

Universidad de Ciencias Médicas de La Habana
Facultad de Estomatología "Raúl González Sánchez"

Efectos biológicos de los Rayo-X en la práctica de Estomatología

Biological effects of X-rays in Odontology practice

Leonor Fuentes Puebla^I, Sonia Felipe Torres^{II}, Víctor Valencia Fernández^{III}

^I Especialista Primer Grado en Estomatología General Integral. Instructora. e.mail: leonorpuebla@infomed.sld.cu

^{II} Especialista Segundo Grado en Estomatología General Integral. Máster en Urgencias Estomatológicas. Profesora Auxiliar. e.mail: sony.fely@infomed.sld.cu

^{III} Doctor en Estomatología. Profesor Auxiliar. e.mail: vvalencia@infomed.sld.cu

RESUMEN

Introducción: en la Odontología, así como en otras disciplinas del área de la salud, la radiografía resulta una herramienta rutinaria y de gran utilidad en el área diagnóstica.

Objetivo: actualizar los conocimientos sobre los efectos biológicos de los Rayos-X en la práctica estomatológica.

Material y Métodos: se realizó una revisión bibliográfica en las principales bases de datos médicas (Scielo, Pubmed, EBSCO, Hinari) de 27 materiales científicos escritos y electrónicos relacionados con el tema, utilizando los descriptores de búsqueda: rayos-X, radiaciones ionizantes, efectos nocivos.

Resultados: se recopilaron datos sobre los efectos negativos que tienen las radiaciones ionizantes para el organismo humano, tanto a nivel molecular como del organismo como un todo. Además se obtuvo información relacionada con las especificidades de estos efectos en el personal de Estomatología que realiza estos procedimientos diagnósticos y para los pacientes.

Conclusiones: a pesar de que los pacientes no se someten a altas dosis de energía ionizante en los tratamientos estomatológicos, su uso inadecuado e irracional puede traer severas consecuencias.

Palabras clave: Rayos-X, radiaciones ionizantes, efectos nocivos, protección radiológica, cuidado dental, estomatología, tratamiento estomatológico.

ABSTRACT

Introduction: in odontology, as well as in other health disciplines, the X-rays are a routine tool of great utility in the diagnostic area.

Objective: to update the knowledge on the biological effects of the X-rays in the odontology practice.

Material and Methods: a literature review was conducted in the main medical databases (Scielo, Pubmed, EBSCO, Hinari) from 27 writings and electronic scientific materials related with the topic, using the search descriptors: X-rays, ionizer radiations, harmful effects.

Results: data about negative effects that have the radiations ionizing for the human organism was gathered, both molecular level and organism level. Besides it was obtained information relating to specificities of these effects in the Dental personnel that carries out these diagnostic procedures and for the patients too.

Conclusions: although the patients don't undergo high dose of energy in the dental treatments, their inadequate and irrational use can bring severe consequences.

Key words: X-rays, ionizing radiations, noxious effects, radiology protection, dental care, dentistry, dentistry treatment.

INTRODUCCIÓN

Los Rayos-X, al igual que las ondas de radio, las ondas de microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos ultravioleta y los rayos gamma, son radiaciones de naturaleza electromagnética. En dependencia del efecto que provocan sobre las moléculas se clasifican como radiaciones ionizantes, debido a que al interactuar con la materia producen la ionización de los átomos de la misma, es decir, origina partículas con carga con una alta reactividad.¹

El nombre de rayos-X designa una radiación que no es visible; sin embargo, puede atravesar cuerpos opacos e imprimir las películas fotográficas. Dichas ondas tienen una longitud de onda entre 0,1-10 nanómetros (nm), correspondiendo a frecuencias en el rango de 30 a 3 000 pico Hertz (de 50 a 5 000 veces la frecuencia de la luz visible).¹

A finales de 1895, Wilhelm Conrad Roentgen demostró que los rayos-X son una radiación muy penetrante, caracterizada porque no se puede observar y la propiedad de poder atravesar grandes capas de papel e incluso metales menos densos que el plomo.² Además, demostró que para poder observar la imagen del objeto sobre el cual incidían los rayos se requerían placas fotográficas. Poco tiempo después, se logró la utilización de esta novedosa tecnología en humanos.¹

