

Método Shulman para la planificación de VMAT

Este método es para usuarios de Eclipse y muestra cómo incorporar principios de caída de dosis para desarrollar planes de tratamiento de radiación de alta calidad. Los conceptos se aplican a todos los sistemas de planificación de tratamiento, pero la ejecución como se muestra aquí es solo para **el software Eclipse**. (Tenemos otros recursos para los usuarios de Mónaco)

Introducción

En esta guía, recorreremos cada paso del Método Shulman para la Planificación de VMAT:

1. Crear estructuras para la planificación del tratamiento
 - a. Planificación de estructuras de optimización de volumen objetivo (según sea necesario)
 - i. zPTV(s) (ayudará a proteger cualquier OAR(s) de dosis MÁXIMA crítica (órganos en serie) durante la planificación)
 - ii. zOAR_in_PTV (ayudará a proteger cualquier OAR de dosis media crítica (órganos en paralelo) durante la planificación)
 - iii. zPTV_Opti_(max) (ayudará a limitar los puntos calientes dentro de zPTV(s))
 - iv. zPTV_Opti_Rind (ayudará a obtener una buena cobertura en el borde de zPTV(s))
 - v. zPTV_Opti_Corners (ayudará si el zPTV tiene esquinas afiladas)
 - b. Crear anillos (zPTV_Opti_Ring1 y zPTV_Opti_Ring2)
 - c. Objetivos de tejido normal (NTO) (solo Eclipse)
 - d. Otras estructuras de planificación: se pueden agregar según sea necesario:
 - i. Volúmenes de órganos en riesgo OAR de planeación (zOAR_PRVs)
 - ii. Contornos para la corrección de la densidad (por ejemplo, si hay un artefacto metálico en el campo de tratamiento)
 - iii. Otras estructuras adicionales (por ejemplo, zTuning, zAvoidance)
2. Inicio de la optimización de la ponderación y las dosis (Paso 1 en Eclipse)
 - a. Límites de dosis superiores (upper) de PTV de entrada, límites de dosis inferiores (lower) de PTV, límite de dosis máxima de anillo y objetivo de tejido normal (NTO)
 - b. Ejecute la optimización con estas entradas iniciales
3. Optimizar los OAR (Paso 1 MR1 a Paso 2 MR2 en Eclipse)
 - a. Comenzar la optimización de los OARs con objetivos de dosis media o volumétricos, uno a la vez
 - b. Luego agregue optimización para OARs con restricciones de dosis máxima, una a la vez
4. Optimización de ajuste fino al movimiento MLC (Paso 3 en Eclipse / Paso 2 en Mónaco)

El Método Shulman es una forma sistemática de realizar la planificación inversa del tratamiento para IMRT / VMAT que permite a los físicos médicos y dosimetristas desarrollar planes de tratamiento eficientes y de alta calidad. El proceso implica la creación de estructuras de

planificación en la parte 1, seguida de la optimización de la planificación del tratamiento en las partes 2-4. Si se hace correctamente, esto requiere solo una iteración.

A través de esta técnica, utilizamos el conocimiento de la caída teórica de la dosis (ver más abajo) para predecir con precisión dónde debería estar la dosis si se empuja correctamente, y creamos estructuras de planificación que ayudan al algoritmo de optimización a funcionar de la manera más eficiente posible. Queremos predecir exactamente dónde se cubrirá el PTV para que el algoritmo de optimización no tenga problemas para cubrir completamente el contorno PTV esperado. Si no creamos estructuras de planificación como esta para un cubrimiento de PTV esperado, el algoritmo tendrá un hombro significativo y el usuario no sabrá dónde falta la dosis, dónde se espera que se pierda la dosis o dónde el usuario no quiere perder la dosis (es decir, en el medio del GTV).

- La caída máxima de la dosis confinada a un volumen pequeño es de aproximadamente el 10% / mm. (por ejemplo, la caída de la dosis cerca del recto o las parótidas) (La línea de isodosis al 50% estará a 5-6 mm de distancia del borde del PTV, que también debe estar cubierta por el 95%).
- La caída promedio de la dosis debe ser de alrededor de 3-5% / mm. (por ejemplo, un anillo a 3 mm de distancia de un PTV debe tener una dosis máxima del 85% de la dosis prescrita). La tasa de caída disminuye con la distancia lejos del objetivo. (Por ejemplo, un anillo a 13 mm de distancia de un PTV debe tener una dosis máxima del 65% de la dosis recetada).

