



# IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL DE CALIDAD DE PACIENTE ESPECÍFICO EN TRATAMIENTOS DE RADIOTERAPIA CON ARCCHECK

IMPLEMENTATION OF PATIENT-SPECIFIC QUALITY CONTROL IN RADIOTHERAPY TREATMENTS WITH ARCCHECK

Isabela Linhares <sup>1</sup>, Carolina Maulaz <sup>2</sup>, Bruna Frohlich <sup>2</sup>, Artur Scheid <sup>2</sup>, Matheus Fischer <sup>2</sup>, Telpo Martins Dias <sup>2</sup>, Daniela da Rocha Estácio <sup>2</sup>, Mirko Salomon Alva-Sanchez <sup>3</sup>

## RESUMEN

**Introducción:** El control de calidad es una verificación de seguridad fundamental para evitar errores en la administración de la radiación ionizante en diversas aplicaciones con técnicas de radioterapia. **Objetivo:** Evaluar el desempeño del detector ArcCheck con el fin de implementar una técnica de control de calidad específica para pacientes tratados con la técnica de arco dinámico. **Métodos:** Se seleccionaron 50 pacientes tratados en el Clinac® Varian CX con energías de 6MV y 10MV. Se analizó las dosis en el isocentro de cada planeamiento con el objeto simulador de polimetilmetacrilato (30 x 30 x 30 cm<sup>3</sup>) para validar los valores de referencia entre el sistema de planeamiento y con la cámara de ionización. También, fue reproducida las distribuciones de los planeamientos utilizando el ArcCheck. **Resultados:** La diferencia media de dosis en el isocentro fue de -0.96% y -1.34% para 6 MV y 10 MV. El promedio de aprobación de las distribuciones de dosis con el análisis gamma fue superior a 98,0% para ambas energías. **Conclusión:** Dado que los resultados mostraron una buena concordancia con los protocolos TG-119 y TG-218, se afirma el uso del detector para un control de la calidad para pacientes específicos.

**Palabras clave:** ArcCHECK; VMAT; Radioterapia; Índice gamma. (Fuente: DeCS- BIREME)

## ABSTRACT

**Introduction:** Quality control is essential to ensure safety and prevent errors in the administration of ionizing radiation across various radiotherapy techniques. **Objective:** To evaluate the performance of the ArcCheck detector to implement a specific quality control technique for patients treated with dynamic arc therapy. **Methods:** Fifty patients treated with 6 MV and 10 MV energies on the Clinac® Varian CX were selected. Doses at the isocenter of each treatment plan were analyzed using polymethyl methacrylate phantom (30 x 30 x 15 cm<sup>3</sup>) to validate reference values between the treatment planning system and the ionization chamber. The treatment plans were also recreated using the ArcCheck. **Results:** The mean dose difference at the isocenter was -0.96% and -1.34% for 6 MV and 10 MV, respectively. The average passing rate of the dose distributions in the gamma analysis exceeded 98.0% for both energies. **Conclusion:** The results demonstrated good concordance with the TG-119 and TG-218 protocols, supporting the use of the detector for quality control in patient-specific treatments.

**Keywords:** ArcCHECK; VMAT; Radiotherapy; Gama index. (Source: MESH-NLM)

<sup>1</sup> Curso de Bacharelado em Física Médica, Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Porto Alegre, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Radioterapia, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, Brasil.

<sup>3</sup> Grupo de pesquisa em Física Médica Experimental e Computacional, Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre, Porto Alegre, Brasil.

Citar como: Linhares I, Maulaz C, Frohlich B, Scheid A, Fischer M, Martins Dias T, Da Rocha Estácio D, Alva-Sanchez MS. Implementación de un control de calidad de paciente específico en tratamientos de radioterapia con Arccheck. Rev Fac Med Hum. 2024;24(4):46-54.

[doi 10.25176/RFMH.v24i4.6793](https://doi.org/10.25176/RFMH.v24i4.6793)

Journal home page: <http://revistas.urp.edu.pe/index.php/RFMH>

Artículo publicado por la Revista de la Facultad de Medicina Humana de la Universidad Ricardo Palma. Es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons: Creative Commons Attribution 4.0 International, CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial, por favor póngase en contacto con revista.medicina@urp.pe



## INTRODUCCIÓN

La radioterapia se ha aplicado desde principios de la década de los cincuenta<sup>(1)</sup> y a lo largo de los años ha habido un avance significativo en las tecnologías y técnicas de los procedimientos diarios, lo que ha hecho que el sistema de planificación del tratamiento (TPS, del inglés Treatment Planning Systems) sea más complejo y específico para cada paciente. Por lo tanto, a medida que aumentan las complejidades del TPS, los métodos de Garantía de Calidad (QA, del inglés, Quality Assurance) deben estar en constante evolución para asegurar el buen funcionamiento del sistema de administración de dosis de radiación<sup>(2)</sup>.

