

# Monaco

TIPS:IMRT/VMAT プランニング



## 目次

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| はじめに .....                                 | 3  |
| コンセプト.....                                 | 3  |
| Constrained Optimization .....             | 3  |
| Voxels and Structure Layering .....        | 8  |
| Biological Optimization.....               | 9  |
| コストファンクション .....                           | 11 |
| Serial .....                               | 11 |
| Parallel .....                             | 16 |
| Target EUD / Target Penalty .....          | 20 |
| Quadratic Overdose.....                    | 21 |
| Maximum Dose.....                          | 25 |
| Conformality .....                         | 25 |
| その他機能と設定 .....                             | 26 |
| Monte Carlo (Calculation Properties) ..... | 26 |
| Shrink Margin.....                         | 27 |
| IMRT Prescription Parameters .....         | 29 |
| Surface Margin .....                       | 29 |
| Beamlet Width.....                         | 30 |
| Target Margin .....                        | 31 |
| Sequencing Parameters .....                | 32 |
| Segment Shape Optimization .....           | 32 |
| Max. # of Control Points: .....            | 33 |
| Max. # of Arcs:.....                       | 34 |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Increment.....                     | 36 |
| 治療計画（前立腺） .....                    | 38 |
| パラメータの設定 .....                     | 38 |
| IMRT Constraints (コストファンクション)..... | 39 |
| Constraints の調整 .....              | 41 |

#### 《改定履歴》

2017 年 7 月 1 日 初版

2022 年 3 月 14 日 第二版 Increment について追記しました。

## はじめに

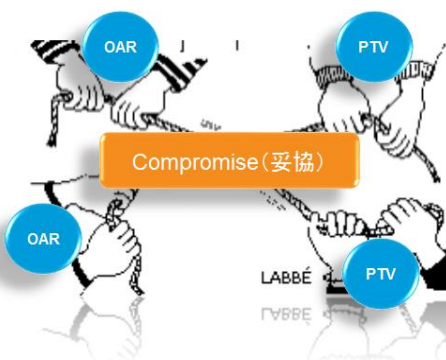
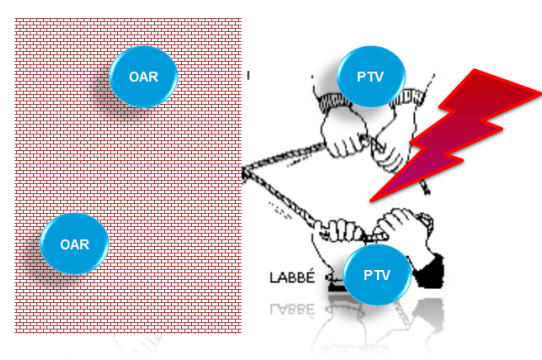
Monaco で IMRT/VMAT プランの計画を立てる際の Tips 集となります。Monaco のコンセプト、コストファンクションやその他のパラメータについて説明します。

Monaco のプランニングでは、ターゲットと OAR のほかに体輪郭が必ず必要となります。この体輪郭は Unspecified Tissue、Body、Patient、External とさまざまな呼び名がありますが、本文書では体輪郭で統一します。

## コンセプト

### Constrained Optimization

Monaco では、フルエンス作成時に Constrained Optimization が用いられています。どの治療計画装置でも、ユーザーが指定したリスク臓器（OAR）やターゲットに対する指標（線量・体積）が達成されるように最適化を進めます<sup>1</sup>。その際に Monaco は、必ず OAR に対する指標が満たされるように最適化します。OAR の線量がユーザー指定の条件に納まった時点で、ターゲットの最適化が進みます。

| Non-Constrained Optimization                                                        | Constrained Optimization                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |

ということは...

ターゲットへの指標が満たされていない場合、OAR への指標が厳しすぎると考えられます。

<sup>1</sup> Inverse Planning

各臓器への指標はコストファンクションのパラメータを設定することで指定しますが、Monaco はどのコストファンクション がターゲットへの線量を制約しているかを示してくれます。よって、闇雲に、OAR への線量を妥協して Target への線量を担保するのではなく、Monaco からの指示を参考にターゲットに制約をかけているコストファンクションのパラメータを調整します。

最適化時の優先順位はコストファンクションで判断されます。

|                                                                                                                                                      |                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>1<sup>st</sup> Order Constraints<sup>2</sup> (制約)</b><br>ゴールを必ず満たします。                                                                             | Serial<br>Parallel<br>Quadratic Overdose<br>Maximum Dose<br>Overdose DVH |
| <b>2<sup>nd</sup> Order Constraints<sup>3</sup> (制約)</b><br>1 <sup>st</sup> Order Constraints を満たした状態で、このゴールを満たそうとします。                               | Quadratic Underdose<br>Underdose DVH                                     |
| <b>1<sup>st</sup> Order Objectives<sup>4</sup> (目標)</b><br>1 <sup>st</sup> と 2 <sup>nd</sup> Constraints を満たした状態で、このゴールを達成しようとしています。                 | Target EUD<br>Target Penalty                                             |
| <b>2<sup>nd</sup> Order Objectives (目標)</b><br>1 <sup>st</sup> Order Objectives が満たされた時点で、再度、1 <sup>st</sup> Order Constraints に戻り、再度上記の順序で最適化を進めます。 | “Multi Criterial”のオプションが ON のコストファンクション                                  |

Constrained Optimization のコンセプトを、一例を用いて説明します。

---

<sup>2</sup> Dose limiting constraints (DLC)とも呼ばれます。

<sup>3</sup> Dose increasing constraints (DIC)とも呼ばれます。

<sup>4</sup> Dose increasing objectives (DIO)とも呼ばれます。

## 【ステージ 1】

ステージ 1 の計算後、[IMRT Constraints – Constrained]の画面で、Weight と Relative Impact の高いコストファンクションを確認します。**ステージ 1 の段階で、Weight が大よそ 1 になるように、そして、2 以上にならないように調整します。**そうすることにより、ステージ 2 で大幅に計画が崩れません。

| IMRT Constraints                                                                                |                    |                                     |        |                          |        |                     |                          |               |           |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------|--------------------------|--------|---------------------|--------------------------|---------------|-----------|-----------------|
| <div> <div>↑ ↓</div> <div>Pareto</div> <div>Constrained</div> <div>IMRT Parameters</div> </div> |                    |                                     |        |                          |        |                     |                          |               |           |                 |
| Structure                                                                                       | Cost Function      | Enabled                             | Status | Manual                   | Weight | Reference Dose (Gy) | Multicriterial           | Isoconstraint | Isoeffect | Relative Impact |
| PTVnx                                                                                           | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 72.000        | 71.420    |                 |
|                                                                                                 | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.02   | 73.000              |                          | 1.200         | 0.525     |                 |
| GTVnd(L)                                                                                        | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 68.000        | 68.835    |                 |
|                                                                                                 | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   | 69.000              |                          | 1.500         | 1.364     |                 |
| GTVnd(R)                                                                                        | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 68.000        | 68.831    |                 |
|                                                                                                 | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   | 69.000              |                          | 1.600         | 1.428     |                 |
| PTV1                                                                                            | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 60.000        | 60.401    |                 |
|                                                                                                 | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 3.26   | 61.000              |                          | 8.000         | 7.868     | ++++            |
| PTV2                                                                                            | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 54.000        | 55.169    |                 |
|                                                                                                 | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   | 55.000              |                          | 9.500         | 7.817     |                 |
| OR Brain Stem                                                                                   | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 4.48   |                     | <input type="checkbox"/> | 40.000        | 39.964    | ++++            |
| PRV-BS                                                                                          | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     | <input type="checkbox"/> | 50.000        | 44.564    |                 |
|                                                                                                 | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.09   |                     |                          | 60.000        | 61.791    | ++              |
| OR Spinal Cord                                                                                  | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     | <input type="checkbox"/> | 35.000        | 29.649    |                 |
| PRV-SC                                                                                          | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     | <input type="checkbox"/> | 42.000        | 36.914    |                 |
|                                                                                                 | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.10   |                     |                          | 54.000        | 54.414    | ++              |
| OR TP Lobe-L                                                                                    | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     |                          | 61.000        | 61.336    |                 |
|                                                                                                 | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     | <input type="checkbox"/> | 30.000        | 28.919    |                 |
| OR TP Lobe-R                                                                                    | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.31   |                     |                          | 61.000        | 61.025    | ++              |
|                                                                                                 | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     | <input type="checkbox"/> | 30.000        | 26.467    |                 |
| OR OP Nerve-L                                                                                   | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.80   |                     | <input type="checkbox"/> | 50.000        | 49.988    | +++             |
| OR OP Nerve-R                                                                                   | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 9.39   |                     | <input type="checkbox"/> | 50.000        | 49.929    | ++++            |
| OR Parotid-R                                                                                    | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 7.48   |                     | <input type="checkbox"/> | 35.000        | 32.701    | ++++            |
| OR Parotid-L                                                                                    | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 2.26   |                     | <input type="checkbox"/> | 35.000        | 31.521    | ++++            |
| Body                                                                                            | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   | 54.000              | <input type="checkbox"/> | 1.200         | 1.128     |                 |
|                                                                                                 | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.02   | 40.000              | <input type="checkbox"/> | 1.500         | 1.214     |                 |
|                                                                                                 | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.19   | 30.000              | <input type="checkbox"/> | 2.400         | 2.389     | ++              |
|                                                                                                 | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 5.14   |                     |                          | 77.000        | 76.725    | ++++            |

Isoconstraint はユーザーが指定した数値、Isoeffect は計算結果となります。Weight / Isoconstraint / Relative Impact を確認しながら調整を進めます。  
 ステージ 1 の計算結果に満足したら、ステージ 2 の計算に移ります。

## 【ステージ 2】

ステージ 2 の計算結果 ([DVH Statistics]) を確認します。ここでは、PTVnx が指定した線量より低かったとします。

| Statistics Display |              |                |                 |                 |       |        |      |               |                |              |
|--------------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-------|--------|------|---------------|----------------|--------------|
| Structure          | Volume (cm³) | Min. Dose (Gy) | Max. Dose (...) | Mean Dose (...) | Co... | Vol... | V... | Hot Ref. (Gy) | Volume > (...) | Volume > (%) |
| PTVnx              | 229.497      | 53.877         | 77.383          | 71.107          |       |        |      | <b>70.000</b> | 193.732        | 84.42        |
| GTVnd(L)           | 7.020        | 64.669         | 73.746          | 70.017          |       |        |      | <b>68.000</b> | 6.776          | 96.52        |
| GTVnd(R)           | 18.186       | 66.010         | 74.419          | 70.432          |       |        |      | <b>68.000</b> | 18.063         | 99.32        |
| PTV1               | 405.981      | 48.355         | 77.383          | 69.584          |       |        |      | <b>60.000</b> | 400.138        | 98.56        |
| PTV2               | 1025.391     | 31.697         | 77.383          | 65.782          |       |        |      | <b>54.000</b> | 1006.238       | 98.13        |
| OR Brain Stem      | 35.280       | 11.331         | 57.787          | 20.600          |       |        |      | <b>54.000</b> | 0.060          | 0.17         |

ここで、“Constrained Optimization”のコンセプトを思い出しましょう。

| IMRT Constraints                   |                    |                                     |        |                          |        |                     |                          |               |           |                 |
|------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------|--------------------------|--------|---------------------|--------------------------|---------------|-----------|-----------------|
| Pareto Constrained IMRT Parameters |                    |                                     |        |                          |        |                     |                          |               |           |                 |
| Structure                          | Cost Function      | Enabled                             | Status | Manual                   | Weight | Reference Dose (Gy) | Multicriterial           | Isoconstraint | Isoeffect | Relative Impact |
| PTVnx                              | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 72.000        | 65.276    |                 |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.02   | 73.000              |                          | 1.200         | 0.238     |                 |
| GTVnd(L)                           | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 68.000        | 67.379    |                 |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.84   | 69.000              |                          | 1.500         | 1.465     | +++             |
| GTVnd(R)                           | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 68.000        | 67.784    |                 |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.71   | 69.000              |                          | 1.600         | 1.545     | ++              |
| PTV1                               | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 60.000        | 57.715    |                 |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.43   | 61.000              |                          | 8.000         | 7.194     | ++              |
| PTV2                               | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 54.000        | 51.426    |                 |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.39   | 55.000              |                          | 9.500         | 9.197     | ++              |
| OR Brain Stem                      | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 32.64  |                     | <input type="checkbox"/> | 40.000        | 39.802    | ++++            |
| PRV-B5                             | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     | <input type="checkbox"/> | 50.000        | 43.252    |                 |
|                                    | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     |                          | 60.000        | 59.010    |                 |

上図から PTVnx の Isoeffect が Isoconstraint より低いことが分かります。(DVH Statistics で見た結果と同じ) 他のターゲットは指定した数値 (Isoconstraint) と大きな乖離を見せていないようです。Weight と Relative Impact も比較的低いです。

