable la manifestación de efectos determinísticos-, afectando al genoma con cáncer radioinducido ^(1,4). La gravedad del daño biológico depende de la dosis, adicionalmente, entre otros factores, de la radiosensibilidad del tejido ⁽⁵⁾. Entre los tejidos más expuestos a radiación en radiología dental, se encuentran el cristalino y la tiroides ^(6,7).

Los operadores de equipos radiográficos pueden irradiarse principalmente por la exposición a radiación retrodispersa ^(8,9). Esta radiación, es la que se produce cuando el haz primario de rayos X interactúa con los tejidos del paciente y retorna en dirección al operador ⁽¹⁰⁾. Existen organizaciones encargadas de establecer límites de dosis a los

que puede exponerse el operador, muchas guiándose por las directrices de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, del inglés, *International Commission on Radiological Protection*) ⁽²⁾. A través de la vigilancia ocupacional, se puede controlar la cantidad de radiación a la que se expone un operador de equipos radiográficos ⁽²⁾. Para ello se han determinado magnitudes de protección radiológica, como: dosis efectiva y dosis absorbida, que permiten evaluar la exposición a rayos X del operador y relacionarla con el riesgo de producir daño biológico ^(2,11). Estas magnitudes dependen, entre otras cosas, de la carga de trabajo del operador, es decir, la cantidad de radiografías que toma en un determinado tiempo ⁽¹²⁾.

La mayoría de los equipos radiográficos dentales son fijos o móviles ⁽¹³⁾, ambos diseños permiten al operador ubicarse tras un biombo plomado y/o realizar la exposición a una distancia que lo resguarde de la radiación retrodispersa ^(6,14). Posteriormente, se crearon los equipos radiográficos portátiles de mano (ERPM), diseñados inicialmente para usarse en el área médica y odontológica militar ^(9,15,16). Los ERPM se han popularizado en la práctica clínica odontológica actual ^(16,17), aun cuando no está claro el potencial riesgo que puede conllevar su uso para el operador, por exposición a radiación retrodispersa ⁽¹⁸⁾.



Figura 1: Angulaciones verticales. A) 0°. B) +40°. C) -20°.

Para usar de forma correcta un ERPM, se recomienda entre otras cosas, que la angulación vertical durante la exposición sea de 0° en relación con el piso para el correcto funcionamiento del disco de acrílico plomado de retrodispersión⁽¹⁴⁾. Es común, que los operadores desconozcan esta recomendación y usen angulaciones incorrectas en la práctica clínica odontológica^(17,19). El uso con angulación vertical incorrecta de un ERPM podría provocar la exposición a radiación retrodispersa de órganos radiosensibles como las gónadas, que con equipos radiográficos fijos no se exponen⁽⁶⁾.

No se encontraron investigaciones que evalúen la exposición a rayos X del operador de un ERPM, simulando la forma en que son usados comúnmente en la práctica clínica odontológica. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la exposición a rayos X del operador que usa un ERPM con angulación vertical correcta e incorrecta, comparando las dosis estimadas con los límites anuales establecidos internacionalmente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó siguiendo el “Protocolo para la evaluación de la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes en puestos de trabajo asociados al uso de equipos de rayos X odontológico para técnicas intraorales” del Instituto de Salud Pública de Chile (ISP)⁽¹²⁾.

Se usó un ERPM Nomad Pro 2 (Kavo Kerr, Charlotte, NC, EE.UU) fabricado el año 2018, con parámetros fijos de 60 kV, corriente de 2,5 mA y distancia foco-piel de 20 cm.

El tórax del paciente fue simulado por 2 bidones de agua, sobre los cuales se montó un fantoma

Gammex 464 ACR CT (Gammex Inc., Middleton, WI, EE. UU) para simular la cabeza del paciente.

El operador usó como elementos de protección personal blindados (EPPB): delantal, collar tiroideo, guantes y lentes. Como las dosis evaluadas son muy bajas, se hicieron dos exposiciones de un segundo cada una, para que estas pudieran medirse⁽²⁰⁾. Esto se hizo en cada una de las angulaciones - 0°(angulación correcta), +40° y -20° (angulaciones incorrectas). Respecto de las angulaciones incorrectas, se eligió una angulación vertical positiva y otra negativa para representar las usadas en una toma radiográfica periapical de maxilar y mandíbula respectivamente (Figura 1).

