

Unity Physics Training

Introduction to Adaptive Algorithms

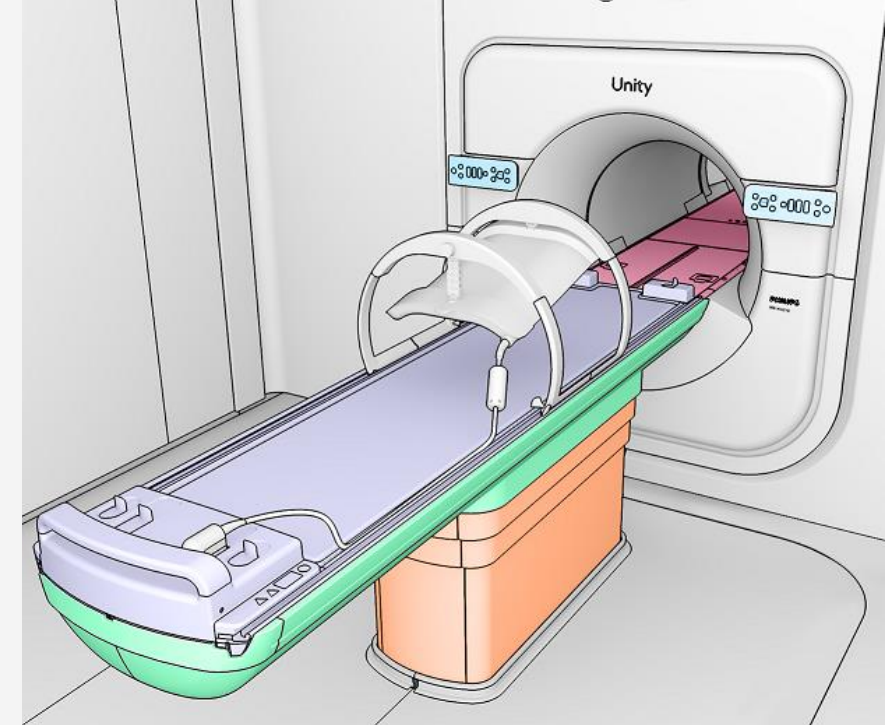
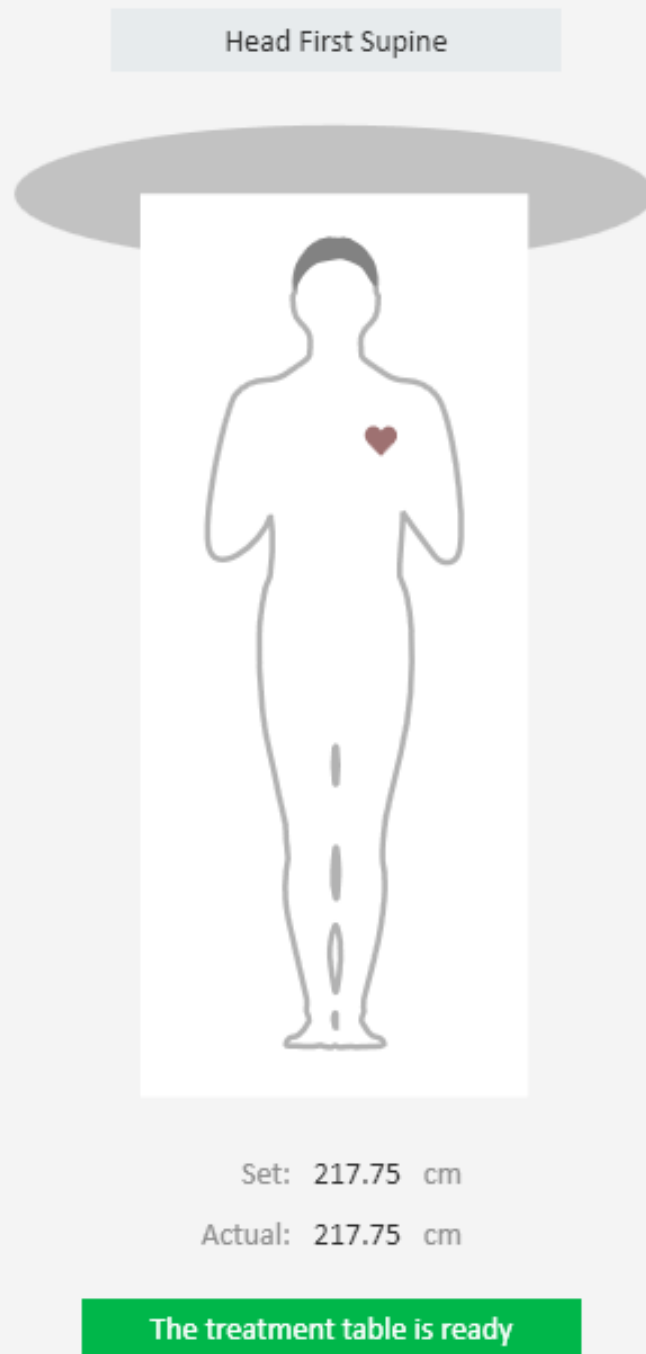
第1版：2022/8/1



Introduction to the Adaptive Algorithms

目的:

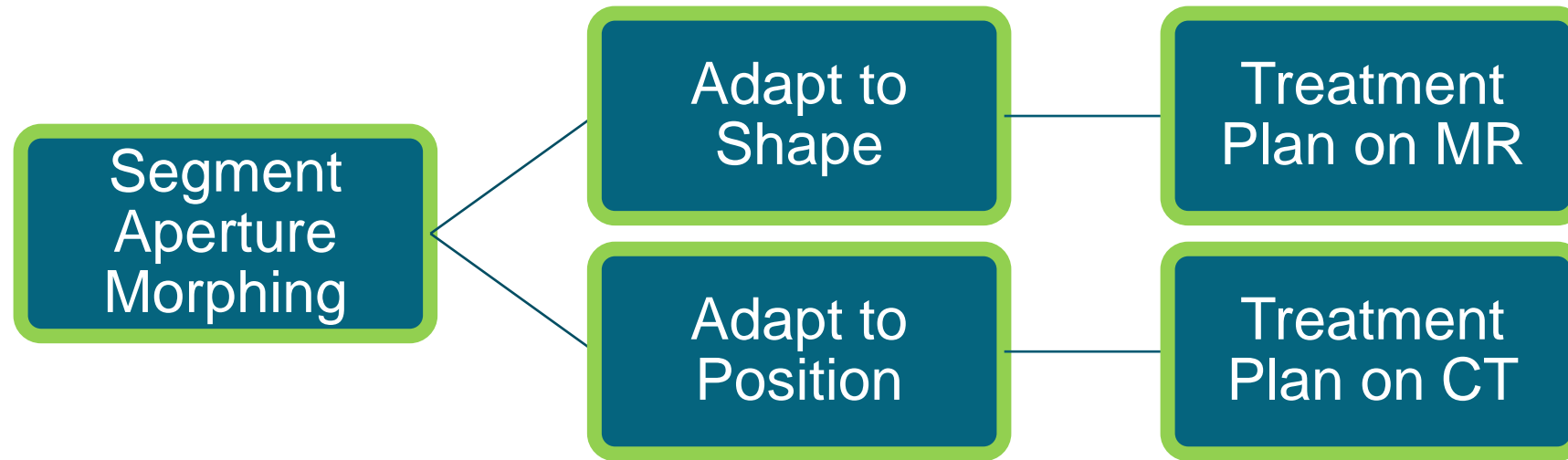
- Adaptiveワークフローが計画の結果にどのように影響するかを理解
- Segment Aperture Morphing(SAM)の理解
- Warm Start Optimizationアルゴリズムの理解