上記から、他のターゲットがそれぞれに影響を与えていないことが分かります。

一方、下図では OR Brain Stem の Weight と Relative Impact が非常に高いことに気付くかと思います。これは OR Brain Stem が PTVnx への線量を制限していることを明示しています。良く見てみると、OR OP Nerve と OR Parotid、Body も気になります。

| IMRT Constraints                   |                    |                                     |        |                          |        |                     |                          |               |           |                 |
|------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------|--------------------------|--------|---------------------|--------------------------|---------------|-----------|-----------------|
| Pareto Constrained IMRT Parameters |                    |                                     |        |                          |        |                     |                          |               |           |                 |
| Structure                          | Cost Function      | Enabled                             | Status | Manual                   | Weight | Reference Dose (Gy) | Multicriterial           | Isoconstraint | Isoeffect | Relative Impact |
| PTVnx                              | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 72.000        | 65.276    |                 |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.02   | 73.000              |                          | 1.200         | 0.238     |                 |
| GTVnd(L)                           | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 68.000        | 67.379    |                 |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.84   | 69.000              |                          | 1.500         | 1.465     | +++             |
| GTVnd(R)                           | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 68.000        | 67.784    |                 |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.71   | 69.000              |                          | 1.600         | 1.545     | ++              |
| PTV1                               | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 60.000        | 57.715    |                 |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.43   | 61.000              |                          | 8.000         | 7.194     | ++              |
| PTV2                               | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 54.000        | 51.426    |                 |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.39   | 55.000              |                          | 9.500         | 9.197     | ++              |
| OR Brain Stem                      | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 32.64  |                     | <input type="checkbox"/> | 40.000        | 39.802    | ++++            |
| PRV-B5                             | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     | <input type="checkbox"/> | 50.000        | 43.252    |                 |
|                                    | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     |                          | 60.000        | 59.010    |                 |
| OR Spinal Cord                     | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     | <input type="checkbox"/> | 35.000        | 33.231    |                 |
| PRV-SC                             | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     | <input type="checkbox"/> | 42.000        | 37.288    |                 |
|                                    | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.11   |                     |                          | 54.000        | 54.034    | +               |
| OR TP Lobe-L                       | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.32   |                     | <input type="checkbox"/> | 61.000        | 61.561    | ++              |
|                                    | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 3.09   |                     | <input type="checkbox"/> | 30.000        | 30.154    | +++             |
| OR TP Lobe-R                       | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 2.03   |                     | <input type="checkbox"/> | 61.000        | 61.686    | +++             |
|                                    | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                     | <input type="checkbox"/> | 20.000        | 28.410    |                 |
| OR OP Nerve-L                      | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 2.06   |                     | <input type="checkbox"/> | 50.000        | 50.053    | +++             |
| OR OP Nerve-R                      | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 16.97  |                     | <input type="checkbox"/> | 50.000        | 49.801    | +++             |
| OR Parotid-R                       | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 229.01 |                     | <input type="checkbox"/> | 35.000        | 35.978    | ++++            |
| OR Parotid-L                       | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 77.48  |                     | <input type="checkbox"/> | 35.000        | 35.518    | ++++            |
| Body                               | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 45.60  | 54.000              | <input type="checkbox"/> | 1.200         | 1.220     | ++++            |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.08   | 40.000              | <input type="checkbox"/> | 1.500         | 1.266     | +               |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 11.96  | 30.000              | <input type="checkbox"/> | 2.400         | 2.281     | +++             |
|                                    | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 79.90  |                     |                          | 77.000        | 77.027    | ++++            |

この例では、出来る限り OAR を犠牲にせず、ターゲットへの線量を調整できるか試みます。Body の Quadratic Overdose (Weight = 45.60) を見てみましょう。このコストファンクションは Body の線量を制御しており、PTVnx に隣接しているため、PTVnx に強く影響していることが予測できます。

では、RMS Dose Excess を若干緩めてみましょう。

The screenshot shows the Monaco TIPS software interface. The 'Quadratic Overdose' dialog box is open, showing the 'Required Parameters' section with 'Maximum Dose (Gy)' set to 54.000 and 'RMS Dose Excess (Gy)' set to 1.200. The 'Optional Physical Parameters' section shows 'Shrink Margin (cm)' set to 0.00. The 'Statistics' table is also visible, showing the 'Body' structure with a 'Weight' of 2.85 and a 'Relative Impact' of +++.

| Structure        | Volume (cm³) | Min. Dose (Gy) | Max. Dose (Gy) | Mean Dose (Gy) | Co... (Gy) | Vol... (Gy) | V... (Gy) | Hot Ref. (Gy) | Volume > (Gy) | Volume > (%) | % in Volume |
|------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|------------|-------------|-----------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| PTVnx            | 229.497      | 54.816         | 77.784         | 71.806         |            |             |           | 70.000        | 209.101       | 91.11        | 100.00      |
| GTVnd(L)         | 7.020        | 65.899         | 74.546         | 69.994         |            |             |           | 68.000        | 6.792         | 96.75        | 100.00      |
| GTVnd(R)         | 18.186       | 65.215         | 73.970         | 70.460         |            |             |           | 68.000        | 18.056        | 99.29        | 100.00      |
| PTV1             | 405.981      | 48.671         | 77.784         | 70.309         |            |             |           | 60.000        | 401.495       | 98.90        | 100.00      |
| PTV2             | 1025.391     | 31.435         | 77.784         | 66.411         |            |             |           | 54.000        | 1009.713      | 98.47        | 100.00      |
| OR Brain Stem    | 35.280       | 11.251         | 58.601         | 29.529         |            |             |           | 54.000        | 0.079         | 0.22         | 100.00      |
| PRV-BS           | 42.987       | 11.068         | 64.186         | 30.719         |            |             |           | 60.000        | 0.049         | 0.11         | 100.00      |
| OR Spinal Cord   | 15.306       | 7.886          | 44.501         | 26.231         |            |             |           | 45.000        | 0.000         | 0.00         | 100.00      |
| PRV-SC           | 65.874       | 2.384          | 56.361         | 27.240         |            |             |           | 54.000        | 0.004         | 0.01         | 100.00      |
| OR TP Lobe-L     | 91.215       | 2.655          | 69.185         | 21.357         |            |             |           | 60.000        | 0.813         | 0.89         | 100.00      |
| OR TP Lobe-R     | 105.831      | 1.448          | 75.877         | 24.477         |            |             |           | 60.000        | 8.606         | 8.13         | 100.00      |
| OR OP Nerve-L    | 0.375        | 34.776         | 57.871         | 45.992         |            |             |           |               |               |              | 100.00      |
| OR OP Nerve-R    | 0.411        | 41.087         | 58.004         | 49.050         |            |             |           |               |               |              | 100.00      |
| OR Parotid-R     | 22.158       | 21.202         | 74.269         | 45.239         |            |             |           |               |               |              | 100.00      |
| OR Parotid-L     | 25.128       | 17.968         | 70.519         | 40.541         |            |             |           |               |               |              | 100.00      |
| Body(Unsp.Tiss.) | 6306.819     | 0.094          | 72.817         | 20.248         |            |             |           |               |               |              | 99.72       |

| Structure | Serial             | Enabled | Status | Manual | Weight | Reference Dose (Gy) | Multicriterial | Isoconstraint | Isoeffect | Relative Impact |      |
|-----------|--------------------|---------|--------|--------|--------|---------------------|----------------|---------------|-----------|-----------------|------|
| Body      | Quadratic Overdose | On      | On     |        | 2.85   | 54.000              |                |               | 1.500     | 1.416           | +++  |
|           | Quadratic Overdose | On      | On     |        | 0.01   | 40.000              |                |               | 1.500     | 1.403           | +++  |
|           | Quadratic Overdose | On      | On     |        | 20.86  | 30.000              |                |               | 2.400     | 2.374           | +++  |
|           | Maximum Dose       | On      | On     |        | 34.80  |                     |                |               | 77.000    | 77.025          | ++++ |

Body (54Gy) の Weight と Relative Impact が下がり、PTVnx の線量が改善したことが分かります。他に気付くこととして、Body (30Gy) の Weight が上がっています。よって、次の手として Body (30Gy) の RMS Dose Excess を緩めることが考えられます。

このように、Body の線量調整を、許容できるポイントまで丁寧に進めます。

“Constrained Optimization”の特徴として、1<sup>st</sup> Order Constraints が必ず満たされます。これを念頭に置き、Weight、Isoeffect、Relative Impact からどの部分を調整すべきなのか確認します。

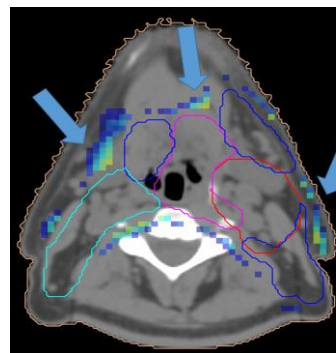


## Voxels and Structure Layering

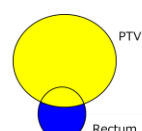
Monaco はボクセルベースの治療計画装置です。ボクセルとは Calculation Properties の Grid Spacing で指定されたサイズの立方体で、アイソセンターから線量計算の対象となる体積に広がります。Grid Spacing が小さければ、ボクセルの数が増えます。

Monaco では計画時に輪郭ごとではなく、ボクセルごとに線量をコントロールします。よって、一般的に言われる“ダミー”の輪郭が不要になり、更に、用意されている幾つかのボクセルベースのツールが計画時に有用な情報を視覚的にフィードバックしてくれます。

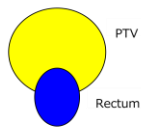
右図 (Grid Type : Variation) の例では、体輪郭に Quadratic Overdose の制約が掛かっています。黄色で表示されているボクセルは強く Quadratic Overdose が効いていることを示します (黄 (強) → 青 (弱))。よって、この制約をゆるめると、黄色くなっている領域に線量が流れていきます。



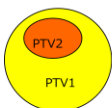
どの輪郭が、どのボクセルを所有するかは、ランキングシステムで決定します。[IMRT Constraints]の画面で上にある輪郭 (Structure) が優先的にボクセルを所有します。



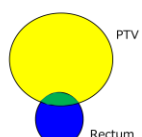
1. PTVがRectumより上段にある場合



2. Rectum がPTVより上段にある場合



3. PTV2がPTV1より上段にある場合



2a. Rectum の "optimized over all voxels"をONにした場合

| IMRT Constraints |                |                    |                                     |
|------------------|----------------|--------------------|-------------------------------------|
|                  | Structure      | Cost Function      | Enabled                             |
|                  | PTVnx          | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | GTVnd(L)       | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | GTVnd(R)       | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | PTV1           | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | PTV2           | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | OR Brain Stem  | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | PRV-B5         | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | OR Spinal Cord | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | PRV-SC         | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | OR TP Lobe-L   | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | OR TP Lobe-R   | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | OR OP Nerve-L  | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | OR OP Nerve-R  | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | OR Parotid-R   | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | OR Parotid-L   | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  | Body           | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  |                | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> |
|                  |                | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> |

Structure のランキングシステムはボクセルの所有権の優先順位であり、最適化時の優先順位ではありません。

2a は Rectum に Optimize over all voxels のチェックがついている時の例になります。重なっている領域において PTV と Rectum の両方のコストファンクションが適用されますが、1st Order Constraints のコストファンクションを適用している Rectum が最適化時には優先されます。

重なる領域がある場合において、Structure の優先順位はこうあるべきだというルールはありません。上図の 1、2、もしくは 2a を選択した場合、コストファンクションのパラメータはそれぞれのケースで変わります。[IMRT Constraints-Constrained]の画面の Weight や Relative Impact から設定しているパラメータが妥当であるかは判断できます。

## Biological Optimization

Monaco は等価均一線量（Equivalent Uniform Dose ~ EUD）を用いて、線量が与える臓器への体積効果を考慮します。臓器が受けた不均一な線量を、同じ放射線生物学的効果を与える均一な線量にしたものが EUD です。臓器が不均一な線量 A、もしくは B を受けた場合、どちらも、同じ EUD になることも考えられます。Monaco は、Isoconstraint を指定した EUD、Isoeffect を計算した EUD として表示します。

放射線の生物学的効果（正常臓器）は 2 つタイプがあります。

Serial OAR : 臓器のどの領域でも最大線量（もしくはそれ以上）を受けた場合、臓器の機能を失う（例：脊髄）

チェーンが比喻として良く用いられます。チェーンが切れたら、チェーンとしての機能を失います。

Parallel OAR : 臓器の特定の体積（もしくはそれ以上）が特定の線量を受けた場合、臓器の機能を失う、もしくは対の臓器は一方が機能を失っても、もう一方で機能を補う（例：肺・腎臓）

ロープが比喻として良く用いられます。糸が数本きれても、ロープとして機能することが可能です。

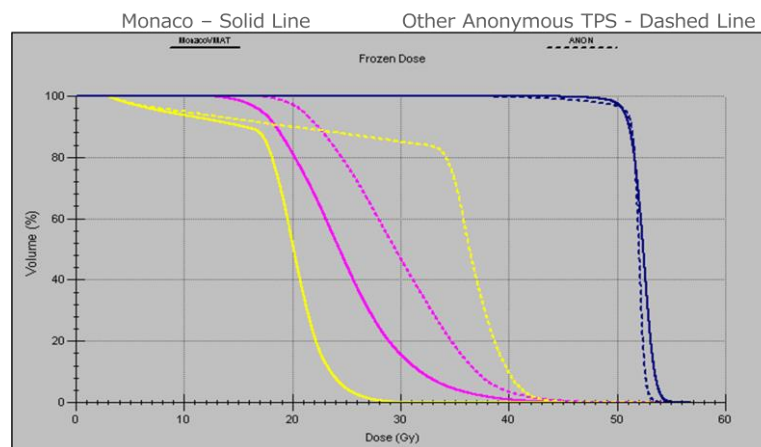
コストファンクションの Serial と Parallel は上記の 2 つのタイプの臓器の特徴をベースにしており、EUD の計算条件もタイプにより異なります。

臓器のタイプがコストファンクションに直結するということではありません。Serial OAR の直腸の高線量を Serial で、体積効果を Parallel で、というように両方のコストファンクションを活用することができます。

以下で Serial と Parallel コストファンクションの特徴を説明します。

**Serial :** 最大線量を超えないようにコントロールし、高線量を落とすように最適化します。

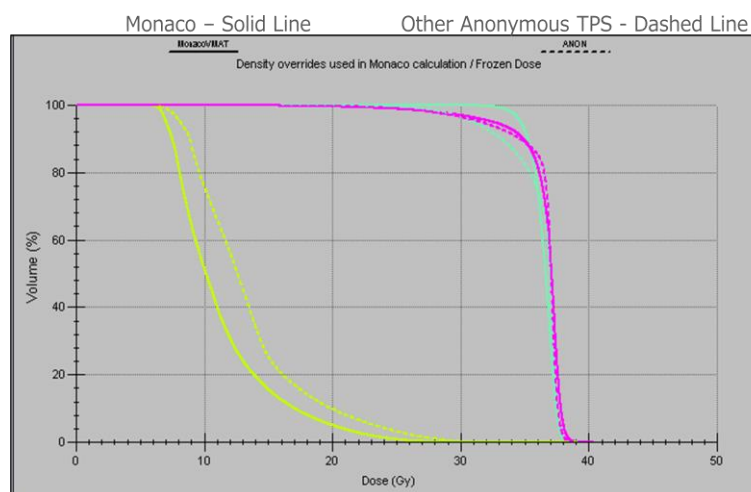
Monaco (実線) と他 TPS (点線) の比較



Serial コストファンクション が高線量を押さえ込んでいるのが分かります。ターゲットの線量はおよそ同じです。Isoconstraint / Isoeffect は EUD を示します。

