Soluciones de reconstrucción mediante RMN

Antonio Otal Palacín

Tabla de contenidos

# Prefacio

This is a Quarto book.

To learn more about Quarto books visit <https://quarto.org/docs/books>.

# 1. Introducción

## 1.1 Braquiterapia ginecológica

La braquiterapia (BT) es una técnica de radioterapia en la que se colocan fuentes radiactivas cerca o directamente dentro de la zona de tratamiento. Las fuentes pueden insertarse en cavidades corporales, colocarse en la superficie del área a tratar o introducirse en los tejidos mediante técnicas intersticiales. El objetivo de la braquiterapia es garantizar la administración precisa y segura de la dosis de radiación prescrita en la zona objetivo, minimizando al mismo tiempo las dosis innecesarias en los tejidos sanos circundantes. La braquiterapia se utiliza sobre todo para tratar diversos tipos de cáncer y enfermedades benignas.

El primer caso de tratamiento de tumores ginecológicos a través del uso de fuentes radiactivas del que se tiene constancia fue en 1903, cuando se utilizó el radio como modalidad de tratamiento para los tumores ginecológicos[1](#ref-goodwin1968). Este uso temprano de la braquiterapia se produjo tras el descubrimiento de la radiactividad por Henri Becquerel. Desde el primer momento se toma conciencia del reto que supone el conocimiento de determinar la actividad y la disposición de la fuente y la importancia de ambos factores. Se realizaron observaciones clínicas para investigar la eficacia de la braquiterapia y se desarrollaron normas y reglamentos para la estandarizarización los procedimientos de radioterapia[2](#ref-adosage1934)–[4](#ref-thetrea1949b).

### 1.1.1 Tipos de tumores ginecológicos

Los tumores ginecológicos son cánceres que se desarrollan en el aparato reproductor femenino. Son varios los tipos de cáncer ginecológico que pueden aparecer como el de cuello de útero, endometrio (uterino), ovario, vulva, vagina y trompas de Falopio.

* **Cáncer de cuello uterino**: También llamado de cérvix, es el cáncer ginecológico más tratado en todo el mundo. La incidencia del cáncer de cérvix, es alta en los países en vías de desarrollo y en partes de Asia y África[5](#ref-jemal2008). El cáncer de cuello uterino es un problema importante en todo el mundo y es el tercer cáncer más frecuente en mujeres. La prevalencia de la infección por el virus del papiloma humano (HPV) está estrechamente relacionada con la incidencia del cáncer cervicouterino.
* **Cáncer de endometrio (uterino)**: La braquiterapia también puede utilizarse como opción de tratamiento para el cáncer de endometrio. Puede emplearse como tratamiento primario o como terapia adyuvante tras la cirugía. El objetivo de la braquiterapia endometrial es administrar una dosis elevada de radiación al lecho tumoral y reducir el riesgo de recidiva local.
* **Cáncer de ovario**: Los cánceres de ovario se tratan principalmente con resección quirúrgica seguida de quimioterapia. En casos seleccionados, la braquiterapia se ha utilizado para tumores recurrentes en el fondo vaginal. El tratamiento con braquiterapia para el cáncer de ovario puede proporcionar un control local práctico en estas situaciones específicas.
* **Cáncer de vulva**: Los cánceres de vulva son tumores poco frecuentes que representan un pequeño porcentaje de las neoplasias ginecológicas. La braquiterapia puede considerarse en el tratamiento de los cánceres de vulva, especialmente en los casos localmente avanzados que afectan a los ganglios linfáticos inguinales. El objetivo de la terapia es administrar una alta dosis de radiación al tumor minimizando el daño a los tejidos sanos circundantes.
* **Cáncer de vagina**: Los cánceres vaginales pueden ser primarios o metastásicos de otras localizaciones ginecológicas. Cuando se producen tumores vaginales primarios, la braquiterapia es una de las opciones de tratamiento. La aplicación de la braquiterapia en el cáncer vaginal consiste en irradiar selectivamente el tumor, especialmente en el tercio superior de la vagina. La terapia puede proporcionar un control local práctico para los tumores vaginales primarios.