Los efectos ionizantes de los rayos-X se producen proporcionalmente a la cantidad de radiación absorbida (energía) y la radiosensibilidad de las células que la absorben.² La radiación transfiere energía a las moléculas de las células que conforman los tejidos. Como resultado de esta interacción, las funciones de las células pueden deteriorarse de forma temporal o permanente y ocasionar incluso su muerte. La gravedad de la lesión depende del tipo de radiación, la dosis absorbida, la velocidad de absorción y la sensibilidad del tejido frente a la radiación.³

El presente y futuro exige la necesidad de una conciencia y cultura del efecto de las radiaciones a tal punto que en reuniones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha planteado: "La radiología diagnóstica es la causa más importante de exposición humana a fuentes artificiales, también sabemos que el grado de seguridad alcanzado hasta hoy es muy elevado minimizando el riesgo inevitable del paciente y compensándolo con los beneficios de los mismos".⁴

En nuestro país, los servicios de Radiología en Estomatología se encuentran ubicados desde la Atención Primaria de la Salud y su uso racional y controlado se encuentra recogido en la Resolución Ministerial 19/2002, con la denominación: Requisitos técnicos generales de seguridad y protección radiológica para instalaciones de Radiodiagnóstico médico y estomatológico del Ministerio de Salud Pública.⁵

OBJETIVO

Actualizar los conocimientos sobre los efectos biológicos de los Rayos-X en la práctica estomatológica.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica en las principales bases de datos médicos (Scielo, Pubmed, EBSCO, Hinari) de 27 materiales científicos escritos y electrónicos relacionados con el tema, utilizando los descriptores de búsqueda: rayos-X, radiaciones ionizantes, efectos nocivos, protección radiológica, cuidado dental.

Además se consultó la Resolución Ministerial 19/2002: Requisitos técnicos generales de seguridad y protección radiológica para instalaciones de Radiodiagnóstico médico y estomatológico del Ministerio de Salud Pública.⁵

DESARROLLO

El descubrimiento de los rayos-X fue el resultado de la investigación, experimentación, y no por accidente como algunos autores afirman llevados a cabo por W.C. Roentgen. Él fue un connotado hombre de ciencia, agudo observador, investigaba los detalles mínimos, examinaba las consecuencias de un acto quizás casual, y por eso tuvo éxito donde los demás fracasaron. Este genio no quiso patentar su descubrimiento cuando Thomas Edison se lo propuso, manifestando que lo legaba para beneficio de la humanidad.⁶

Los rayos-X además de ser invisibles y pertenecer al espectro electromagnético tienen la propiedad de atravesar los cuerpos, excitar la fluorescencia de determinadas sustancias y ser absorbidos por los medios biológicos, entre otras propiedades, que le dan su importante uso en las Ciencias Médicas.²

Respecto al mecanismo de acción de los rayos-X, se explica sobre la base de la teoría mixta corpuscular-ondulatoria: tienen una alta frecuencia y una baja longitud de onda. Desde que Roentgen descubrió que los rayos-X permitían captar estructuras óseas, se han desarrollado las tecnologías necesarias para su uso en la práctica médica.²

Los efectos nocivos de los rayos-X son válidos para toda radiación ionizante y se pueden estudiar en fases como las que se presentan a continuación, sin que ello no implique efectos simultáneos.⁷

a) Fase de reacción físico-química

Esta fase se puede resumir en una serie de sucesos especialmente referidos a la interacción con el agua, molécula más frecuente en los tejidos. Tales efectos se pueden secuenciar como:⁷

-Excitación de la molécula que absorbe la energía de la radiación X, seguida de ionización. Ej: radiolisis del agua.

-Generación de productos de ionización con alto contenido en energía, tales como los radicales libres que son muy reactivos. Ej: iones del agua y radicales libres del agua.

-Recombinación y reacciones químicas de radicales libres. Ej: reacción de formación de dioxígeno (O₂), de peróxido de hidrógeno (H₂O₂).

b) Fase de reacción bioquímica

En esta fase, los rayos-X pueden interactuar con cualquier molécula biológica, sobre la cual pueden generarse cambios transitorios o permanentes, tales como:⁷

- Efectos sobre los enlaces formados por puentes de hidrógeno y disulfuro entre cadenas peptídicas, entre aminoácidos y la estructura cuaternaria de las proteínas. La ruptura de estos puentes genera cambios conformacionales a las proteínas lo cual puede significar una alteración en sus funciones, como es el caso de las enzimas, anticuerpos, receptores, entre otras.
- Efectos sobre los enlaces de los ácidos nucleicos y sobre nucleótidos, de consecuencias variables, lo que puede llegar hasta la mutación genética.
- Efectos sobre las moléculas de lípidos.