Las mediciones para cada angulación vertical se realizaron en la magnitud de dosis equivalente ambiental integrada $H^{*(10)}$ con cámara de ionización Fluke 451P (Fluke Biomedical, Everett, WA, EE.UU) en tres zonas del cuerpo del operador: cabeza, tórax y gónadas.

Los valores de dosis equivalente ambiental integrada $H^{*(10)}$ medidos con la cámara de ionización, fueron corregidos por el factor de corrección de la

Tabla 1. Dosis equivalente ambiental integrada $H^{*(10)}$ corregida μSv (microSievert).

Angulación	Zona	Dosis equivalente ambiental integrada $H^{*(10)}$ corregida (μSv)
0	Cabeza	0,38
	Tórax	0,08
	Gónadas	0,25
+40	Cabeza	0,22
	Tórax	0,45
	Gónadas	1,58
-20	Cabeza	1,62
	Tórax	1,20
	Gónadas	0,07

cámara de ionización ($F_c = 1,67$) y se registraron como dosis equivalente ambiental integrada $H^{*(10)}$ corregida μSv (microSievert) (Tabla 1).

Con los valores de dosis equivalente ambiental integrada $H^{*(10)}$ corregida (μSv) se estimó: dosis absorbida por órgano, dosis efectiva anual y dosis absorbida por órgano anual, usando el "Protocolo de estimación de magnitudes de protección para irradiación externa a partir de la medición de magnitudes operacionales en el campo de la protección radiológica ocupacional" del ISP⁽²⁰⁾.

La dosis absorbida por órgano se estimó para angulación vertical de $+40^\circ$, 0° y -20° con el valor de dosis equivalente ambiental integrada $H^{*(10)}$ corregida (μSv) correspondiente a la zona en que se ubica cada órgano. Luego, el valor medido en cada zona fue dividido por ocho para obtener un valor de dosis proporcional a 0,25 segundos, que representa el tiempo de exposición de una radiografía periapical tomada con un ERPM. El nuevo valor de dosis correspondiente a 0,25 segundos de zona de cabeza se usó para estimar dosis absorbida en cristalino y tiroides, y el de zona de gónadas se usó para estimar por separado dosis absorbida en gónadas femeninas y masculinas.

La dosis efectiva anual se estimó con los valores de dosis equivalente ambiental integrada $H^{*(10)}$ corregida (μSv) medidas en la zona del tórax, para cargas de trabajo de 5, 10 y 20 mAmin/semana. Una carga de trabajo de 5 mAmin/semana corresponde a un supuesto de 6 sets de radiografías periapicales de boca completa por día, que requieran 4 segundos de tiempo de exposición total cada una, por 5 días a la semana, durante 50 semanas de trabajo al año. Los valores de carga de trabajo de 10 y 20 mAmin/semana son múltiplos de dicho número, es decir, 12 y 24 sets de radiografías periapicales de boca completa por día respectivamente, por 50 semanas. Luego, se compararon los valores de dosis efectiva anual que recibe el operador de ERPM al

usarlo con angulación vertical correcta e incorrecta. Para estimar el valor de dosis efectiva anual con angulación vertical incorrecta, se consideró que al tomar un set de radiografías periapicales de boca completa la suma de los tiempos de exposición usados es mayor en maxilar. Por lo tanto, el valor final se obtuvo con el 60% del valor de dosis medido a $+40^\circ$ y el 40% del valor medido a -20° .

La dosis absorbida por órgano anual se estimó con los valores de dosis equivalente ambiental integrada $H^{*(10)}$ corregida (μSv) en la altura correspondiente a cada órgano, medidos con angulación vertical incorrecta. Las variables, carga de trabajo y tiempo de exposición, se obtuvieron de igual manera que para la estimación de dosis efectiva anual con angulación incorrecta.

Finalmente, los valores de dosis se compararon con los límites de dosis anuales establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, del inglés, International Atomic Energy Agency) y el Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe (ARCAL)^(21,22).

