



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
MEDICINA

CONSIDERACIONES PARA CORREGIR EL ERROR POSICIONAL CON LA
CAMILLA ROBÓTICA HEXAPOD EN EL TRATAMIENTO DE
RADIOCIRUGÍA DE PACIENTES CON LESIONES DEL SISTEMA
NERVIOSO CENTRAL EN UN CENTRO DE RADIOTERAPIA EN
LIMA, PERÚ DURANTE EL PERIODO ABRIL-DICIEMBRE DEL AÑO 2023

CONSIDERATIONS FOR CORRECTING THE SET-UP ERROR WITH A
HEXAPOD ROBOT TREATMENT TABLE IN THE RADIOSURGERY
TREATMENT OF PATIENTS WITH CENTRAL NERVOUS SYSTEM
LESIONS IN A RADIOTHERAPY CENTER IN LIMA, PERU DURING THE
PERIOD APRIL-DECEMBER 2023

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR POR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN TECNOLOGÍA MÉDICA EN
LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA

AUTORES

ARIANA MERCEDES GUEVARA MELENDEZ

NIEVES BELEN HERRERA VELASQUEZ

ASESORA

YENI FRIDA CADENAS DE LA CRUZ

CO ASESOR

CARLOS ANDRES HUAYANAY ESPINOZA

LIMA – PERÚ

2024

ASESORES DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

ASESORA

YENI CADENAS DE LA CRUZ
Departamento Académico de Tecnología Médica
ORCID: 0009-0005-0018-4406

CO ASESOR

CARLOS ANDRES HUAYANAY ESPINOZA
Departamento Académico de Tecnología Médica.
ORCID: 0000-0002-8462-3218

Fecha de Sustentación: 17 de febrero de 2024
Calificación: Aprobado

DEDICATORIA

A Dios por ser nuestro guía y fortaleza para lograr nuestros objetivos. A nuestros padres y hermanas por el apoyo incondicional. A nuestros seres queridos que nos han acompañado en cada paso de este trayecto académico.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros asesores Yeni Cadenas de la Cruz y Carlos Huayanay Espinoza, quienes con su paciencia y orientación nos brindaron las herramientas fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue autofinanciada por los investigadores

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
MEDICINA

CONSIDERACIONES PARA CORREGIR EL ERROR POSICIONAL CON LA CAMILLA ROBOTICA HEXAPOD EN EL TRATAMIENTO DE RADIOCIRUGÍA DE PACIENTES CON LESIONES DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL EN UN CENTRO DE RADIOTERAPIA EN LIMA, PERU DURANTE EL PERIODO ABRIL-DICIEMBRE DEL AÑO 2023

CONSIDERATIONS FOR CORRECTING THE SET-UP ERROR WITH A HEXAPOD ROBOT TREATMENT TABLE IN THE RADIOSURGERY TREATMENT OF PATIENTS WITH CENTRAL NERVOUS SYSTEM LESIONS IN A RADIOTHERAPY CENTER IN LIMA, PERU DURING THE PERIOD APRIL-DECEMBER 2023

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR POR EL TITULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN TECNOLOGIA MEDICA EN LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA

AUTORES

ARIANA MERCEDES GUEVARA MELENDEZ
NIEVES BELEN HERRERA VELASQUEZ

ASESORA

YENI FRIDA CADENAS DE LA CRUZ

CO ASESOR

CARLOS ANDRES HUAYANAY ESPINOZA

LIMA – PERU

2024

CONSIDERACIONES PARA CORREGIR EL ERROR POSICIONAL CON LA CAMILLA ROBÓTICA-HEXAPOD EN EL TRATAMIENTO DE RADIOCIRUGÍA DE PACIENTES CON LESIONES DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL EN UN CENTRO DE RADIOTERAPIA

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%	4%	0%	0%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	docplayer.es Fuente de Internet	2%
2	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%
3	www.mayoclinic.org Fuente de Internet	<1%
4	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	fr.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
6	issuu.com Fuente de Internet	<1%
7	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1%

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. IDENTIFICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
III. OBJETIVOS	5
3.1 OBJETIVO GENERAL	5
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
IV. DEFINICIÓN TEÓRICA	6
4.1 ERROR POSICIONAL	6
4.2 CORRECCIÓN TRASLACIONAL.....	6
4.3 CORRECCIÓN ROTACIONAL	6
4.4 CAMILLA ROBÓTICA	6
4.5 COMPONENTES DE LA CAMILLA ROBÓTICA	7
4.6 RADIOTERAPIA	8
4.7 FRAXION	8
4.8 SIMULACIÓN TOMOGRÁFICA.....	8
4.9 ACELERADOR LINEAL.....	9
4.10 CONTROL TUMORAL	9
4.11 RADIOTERAPIA GUIADA POR IMÁGENES (IGRT)	9
4.12 TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA POR HAZ CÓNICO (CBCT) ...	9
4.13 CLASIFICACIÓN DE LA RADIOCIRUGÍA.....	10

4.14	INDICACIONES DE LA RADIOCIRUGÍA.....	10
4.15	LESIONES DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.....	10
V.	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	11
VI.	DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL	15
a.	LUGAR Y PERIODO EN DONDE SE DESARROLLÓ EL TSP.....	15
b.	TIPO DE EXPERIENCIA PROFESIONAL	15
c.	DESCRIPCIÓN DEL CASO	15
d.	PRINCIPALES RETOS Y DESAFÍOS.....	16
e.	ESTRATEGIAS APLICADAS	17
f.	RESULTADOS.....	21
VII.	COMPETENCIAS PROFESIONALES UTILIZADAS	23
VIII.	APORTES A LA CARRERA.....	26
IX.	CONCLUSIONES.....	27
X.	REFERENCIAS.....	28
XI.	ANEXOS	

RESUMEN

Introducción: Las nuevas tecnologías en la corrección del error posicional y los sistemas guiados por imágenes (IGRT) permiten la ejecución de radiocirugía estereotáctica (SRS) sin marco, pero esta clase de tratamiento requiere una mayor precisión.

Objetivo: Describir las consideraciones para corregir el error posicional con la camilla robótica HexaPOD en el tratamiento de radiocirugía de pacientes con lesiones del sistema nervioso central en un centro de radioterapia en Lima-Perú durante el periodo abril-diciembre de año 2023.

Descripción del trabajo: En un centro de radioterapia de Lima, se inició con el tratamiento de radiocirugía sin marco mediante corrección con camilla robótica HexaPOD desde abril de 2023. Diversos estudios demuestran que el uso de IGRT y esta tecnología alcanzan una precisión submilimétrica. Esto permite a los profesionales de tecnología médica en radiología optimizar la corrección del error posicional.

Conclusión: Una adecuada simulación tomográfica, un correcto reposicionamiento en la sala de tratamiento, así como la adquisición y corrección de los valores de posicionamiento optimizan la corrección del error posicional. Esto se evidencia con el logro de una precisión submilimétrica, entregando una dosis más precisa al PTV, mejorando el control tumoral y disminuyendo la dosis a los OARs, lo que, en consecuencia, reduce los efectos secundarios.

Palabras clave: Error posicional, camilla robótica HexaPOD, radiocirugía estereotáctica sin marco, IGRT, CBCT.

ABSTRACT

Introduction: New technologies in the set-up error correction and image-guided radiation therapy (IGRT) allow stereotactic radiosurgery (SRS) to be performed without a frame. However, this type of treatment requires greater accuracy.

Objectives: Describe the considerations to correct set-up errors with the HexaPOD robot table in the radiosurgery treatment of patients with lesions of the central nervous system in a radiotherapy center in Lima, Peru during the period april-december 2023.

Work Description: In a radiotherapy center in Lima, frameless radiosurgery treatment with HexaPOD robotic table correction is available since April 2023. A number of studies have shown that the use of IGRT and this technology can achieve sub-millimetrical precision. This allows medical technology professionals in radiology to optimize set up error correction.