c) Fase de efecto biológico

A nivel de estructuras celulares, subcelulares, tejidos y órganos: Se pueden hacer las apreciaciones siguientes:⁷

- El efecto es variable, dependiendo de la sensibilidad de las células irradiadas (tipo, morfología, estado evolutivo).
- En general, el efecto es más intenso en sistemas de mayor actividad reproductiva, mayor potencia cariocinética y menor diferenciación morfológica y funcional.

- El efecto sobre los órganos puede afectar su funcionalidad, desde las fases metabólicas hasta sus funciones específicas.

La acción de estas sobre los átomos y moléculas provoca su división en iones (átomo o grupo de átomos con signo eléctrico contrario) y al volverse a unir lo hacen bajo nuevas formas químicas, ² o sea, según estas aseveraciones pueden aparecer nuevas variantes de las moléculas originales que al entrar en procesos celulares vitales desencadenan transformaciones que en la mayoría de los casos son irreversibles, como es el caso de la muerte celular por procesos de necrosis.

Los seres vivos estamos expuestos a niveles bajos de radiación ionizante procedente del sol, las rocas, el suelo, fuentes naturales del propio organismo y de residuos radiactivos de pruebas nucleares en el pasado. Además de ciertos productos de consumo y materiales radiactivos liberados desde hospitales y plantas asociadas a la energía nuclear y a las de carbón. ² Los trabajadores expuestos a mayor cantidad de radiaciones son los astronautas (debido a la radiación cósmica), el personal médico de la especialidad de Imagenología, y los que laboran en una instalación radiactiva o nuclear, además de los investigadores que utilizan los rayos-X en sus estudios. Por otra parte, se recibe una exposición adicional con cada examen de rayos-X y de medicina nuclear, y la cantidad depende del tipo y el número de exploraciones. ⁸

En la bibliografía consultada, ^{8,9} algunos autores plantean que la exposición a bajos niveles de radiación ionizante del ambiente no afecta la salud de los seres humanos. De hecho, existen estudios que afirman que podrían ser beneficiosas (hipótesis de la hormesis). Sin embargo, los organismos gubernamentales dedicados a la protección radiológica oficialmente utilizan la hipótesis conservadora de que incluso en dosis muy bajas o moderadas, las radiaciones ionizantes aumentan la probabilidad de contraer cáncer, y que esta probabilidad aumenta con la dosis recibida (Modelo lineal sin umbral). ¹⁰ A los efectos producidos a estas dosis bajas se les suele llamar efectos probabilistas, estadísticos o estocásticos. ⁸ A nuestro juicio, estamos de acuerdo con el Modelo lineal sin umbral, y es el que se tiene que tener en cuenta en la práctica diaria, sobre todo, cumpliendo con todas las medidas de protección disponibles tanto para pacientes como para el personal de asistencia y las instalaciones donde se llevan a cabo estos procedimientos diagnósticos.

La exposición a altas dosis de radiación ionizante puede causar quemaduras de la piel, caída del cabello, náuseas, enfermedades y la muerte. Los efectos dependerán de la cantidad de radiación ionizante recibida y la duración de la irradiación, y factores personales, tales como sexo, edad a la que se expuso, estado de salud y nutrición. Aumentar la dosis produce efectos más graves. ¹¹ Es cierto que cada vez que se realiza una radiografía diagnóstica en la cavidad bucal, la dosis de radiaciones recibida es bastante baja; sin embargo, no siempre se tienen en cuenta los demás factores mencionados, y no se respetan las medidas de protección que se deben cumplir, como por ejemplo, el uso del peto plomado para los pacientes y más si son mujeres. Si estas mujeres necesitan más radiografías sucesivas entonces las estaríamos exponiendo con mucha frecuencia a esas radiaciones y si en cada una de ellas continuamos sin suministrarles protección entonces le podemos proporcionar un daño.