### 1.1.2 Ventajas de BT frente a la radioterapia de haces externos (EBRT)

Por definición, la braquiterapia aporta directamente la dosis de radiación deseada al objetivo utilizando fuentes radiactivas selladas colocadas dentro o en las inmediaciones del tumor. Cabe señalar que esta definición se ha revisado ligeramente al incluir las fuentes de braquiterapia electrónicas miniaturizadas como alternativa a las fuentes radiactivas selladas.

En términos generales, la braquiterapia aprovecha el hecho de que las fuentes están conectadas directamente al volumen diana y se mueven con él cuando se mueve. La variación en el paciente durante el tratamiento es mínima. En comparación con las técnicas de haz externo, la otra ventaja es que el objetivo recibe una dosis suficientemente alta. Al mismo tiempo, la ley del cuadrado inverso garantiza que la dosis para el tejido normal circundante (es decir, el órgano en riesgo) se reduce considerablemente incluso en las proximidades.

### 1.1.3 Inconvenientes de BT frente a EBRT

Los inconvenientes de la braquiterapia comparada con la EBRT incluyen:

1. Procedimiento invasivo: La braquiterapia requiere la colocación de aplicadores o fuentes de radiación mediante un procedimiento invasivo, excepto en el caso de los moldes superficiales utilizados para tumores cutáneos. Esto puede aumentar la complejidad y el coste del procedimiento, ya que requiere algún tipo de anestesia y acceso a un quirófano.
2. Acceso limitado: La braquiterapia está limitada por las zonas de fácil acceso para la colocación de la fuente. Los tumores superficiales y las cavidades corporales pueden tratarse fácilmente, mientras que los órganos internos, especialmente los del abdomen, presentan dificultades que aún deben superarse en la práctica rutinaria.
3. Variabilidad del médico: La braquiterapia está sujeta a incertidumbres clínicas, siendo la mayor la variabilidad en el contorno de los volúmenes objetivo y los órganos en riesgo entre los clínicos. Esta variabilidad puede afectar a la precisión y eficacia del tratamiento.

### 1.1.4 Evolución de los sistemas de implantación

Su origen se remonta al comienzo del siglo XX, cuando se introdujeron por primera vez fuentes radiactivas implantadas manualmente en los tumores. En aquel entonces, este enfoque implicaba una exposición no deseada a la radiación para los médicos y otros profesionales de la salud. Sin embargo, a mediados del siglo XX, se comenzaron a utilizar técnicas de carga diferida (*after-loaders*), en las cuales las agujas huecas o los aplicadores se colocan en el volumen del tumor insertando posteriormente las fuentes radiactivas en dichos dispositivos, con lo que la exposición a la radiación del personal sanitario se redujo de manera importante.

La llegada de los dispositivos de carga diferida remotos (RAL) a finales del siglo XX supuso avances significativos en la práctica de la braquiterapia. Dichos dispositivos remotos permitían la colocación de fuentes radiactivas a distancia en agujas o aplicadores, reduciendo todavía más las exposición a la radiación. Esta última innovación permitió el uso de fuentes de alta actividad para aplicaciones de alta tasa de dosis (HDR) y tasa de dosis pulsada (PDR). La braquiterapia de alta tasa de dosis mediante RAL se generalizó en la segunda mitad de los años ochenta del siglo XX con la aparición de ordenadores con una mayor capacidad de cálculo y memoria que a su vez posibilitaron la aparición de los primeros sistema de planificación (TPS).

### 1.1.5 EL Sistema de Manchester

El sistema de Manchester se desarrolló para la planificación de los tratamientos de cáncer de cérvix en los años 30 del siglo XX[1](#ref-goodwin1968),[6](#ref-tod1938),[7](#ref-tod1953). Su objetivo era estandarizar la dosimetría y el tratamiento en diferentes pacientes mediante la definición de puntos de referencia específicos. El punto crítico de este sistema es el Punto A, situado en una región con un gradiente de dosis relativamente bajo. La selección del Punto A permitió lo siguiente:

* La estandarización del tratamiento en diferentes pacientes.
* La dosis al Punto A no fue muy sensible a ligeras alteraciones en la posición del aplicador.
* Correlación de la dosis en el punto A con los resultados clínicos.