Conclusion: Adequate tomographic simulation, correct repositioning in the treatment room, and acquisition and correction of positioning values enable optimal correction of set-up errors. This is evidenced by the achievement of sub-millimetrical accuracy. This results in a more precise dose in the PTV, which improves tumor control and reduces the dose to the OARs, thereby reducing side effects.

Key-words: Set-up error, HexaPOD, SRS Frameless, IGRT, CBCT

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevas tecnologías destinadas a la corrección del error posicional y los sistemas guiados por imágenes (IGRT) han despertado un mayor interés en la radiocirugía estereotáctica (SRS) sin marco (no invasiva). El error posicional provoca una desviación de la dosis planificada, que se manifiesta en una subdosificación al volumen tumoral de planificación (PTV) y una sobredosificación a los órganos en riesgo circundantes (OARs). Esto genera una disminución del control tumoral.

Diversos estudios alrededor del mundo demuestran que la corrección del error posicional con camilla robótica HexaPOD genera un impacto reflejado en la entrega de dosis precisas al PTV y en una disminución de efectos secundarios. Asimismo, se encontró la relevancia de una adecuada simulación tomográfica de la mano de un sistema de inmovilización llamado *fraxion*, de un buen reposicionamiento en la sala de tratamiento y, también, de una adecuada adquisición y corrección de los valores de posicionamiento.

La primera parte del presente trabajo de suficiencia profesional busca identificar y justificar los objetivos a tener en cuenta durante el desarrollo del mismo; la segunda parte, describe los diversos antecedentes que originaron la necesidad de profundizar en el tema con el fin de promover el correcto uso de la camilla robótica HexaPOD. La tercera y última parte narra la experiencia laboral de las integrantes con el empleo de la camilla robótica en la corrección del error posicional en el tratamiento de radiocirugía de pacientes con lesiones del sistema nervioso central en un centro de radioterapia.

La camilla robótica HexaPOD realiza correcciones traslacionales y rotacionales; es decir; ejecuta movimientos en milímetros (longitudinal, lateral y vertical) y en grados (balanceo, cabeceo y guiñada), respectivamente. Dichas correcciones son posibles con la ayuda de los IGRT, como la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT); de esa manera se consigue mejorar la exactitud en este tipo de tratamiento.

Por lo tanto, el presente trabajo de suficiencia profesional busca actualizar a los tecnólogos médicos en radiología en el campo de la radioterapia para que puedan mejorar la corrección en el posicionamiento del paciente empleando este tipo de tecnología. En tal sentido, este documento, tiene como objetivo general describir las consideraciones para corregir el error posicional con la camilla robótica HexaPOD en el tratamiento de radiocirugía de pacientes con lesiones del sistema nervioso central en un centro de radioterapia durante el periodo abril diciembre de año 2023.

II. IDENTIFICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La camilla robótica HexaPOD corrige el error posicional del paciente detectado por los sistemas de radioterapia guiada por imágenes (IGRT), como la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), antes del tratamiento al paciente con el acelerador lineal (LINAC). Esto permite una precisión de posicionamiento submilimétrico (1). Cuenta con tres movimientos de rotación adicionales (balanceo, cabeceo y guiñada) a los otros tres movimientos habituales o traslacionales (longitudinal, lateral y vertical). La aplicación de estas seis dimensiones mejora la precisión del posicionamiento en el volumen tumoral de planificación (PTV), lo que se relaciona directamente con la entrega de la dosis de radiación precisa, incrementando el control tumoral y minimizando la dosis a los órganos en riesgo circundantes (OARs) (2).

El error posicional es la variación (medida en milímetros o en grados) del paciente durante el tratamiento en comparación con la posición adquirida en la simulación tomográfica (3). Cualquier cambio con respecto a la posición planificada puede provocar una subdosificación al PTV y una sobredosificación a los OARs. Esto resulta en una disminución del control tumoral e incremento de los efectos secundarios no deseados (4). Numerosos estudios enfatizan la relevancia en la corrección del error posicional al momento de administrar el tratamiento con radiaciones (5,6).

En Latinoamérica, un estudio de Lobato J, 2020, en Colombia, relató la experiencia de radiocirugías en lesiones del sistema nervioso central en dos aceleradores lineales: Siemens ARTISTE® (camilla estándar) y TrueBeam Varian (camilla

robótica). Los pacientes que recibieron tratamiento con el equipo TrueBeam Varian, presentaron menores efectos adversos, menor tiempo y mayor precisión en la entrega del tratamiento (7).

En el Perú, la camilla robótica HexaPOD está disponible en un número limitado de centros de radioterapia. Asimismo, actualmente no existen guías oficiales publicadas sobre la corrección del error posicional en esta camilla para pacientes con tratamiento de radiocirugía en lesiones del sistema nervioso central.

En el tratamiento de radiocirugía *frameless* o sin marco estereotáctico (no invasivo), la precisión debe ser submilimétrica y eso es posible utilizando una camilla robótica HexaPOD (8). Además, esta tecnología permite a los profesionales de tecnología médica en radiología mejorar la corrección en el posicionamiento del paciente tanto antes como durante el tratamiento de radiocirugía en lesiones del sistema nervioso central. De esta manera, se evidencia la importancia de contar con protocolos o guías para corregir el error posicional.

Por todo lo expuesto, el presente trabajo de suficiencia profesional plantea la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las consideraciones para corregir el error posicional con la camilla robótica HexaPOD en el tratamiento de radiocirugía de pacientes con lesiones del sistema nervioso central en un centro de radioterapia en Lima, Perú durante el periodo abril diciembre de año 2023?

III. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Describir las consideraciones para corregir el error posicional con la camilla robótica HexaPOD en el tratamiento de radiocirugía de pacientes con lesiones del sistema nervioso central en un centro de radioterapia en Lima, Perú durante el periodo abril-diciembre 2023.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explicar los componentes y funcionamiento de la camilla robótica - HexaPOD en un centro de radioterapia en Lima, Perú durante el periodo abril-diciembre 2023
- Describir el proceso del tratamiento de radiocirugía en pacientes con lesiones del sistema nervioso central con la camilla robótica HexaPOD en un centro de radioterapia en Lima, Perú durante abril y diciembre 2023
- Identificar los valores de corrección del error posicional con la camilla robótica HexaPOD, en el tratamiento de radiocirugía de pacientes con lesiones del sistema nervioso central en un centro de radioterapia en Lima, Perú durante el periodo abril-diciembre 2023

IV. DEFINICIÓN TEÓRICA

4.1 ERROR POSICIONAL

Representa la variación entre la posición inicial en la que se adquirieron las imágenes de simulación de tomografía computarizada y la posición en la sala de tratamiento del acelerador lineal (9).

4.2 CORRECCIÓN TRASLACIONAL

Se refiere a los desplazamientos en centímetros considerando los tres ejes del paciente: eje X (de izquierda a derecha), eje Y (cráneo caudal) y, eje Z (antero posterior), resultados de la variación posicional evidenciada en las imágenes adquiridas con el CBCT (10).

4.3 CORRECCIÓN ROTACIONAL

Son los desplazamientos en grados tomando en cuenta los tres ejes del paciente: eje rx cabeceo (cráneo caudal), eje ry balanceo (derecha a izquierda) y eje rz guiñada (sentido horario o antihorario). Se dan como resultado de la variación posicional evidenciada en las imágenes adquiridas con el CBCT (10).

4.4 CAMILLA ROBÓTICA

También llamada HexaPOD, es el avanzado sistema totalmente robótico de posicionamiento del paciente, con seis dimensiones para corregir cualquier desalineación identificada por IGRT-CBCT antes de dar el tratamiento al paciente (11).

4.5 COMPONENTES DE LA CAMILLA ROBÓTICA

Se encuentran ubicados en dos áreas principales: el área de control y la sala de tratamiento (anexo 1-fig. 1). Es en la sala de tratamiento en la que se encuentra el sistema de seguimiento iGUIDE, camilla HexaPOD y el marco de referencia iGUIDE. Este conjunto es fundamental para realizar correcciones precisas en seis dimensiones (12) (anexo 1-fig. 2).