**Parallel :** 特定の体積への線量をコントロールし、ターゲットと重なってしまっている領域には高線量を許容するように最適化します。

Monaco (実線) と他 TPS (点線) の比較



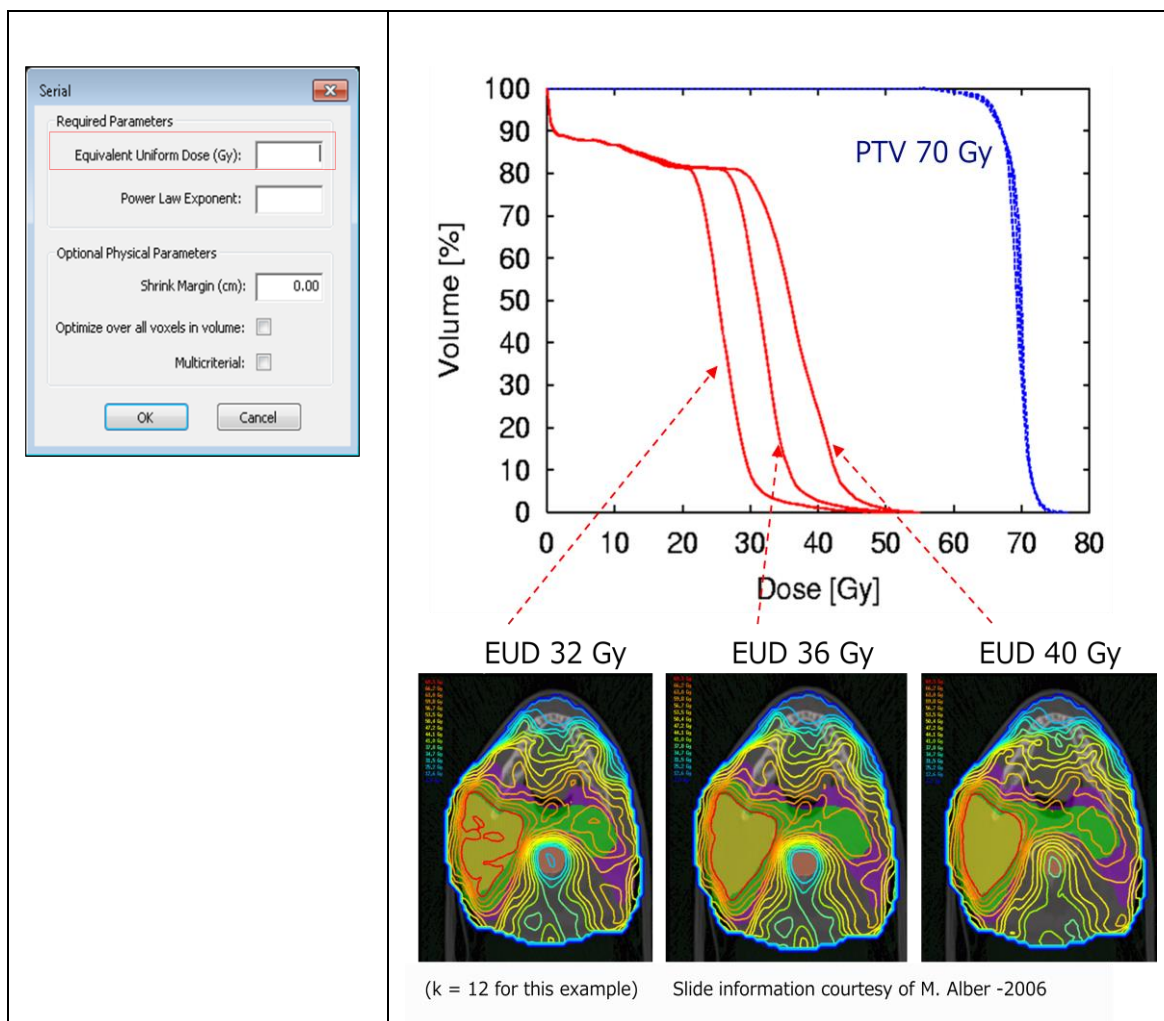
膀胱への線量を全体的にコントロール、ターゲットへの線量もコントロールできています。Isoconstraint / Isoeffect は体積を示します。

## コストファンクション

計画で主に使われるコストファンクションを紹介します。

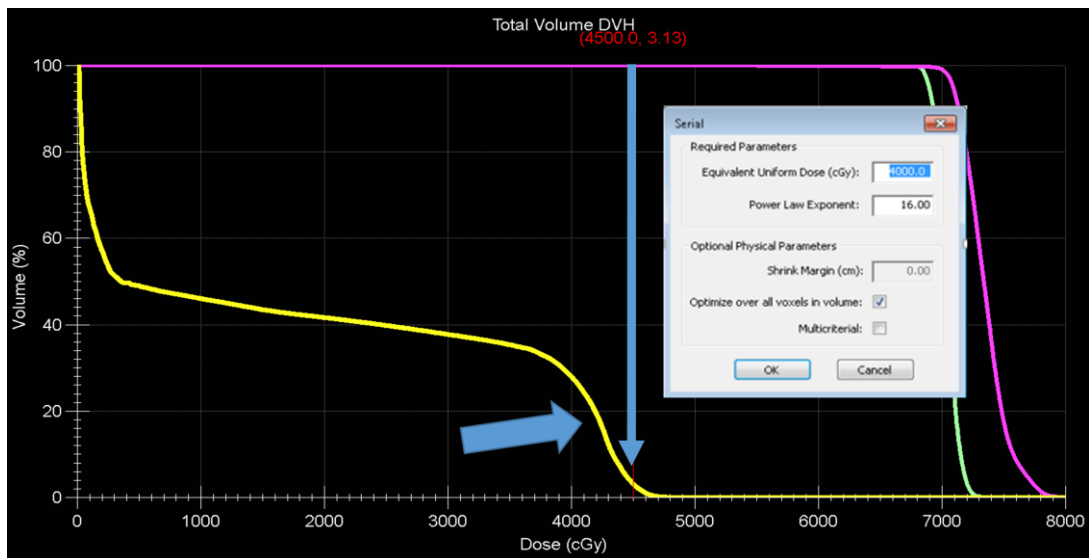
### Serial

Serial で設定する EUD は最大線量そのものではありません<sup>5</sup>。指定する EUD は臓器全体への線量効果となります。以下は、EUD を下げたことによる DVH への影響を图示しています。EUD を下げれば、最大線量も下がります。

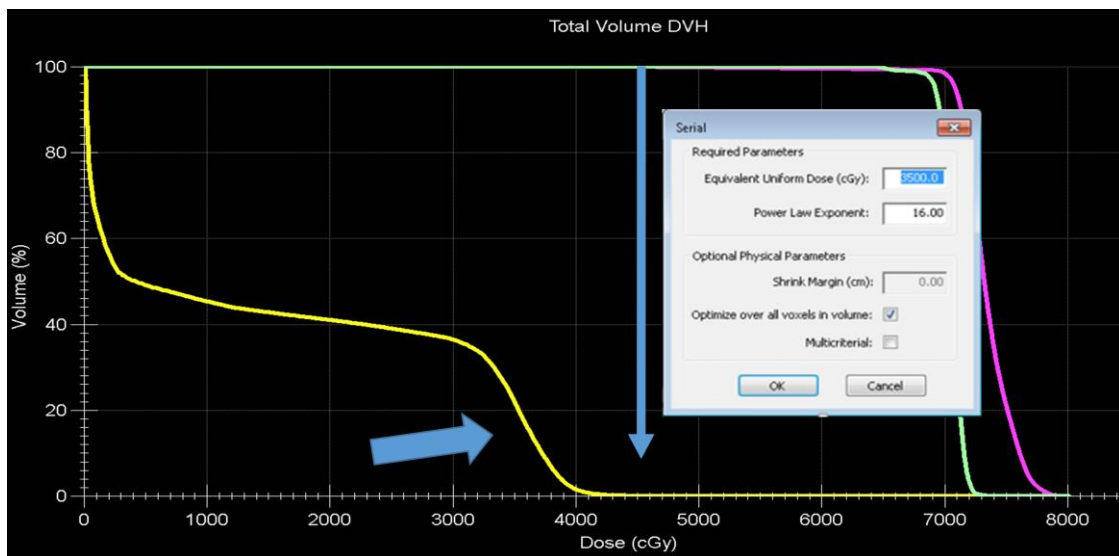


<sup>5</sup> EUD は許容する最大線量よりも低めに設定する必要があります。

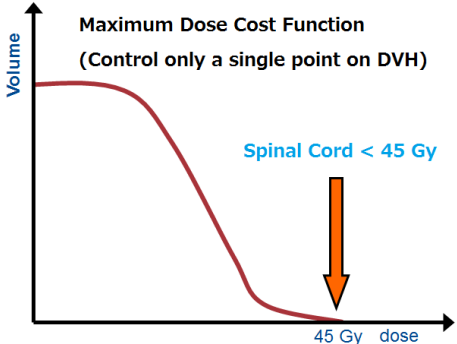
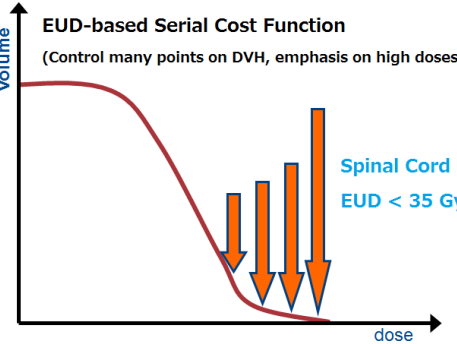
EUD = 4000 cGy



EUD=3500 cGy

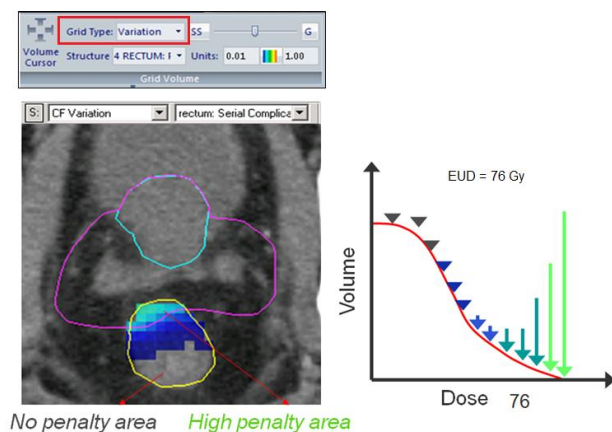


EUD を下げたことにより、高線量が下がっていることが分かります。

| 物理的コストファンクション<br>(Maximum Dose)                                                                                                                                                                              | EUD ベースのコストファンクション<br>(Serial)                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>Maximum Dose Cost Function<br/>(Control only a single point on DVH)</p> <p>Spinal Cord &lt; 45 Gy</p> <p>45 Gy dose</p> |  <p>EUD-based Serial Cost Function<br/>(Control many points on DVH, emphasis on high doses)</p> <p>Spinal Cord EUD &lt; 35 Gy</p> <p>dose</p> |
| <p>物理的コストファンクションのイメージが上図に示されています。脊髄の「最大線量=45Gy」であると指示を出しています。同様の指示は Monaco でも与えることができます。</p>                                                                                                                 | <p>EUD ベースの Serial コストファンクションのイメージが上図に示されています。脊髄の「EUD=35Gy」であると指示を出しています。</p> <p>適切な EUD を選択することにより、最大線量のみならず、高線量域への線量を落とせます。</p>                                                                                               |

上記の DVH に示した矢印はあくまでも“イメージ”ですが、ボクセルベースのツール (Variation) を使うと、計画時にこの強弱を確認することが出来ます。

ボクセル (もしくは DVH の矢印) の色が灰色→青→緑→黄緑になるにつれて、コストファンクションの影響が強くなっていることを示しています。直腸<sup>6</sup>と PTV が重なっているボクセルにはコストファンクションが強く、ボクセルが

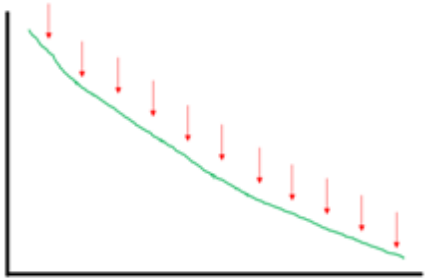
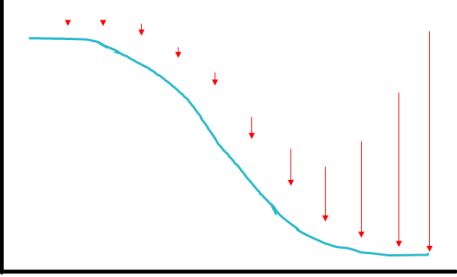
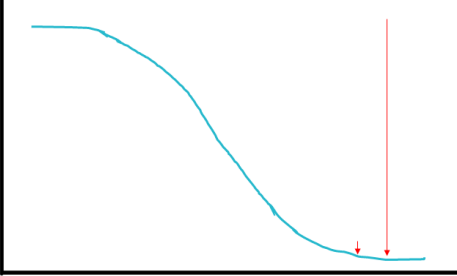


<sup>6</sup> この場合、直腸のコストファンクションの Optimize over all voxels in volume にチェックが入っています。

PTV から離れるにつれコストファンクションの効果が弱くなっています。

DVH の**形状**は、Power Low Exponent<sup>7</sup> (PLE) 使ってコントロールします。

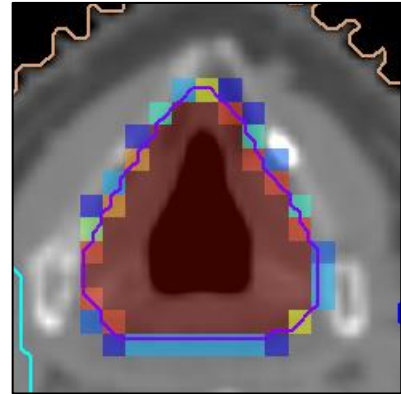
入力できる数値は 1~20 です。PLE の数値の効果を以下のテーブルにまとめました。

| PLE の数値                                                                                               | 効果                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>PLE=1.0</p> <p>EUD が平均線量になるような効果をもたらします。</p> <p>臓器への平均線量をコントロールしたい場合は、EUE = 平均線量、PLE=1.0 にします。</p> |    |
| <p>PLE=10.0</p> <p>線量が高い領域に強く効果が出ます。</p>                                                              |   |
| <p>PLE=20.0</p> <p>物理的コストファンクション (Maximum Dose) のような効果をもたらします。</p>                                    |  |

