

LITERATURE REVIEW

DOI: 10.15517/IJDS.2021.45846

Recibido:
30-XI-2020

Aceptado:
12-I-2021

Publicado en línea:
15-II-2021

Actualización en equipos de Rayos X portátiles en odontología:
revisión de literatura

Update on Hand-Held X-Ray Devices in Dentistry:
a Literature Review

Lucía Barba Ramírez DDS, MSc¹; Deivi Cascante-Sequeira DDS²

1. Especialista en Radiología Oral y Maxilofacial. Departamento de Ciencias Diagnósticas y Quirúrgicas, Facultad de Odontología Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

<http://orcid.org/0000-0003-1457-7209>

2. Maestría en Radiología Oral. Estudiante del Programa de Posgrado, Facultad de Odontología Piracicaba, Universidad de Campinas, São Paulo, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-5009-6632>

Autor para correspondencia: Dra. Lucía Barba Ramírez - lucia.barbaramirez@ucr.ac.cr

RESUMEN: En las últimas dos décadas ha aumentado el uso de equipos portátiles de rayos X intraorales, los cuales son estabilizados por el operador. Si bien todos los equipos radiográficos presentan un riesgo inherente por el uso de radiación ionizante, el uso indebido de los equipos portátiles puede aumentar la exposición del operador. Se recomienda el uso de los equipos portátiles en un trípode o activados desde un área protegida. Sin embargo, en casos altamente justificados para su uso sin estos aditamentos, se debe seguir recomendaciones para disminuir la exposición del operador. Debido a que la radioprotección es fundamental al trabajar con rayos X, se debe favorecer el uso de equipos radiográficos dentales fijos sobre los equipos portátiles, ya que estos proporcionan una menor dosis de radiación al operador.

PALABRAS CLAVE: Protección radiológica; Rayos x; Portátil; Portable; Radiografía dental; Diagnóstico por imagen.

ABSTRACT: In the last two decades, the use of portable intraoral X-ray devices, stabilized by the operator, has increased. While all radiographic devices present an inherent risk from ionizing radiation, improper use of portable devices can increase operator exposure. Use of portable devices on a tripod or powered from a protected area is recommended. However, in highly justified cases, for using without these accessories, recommendations should be followed to reduce operator exposure.

Because radioprotection is essential when using X-rays, fixed dental radiographic devices should be favored over portable equipment since the first provides a lower radiation dose to the operator.

KEYWORDS: Radiation protection; X-rays; Handheld; Portable; Dental radiography; Diagnostic imaging.

INTRODUCCIÓN

En odontología existen diversas herramientas que brindan información al clínico para el correcto diagnóstico, tratamiento y control de los pacientes. Una de estas herramientas son los exámenes radiológicos intraorales y extraorales, que se realizan a los pacientes mediante equipos generadores de rayos X. Los equipos de rayos X para exámenes intraorales tradicionalmente se han instalado en el consultorio dental de manera fija en una pared, pero posteriormente, se desarrollaron los equipos móviles. Estos equipos son los mismos equipos de rayos X, pero instalados en una base, sobre ruedas, lo que permite su movilización dentro del espacio clínico (1). Sin embargo, el avance de la tecnología y las distintas necesidades de los pacientes, resultaron en una evolución de los equipos de rayos X intraorales en odontología. En las últimas dos décadas, los equipos portátiles (EP) han reemplazado a los equipos fijos y móviles. Estos equipos no se encuentran adosados a una pared o sobre una base móvil, sino que pueden desplazarse con el operador (2).

Los EP, al igual que los equipos fijos de pared y los móviles, usan rayos X. Los rayos X son un tipo de radiación ionizante, por lo que la exposición a ellos podría producir efectos dañinos en la salud de las personas. Estos efectos, conocidos como efectos estocásticos, son el cáncer y los efectos hereditarios (3), y se presentan aún en dosis bajas como las usadas en odontología (4). Si bien todos los equipos conllevan el riesgo inherente al uso de radiación ionizante, debe hacerse la diferencia entre los equipos fijos y móviles con los EP. Debido

a que en los EP el operador tiene una mayor cercanía con el equipo para realizar la toma, aumenta su exposición a radiación ionizante, teniendo un mayor riesgo que al operar equipos convencionales.