Las innovaciones en el área han llevado al desarrollo de la técnica de Radioterapia de Intensidad Modulada (IMRT, del inglés, Intensity-Modulated Radiation Therapy), que consiste en el movimiento de un colimador formado por múltiples láminas para modular la intensidad del haz de radiación. Con los avances, la técnica se ha perfeccionado para la radioterapia en arco modulada volumétricamente (VMAT, del inglés, Volumetric Modulated Arc Therapy), en la que la intensidad del haz de la tasa de dosis se modula con el movimiento del gantry. Otra técnica utilizada es la radioterapia de arco dinámico, que consiste en una técnica que puede conformar la dosis de irradiación de un tratamiento, en el que la apertura del haz se altera continuamente y se adaptan dinámicamente las láminas a la forma del objetivo, mediante una o más rotaciones del gantry del acelerador lineal clínico (LINAC, del inglés, Linear Accelerator). Sin embargo, la tasa de dosis y la velocidad del gantry tienen valores fijos.

El arco dinámico puede, potencialmente, garantizar una mayor cobertura del órgano de tratamiento, preservar el tejido normal y reducir los tiempos de entrega de la dosis<sup>(3)</sup>. La correcta administración del tratamiento debe ser garantizada mediante análisis dosimétricos, que incluya la verificación de planes de tratamiento a través de mediciones de entrega y distribución de dosis. El éxito o el fracaso de un tratamiento por radiación, según lo recomendado por la Comisión Internacional de Unidades y Mediciones de Radiación, depende de la diferencia porcentual entre el valor de la dosis absorbida en un punto de referencia en el tumor y la dosis prescrita para el mismo punto; la precisión del análisis dosimétrico debe estar dentro de  $\pm 5\%$ <sup>(4,5)</sup> de diferencia entre ambas. Las posibles

fuentes de errores en radioterapia incluyen diversos factores, que no se limitan a errores en la localización del órgano a tratar, inmovilización y posicionamiento adecuado del paciente, calibración del LINAC y sus dispositivos. Estos errores comprometen el éxito del tratamiento y deben ser considerados dentro del programa de garantía de calidad del tratamiento, mediante una rigurosa verificación periódica denominada control de calidad de los planes específicos para cada paciente<sup>(6)</sup>.

Con el objetivo de minimizar este grado de incertidumbre, diversas organizaciones especializadas recomiendan programas de garantía de calidad. Es de suma importancia realizar un control de calidad (CQ)<sup>(7)</sup> específico para cada paciente que será sometido a tratamiento y garantizar que la distribución de dosis entregada corresponda a la dosis prescrita por el médico radioterapeuta. Así, el físico médico es responsable del CQ y debe crear una metodología que le permita realizar pruebas, de acuerdo a los recursos disponibles en su institución. Para el análisis dosimétrico de mediciones puntuales, el método de aprobación se garantiza dentro del margen de error de la medición.

El análisis gamma es un método utilizado, generalmente, para verificar si la distribución de dosis planeada es equivalente a aquella que sería entregada al paciente; para ello, es realizada una comparación del plano planeado con una distribución obtenida experimental. El índice gamma avalía la diferencia en dosis y la distancia para concordancia (DTA) entre dos distribuciones de dosis<sup>(8-11)</sup>.

El Task Group 218 (TG-218) de la Asociación Americana de Físicos en Medicina introdujo conceptos más avanzados sobre los límites de tolerancia y las metodologías utilizadas para el QA específico para cada paciente, y recomendó criterios de una diferencia de dosis en 3% y DTA de 2mm (3%/2mm) que son comúnmente utilizados en dosimetría clínica<sup>(7)</sup>.

Este estudio tuvo como objetivo implementar un proceso de control de calidad para la radioterapia con técnica de arco dinámico en el LINAC CX y utiliza el detector de verificación de dosis ArcCheck™ (Sun Nuclear Corp., FL), para casos clínicos de pacientes ya tratados de un sector de radioterapia del Brasil.