El sistema de Manchester utilizaba una disposición geométrica de una sonda intra-uterina y dos ovoides intra-vaginales que sujetaban tubos de radio como fuente de tratamiento. Inicialmente, el objetivo del sistema era administrar una tasa de dosis baja y constante en el punto A. El sistema se desarrolló posteriormente para incluir datos tabulados que proporcionaran la actividad total de la fuente necesaria para suministrar la dosis en el punto de prescripción.

El uso histórico del punto A ha sido casi universal, salvo en la escuela francesa. Hay dos razones principales para este uso generalizado. En primer lugar, el punto A puede delimitar o no la extensión lateral de los parametrios, un aspecto esencial de la braquiterapia ginecológica. En segundo lugar, el punto A puede definirse fácilmente incluso en las prácticas clínicas básicas, lo que permite comparar los resultados clínicos entre distintos centros. El punto A (y B) ganó popularidad en la primera época de la braquiterapia ginecológica debido a las limitaciones técnicas de entonces, hasta que aparecieron ordenadores capaces de trabajar con mapas de dosis.

### 1.1.6 La introducción de la imagen 3D

Antes de la aparición de las imágenes en 3D, los sistemas de planificación y dosimetría del tratamiento de braquiterapia se basaban en la dosimetría de película plana y las técnicas de imágenes en 2D. El uso del punto A y el punto B como puntos de referencia en braquiterapia ginecológica obtuvo una amplia aceptación debido a su simplicidad y compatibilidad entre diferentes instalaciones. Sin embargo, las limitaciones de estas primeras técnicas se hicieron evidentes, ya que proporcionaban información y precisiones limitadas para predecir los resultados del tratamiento[8](#ref-pötter2001).

El uso de imágenes en 3D para la planificación de la braquiterapia se introdujo por primera vez a mediados de la década de 1990, al generalizarse en los países desarrollados la planificación de tratamientos de radioterapia de haz externo (EBRT) en 3D sobre imágenes de tomografía computarizada (CT). Esto permitió realizar planes de tratamiento basados en volúmenes de manera relativamente rápida y sencilla. A raíz de esta innovación los avances en EBRT aparecieron los primeros TPSs de braquiterapia que integraban módulos de imágenes 3D. Se observó que estas secuencias tomográficas proporcionan más información anatómica y permiten evaluar mejor la definición del tumor, su relación con la anatomía circundante y los órganos en riesgo, así como la colocación de los aplicadores o catéteres de braquiterapia [16a].

Inicialmente, las imágenes de CT proporcionaron mejores cálculos de dosis dentro de los tumores y los órganos de riesgo en comparación con la planificación de tratamiento mediante dos placas ortogonales de rayos X basada en película. Sin embargo, seguía teniendo limitaciones, como la sobre-estimación de los volúmenes tumorales[9](#ref-onal2009a). Dicha sobre-estimación está relacionada con la limitación del CT en la definición de los tejidos. Esa es precisamente una de las ventajas que ofrece la imagen por resonancia magnética nuclear (MRI). Otra de las ventajas de la mejor definición de los tejidos es la de permitir una planificación adaptativa, ya que el tumor retrocede con cada fracción administrada[10](#ref-sagae2023).

La introducción de la imagen por resonancia magnética nuclear (MRI) en braquiterapia es a comienzos del siglo XXI. En 2005, el Groupe Europeen de Curietherapie y la Sociedad Europea de Radioterapia y Oncología (GEC-ESTRO) publicaron unas directrices para la planificación óptima de los volúmenes objetivo de braquiterapia guiada por MRI[11](#X769a93fef83b5d500388707f7ed9ce5485e95f7). Estas directrices destacaban la importancia de la MRI para mejorar el control local y reducir la toxicidad del tejido sano. Estudios y ensayos posteriores destacaron aún más los beneficios de la braquiterapia guiada por RM. El ensayo francés STIC de 2012[12](#ref-charra-brunaud2012) demostró que la braquiterapia tridimensional guiada por MRI, era factible y segura en la práctica rutinaria, con un mejor control local y una menor toxicidad en comparación con la 2D. El American Brachytherapy Task Group informó en 2017[13](#ref-mayadev2017) de que la braquiterapia guiada por MRI era más eficaz y segura que las prescripciones de dosis tradicionales de punto A [4]

A pesar de estas evidencias, se hizo patente que era necesaria una adopción más rápida de la planificación basada en MRI en la práctica de la braquiterapia ginecológica. Un estudio publicado en 2010[14](#ref-viswanathan2010), descubrió que solo el 2% de los oncólogos radioterápicos utilizaban la planificación basada en MRI, mientras que la mayoría seguía prescribiendo en el punto A y registrando la dosis según las prescripciones del punto de dosis de la ICRU38[15](#ref-ICRU38).