El aumento en el uso de EP plantea algunas preocupaciones sobre la protección al operador, por lo que debe tenerse en cuenta que su uso debe darse bajo indicaciones específicas y tomando en consideración las medidas de seguridad que disminuyan el riesgo del operador que trabaja con radiaciones ionizantes. La presente revisión de literatura tiene como objetivo revisar los efectos de la radiación ionizante y la información más reciente en relación con la radioprotección al operador y el uso de los equipos portátiles en odontología.

EFFECTOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

Los efectos adversos de la radiación ionizante se clasifican en dos categorías: a. reacciones tisulares o efectos determinísticos y b. efectos estocásticos (4). Las reacciones tisulares tienen un umbral de dosis, es decir, se requiere de una dosis mínima necesaria para que se presente el efecto adverso (3). Se estima que el efecto se expresa de manera clínicamente relevante en dosis por encima de los 100mSv, y a medida que aumenta la dosis, aumenta la gravedad del efecto (4).

Los efectos estocásticos, por el contrario, no tienen umbral de dosis. Se estima que la probabilidad de que el efecto se exprese es en dosis bajas, por debajo de los 100mSv al año (4). A medida que aumenta la dosis, aumenta la probabilidad de

que se presente el efecto, pero, a diferencia de la reacción tisular, el aumento de dosis no aumenta la severidad del efecto. El efecto estocástico asociado a las dosis bajas usadas en odontología es el cáncer, por lo que, aún dosis mínimas de radiación conllevan la probabilidad de inducir un cáncer (3,5).

Existen distintos modelos que explican la relación entre las bajas dosis de radiación y la expresión de sus efectos adversos, pero el modelo actualmente apoyado y promovido por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, del inglés International Commission on Radiation Protection) es el modelo lineal sin umbral (LNT del inglés Linear no-threshold) (6).

La ICRP ha establecido tres principios de protección radiológica debido a la probabilidad de la expresión de efectos adversos por la radiación ionizante. Estos principios son la justificación, la optimización y la limitación de dosis, y deben usarse siempre que se trabaje con radiación ionizante (4). Si bien la presente revisión se enfoca en el principio de limitación de dosis, a continuación, se describen brevemente los tres principios. El principio de justificación determina que el paciente debe obtener un beneficio mayor al riesgo que supone el exponerse a radiación ionizante (4). Es decir, si el examen radiográfico entrega información que mejora el diagnóstico o tratamiento del paciente (7). El principio de optimización se conoce como "ALARA" (del inglés "as low as reasonably achievable") y establece que las dosis de radiación deben mantenerse tan bajas como sea posible, siempre que entreguen una imagen de calidad aceptable para el diagnóstico de acuerdo con la indicación clínica (3-5). El principio de limitación de dosis aplica solamente al operador conocido como "personal ocupacionalmente expuesto" (POE) y al público. Este principio determina que la exposición no debe exceder los límites de dosis recomendados por la ICRP y/o por

la regulación nacional, en un periodo de tiempo específico (4). Para esto, se establecen distintos requisitos que deben aplicarse siempre que se use equipos radiológicos. Estos requisitos son: blindaje de la zona donde se instala el equipo de rayos X, el uso de un biombo o pared plomada detrás de la cual debe posicionarse el POE y/o público, y una distancia mínima que debe alejarse el POE y/o público del equipo de rayos X (3).

EQUIPOS RADIOGRÁFICOS PORTÁTILES

Los equipos radiográficos portátiles son equipos generadores de rayos x que se utilizan en odontología para la toma de radiografías intraorales. Estos equipos, a diferencia de los fijos y móviles, pueden acoplarse y desacoplarse de su base. Esta característica, además de un menor tamaño, facilita su transporte.

El uso de los EP en radiología intraoral se describe por primera vez en 1993, con el desarrollo del equipo PXS7 desarrollado por Kevex X-Ray Corporation (8). Este equipo fue diseñado no como un reemplazo del equipo radiológico convencional, sino como una ayuda, en misiones humanitarias (9), misiones militares, para uso en inspecciones de control de drogas y contrabando, uso forense, control de calidad, entre otros (8). Posteriormente se introdujeron en nuevos campos, por ejemplo, en las excavaciones arqueológicas (10) y en la atención domiciliar a pacientes con necesidades específicas y pacientes discapacitados (11).

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los EP están diseñados para usarse de manera fija, sobre una base o trípode y con un disparador remoto. Pero, debido a la característica de poder acoplarse y desacoplarse de su base, estos equipos pueden usarse sin estar acoplados a una base. Es decir, el operador puede estabilizarlos al sujetarlos con ambas manos (Figura 1).