Asumimos que está comenzando con casos que ya han sido contorneados por el oncólogo radioterápico e incluyen todos los objetivos pertinentes y OAR utilizando la nomenclatura estandarizada TG-263. Recomendamos que los nervios ópticos, el quiasma óptico y el tallo cerebral tengan una expansión uniforme de 3 mm para los PRV y que la médula espinal tenga una expansión uniforme de 5 mm para el PRV de la médula espinal. Finalmente, se deben elegir los ángulos de haz apropiados ANTES de comenzar con el método de optimización de Shulman (Consulte las diapositivas de conferencia 12 - 26 para sugerencias de ángulo de haz aquí: [Sesión 17 - Planificación del tratamiento IMRT - Método de optimización VMAT.pptx](#)

La siguiente PowerPoint muestra una guía visual para hacer las estructuras de optimización que se describen a continuación:  Session 2 - Refresher on Treatment Planning.pptx

Parte 1. Crear estructuras para la planificación del tratamiento

Consulte las diapositivas de la conferencia 24-54 aquí para revisar el contorno para las estructuras de planificación del tratamiento: [RCC_IMRT Contorno para físicos Sesión 9.pptx](#)

A. Planificación de volúmenes objetivo (PTVs → zPTV)

Crear "zPTVs" (ayudará a proteger cualquier OAR(s) de dosis MÁXIMA crítica durante la planificación)

Los "zPTV" son estructuras de planificación hechas específicamente **para PTV que se superponen o se acercan mucho a los OAR con límites de dosis máxima que requieren ahorrar a expensas de la cobertura de PTV**. Para hacer zPTVs de los PTV originales, restamos el Superposición+Margen de cada OAR que debe conservarse del original, de acuerdo con el principio de 5-10%/mm de ahorro de dosis cerca de estos OAR.

Por ejemplo, en casos de Cabeza y Cuello, los límites de dosis máxima **óptica, tallo cerebral y médula espinal** deben priorizarse sobre la cobertura objetivo. Si asumimos una caída del **7%** por dosis mm, entonces para una dosis máxima del tronco encefálico de 54Gy, el margen de tronco encefálico que restaríamos del PTV70Gy para hacer un "zPTV70" sería:

$$\begin{aligned}\text{Margen (mm)} &= \% \text{ de caída necesaria} / \% \text{ de caída por mm} \\ &= 100 * \left[\frac{\text{PTV Dose} - \text{OAR Dose}}{\text{PTV Dose}} \right] / X \text{ donde "X" es el \% de caída por mm} \\ &= \left[1 - \frac{54}{70} \right] * \frac{100}{7} = 3,3 \text{ mm}\end{aligned}$$

O bien, 3 mm a 4 mm de margen para el tallo cerebral. Con el fin de cubrir completamente el objetivo "zPTV70" y para salvar el tallo cerebral. Por lo tanto, "zPTV70" = PTV70 menos el [Superposición del tallo cerebral + margen 3.3].

Repetiremos esta resta de margen para *cada* OAR que necesita ser conservada (prioridad más alta que la prioridad de cubrimiento de PTV) y para *cada* PTV (por ejemplo, para cabeza y cuello hacer zPTV70, zPTV60 y zPTV54), hasta que tengamos todos los PTV que se pueden cubrir completamente con dosis de prescripción, y todos los OAR que deben conservarse se pueden conservar.

No corte automáticamente el zPTV de dosis más bajas del zPTV de dosis más altas para zPTV superpuestos.

B. Dos anillos

Cree **solo dos anillos** por plan, **sin importar cuántos PTVs existan**. Los anillos se llaman "zPTV_Opti_Ring1" y "zPTV_Opti_Ring2" y se hacen de la siguiente manera:

i. Crear el primer anillo, llamado "zPTV_Opti_Ring1"

Si solo tiene un nivel de dosis de PTV: Cree un anillo que tenga 1 cm de grosor y comience a 3 mm de distancia del zPTV.