I.1.1 Sistema de seguimiento iGUIDE o cámara

Utiliza luz infrarroja para detectar la posición de los marcadores o esferas ópticas del marco de referencia (12) (anexo 1-fig. 3).

I.1.2 Sistema HexaPOD

Cuenta con un panel de control. Para encenderlo, se tiene que presionar el botón de carga y los botones del control portátil (superior e inferior) simultáneamente (anexo 1-fig.4). Una vez encendido, el control portátil va a indicar presionar los dos botones nuevamente para poder elevar la mesa. Cuando se haya completado el movimiento, esta luz se apagará (12) (anexo 1-fig. 5).

I.1.3 Marco de referencia iGUIDE o Frame

Elaborado de fibra de carbono, también cuenta con marcadores ópticos (cuatro esferas) distribuidos en un patrón geométrico específico y, ubicados en la parte superior. Además, tiene un indicador en dirección al gantry (cabezal de acelerador lineal) y una palanca de fijación (anexo 1-fig. 6). Este

es indexado en la camilla robótica y, de esta manera, la cámara encuentra la posición precisa del paciente, censando los marcadores ópticos (12).

Se debe verificar que el marco de referencia esté correctamente posicionado; los indicadores deben estar hacia la parte superior. Cabe precisar que este marco de referencia no tiene que estar a más de 65 centímetros del isocentro del paciente.

4.6 RADIOTERAPIA

Tratamiento en el que se emplean radiaciones ionizantes de alta energía llamados fotones. Estos interactúan con la cadena de ADN y así eliminan o causan daño a las células tumorales (13).

4.7 FRAXION

Nombre comercial del sistema de inmovilización de cabeza, que utiliza máscaras termoplásticas de mayor densidad. Asimismo, este viene con un accesorio adicional llamado caja de referencia estereotáctica (14).

4.8 SIMULACIÓN TOMOGRÁFICA

Procedimiento de adquisición de imágenes en equipo tomográfico con los sistemas de inmovilización que también serán empleados durante el tratamiento. En dichas imágenes, se delimitan los PTV y OARs para posteriormente realizar la planificación computarizada del tratamiento (15) (anexo 3).

4.9 ACELERADOR LINEAL

También llamado LINAC. Acelera partículas de electrones a través de la guía de onda, la cual logra alcanzar energías en millones de electronvoltios. Estas se pueden utilizar para tratar lesiones superficiales, interceptar un blanco y generar fotones (rayos x) para tratar lesiones profundas (16,17).

4.10 CONTROL TUMORAL

Disminución o erradicación de las células tumorales al final del tratamiento con radiaciones, se manifiesta como un resultado favorable para el paciente. Es una condición suficiente pero no necesaria para la curación (18).

4.11 RADIOTERAPIA GUIADA POR IMÁGENES (IGRT)

Es un componente del proceso de la radioterapia que incorpora imágenes antes, durante y después del tratamiento. Permite verificar la precisión de la radioterapia. Utiliza formas complejas de adquisición de imágenes como CBCT, permitiendo la visualización directa del PTV y de los OARs (10).

4.12 TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA POR HAZ CÓNICO (CBCT)

Adquiere imágenes tridimensionales de tomografía dentro de la sala de tratamiento, facilitando la comparación con las imágenes de la tomografía computarizada de simulación. Esto permite corregir las discrepancias moviendo la camilla de tratamiento (19).

4.13 CLASIFICACIÓN DE LA RADIOCIRUGÍA

I.1.4 Radioterapia estereotáctica (SRT)

Implica la entrega de altas dosis en pocas fracciones de tratamiento con múltiples campos pequeños de fotones empleando un sistema de coordenadas tridimensional (20).

I.1.5 Radiocirugía estereotáctica (SRS)

Se entrega altas dosis de radiación con gran precisión en una sola sesión hacia la zona de la lesión, provocando un efecto de ablación al PTV (21).

4.14 INDICACIONES DE LA RADIOCIRUGÍA

Está indicada en lesiones menores de 3 centímetros, y las estructuras críticas deben ubicarse a una distancia de separación mayor a 3 milímetros respecto a los OARs sensibles (22).

4.15 LESIONES DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

I.1.6 Primarios

Dentro de las neoplasias cerebrales primarias se incluyen gliomas, meningiomas y tumores hipofisarios. Los tumores hipofisarios son mayormente benignos, pero pueden ocasionar otros problemas clínicos (23).

a. Adenoma hipofisario

Son tumores histológicamente benignos que pueden acarrear complicaciones neurológicas y fisiológicas potencialmente devastadoras.

En el caso de pacientes con un espacio de al menos 2 a 5 milímetros entre el adenoma hipofisario (generalmente con un diámetro de ≤ 3 centímetros) y la vía óptica, la radiocirugía estereotáctica (SRS) se considera una opción adecuada (22).

I.1.7 Metastásicos

Las metástasis cerebrales se presentan con mayor frecuencia en adultos y se producen cuando las células cancerosas se propagan de su ubicación original (primaria) al cerebro, invaden el parénquima cerebral, las leptomeninges y la duramadre (24). Los tres tipos de tumores primarios más comúnmente vinculados son los de pulmón (20-56%), mama (5-20%) y melanoma (7-16%) (25).

V. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La técnica de tratamiento en SRS ha ido mejorando y se ha recomendado ejecutarla sin marco (no invasiva) para reducir la incomodidad del paciente y mejorar la tolerancia al tratamiento (26). Esto se logra gracias a las nuevas tecnologías, que cuentan con sistemas de inmovilización asociados a la radioterapia guiada por imágenes (IGRT). Dentro de estos, se encuentra la camilla robótica HexaPOD que permite realizar correcciones traslacionales y rotacionales (27,28) (anexo 4).

Un estudio evaluó la precisión de una camilla robótica utilizando un fantoma 3D (IsoCal) mediante imágenes CBCT. Este evidenció que los errores de rotación fueron inferiores a 0,3 grados y los errores de traslación fueron inferiores o iguales a 0,8 milímetros en cada dirección. Este nivel de precisión está garantizado para el

uso de radioterapia clínica, incluida la radiocirugía estereotáctica (SRS) (29).

Existen equipos, que cuentan con la camilla robótica HexaPOD integrada, como el acelerador lineal Elekta Versa HD. En Inglaterra, se implementó un servicio de SRS y SRT para el tratamiento de metástasis cerebrales. Instalaron una camilla robótica y un equipo estereotáctico Brainlab en un Elekta Versa HD. Para la implementación, la casa comercial capacitó a todo el personal del servicio, teniendo claro que el valor referencial recomendado en lo que respecta la corrección del error posicional, no debe ser mayor a 0.3 grados. Esto permitió que el personal se volviera competente y confiado para administrar SRS de manera segura (30,12).

En China, un estudio de cohorte retrospectivo en pacientes con malformaciones arteriovenosas (MAV) comparó los resultados de tratamientos de SRS con marco (1998-2009, Varian Clinac) y sin marco (2010-2020, 6D ExacTrac y Elekta Versa HD). La tasa general de obliteración fue de 82,5 % con marco versus 80,0 % sin marco, $p = 0,310$. Este resultado refleja la precisión y eficacia de la SRS sin marco, que utiliza un sistema de radioterapia guiada por imágenes (CBCT) con corrección en seis dimensiones (HexaPOD), ya que logró una tasa de obliteración comparable con la SRS con marco (31).

Otro estudio analizó la variación del error posicional con *Fraxion* (con un grupo modelo de 28 pacientes) y con la máscara termoplástica estándar (con un grupo modelo de 36 pacientes) en la radioterapia estereotáctica intracraneal de tumores. En dicho estudio, emplearon un acelerador lineal-Elekta Versa HD, que cuenta con la camilla robótica HexaPOD, y, con el uso simultáneo de ambos, mostraron una

disminución significativa en el error posicional respecto a la máscara termoplástica estándar. La reducción del error promedio fue de 0 a 3 milímetros y 1 a 6 milímetros respectivamente. Estos resultados, evidenciaron que la SRT reduce el error posicional, ofrece una inmovilización precisa y, por ende, una disminución tanto del margen PTV como de los OARs (14).