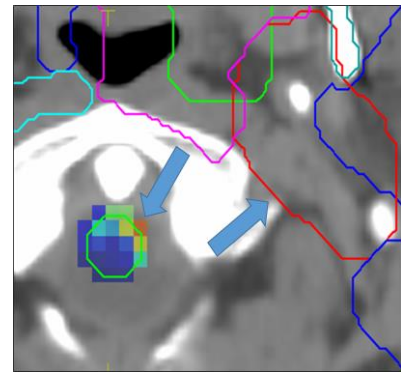
<sup>7</sup> 'K' value と呼ばれます。



前頁に  $PLE \neq 1.0$  の例（直腸）を示しましたが、同様のツールを使って、 $PLE=1.0$  に設定した場合を見てみましょう。右図は喉頭の例ですが、ストラクチャーに均一<sup>8</sup>に効いているのが分かります。直腸の例とちがい、ストラクチャー内に強弱がありません。



右図の脊椎は PLE を高く設定した例です。高線量をコントロールしようとし、ターゲットに近いボクセルに強くコストファンクションが作用します。



最大線量もしくは平均線量はそれぞれ  $PLE = 12 \sim 14$  と  $PLE = 1$  を使うことにより達成できます。

---

<sup>8</sup> 輪郭の縁のボクセルはボクセル内で再分割され、喉頭として占領される割合が算出されます。コストファンクションはその割合をベースにコストファンクションが縁のボクセルに適用されます。



Parallel

Parallel では、Reference Dose<sup>9</sup>と Mean Organ Damage<sup>10</sup>を指定します。

Parallel

Required Parameters

Reference Dose (Gy):

30.000

Mean Organ Damage (%):

50.00

Power Law Exponent:

Optional Physical Parameters

Shrink Margin (cm):

0.00

Optimize over all voxels in volume:

☐

Multicriterial:

☐

OK

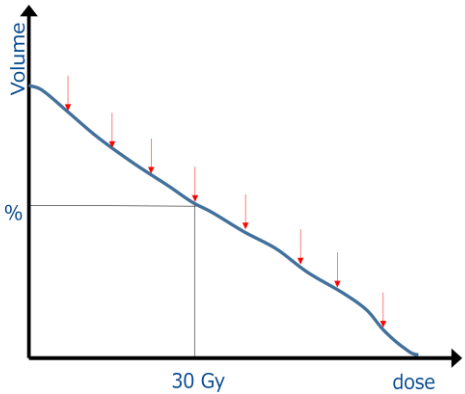
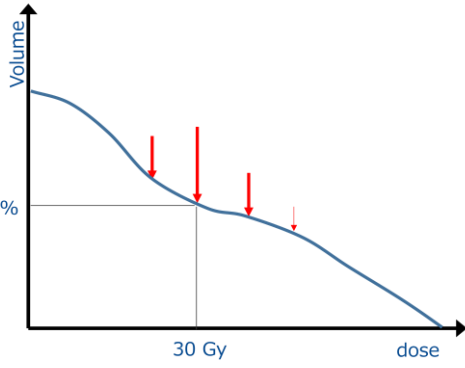
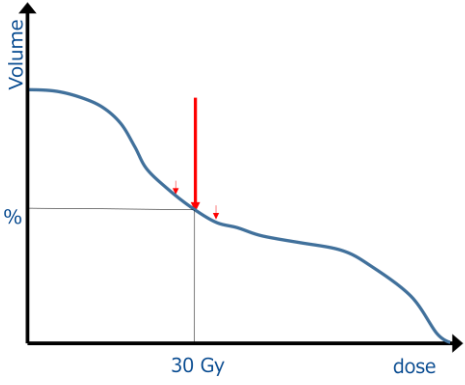
Cancel

| 物理的コストファンクション                                                                                                                                                                                                                                 | EUD ベースのコストファンクション (Parallel)                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div><div><div>DVH Cost Function</div><div>(Physical-Control only a single point on DVH)</div><div><div><div>Volume</div><div>50 %</div><div>30 Gy</div><div>dose</div></div><div><div>50% of Parotid &lt; 30Gy</div></div></div></div></div> | <div><div><div>EUD-baesd parallel Cost Function</div><div>(Control many points on DVH, emphasis on <i>mean</i> dose)</div><div><div><div>Volume</div><div>50 %</div><div>30 Gy</div><div>dose</div></div><div><div></div></div></div></div></div> |
| 物理的コストファンクションのイメージが上図に示されています。DVH 上の指定した 1 点のみにコントロールします。                                                                                                                                                                                     | EUD ベースの Parallel コストファンクションのイメージが上図に示されています。DVH の広範囲をコントロールします。                                                                                                                                                                                  |

<sup>9</sup> EUD を示します。

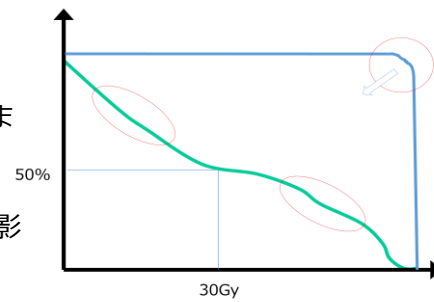
<sup>10</sup> 臓器の機能に支障が出る平均体積をパーセントで指定します。

Reference Dose と Mean Organ Damage の他に、Power Law Exponent でコストファンクションの形状（上図の矢印の長さ）を調整します。PLE には 0.1 単位で 1.0~4.0 を入力できます。

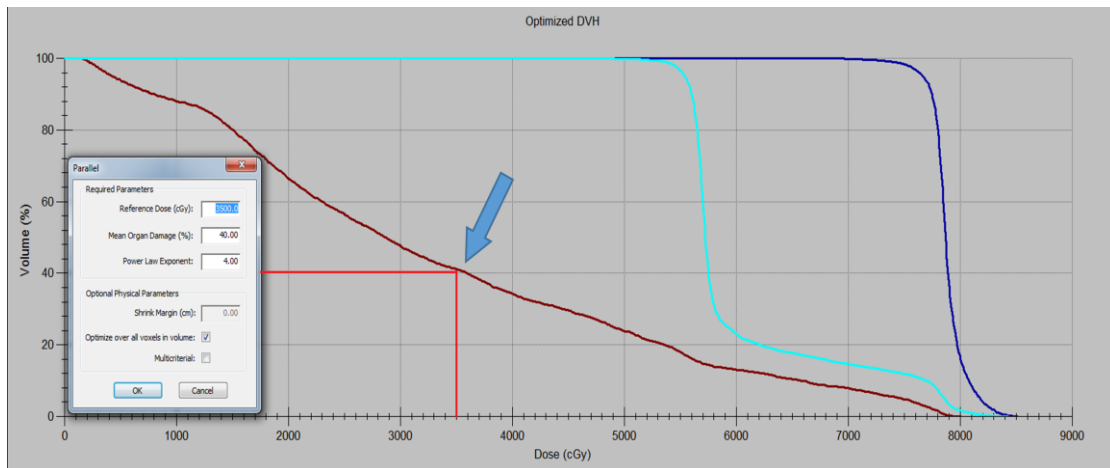
| PLE の数値                                                                                                                                                              | 効果（Reference Dose = 30 Gy, Mean Organ Damage = 50%の場合）                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>PLE=1.0</p> <p>EUD が平均線量になるような効果をもたらします。</p>                                                                                                                      |    |
| <p>PLE=2.0</p> <p>指定した Reference Dose / Mean Organ Damage のポイントとそのポイントの前後（低線量と高線量）に適用されます。均一ではなく、Reference Dose / Mean Organ Damage のポイントを中心にコストファンクションが強く作用します。</p> |   |
| <p>PLE=4.0</p> <p>指定した Reference Dose / Mean Organ Damage のポイントに強く適用され、物理的コストファンクションと同様の効果をもたらします。</p>                                                               |  |

Parallel を使用するにおいて、ターゲットへの影響を理解する必要があります。

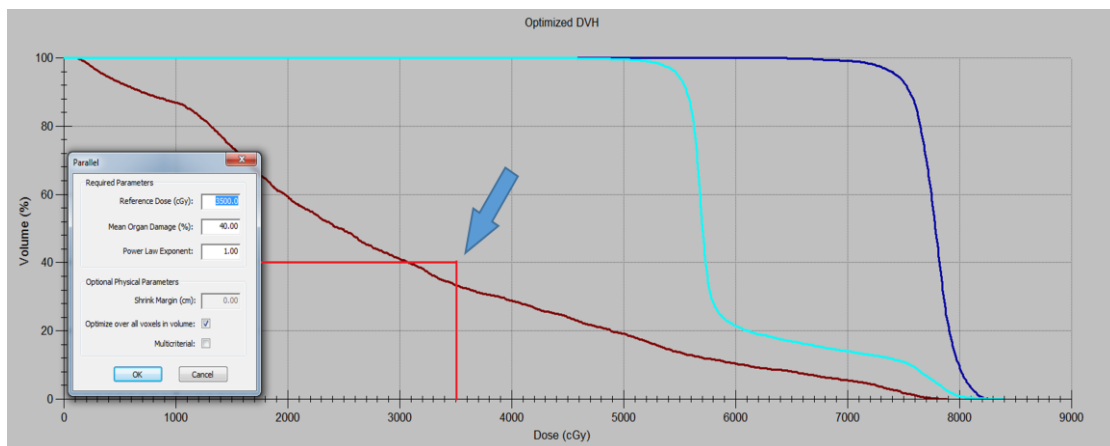
PLE を低く設定した場合、Reference Dose / Mean Organ Damage のポイントの前後の線量が低くなります。右図で示している通り、PLE を低くしたことにより、全体的に線量が落ち、ターゲットのカバレッジに影響<sup>11</sup>が出やすくなります。



Reference Dose = 3500 cGy、Mean Organ Damage = 40%、**PLE = 4.0**



Reference Dose = 3500 cGy、Mean Organ Damage = 40%、**PLE = 1.0**



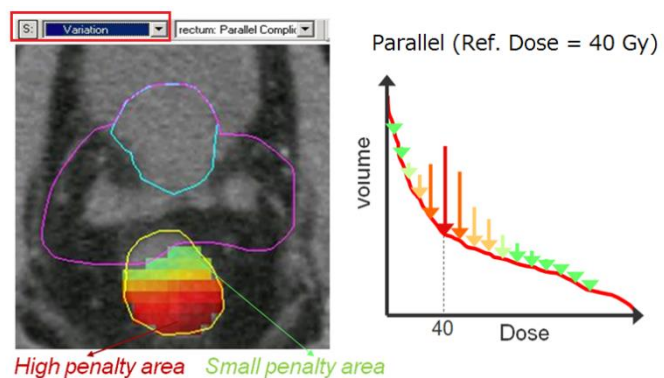
PLE を下げたことにより、OAR への平均線量は良くなるが、ターゲットのカバレッジが悪くなっていることが分かります。高線量の領域にもコストファンクションが適用されてしまいます。

<sup>11</sup> この影響は[IMRT Constraints - Constrained]の画面に表示される Weight もしくは Relative Impact で確認できます。

PLE の低い Parallel は使いにくい、という印象を持つかもしれませんが、肺のような体積の大きい臓器の V5, V10, V20 を満たしたい時に効果的です。一方で、ターゲットと隣接する耳下腺のように、ある DVH 上の特定のポイント（線量・体積）を満たしたい場合は、PLE を高い数値（4.0、3.9、3.8）に設定することにより、制約が達成されます。

以下はボクセルベースツール（Variation）を使って、PLE の影響を目視化した例になります。

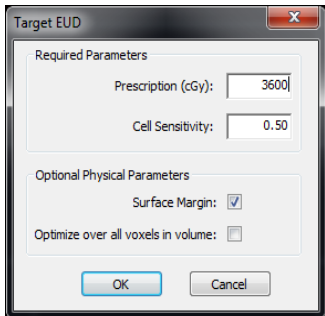
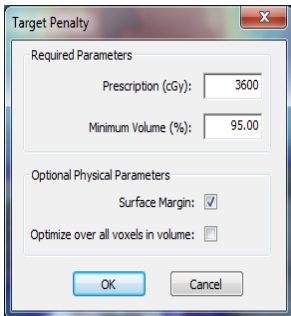
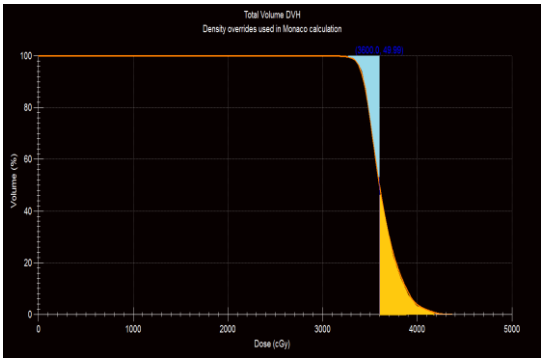
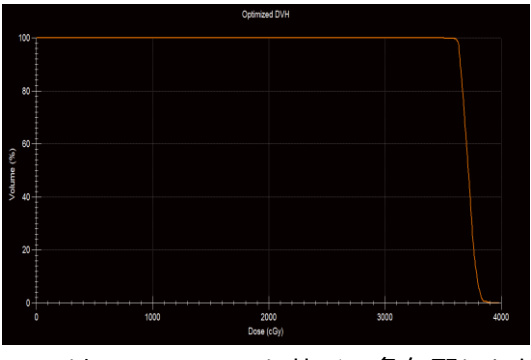
ボクセル（もしくは DVH の矢印）の色が緑→黄→オレンジ→赤になるにつれて、コストファンクションの影響が強くなっていることを示しています。Optimize over all voxels in volume がチェックされていない為、直腸と PTV が重なっているボクセルには、コストファンクションが適用されていません。



Serial と Parallel は DVH の形状そのものをコントロールします。望ましい DVH の形状をイメージして、コストファンクションの EUD（もしくは体積）と PLE を駆使することによって、これらは、パワフルなツールになります。

次にターゲットに適用するコストファンクションを紹介します。ターゲットには EUD ベースと物理的コストファンクションが用意されています。

## Target EUD / Target Penalty

| Target EUD <sup>12</sup>                                                                                                                                                                         | Target Penalty                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EUD ベースコストファンクション                                                                                                                                                                                | 物理的コストファンクション                                                                                                                                            |
| <p>Cell Sensitivity を高くすると、“Prescription”より低い線量の体積は小さくなるが、併用する 1st Order Constraints の制約により目標に達しない場合があります。</p>  | <p>物理的コストファンクションのため、指定した Prescription と Minimum Volume に制約が掛かります。</p>  |
|                                                                                                               |  <p>DVH は Target EUD に比べて急勾配になります。</p>                               |
| <p>ターゲットと OAR が隣接しているようなケースではあまり効果的なコストファンクションとは言えません。</p> <p>比較的にシンプルでターゲットに対しての最大線量に制約がない場合（例：SBRT）は効果的なコストファンクションです。</p>                                                                      | <p>プランが複雑な場合、非常に効果的なコストファンクションです。</p> <p>Minimum Volume % を上げることにより、更なる効果が望めます。</p>                                                                      |