### 1.1.7 Flujo de trabajo en braquiterapia

El flujo de trabajo en braquiterapia (también en el caso de la ginecológica) implica una serie de actividades realizadas secuencialmente, que conducen a una distribución de dosis aceptable alrededor de un aplicador colocado con precisión en la anatomía diana. El flujo de trabajo incluye varias etapas:

1. **Definición de los volúmenes a irradiar:** Se trata de determinar los volúmenes dentro de los cuales se prescribe la dosis al tumor y establecer los límites de dosis a los tejidos sanos.
2. **Planificación previa al implante:** Una minuciosa planificación previa al implante es esencial para localizar el volumen diana, decidir la técnica y determinar la distribución óptima de los aplicadores.
3. **Implantación:** La implantación se realiza con herramientas de imagen y navegación intra-operatoria.
4. **Imágenes post-implante y reconstrucción 3D:** Tras la implantación, se realizan imágenes post-implante para crear una reconstrucción 3D. Este paso implica identificar los volúmenes de interés y tener en cuenta factores como los artefactos de imagen, las distorsiones y la idoneidad del aplicador para la obtención de imágenes. Deben optimizarse la técnica de obtención de imágenes y las secuencias.
5. **Cálculo de la distribución de dosis:** La distribución de dosis se calcula mediante reconstrucción 3D. Es esencial tener en cuenta cualquier imperfección en el algoritmo, como los efectos de los límites del tejido, las inhomogeneidades del tejido y los efectos de los blindajes del aplicador.

## 1.2 Imagen en braquiterapia de cérvix

En la braquiterapia de cáncer de cérvix actual se utilizan diferentes tipos de modalidades de imagen 3D para guiar y planificar el tratamiento. Dichas modalidades son Ultrasonidos (US), Tomografía computarizada (CT) e Imagen por Resonancia Magnética Nuclear (MRI):

### 1.2.1 Ultrasonidos (US)

La ecografía por ultrasonidos es una modalidad de imagen que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para crear imágenes en tiempo real del área de interés. La ecografía puede utilizarse en braquiterapia cervical para guiar la inserción de los aplicadores intracavitarios y garantizar una colocación precisa. La ecografía es beneficiosa en los casos en que el canal endo-cervical está estrechado u obliterado, ya que permite una mejor visualización y evita la perforación durante el procedimiento.

Los médicos pueden navegar por el cuello uterino utilizando la guía ecográfica y colocar con precisión los aplicadores, garantizando una geometría óptima del implante. Esto es crucial, ya que se ha demostrado que los implantes técnicamente buenos se correlacionan con un mejor control local y, potencialmente, con mejores resultados de supervivencia en pacientes con cáncer de cuello uterino. Además, la ecografía puede ayudar a identificar cualquier anomalía o patología que pueda afectar al tratamiento de braquiterapia[16](#ref-dimopoulos2006).

Por diversos motivos, la ecografía aún no se ha adoptado de forma generalizada para identificar estructuras como el cuello uterino y el útero en la braquiterapia ginecológica[17](#ref-vandyk2021). En primer lugar, aunque los primeros estudios sugirieron que se podían realizar mediciones mediante ecografía para guiar la planificación del cáncer de endometrio, estos protocolos no se aplicaron de forma generalizada y no han sido adoptados en el caso de cáncer de cérvix[18](#ref-van2015). En segundo lugar, el uso de la ecografía en la planificación de la braquiterapia se ha visto obstaculizado por problemas como la mala resolución de la imagen, la reproducibilidad inadecuada y la visualización sub-óptima de estructuras críticas[19](#ref-St-Amant2017). Por último, existe una curva de aprendizaje asociada a la adquisición, orientación e interpretación de imágenes, y la ecografía bidimensional sólo visualiza una vista limitada de la región de interés. Por todo ello, aunque la ecografía es una modalidad de imagen prometedora, todavía no se ha extendido como estándar de imagen en braquiterapia gnecológica.