Si tiene varios niveles de dosis de PTV, primero combine el booleano de todos los zPTV en una estructura temporal (por ejemplo, zPTV54 + zPTV60 + zPTV70). Luego haga un anillo de 1 cm a partir de 1 mm de esta estructura temporal. Luego reste [zPTV (de dosis de la mitad) + 3 mm] del anillo para asegurarse de que el anillo esté a 3 mm de distancia del PTV de la dosis intermedia, y también reste [zPTV (dosis más alta) + 5 mm] del anillo para asegurarse de que el

anillo esté a 5 mm de distancia del PTV de dosis más alta. Esto permitirá un espacio adecuado entre el anillo y estos niveles de dosis bajas, intermedias y altas según nuestra regla general para la caída de la dosis cerca de diferentes niveles de dosis PTV.

Nota: Los márgenes siguen la regla general de una caída de dosis del 5% por mm de cada PTV. (Más adelante para el zPTV_Opti_Ring1, aplicaremos una restricción máxima del 85% del PTV que está a 3 mm de distancia de él (por ejemplo, para la cabeza y el cuello esto será PTV_6000, o zPTV_Opti_Ring1 $D_{max} \leq 5100$ ($0.85 * 6000$)).

ii. Crear el segundo anillo, llamado "zPTV_Opti_Ring2"

Cree un segundo anillo que también tenga 1 cm de grosor y comience a 1,3 cm de distancia del zPTV a partir del cual se calcula el 85% de la dosis de prescripción (es decir, desde el zPTV que tiene una expansión de 3 mm hasta el borde del primer anillo, en un caso de cabeza y cuello, esta sería zPTV de dosis intermedia). La regla general para un anillo a 1,3 cm de distancia de un PTV es que debe tener aproximadamente una caída de dosis del 65% (como se indicó anteriormente, la caída de dosis uniforme alrededor de un PTV es del 5% / mm, pero esta caída se vuelve menos rápida a distancia, por lo tanto, aproximadamente 3,5% / mm para el 1 cm de distancia adicional = 65% de caída de la dosis). Si se hace correctamente, verá eso y el segundo anillo se superpone y es contiguo con el primer anillo.

Nota: Puede realizar restas de los PTVs más un margen incluso para el segundo anillo, según las matemáticas anteriores. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el segundo anillo sin ninguna resta seguirá funcionando de manera efectiva a esta distancia adicional.

C. Otras estructuras de planificación: zOAR_in_PTV y zPTV_Opti

i. Crear múltiples "zOAR_in_PTV" (ayudará a proteger cualquier OAR(s) de dosis MEDIA crítica (órganos en paralelo) durante la planificación) y luego ajustar los zPTVs

El médico puede desear que se alcance una **dosis media crítica de OAR** (por ejemplo, parótida o laringe) **a expensas del cubrimiento del PTV**. Esto puede ser un desafío, porque es difícil visualizar o medir la cantidad de volumen que se puede cumplir al planificar. En tal caso, este es un truco adicional para las sustracciones de margen para OAR particulares donde la dosis media es la dosis de tolerancia.

Cuando un PTV está muy cerca o se superpone con uno de estos OAR, hacemos estructuras de planificación que representan cantidades variables de intersección de OAR en PTV. Estos se denominan "zOAR_in_PTV" (por ejemplo, para Parotid_L, estos se llamarían "zParotid_L1_in_PTV", "zParotid_L2_in_PTV", "zParotid_L3_in_PTV", etc.) y son cascarones de espesor constante. Utilizamos un espesor de 2 mm con márgenes posteriormente mayores del OAR de interés (0 mm, 2 mm, 4 mm, 6 mm, etc., tantos como considere que podrían ser necesarios para ayudar a la optimización).

Haga clic aquí para obtener una imagen de lo que se entiende por estas instrucciones:
[Creación de estructuras de planificación de superposición de OAR](#)

Primero hacemos una estructura de planificación "zOAR" que iguala el OAR con un límite de dosis media crítica menos el zPTV (para cabeza y el cuello, use zPTV54), de esa manera zOAR no se superpone con zPTV. Luego expandimos el zOAR en 2 mm, luego 4 mm, 6 mm, etc.