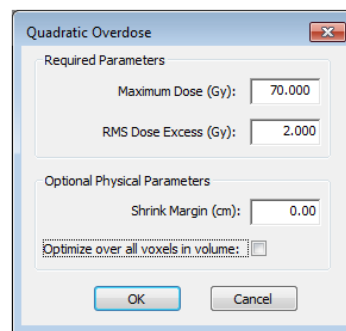
<sup>12</sup>腫瘍へ不均一に照射した場合に均一に照射した際と同じ細胞の生存数をもたらす線量

Target EUD に比べて、Target Penalty を活用することの方が多くでしょう。

## Quadratic Overdose

Quadratic Overdose は Maximum Dose と RMS<sup>13</sup> Dose Excess でコントロールします。RMS Dose Excess は線量の許容量と考えられます。最適化時にある程度の自由度を持たせる事が可能です。

Quadratic Overdose を適用しているターゲットが 4 つのボクセルで構成されていると想定します。この場合、それぞれのボクセルが 70 Gy (Maximum Dose)より、2, 4, 2, 2 Gy 高くなっています。RMS は 2.65 Gy になり、2 Gy (RMS Dose Excess)を超えている為、Monaco は更なる最適化を進めます。



|       |       |
|-------|-------|
| 72 Gy | 74 Gy |
| 72 Gy | 72 Gy |

$$RMS = \sqrt{\frac{(2^2 + 4^2 + 2^2 + 2^2)}{4}} = 2.65 \text{ Gy}$$

以下は、Target Penalty のみ（実線）と Quadratic Overdose を併用した場合（点線）の違いを示しています。Quadratic Overdose が高線量をコントロールしているのが分かります。RMS は下図の白い円のカーブしている領域のサイズをコントロールする役割があります。（あくまでもイメージです）

---

<sup>13</sup> Root Mean Square（二乗平均平方根）



妥当な RMS を設定しているかは、[IMRT Constraints - Constrained]の画面に表示される Weight もしくは Relative Impact で確認できます。

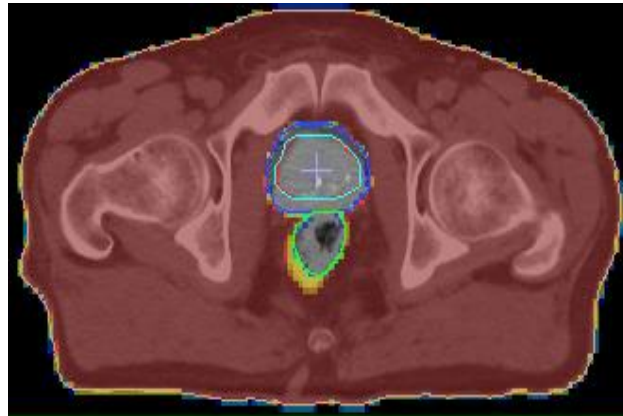
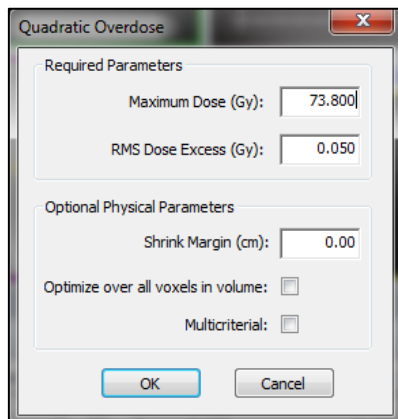
Quadratic Overdose はターゲットのみならず、患者への線量もコントロールすることができます。幾つかの Shrink Margin の違う Quadratic Overdose を使うことにより、線量移行領域に使うことができます。

3 つの Quadratic Overdose を使った場合の例を説明します。

|         |                    |                                     |    |                          |      |        |                          |       |       |     |
|---------|--------------------|-------------------------------------|----|--------------------------|------|--------|--------------------------|-------|-------|-----|
| patient | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On | <input type="checkbox"/> | 0.10 | 73.800 | <input type="checkbox"/> | 0.050 | 0.000 | +++ |
|         | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On | <input type="checkbox"/> | 0.10 | 54.000 | <input type="checkbox"/> | 0.100 | 0.050 | +++ |
|         | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On | <input type="checkbox"/> | 0.10 | 36.000 | <input type="checkbox"/> | 0.100 | 0.050 | +++ |

# 1 患者のボクセル全てに適用されているのが分かります。(ターゲットの縁まで 73.8Gy 入って欲しい)

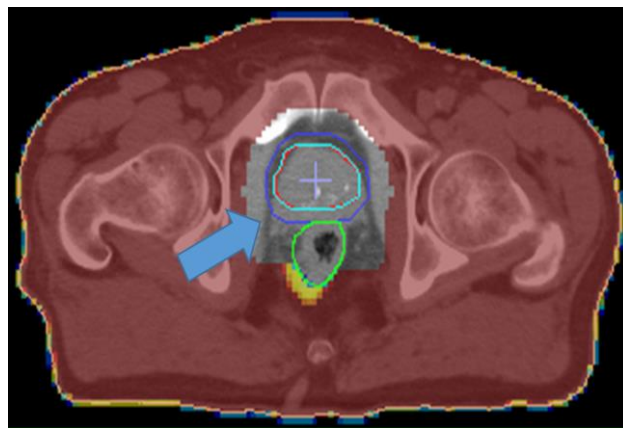
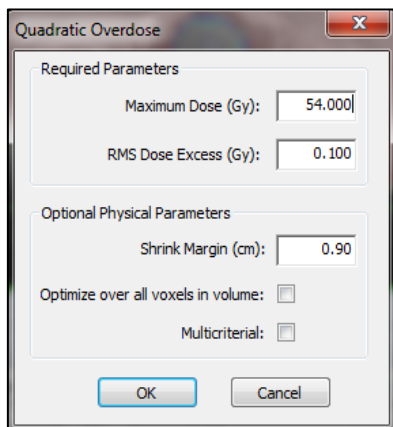
- Maximum Dose = ターゲット線量
- RMS Dose Excess は小さめにする。
- Shrink Margin = 0



右図は CF Occupancy です。

#2 Target の縁から 0.9cm の領域でボクセルが取り除かれています。患者のボクセル全てではなく、着色されたボクセルのみにこのコストファンクションが適用されます。(ターゲットの縁から 0.9cm の領域で、線量を 73.8Gy から 54.0Gy に落としたい)

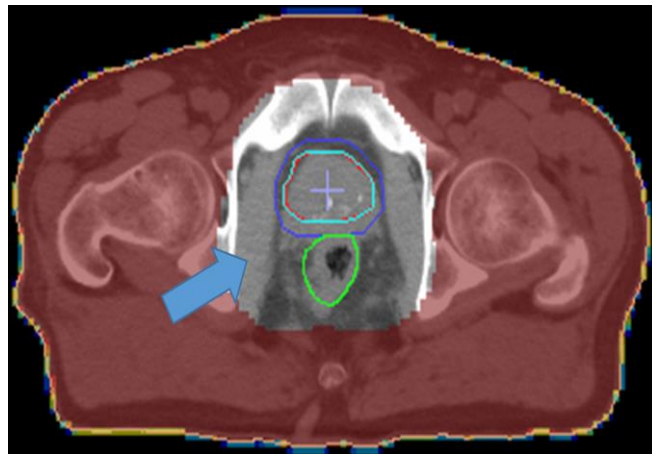
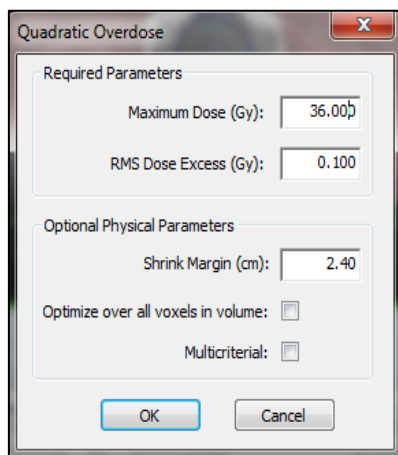
- Maximum Dose = ターゲット線量より少なめ
- RMS Dose Excess = 0.100
- Shrink Margin = 0.9



#3 患者のボクセル全てではなく、着色されたボクセルのみにこのコストファンクションが適用されます。(ターゲットの縁から 2.4cm の領域で、線量を 73.8Gy から 36.0Gy に落としたい)

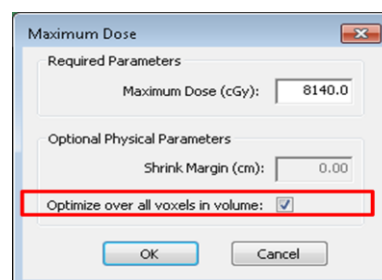
- Maximum Dose = #2 の Maximum Dose より少なめ
- RMS Dose Excess = 0.100
- Shrink Margin = 2.4





## Maximum Dose

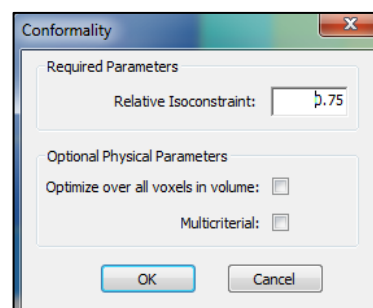
体輪郭に生じるグローバルの最大線量を制御するために Optimize over all voxels in volume を ON にして使います。



|         |                    |                                     |    |                          |       |        |                          |        |        |      |
|---------|--------------------|-------------------------------------|----|--------------------------|-------|--------|--------------------------|--------|--------|------|
| Patient | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On | <input type="checkbox"/> | 0.02  | 6000.0 | <input type="checkbox"/> | 50.0   | 50.2   |      |
|         | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On | <input type="checkbox"/> | 0.68  | 4500.0 | <input type="checkbox"/> | 130.0  | 134.7  | ++   |
|         | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On | <input type="checkbox"/> | 63.11 | 3800.0 | <input type="checkbox"/> | 140.0  | 158.4  | ++++ |
|         | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On | <input type="checkbox"/> | 2.70  |        | <input type="checkbox"/> | 8140.0 | 8038.9 | +++  |

## Conformality

Conformality のコストファンクションを使う目的は、1 つまたは複数のターゲットに密着するように高線量領域を形成することにあります。幾つかの Quadratic Overdose を Shrink Margin と組み合わせて、高線量が体輪郭に流れ込むのを抑えることもできますが、このコストファンクションは同様の効果を出すことができます。



- ターゲットから離れているボクセルに線量が入らないように強く制約を掛けることにより、必然的にターゲットが高線量領域となります。
- “Optimize over all voxels in volume”をチェックしない場合は、ターゲットの縁から 4cm、チェックした場合は 8cm の領域にこのコストファンクションが適用されます。
- Relative Isoconstraint はこのコストファンクションの“強さ”を表すもので、0.1 から 1.0 を入力できます。数値が低いほど、ボクセルへの制約が強く掛かります。まずは 0.75 ぐらいを入力し、必要に応じて数値を下げながら、効果を強めます。
- シングルターゲット（例：前立腺、直腸、肛門、肺）や定位照射の場合に使うのが効果的です。
- 複雑なプラン（例：頭頸部）では効果的ではありません。

## その他機能と設定

その他の機能と設定をご紹介します。

### Monte Carlo (Calculation Properties)

モンテカルロはより小さなホットスポットを生み出す傾向にあります。

“使用適用範囲は  $0 \sim 3\text{g}/\text{cm}^3$  ではあるものの、患者 CT および CT-ED テーブルにより、 $15\text{g}/\text{cm}^3$  までの RED 値が生成されます。ユーザーは、適用範囲外の値を用いることにより、線量計算に誤差が生じることを理解しておく必要があります。<sup>14)</sup>”

- ・ 高密度のストラクチャー内もしくは付近に生じる最大線量はある程度の誤差を有しています。
- ・ これらの“偽”ホットスポットに惑わされて、コストファンクションの制約を強く掛け、計画の品質を損なわないよう注意する必要があります。

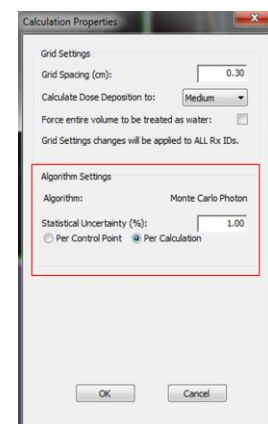
[Calculation Properties]の画面で設定できる Statistical Uncertainty<sup>15)</sup>は 2 つのオプションがあります。

#### ○Per Control Point

セグメント単位のボクセルごとの統計的不確実性をパーセントで表した数値

#### ○Per Calculation

計算ごとの統計的不確実性をパーセントで表した数値



- ・ 履歴数が小さくなり、計算時間が速いことから計画時は Per Calculation が使われることが多いです。

<sup>14)</sup> 「Monaco 線量計算テクニカルリファレンス」より

<sup>15)</sup> 統計的不確実性

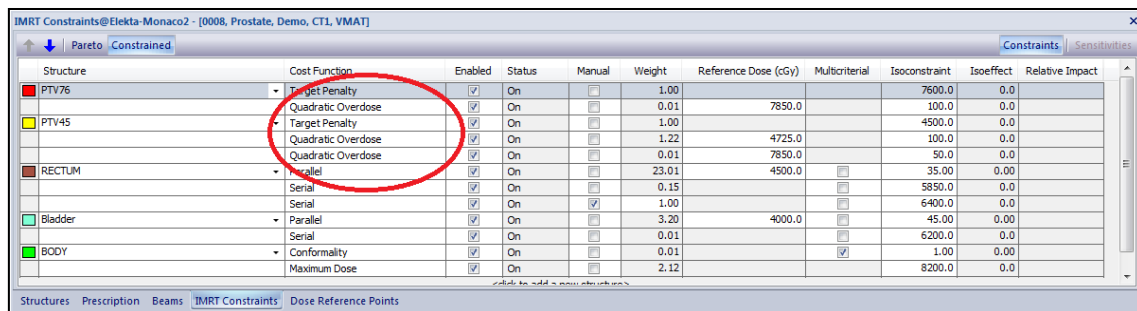
- ・ 初期値は 1%、低密度のストラクチャーがある場合、低い数値に設定することをお勧めします。