En India, se evaluó a veintidós pacientes con diagnóstico de glioblastoma multiforme, con un fraccionamiento convencional (30 fracciones aproximadamente) y efectuaron correcciones del error posicional con camilla robótica. Concluyó que, al tomar imágenes (CBCT) los 30 días del tratamiento y corregir el error posicional en seis dimensiones, se consigue una mayor precisión. Esto se evidenció mediante una disminución significativa en el volumen del parénquima cerebral irradiado, el margen de PTV se redujo de 0,5 centímetros a 0,3 centímetros (32).

Cuando se tratan lesiones extracraneales, se denomina radioterapia estereotáctica de cuerpo (SBRT). La corrección con camilla robótica mediante IGRT (CBCT) puede reducir significativamente el error posicional en ambos tratamientos SRS y SBRT. Un estudio retrospectivo en veinte pacientes encontró una diferencia estadísticamente significativa en el error posicional al corregir en seis dimensiones (traslacionales y rotacionales) versus en tres dimensiones (traslacionales). Se observó una reducción promedio de 0,9 milímetros cuando se aplican correcciones en las seis dimensiones (33).

Otro estudio, evaluó que las correcciones de la camilla robótica utilizando una técnica de tratamiento Flattening Filter Free (FFF), redujo el tiempo de exposición

al permitir una alta tasa de dosis, en pacientes tratados con SRS cerebral sin marco y SBRT pulmonar. Entre los resultados, se evidenció que en el SRS el tiempo de tratamiento se redujo en un 21% y para SBRT, un 25%. Para SRS cerebral, la corrección con camilla robótica mejora en gran medida la precisión del error posicional del paciente, lo que se observa como una reducción en el error posicional de 0,3 grados (34).

En relación con todos los estudios mencionados previamente, la camilla robótica marca una diferencia en la corrección del error posicional; sin embargo, en Perú no se cuenta con información publicada sobre el uso de la camilla robótica HexaPOD en tratamientos de radiocirugía sin marco, no obstante. No obstante, en este centro de radioterapia, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

1. ***Simulación tomográfica:*** Un adecuado posicionamiento con sistema de inmovilización que permita reducir al mínimo el movimiento durante la simulación tomográfica (14)
2. ***Reposicionamiento en la sala de tratamiento:*** Un correcto reposicionamiento con el uso del sistema de inmovilización ya definidos en la sala de tratamiento o un acelerador lineal (31)
3. ***Adquisición y corrección de los valores de posicionamiento:*** Una adquisición de imágenes en 3D con CBCT que permitirá cuantificar la variación en centímetros y grados (seis dimensiones) para posteriormente realizar la corrección por error posicional con la camilla robótica HexaPOD (32–34)

De esta manera se garantizará la entrega con precisión de la dosis planificada al volumen del PTV y a los OARs.

VI. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

a. LUGAR Y PERIODO EN DONDE SE DESARROLLÓ EL TSP

En un centro de radioterapia de Lima que, cuenta con dos aceleradores lineales: Elekta Infinity y Varian Unique. En cada turno se cuenta con dos profesionales de tecnología médica en radiología por acelerador lineal, además de dos físicos médicos y un médico radioncólogo. Asimismo, este centro adquirió la camilla robótica en el mes de abril, es por eso que los resultados presentados que se recopilaron formaron parte del periodo abril-diciembre de 2023.

b. TIPO DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

Experiencia profesional en tecnología médica en la especialidad de radiología, en el campo de la radioterapia

c. DESCRIPCIÓN DEL CASO

El uso de la camilla robótica HexaPOD permite mejorar la corrección en el posicionamiento del paciente antes y durante el tratamiento de radiocirugía en lesiones del sistema nervioso central. De esta manera, en el presente caso se describirán las consideraciones para corregir el error posicional con la camilla robótica HexaPOD en este tipo de tratamiento en un centro de radioterapia en Lima, Perú durante durante el periodo abril diciembre de año 2023

d. PRINCIPALES RETOS Y DESAFÍOS

La camilla robótica HexaPOD corrige el error posicional del paciente, detectado mediante IGRT (CBCT) antes de entregar el tratamiento, lo que permite una precisión de posicionamiento submilimétrico en radiocirugía *frameless* o sin marco estereotáctico (no invasivo). Así evitando una subdosificación al PTV y una sobredosificación a los OARs (8,1,4).

Es un reto diario para los tecnólogos médicos en radiología conseguir una precisión submilimétrica y que no exceda los valores límites establecidos. Nuestros principales desafíos en la corrección del error posicional con camilla robótica HexaPOD en el tratamiento de radiocirugía en lesiones del sistema nervioso central, se materializan en dos elementos:

- La capacitación y destreza en la práctica clínica, para poder realizar una correcta simulación tomográfica y manejo adecuado de todas las fases del proceso en el tratamiento con corrección HexaPOD, considerando el poco conocimiento del personal de tecnología médica, ya que esta técnica de tratamiento no es rutinaria y solo se utiliza en técnicas avanzadas donde se entregan altas dosis por fracción (30,12).
- La ejecución de un correcto reposicionamiento para reducir el error posicional por debajo del valor máximo considerado (0.3 grados), teniendo en cuenta el limitado conocimiento de los pacientes frente a esta técnica de tratamiento; que los puede hacer sentir nerviosos o, ansiosos, o incluso requerir sedación (31).

e. ESTRATEGIAS APLICADAS

Un estudio de cohorte retrospectivo en pacientes con malformaciones arteriovenosas (MAV) comparó los resultados de tratamientos de SRS con marco (1998-2009, Varian Clinac) y sin marco (2010-2020, 6D ExacTrac y Elekta Versa HD). La tasa general de obliteración fue de 82,5 % con marco versus 80,0 % sin marco, $p = 0,310$. Este resultado refleja la precisión y eficacia de la SRS sin marco, que utiliza un sistema de radioterapia guiada por imágenes (CBCT) con corrección en seis dimensiones (HexaPOD), ya que logró una tasa de obliteración comparable con la SRS con marco (31).

Según referencias bibliográficas, la camilla robótica logra una mayor precisión en el tratamiento de radiocirugía; por esa razón se tuvo presente lo siguiente:

Implementación de la camilla robótica

En la institución se realizaban radiocirugías con una camilla estándar (tres dimensiones) y con un accesorio de inmovilización llamado *fraxion*; sin embargo, dada la importancia de corregir el error posicional para lograr una precisión submilimétrica y garantizar un mayor control tumoral, se implementó el uso de la camilla robótica con el mismo sistema de inmovilización *fraxion* para hacer correcciones traslacionales y rotacionales. La camilla robótica de seis dimensiones corrige el error posicional en seis ejes. Por un lado, en tres ejes traslacionales: x (derecha a izquierda), y (cráneo caudal) y z (antero posterior). Por otro lado, en tres ejes rotacionales: rx cabeceo (cráneo caudal), ry balanceo (derecha a izquierda) y

rz guiñada (sentido horario o antihorario) (35) (anexo 1 - figura 7). De esta manera con IGRT-CBCT se logra el objetivo ya mencionado anteriormente (anexo 2).

Otro estudio evidenció que el uso del accesorio de inmovilización *fraxion* (máscara termoplástica) con el acelerador lineal, que tiene incorporado la camilla robótica HexaPOD, permite una mayor precisión en el tratamiento de radiocirugía, teniendo como resultado una reducción en el error posicional, debido a la corrección en seis dimensiones. Esto nos permite entregar una dosis más precisa y mantener un mejor control tumoral, minimizando el riesgo a los OARs (2,14).