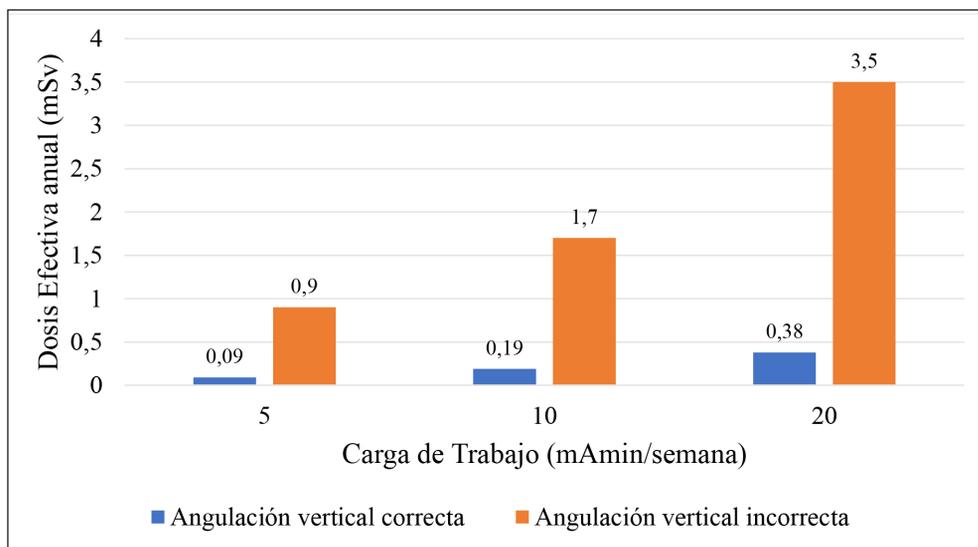


Figura 3: Comparación de la estimación de dosis efectiva anual en mSv (miliSievert) recibida por el operador de un equipo radiográfico portátil de mano, al usar angulación vertical correcta e incorrecta, con cargas de trabajo de 5, 10 y 20 mAmin/semana (miliAmperios por minuto a la semana).

RESULTADOS

La Figura 2 muestra la dosis absorbida por órgano en μGy (microgray) para un tiempo de exposición de 0,25 segundos, con angulación vertical de $+40^\circ$, 0° y -20° .

La Figura 3 muestra la comparación de la estimación de dosis efectiva anual en mSv (miliSievert) recibida por el operador de un ERPM, al usar angulación vertical correcta e incorrecta, con cargas de trabajo de 5, 10 y 20 mAmin/semana (miliAmperios por minuto a la semana).

Tabla 2. Dosis absorbida anual por órgano en mGy (miliGray) con angulación vertical incorrecta para las diferentes cargas de trabajo en mAmin/semana (miliAmperios por minuto a la semana).

Tejido	CARGA DE TRABAJO (mAmin/semana)		
	5	10	20
	DOSIS (mGy)		
Tiroides	1,9	3,9	7,7
Cristalino	2,5	5,1	10,2
Gónadas femeninas	0,4	0,8	1,6
Gónadas masculinas	2,8	5,7	11,3

La Tabla 2 muestra los valores de dosis absorbida anual por órgano en mGy (miliGray) con angulación vertical incorrecta para las diferentes cargas de trabajo mAmin/semana (miliAmperios por minuto a la semana).

DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó exposición a rayos X del operador que usa un ERPM en la toma de radiografías periapicales con angulación vertical correcta e incorrecta, simulando la forma en que comúnmente es usado en la práctica clínica para radiografías de dientes posteriores. Para ello, se midió la radiación retrodispersa que llega a la zona de cabeza, tórax y gónadas de un operador ubicado al costado del paciente durante la toma. Existen estudios similares reportados en la literatura, salvo diferencias: uno modificaba distancia operador - ERPM⁽¹⁴⁾, otro usaba angulación vertical fija de +10°, (6) y en otro se simulaba la toma radiográfica de dientes anteriores⁽²³⁾.

Con respecto a las características de diseño del ERPM Kavo Nomad Pro 2 usado en el presente estudio, éste tiene un disco de acrílico plomado que protege al operador de la radiación retrodispersa⁽²⁴⁾. Se recomienda que todo ERPM debe ser usado con un disco de acrílico plomado de retrodispersión, pudiendo ser fijo o removible^(6,24,25). Se ha observado que el uso de un ERPM con disco de acrílico plomado puede disminuir hasta en ocho veces la dosis de radiación retrodispersa absorbida por el operador en comparación con uno que

no lo tenga⁽²⁶⁾. Otros estudios, muestran que al usar distintos modelos de ERPM con disco de acrílico plomado de retrodispersión, la dosis absorbida en el cristalino del operador disminuye entre un 60%-68% en comparación al uso de estos mismos sin el disco de acrílico plomado^(8,27). Por su parte, algunos fabricantes de ERPM indican que el disco de acrílico plomado genera una zona de protección para el operador contra la radiación retrodispersa⁽²⁸⁾ y otros precisan que reduce la dosis de radiación retrodispersa que recibe el operador⁽²⁹⁾. No se encontró cifras de esta disminución de dosis en la información entregada por el fabricante.