Finalmente, realizamos una superposición booleana entre el "zPTV" (zPTV54) y cada expansión. La superposición booleana del "zPTV" (zPTV54) y la mayor expansión se denominarán "zOAR1_in_PTV". Restamos la superposición booleana más pequeña (es decir, la superposición de 2 mm) de "zOAR1_in_PTV" para obtener "zOAR2_in_PTV". Restamos la siguiente superposición booleana más pequeña (por ejemplo, la superposición de 4 mm) de "zOAR2_in_PTV" para obtener "zOAR3_in_PTV". Tenga en cuenta que estas estructuras deberían ser estructuras de alta resolución en lo posible. Continúe este proceso hasta que tenga todas las estructuras necesarias listas; se utilizarán durante la optimización.

Al final, ajuste el "zPTV" (creado en el paso A) de modo que: "zPTV" = "zPTV" - "zOAR1_in_PTV" (por ejemplo, zPTV54 = zPTV54 - zParotid_L1_in_PTV)

Por lo tanto, durante la optimización, se puede poner un límite de dosis (lower) más bajo en todas las estructuras de planificación anteriores ("zPTV" y todos los "zOARs_in_PTV"), con la misma ponderación en todos los PTV. Luego, si parece que la dosis media de OAR no se alcanzará para un OAR en particular, el planificador puede eliminar rápidamente el objetivo inferior (lower) "zOAR1_in_PTV" mientras mantiene la misma ponderación para el resto de los objetivos inferiores (lower) de "zOARs_in_PTV" (los cascarones del PTV más alejados del OAR de interés). Lo que se verá es que el PTV que se está optimizando mantiene una cobertura completa mientras que la dosis media de OAR disminuye (la línea del 50% ahora puede ir 2 mm más hacia el PTV original). Continuamos esta iteración hasta que se logre una distribución final de la dosis deseada para cada OAR donde se necesita alcanzar una dosis media.

ii. Crear una estructura "zPTV_Opti_(max)" de cada PTV (por ejemplo, "zPTV_Opti_70", "zPTV_Opti_60", "zPTV_Opti_54") (ayudará a limitar los puntos calientes dentro de zPTV(s))

Anticipamos que el algoritmo tendrá dificultades para limitar los puntos calientes más altos de lo deseado a lo largo del PTV de dosis más baja si existe una superposición con el PTV de dosis más alto o si se utiliza un margen cero entre los PTVs de dosis más baja y dosis más altas. Por lo tanto, separamos los PTV de una manera en la que las dosis máximas en cada una de las estructuras "zPTV_Opti(max)" se pueden predecir y, por lo tanto, optimizar fácilmente. Además de esto, el "zPTV_Opti_(max)" también debería ser usada para evaluar el cubrimiento de cada nivel de dosis de los PTV. Si un nivel de dosis más bajo PTV incluye un nivel de dosis más alto PTV, entonces el DVH será más fácil de pasar el objetivo de cobertura con el volumen adicional que recibe fácilmente más que el volumen PTV de dosis más baja.

Esta estructura será "PTV de dosis más baja" restando la "PTV de dosis más alta + margen". Tenga en cuenta que se debe hacer una resta por cada PTV con dosis más alta que aquella en cuyo "zPTV_Opti_(max)" se está desarrollando. El margen es:

$$\text{Margen (mm)} = \% \text{ de caída necesaria} / \% \text{ de caída por mm} \\ = \left[1 - \left(\frac{PTV_{LowDose}}{PTV_{HighDose}} \right) \right] * \frac{100}{5}$$

Donde el denominador de 5 al final de la ecuación corresponde a una caída de dosis del 5%/mm. Tenga en cuenta que usamos el 5% nominal / mm en lugar del máximo de 10% / mm porque no nos preocupa una caída extremadamente brusca en el borde de los PTV, y queremos

centrarnos en la cobertura tumoral y los límites de OAR.