Considerando la evidencia científica, el proceso de realización del tratamiento de SRS se divide en tres puntos:

Simulación tomográfica

Como primer paso, se posiciona y alinea al paciente en un punto de referencia a nivel del tragus con ayuda de los láseres externos, y, una vez centrado, se coloca la máscara termoplástica (material de mayor densidad respecto a las de uso convencional) en baño maría, a una temperatura aproximada de 70°C (el material termoplástico se vuelve maleable). Esto permite que, al colocarlo sobre la cara del paciente, seguido de la disminución de la temperatura, el material termoplástico se endurezca, tomando la forma del rostro del paciente. A esto se le denomina sistema de inmovilización *fraxion*. Luego, se verifica que el punto de referencia, con los láseres a través de la máscara termoplástica que tiene el paciente, continúen alineados como en el primer paso.

En un segundo paso, se acopla la caja de referencia *stereotaxic* al sistema de inmovilización *fraxion* y, bajo esta condición, se adquieren las imágenes tomográficas con cortes de milímetro de espesor.

Continuando con el tercer paso, se importan estas imágenes tomográficas por red Dicom al sistema de planificación computarizada (TPS), donde el médico radioncólogo delimitara los volúmenes tumorales como el PTV y los OARs, para que, posteriormente, el físico médico realice la planificación del tratamiento. Después, el médico radioncólogo valida la planificación del tratamiento y, finalmente, este queda listo para que el paciente pueda iniciarlo.

Por último, se descargan las imágenes de referencia (imágenes tomográficas con delimitación de PTV y OARs) a la estación del XVI, para posteriormente preparar dichas imágenes, seleccionando el *clipbox* y el método de corrección: HexaPOD. Estas serán superpuestas con las imágenes adquiridas en la sala de tratamiento con el CBCT

Reposicionamiento en la sala de tratamiento

Una vez realizada toda la secuencia anterior, se coloca al paciente sobre la camilla de tratamiento del acelerador lineal. El iGUIDE va a solicitar automáticamente mover la mesa de la posición *park* a *drive*. Terminado este movimiento, se alinean las marcas de referencia en la máscara termoplástica con los láseres de la sala de tratamiento (en las mismas condiciones de posicionamiento de la simulación tomográfica). Seguidamente, se realizan los desplazamientos definidos en la planificación de tratamiento (del isotac al isocentro)

Luego, se procede a colocar el marco de referencia (*frame*), que debe estar indexado según el protocolo (a una distancia no mayor de 65 centímetros del isocentro) y ubicado en la misma posición que ha sido designada. Completado esto, se confirma que el paciente fue alineado correctamente para realizar la toma de imagen

Adquisición y corrección de los valores de posicionamiento

El sistema iGUIDE muestra que el reposicionamiento ha sido concluido correctamente cuando se observan los tres checks en color verde y, de esta manera, está listo para comunicarse con el sistema de IGRT (CBCT).

Se procede a realizar la adquisición de las imágenes volumétricas (imágenes de localización) con el CBCT. Culminado este proceso, estas se reconstruyen y superponen con la imagen de referencia (imagen de la simulación tomográfica). El sistema IGRT calcula la variación posicional entre ambos sistemas de imagen (referencia y localización). A esto se le conoce como, error posicional en las seis dimensiones (tres traslacionales y tres rotaciones), con un valor máximo de 0.3 grados

El sistema IGRT transfiere los valores del error posicional al software iGUIDE. Este transforma los valores del error posicional en valores de corrección, que son enviados a la mesa robótica HexaPOD, la cual ejecuta dicha corrección hasta que llegue a la posición final del tratamiento

Posteriormente, se toma una segunda adquisición con CBCT para verificar que las correcciones realizadas con la camilla robótica hayan sido realizadas correctamente

El software iGUIDE libera la señal *external inhibit* indicando que el paciente ya puede ser tratado. El tiempo de irradiación del tratamiento es aproximado de 15 min o 30 min.

Finalizado el tratamiento se retira el marco de referencia (*frame*), la máscara de inmovilización y se regresa la mesa a la posición *park*

f. RESULTADOS

Se cuenta con 40 casos de abril a diciembre 2023, de los cuales se describirán los valores de corrección del error posicional de dos casos (una lesión benigna y una metástasis cerebral).

Tabla 1. Paciente de sexo femenino con adenoma hipofisiario.

Ejes traslacionales	Error posicional (centímetros)	Ejes rotacionales	Error posicional (grados)
x	0.1	rx	0.1
y	-0.15	ry	0.2
z	0.18	rz	0.3

Elaboración propia. Fuente: Registros del trabajo de suficiencia profesional En la tabla 1, el movimiento traslacional en x (lateral) tuvo una variación de 0.1; en y (vertical), -0.15 y en z (longitudinal), 0.18. En los movimientos rotacionales, rx (cabeceo) tuvo una variación de 0.1; ry (balanceo), 0.2, y rz (guiñada), 0.3

Tabla 2. Paciente de sexo masculino con metástasis cerebral.

Ejes traslacionales	Error posicional (centímetros)	Ejes rotacionales	Error posicional (grados)
x	0.2	rx	0.3
y	0.13	ry	359.9
z	0.17	rz	359.8

Elaboración propia. Fuente: Registros del trabajo de suficiencia profesional En la tabla 2, el movimiento traslacional en x (lateral) tuvo variación de 0.2; en y (vertical), 0.13 y en z (longitudinal), 0.17. En los movimientos rotacionales, rx (cabeceo) tuvo una variación de 0.3; ry (balanceo), 359.9 y rz (guiñado), 359.8. Estos últimos valores siendo equivalentes a 0.1 y 0.2, respectivamente

En los casos presentados se visualizan los valores de corrección del error posicional en las seis dimensiones. Esto se traduce en una mejora, ya que contábamos con una camilla estándar con valores de corrección en tres dimensiones. En ese contexto, el beneficio es una corrección por error posicional submilimétrico en rangos de 0.2 centímetros y / 2° (camilla robótica HexaPOD) versus una corrección de 0.5 centímetros (camilla estándar). Eso se evidenció entregando una dosis más precisa en el PTV, aumentando así el control tumoral, disminuyendo la dosis a los OARs y minimizando las complicaciones o efectos secundarios.

VII. COMPETENCIAS PROFESIONALES UTILIZADAS

Curso	Competencias y aptitudes adquiridas	Justificación
Radiobiología y Protección Radiológica	Capacidad para interpretar el efecto de las radiaciones ionizantes y no ionizantes al interactuar con la materia viva, así como los principios, métodos, medidas y normas legales destinadas a prevenir o minimizar los riesgos que podrían generar las radiaciones	Este curso nos sirvió para conocer el efecto de la radiación sobre la materia biológica a nivel molecular, subcelular, celular, sistémico y, a cuerpo entero, y la estimación del efecto de la radiación ionizante en un organismo
Planeamiento y Dosimetría	Capacidad para interpretar la dosis necesaria para la aplicación de radiaciones ionizantes en el tratamiento radioterapéutico	Este curso nos proporcionó fundamentos básicos del planeamiento y, dosimetría física y clínica en radioterapia, de acuerdo a protocolos, estándares

		internacionales y normas de protección radiológica
Tecnología en Radioterapia	Capacidad para interpretar los procesos en radioterapia y la aplicación de los métodos, técnicas, protocolos y guías de las diferentes indicaciones de los tratamientos radio terapéuticos establecidos en estándares nacionales e internacionales	Este curso nos preparó para aplicar adecuadamente protocolos de tratamientos radioterapéuticos, así como identificar la etiología, historia natural, factores de riesgo y tratamientos radioterapéuticos de neoplasias malignas
Instrumentación y Equipos en Medicina Nuclear y Radioterapia	Capacidad de reconocimiento del equipo, instrumentación y accesorios utilizados en la ejecución de tratamientos	Este curso nos sirvió para verificar la instrumentación y los equipos que utilizan radiaciones ionizantes en medicina nuclear y

	<p>radioterapéuticos y exámenes de diagnóstico por imágenes en medicina nuclear.</p>	<p>radioterapia, de acuerdo a requisitos de diseño, funcionamiento, operatividad, seguridad y protección radiológica, utilizados en exámenes de diagnóstico por imágenes y en los tratamientos radioterapéuticos</p>
<p>Metodología de la Investigación</p>	<p>Capacidad de realizar búsqueda bibliográfica y, sistematizada, y referenciarla de acuerdo con las normas internacionales</p>	<p>Este curso nos preparó para desarrollar contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales acerca del proceso de investigación científica.</p>

VIII. APORTES A LA CARRERA

Curso	Aportes y cambios que se sugieren al curso
Radiobiología y Protección Radiológica	Se deberían realizar talleres con casos clínicos donde se evidencien comparaciones de esquemas de fraccionamiento convencional versus dosis única (radiocirugía) y sus equivalentes radiobiológicos para que el alumno comprenda los efectos de control tumoral y las reacciones del tejido sano en cada tipo de fraccionamiento.
Tecnología en Radioterapia, Planeamiento y Dosimetría como también Instrumentación y Equipos en Medicina Nuclear y Radioterapia	Se considera pertinente implementar un centro de simulación en radioterapia con maniqués de entrenamiento, que permitan que el estudiante tenga contacto con los accesorios de inmovilización empleados frecuentemente en este campo. También se sugiere el desarrollo de escenarios clínicos que permitan recrear casos similares a los que verán en un futuro laboral.