En relación con el fantoma Gammex 464 ACR CT usado para simular la cabeza del paciente, éste está fabricado con una matriz de Solid Water® y unos cilindros de diferentes diámetros y materiales⁽³⁰⁾. Para las evaluaciones dosimétricas, se usa el agua como material de referencia por su comportamiento similar a los tejidos blandos, pero debido a la dificultad de manejo se han creado distintos materiales de reemplazo, uno de ellos es el Solid Water®⁽³¹⁾. Además, los cilindros del fantoma son usados para imitar, entre otras cosas, el tejido óseo y en conjunto poder simular la interacción de la radiación con un paciente real⁽³¹⁾.

En relación con las diferentes angulaciones verticales evaluadas en el presente estudio, es importante destacar que la literatura y algunos fabricantes recomiendan que la angulación del rayo central sea de 0° en relación con el piso, para que así el disco de acrílico plomado proteja al operador de la radiación retrodispersa^(25,28). Un estudio realizado en Estados Unidos reportó que es común que los operadores de ERPM desconozcan esta recomendación y lo usen con las angulaciones descritas para equipos radiográficos fijos -distintas a 0°-⁽¹⁹⁾. Esta realidad, podría ser similar en Chile y otros países, ya que no se encontró estudios que evalúen la angulación vertical con que los operadores usan los ERPM.

En cuanto a la dosis absorbida por órgano a distintas angulaciones verticales (Figura 2), los valores en cristalino y tiroides aumentaron más de cuatro veces al usar angulación de -20° y disminuyeron casi a la mitad al usar angulación de +40°, en comparación con angulación vertical de 0°. Por otro lado, en gónadas femeninas y masculinas la dosis absorbida por órgano fue hasta siete veces mayor al usar angulación vertical de +40° y

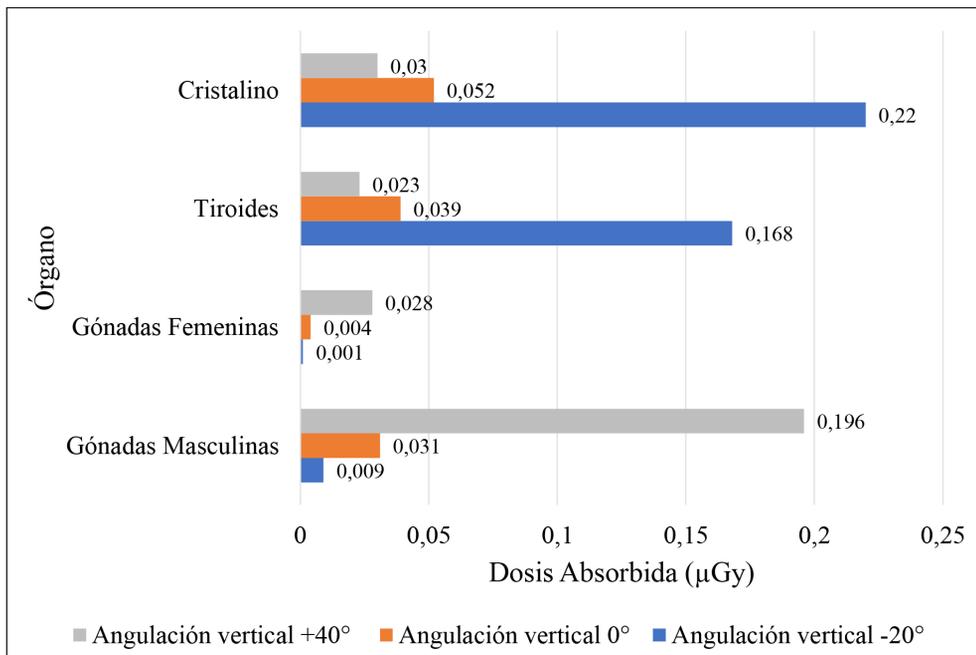


Figura 2: Dosis absorbida por órgano en µGy (microGray) para un tiempo de exposición de 0,25 segundos, con angulación vertical de +40°, 0° y -20°.