Por ejemplo, imagine un caso de Cabeza y cuello con un PTV 54Gy, PTV60Gy y PTV70Gy

$$\text{"zPTV_Opti_54"} = \text{"zPTV54"} - (\text{"zPTV70+4.5mm"} + \text{"zPTV60+2mm"})$$
$$\text{"zPTV_Opti_60"} = \text{"zPTV60"} - \text{"zPTV70+3mm"}$$
$$\text{"zPTV_Opti_70"} = \text{"zPTV70"}$$

Al crear estas estructuras, podemos limitar las dosis altas solo a la región donde se espera que la dosis aumente cerca de los PTV de dosis más altas. Luego podemos usar fácilmente el algoritmo de optimización para contener puntos calientes dentro del resto de los PTV de dosis más baja sin poner énfasis en el algoritmo mediante el uso de objetivos de optimización competitivos.

iii. Cree una estructura de corteza, "zPTV_Opti_Rind", para cada PTV (ayudará a obtener una buena cobertura en el borde de zPTV (s))

Anticipamos que el algoritmo tendrá dificultades en los bordes de cada PTV, ya que aquí es donde la dosis se reduce, debido a los OARs, así como debido el uso de la optimización del tejido normal (NTO). Por lo tanto, agregamos una porción de volumen más pequeña del PTV para que el algoritmo pueda enfocarse solo en esta área de manera más eficiente.

Esto es simplemente una corteza de 5 mm en el borde de cada zPTV_Opti(max) para obtener "zPTV_Opti_Rind". En Eclipse, use la herramienta "extraer pared" y aplique: pared exterior = 0 mm, pared interior = +0,5 mm.

iv. Crear "zPTV_Opti_Corners" (ayudará si el zPTV tiene esquinas afiladas): esto es *opcional* pero útil para las versiones anteriores de Eclipse v14.

Anticipamos que el algoritmo tendrá dificultades en cualquier esquina afilada de los PTV, como los que se encuentran en las puntas de las cadenas ganglionares tanto en la pelvis como en los planes de cabeza y cuello. Por lo tanto, creamos una porción de volumen más pequeña del PTV para que el algoritmo pueda centrarse en esta área de manera más eficiente.

Para cualquier PTV que tenga esquinas afiladas (típicamente el objetivo de dosis media para cabeza y cuello o el objetivo de dosis más bajo para pacientes con pelvis + ganglios) copiamos y pegamos ese "zPTV". Luego, use la herramienta de borrador para borrar todo el zPTV excepto la pequeña porción (aproximadamente 2 cm) de solo las esquinas de ese zPTV. Este es el único contorno que un script no creará para usted. Llámalo "zPTV_Opti_Corners".

D. Objetivo de tejido normal (NTO): se incluye automáticamente en Eclipse

NTO es una estructura única que incluye todo el tejido en el cuerpo además del PTV (es decir, NTO = Cuerpo - PTVs). En Eclipse, esta función es automática. Es capaz de priorizar los PTV de dosis alta y baja para que internamente no haya argumentos contradictorios con la creación de una caída de dosis con múltiples niveles de dosis en un plan.

Nota 1: En otros sistemas de planificación del tratamiento, esta estructura no se puede crear y optimizar manualmente con múltiples PTV, ya que dará lugar a argumentos contradictorios. Más bien, en Mónaco, la NTO se maneja con un "margen de reducción".

Nota 2: NTO $\neq$ suma de todos los OAR. Es una estructura única utilizada solo para fines de optimización a continuación.

Nota 3: No se necesitan operadores booleanos para los OARs. Sabremos qué tan duro empujar y dónde empujar los OAR mientras optimizamos observando los hombros de los PTV y las dosis máximas de los anillos, como se explica más adelante en la Parte 3.

E. Otras estructuras de planificación: se pueden agregar según sea necesario:

Si su oncólogo radioterápico aún no ha contorneado los volúmenes de los órganos de planificación en riesgo OARs (zOAR_PRVs), le recomendamos que los nervios ópticos, el quiasma óptico y el tallo cerebral tengan una expansión uniforme de 3 mm para los PRV y que la médula espinal tenga una expansión uniforme de 5 mm para el PRV de la médula espinal.

Si el paciente tiene algún artefacto metálico en el campo del tratamiento, como empastes dentales o articulaciones artificiales, correcciones de densidad de contorno según sea necesario sobre el artefacto metálico.

Se pueden agregar otras estructuras adicionales a su discreción (por ejemplo, zTuning, zAvoidance), aunque el Método Shulman no las requiere si sigue cada uno de los pasos completamente.