Está demostrado que una dosis de 3 a 4 Sv (Sievert, unidad del Sistema Internacional de Medidas) produce la muerte en 50 % de los casos. A los efectos producidos a altas dosis se les denomina deterministas o no estocásticos en contraposición a los estocásticos. ¹¹ La irradiación de zonas concretas del cuerpo produce daños locales en los tejidos. Se lesionan los vasos sanguíneos de las zonas

expuestas alterando las funciones de los órganos. Cantidades más elevadas, desembocan en necrosis y gangrena. Hay ciertos factores que influyen en este tipo de lesiones, como la dosis total, la velocidad de administración de la dosis, la cantidad de tejido irradiado, la sensibilidad celular y la edad de la persona que recibe la radiación.¹²

La dosis total es la cantidad de radiación recibida o la cantidad total de energía radiante absorbida. Las lesiones son más graves cuando el tejido absorbe mayores cantidades de radiación. Tal como ocurre con la mayoría de los agentes farmacológicos, existe una relación cuantitativa entre la extensión del daño y su dosis. La velocidad de administración de la radiación es la rapidez con la que ocurren la exposición y la absorción de las radiaciones (velocidad de administración de dosis=dosis/tiempo). Las lesiones por radiaciones resultan más graves cuando mayor es la velocidad de administración de la dosis debido a la rapidez con que se recibe la radiación que no da tiempo a que se repare el daño celular.¹³

La cantidad de tejido irradiado se corresponde con el área o las áreas corporales que fueron expuestas. La irradiación de cuerpo completo produce más efectos adversos generales que cuando solo se exponen áreas corporales pequeñas y localizadas. Cuando se hace referencia a las dosis, al nivel máximo permisible de exposición o a la dosis letal media, suponemos que la dosis es suministrada al cuerpo entero.^{14, 15} En este sentido, nos permitimos afirmar que tampoco se debe abusar de la irradiación de pequeñas zonas como es la cavidad bucal, que además es una zona muy vascularizada, pues entonces se estaría evidenciando el efecto acumulativo de las mismas que a largo plazo pudiera manifestarse en un daño mucosal.

La edad es otro factor determinante de lesiones por radiaciones, pues los niños son más susceptibles al daño que los adultos.¹⁶ Este planteamiento hay que tenerlo en cuenta siempre pues en muchas ocasiones a los niños se les tienen que hacer radiografías a repetición por un inadecuado diagnóstico clínico, fundamentalmente en los servicios de ortodoncia; es por ello que es tan importante llegar a la discusión diagnóstica entre los distintos especialistas de los casos en que se puedan tener dudas y así no exponerlos tantas veces por un mismo objetivo.

Por otra parte, la sensibilidad celular también influye en las lesiones por radiación; hay más daño en las células que son más sensibles a la radiación. Se ha planteado que no todas las células y tejidos son igualmente sensibles o vulnerables a las radiaciones. Las células más activas y que crecen con mayor rapidez, tienden a ser las más radiosensibles en un tejido cualquiera. En general, el núcleo de una célula es más radiosensible que el citoplasma; de aquí que una célula con bastante citoplasma no sea tan afectada como aquella que contiene más material en el núcleo.¹⁷

Puede aceptarse la siguiente lista de células comunes y/o tejidos, agrupados de acuerdo con un orden decreciente de radiosensibilidad:

1. El tejido linfático, muy sensible, particularmente los linfocitos.
2. Células rojas jóvenes, halladas en la médula ósea.
3. Las células que revisten el canal gastrointestinal.
4. Células de las gónadas; los testículos son más sensibles que los ovarios.
5. Piel, particularmente la porción que rodea el folículo capilar.
6. Células endoteliales vasos sanguíneos y peritoneo.
7. Epitelio del hígado y adrenales.
8. Otros tejidos, incluidos el óseo, músculo y nervioso, en ese orden.¹⁷

Recordemos el hecho de que los tejidos muy jóvenes o en pleno crecimiento son más sensibles a la radiación que los tejidos adultos o inactivos. Los efectos de las radiaciones ionizantes sobre la materia viva son el resultado final de las interacciones físicas, ya sea por ionización y excitación de los fotones o partículas con los átomos que la componen y pasan por etapas sucesivas.¹⁸

La acción directa de la radiación es consecuencia de ionizaciones que se producen en los átomos que forman la molécula del ácido desoxirribonucleico (ADN), fenómeno dominante en radiaciones con alta transferencia lineal de energía (LET) como las partículas alfa, beta y protones, que inciden directamente sobre los átomos de las moléculas. La acción indirecta de la radiación es la interacción del haz de radiación con otros átomos y moléculas de la célula como el agua, lo que produce radicales libres que al difundir hasta la molécula de ADN la dañan de manera indirecta.¹⁶