En estos casos, la exposición se realiza mientras el equipo es sostenido por el operador, ya que el equipo cuenta con un disparador en el mismo equipo (12,13) (Figura 2).

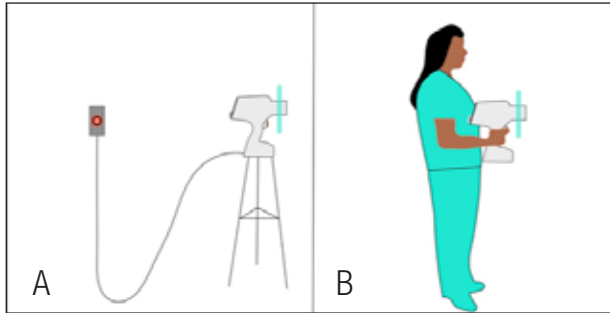


Figura 1. Estabilización de un equipo de rayos X portátil. A, con base o trípode y disparador remoto. B, manualmente por el operador.

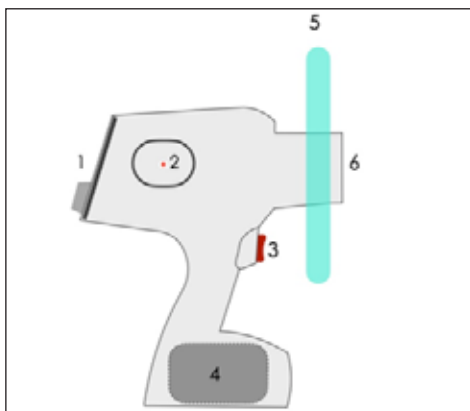


Figura 2. Equipo portátil tipo revólver y sus principales partes. 1: Panel de control, 2: Tubo de rayos X, 3: Disparador, 4: Batería, 5: Escudo de retrodispersión, 6: Ventana de salida del haz de rayos X en el cilindro localizador.

Según su apariencia externa, los EP se pueden dividir en dos tipos: aquellos parecidos a una cámara fotográfica y los similares a un revólver (14).

Si bien los EP presentan diferencias en cuanto a tamaño y facilidad de transporte, debido a que usan rayos X deben cumplir con los mismos requerimientos establecidos para los equipos tradicionales, en relación con exposición a radiación y calidad de imagen (15).

En relación con la exposición a radiación, los EP deben poseer blindaje interno suficiente, de manera de minimizar la exposición al paciente, y blindaje externo para proteger al operador de la radiación secundaria. El blindaje externo se conoce como disco de retrodispersión, y es un disco de acrílico plomado, que puede ser fijo o removible.

En relación con la calidad de imagen, ésta está establecida por distintos criterios que definen si una imagen es diagnóstica. En estos criterios es de importancia la combinación de los parámetros de exposición, que influyen directamente en la calidad diagnóstica de la imagen, para entregar imágenes con mínima distorsión de las estructuras, niveles intermedios de densidad y contraste, y riqueza de detalle (nitidez/resolución) (16). Los EP tienen parámetros de exposición similares a los equipos fijos, utilizando un kV entre 50 y 70 kV, entre 2 y 5 mA, y tiempos de exposición entre 0,1 y 0,5 segundos (17). En relación con el kV, en los EP depende de la carga de la batería, a diferencia de los equipos fijos y móviles, que funcionan con corriente eléctrica (18). Si bien diversas investigaciones han encontrado una calidad de imagen aceptable al usar EP, similar a la obtenida con los equipos fijos (13,19,20), el inconveniente se presenta con el uso diario del equipo, que provoca una disminución en la carga de la batería. Por lo tanto, para evitar disminución en la calidad de imagen por un menor kV, se recomienda mantener siempre la batería con carga (21), una recarga regular y el uso de baterías más eficientes (22).

En relación con el mA, se ha descrito que al usar un menor mA en el EP, el tiempo de exposición debe de aumentarse, para poder obtener una mejor calidad de imagen (13,18). Un aumento en el tiempo de exposición produce un aumento en la dosis de radiación al paciente y al operador, en el caso de los EP. Además, debido a que los EP pesan entre 1.8 y 5.0 Kg (13,18), el mantener el EP sin moverse durante el tiempo que dure la exposición supone un esfuerzo para el operador,

resultando en un deterioro de la imagen causada por el movimiento del paciente o del operador (23). Por lo tanto, para evitar disminución en la calidad de imagen por movimiento debido a un mayor tiempo de exposición, se recomienda mantener las exposiciones con tiempos menores a 1 segundo (18,19), y el uso de una base para la estabilización de los EP (13,18).