<p>Tecnología en Radioterapia, Planeamiento y Dosimetría</p>	<p>Se debería contemplar la implementación de horas prácticas hospitalarias en la malla curricular, además de, actualizarla con la incorporación de cursos relacionados a la constante evolución tecnológica y las expectativas laborales. Esto con la intención de que el estudiante, al egresar de la universidad, tenga mayor probabilidad de conseguir oportunidades laborales.</p>
<p>Metodología de la Investigación</p>	<p>Se debería contar con un módulo enfocado en la redacción de artículos científicos, ya que, en el curso-taller de trabajo de suficiencia profesional, la redacción es fundamental para poder plasmar la información de manera clara y precisa.</p>

IX. CONCLUSIONES

Con base en la evidencia científica, se identificaron las siguientes consideraciones que permitieron la obtención de valores de error de posicionamiento dentro del rango máximo (entre 2 milímetros y 2°): una correcta simulación tomográfica, un adecuado reposicionamiento en la sala de

tratamiento, y la adquisición y corrección de los valores de posicionamiento con la camilla robótica HexaPOD.

De esta forma, las consideraciones identificadas fueron incluidas dentro de los tratamientos de nuestro centro de radioterapia, con la finalidad de corregir el error posicional con la camilla robótica HexaPOD en el tratamiento de radiocirugía de pacientes con lesiones del sistema nervioso central, mejorar el control tumoral y disminuir la dosis a los OARs, reduciendo los efectos secundarios.

X. REFERENCIAS

1. Meyer J, Wilbert J, Baier K, Guckenberger M, Richter A, Sauer O, et al. Positioning accuracy of cone-beam computed tomography in combination with a HexaPOD robot treatment table. *International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics*. 2007;67(4):1220-8.
2. Gevaert T, Verellen D, Engels B, Depuydt T, Heuninckx K, Tournel K, et al. Clinical evaluation of a robotic 6-degree of freedom treatment couch for frameless radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2012;83(1):467-74.
3. Delishaj D, Ursino S, Pasqualetti F, Matteucci F, Cristaudo A, Soatti CP, et al. Set-up errors in head and neck cancer treated with IMRT technique assessed by cone-beam computed tomography: a feasible protocol. *Radiat Oncol J*. 2018;36(1):54-62.
4. Bell K, Licht N, Rube C, Dzierma Y. Image guidance and positioning accuracy in clinical practice: influence of positioning errors and imaging dose on the real

- dose distribution for head and neck cancer treatment. *Radiat Oncol.* 2018;13:190.
5. Finnigan R, Lamprecht B, Barry T, Jones K, Boyd J, Pullar A, et al. Inter- and intra-fraction motion in stereotactic body radiotherapy for spinal and paraspinal tumours using cone-beam CT and positional correction in six degrees of freedom. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2016;60(1):112-8.
 6. Usui K, Isobe A, Hara N, Muroi T, Sajiki O, Ogawa K, et al. Development of a rotational set-up correction device for stereotactic head radiation therapy: A performance evaluation. *J Appl Clin Med Phys.* 2019;20(6):206-12.
 7. Vista de experiencia inicial con dos equipos de radiocirugía en la fundación valle del Lili. [Internet]. [citado 17 de diciembre de 2023]. Disponible en: <https://medcytjournals.com/index.php/neurocienciasjournal/article/view/153/14>
 8. Almeida TVR, da Silva CM, Piedade PA, Cordova AL, Bezerra CG, Soboll DS, et al. Positioning deviations in frameless and frame-based intracranial stereotactic radiosurgery. *Radiation Physics and Chemistry.* 2020;167:108363.
 9. Costin IC, Marcu LG. Factors impacting on patient setup analysis and error management during breast cancer radiotherapy. *Critical Reviews in Oncology/Hematology.* 2022;178:103798.
 10. Cadenas Y. Guía técnica para el uso de HexaPOD en el departamento de radioterapia del Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas. Documento en proceso de publicación, INEN 2024.

11. Rodrigues MF, Veen S, van Egmond J, van Hameren M, van Oorschot T, de Vet S, et al. The influence of a six degrees of freedom couch and an individual head support in patient positioning in radiotherapy of head and neck cancer. *Phys Imaging Radiat Oncol.* 2019;11:30-3.
12. Elekta. HexaPOD evo RT; iGuide 2.2.3 Workflow Course, Trainig Manual. 2022.
13. Muñoz Á. Personalidades históricas de la radioterapia. *Medicina.* 2021;43(1):11-7.
14. He DC, Zhu ZJ, Zhang XY, Zhang Y, Hong J, Shi TT, et al. Positioning error analysis of the fraxion localization system in the intracranial stereotactic radiotherapy of tumors. *Clin Transl Oncol.* 2021;23(1):43-7.
15. Gonzales Apolinario NM. Análisis de posicionamiento hallados con tomografía computada de haz cónico en el tratamiento de cáncer de mama en estadio III con radioterapia. Universidad Nacional Mayor de San Marcos [Internet]. 2023 [citado 26 de enero de 2024]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/20781>
16. Verificación dosimétrica para campos pequeños de radiación en un acelerador lineal para teleterapia. [Internet]. [citado 26 de enero de 2024]. Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/9766/2/IGLIN-280873.pdf>
17. Antonella S. DISTRIBUCIÓN DE DOSIS EN PROFUNDIDAD PARA UN ACELERADOR LINEAL DE USO MÉDICO.

18. Zaider M, Hanin L. Tumor control probability in radiation treatment. *Medical Physics*. 2011;38(2):574-83.
19. Romero P, Villafranca E, Rico M, Manterola A, Vila MT, Domínguez MA. Radioterapia guiada por imagen: Impacto clínico. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. 2009;32:33-7.
20. Gutschenritter T, Venur VA, Combs SE, Vellayappan B, Patel AP, Foote M, et al. The judicious use of stereotactic radiosurgery and hypofractionated stereotactic radiotherapy in the management of large brain metastases. *Cancers (Basel)*. 2020;13(1):70.
21. Milano MT, Grimm J, Niemierko A, Soltys SG, Moiseenko V, Redmond KJ, et al. single and multi-fraction stereotactic radiosurgery dose/volume tolerances of the brain. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2021;110(1):68-86.
22. Stereotactic radiosurgery: Overview, indications, contraindications. 6 de noviembre de 2023 [citado 26 de enero de 2024]. Disponible en: <https://emedicine.medscape.com/article/1423298-overview?form=fpf>
23. Badza, Milica. Clasificación de tumores cerebrales a partir de imágenes de resonancia magnética mediante una red neuronal convolucional [Internet]. [citado 26 de enero de 2024]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/6/1999>
24. Sacks P, Rahman M. Epidemiology of Brain Metastases. *Neurosurg Clin N Am*. 2020;31(4):481-8.