La interacción de los radicales libres resultantes de la hidrólisis del agua (peróxidos, superóxidos e iones hidroxilo), origina una serie de reacciones químicas con moléculas de solutos presentes en el medio irradiado y que producirán la inducción de un cierto grado de lesión biológica. Cuando las radiaciones interactúan con la materia viva se producen fenómenos fisicoquímicos, pues la ionización y excitación suponen un incremento de energía para las moléculas, lo que compromete su estabilidad. Dependiendo de la importancia de la molécula afectada, la lesión biológica será más o menos importante.¹⁶

La acción de la radiación en la célula no se limita solamente al ADN, pues también pueden afectarse las moléculas de ácido ribonucleico (ARN) y las proteínas, lo cual provoca una alteración de las moléculas por rotura de enlaces.^{19,20}

En el caso de que actúen sobre moléculas como carbohidratos o lípidos, pueden producir efectos transitorios ya que se resintetizan inmediatamente. Si la acción de los radicales libres es sobre el ADN, los efectos son mucho más importantes ya que puede producirse:

- Roturas de la cadena (simples o dobles).
- Alteración o destrucción de las bases.
- Alteración o destrucción de los azúcares.
- Formación de dímeros.
- Lesiones múltiples, locales, en la molécula.²¹

A pesar de que existe una serie de enzimas reparadoras que actúan restableciendo la integridad molecular, en el caso de lesiones más graves se pueden producir daños biológicos como mutaciones puntuales o graves cambios en la estructura del DNA que son irreversibles.²² En general, los seres vivos presentan mutaciones espontáneas en su evolución que se resisten sin daño aparente. El riesgo de la radiación no está en la producción de mutaciones sino en el hecho de que aumenta su incidencia por encima de la media; circunstancia que no asimila el organismo.²³

Aparejado a esto pueden aparecer afectaciones en los cromosomas, pues sufren importantes cambios estructurales por acción de la radiación, ya sea por acción directa o indirecta, que desembocan en la rotura de los mismos y forman dos o más fragmentos que pueden volver a unirse y repararse totalmente o pueden unirse con otros fragmentos mutilados, y da origen a nuevos cromosomas distintos de los normales.²⁴

La radiación utilizada con fines diagnósticos en radiología oral convencional es muy baja si se compara con la utilizada en otras áreas de la Medicina, como la

fluoroscopia o la tomografía computarizada. No hay un estudio clínico que demuestre una asociación entre las bajas dosis de radiación utilizadas en diagnóstico oral y mutaciones genéticas u otros daños en el paciente o el operador, como tampoco se puede asegurar que sean absolutamente inocuas. La dosis que recibe la tiroides en un examen periapical completo es aproximadamente 0,94 mGy, bastante cercana a la necesaria para que se produzca un daño genético que es de solo 1,0 mGy, y que corresponde a 0,03% de la exposición del Medio Ambiente en un año.¹⁹

En una investigación realizada con el fin de determinar si la exposición crónica a rayos-X durante la práctica clínica diagnóstica, que realizan los estudiantes de Odontología como parte de su formación académica, produce daño genético, se concluyó que la dosis recibida y el tiempo de exposición a los rayos-X tienen un efecto citotóxico en células de la mucosa bucal y producen un daño mínimo al ADN en células de sangre periférica. La exposición a rayos-X durante la radiografía panorámica en pacientes adultos y en niños induce efectos genotóxicos en células gingivales, incrementando el daño cromosómico y la muerte celular.¹⁷ Por consiguiente, hacemos la aclaración que estas radiografías panorámicas dentales deberían ser solicitadas únicamente en casos muy necesarios, ya que este procedimiento no puede ser considerado como de bajo o de ningún riesgo.