SEGURIDAD PARA EL PACIENTE

La protección de los pacientes supone la aplicar el principio de optimización para mantener las dosis lo más bajas posibles, mediante el uso de barreras de protección, selección de tipo de examen, receptores de imagen y parámetros de exposición adecuados (5). Las barreras de protección al paciente incluyen el uso de chaleco de plomo y de collar tiroideo, para proteger la glándula tiroides (17). Con respecto a la selección del receptor de imagen, se ha observado que con el uso de radiología digital, sensores o placas de fósforo, se disminuye el tiempo de exposición (24), favoreciendo la reducción de dosis a los pacientes. La protección de los pacientes debe aplicarse siempre que se trabaje con equipos de rayos X, tanto fijos, móviles y portátiles.

En relación con el uso de EP en pacientes pediátricos, no existe suficiente evidencia que permita determinar dosis de radiación en estos grupos poblacionales, cuyos tejidos son altamente sensibles a la radiación ionizante (25). Por esto, bajo el principio ALADAIP (del inglés *as low as diagnostically acceptable being indication-oriented and patient-specific*), establecido por el proyecto DIMITRA (del inglés *dentomaxillofacial paediatric imaging: an investigation towards low-dose radiation induced risk*), no se recomienda el uso del EP en este grupo de pacientes hasta conocer el riesgo asociado a su uso (26).

SEGURIDAD PARA EL OPERADOR

El operador del EP tiene un mayor riesgo por una mayor exposición a la radiación, debido a la cercanía con el equipo, al sostenerlo con sus manos mientras realiza la exposición. Esto le imposibilita cumplir el principio de limitación de dosis, al no cumplir con alejarse una distancia mínima del equipo de rayos X. Esta distancia, establecida por directrices internacionales, entre el equipo de rayos X y el operador, debe ser de al menos 1.8 metros (23), para disminuir la exposición a radiación ionizante, y por lo tanto el riesgo de presentar efectos estocásticos.

Debido a la imposibilidad de alejarse del equipo la distancia reglamentada, se recomienda el uso del disco de retrodispersión como barrera de protección al operador. El disco de retrodispersión genera una zona de seguridad para que el operador pueda protegerse de la radiación dispersa. El disco de retrodispersión debe tener un espesor mínimo de 0,25 mm (equivalente de plomo) y 15,2 cm de diámetro. En algunos casos este dispositivo está fijo en el equipo, pero en los casos en que sea adaptable, debe poder colocarse a no más de 1 cm del extremo del dispositivo indicador de posición, para que la radiación de retrodispersión esté suficientemente bloqueada (18,21,27). Con el uso del disco de retrodispersión se ha encontrado una disminución en dosis en manos de hasta 32%, y una disminución de hasta 37% a nivel de pecho y cintura del operador (28). Sin embargo, la forma y el tamaño de esta zona de seguridad varían dependiendo de la altura del operador, la longitud de los brazos (distancia del dispositivo al operador) y la angulación del equipo (27). Para lograr la mayor protección con el disco de retrodispersión es necesaria una colocación específica del equipo, siguiendo las recomendaciones internacionales y del fabricante, y manteniendo el equipo lejos del

cuerpo con una angulación horizontal de cero grados (Figura 3). Aún en posición horizontal, un estudio observó que la mayor exposición es recibida por

las manos (27). Es por esto, que se recomienda el uso de guantes plomados, ya que su uso puede disminuir la dosis en manos hasta en un 31% (28).



Figura 3. Influencia del ángulo de estabilización del equipo portátil de rayos X: A, Uso correcto del disco de retrodispersión A. con el cilindro localizador paralelo al piso; B. uso incorrecto del disco de retrodispersión con el cilindro apuntando hacia el piso; C. uso incorrecto del disco de retrodispersión con el cilindro apuntando hacia el techo.