### 1.2.2 Tomografía Computarizada (CT)

La tomografía computarizada (CT) es una técnica de imagen médica que utiliza rayos X en combinación con algoritmos informáticos para crear imágenes transversales detalladas del cuerpo. Ya se vio en el apartado [Sección 1.1.6](#sec-introduccionimagen3D) que el CT en braquiterapia ginecológica ha demostrado ventajas dosimétricas con respecto a la planificación del tratamiento basada en la radiografía convencional. Los estudios han demostrado que la planificación del tratamiento con CT 3D proporciona una estimación de la dosis tumoral más precisa que las radiografías 2D, especialmente en pacientes con tumores más avanzados. Las imágenes de CT ayudan a crear planes de tratamiento al proporcionar información detallada sobre la anatomía y las zonas que deben tratarse durante la braquiterapia.

### 1.2.3 Resonancia Magnética Nuclear (MRI)

La Resonancia Magnética es una modalidad de imagen que utiliza campos magnéticos y ondas de radio para obtener imágenes detalladas de los tejidos del cuerpo. En la braquiterapia, la MRI se utiliza para la planificación y guía del tratamiento en diferentes áreas del cuerpo, como el cerebro, el hígado y el cuello uterino. La MRI proporciona una excelente visualización de los tejidos blandos y permite una definición precisa del volumen tumoral y de los órganos de riesgo circundantes.

## 1.3 Registro de imágenes

Qué sabes sobre registro de imágenes? El registro de imágenes es un proceso que consiste en combinar diferentes series de imágenes adquiridas en momentos diferentes para evaluar el tratamiento total entregado al paciente. Este proceso implica la registración geométrica de los datos de cada serie en un sistema de coordenadas común, lo cual se conoce como registro de imágenes. Para combinar los datos complementarios de cada estudio se utiliza la fusión de imágenes. La fusión de imágenes puede basarse en modelos de transformación, métricas para medir la similitud entre las imágenes y optimizadores para alinear los datos de las imágenes [94][95a][95b][95c][95d][95e][95f].

Por ejemplo, en bractoterapia, donde se utiliza la radioterapia interna con fuentes radioactivas cercanas o dentro del tumor, la fusión de imágenes es importante para obtener información complementaria en la delimitación de volúmenes objetivo y órganos de riesgo. Las imágenes pueden ser adquiridas mediante diferentes modalidades, y la información de ambas modalidades se combina para aprovechar el potencial de cada una de ellas [94]. Además, la calidad del registro de las imágenes es evaluada visualmente en 3D, y la evaluación es más compleja que la elección del plano de referencia en los implantes guiados por ecografía transrectal. La existencia de deformaciones o cambios anatómicos entre las adquisiciones de datos hace que la evaluación de incertidumbres en la fusión de imágenes no sea fácil. La evaluación utilizando un fantoma o comparando los resultados de fusiones de datos de pacientes reales pueden ayudar a analizar las incertidumbres en la fusión de imágenes [99a][99b].

En resumen, el registro de imágenes implica combinar diferentes series de imágenes en un sistema de coordenadas común para evaluar el tratamiento total entregado al paciente. La fusión de las imágenes adquiridas en diferentes momentos y modalidades es una parte importante del proceso de registro de imágenes en bractoterapia [94][95a][99a][99b]. ### Registro rígido

Háblame sobre registro rígido El término “registro rígido” se menciona en el Documento III\_Brachytherapy Threatment Planning and Imaging.pdf en el [95]. En ese párrafo se menciona que cuando la posición y orientación de la anatomía se define en un sistema rígido (como el cerebro), se puede utilizar un modelo de transformación simple de rotación y traslación. Esto significa que se puede realizar una transformación lineal para mapear puntos de cada conjunto de datos especificando tres ángulos de rotación y tres traslaciones en las direcciones x, y y z. Se menciona que incluso si no es posible lograr una alineación aceptable de la anatomía completa utilizando una transformación rígida o afín, se podría asumir un movimiento rígido local en algunos subvolúmenes. Por ejemplo, la próstata puede considerarse rígida incluso si se mueve en relación con la anatomía ósea en la pelvis.