Si se considera que cualquier dosis, por pequeña que sea, lleva aparejado un riesgo, debe reducirse a valores tan bajos como sea posible. Sin embargo, es importante tener en cuenta el tiempo de exposición en forma crónica al que se exponen trabajadores y personas en formación profesional, como estudiantes de carreras del área de la Salud, y que la radiosensibilidad puede variar de un individuo a otro dependiendo de la edad, el sexo y el tipo de exposición.²⁵

En el caso de las embarazadas para que una dosis de radiación tenga efectos negativos en el feto es necesario que supere los 10 *rads* y en cada radiografía dental el embrión sólo está expuesto solamente a 0,00001 *rad*, por lo que los riesgos para el bebé son mínimos.²⁶ En una investigación realizada por Aquino y colaboradores,⁸ en México, concluyeron que el personal odontológico está expuesto a una dosis ínfima de radiación, siempre y cuando se utilicen las medidas de protección, de esta forma no existe riesgo alguno, ya que para llegar a una dosis alta de 1Gy se tendrían que realizar un total de 1 142 exposiciones radiográficas dentoalveolares, 1 111 oclusales y 400 series radiográficas en un solo día. Por tanto, creemos que es responsabilidad de la administración de los servicios velar porque el personal que labora en estas actividades tenga una carga de trabajo acorde a los límites permisibles y que cada uno de ellos porte los dosímetros para su posterior evaluación.

A nuestro juicio, lo ideal es que se siga haciendo énfasis en el conocimiento de los diversos temas de radiobiología en la carrera de Estomatología, tanto en la enseñanza de pregrado como en el postgrado, porque estos tratarán de responder los qué, cómo, por qué y cuándo, que ayudarán entre otras cosas a cumplir con un principio ético de evitar que se produzcan daños a pacientes sanos o enfermos, producto de los exámenes de diagnóstico e investigaciones que les realicemos. El nuevo siglo se caracteriza por la sustitución de la radiología convencional por la radiología digital, lo que permitirá obtener mejores resultados, gracias al avance de los microprocesadores que utilizan los ordenadores, a la vez que se conseguirá disminuir en gran medida el impacto que tiene sobre los pacientes la radiación ionizante.

CONCLUSIONES

La radiografía en Estomatología es un método de diagnóstico seguro y útil, y si bien los pacientes se exponen a cantidades mínimas de radiación ionizante, el beneficio que se obtiene sobrepasa cualquier riesgo probable siempre que se tengan en cuenta las medidas de seguridad para ello. Sin embargo, no se puede ignorar que el uso inadecuado e irracional de estas puede traer severas consecuencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Als-Nielsen J, McMorrow D. Early history and x-ray tube. En: Elements of Modern X-ray Physics. Second Edition. United Kingdom: Jhon Wiley and Sons Ltd.; 2011.
2. Salazar AJ, Cuervo DK. Protocolo de ensayos de emisiones radiadas en equipos médicos: caso de estudio de equipos de telemedicina. Rev. fac. ing. univ. Antioquia [Revista de Internet]. 2012; 65: 33-45 [Consultado 2015-04-30]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302012000400003&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0120-6230.
3. Barrio JP, Hernández RM, Costilla S, Rodríguez JR, Ferreras MC, González P. Estudio experimental sobre los efectos de la quercetina en la disfunción orgánica y cognitiva originada por radiación ionizante. Trauma. 2013; 24(1): 24-32.
4. Whaites E. Essential of dental Radiography and Radiology. Estados Unidos: Editorial Mosby; 1996, p.25-27.
5. Ministerio de Salud Pública. Resolución Ministerial 19/2002: Requisitos técnicos generales de seguridad y protección radiológica para instalaciones de Radiodiagnóstico médico y estomatológico. La Habana, Cuba: MINSAP; 7 de marzo del 2002.
6. Ramos N, Villarreal U. Disminución de la dosis de radiación en el radiodiagnóstico. Rev. chil. radiol. [revista en la Internet]. 2013; 19(1): 5-11. [Citado 2014 mayo 02]. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-
7. Sierra B. Evaluación del efecto genotóxico de la radiación ionizante en médicos ortopedistas expuestos laboralmente, en cuatro instituciones de salud en Bogotá, Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia; 2011.
8. Aquino M, Avilés P, Romero MR, Bojorge J, Ramírez P. Cuantificación de la dosis absorbida por medio de dosimetría termoluminiscente en radiología dental. Revista Odontológica Mexicana. 2010; 14(4): 231-236.
9. Liu ShuZheng, Liu WH, Sun JB. Estudio que presenta la hormesis en animales. Health Physics. 1987; 52(5).
10. Antonio EL. Genotoxicidade e citotoxicidade dos raios X no epitelio da mucosa oral de crianças submetidas a radiografias panorâmica [Tesis de Maestría], Curitiba Universidad Federal do Paraná; 2010.