25. Achrol AS, Rennert RC, Anders C, Soffiatti R, Ahluwalia MS, Nayak L, et al. Brain metastases. *Nat Rev Dis Primers*. 2019;5(1):5.
26. Pavlica M, Dawley T, Goenka A, Schulder M. Frame-based and mask-based stereotactic radiosurgery: the patient experience, compared. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2021;99(3):241-9.
27. Takakura T, Mizowaki T, Nakata M, Yano S, Fujimoto T, Miyabe Y, et al. The geometric accuracy of frameless stereotactic radiosurgery using a 6D robotic couch system. *Phys Med Biol*. 2009;55(1):1.
28. Schmidhalter D, Malthaner M, Born EJ, Pica A, Schmuecking M, Aebersold DM, et al. Assessment of patient setup errors in IGRT in combination with a six degrees of freedom couch. *Zeitschrift für Medizinische Physik*. 2014;24(2):112-22.
29. Zhang Q, Driewer J, Wang S, Li S, Zhu X, Zheng D, et al. Accuracy evaluation of a six-degree-of-freedom couch using cone beam CT and IsoCal phantom with an in-house algorithm. *Med Phys*. 2017;44(8):3888-98.
30. Patel T, Hughes D. Implementing a stereotactic radiosurgery (SRS) service for the treatment of brain metastases in the private health sector. *Radiography*. 1 2020;26:S25.
31. He Z, Ho MKJ, Lee WYV, Law HY, Wong YWV, Leung TW, et al. Frameless versus frame-based stereotactic radiosurgery for intracranial arteriovenous malformations: A propensity-matched analysis. *Clin Transl Radiat Oncol*. 2023;41:100642.

32. Pruthi DS, Nagpal P, Pandey M. Effectiveness of 6D couch with daily cone beam computed tomography in reducing PTV margins for glioblastoma multiforme. *J Neurosci Rural Pract.* 2023;14(1):78-83.
33. Dhillon A, Erler D, Poon I, Lee J, Enepekides D, Higgins K, et al. The impact of correcting for translational and rotational errors using the hexapod in head and neck stereotactic body radiation therapy patients. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences.* 2017;48(3):276-81.
34. Nielsen M, Hansen CR, Brink C, Bertelsen AS, Kristiansen C, Jeppesen SS, et al. Efficient and accurate stereotactic radiotherapy using flattening filter free beams and HexaPOD robotic tables. *J Radiosurg SBRT.* 2016;4(2):153-61.
35. Jiang P, Zhang X, Wei S, Zhao T, Wang J. Set-up error and dosimetric analysis of HexaPOD evo RT 6D couch combined with cone beam CT image-guided intensity-modulated radiotherapy for primary malignant tumor of the cervical spine. *J Appl Clin Med Phys.* 2020;21(4):22-30.
36. Cañas-Varón DL, Uscategui-Rodríguez JS, López-Velosa CD. Resultados preliminares de simulación de haz cónico XVI con Geant4. *Revista Vínculos [Internet].* 2021 [citado 2 de febrero de 2024];18(2). Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/article/view/20192>
37. Definition of Volumes. ICRU. 1 de abril de 2010;10(1):41-53.
38. Babic S, Lee Y, Ruschin M, Lochray F, Lightstone A, Atenafu E, et al. To frame or not to frame? Cone-beam CT-based analysis of head immobilization

devices specific to linac-based stereotactic radiosurgery and radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys.* 2018;19(2):111-20.

39. Ramakrishna N, Rosca F, Friesen S, Tezcanli E, Zygmanski P, Hacker F. A clinical comparison of patient setup and intra-fraction motion using frame-based radiosurgery versus a frameless image-guided radiosurgery system for intracranial lesions. *Radiother Oncol.* 2010;95(1):109-15.

40. Liu RJ, Yang SX, Neylon J, Hall MD, Dandapani S, Vora N, et al. Residual setup errors in cranial stereotactic radiosurgery without six degree of freedom robotic couch: Frameless versus rigid immobilization systems. *J Appl Clin Med Phys.* 2020;21(3):87-93.

XI. ANEXOS

ANEXO I: Componentes de la camilla robótica

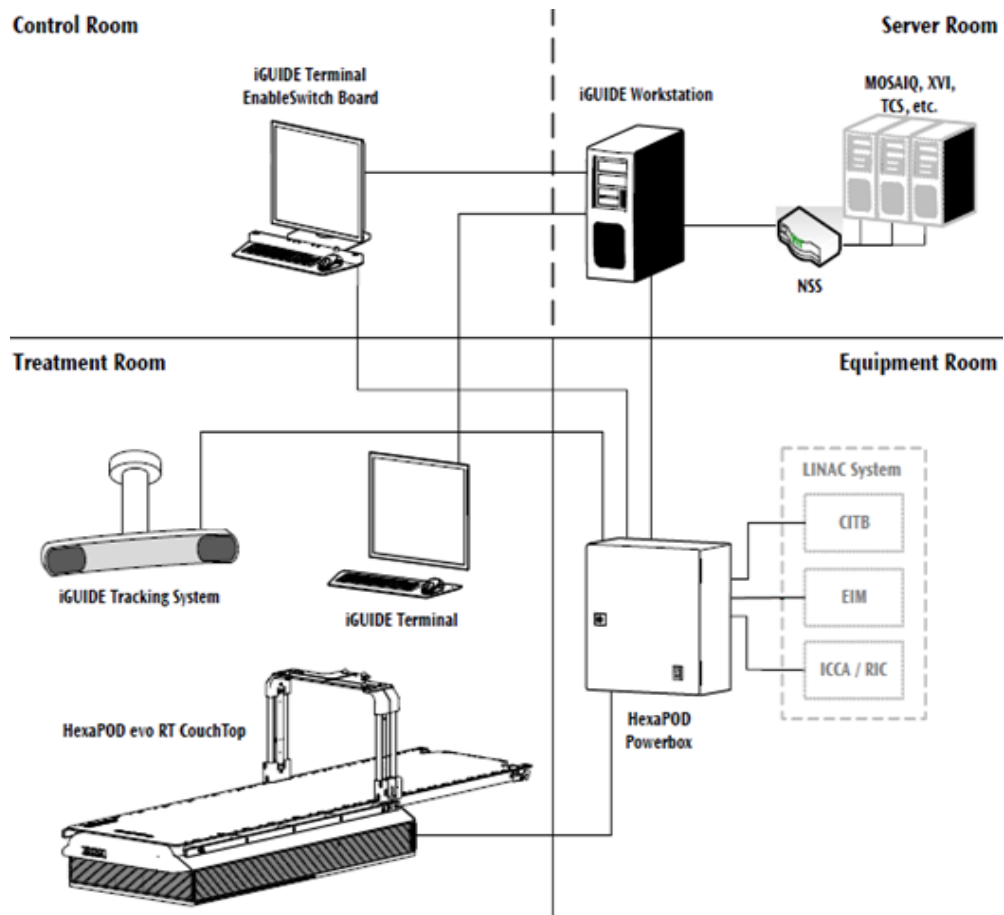


Figura 1. Componentes del sistema HexaPOD en la Sala de comando y sala de tratamiento Fuente: Elekta. HexaPOD evo RT; iGuide 2.2.3 Workflow Course, Training Manual. 2022.



Figura 2. Componentes de la camilla robótica. Fuente: Elekta. HexaPOD evo RT; iGuide 2.2.3 Workflow Course, Training Manual. 2022.



Figura 3. Sistema de seguimiento iGUIDE. Fuente: Elekta. HexaPOD evo RT; iGuide 2.2.3 Workflow Course, Training Manual. 2022.

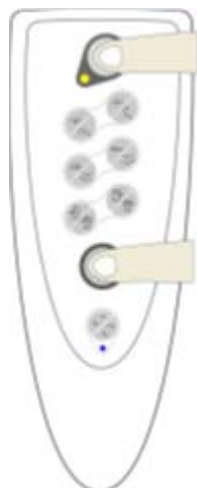


Figura 4. Control portátil. Fuente: Elekta. HexaPOD evo RT; iGuide 2.2.3 Workflow Course, Training Manual. 2022.