## Shrink Margin

ターゲットとストラクチャーA が隣接している場合において、Shrink Margin は隣接しているターゲットからストラクチャーA のボクセルを取り除きます。これらの取り除かれたボクセルは最適化時には対象外となります。

- ・ 幾つかの投与線量の違うターゲットが隣接している場合に有用な機能です。
- ・ ターゲット（高線量）と OAR（低線量）が隣接している場合に有用な機能です。
- ・ 他の TPS で使われるダミーリングのような効果を出せます。（Monaco ではダミーストラクチャーを書き足すことは不要）

## 複数ターゲットの例



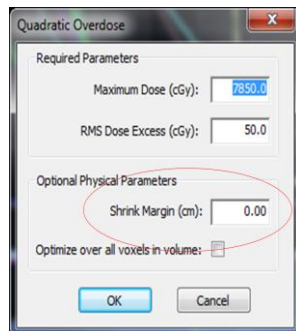
| Structure | Cost Function      | Enabled                             | Status | Manual                              | Weight | Reference Dose (cGy) | Multicriterial                      | Isoconstraint | Isoeffect | Relative Impact |
|-----------|--------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|----------------------|-------------------------------------|---------------|-----------|-----------------|
| PTV76     | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 1.00   |                      |                                     | 7600.0        | 0.0       |                 |
|           | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 0.01   | 7850.0               |                                     | 100.0         | 0.0       |                 |
| PTV45     | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 1.00   |                      |                                     | 4500.0        | 0.0       |                 |
|           | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 1.22   | 4725.0               |                                     | 100.0         | 0.0       |                 |
|           | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 0.01   | 7850.0               |                                     | 50.0          | 0.0       |                 |
| RECTUM    | Parallel           | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 23.01  | 4500.0               | <input type="checkbox"/>            | 35.00         | 0.00      |                 |
|           | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 0.15   |                      | <input type="checkbox"/>            | 5850.0        | 0.0       |                 |
|           | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00   |                      | <input type="checkbox"/>            | 6400.0        | 0.0       |                 |
| Bladder   | Parallel           | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 3.20   | 4000.0               | <input type="checkbox"/>            | 45.00         | 0.00      |                 |
|           | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 0.01   |                      | <input type="checkbox"/>            | 6200.0        | 0.0       |                 |
| BODY      | Conformality       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 0.01   |                      | <input checked="" type="checkbox"/> | 1.00          | 0.00      |                 |
|           | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/>            | 2.12   |                      | <input type="checkbox"/>            | 8200.0        | 0.0       |                 |

PTV76 と PTV45 の線量移行領域に 2 つの Quadratic Overdose を PTV45 に適用します。

## PTV45 の Quadratic Overdose

Maximum Dose = 7850.0 cGy

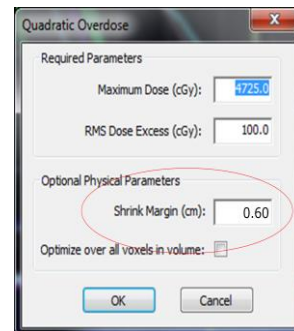
Shrink Margin = 0.00



高線量を PTV76 内に納めるように、Maximum Dose の高い Quadratic Overdose には Shrink Margin を 0 に設定します。

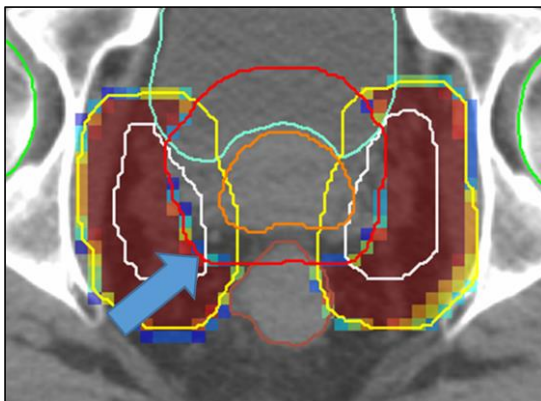
Maximum Dose = 4725.0 cGy

Shrink Margin = 0.60



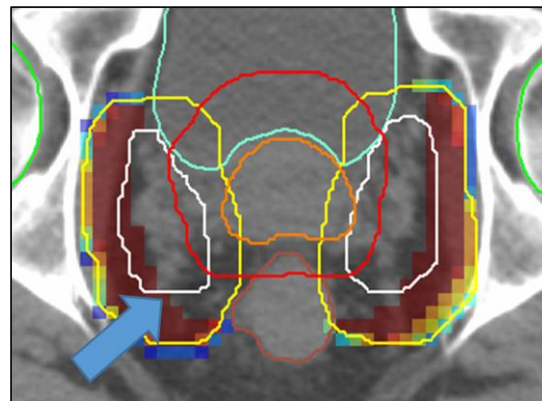
ターゲット内の線量を均一に保つために、Maximum Dose の低い Quadratic Overdose には Shrink Margin を 0.6 に設定します。

ボクセルベースツール : CF Occupancy



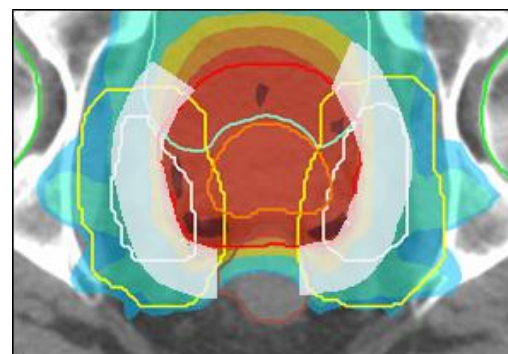
PTV45 (黄) のボクセルが PTV76(赤)ぎりぎりまで占有していることが分かります。

ボクセルベースツール : CF Occupancy

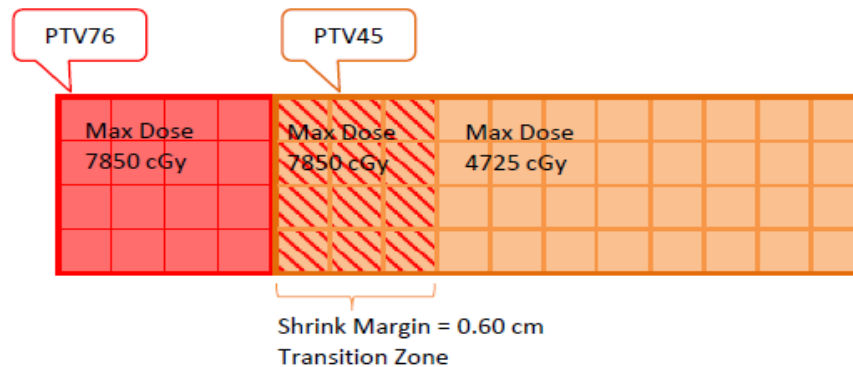


PTV45 (黄) のボクセルの一部が最適化の対象から取り除かれていることが分かります。

右図の白ハイライトは線量移行領域を示しています。高線量 (赤) は PTV76 内に、PTV76 に隣接している PTV45 の領域へ、徐々に線量が落ちているのが分かります。



上記の例を簡易的に表した図です。細かい四角はボクセルを表しています。



Shrink Margin を使うことにより、特定のストラクチャー内においての細かい指示を出すことが可能になります。

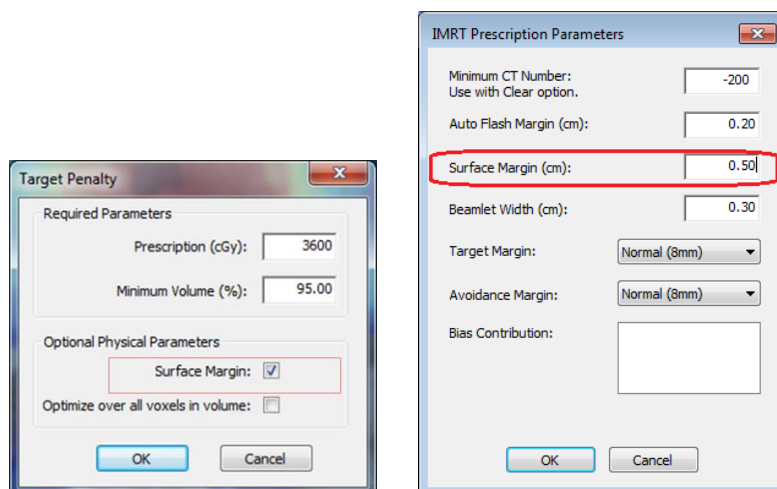
- ・ 適用する Shrink Margin はユーザーが設定した Grid Spacing (ボクセルサイズ) の倍数が好ましいです。
- ・ 妥当な Shrink Margin を設定しているかは、[IMRT Constraints - Constrained] の画面に表示される Weight・Relative Impact とボクセルツールで確認できます。

## IMRT Prescription Parameters

[IMRT Prescription Parameters]で用意されている機能を幾つか紹介します。

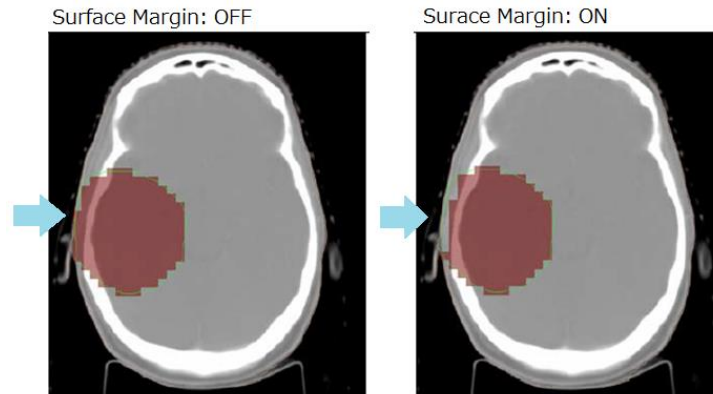
### Surface Margin

2<sup>nd</sup> Order Constraints と 1<sup>st</sup> Order Objectives のコストファンクションにあるオプションとして用意されており、[IMRT Prescription Parameters]の画面で数値の設定ができます。

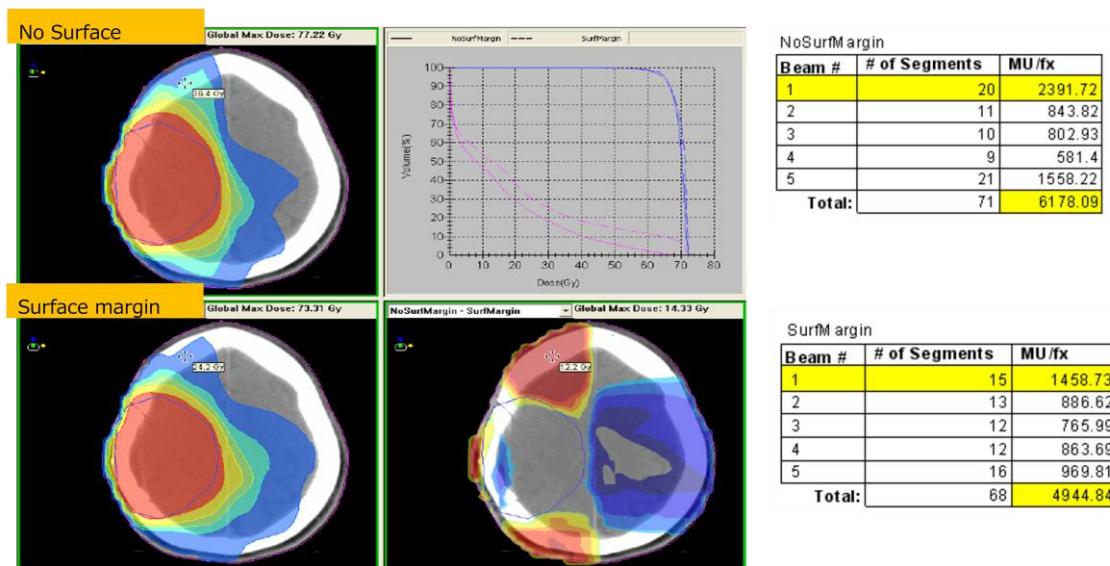




ストラクチャーが体表面まであり、このオプションを ON にした場合、体表面のボクセルを一部取り除いて最適化します。



Monaco は低線量のビルドアップ領域を無視し、あえて線量をビルドアップ領域に入れようとはしません。この機能を活用することにより、MU と計画全体の最大線量が下がります。

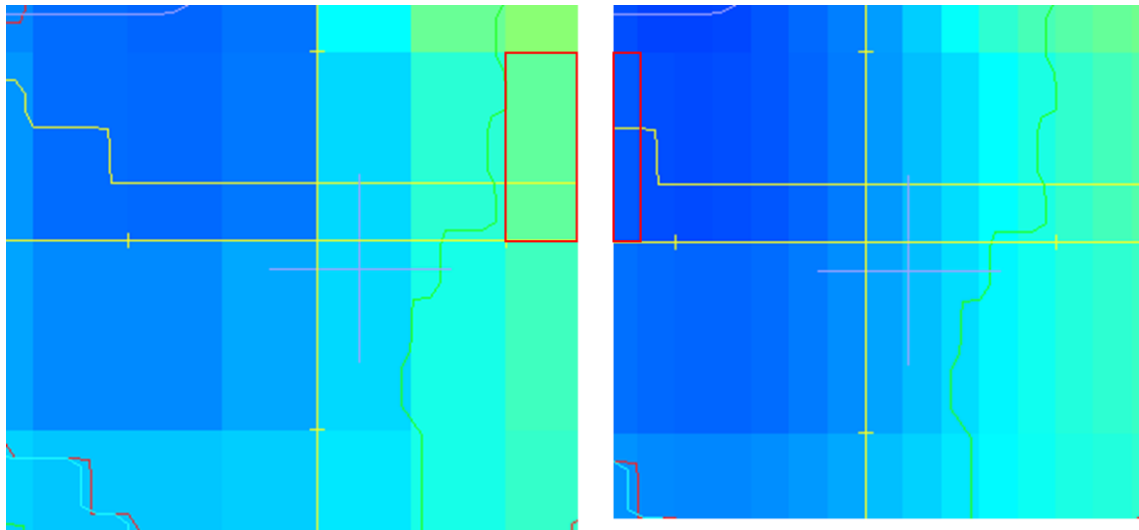


## Beamlet Width

ビームレットは最適化時のステージ 1 で作成されるフルエンスマップの解像度です。Width（幅）は[IMRT Prescription Parameters]の画面でユーザーが指定でき、Length（長さ）はリーフの幅で決まります。