## MÉTODOS

### Diseño del estudio

Este estudio utilizó un diseño experimental aplicado para el control de calidad en pacientes específico, tratados con radioterapia, en la cual se evaluó el desempeño del sistema ArcCHECK.

### Selección de pacientes

Se seleccionaron 50 pacientes con diferentes tipos de carcinomas que recibieron tratamiento utilizando la técnica de arco dinámico con el LINAC Varian CX, para campos de irradiación mayores que 5 x 5 cm<sup>2</sup>. De estos pacientes, 17 fueron tratados con energía de 6 MV y treinta y tres con energía de 10 MV.

### Materiales y equipamientos

Siguiendo las recomendaciones del TG-119, se utilizó un objeto simulador de 15 cm de altura, compuesto por

placas planas de agua sólida de 30 x 30 cm<sup>2</sup>, como se muestra en la figura 1. Los sistemas dosimétricos utilizados fueron una cámara de ionización cilíndrica FC65-P Farmer con un volumen sensible de 0,6 cm<sup>3</sup>. Un detector, ArcCHECK™ (Sun Nuclear Corp., FL), que consiste de un objeto simulador cilíndrico equivalente al agua con una matriz de 1386 detectores de diodo en un patrón helicoidal para medir las distribuciones de dosis. El LINAC utilizado fue un Clinac CX (Varian Medical Systems; Palo Alto, California, EE. UU.), para lo cual empleó un haz de fotones de 6 MV y 10 MV. El sistema tiene la capacidad de producir campos conformados, así como terapia dinámica que rota el gantry, comúnmente conocida como arco dinámico.

El sistema de planificación computarizada o TPS utilizado fue el Eclipse versión 15.5 (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA, EE. UU.).



**Figura 1.** Posicionamiento de la cámara de ionización en el objeto simulador de agua sólida.

### Verificación puntual con la cámara de ionización

Por medio de la cámara de ionización, fue posible obtener valores de las dosis en el isocentro de los planeamientos, los cuales fueron reproducidos a partir de los planeamientos elTPS Eclipse. Las dosis medidas con la cámara de ionización y las dosis calculadas por el TPS fueron comparadas para los planeamientos con energías de 6 MV y 10 MV.

### Entrega y verificación de la dosis

Los parámetros como energía, tamaño de campo, arcos entre otros datos de los planes de tratamiento de cada paciente seleccionado fueron obtenidos por medio del TPS.

Utilizando el objeto simulador de la figura 1, se realizaron medidas con una cámara de ionización para dosimetría puntual <sup>(12)</sup>, en el isocentro de cada planeamiento, para después comparar este con los datos obtenidos por el TPS.

Para las distribuciones de dosis, los parámetros de los planeamientos fueron exportados y simulados experimentalmente por la matriz de diodos ArcCheck. Asociado al ArcCheck, el software SNC Patient™ proyecta la medición en la superficie cilíndrica en un plano y la muestra de manera similar a una matriz plana (2D), que puede ser reconstruida para una matriz tridimensional<sup>(13-15)</sup>.



**Figura 2.** Posicionamiento del ArcCheck para la reproducción de un planeamiento con arcos dinámicos.

### Evaluación del índice gamma

Para comparación de las distribuciones de dosis planeadas y medidas, el TG 218 recomienda un criterio del índice gamma de 3%/2 mm con una tolerancia universal del 95%, mientras que el código de práctica del Netherlands Commission on Radiation Dosimetry

sugiere un criterio de al menos 3%/3 mm con la misma tolerancia para todos los sitios anatómicos. La mayoría de las instituciones utilizan el índice gamma como el criterio principal para aprobación de un plan y este mismo puede ser utilizado para aprobar un control de calidad específico para cada paciente<sup>(16)</sup>.



En este estudio de avalió, hay distribuciones de dosis en el plano central de cada tratamiento, para cada paciente, receptivamente para las energías de los tratamientos con arcos dinámicos con fotones de 6 MV y 10 MV.

## RESULTADOS

### Datos de la cámara de ionización

Los valores de dosis puntual medidos por la cámara de ionización fueron calculados y comparados con los valores obtenidos con el TPS Eclipse. Las dosis medidas

por la cámara de ionización y las calculadas por el TPS para una energía de 6 MV y 10 MV se presentan en la tabla 1 y tabla 2, respectivamente.