En resumen, el registro rígido se refiere a una técnica de alineación de imágenes médicas en la cual se utiliza un modelo de transformación lineal para mapear puntos de distintos conjuntos de datos y lograr una alineación adecuada de la anatomía.

Referencia: [95] Document III\_Brachytherapy Threatment Planning and Imaging.pdf [Enlace][95]

### 1.3.1 Registro deformable

Y sobre registro deformable? La información sobre el registro deformable se encuentra en el Documento III\_Brachytherapy Treatment Planning and Imaging.pdf en el párrafo [17]. Se menciona que el registro deformable es una tarea complicada debido al movimiento de los órganos y la deformación del tejido debido a la inserción de los aplicadores o agujas necesarios para la braquiterapia. Actualmente, la dosis total se evalúa mediante la adición de parámetros DVH, teniendo en cuenta la diferencia en el efecto biológico debido a la tasa de dosis cuando se combina con radioterapia externa. Para obtener una estimación correcta de la dosis total, es necesario utilizar el registro de imágenes no rígido. Sin embargo, se necesita trabajar más para verificar la precisión de estos algoritmos antes de que puedan alcanzar su máximo potencial [17].

# 2. Material y métodos

This is a book created from markdown and executable code.

# 3. Resultados

This is a book created from markdown and executable code.

# 4. Discusión

This is a book created from markdown and executable code.

# 5. Conclusiones

This is a book created from markdown and executable code.

# Bibliografía

1. Goodwin PN. Radium Dosage: The Manchester SystemRadium Dosage: The Manchester System. Edited byMeredithW. J., D. Sc., F. Inst. P. Compiled from articles byPatersonRalston,SpiersF. W.,StephensonS. K,ParkerH. M.,TodM. C., andMeredithW. J.. Cloth, $8.75; 42s. Pp. 170, with 66 figures. Edinburgh, E. & S. Livingstone; Baltimore, Md., Williams & Wilkins Co., 2d ed., 1967. *Radiology*. 1968;91(1):175-175. doi:[10.1148/91.1.175a](https://doi.org/10.1148/91.1.175a)

2. A Dosage System for Gamma Ray Therapy. *The British Journal of Radiology*. 1934;7(82):578-579. doi:[10.1259/0007-1285-7-82-578](https://doi.org/10.1259/0007-1285-7-82-578)

3. Parker HM. A Dosage System for Interstitial Radium Therapy. Part IIPhysical Aspects. *The British Journal of Radiology*. 1938;11(125):313-340. doi:[10.1259/0007-1285-11-125-313](https://doi.org/10.1259/0007-1285-11-125-313)

4. The Treatment of Malignant Disease by Radium and X-Rays, Being a Practice of RadiotherapyThe Treatment of Malignant Disease by Radium and X-Rays, Being a Practice of Radiotherapy. By PatersonRalston, M.C., M.D., F.R.C.S.E., D.M.R.E., F.F.R., Christie Hospital and Holt Radium Institute, Manchester. A volume of 622 pages, with numerous figures, tables, and charts. Published by Butler and Tanner, Ltd., Frome and London The Williams & Wilkins Co., Baltimore, 1948. Price $11.00. *Radiology*. 1949;52(1):125-125. doi:[10.1148/52.1.125a](https://doi.org/10.1148/52.1.125a)

5. Jemal A, Siegel R, Ward E, et al. Cancer Statistics, 2008. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 2008;58(2):71-96. doi:[10.3322/ca.2007.0010](https://doi.org/10.3322/ca.2007.0010)

6. Tod MC, Meredith WJ. A Dosage System for Use in the Treatment of Cancer of the Uterine Cervix. *The British Journal of Radiology*. 1938;11(132):809-824. doi:[10.1259/0007-1285-11-132-809](https://doi.org/10.1259/0007-1285-11-132-809)

7. Tod M, Meredith WJ. Treatment of Cancer of the Cervix UteriA Revised “Manchester Method”. *The British Journal of Radiology*. 1953;26(305):252-257. doi:[10.1259/0007-1285-26-305-252](https://doi.org/10.1259/0007-1285-26-305-252)