Lesson Objectives

Introduction

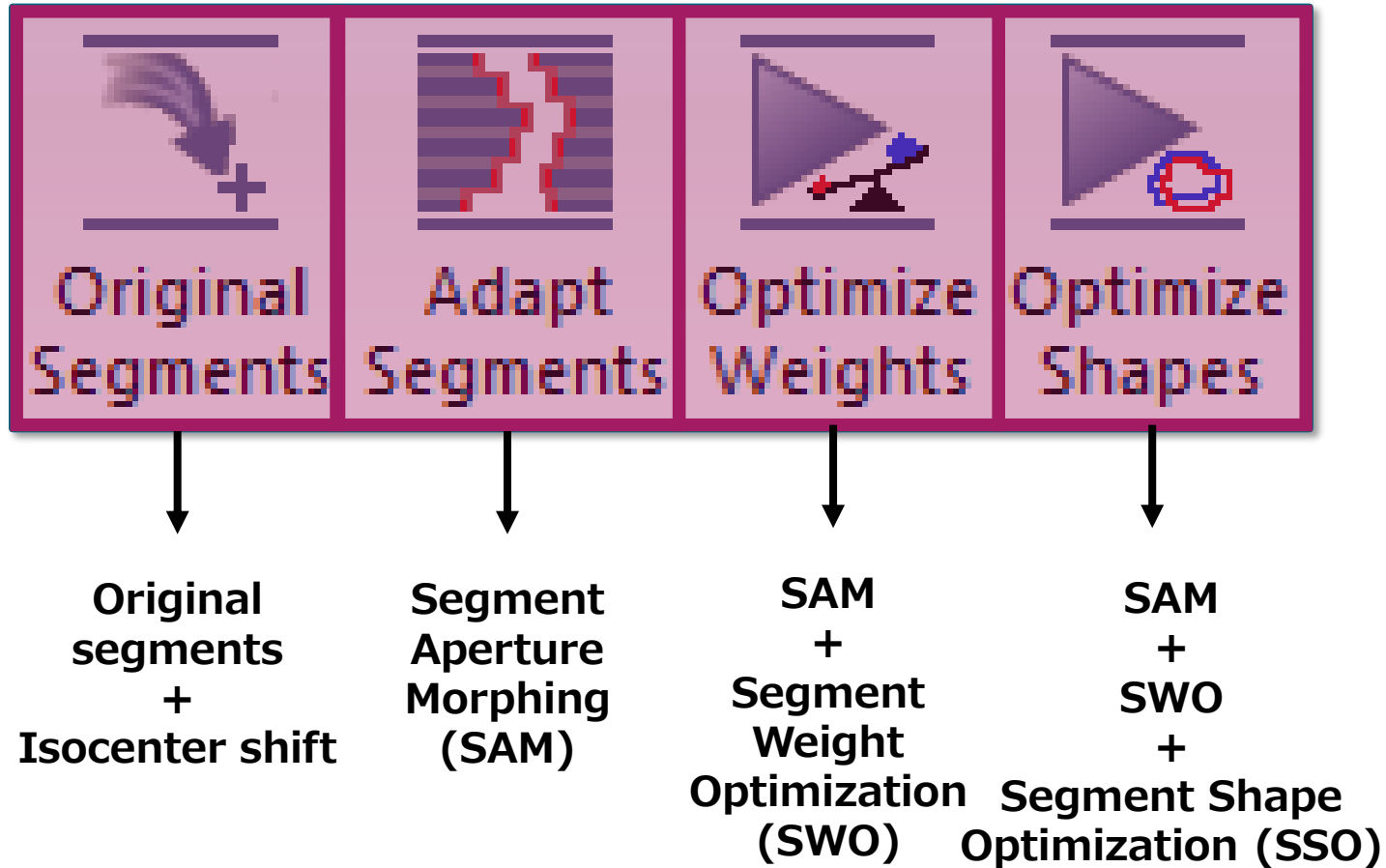
Adaption Workflow



FusionとAdaptionワークフローは、OnlineとOfflineのどちらのMonacoでも可能

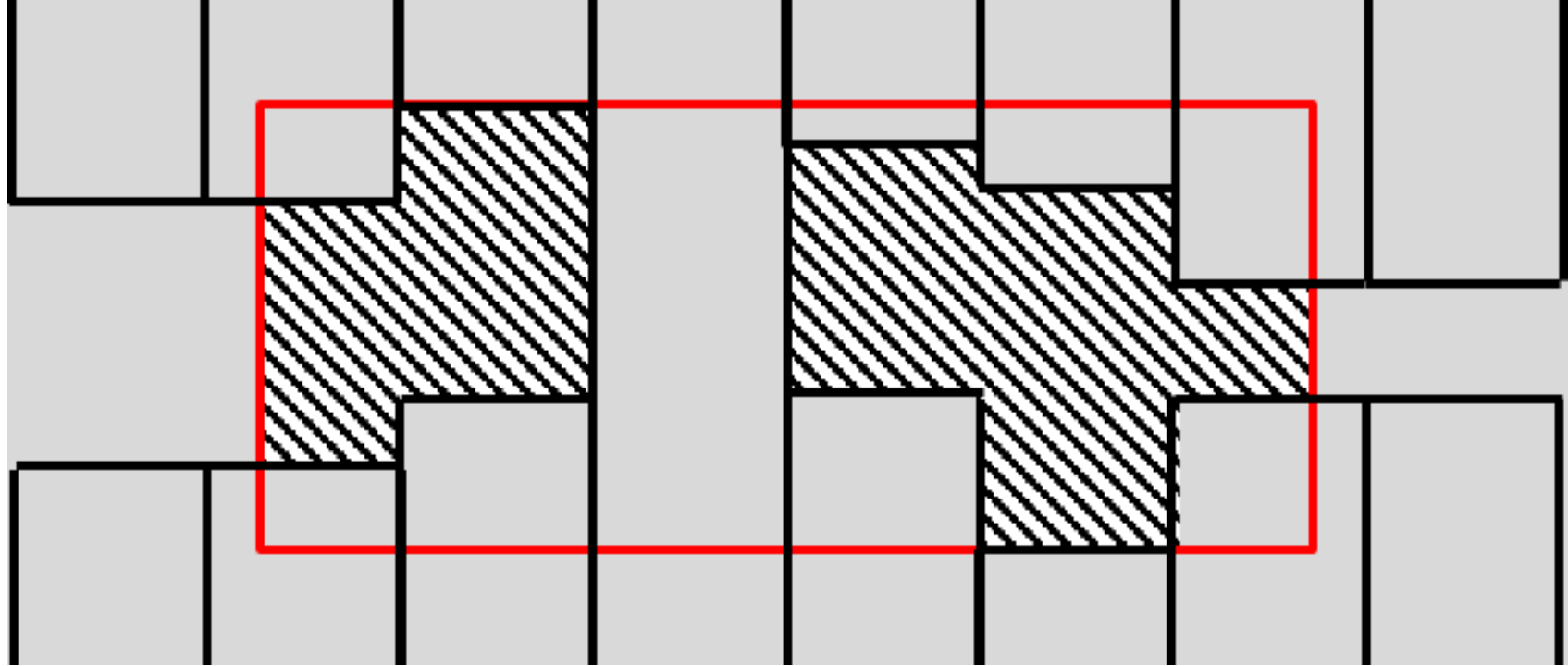
Introduction

Adaption Workflow



**At the end of
this section
you will
know:**

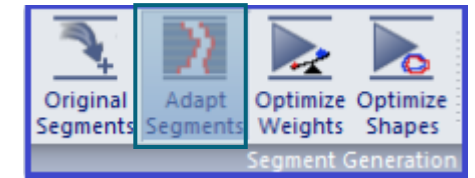
- SAMアルゴリズム
が使用される場合
- SAMアルゴリズム
の基本



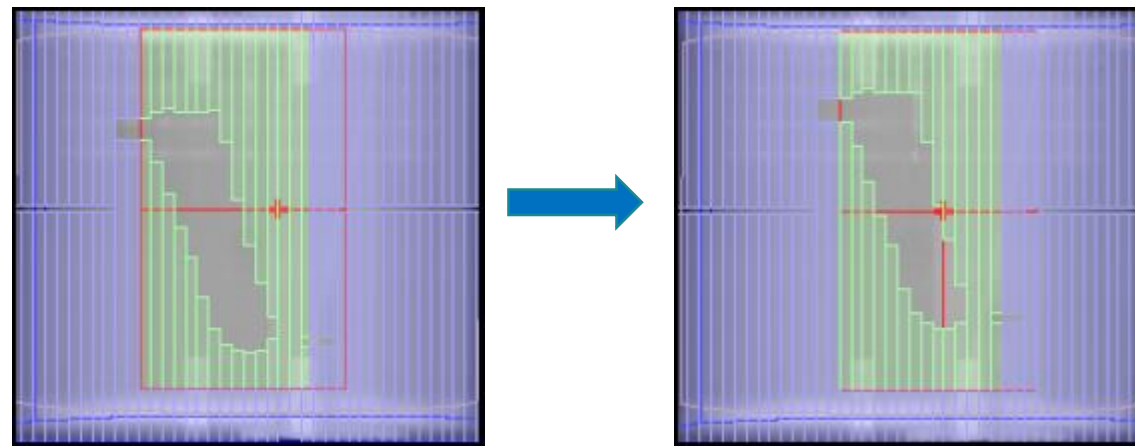
Segment Aperture Morphing (SAM)

Segment Aperture Morphing

Introduction



- Segment Aperture Morphing(SAM)はAdapt to PositionとAdapt to Shape の最初のステップとして実行される。
- SAMは、ターゲットの新しい位置や形状に、照射野（3Dプラン）とセグメント（IMRTプラン）を調整する。



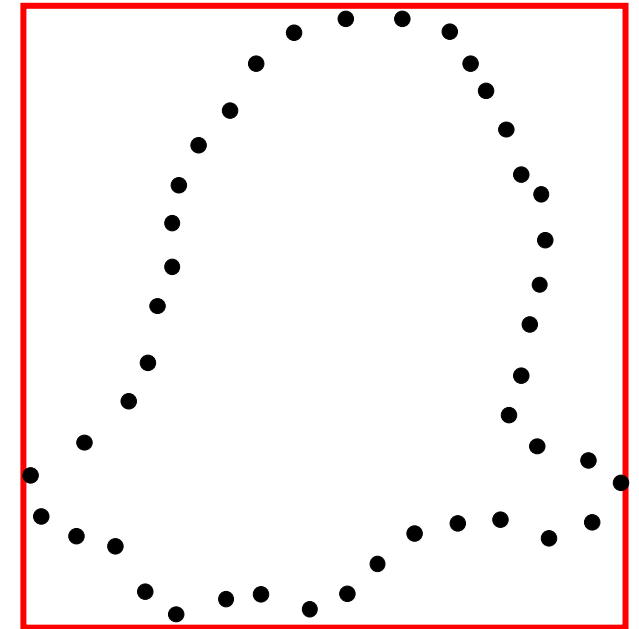
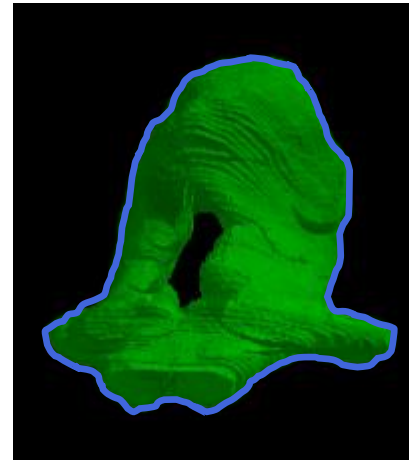
MU = 78.6

MU = 78.6

Algorithm

Preparation Steps - General

- Reference 画像およびDaily 画像の腫瘍体積のアイソセンター平面への投影を計算する。
 - ・ 投影するターゲットは3Dプランの場合、Structureタイプが「Target」のストラクチャを投影する。IMRTプランの場合、ターゲットはTarget PenaltyまたはTarget EUD制約がつけられているストラクチャを投影する。
重なっているターゲットの場合は、ターゲットストラクチャのすべてを結合したものを投影する。
- アイソセンター平面への投影で定義された腫瘍の境界ボックスを計算する。
- Reference プランとDaily プランの両方で腫瘍境界点を見つける。
 - ・ これらのポイントは、腫瘍を完全に露出するリーフの位置を変更するために使用する。



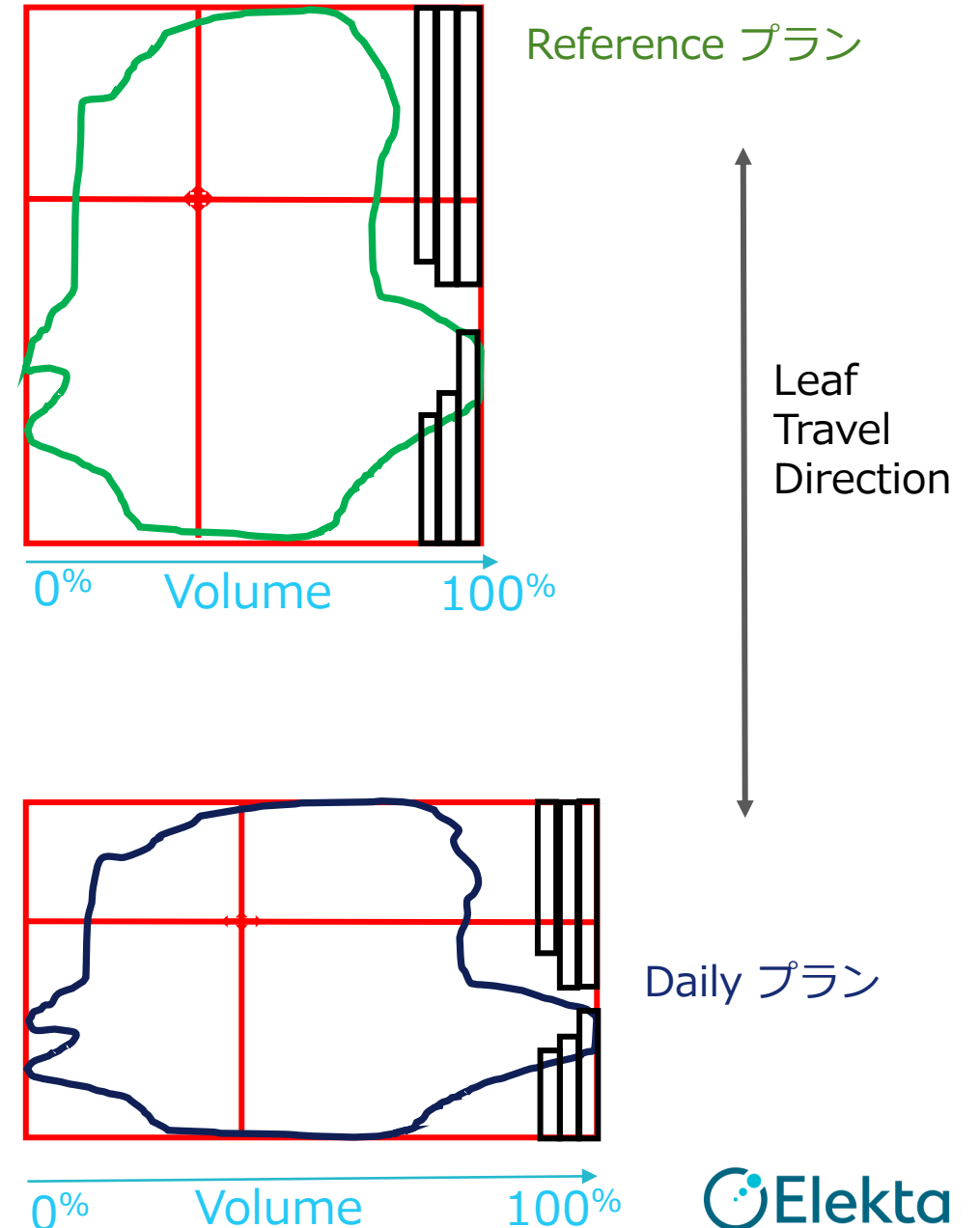
Algorithm

Preparation Steps - General

- Reference プランおよびDaily プランについて、リーフの進行方向に平行および垂直な方向に沿った腫瘍体積分布を計算する。

-腫瘍体積分布は、同じ相対的累積腫瘍体積に対応するJaw（またはリーフの正中線）の位置を見つけることにより、Jaw（またはリーフの正中線）の位置を変更するときを使用する。