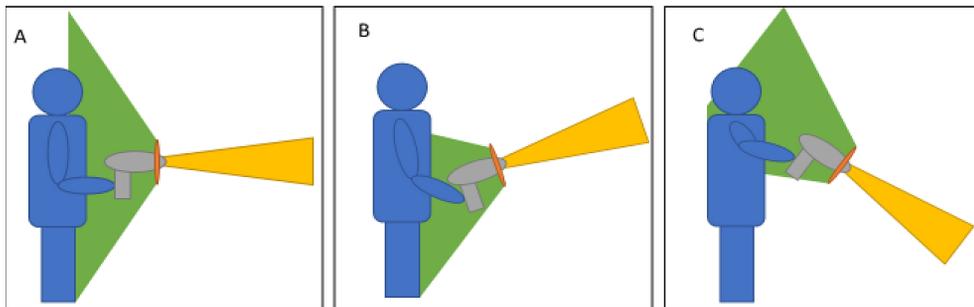


Figura 4: Área de protección contra radiación de retrodispersa (marcada en color verde), entregada por el disco de acrílico plomado. A) Forma correcta de uso, con angulación vertical 0° se protege cuerpo entero. B) Forma incorrecta de uso, con angulación vertical -20° se protege zona de gónadas. C) Forma incorrecta de uso, con angulación vertical +40° se protege zona de cabeza.

disminuyó hasta cuatro veces al usar angulación vertical de -20°, en comparación con angulación vertical de 0°. Estos valores de dosis demuestran el efecto del disco de acrílico plomado, que entrega al operador un área de protección en que la dosis de radiación retrodispersa es menor. Esta área de protección está en la misma dirección que apunta el rayo central, pero en el sentido opuesto, siendo mayormente protegidos los órganos que se encuentran en la misma dirección por detrás del disco de acrílico plomado (Figura 4). En base al presente estudio, es importante destacar que el disco de acrílico plomado no protege de forma uniforme al operador y que el aumento en la protección de una zona específica implica la dis-

minución en la protección de otra.

Los valores de dosis absorbida por órgano del presente estudio concuerdan con lo reportado previamente⁽¹⁴⁾. Un estudio similar encontró que los valores de radiación retrodispersa absorbida por el operador podrían aumentar entre otros factores, al modificar la angulación vertical con que se usa el ERPM⁽¹⁴⁾. Es importante mencionar que el tamaño y la forma del área de protección al operador de un ERPM no depende sólo de la angulación vertical, otros factores son la posición del disco de acrílico plomado en el cilindro y la forma en que se sostiene el ERPM⁽²⁵⁾. En caso de que el operador no esté seguro de poder mantenerse dentro del área de protección, los fabricantes recomiendan que use EPPB, como delantal y collar tiroideo⁽²⁸⁾. Esta idea es reforzada por estudios que mencionan que los operadores de ERPM deben usar siempre estos EPPB^(32,33). Por otro lado, la regulación en Estados Unidos indica que el

operador no necesita usar EPPB cuando usa correctamente un ERPM aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, del inglés, Food and Drug Administration)⁽³⁴⁾. Esta situación no debiera interpretarse como una flexibilización en la protección del operador, sino que correspondería a un alto estándar de evaluación de los ERPM para su aprobación por la FDA. Además, el uso correcto de un ERPM, puede afectarse por ligeras modificaciones en la angulación vertical que realice un operador cansado después de varias exposiciones⁽³⁵⁾.

Respecto de la dosis efectiva anual, en el presente estudio (Figura 3), cuando el ERPM se usó con

angulación vertical incorrecta, estas dosis fueron casi 10 veces mayores que cuando el equipo se usó con angulación vertical correcta. Los valores de dosis efectiva anual del presente estudio están bajo el límite de dosis de 20 mSv que recomienda IAEA ⁽²¹⁾. Pero, es importante destacar que para la carga de trabajo de 20 mAmin/semana se está muy cerca de los 5 mSv al año que establece ARCAL ⁽²²⁾, aumentando la probabilidad de provocar efectos estocásticos. Además, los valores de dosis efectiva anual para la mínima carga de trabajo fueron superiores a lo encontrado en dosimetrías de operadores de equipos fijos, donde comúnmente son casi nulos ^(14,17,36).