La variación porcentual de la diferencia entre las dosis puntuales calculadas varió de -2.85% a 1.03% para energía de 6 MV, y de -3.68% a 2.04% para energía de 10 MV. La diferencia media de dosis en el isocentro fue de -0.96% y -1.34% para 6 MV y 10 MV, conforme mostrado en la tabla 1 e tabla 2, respectivamente.

**Tabla 1.** Dosis puntual medida y calculada en el isocentro utilizando la cámara de ionización; evaluación de las distribuciones de dosis con índice gamma para 3%/3mm e 3%/2mm para pacientes tratados con un haz de 6MV.

N.º de pacientes	Región anatómica	Cámara de Ionización (cGy)	TPS (cGy)	Diferencia de dosis (%)	Índice gamma (3%/3mm)	Índice gamma (3%/2mm)
1	Flanco	372.62	374.20	-0.42%	100.00%	99.90%
2	Esófago	237.72	239.40	-0.70%	100.00%	99.70%
3	Pulmón	217.62	222.30	-2.10%	99.90%	99.80%
4	Esófago	192.77	195.80	-1.55%	99.9%	99.8%
5	Esófago	220.67	225.30	-2.06%	100.00%	99.90%
6	MTS* ósea	257.47	262.10	-1.77%	100.00%	99.80%
7	Esófago	179.18	183.40	-2.30%	99.70%	99.40%
8	MTS* Hombro	300.09	308.9	-2.85%	100.00%	99.80%
9	Mama	311.03	312.9	-0.60%	100.00%	100.00%
10	Esófago	291.71	290.3	0.48%	100.00%	99.80%
11	Esófago	189.64	188.2	0.77%	99.80%	99.70%
12	MTS* Escape	304.13	305.4	-0.42%	98.90%	98.50%
13	Esófago	200.29	202.5	-1.09%		
14	Esófago	225.32	227.5	-0.96%	99.90%	99.60%
15	Pie derecho	329.80	333.7	-1.17%	100.00%	100.00%
16	MTS* Esterno	291.56	288.6	1.03%	100.00%	99.70%
17	Pulmón	221.33	219.7	0.74%	99.90%	99.70%

\*MTS: Metástasis

**Tabla 2.** Dosis puntual medida y calculada en el isocentro utilizando la cámara de ionización; evaluación de las distribuciones de dosis con índice gamma para 3%/3mm e 3%/2mm para pacientes tratados con un haz de 10 MV.

N.º de pacientes	Región anatómica	Cámara de Ionización (cGy)	TPS (cGy)	Diferencia de dosis (%)	Índice gamma (3%/3mm)	Índice gamma (3%/2mm)
1	Pulmón E	207.80	212.04	2.04%	94.50%	93.00%
2	SVC	339.70	334.75	-1.46%	99.90%	99.70%
3	MTS* Costilla Izquierda	346.60	352.68	1.75%	99.79	99.10%
4	Esófago	228.80	225.02	-1.65%	99.8%	99.70%
5	Pulmón Derecho	266.10	264.75	-0.51%	99.60%	98.90%
6	MTS* T3	354.30	345.83	-2.39%	100.00%	99.90%
7	Costilla Derecha	278.80	275.00	-1.36%	100.00%	98.50%
8	MTS* L3-L5	500.50	493.08	-1.48%	100.00%	100.00%
9	MTS* T7	324.60	313.48	-3.43%	100.00%	99.90%
10	MTS* C1	293.20	288.47	-1.61%	100.00%	100.00%
11	MTS* T8-T9	309.20	306.17	-0.98%	100.00%	100.00%
12	MTS* Inguinal	327.30	324.84	-0.75%	100.00%	99.80%
13	Cadera Izquierda	326.70	326.70	0.00%	100.00%	99.90%
14	MTS* Abdomen	343.40	343.09	-0.09%	99.8%	99.70%
15	Mediastino	325.20	325.99	0.24%	100.00%	100.00%
16	Adrenal D	330.70	330.15	-0.16%	99.70%	99.30%
17	Esófago	176.50	174.13	-1.34%	100.00%	99.90%
18	Esófago	198.30	196.46	-0.93%	100.00%	100.00%
19	Pulmón Derecho	238.30	234.05	-1.78%	98.80%	95.70%
20	Pulmón Izquierdo	215.10	212.37	-1.27%	99.60%	97.80%
21	MTS* Femur D	294.20	292.25	-0.66%	99.80%	99.70%
22	Estomago	320.90	319.90	-0.31%	98.60%	97.10%
23	MTS Ósea	312.90	310.67	-0.71%	99.60%	98.90%
24	Esófago	204.20	196.70	-3.68%	99.40%	99.00%
24	Mama I	294.40	286.40	-2.72%	100.00%	100.00%
26	MTS* Coluna	318.10	312.72	-1.69%	100.00%	99.80%
27	Vejiga	358.70	346.27	-3.47%	100.00%	99.60%
28	Mama D	270.70	263.20	-2.77%	99.90%	99.60%
29	Esófago	199.60	195.23	-2.19%	99.90%	99.90%
30	Inguinal D	287.7	285.33	-0.83%	99.80%	98.70%
31	Esófago	218.4	214.96	-1.58%	100.00%	100.00%
32	T12+Lombo	383.8	378.84	-1.29%	100.00%	99.9%
33	MTS* Ósea D	378.8	372.93	-1.55%	99.70%	99.50%