-この例では、Referenceプランの右端のリーフペアは、リーフは腫瘍を100%カバーしている。腫瘍幅が増加したDailyプランでは、腫瘍を100%カバーしているリーフペアは同じ規則に従う。



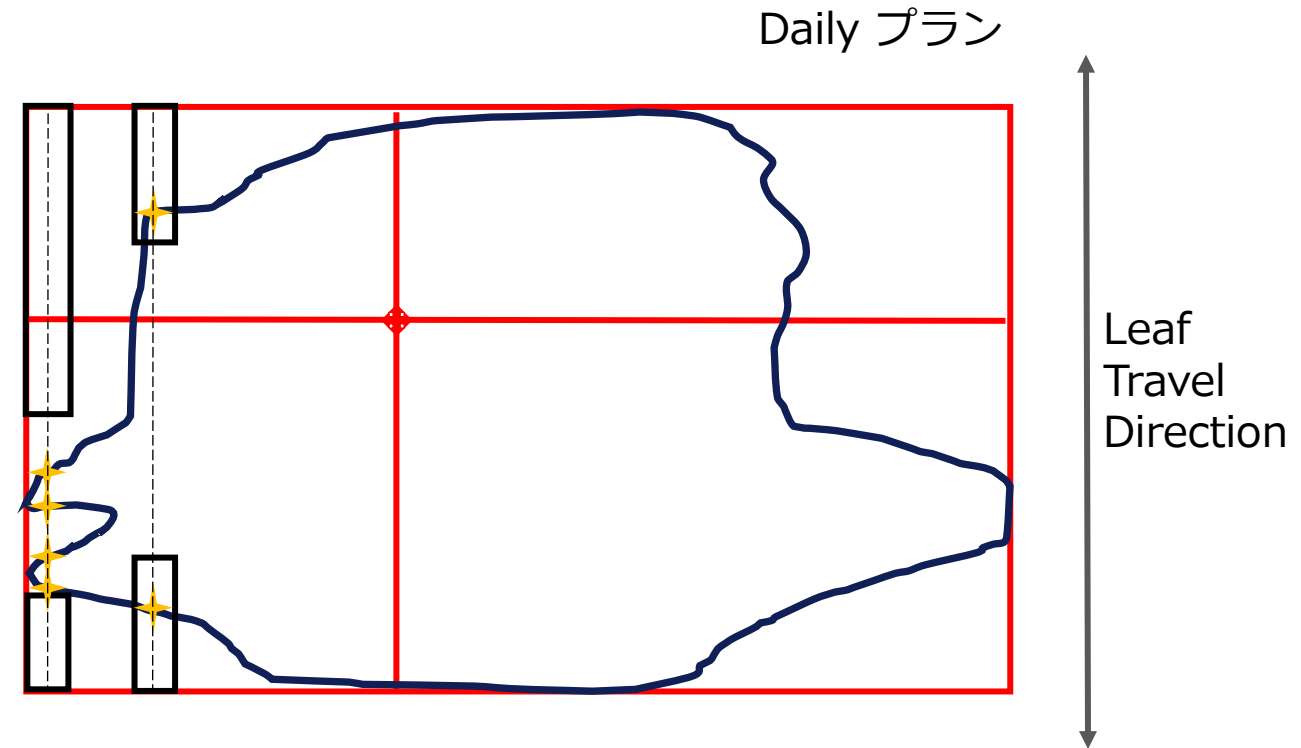
Algorithm

Preparation Steps - General

境界ボックス内のすべてリーフについて、リーフの正中線が腫瘍のエッジと交差するすべての場所の位置を計算する。

-最初に表示されたリーフペアには、4つの交差点がある。

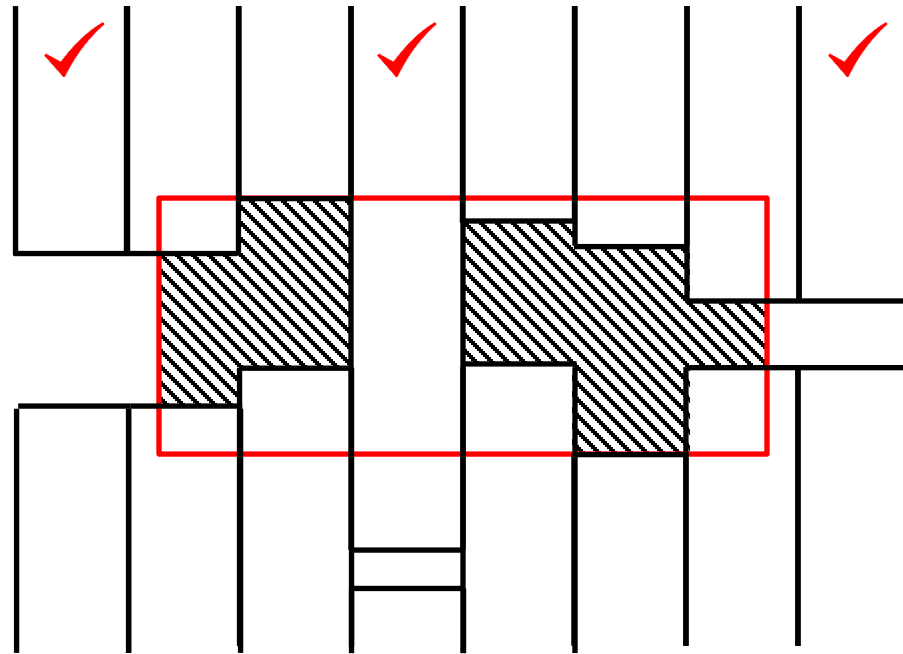
-2番目に示されているリーフペアには、2つの交差点がある。



Algorithm

Closed Leaf Determination – Segment Specific

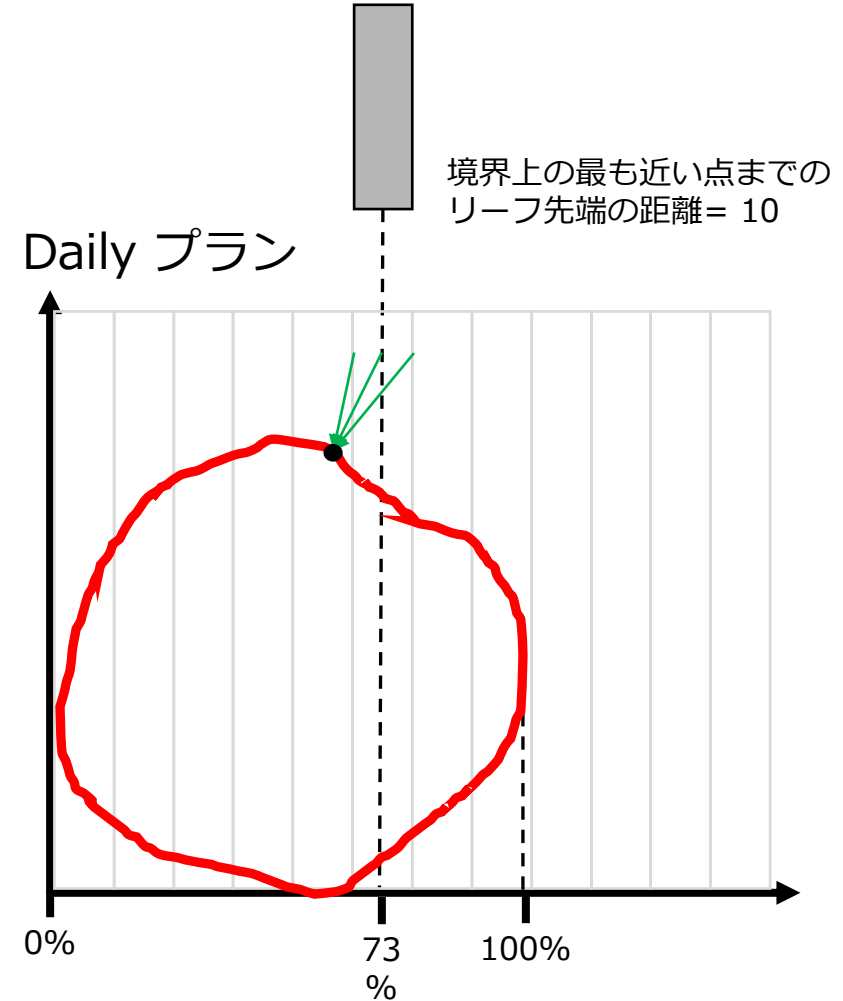
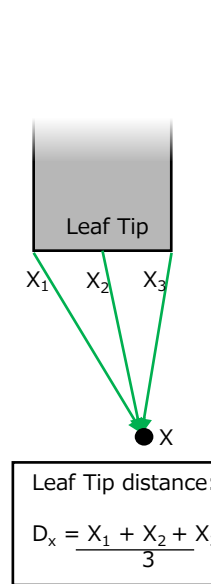
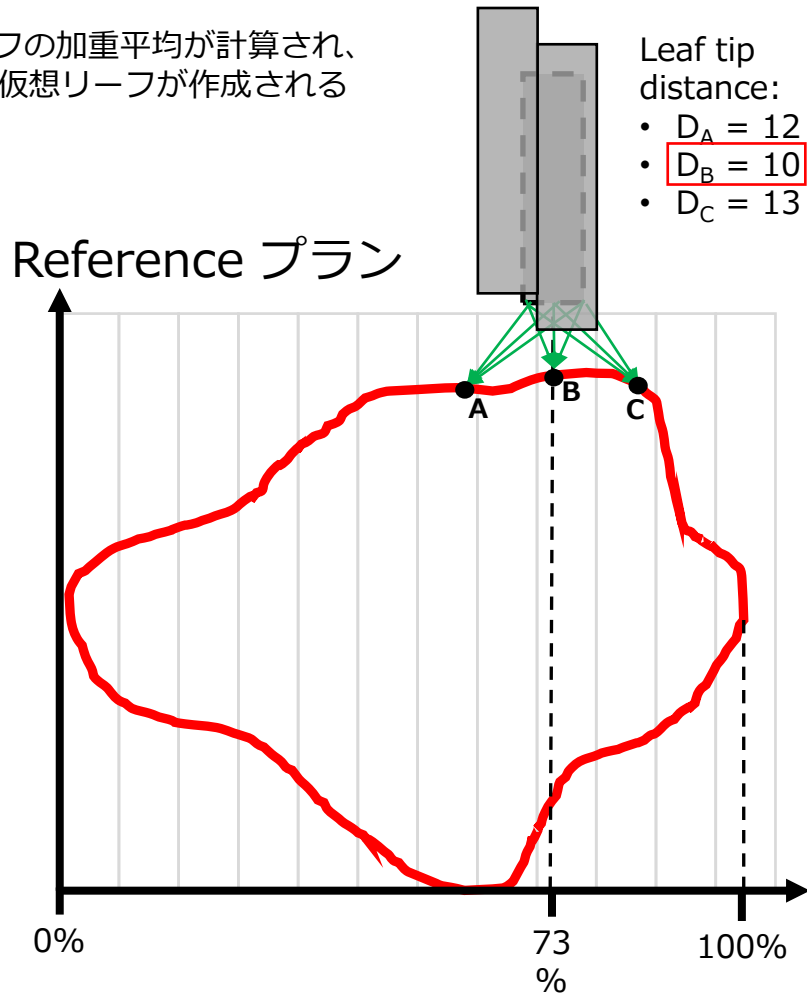
- セグメントごとに、完全に外側にあるリーフペアか、フィールド内で閉じているリーフペアを見つける。閉じたリーフは、モーフィングされたフィールドでも閉じたままになる。