Parte 2. Inicio de la optimización de la ponderación y las dosis (Paso 1/4 en Eclipse)

A. Límites de dosis inferiores (lower) del PTV de entrada, límites de dosis superior (upper) del PTV, límite de dosis máxima de anillo y objetivo de tejido normal (NTO)

Límites de dosis más bajos (lower) del PTV:

- El 100% de "zPTV" recibe el 101% de la dosis prescrita (haga esto para cada zPTV diferente).
- El 100% de "zPTV_Opti_Rind" recibe el 101% o la dosis prescrita.
- El 100% de los "zPTV_Opti_Corners" recibe el 101% de la dosis prescrita.
- El 100% de "zPTV_Opti_(max)" recibe el 101% de la dosis prescrita. Cree uno para cada nivel de dosis de prescripción diferente (por ejemplo, zPTV_Opti_70, zPTV_Opti_60, zPTV_Opti_54).

- Si usa "zOAR_in_PTV", todos estos reciben un cubrimiento del 100% para el 101% de la dosis prescrita.
- **Ponderación 200** para todo lo anterior.
- Crear **las restricciones "ficticias"** con un **factor de ponderación de 0** para "zPTV_Opti_(máx.)", una para cada nivel de dosis de prescripción diferente (por ejemplo, zPTV_Opti_70, zPTV_Opti_60, zPTV_Opti_54):
 - El 98% de "zPTV_Opti_(max)" recibe el 100% de la dosis prescrita.
 - Nota: "zPTV_Opti_(max)" será el contorno **utilizado para evaluar visualmente** la cobertura adecuada de ese PTV en particular a medida que realiza la optimización.

Límites superiores (upper) de dosis del PTV:

- El 0% de "zPTV_Opti_(máx.)" recibe el 105% de la dosis prescrita, una por cada nivel de dosis de prescripción diferente (por ejemplo, zPTV_Opti_70, zPTV_Opti_60, zPTV_Opti_54).
- **Ponderación 200.**
-
- Crear **restricciones "ficticias"** con un **factor de ponderación de 0**
 - El 0% del PTV recibe el 101% de la dosis prescrita. Cree uno para CADA nivel de dosis de PTV.
 - Nota: esto se utiliza para el NTO en Eclipse, cuya dosis inicial se basa en la "restricción superior (upper) más baja para cada PTV".

Anillos: zPTV_Opti_Ring1 tiene una dosis máxima del 85% de la prescripción de PTV donde el PTV está a 3 mm de distancia (si existen múltiples PTV). Ponderación de 150. zPTV_Opti_Ring2 tiene una dosis máxima del 65% de la prescripción de la dosis del PTV (del mismo PTV que se usa para el primer anillo): Ponderación de 150. Esperamos que alrededor del 5-10% de los anillos tengan una dosis mayor que estos límites de dosis máxima.

- Por ejemplo, si hay tres niveles de dosis, PTV_5412, PTV_5940 y PTV_6996, entonces zPTV_Opti_Ring1 debe estar a 1 mm de distancia de PTV_5412, a 3 mm de distancia de PTV_5940 y a 5 mm de distancia de PTV_6996. Elegiremos PTV_5940 como nuestro PTV de referencia ya que está a 3mm del anillo y esperamos una caída de dosis del 15% (5%/mm). Por lo tanto, nuestra restricción zPTV_Opti_Ring1 será $D_{max} \leq 5049 \text{ cGy}$ ($0.85 * 5940$), y nuestra restricción zPTV_Opti_Ring2 será $D_{max} \leq 3861 \text{ cGy}$ ($0.65 * 5940$).

Ningún OARs tiene objetivos de partida.

Objetivo de tejido normal (NTO) (solo eclipse):

- Dosis inicial: 100%
- Dosis final: 40%
- Distancia a la caída de la dosis: 0 mm
- Factor exponencial: 0.3
- Ponderación: 200

B. Ejecutar optimización con estas entradas iniciales

Comenzando con solo objetivos en PTV, NTO y el anillo, ponga atención de la apariencia del DVH una vez que la optimización se estabilice. La forma de las curvas para los PTV, así como los anillos, debe verse igual al final de la optimización.

¡PAUSA cuando llegues al Paso 2 en Eclipse!