En relación con los valores de dosis absorbida anual por órgano (Tabla 2) del presente estudio, todos se encuentran por debajo de los límites de dosis establecidos internacionalmente por IAEA ⁽²¹⁾. Sin embargo, en cristalino con una carga de trabajo de 20 mAmin/semana la dosis equivalente fue de 10,2 mSv, aproximadamente la mitad de los 20 mSv permitidos al año por IAEA ⁽²¹⁾. Si bien esta carga de trabajo es muy difícil de lograr en odontología, da cuenta de que los valores de dosis recibidos por el operador están lejos de ser del todo seguros, por el riesgo a inducir daño estocástico. Los resultados del presente estudio coinciden con lo reportado en la literatura, donde si bien un estudio similar obtuvo valores de dosis absorbida anual en cristalino más bajos-0,07 y 0,14 mSv-, lo hizo evaluando una carga de trabajo mucho menor -75 veces menos-⁽²³⁾. Un método para reducir los valores de dosis absorbida anual por órgano puede ser seguir la recomendación de la literatura, que indica el uso de ERPM de manera similar a un equipo radiográfico fijo ⁽³⁶⁾. Esto quiere decir, con un trípode, un disparador a distancia y que el operador se encuentre alejado 1,5 - 1,8 metros del punto de emisión de rayos X, o se ubique detrás de un biombo plomado ^(25,36).

En base a los resultados del presente estudio, se puede señalar que, aunque un ERPM se use con angulación vertical correcta no existiría un área en donde la dosis de radiación retrodispersa a la que se exponga el operador sea nula ⁽²³⁾. Las imágenes que proporcionan algunos fabricantes de ERPM ilustran un área de protección producida por el disco de acrílico plomado ⁽²⁸⁾. Estas imágenes podrían inducir a una mala interpretación del operador, quien podría entenderla como una barrera impenetrable para los rayos X. En el caso

del ERPM investigado en el presente estudio, el operador si se expone a bajas dosis de radiación, incluso en el área de protección. Si bien estas dosis están bajo los límites establecidos internacionalmente, son más altas en comparación con las dosis a las que se puede exponer el operador de un equipo fijo ^(13,17). Es importante destacar que el mantenerse bajo los límites de dosis, si bien disminuye la posibilidad de aparición efectos estocásticos, no asegura la ausencia de su aparición ⁽²⁾. Debido a que en muchos países existe una falta de regulación ⁽²⁵⁾, el uso de ERPM podría considerarse como una práctica poco segura para el operador. Así, es recomendable limitar su uso a casos donde sea estrictamente necesario y no sea posible usar un equipo fijo, por ejemplo: hogares de ancianos o con pacientes postrados ^(16,18,37), teniendo siempre la precaución de usarlo de manera correcta y con los elementos de protección personal blindados adecuados ⁽²⁵⁾.

CONCLUSIONES

La dosis absorbida por órgano, de menor a mayor, para cada angulación vertical fueron: con +40°; tiroides, gónadas femeninas, cristalino y gónadas masculinas; con 0° y -20° gónadas femeninas, gónadas masculinas, tiroides y cristalino.

La dosis efectiva a los que se expone el operador de un ERPM fueron mayores cuando este fue usado con angulación vertical incorrecta en comparación al uso con angulación vertical correcta, para todas las cargas de trabajo.

La dosis de radiación retrodispersa a la que se expone el operador del ERPM Kavo Nomad Pro 2 se encuentra bajo los límites de dosis establecidos internacionalmente para las distintas cargas de trabajo, aunque estos límites de dosis no garantizan la no aparición de efectos estocásticos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos extender nuestro profundo agradecimiento al Dr. Guillermo Moreno Zárata, quien con el compromiso y liderazgo que caracterizaron su mandato como presidente de la Sociedad de Radiología Oral y Máxilo-Facial de Chile, llevó a cabo las gestiones iniciales que permitieron la realización de este trabajo.

CORRESPONDENCIA

Alejandro Hidalgo Rivas

Dirección: Av. Lircay S/N, Facultad de Odontología, Universidad de Talca, Talca, Chile.