8. Pötter R, Van Limbergen E, Gerstner N, Wambersie A. Survey of the use of the ICRU 38 in recording and reporting cervical cancer brachytherapy. *Radiotherapy and Oncology*. 2001;58(1):11-18. doi:[10.1016/s0167-8140(00)00266-8](https://doi.org/10.1016/s0167-8140(00)00266-8)

9. Onal C, Arslan G, Topkan E, et al. Comparison of conventional and CT-based planning for intracavitary brachytherapy for cervical cancer: target volume coverage and organs at risk doses. *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research*. 2009;28(1). doi:[10.1186/1756-9966-28-95](https://doi.org/10.1186/1756-9966-28-95)

10. Sagae S, Toita T, Matsuura M, et al. Improvement in radiation techniques for locally advanced cervical cancer during the last two decades. *International Journal of Gynecologic Cancer*. 2023;33(8):1295-1303. doi:[10.1136/ijgc-2022-004230](https://doi.org/10.1136/ijgc-2022-004230)

11. Haie-Meder C, Pötter R, Van Limbergen E, et al. [Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group (I): Concepts and Terms in 3D Image Based 3D Treatment Planning in Cervix Cancer Brachytherapy with Emphasis on MRI Assessment of GTV and CTV.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15763303) *Radiotherapy and oncology : journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*. 2005;74(3):235-245.

12. Charra-Brunaud C, Harter V, Delannes M, et al. Impact of 3D image-based PDR brachytherapy on outcome of patients treated for cervix carcinoma in France: Results of the French STIC prospective study. *Radiotherapy and Oncology*. 2012;103(3):305-313. doi:[10.1016/j.radonc.2012.04.007](https://doi.org/10.1016/j.radonc.2012.04.007)

13. Mayadev J, Viswanathan A, Liu Y, et al. American Brachytherapy Task Group Report: A pooled analysis of clinical outcomes for high-dose-rate brachytherapy for cervical cancer. *Brachytherapy*. 2017;16(1):22-43. doi:[10.1016/j.brachy.2016.03.008](https://doi.org/10.1016/j.brachy.2016.03.008)

14. Viswanathan AN, Erickson BA. Three-Dimensional Imaging in Gynecologic Brachytherapy: A Survey of the American Brachytherapy Society. *International Journal of Radiation Oncology\*Biology\*Physics*. 2010;76(1):104-109. doi:[10.1016/j.ijrobp.2009.01.043](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.01.043)

15. ICRU. *ICRU Report 38: Dose and Volume Specification for Reporting Intracavitary Therapy in Gynecology*. International Commission on Radiation Units; Measurements; 1985.

16. Dimopoulos JCA, Kirisits C, Petric P, et al. The Vienna applicator for combined intracavitary and interstitial brachytherapy of cervical cancer: Clinical feasibility and preliminary results. *International Journal of Radiation Oncology\*Biology\*Physics*. 2006;66(1):83-90. doi:[10.1016/j.ijrobp.2006.04.041](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2006.04.041)

17. Dyk S van, Khaw P, Lin M-Y, Chang D, Bernshaw D. Ultrasound-guided Brachytherapy for Cervix Cancer. *Clinical Oncology*. 2021;33(9):e403-e411. doi:[10.1016/j.clon.2021.02.011](https://doi.org/10.1016/j.clon.2021.02.011)

18. Dyk S van, Schneider M, Kondalsamy-Chennakesavan S, Bernshaw D, Narayan K. Ultrasound use in gynecologic brachytherapy: Time to focus the beam. *Brachytherapy*. 2015;14(3):390-400. doi:[10.1016/j.brachy.2014.12.001](https://doi.org/10.1016/j.brachy.2014.12.001)

19. St-Amant P, Foster W, Froment MA, Aubin S, Lavallée MC, Beaulieu L. Use of 3D transabdominal ultrasound imaging for treatment planning in cervical cancer brachytherapy: Comparison to magnetic resonance and computed tomography. *Brachytherapy*. 2017;16(4):847-854. doi:[10.1016/j.brachy.2017.03.006](https://doi.org/10.1016/j.brachy.2017.03.006)