Algorithm

MLC Rules: Leaf fully expose tumour from a distance

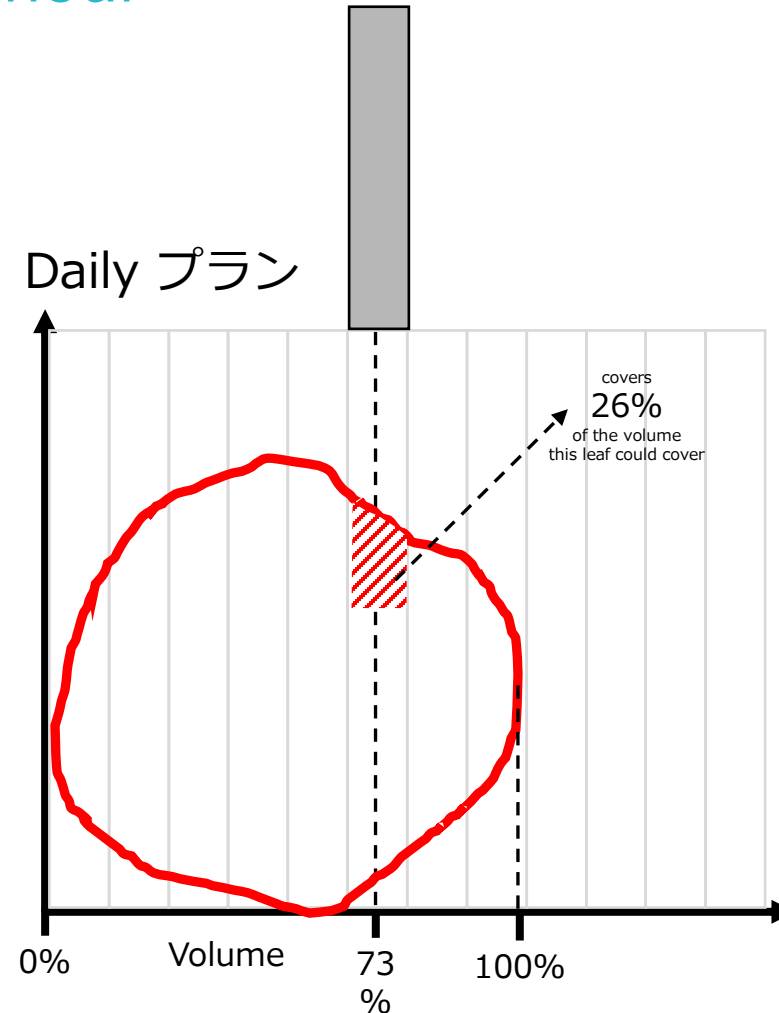
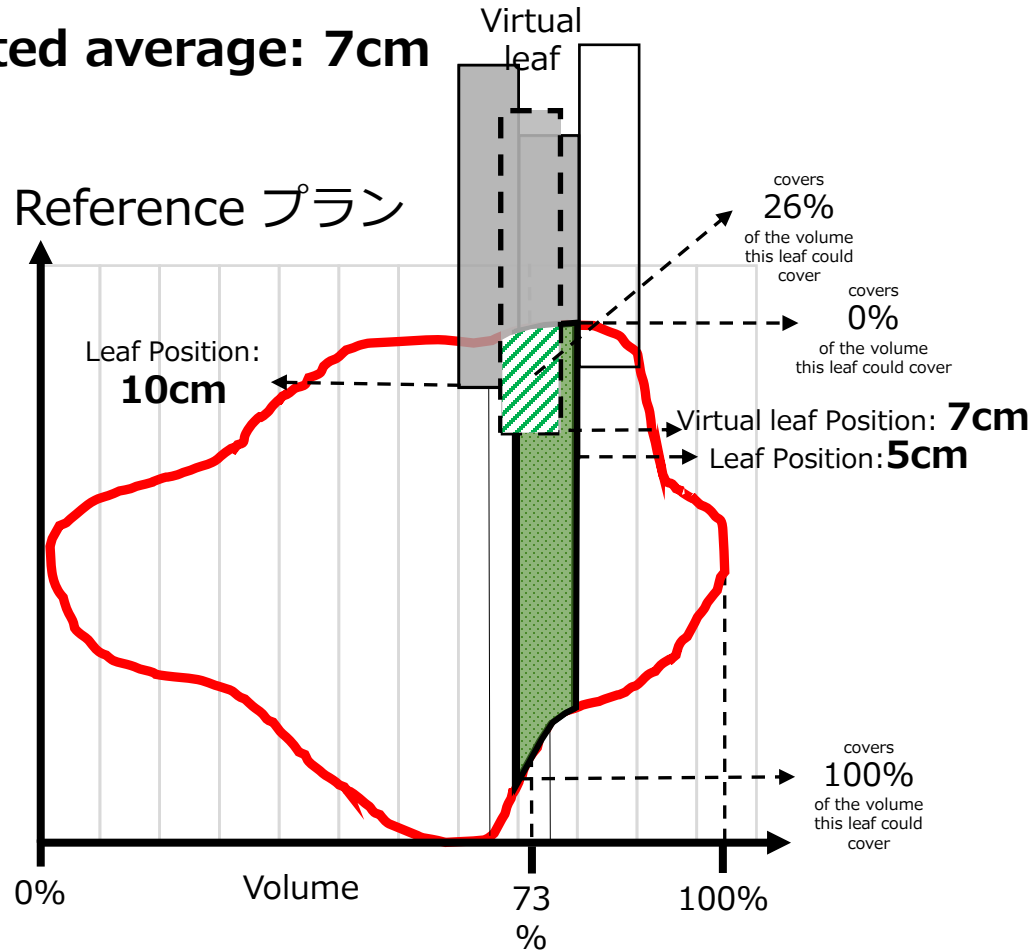
両方のリーフの加重平均が計算され、その位置に仮想リーフが作成される



Algorithm

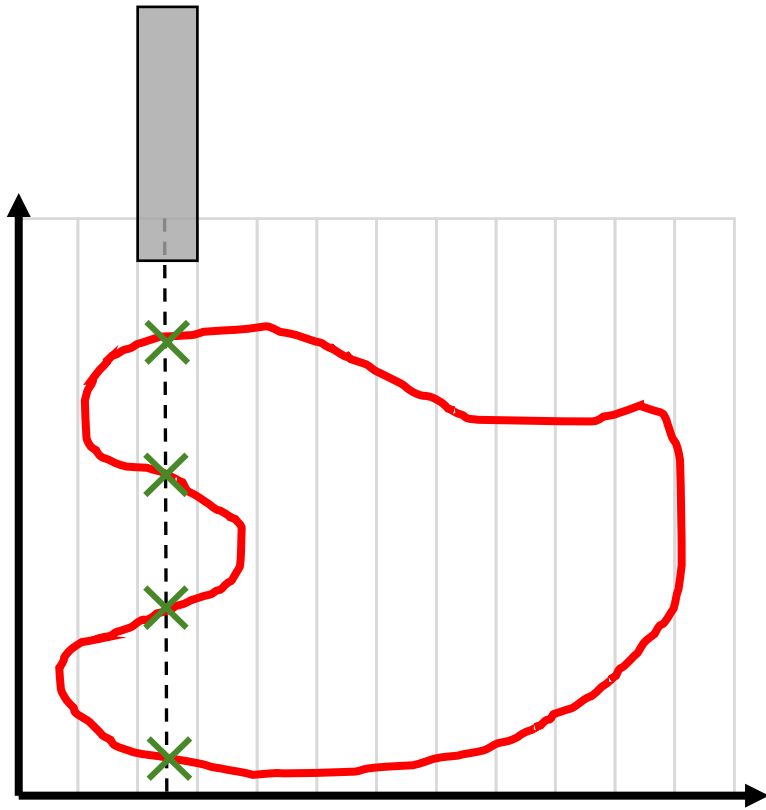
MLC Rules: Leaf partially blocks the tumour

Weighted average: 7cm



Algorithm

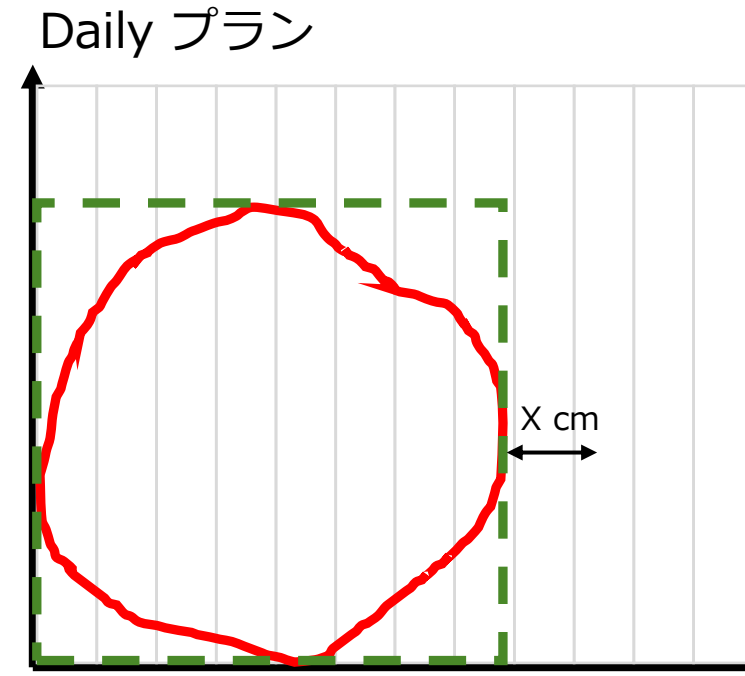
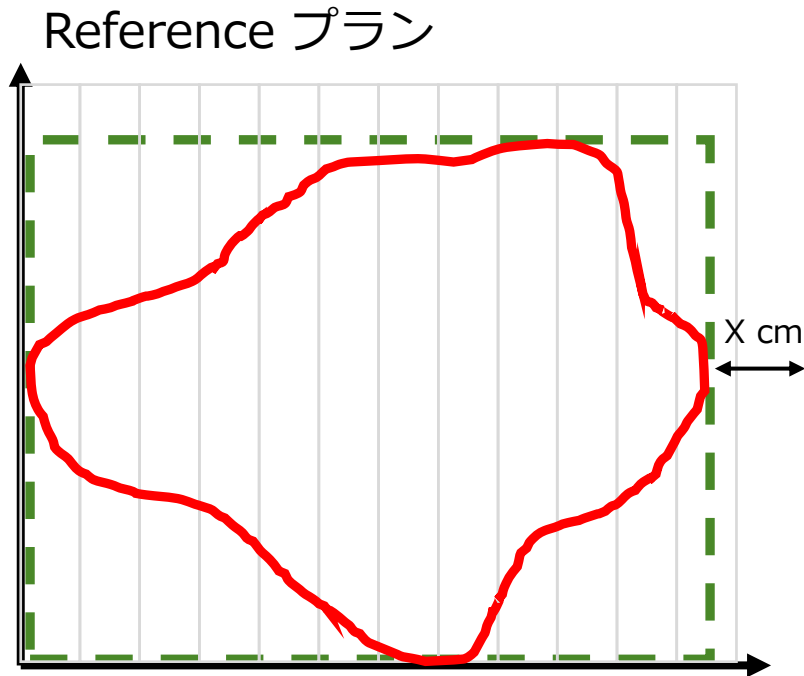
MLC Rule Checking