ステージ 2 で SSO がセグメントの形状を微調整する際にも使われます。

以下は、Beamlet Width の違うフルエンスマップになります。



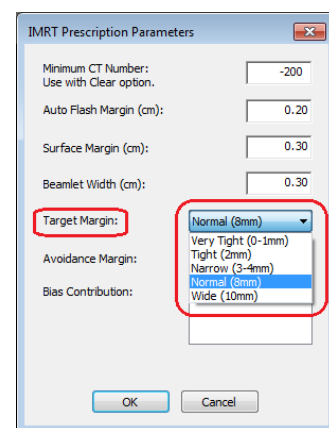
ビームレットのサイズが小さければ、より良い分布が出来上がるかもしれませんが、最終的に多くの小さいセグメントが出来上がってしまうかもしれません。

ほとんどのプランにおいて 0.2 もしくは 0.3 に設定してもいいかもしれません。ビームレットのサイズが小さいと計算時間も増え、フルエンスの変調度も高くなります。頭頸部や定位照射のような場合は 0.3、前立腺のような場合であれば 0.5 でも良い結果が出ます。

### Target Margin<sup>16</sup>

Monaco ではフルエンスを計算する際に、ビームの辺縁

(Penumbra) 効果でターゲットの縁に必要な線量が入りづらくなならないように、ターゲットストラクチャーに対して均一のマージンが設定されます。このマージンはユーザーが指定できます。設定は Wide から Very Tight の 5 つあり、マージンが大きいほど、最適化時に適用されるボクセルが増えます。

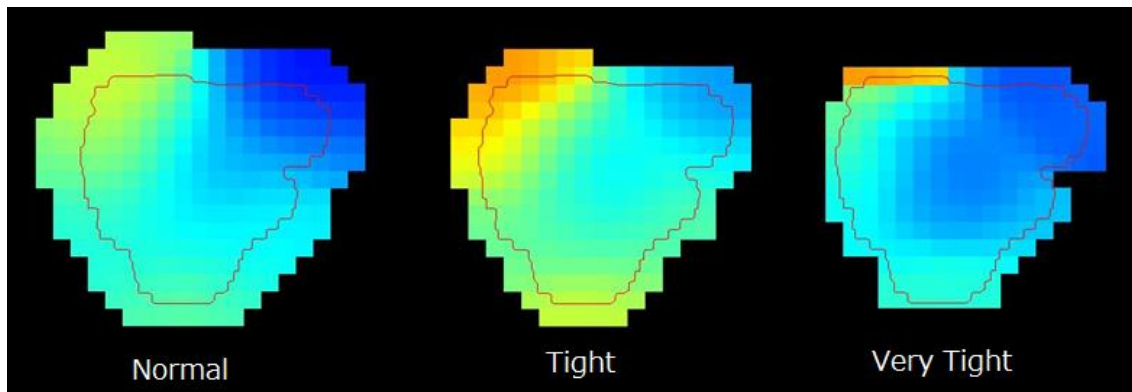


この効果は BEV で表示されるフルエンスマップ<sup>17</sup>で確認できます。

<sup>16</sup> XiO では Optimization Margin と呼ばれていた項目です。

<sup>17</sup> フルエンスマップに表示されている“四角”はボクセルではなく、ビームレットです。





赤→青はフルエンスの変調度（強→弱）を示しています。Very Tight の場合、ターゲットの縁の一部において、フルエンスの変調度が高くなっています。このようにフルエンスの変調度が高いと、セグメントサイズ、セグメント数、MU に影響が出やすくなります。ステージ 1 の最適化で良い結果を得ても、ステージ 2 でセグメントが上手く生成できずプランが崩れる起因にもなります。

定位照射のようなケースでない限り、初期設定の Normal で問題ないでしょう。

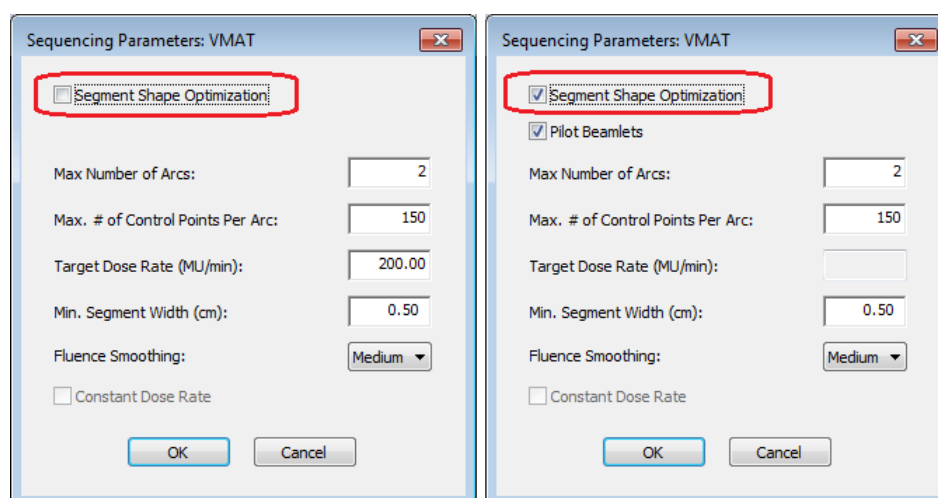
## Sequencing Parameters

[Sequencing Parameters]で用意されている機能を幾つか紹介します。

### Segment Shape Optimization

Monaco では、ステージ 1 で生成されたフルエンスからセグメントを生成します。

Segment Shape Optimization (SSO) がチェックされている場合、Monaco は一度生成されたセグメントの最適化を進めます。

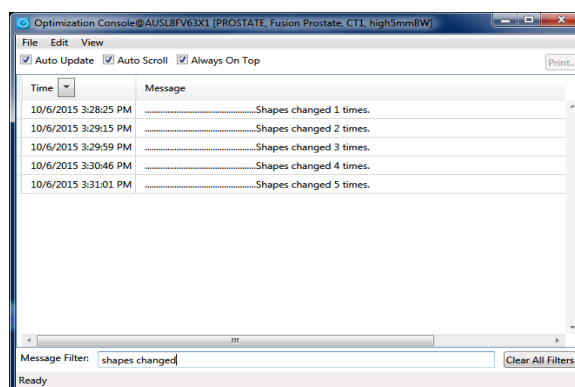


以下は SSO の特徴をテーブルにまとめたものです。

| 項目        | SSO を使用することによる傾向 |
|-----------|------------------|
| 最適化に要する時間 | 増加               |
| プランの質     | 向上               |
| 照射時間      | 減少               |
| セグメント数    | 減少               |
| MU        | 増加するかもしれない       |

SSO では最適化を 5 回試みます。2 回目もしくは 3 回目の試みである程度この最適化が収束します。もし、プランを調整したい場合は、3 回目の最適化が終わってからのタイミングがいいでしょう。

[Optimization Console]の画面で  
“Shapes changed”でフィルターを掛け  
ると、最適化の状況が確認できます。

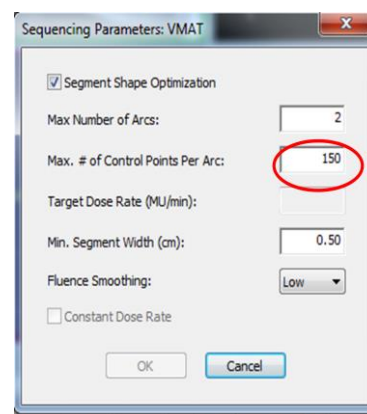


### Max. # of Control Points:

Monaco の Smart Sequencer は必要に応じて、コントロールポイントを設定します。コントロールポイントが多いほど複雑なプランと言えます。例えば、前立腺のプランは頭頸部に比べてコントロールポイントの少ないプランが出来ます。

出来る限り、コントロールポイントの数が少なくなるように計算され、通常ユーザーが設定する最大コントロールポイント数より少なくなります。

前立腺では 120、頭頸部であれば 150 から 180 をお勧めしていますが、プランの質や QA の結果などを確認して、コミッシュニングの一部として決定する必要があります。Max. # of Control Points を増やすと、計算時間が長くなります。



**Max. # of Arcs:**

Monaco では、複数回転の計画を 2 つの方法で設定できます。

方法 1 :計画時に[Beam]の画面で 2 本のビームを入れる。

- まったく同じビームは使えません、例としてもし全てのパラメータを同じに設定した場合、少なくとも回転方向をそれぞれ CW と CCW に設定する必要があります。
- この方法の利点はそれぞれのビームで違うコリメータやカウチの角度が使えることです。

方法 2:[Sequencing Parameters]の画面で、Max. Number of Arcs を 1 以外に登録する。

- 1 つのビームにおいて自動的に設定回転数になります。
- Mosaik には 1 つのビームとして転送されます。

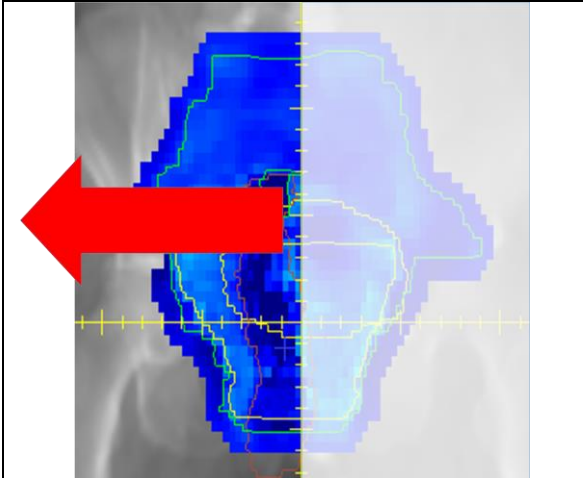
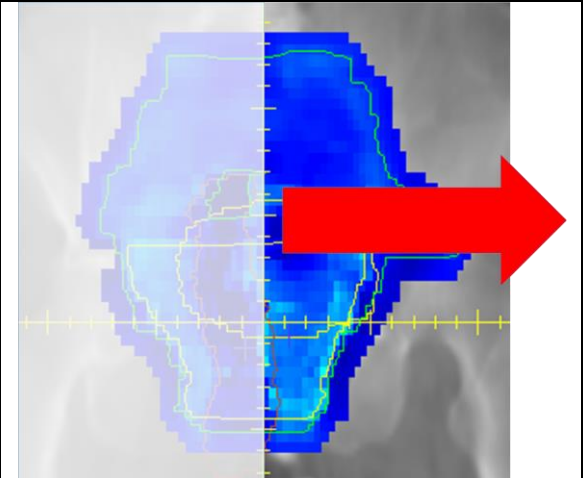
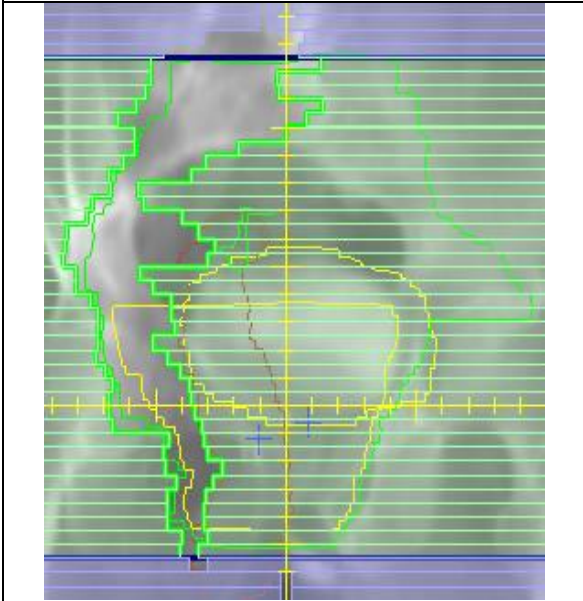
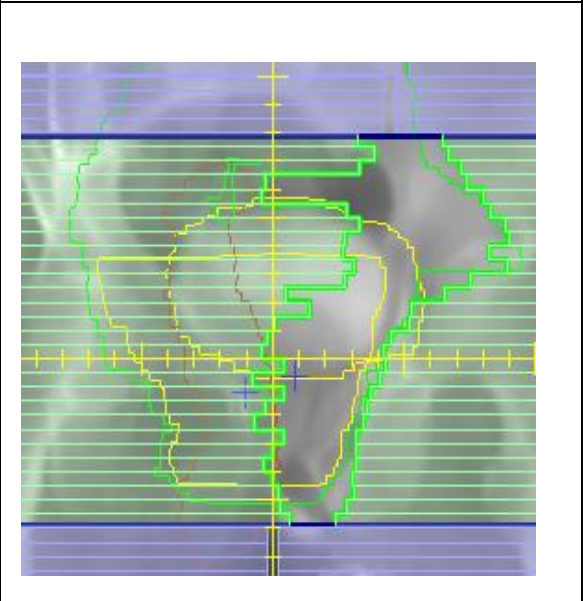
複数回転の計画は以下の特徴があります。

- 回転数を 2 回転とした場合に、照射時間が 2 倍になるということではありません。
- セグメント数は増えますが、MU は回転数を増やしても比較的変わりません。

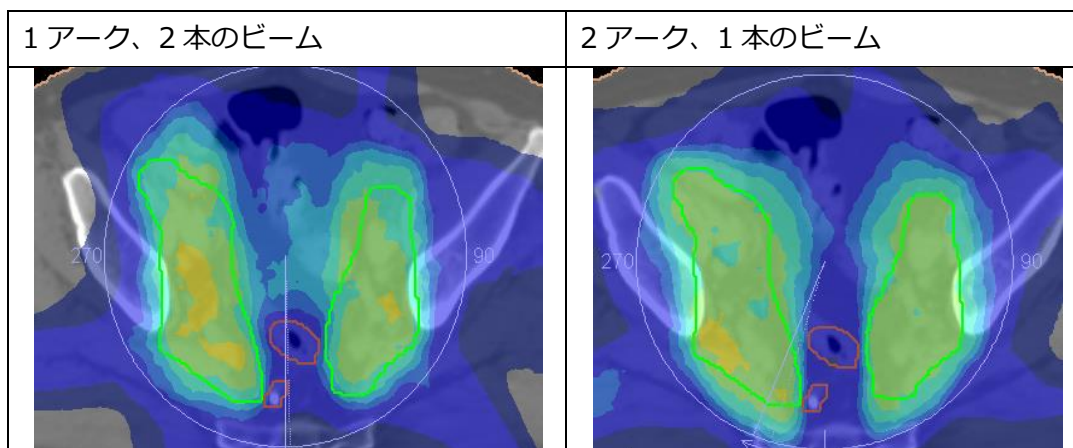
**ビーム数 vs アーク数**

ビーム数を増やす方法 1 より、アーク数を増やす方法 2 の方がセグメントプロセスが增強されます。アーク数を増やした場合のセグメントプロセスについて前立腺の例を用いて説明します。