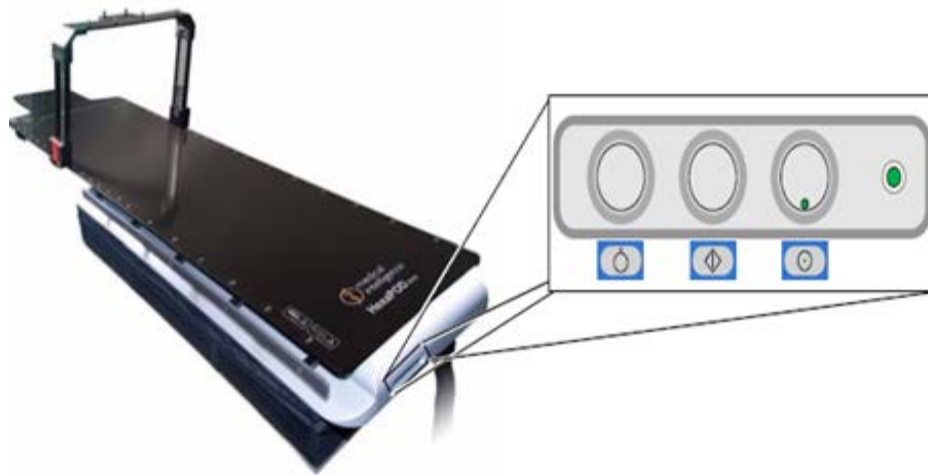


Figura 5. Sistema HexaPOD. Fuente: Elekta. HexaPOD evo RT; iGuide 2.2.3 Workflow Course, Training Manual. 2022.

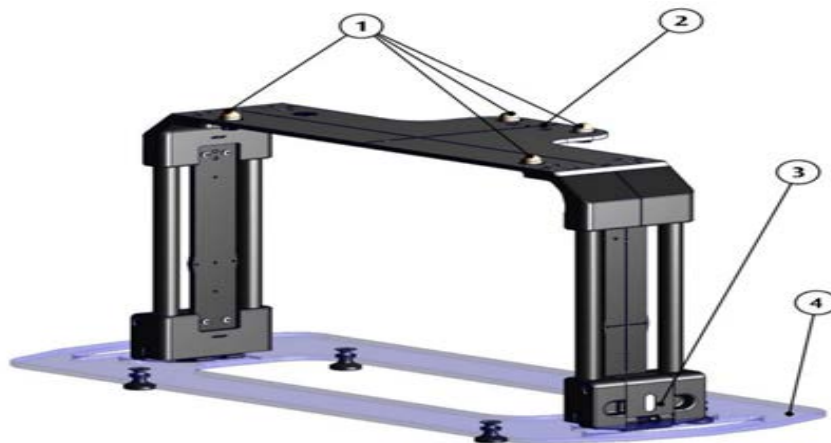
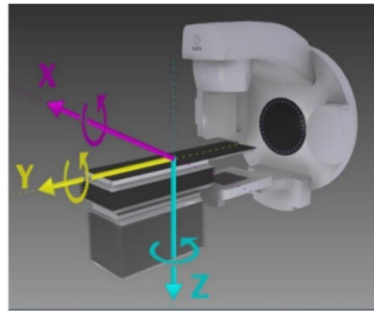
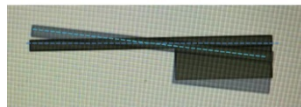


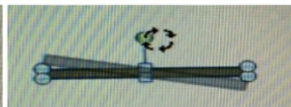
Figura 6. Marco de referencia iGUIDE. Fuente: Elekta. HexaPOD evo RT; iGuide 2.2.3 Workflow Course, Training Manual. 2022. Descripción: Marcadores ópticos (1), Indicador: orientado hacia el gantry (2), Palanca de fijación (3), Placa inferior (4).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7. Movimientos traslacionales y rotacionales. Fuente: Jiang et al. (35)

Descripción: Movimientos traslacionales: (a) lateral X, longitudinal Y, vertical Z. Movimientos rotacionales: (b) rx - cabeceo, (c) ry - balanceo y (d) rz – guiñada.

ANEXO 2: Términos para el funcionamiento de la camilla robótica

**TÉRMINOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA CAMILLA
ROBÓTICA**

PARK	Posición más baja accesible a la parte superior de la camilla robótica (12)
DRIVE	Posición en la que la camilla robótica está lista para realizar la corrección en seis dimensiones (12)
XVI	Es el software del CBCT que nos permite la obtención de imágenes digitales (36)
CLIPBOX	Es el área delimitada para realizar la superposición entre la imagen de la simulación TEM y la adquisición con CBCT (12)
EXTERNAL	Es un mecanismo de emergencia que garantiza que el sistema
INHIBIT	HexaPOD impida que el acelerador lineal emita radiación cuando el paciente no está en la posición de tratamiento (12)

ANEXO 3: Definición de volúmenes

DEFINICIÓN DE VOLÚMENES

Volumen objetivo de planificación (PTV)	Incluye todo el tumor más un margen para enfermedad subclínica, movimiento y errores de posicionamiento (37).
Órganos a riesgo (OARs)	Son tejidos sanos cuya radio sensibilidad puede tener un impacto significativo en la planificación del tratamiento y la dosis prescrita (37).

ANEXO 4: Tipos de radiocirugía según el sistema de inmovilización

TIPOS DE RADIOCIRUGÍA SEGÚN EL SISTEMA DE INMOVILIZACION

Radiocirugía invasiva o

frame

Consiste en utilizar un marco de cabeza invasivo que puede fijar el cráneo de forma rígida y no se necesita ningún margen de tratamiento más allá del objetivo tratado (38). Los inconvenientes de utilizar este tipo incluyen: la ansiedad del paciente, el dolor por la colocación de los tornillos que normalmente se aplican a la tabla exterior del cráneo y el riesgo de hemorragia e infección en el lugar de colocación (39).

Radiocirugía no

invasiva o *frameless*

Utilizan dispositivos como máscaras termoplásticas y bloques de mordida para inmovilizar la cabeza del paciente, y empleando IGRT se localiza el PTV y OARs mediante las imágenes del CBCT. Con los dispositivos de inmovilización no invasivos, se aplica un pequeño margen al PTV para tener en cuenta las incertidumbres. Estos se han utilizado cada vez más en la radioterapia estereotáctica hipofraccionada (SRT), administrada en 2 a 5 fracciones (40).

ANEXO 5: Autorización del TSP

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL CENTRO DE RADIOTERAPIA

Carta de autorización del servicio de Radioterapia en el Instituto Peruano de Oncología y Radioterapia para llevar a cabo el trabajo de suficiencia profesional

Lima, 8 de febrero 2024

Bachiller(es)

Ariana Mercedes Guevara Melendez

Nieves Belen Herrera Velasquez

Egresado de la Escuela de Tecnología Médica

Universidad Peruana Cayetano Heredia

Presente.-

**Autorización del trabajo de suficiencia profesional titulado
"CONSIDERACIONES PARA CORREGIR EL ERROR
POSICIONAL CON LA CAMILLA ROBÓTICA-
HEXAPOD EN EL TRATAMIENTO DE
RADIOCIRUGÍA DE PACIENTES CON LESIONES DEL
SISTEMA NERVIOSO CENTRAL EN UN CENTRO DE
RADIOTERAPIA EN LIMA-PERU DURANTE EL AÑO
2023"**

Estimado(a/es) Dr. Milagros Rodríguez Zavaleta

Por medio de la presente, tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y a la vez informar, como Jefe del servicio de Radioterapia, que se ha autorizado la ejecución del trabajo de suficiencia profesional titulado, el cual se desarrolló desde el 16 de abril hasta el 31 de diciembre del 2023.

Sin otro particular me despido de usted.

Atentamente,



Dr. Milagros Rodríguez Zavaleta
Jefe del Servicio de Radioterapia
C.M.P. 72028 R.M.E. 40013