- リーフの出入り口が2つ以上あるエリア
- アパーチャはデリバリーできない
- リーフのオーバートラベル
- Jawの下にパークされたリーフ

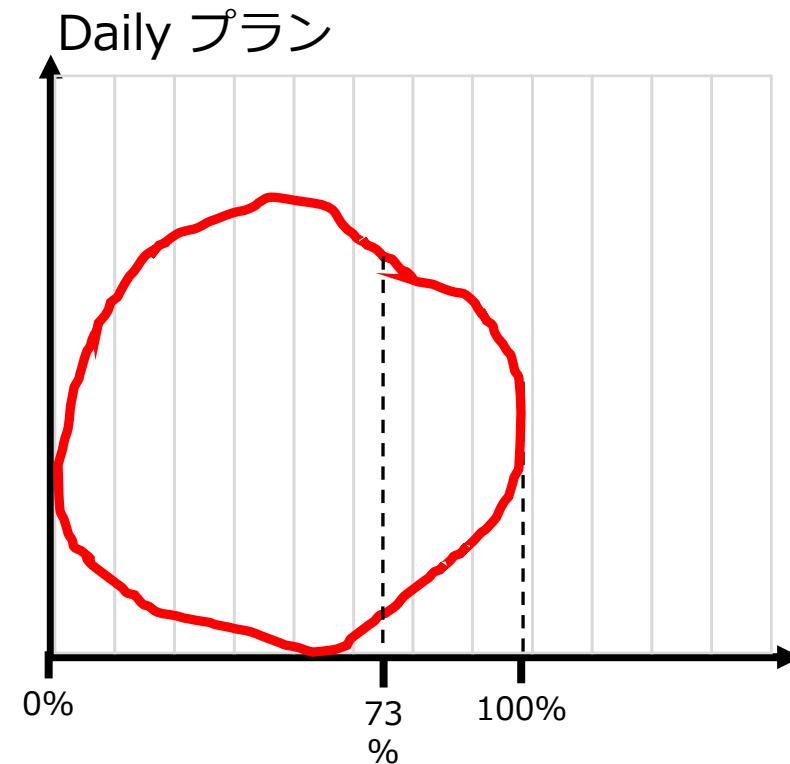
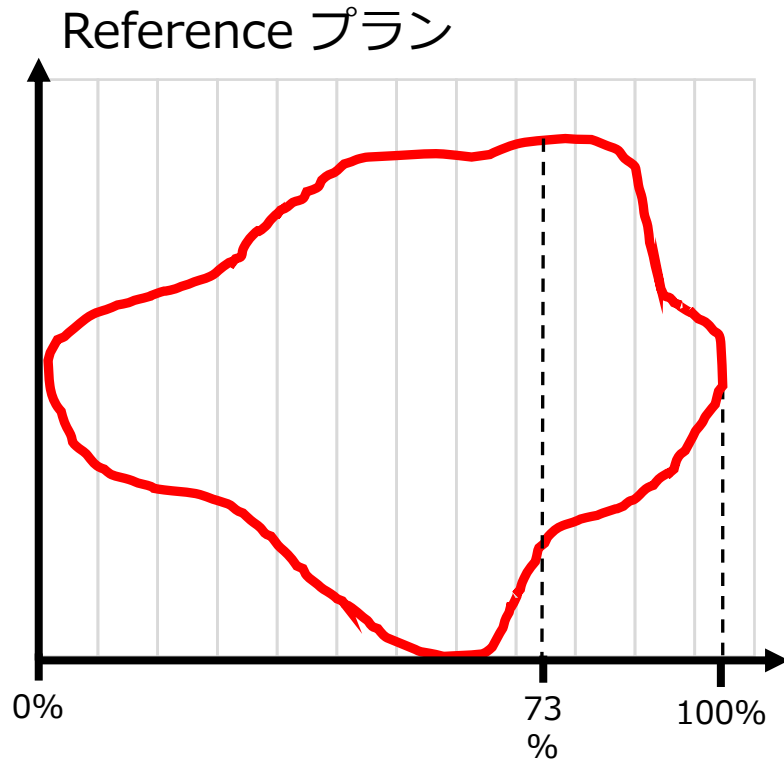
Algorithm

Diaphragm Rules – Case 1: Diaphragm fully exposes the tumour



Algorithm

Diaphragm Rules – Case 2: Diaphragm partially blocks the tumour



SAM Review Question

リーフの位置をモーフィングする場合、日々の計画におけるリーフの位置は、どの情報をもとに決定されますか：

腫瘍の左端から右端までの直線距離

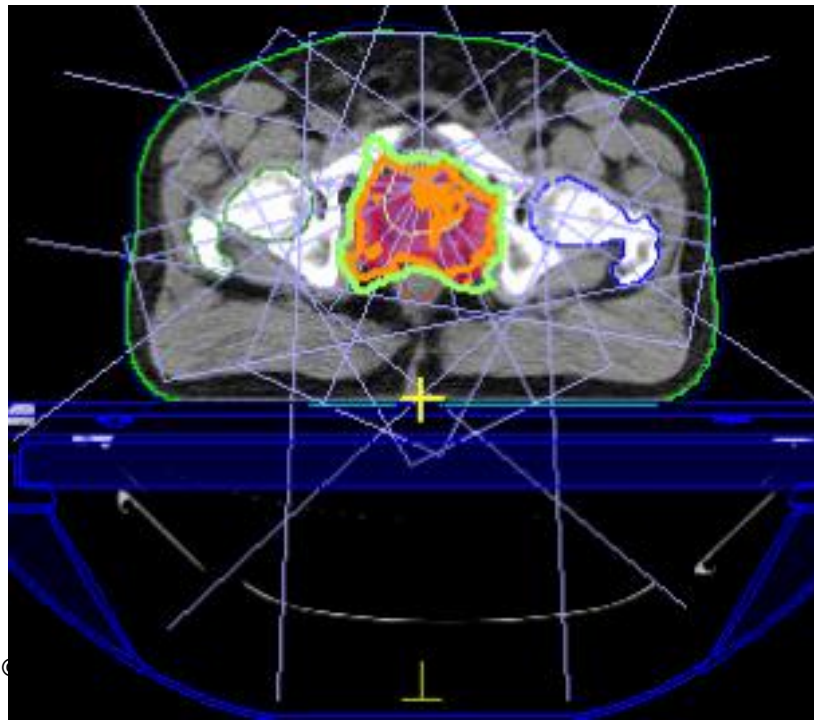
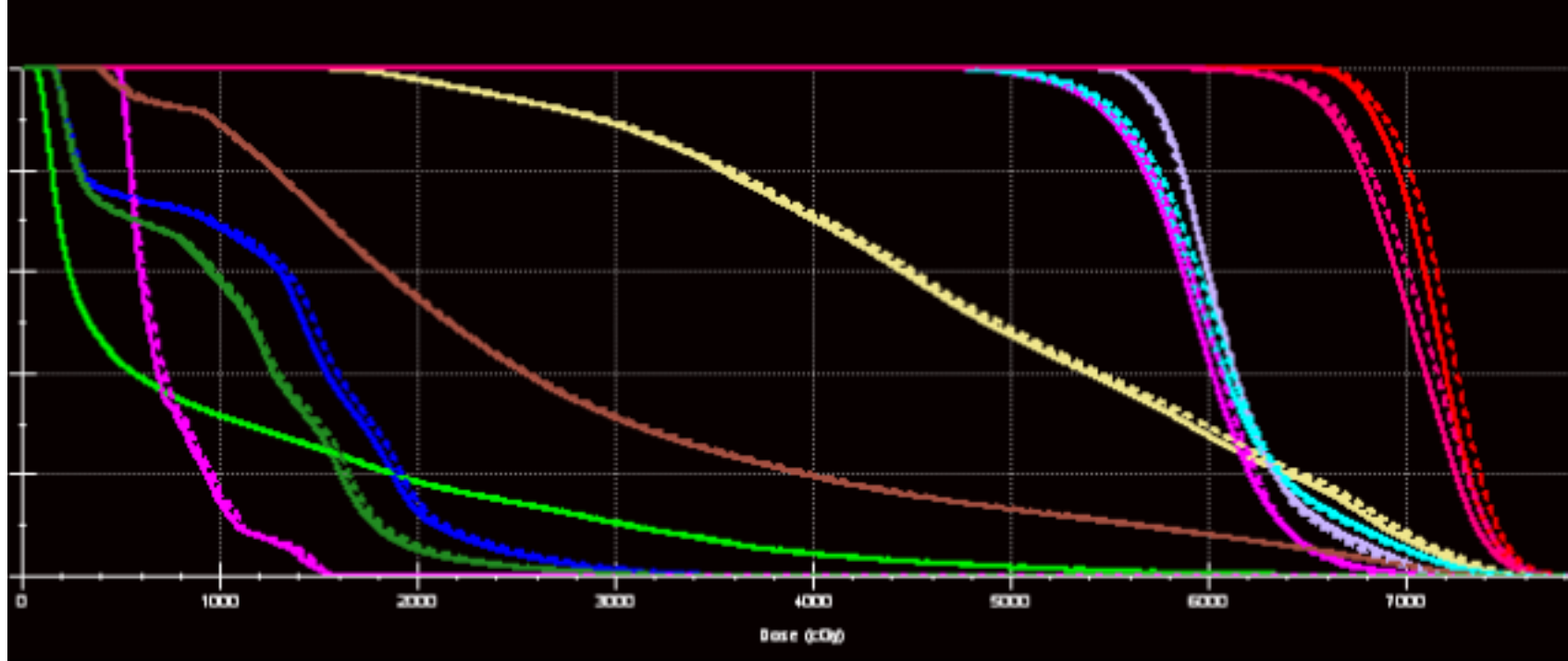
腫瘍を投影した左端からの面積

腫瘍体積の左端からの毎日の腫瘍体積

Adapt to Position Objectives

目的

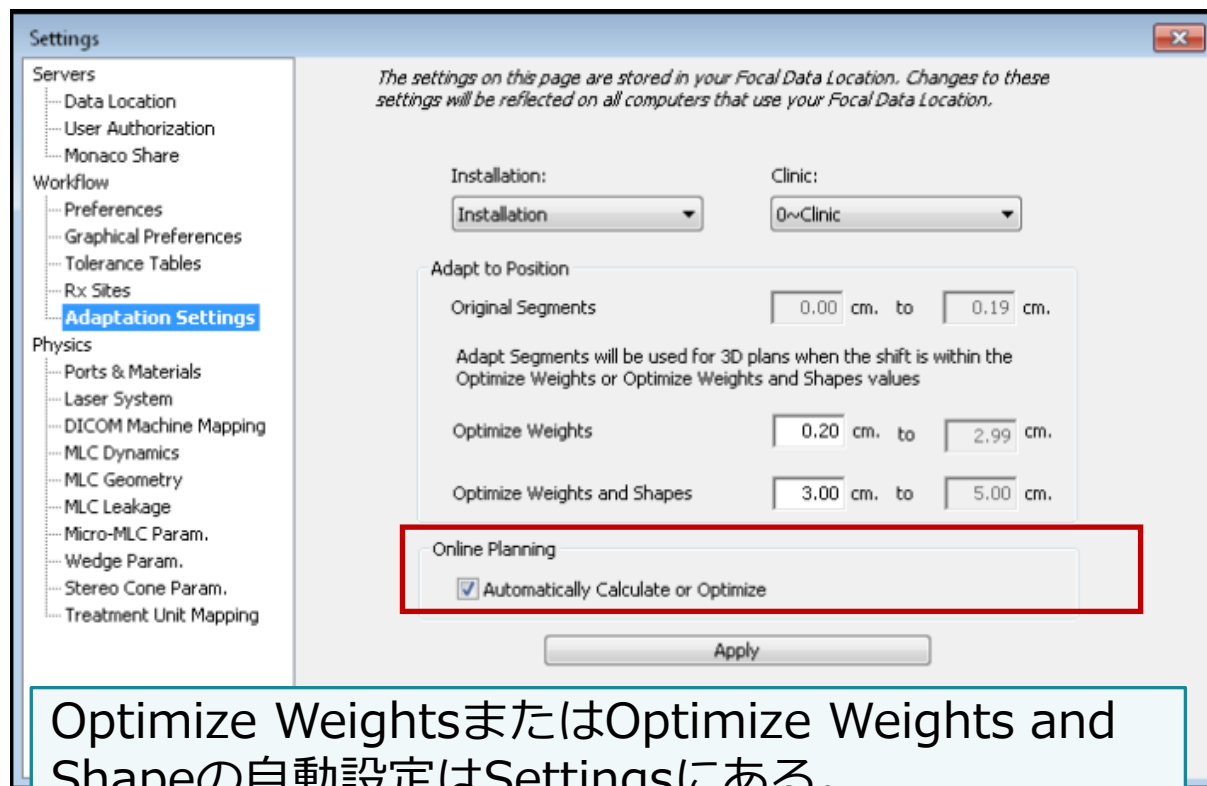
- デフォルトの設定方法
- Warm Start Optimizationアルゴリズムの基本