Teléfono: +56 71 220 0476

Correo electrónico: ahidalgo@utalca.cl

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WORLD DENTAL FEDERATION. FDI policy statement on radiation safety in dentistry. *Int Dent J* 2014; 64:289-90.
2. MINISTERIO DE SALUD - INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA. Manual de protección radiológica y de buenas prácticas en radiología dentomaxilo-facial. Santiago de Chile, Ministerio de Salud, Instituto de Salud Pública, Gobierno de Chile, 2008. [citado el 19 de diciembre 2023]. <https://www.minsal.cl/portal/url/item/7f2d789a-9750153be0400101f0112d29.pdf>
3. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Radiation effects and sources: What is radiation? What does radiation do to us? Where does radiation come from? 2016. [citado el 19 de diciembre 2023] <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/radiation-effects-and-sources.html>
4. Benn D, Vig P. Estimation of X-ray radiation related cancers in US dental offices: is it worth the risk?. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2021; 132:597-608.
5. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP) ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. *ICRP Publication 118. Ann. ICRP* 41(1/2), 2012. [citado el 19 de diciembre 2023]. <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20118>
6. Smith R, Tremblay R, Wardlaw G. Evaluation of stray radiation to the operator for five hand-held dental X-ray devices. *Dentomaxillofac Radiol* 2019; 48:20180301. DOI:10.1259/dmfr.20180301.
7. Campillo G, Vázquez J, García Á, Escalona M, Arteaga M, Vega H. Doses in eye lens, thyroid, salivary glands, mammary glands, and gonads, due to radiation scattered in dental orthopantomography. *Appl Radiat Isot* 2019; 146:57-60.
8. Leadbeater J, Diffey J. Evaluation of radiation exposure to operators of portable hand-held dental X-ray units. *Phys Eng Sci Med* 2021;44:377-85.
9. Praskalo J, Petrović B, Beganović A. Portable X-ray devices: loosing border between controlled and upervised areas. *IFMBE Proceedings*, vol 73. Springer, Cham. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-17971-7_24.
10. US DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES; FOOD AND DRUG ADMINISTRATION CENTRE FOR DEVICES AND RADIOLOGICAL HEALTH; DIAGNOSTIC DEVICES; BRANCH DIVISION OF MAMMOGRAPHY QUALITY AND RADIATION PROGRAMS; OFFICE OF COMMUNICATION, EDUCATION, AND RADIATION PROGRAMS. Guidance for industry and FDA staff radiation safety considerations for X-ray equipment designed for hand-held use 2008. [citado el 19 de diciembre 2023]. <https://www.fda.gov/media/73890/download>
11. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION (ICRP). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication 103. Ann. ICRP*, 37, 2007. [citado el 19 de diciembre 2023]. https://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf
12. INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE (ISP). Protocolo para la evaluación de la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes en puestos de trabajo asociados al uso de equipos de rayos X odontológico para técnicas intraorales. 2018, Versión 2.0. [citado el 19 de diciembre 2023]. https://www.ispch.cl/sites/default/files/D046-PR-500-02-001ProtocoloEvaluacionExposicionRXconvencionales_v2.pdf
13. Nitschke J, Lara S, Holtmann H, Zeller U, Handschel J, Sonntag D et al. Image quality of a portable X-ray device (Nomad Pro 2) compared to a wall-mounted device in intraoral radiography. *Oral Radiol* 2021; 37:224-30.
14. Makdissi J, Pawar R, Johnson B, Chong B. The effects of device position on the operator's radiation dose when using a handheld portable X-ray device. *Dentomaxillofac Radiol* 2016; 45:20150245. DOI: 10.1259/dmfr.20150245.
15. Zenóbio E, Zenóbio M, Azevedo C, Nogueira M, Almeida C, Manzi F. Assessment of image quality and exposure parameters of an intraoral portable X-rays device. *Dentomaxillofac Radiol* 2019; 48:20180329. DOI: 10.1259/dmfr.20180329.
16. Geist J. Handheld intraoral dental x-ray devices should supplement but not replace conventional radiographic equipment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2021;132:257-9.
17. Hoogeveen R, Meertens B, Berkhout W. Precision of aiming with a portable X-ray device (Nomad Pro 2) compared to a wall-mounted device in intraoral radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2019; 48:20180221. DOI: 10.1259/dmfr.20180221.
18. HEADS OF THE EUROPEAN RADIOLOGICAL PROTECTION COMPETENT AUTHORITIES (HERCA) Statement on the justification and use of hand-held X ray equipment 2018. [citado el 19 de diciembre 2023]. <https://www.herca.org/justification-and-use-of-hand-held-x-ray-equipment/>
19. Lintag K, Bruhn A, Tolle S, Diawara N. Radiation safety practices of dental hygienists in the United States. *J Dent Hyg* 2019; 93.4:14-23.
20. INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE (ISP). Protocolo de estimación de magnitudes de protección para irradiación externa a partir de la medición de magnitudes operacionales en el campo de la protección radiológica ocupacional. 2021. [citado el 19 de diciembre 2023]. <https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2021/11/NT-MagnitudProteccionIrradiacion.pdf>
21. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. IAEA safety standards for protecting people and the environment. General Safety Requirements Part 3. No. GSR Part 3. Vienna, 2014. [citado el 19 de diciembre 2023]. https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1578_web-57265295.pdf
22. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). Protocolo de control de calidad en radiodiagnóstico:

- Implementación de las normas básicas de seguridad internacionales en las prácticas médicas. Acuerdo de cooperación regional para la promoción de la ciencia nuclear y la tecnología en América Latina y el Caribe, ARCAL XLIX, 2001. [citado el 19 de diciembre 2023]. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1958web.pdf>
23. Batista W, Soares M, Rios J, Souza A, Pinheiro I, Ramírez J et al. Assessment of scattered radiation from hand-held dental x-ray equipment using the Monte Carlo method. *J Radiol Prot* 2021;41:10.1088/1361-6498/abf3cd. DOI:10.1088/1361-6498/abf3cd
 24. Berkhout W, Suomalainen A, Brüllmann D, Jacobs R, Horner K, Stamatakis H. Justification and good practice in using handheld portable dental x-ray equipment: a position paper prepared by the European Academy of Dentomaxillofacial Radiology (EADMFR). *Dentomaxillofac Radiol* 2015; 44:20140343. DOI: 10.1259/dmfr.20140343.
 25. Zapata K, Hidalgo A. Equipos radiográficos dentales portátiles: revisión de la literatura. *Av Odontostomatol* 2021; 37:160-8.
 26. Goren A, Bonvento M, Biernacki J, Colosi D. Radiation exposure with the Nomad™ portable X-ray system. *Dentomaxillofac Radiol* 2008; 37:109-12.
 27. Iwawaki A, Otaka Y, Asami R, Ishii T, Kito S, Tamatsu Y et al. Comparison of air dose and operator exposure from portable X-ray units. *Leg Med (Tokyo)* 2020;47:101787. DOI: 10.1016/j.legalmed.2020.101787
 28. KAVO. (2021). *NOMAD Pro 2 Handheld X-ray System User Manual [Manual de usuario]*. Charlotte, NC: KaVo Kerr. [citado el 19 de diciembre 2023]. <https://dexis.com/en-us/dexis-nomad-pro-2>
 29. VATECH. (2016). *EZray Air Catalog [Catálogo de productos]*. Korea: Vatech Samsung. [citado el 19 de diciembre 2023]. <https://vatechamerica.com/products/ezray-air#!home>
 30. GAMMEX. *Products catalog [Catálogo de productos]*. Middleton, WI, USA. [citado el 19 de diciembre 2023]. <https://pdf.medicalexpo.com/pdf/sun-nuclear/gammex-catalog/80076-136506.html>
 31. Ade N, van Eeden D, du Plessis F. Characterization of Nylon-12 as a water-equivalent solid phantom material for dosimetric measurements in therapeutic photon and electron beams. *Appl Radiat Isot* 2020;155:108919. DOI:10.1016/j.apradiso.2019.108919
 32. Ramesh D, Wale M, Thriveni R, Byatnal A. Hand-held X-ray device: a review. *J Indian Acad Oral Med Radiol* 2018;30, 153-7.
 33. Moshfeghi M, Safi Y, Afzalan A, Ghazizadeh M. Assessment of occupational radiation dose from camera model intraoral handheld x-ray device without stray radiation protection shield. *Radiat Prot Dosimetry* 2022;18;198:1-7. DOI: 10.1093/rpd/ncab173.
 34. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. *NCRP Report No. 177: Radiation Protection in Dentistry and Oral & Maxillofacial Imaging*. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; 2019. [citado el 19 de diciembre 2023]. <https://ncrponline.org/shop/reports/report-no-177/>
 35. Lurie A, Kantor M. Contemporary radiation protection in dentistry: recommendations of National Council on Radiation Protection and Measurements Report No. 177. *J Am Dent Assoc* 2020;151:716-9.
 36. Barba L, Cascante D. Actualización en equipos de rayos X portátiles en odontología: revisión de literatura. *Odovtos-Int J Dent Sc* 2022; 24:26-33.
 37. Rottke D, Gohlke L, Schrödel R, Hassfeld S, Schulze D. Operator safety during the acquisition of intraoral images with a handheld and portable X-ray device. *Dentomaxillofac Radiol* 2018; 47:20160410. DOI: 10.1259/dmfr.20160410.