Debido al aumento en el riesgo de mayor radiación al operador (11) diversos autores e instituciones recomiendan que los EP solo deben usarse en una base y ser activados desde una área protegida (a distancia o detrás de una barrera) (12,13,18,29), con el fin de reducir la exposición del operador (12,18,29). Si bien las dosis pueden estar por debajo de los límites de dosis establecidos para el operador en un periodo de tiempo (13,30), la dosis al operador siempre es mayor que la dosis que recibiría operando un equipo de rayos x fijo o móvil (12,27,28). Cabe recalcar que estos límites se han establecido para evitar la aparición de los efectos tisulares, pero el riesgo de carcinogénesis en bajas dosis se mantiene latente (3,4). Es por esto por lo que el EP solo debe usarse en escenarios donde se considere necesaria una radiografía intraoral para un paciente y el uso de un dispositivo de rayos X de montaje fijo o móvil no es práctico (12,18).

En cuanto a la inspección y control de calidad de estos equipos, se recomienda una revisión periódica por parte del odontólogo a cargo del equipo. Además, una revisión periódica por personal capacitado específicamente en control

de calidad y dosimetría, de la misma manera que con los equipos fijos y móviles (17,18).

Debido a que el uso y manejo de estos equipos es diferente a los equipos tradicionales, distintos autores y organismos internacionales instan su uso por odontólogos o personal dental con un entrenamiento específico para este fin. (17,18,27,31) Además, se ha sugerido que este entrenamiento incluya capacitación para el uso seguro de fuentes de radiación. De esta manera, asegurar la comprensión de los riesgos que implica el uso del equipo de rayos X portátil y las medidas de protección radiológica que deben tomarse para su uso seguro (18).

CONCLUSIÓN

Los EP, debido a sus diferencias con los equipos fijos de pared y los equipos móviles, presentan características importantes a considerar en cuanto a protección radiológica. Al ser un equipo que el operador debe sostener con sus manos y cerca de su cuerpo, durante la exposición del paciente, le es imposible protegerse de la radiación dispersa (18). Debido a las discrepan-

cias en los resultados de los diferentes estudios hasta ahora realizados, es relevante la investigación sobre el uso de los EP disponibles en el mercado, tomando en cuenta diferentes escenarios clínicos y necesidades diagnósticas. Además, tomando en cuenta que la seguridad del operador y del paciente son fundamentales, se debe favorecer el uso de equipos radiográficos dentales de pared sobre los EP, ya que estos proporcionan una menor dosis de radiación al operador y permiten una realización adecuada de las diferentes técnicas radiográficas intraorales (12,18,29).

AGRADECIMIENTOS

El segundo autor de la presente publicación agradece a la Universidad de Costa Rica por el apoyo financiero durante sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

1. Pauwels, R. History of dental radiography: Evolution of 2D and 3D imaging modalities. *Med Phys Int.* 2020; 8: 253-77.
2. Truly portable X-ray unit. *Br Dent J.* 2011; 211 (11): 542-542.
3. ICRP. Radiological Protection in Cone Beam Computed Tomography (CBCT). ICRP Publication 129. *Ann ICRP.* 2015; 44 (1): 9-127.
4. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP.* 2007; 37 (2-4): 1-332.
5. European Commission. Radiation Protection 172. Cone beam CT for dental and maxillo-facial radiology. Evidence-based guidelines. Luxembourg City, Luxembourg: European Commission Directorate for Energy; 2012. Available from: http://www.sedentexct.eu/files/radiation_protection_172.pdf
6. ICRP. Ethical Foundations of the System of Radiological Protection. ICRP Publication 138. *Ann ICRP.* 2018; 47 (1): 1-65.
7. Barba-Ramírez L., Ruiz-García de Chacón V., Hidalgo-Rivas A. El uso de rayos X en odontología y la importancia de la justificación de exámenes radiográficos. *Av En Odontoestomatol.* 2020; 36 (3): 131-42.
8. Van Dis M.L., Miles D.A., Parks E.T., Razmus T.F. Information yield from a hand-held dental x-ray unit. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1993; 76 (3): 381-5.
9. Coy J. Hand-held dental X-ray (HDX) with medical collimator: use in casualty radiology. *Mil Med.* 1996; 161 (7): 428-31.
10. Seiler R., Eppenberger P., Rühli F. Application of portable digital radiography for dental investigations of ancient Egyptian mummies during archaeological excavations: Evaluation and discussion of the advantages and limitations of different approaches and projections. *Imaging Sci Dent.* 2018; 48 (3): 167-76.
11. Hosseini Pooya S.M., Hafezi L., Manafi F., Talaeipour A.R. Assessment of the radiological safety of a Genoray portable dental X-ray unit. *Dento Maxillo Facial Radiol.* 2015; 44 (3): 20140255.
12. Smith R., Tremblay R., Wardlaw G.M. Evaluation of stray radiation to the operator for five hand-held dental X-ray devices. *Dento Maxillo Facial Radiol.* 2019; 48 (5): 20180301.
13. Zenóbio E.G., Zenóbio M.A., Azevedo C.D., Nogueira M. do S., Almeida C.D., Manzi F.R. Assessment of image quality and exposure parameters of an intraoral portable X-rays device. *Dento Maxillo Facial Radiol.* 2019; 48 (3): 20180329.
14. Potrakhov N.N., Potrakhov YuN. Portable X-Ray Diagnostic Devices for Dentistry. *Biomed Eng.* 2017; 50 (6): 406-9.