まずは、X 軸を中心にフルエンスを分割します。最初の回転で半分、次の回転で残りの半分の最適化します。

| 最初の回転で最適化される領域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 次の回転で最適化される領域                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  A grayscale CT scan of a human head in axial view. A large red arrow points from the right side of the image towards the left. The left half of the head is highlighted with a blue-to-purple color gradient, indicating the area being optimized in the first rotation. |  A grayscale CT scan of a human head in axial view. A large red arrow points from the left side of the image towards the right. The right half of the head is highlighted with a blue-to-purple color gradient, indicating the area being optimized in the next rotation. |
| 最初の回転のガントリー200度のセグメント、左側のみセグメントがあります。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 次の回転のガントリー200度のセグメント、右側のみにセグメントがあります。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|  A grayscale CT scan of a human head in axial view. The image is overlaid with a green grid. The left side of the head is outlined with a green line, representing the segment for the first rotation.                                                                   |  A grayscale CT scan of a human head in axial view. The image is overlaid with a green grid. The right side of the head is outlined with a green line, representing the segment for the next rotation.                                                                   |

ビーム数を2本にした場合とアーク数を2本にした場合の違い



線量分布の違いが上図から見て取れます。

## Increment

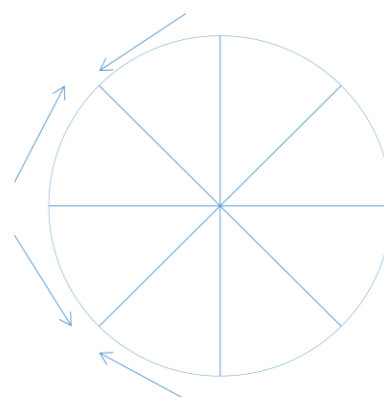
[Beam]の画面で設定する Increment について説明します。

| Beams                                                                                    |             |          |     |              |       |      |            |       |        |             |                                     |             |             |              |              |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|-----|--------------|-------|------|------------|-------|--------|-------------|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>   Delete Parent Beams |             |          |     |              |       |      |            |       |        |             |                                     |             |             |              |              |
| Beam                                                                                     | Description | SSD (cm) | Dir | Gantry Start | Arc   | Inc  | Collimator | Couch | Field  | Margin (cm) | Asym                                | Width1 (cm) | Width2 (cm) | Length1 (cm) | Length2 (cm) |
| 1                                                                                        |             | 92.31    | CW  | 180.0        | 360.0 | 30.0 | 0.0        | 0.0   | [Auto] | 1.00        | <input checked="" type="checkbox"/> | LW 20.00    | RW 20.00    | UL 8.00      | LL 16.50     |

ここで設定する数値でビームをセクターに分割します。

セクター数は  $\text{Arc}/\text{Inc}$  で算出されます。Increment の初期値は 30 度です。

例)  $\text{Arc}=360$  度と  $\text{Inc}=30$  度の場合、12 のセクターが生成されます。



生成されたセクターごとに Sweep Sequencer が適用されます。最初のセクターでは、リーフが右から左へ<sup>18</sup>と流れます。

次のセクターでは左から右へ、この動きを繰り返します。複雑なプランの場合、セクターを小さくすることでリーフを十分に動かすことができます。その結果、MU や変調度が高くなりますが、最適化の質が向上します。多くの症例では、初期値の 30 度で良いプランが作成できますが、ステージ 1 にて DVH の制約を満たせない場合や部分アーク照射の場合は、Increment を小さく設定してみるのも一つの方法です。Increment を小さくするこ

<sup>18</sup> BEV で見た場合

とによって周囲へ線量が逃げることを抑えられるため、深部腫瘍の Target の場合にも有効です。各ビーム（例：1 アーク、2 本のビーム）にて違う Increment の数値を設定するのもいいでしょう。

しかし、複雑なフルエンスを必要とする大きなターゲットに対してアーク数を 1 に設定した状態で Increment を小さく設定することは推奨しておりません。ステージ 2 で結果が大幅に崩れる可能性がございます。この場合は、アーク数を 1 から増やすことをご検討ください。

## 治療計画（前立腺）

シンプルな前立腺<sup>19</sup>の VMAT プランで Monaco のコンセプトを試してみましょう。ビームやシーケンスのパラメータはシンプルに設定し、コストファンクションの使い方に焦点を当てます。

### 計画時のルール

- シンプルにする。
- 必要でないコストファンクションは入れない。
- 効果的でないコストファンクションは取り除く。



## パラメータの設定

6MV、1 ビーム・1 アーク

**Calculation Properties**

Grid Settings

Grid Spacing (cm): 0.40

Calculate Dose Deposition to: Medium

Force entire volume to be treated as water: ☐

Grid Settings changes will be applied to ALL Rx IDs.

Algorithm Settings

Algorithm: Monte Carlo Photon

Statistical Uncertainty (%): 2.00

☐ Per Control Point ☒ Per Calculation

OK Cancel

**Sequencing Parameters: VMAT**

☒ Segment Shape Optimization

☒ Pilot Beamlets

Max Number of Arcs: 1

Max. # of Control Points Per Arc: 120

Target Dose Rate (MU/min):

Min. Segment Width (cm): 0.50

Fluence Smoothing: Medium

☐ Constant Dose Rate

OK Cancel

| Beam | Description | Field ID | Visible                             | Delivery | Treatment ...  | Modality | Algorithm   | Energy | MU / Fx | SSD (cm) | Isocenter Loca... | X (cm) | Y (cm)  | Z (cm) |
|------|-------------|----------|-------------------------------------|----------|----------------|----------|-------------|--------|---------|----------|-------------------|--------|---------|--------|
| 1    | one         |          | <input checked="" type="checkbox"/> | VMAT     | TRNElekAgility | Photon   | Monte Carlo | 6.0 MV | 471.29  | 88.89    |                   | 0.51   | -121.70 | -0.33  |

| Beam | Description | SSD (cm) | Dir | Gantry Start (deg) | Arc   | Inc  | Collimator (deg) | Couch (deg) | Field  |
|------|-------------|----------|-----|--------------------|-------|------|------------------|-------------|--------|
| 1    | one         | 88.89    | CW  | 180.0              | 360.0 | 30.0 | 0.0              | 0.0         | [Auto] |

<sup>19</sup> Training Clinic の Fusion Prostate



## IMRT Constraints (コストファンクション)

| Structure | Cost Function      | Enabled                             | Status | Manual                   | Weight | Reference Dose (Gy) | Multicriterial           | Isoconstraint | Isoeffect | Relative Impact |
|-----------|--------------------|-------------------------------------|--------|--------------------------|--------|---------------------|--------------------------|---------------|-----------|-----------------|
| PTV       | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 73.800        | 0.000     |                 |
|           | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   | 74.800              |                          | 1.500         | 0.000     |                 |
| RECTUM    | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     | <input type="checkbox"/> | 45.000        | 0.000     |                 |
| BLADDER   | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     | <input type="checkbox"/> | 52.000        | 0.000     |                 |
| patient   | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   | 73.800              |                          | 0.020         | 0.000     |                 |
|           | Conformality       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     | <input type="checkbox"/> | 0.75          | 0.00      |                 |
|           | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                     |                          | 81.200        | 0.000     |                 |

### PTV (ターゲット)

**Target Penalty**

Required Parameters

Prescription (Gy):

Minimum Volume (%):

Optional Physical Parameters

Surface Margin: ☐

Optimize over all voxels in volume: ☐

OK Cancel

**Quadratic Overdose**

Required Parameters

Maximum Dose (Gy):

RMS Dose Excess (Gy):

Optional Physical Parameters

Shrink Margin (cm):

Optimize over all voxels in volume: ☐

OK Cancel

OAR が隣接しているケースでは、Target Penalty が最も効果的です。ターゲットの D95 を入力します。ターゲットの最大線量をコントロールするために、Quadratic Overdose を使います。D95 より 1Gy 高い線量を Maximum Dose に、RMS に 1.5 を入力します<sup>20</sup>。

### RECTUM (直腸)

直腸への線量は Serial のみでコントロールします。EUD に 45、PLE に 5 を入力し、PTV と重なっている領域での矛盾を軽減させるため、Shrink Margin を 0.40 に設定します。

**Serial**

Required Parameters

Equivalent Uniform Dose (Gy):

Power Law Exponent:

Optional Physical Parameters

Shrink Margin (cm):

Optimize over all voxels in volume: ☐

Multicriterial: ☐

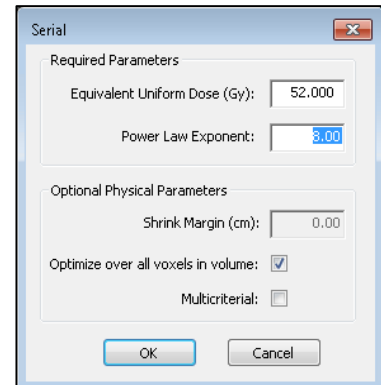
OK Cancel

<sup>20</sup> PTV には 74.8Gy まで、そして平均的にこれよりも更に 1.5Gy を許容する。



## BLADDER (膀胱)

膀胱も、Serial のみでコントロールします。EUD に 52、PLE に 8 を入力し、PTV と重なっている領域においては一緒にボクセルを共有する形にします。Optimize over all voxels in volume にチェックを入れます。

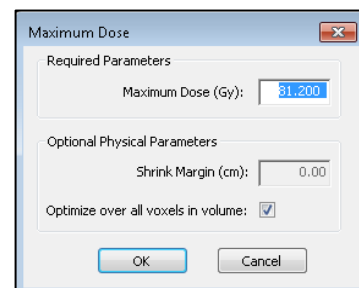


## patient (体輪郭)

患者への線量は幾つかのアプローチが考えられます。今回は、Quadratic Overdose の他に、Conformality と Maximum Dose を組み合わせてみます。

Quadratic Overdose はターゲットへの線量（本例では 73.8Gy）を Maximum Dose、非常に低い 0.02Gy を RMS に入力します。Shrink Margin は 0 のままにします。高線量をターゲット内に収めるのが狙いです。

Maximum Dose には許容する計画全体の最大線量を入力し、“Optimize over all voxels in volume”にチェックを入れます。



## Constraints の調整

ステージ 2 で以下の結果が出ました。

| IMRT Constraints                   |                    |                                     |        |                          |        |                      |                |               |           |       |
|------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------|--------------------------|--------|----------------------|----------------|---------------|-----------|-------|
| Pareto Constrained IMRT Parameters |                    |                                     |        |                          |        |                      |                |               |           |       |
| Structure                          | Cost Function      | Enabled                             | Status | Manual                   | Weight | Reference Dose (...) | Multicriterial | Isoconstraint | Isoeffect | Im... |
| PTV                                | Target Penalty     | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.00   |                      |                | 73.800        | 72.430    |       |
|                                    | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 4.09   | 74.800               |                | 1.500         | 1.519     | ++++  |
| RECTUM                             | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 4.65   |                      |                | 45.000        | 45.402    | ++++  |
| BLADDER                            | Serial             | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.26   |                      |                | 52.000        | 51.449    | +++   |
| patient                            | Quadratic Overdose | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 1.09   | 73.800               |                | 0.020         | 0.018     | +++   |
|                                    | Conformality       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.11   |                      |                | 0.75          | 0.66      | ++    |
|                                    | Maximum Dose       | <input checked="" type="checkbox"/> | On     | <input type="checkbox"/> | 0.01   |                      |                | 81.200        | 79.293    |       |

Isoconstraint は指定値、Isoeffect は結果を示しています。Monaco では 1<sup>st</sup> Order Cost Function (Dose limiting Cost Function) は必ず満たしていることが分かります。

PTV の Target Penalty の Isoeffect が Isoconstraint より低いです。この結果は DVH でも見て取れます。

| Structure            | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Min. Dose (Gy) | Max. Dose (Gy) | Mean Dose (Gy) | Hot Ref. (Gy) | Volume > (cm <sup>3</sup> ) | Volume > (%) |
|----------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------------------|--------------|
| PTV                  | 122.364                   | 66.671         | 79.914         | 75.425         | <b>73.800</b> | 107.959                     | 88.23        |
| RECTUM               | 63.612                    | 3.940          | 75.661         | 41.672         | <b>50.000</b> | 20.344                      | 31.98        |
| BLADDER              | 359.748                   | 0.627          | 79.625         | 19.774         | <b>60.000</b> | 29.079                      | 8.08         |
| patient(Unsp. Tiss.) | 13233.132                 | 0.020          | 76.173         | 6.809          |               |                             |              |

計算後の Weight (もしくは Relative Impact) を確認すると、PTV の Quadratic Overdose が高いです。このコストファンクションの Isoconstraint を 1.5 から 2.0 に緩めてみましょう。

| Statistics Display   |                           |                |                |                |               |                             |              |
|----------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------------------|--------------|
| Structure            | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Min. Dose (Gy) | Max. Dose (Gy) | Mean Dose (Gy) | Hot Ref. (Gy) | Volume > (cm <sup>3</sup> ) | Volume > (%) |
| PTV                  | 122.364                   | 67.049         | 80.808         | 76.101         | <b>73.800</b> | 115.168                     | 94.12        |
| RECTUM               | 63.612                    | 3.899          | 75.881         | 40.825         | <b>50.000</b> | 19.183                      | 30.16        |
| BLADDER              | 359.748                   | 0.611          | 79.913         | 19.845         | <b>60.000</b> | 29.403                      | 8.17         |
| patient(Unsp. Tiss.) | 13233.132                 | 0.021          | 76.805         | 6.918          |               |                             |              |

DVH が改善されています。このように、IMRT Constraints で表示される指標を見て、徐々に調整してきます。

エレクトラ株式会社

カスタマーサービス部

〒108-0023 東京都港区芝浦 3-9-1 芝浦ルネサイトタワー7F

エレクトラケアサポートセンター：0120-911-477

Mail：SoftwareService-Japan@elekta.com

URL：http://www.elekta.co.jp