\*MTS: Metástasis



### Datos obtenidos con el ArcCheck

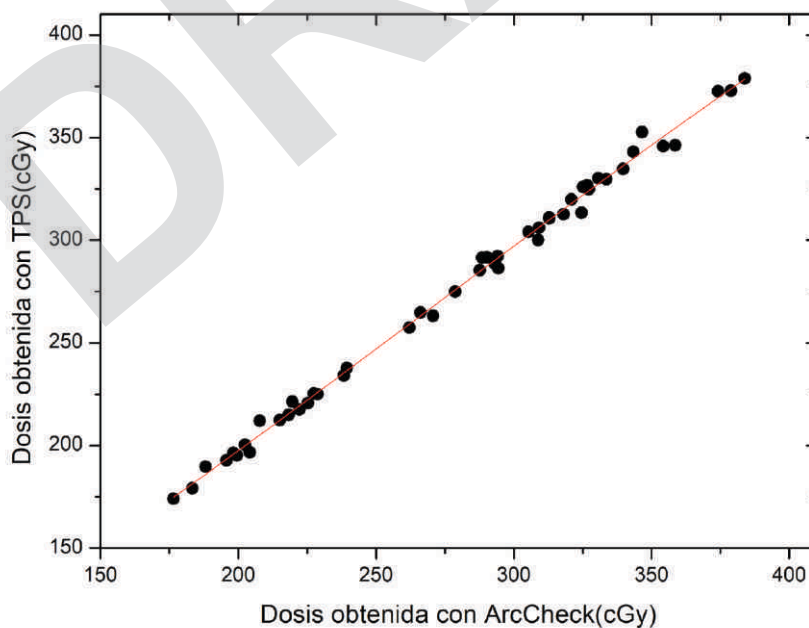
Se siguieron las recomendaciones del TG-218 con el criterio de 3%/2mm y el criterio actual utilizado en la rutina del servicio de 3%/3mm. Para los pacientes tratados con energía de 6 MV, el número de puntos que pasaron el criterio gamma varió entre 99.70% y 100.0% y entre 99.50% y 100.0% para 3%/3mm y 3%/2mm, respectivamente (tabla 1), con un promedio de 99.87% y 99.67%. Para los pacientes tratados con energía de 10 MV, los resultados fueron de 94.50% a 100.0% y de 93.00% a 100.0% para 3%/3mm y 3%/2mm, con un promedio de 99.60% y 98.90%, como se muestra en la tabla 2.

### DISCUSIÓN

El dosímetro de referencia para un control de calidad en radioterapia es la cámara de ionización, conforme se recomienda en el protocolo de la Agencia Internacional de Energía Atómica TRS-398; aún se sugiere que la cámara de ionización deba estar correctamente calibrada, siendo considerado uno de los métodos más confiables para mediciones de dosis absoluta<sup>(17)</sup>. Como se muestra en las tablas 1 y 2, con diferencias porcentuales menores que 4% para ambas energías

evaluadas, para todos los tratamientos, cuando se comparan los datos obtenidos con la cámara de ionización y el TPS. Sin embargo, la cámara de ionización realiza una única medición puntual (1D), la cual no sería una verificación tan adecuada para las técnicas de radioterapia que usen arco dinámico. Ante esta situación, se implementó el detector ArcCheck para evaluar la precisión en la entrega de la dosis en tres dimensiones. Así, con las matrices de dosis se permite una dosimetría tridimensional, siendo un medio competente para garantizar un control de calidad específico para el paciente<sup>(18)</sup>. En este estudio, se compararon las distribuciones de dosis en el plano central de cada tratamiento, para cada paciente, con las distribuciones de dosis obtenidas con ArcCheck y el TPS.