Adapt to Position Workflow

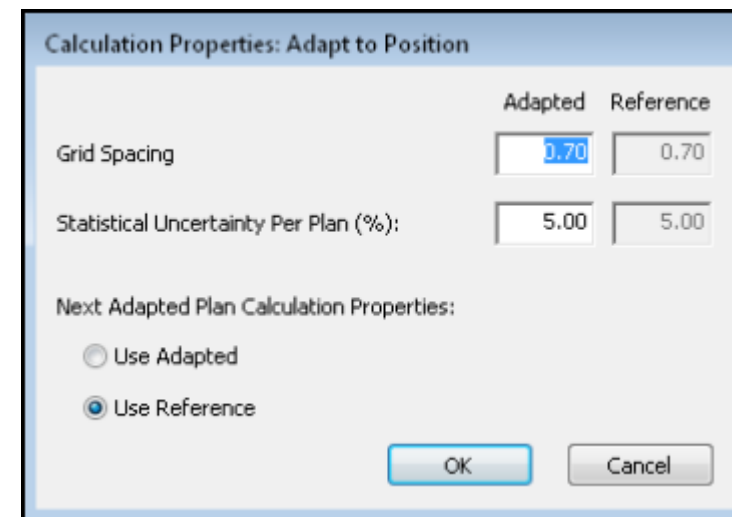
Planning Workflow

Adaptation Settings



Optimize WeightsまたはOptimize Weights and Shapeの自動設定はSettingsにある。

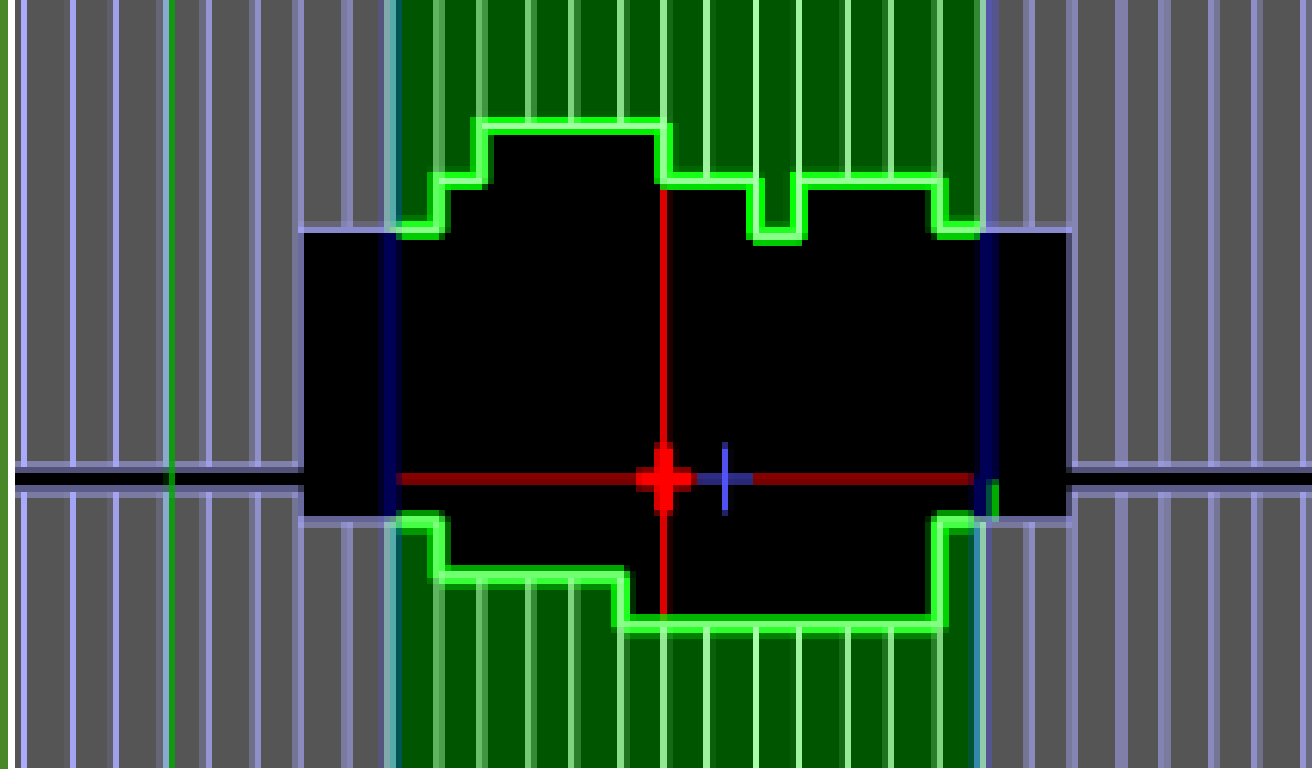
Online planningで最適化を自動的に開始するには、このチェックボックスをオンにする。



Calculation PropertiesはReference planから引継ぐ。

Warm Start Optimization (WSO)

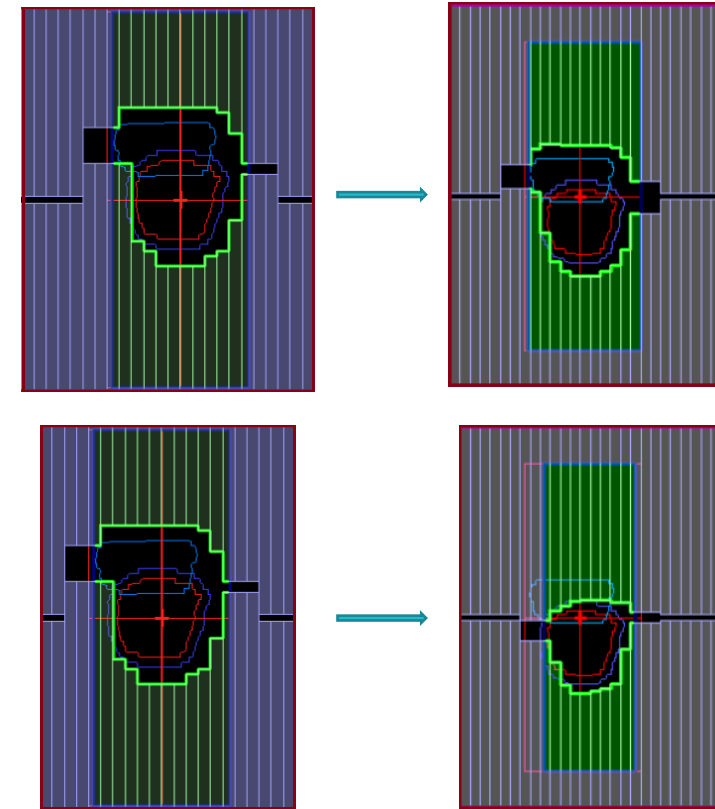
Adapt to Position Workflow



Overview

Adapt to Position Workflow

- Warm Start Optimization (WSO)は、調整されたセグメントから最適化を行う勾配降下アルゴリズム
 - Weights
 - Weights and shapes
- WSOはSAMの後に実行する。
- WSOオプティマイザーに設定できるパラメーターは、リファレンスプランの作成時に設定したパラメーターとは異なる。
- デフォルトの動作を変更するには、[Optimize]および[Calculate]オプションを選択する。



Optimization Options

Adapt to Position Workflow

- SWOとSWO + SSOの両方について、次のいずれかを選択できる。
 - Reproduce Goal Dose
 - Improve Target Dose

Optimization Parameters

Optimization Method: Reproduce Goal Dose

OAR Weighting: 100

Target Weighting Underdose

Shoulder: 1000

Mean: 0

Tail: 500

Target Weighting Overdose

Shoulder: 1000

Mean: 0

Tail: 1000

OK Cancel

Optimization Parameters

Optimization Method: Improve Target Dose

OAR Weighting: 100

Target Weighting Underdose

Shoulder: 1000

Mean: 100

Tail: 500

Target Weighting Overdose

Shoulder: 1000

Mean: 100

Tail: 1000

OK Cancel

Running warm-start optimization

Warm-start optimization complete

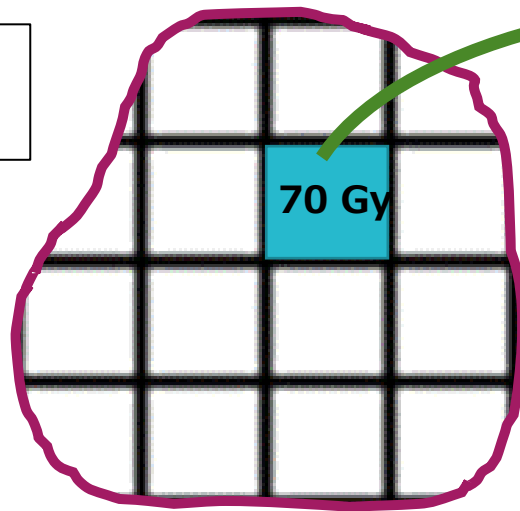
Adaptive Plan Options

Reproduce Goal Dose

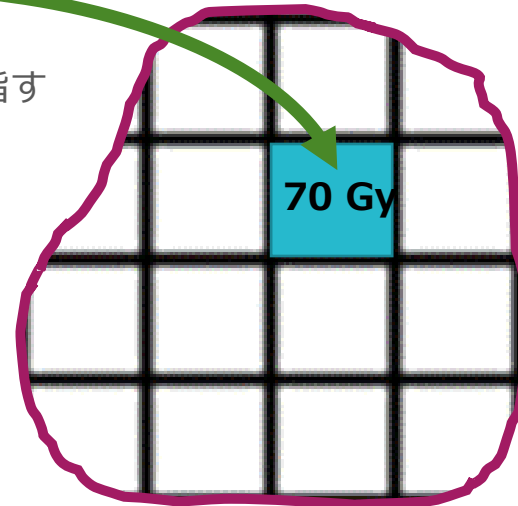
Reference プランの線量

Adapt プランの線量

PTV IMRT
R_x 72 Gy



線量の再現を目指す



Optimization Parameters

Optimization Method:

OAR Weighting:

Target Weighting Underdose

Shoulder:

Mean:

Tail:

Target Weighting Overdose

Shoulder:

Mean:

Tail:

Segment Recalculation (%):

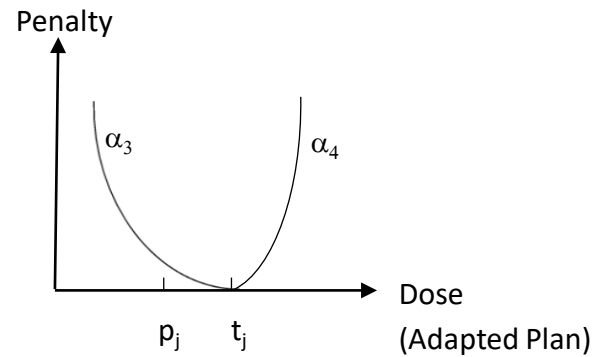
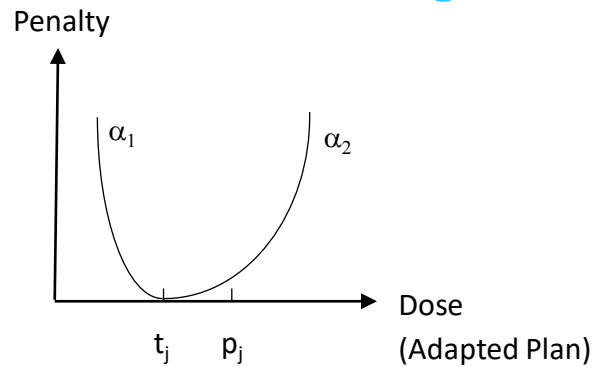
OK Cancel

- **SWO**: Reference planの線量が**再現**されるように、セグメントのWeightが増減する。
- **SWO + SSO**: Reference planの線量が**再現**されるように、MLCポジションが変更される。