Parte 3. Optimizar los OAR (Paso 2/4 en Eclipse)

A. Comenzar la optimización de los OARs con objetivos de dosis media o volumétricos, uno a la vez

Para cada paso pequeño y grande en el proceso de optimización que sigue, pausamos el algoritmo. Agregue objetivos de dosis media o volumétricos para cada OAR, uno a la vez. Recomendamos comenzar la ponderación de restricción OAR en 150. Esperemos no necesitar de aumentar ninguno de estos factores de ponderación mucho más allá de este valor, pero, si es necesario, solo lo hacemos hasta 175 y en las partes posteriores de esta sección de optimización. No incluya restricciones de dosis máxima por ahora. Empujamos (es decir, tratando de bajar cada vez más la dosis media) solo hasta que vemos que el hombro de la PTV disminuye ligeramente: esto es una indicación de que las dosis de OAR y PTV han alcanzado sus límites en la optimización en ese paso (y que cualquier empuje adicional de la dosis de los OARs hacia abajo solo reducirá más el cubrimiento del PTV). Una vez terminado, **PAUSA** la optimización.

Repita esto para cada OAR, **uno a la vez**. Cuando haya completado la optimización para todos los OARs utilizando objetivos de dosis media o volumétricos, continúe con el siguiente paso a continuación.

B. A continuación, agregue optimización para OAR con restricciones de dosis máxima, una a la vez

Agregue restricciones de puntos para estructuras críticas con restricciones de dosis máxima (por ejemplo, ópticos, tallo cerebral y médula espinal), uno a la vez, cerca del final de esta sección de optimización. Recomendamos comenzar la ponderación de restricción OAR en 100 y aumentar según sea necesario. Lograr la restricción real de dosis máxima para cada uno de ellos no es crítico en este momento. Simplemente empuje hasta que el hombro de PTV comience a caer, sabiendo que estos serán fáciles de afinar con movimientos sutiles de MLC en el siguiente paso del proceso (paso 3 del proceso de optimización en Eclipse | paso 2 del proceso de optimización en Mónico). Repetimos este proceso para cada OAR y para cada paso pequeño y grande hasta llegar a MR3 en el proceso de optimización de Eclipse.

Tenga en cuenta que nunca debemos tocar la ponderación en los PTV o el NTO. Podemos aumentar ligeramente la ponderación en el anillo si vemos que el máximo va demasiado alto, pero al igual que otras estructuras con dosis de tolerancia máximas, el anillo se puede bajar fácilmente con ajustes finos de MLC en el siguiente paso del proceso.

¡PAUSA cuando llegues al Paso 3 en Eclipse!

Parte 4. Optimización final por medio de un ajuste fino del movimiento de las MLC (Paso 3/4 en Eclipse)

Cuando se alcanza MR 3 en Eclipse, los MLC están casi donde estarán al final, con todos los puntos de control utilizados. Por lo tanto, estamos en un mínimo local al que llegamos lentamente por el proceso anterior. En este paso, podemos ajustar el movimiento MLC en el algoritmo de optimización para lograr un cubrimiento completo del PTV, la dosis máxima de anillo (sin derrames de dosis altas) y las dosis máximas de OAR (por ejemplo, alrededor de la quiasma óptico, el tallo cerebral, la médula espinal, etc.).

Para hacer esto, primero ponemos dos restricciones superiores (objetivos de anclaje) a lo largo del DVH (1/3 inferior del volumen) para cada OAR con una ponderación muy alta (es decir, 300). Esto bloquea el DVH en su lugar para cada OAR.

Luego aumentamos lentamente la ponderación de restricción más baja para todos los PTV, mientras que simultáneamente aumentamos la ponderación para la estructura del anillo y cualquier estructura OAR máxima. Se puede utilizar un peso muy alto (hasta 900) en OAR con dosis máximas. Las dosis deberían ser aproximadamente 2Gy más bajas de la deseada con una ponderación de hasta 900.

Se puede aumentar la ponderación, reducir la dosis máxima o se pueden agregar restricciones adicionales (es decir, 0.1% del volumen) hasta que se logre cada una de las restricciones de dosis máximas. Notarás que esto tiene muy poco efecto en la curva de cada PTV. Tenga en cuenta que, por lo general, la restricción del 0.1% es más indicativa de las restricciones reales de dosis máxima de D0.35cc en su plan.

Si un PTV no puede alcanzar la curva pronunciada original desde el inicio de la optimización, puede arrastrar esos objetivos de anclaje para OAR ligeramente más alto hasta que se alcance la dosis de PTV.

Si se hace correctamente, debe tener un plan perfecto sin necesidad de una segunda iteración.