A partir de la diferencia porcentual entre las distribuciones de dosis para cada paciente, se obtuvo una dosis promedio para todos los casos, resultado en una diferencia media porcentual de  $-0.58\% \pm 0.04$ . Para visualizar la relación entre las dos variables, se calculó el coeficiente de correlación de concordancia entre la dosis medida por el ArcCheck y el TPS, resultando en 0.99, como se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Línea de tendencia de la dosis calculada por el TPS frente a la dosis medida por el ArcCheck.

En relación con el índice gamma, cada punto de dosis fue medido y comparado con la dosis calculada, buscando una dosis análoga dentro de los criterios definidos de 3%/3mm y 3%/2mm. Los resultados obtenidos fueron consistentes con los protocolos TG-218 y TG-119, con un promedio de aprobación superior al 98,0% para ambas energías, lo que demuestra una excelente concordancia. Por medio del índice gamma, que es una herramienta útil para la verificación dosimétrica, se comparó el planeamiento del TPS con los datos obtenidos con el ArcCheck que se mostró una métrica adecuada para la evaluación del plano utilizando arcos dinámicos.

Resaltando la importancia en este estudio de desarrollar un protocolo específico para cada institución, ya que el índice gamma depende de la planificación y la configuración del tratamiento, que tenga en consideración el tipo de dosímetro, la resolución del detector, el algoritmo del TPS, la configuración del acelerador lineal y el juicio clínico del nivel de tolerancia de dosis, también, influyen en el resultado, como mostrado cuando utilizamos los criterios evaluados (3%/3mm y 3%/2mm).

---

**Contribuciones de autoría:** IL participó en la conceptualización, investigación, metodología, recursos y redacción del borrador original; CM, en la conceptualización, investigación, metodología; BF, en la conceptualización, investigación, metodología, recursos; AS, en la investigación, metodología; MF, en la investigación, metodología; TMD, en la metodología y recursos; DRE, en la metodología y recursos y MSAS, en la conceptualización e investigación.

---

**Correspondencia:** Mirko Salomon Alva-Sanchez.

**Dirección:** Endereço: Rua Sarmento Leite nº 245- Porto Alegre, RS-Brasil, CEP: 90.050-170.

**Teléfono:** (+55) 3303-8700

**Correo electrónico:** [mirko@ufcspa.edu.br](mailto:mirko@ufcspa.edu.br)

## CONCLUSIONES

En este estudio, se demuestra la eficacia y precisión del detector ArcCheck en la implementación de una técnica de control de calidad específica para pacientes tratados con la técnica de arco dinámico. La evaluación de 50 pacientes tratados con energías de 6 MV y 10 MV reveló una diferencia media mínima en las dosis medidas en el isocentro, con valores de -0.96% y -1.34%, respectivamente. Además, el análisis gamma mostró un alto índice de aprobación, superior al 98.0% para ambas energías, lo que subraya la fiabilidad del ArcCheck en la validación de distribuciones de dosis. La coherencia de estos resultados con los protocolos TG-119 y TG-218 respalda firmemente la adopción del ArcCheck como una herramienta esencial para el control de calidad en tratamientos específicos de radioterapia, lo que garantiza una administración segura y precisa de la radiación ionizante.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al sector de Física Médica/Radioterapia del Hospital de Clínicas de Porto Alegre y expresan su gratitud a Sun Nuclear por su colaboración en el uso del ArcCheck.