15. Gulson, A.D. H J.R. Hand-held dental X-ray equipment: guidance on safe use. 2016. Available from: <https://www.gov.uk/government/publications/hand-held-dental-x-ray-equipment-guidance-on-safe-use>.
16. Haiter F.N. K.L., Campos P.S.F. Diagnóstico por Imagem em Odontologia. Napoleão Quintessence; 2019.
17. 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. *Dento Maxillo Facial Radiol.* 2018; 47 (3).
18. Berkhout W.E.R., Suomalainen A., Brüllmann D., Jacobs R., Horner K., Stamatakis H.C. Justification and good practice in using handheld portable dental X-ray equipment: a position paper prepared by the European Academy of DentoMaxilloFacial Radiology (EADMFR). *Dento Maxillo Facial Radiol.* 2015; 44 (6): 20140343.
19. Pittayapat P., Thevissen P., Fieuws S., Jacobs R., Willems G. Forensic oral imaging quality of hand-held dental X-ray devices: comparison of two image receptors and two devices. *Forensic Sci Int.* 2010; 194 (1-3): 20-7.
20. Nitschke J., Schorn L., 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.* 2020; doi:10.1007/s11282-020-00434-1
21. Kim E-K. Effect of the amount of battery charge on tube voltage in different hand-held dental x-ray systems. *Imaging Sci Dent.* 2012; 42 (1): 1-4.
22. Hoogeveen R.C., Meertens B.R., Berkhout W.E.R. Precision of aiming with a portable X-ray device (Nomad Pro 2) compared to a wall-mounted device in intraoral radiography. *Dento Maxillo Facial Radiol.* 2019; 48 (5).
23. White S.C., Pharoah M.J., editors. Oral radiology: principles and interpretation. Edition 7. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2014.
24. Tsapaki V. Radiation protection in dental radiology - Recent advances and future directions. *Phys Medica.* 2017; 44: 222-6.
25. Hedesiu M., Marcu M., Salmon B., Pauwels R., Oenning A.C., Almasan O., et al. Irradiation provided by dental radiological procedures in a pediatric population. *Eur J Radiol.* 2018; 103: 112-7.
26. Oenning A.C., Jacobs R., Pauwels R., Stratis A., Hedesiu M., Salmon B., et al. Cone-beam CT in paediatric dentistry: DIMITRA project position statement. *Pediatr Radiol.* 2018; 48 (3): 308-16.
27. Makdissi J., Pawar R.R., Johnson B., Chong B.S. The effects of device position on the operator's radiation dose when using a handheld portable X-ray device. *Dento Maxillo Facial Radiol.* 2016; 45 (3).
28. Cho J.-Y., Han W.-J.. The reduction methods of operator's radiation dose for portable dental X-ray machines. *Restor Dent Endod.* 2012; 37 (3): 160-4.
29. HERCA W.G. Medical Applications. HERCA Position paper on use of handheld portable dental x-ray equipment. 2014. Available from: https://www.herca.org/herca_news.asp?newsID=35
30. Goren A.D., Bonvento M., Biernacki J., Colosi D.C. Radiation exposure with the NOMAD portable X-ray system. *Dento Maxillo Facial Radiol.* 2008; 37 (2): 109-12.
31. McGiff T.J., Danforth R.A., Herschaft EE. Maintaining radiation exposures as low as reasonably achievable (ALARA) for dental personnel operating portable hand-held x-ray equipment. *Health Phys.* 2012; 103 (2 Suppl 2): S179-185.



Attribution (BY-NC) - (BY) You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggest the licensor endorses you or your use. (NC) You may not use the material for commercial purposes.