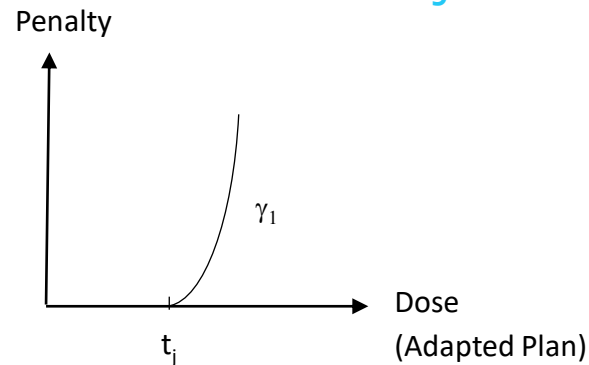
IMRT Constraints

Reproduce Goal Dose

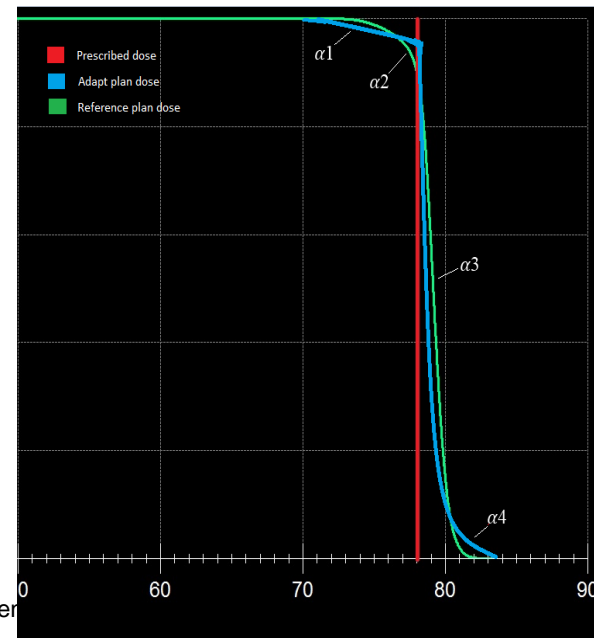
Target voxel j



OAR voxel j



p_j	処方線量
t_j	Reference planのボクセル線量
α/γ	各ペナルティ関数の重み係数



Optimization Parameters ✕

Optimization Method: Reproduce Goal Dose

OAR Weighting: 100 γ_1

Target Weighting Underdose

Shoulder: 1000 α_1

Mean: 0

Tail: 500 α_2

Target Weighting Overdose

Shoulder: 1000 α_3

Mean: 0

Tail: 1000 α_4

Segment Recalculation (%): 5

OK
Cancel

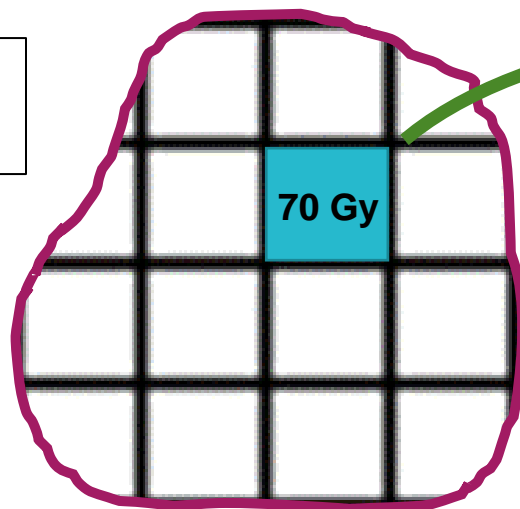
Adaptive Plan Options

Improve Target Dose

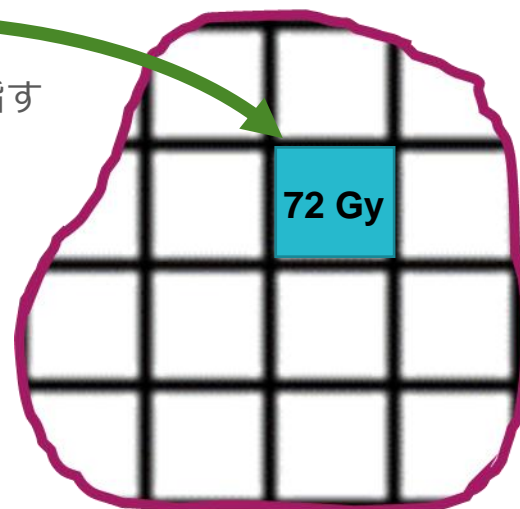
Reference プラン

Adapt プラン

PTV IMRT
R_x 72 Gy



線量の改善を目指す



Optimization Parameters

Optimization Method:

OAR Weighting:

Target Weighting Underdose

Shoulder:

Mean:

Tail:

Target Weighting Overdose

Shoulder:

Mean:

Tail:

Segment Recalculation (%):

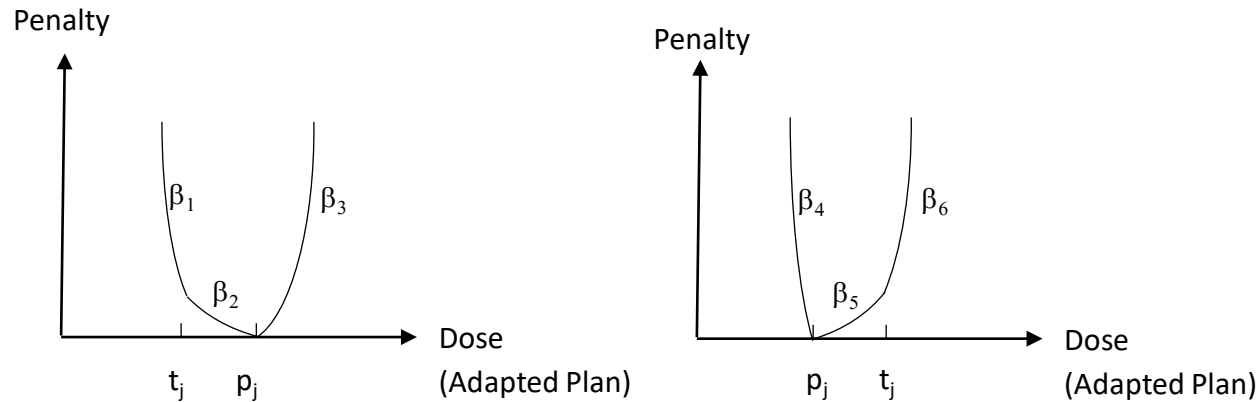
OK Cancel

- **SWO**: Reference planの線量が**改善**されるように、セグメントのWeightが増減する。
- **SWO + SSO**: Reference planの線量が**改善**されるように、MLCポジションが変更される。

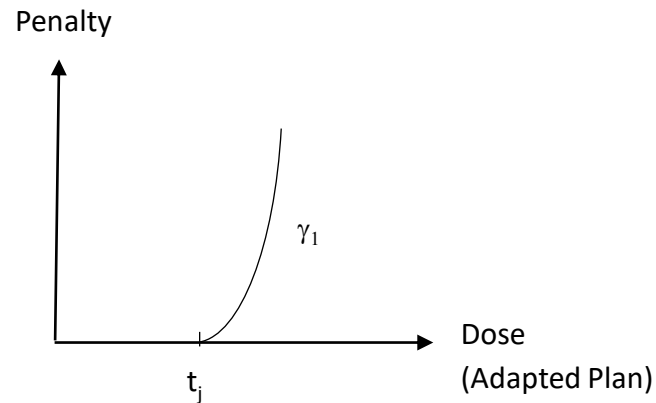
IMRT Constraints

Improve Goal Dose

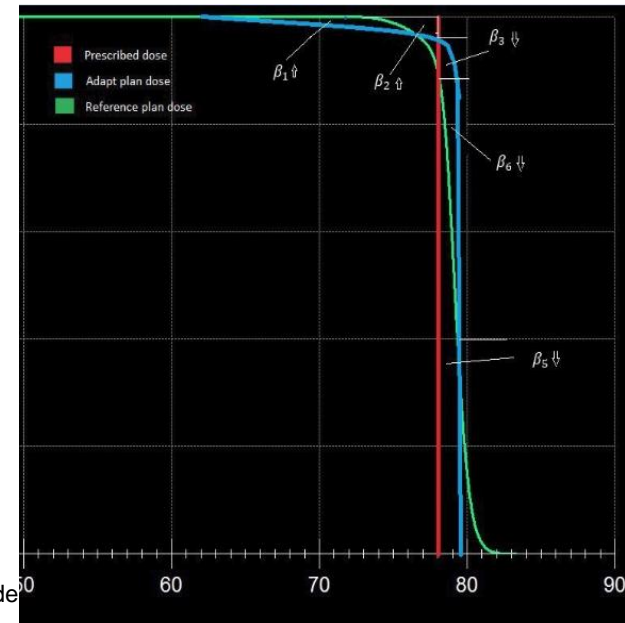
Target voxel j



OAR voxel j:



p_j	処方線量
t_j	Reference planのボクセル線量
β/γ	各ペナルティ関数の重み係数



Optimization Parameters

Optimization Method: Improve Target Dose

OAR Weighting: 100 γ_1

Target Weighting Underdose

Shoulder: 1000 β_1

Mean: 100 β_2

Tail: 500 β_3

Target Weighting Overdose

Shoulder: 1000 β_4

Mean: 100 β_5

Tail: 1000 β_6

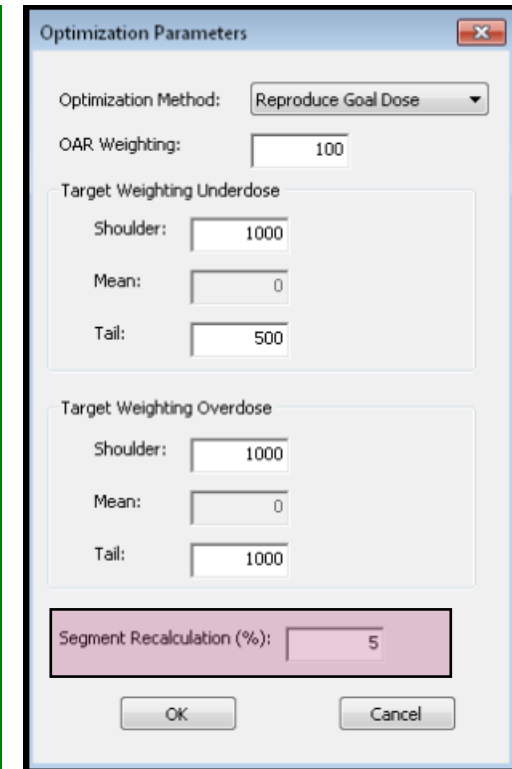
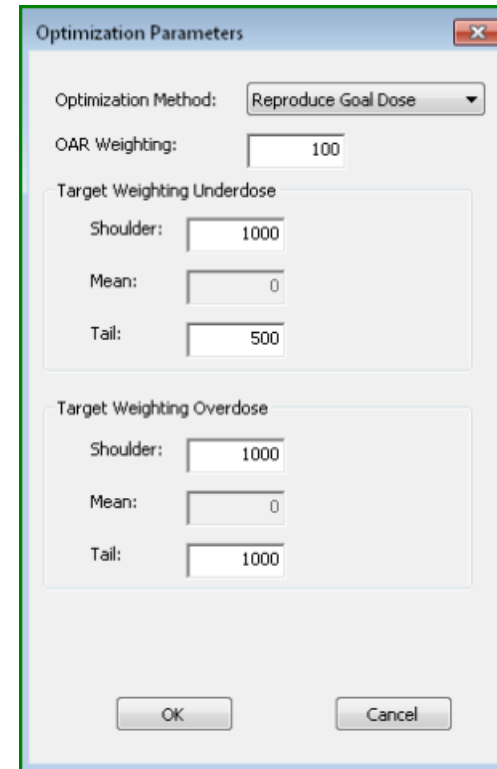
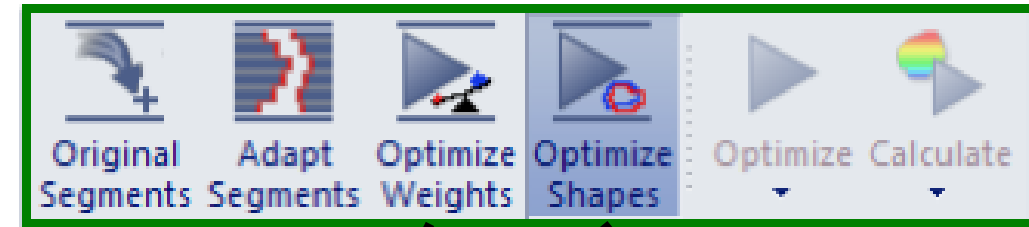
Segment Recalculation (%): 5