11. Cerqueira EMM, Meireles JRC. Genotoxic effects of x-rays on keratinized mucosa cells during panoramic dental radiography. *Dentomaxillofacial radiology*. 2008; 37:398-403.
12. Infante A, Reyes R, González D, Garbey O, Prades E. Control de calidad en radiodiagnóstico convencional. [CD-ROM]. *Memorias Convención Internacional de Salud Pública*. Cuba Salud. La Habana, Cuba: 2012.
13. Ribeiro DA. Cytogenetic biomonitoring in oral mucosa cells following dental X-ray. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2012; 41(3):181-184.
14. Coelho DL, Cuzzuo AC, Carlin V, Araki D, Franzotti E. Mutagenicity and cytotoxicity in patients submitted to ionizing radiation. *The Angle Orthodontist*; 2013; 83(1):104-109.
15. Williams BB, Dong R, Nicolalde RJ, Matthews TP, Gladstone DJ, *et al*. Physically-based biodosimetry using in vivo EPR of teeth in patients undergoing total body irradiation. *Int J Radiat Biol*. 2011; 87:766-775.
16. Mondaca R. Por qué reducir la dosis de radiación en Pediatría. *Rev Chil Radiol*. 2006; 12(1):28-32.
17. Franco D. Evaluación genotóxica por el test de micronúcleos y el ensayo del cometa en estudiantes de odontología expuestos a rayos X durante las radiografías dentarias. [Tesis de Doctorado]. Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción" . Campus Asunción: 2010.
18. Levêque P, Desmet C, Dos Santos-Goncalvez AM, *et al*. Influence of Free Radicals Signal from Dental Resins on the Radio-Induced Signal in Teeth in EPR Retrospective Dosimetry. Aegerter CM, ed. *PLoS ONE*. 2013;8(5):e62225.
19. Williams B, Dong R, Kmiec M, Burke G, Demidenko E, Gladstone D, *et al*. Development of In Vivo Tooth EPR for Individual Radiation Dose Estimation and Screening. *Health Phys*. 98(2):327-38.
20. Gougelet RM, Rea ME, Nicolalde RJ, Geiling JA, Swartz HM. The View From the Trenches: Part 1-Emergency Medical Response Plans and the Need for EPR Screening. *Health Phys*. 2010;98(2):118-27.
21. Romm H, Wilkins RC, Coleman CN, Lillis-Hearne PK, Pellmar TC, Livingston GK, *et al*. Biological dosimetry by the triage dicentric chromosome assay: potential implications for treatment of acute radiation syndrome in radiological mass casualties. *Radiat Res*. 2011; 175(3):397-404.
22. Black PJ, Swarts SG. Ex Vivo Analysis of Irradiated Fingernails: Chemical Yields and Properties of Radiation-Induced and Mechanically-Induced Radicals. *Health Phys*. 2010; 98:301-308.
23. Ossetrova NI, Sandgren DJ, Gallego S, Blakely WF. Combined Approach of Hematological Biomarkers and Plasma Protein Saa for Improvement of Radiation Dose Assessment Triage in Biodosimetry Applications. *Health Phys*. 2010;98(2):204-8.
24. Romm H, Wilkins RC, Coleman CN, Lillis-Hearne PK, Pellmar TC, Livingston GK, Awa AA, Jenkins MS, Yoshida MA, Oestreicher U, Prasanna PG. Biological dosimetry

by the triage dicentric chromosome assay: potential implications for treatment of acute radiation syndrome in radiological mass casualties. *Radiat Res.* 2011;175(3):397-404.

25. Devi P, Thimmaras VB, Mehrotra V, Arora P. Micronucleus Assay for Evaluation of Genotoxicity in Potentially Malignant and Malignant Disorders *Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology* [Revista de Internet]. 2011; 23(2): 97-100 [Consultado 2015-04-30] Disponible en: http://www.jaypeejournals.com/eJournals/ShowText.aspx?ID=1356&Type=FREE&TYP=TOP&IN=_eJournals/images/JPLOGO.gif&IID=115&isPDF=NO

26. Fernández M, Chávez M. Atención odontológica en la mujer embarazada. *Arch Inv Mat Inf.* 2010;11(2):80-84

Recibido: 2 de julio de 2014.

Aprobado: 30 de abril de 2015.