**Financiamiento:** Autofinanciado.

**Conflictos de intereses:** Los autores declaran no tener conflicto de interés.

**Recibido:** 23 de Agosto, 2024.

**Aprobado:** 24 de Setiembre, 2024.





## REFERENCIAS

1. MARTINS PN. A brief history about radiotherapy. IJLRET. 2018, [s. l.], v. 4, ed. 2, p. 8-11. <https://zenodo.org/records/3824294>.
2. Kutcher GJ, Coia L, Gillin M, Hanson WF, Leibel S, Morton RJ, Palta JR, Purdy JA, Reinstein LE, Svensson GK, Weller M, Wingfield L. Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. Med Phys. 1994; 21:581-618. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1118/1.597316>
3. Delgado JF, Vieira AMM, Cruz JC, Rodrigues LN. Cálculo independente de dose para tratamentos de arco dinámico con colimador micromultiláminas. Radiol Bras. 2006 Sep;39(5). <https://doi.org/10.1590/S0100-39842006000500011>
4. Menzel H-G. International Commission on Radiation Units and Measurements J Int Comm Radiat Units Meas, 2014 14:1-2. <https://doi.org/10.1093/jicru/ndx006>
5. Mariotti V, Gayol A, Pianoschi T, Mattea F, Vedelago J, Pérez P, Valente M, Alva-Sánchez M, Radiotherapy dosimetry parameters intercomparison among eight gel dosimeters by Monte Carlo simulation. Radiat Phys Chem. 2022; 190:109782. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109782>.
6. International Atomic Energy Agency. Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia: Protocolo de control de calidad. Technical Document No. 1151. Vienna. [Internet] IAEA [consultado el 22 de agosto del 2024]. Disponible en: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1151\\_prn.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1151_prn.pdf)
7. Miften M, Olch A, Mihailidis D, Moran J, Pawlicki T, Molineu A, Li H, Wijesooriya K, Shi J, Xia P, Papanikolaou N, Low DA. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218. Med. Phys. 2018;45:53-83. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mp.12810>.
8. Alva-Sánchez MS, Pianoschi TA. Study of the distribution of doses in tumors with hypoxia through the PENELOPE code, Radiat Phys Chem. 2020 167:108428. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108428>.
9. Alva-Sánchez MS, Pianoschi TA. 3D Dosimetric Tools in Radiotherapy for Photon Beams, Frontiers in Radiation Oncology. IntechOpen, Tejinder Rijeka, 2013, chapter 4, <https://doi.org/10.5772/56348>.
10. Das S, Kharade V, Pandey VP, Kv A, Pasricha RK, Gupta M. Gamma Index Analysis as a Patient-Specific Quality Assurance Tool for High-Precision Radiotherapy: A Clinical Perspective of Single Institute Experience. Cureus. 2022 Oct 30;14(10):e30885. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9626372>.
11. Low DA, Harms WB, Mutic S and Purdy JA. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. Medical physics. 1998; 25:656-61. <https://doi.org/10.1118/1.598248>
12. Knill C, Synder M. An analysis of confidence limit calculations used in AAPM Task Group No. 119. Med. Phys. 2011, 38(4):1779-1784. <https://doi.org/10.1118/1.3560876>
13. Li G, Zhang Y, Jiang X, Bai S, Peng G, Wu K, Jiang Q. Evaluation of the ArcCHECK QA system for IMRT and VMAT verification. Phys Med. 2013 May;29(3):295-303. doi: 10.1016/j.ejmp.2012.04.005.
14. Guzzi BF, Barcellos CH, Bertotti RV A, De Tarso DS, P, Barbosa J M, Ruggieri SA.. Avaliação da sensibilidade do ArcCHECK na detecção de erros de posicionamento do MLC. Revista Brasileira De Física Médica 2023;17:721. <https://doi.org/10.29384/rbfm.2023.v17.1984900172>
15. Morrison CT, Symons KL, Woodings SJ, House MJ. Verification of junction dose between VMAT arcs of total body irradiation using a Sun Nuclear ArcCHECK phantom. J Appl Clin Med Phys. 2017 Nov;18(6):177-182. doi: 10.1002/acm2.12208.
16. Nederlandse Commissie Voor Stralingsdosimetrie, Report 24 of the Netherlands Commission on Radiation Dosimetry. Code of Practice for the Quality Assurance and Control for Volumetric Modulated Arc Therapy [Internet]. Netherland; 2015 [citado el 21 de agosto del 2024]. 65 p. <https://radiationdosimetry.org/files/documents/0000087/245-ncsreport24vmatqa.pdf>.
17. Almond PR, Biggs PJ, Coursey BM, et al. AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of highenergy photon and electron beams. Med Phys. 1999;26(9):1847-70. <https://doi.org/10.1118/1.598691>
18. Templeton AK, Chu JC, Turian JV. The sensitivity of ArcCHECK-based gamma analysis to manufactured errors in helical tomotherapy radiation delivery. J Appl Clin Med Phys. 2015 Jan 8;16(1):4814. doi:10.1120/jacmp.v16i1.4814