OK Cancel

Adaptive Plan Options

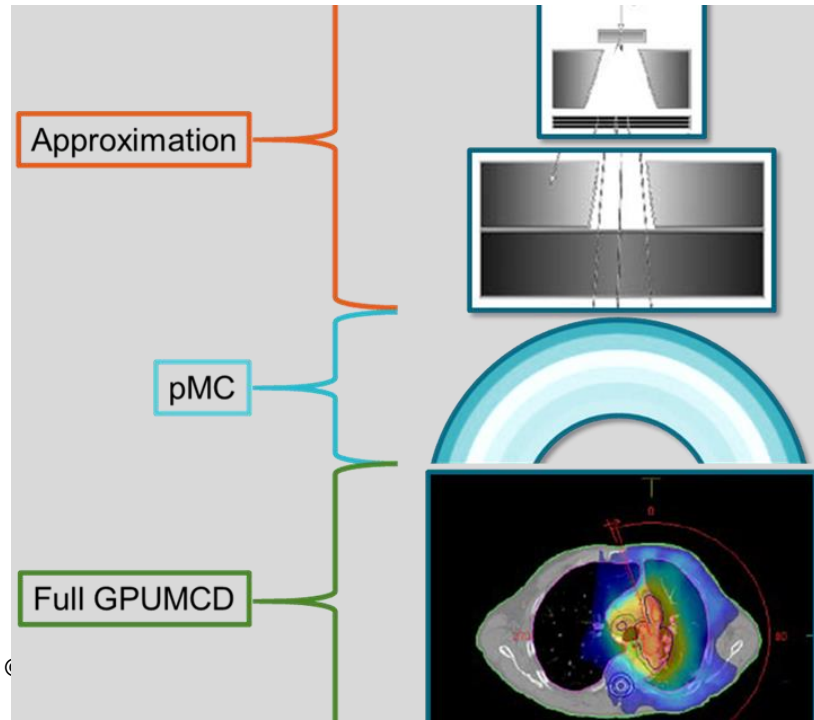
Segment Shape Optimization(SSO)

- 各セグメントはGPUMCDで計算される。
- 勾配降下アルゴリズムを使用して、ペナルティ関数の収束を達成するために、Weightを変更してMLCリーフの位置を調整する。
- SSOの場合、Segment Recalculation (%)オプションが表示される。



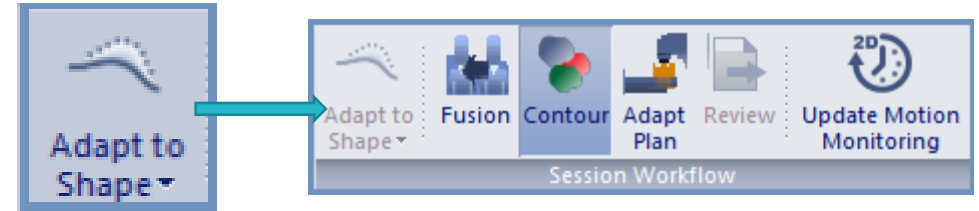
Adapt to Shape Objectives

- Adapt to Shapeワークフローに設定できるデフォルトの理解
- Adaptedプランを作成するために使用されるアルゴリズムの理解



Adapt to Shape Workflow

Adapt Workflow - Defaults



Name	Color	Visible	Volume (cm ³)	Type	Generation	Force ED	Relative ED
Pancreas	Green	<input checked="" type="checkbox"/>	249.859	Internal	Deform	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000
patient	Orange	<input checked="" type="checkbox"/>	9273.398	External	Deform	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000
tumor	Red	<input checked="" type="checkbox"/>	386.763	Internal	Deform	<input checked="" type="checkbox"/>	1.000

Layerの順序とStructureのプロパティを編集することはできない。新しいStructureを描くことはできる。

Calculation Properties: Adapt to Shape

	Adapted	Reference
Grid Spacing	0.70	0.70
Statistical Uncertainty Per Plan (%)	5.00	5.00

Next Adapted Plan Calculation Properties:

Use Adapted
 Use Reference

OK Cancel

初期計算設定はリファレンスプランから取得される。

Adapted to Shape Plan Setup

Optimize From:

Fluence Segments

Segment Shape Optimization

Speed Plan Quality

OK

Adapt to Shapeワークフローを選択すると、フルエンスまたはセグメントからAdaptedプランを開始する設定が表示される。

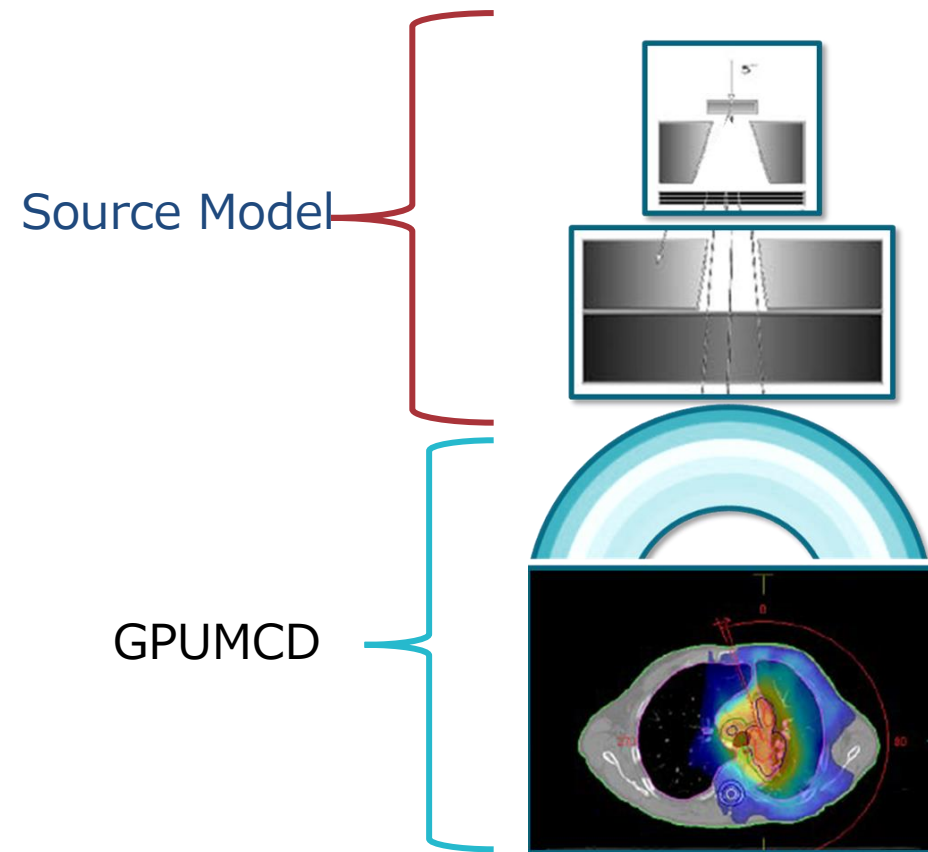
Adapt to Shape: Optimize

Adapt to Shape Optimizationは、Offline Monacoと同じアルゴリズムを使用する。

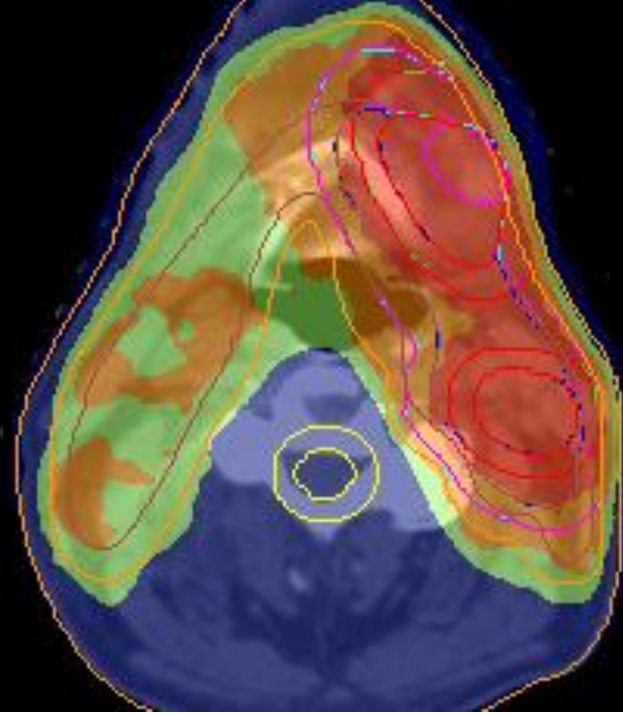
- ・最適化されたフルエンスは、UnityのPencil Beam(PB)アルゴリズムを使用してすばやく計算される。このPBモデルは、ビームモデルの一部として含まれている。

- ・最終的な線量計算は、Unityビームをモデル化するGPUMCDアルゴリズムを使用して行われる。

- ・GPUMCDビームモデルは、磁場とクライオスタットの影響を考慮する。

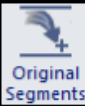
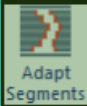
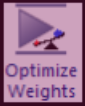
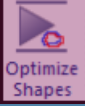




Summary



Adaptive Plan Options

Adapt to ShapeとAdapt to Positionは同じSAMアルゴリズムを使用する。

	Registration Method	Original Segments 	Adapt Segments 	Optimize Weights 	Optimize Shapes 	Plan Isocenter												
	Rigid Registration	Original segmentsが使用され、アイソセンターのみが更新される。	Segment Aperture Morphing	SAM実行後 Warm Start Optimization (Weightsのみ)	SAM実行後 Warm Start Optimization (Weights and Shapes)	すべてのplanの座標は、Reference planを基準にしている。 <table border="1" data-bbox="2086 554 2499 686"> <thead> <tr> <th>Isocenter Location</th> <th>X (cm)</th> <th>Y (cm)</th> <th>Z (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arbitrary Point</td> <td>-0.96</td> <td>-3.43</td> <td>-5.22</td> </tr> <tr> <td>Arbitrary Point</td> <td>-0.96</td> <td>-3.43</td> <td>-5.22</td> </tr> </tbody> </table>	Isocenter Location	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Arbitrary Point	-0.96	-3.43	-5.22	Arbitrary Point	-0.96	-3.43	-5.22
Isocenter Location	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)															
Arbitrary Point	-0.96	-3.43	-5.22															
Arbitrary Point	-0.96	-3.43	-5.22															
	Rigid Registrationとそれに続くDeformable Registration	Original segmentsが使用され、アイソセンターのみが更新される。	Segment Aperture Morphing	SAM実行後 Warm Start Optimization (Weightsのみ) ※Segmentからの場合 もしくは Full Optimization ※Fluenceからの場合 (SSOなし)	SAM実行後 Warm Start Optimization (Weights and Shapes) ※Segmentsからの場合 もしくは Full Optimization ※Fluenceからの場合 (SSOあり)	すべてのplanの座標は、毎回のMRを基準にしている。 <table border="1" data-bbox="2086 911 2499 1043"> <thead> <tr> <th>Isocenter Location</th> <th>X (cm)</th> <th>Y (cm)</th> <th>Z (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arbitrary Point</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Arbitrary Point</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table> 線量計算は割り当てた電子密度を使用する	Isocenter Location	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Arbitrary Point	0.00	0.00	0.00	Arbitrary Point	0.00	0.00	0.00
Isocenter Location	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)															
Arbitrary Point	0.00	0.00	0.00															
Arbitrary Point	0.00	0.00	0.00															

Adapt to ShapeとAdapt to Positionは、異なるアルゴリズムを使用してWeightsとShapesを最適化する。

Thank you

お疲れ様でした。
ご不明点等ございましたらご遠慮なくお問い合わせください。

エレクタ株式会社
プロジェクト統括部 アプリケーションフィジックス
〒108-0023 東京都港区芝浦3-9-1 芝浦ルネサイトタワー7F
ヘルプデスクTEL : 0120-659-043
Mail : SoftwareService-Japan@elekta.com
URL : <https://www.elekta.co.jp/>

