

MLC Dynamics parameters

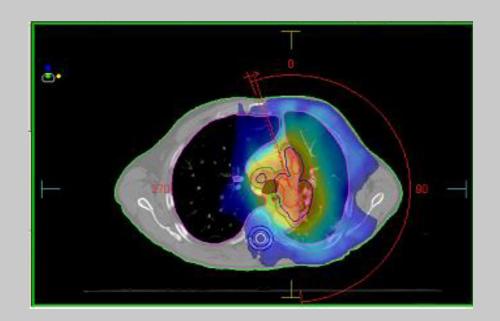
Topics

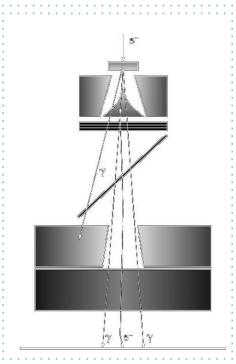
pMCのビームモデル

VMAT計画(シーケンサー)

エクスポートデータ

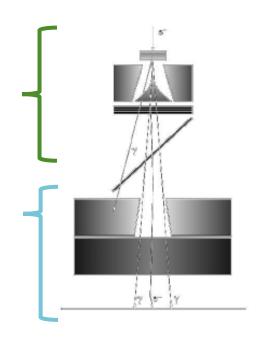
リニアックの動作





pMCのビームモデル

- MonacoのIMRT/VMATではPhoton Monte Carloで線量計算を行います。
 Monte Carloアルゴリズムでのビームモデルは2つの部分に分けられます。
 - ①線源のモデル ターゲットや平坦化フィルタなど、フィールドごとに変化しない部分
 - ②ビーム整形装置のモデル コリメータやMLCなど、フィールドごとに変化する部分
 - ▶ MLC Dynamics Parameters…速度や回転速度など
 - ▶ MLC Geometry Parameters…透過率やオフセットなど



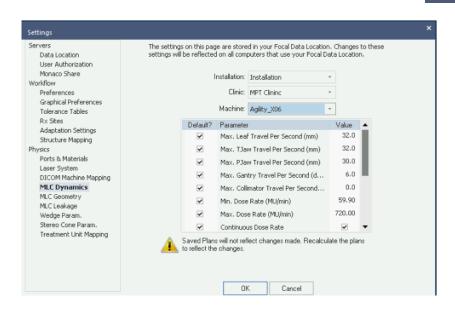


はじめに

MLC Dynamic Parametersとは

・可動コリメータの移動速度や、最大・最小線量率などのリニアックの動的・可変部分の特性が 設定されており、VMATやDMLCなどの計画の動的シーケンスを計算する際に使用されます。

Monaco アプリケーションボタン **■・** > Settings> MLC Dynamics



- ▶ リニアックの仕様に見合った初期値が設定 されています



MLC Dynamics parameters の定義

Parameter	Description
Max Leaf Travel Per Second (mm)	最小のDose Rateで1秒あたりにリーフが移動できる最大の距離
Max TJaw Travel Per Second (mm)	最小のDose Rateで1秒あたりにYジョー(リーフの動きに対して垂直方向に移動する)が 移動できる最大の距離
Max PJaw Travel Per Second (mm)	最小のDose Rateで1秒あたりにXジョー(リーフの動きに対して平行に移動する)が移動できる最大の距離
Max Gantry Travel Per Second (deg)	最小のDose Rateで1秒あたりにガントリーが移動できる最大の角度
Max Collimator Travel Per MU (deg)	(Monaco VMATでは現在使用されていません)
Min Dose Rate (MU/min)	治療機で許容される最小のDose Rate
Max Dose Rate (MU/min)	治療機で許容される最大のDose Rate



MLC Dynamics parameters の定義

Parameter	Description
Continuous Dose Rate	治療機のDose RateがDynamic Deliveryにおいて最小〜最大のすべての値を取れる場合は チェックを入れます。このパラメータはデリバリーの時間を計算する場合にのみ対象とな ります。
Beam Startup Time (sec)	運転開始からビームが安定するまでの時間(秒)。 MonacoではDelivery Timeを推測する場合に使用されます。
Min. Moving Gap (mm)	Dynamic Delivery中の許容される最小のリーフギャップ。 このパラメータはBeam Modulatorにおいてのみ利用可能です。
Min MU Per Static CP (MU)	Static照射時に、1コントロールポイント毎に照射可能な最小MUを指定します。
Min MU Per Dynamic CP (MU)	Dynamic照射時に、1コントロールポイント毎に照射可能な最小MUを指定します。
Min Gantry Deg Per CP (deg)	VMAT照射時に、1コントロールポイント毎に照射可能な最小ガントリ角度を指定します。
Open Guard Leaves	ガードリーフ開ける場合はマークする。



MonacoのVMAT計画(VMATシーケンサー)

シーケンサータイプ

- Time Indexed: 実時間を基準とします
- Gantry (Angle) Indexed: ガントリ角度を基準とします
- MU Indexed:積算MUを基準とします







MonacoのVMATシーケンサーは、 「累積MU」を全体のタイムキーパーにしてリーフやガントリーを動かします



MonacoのVMAT計画(VMATシーケンサー)

MU Indexed

- MonacoのVMATシーケンサーが考慮している値
 - ▶ 「ガントリー1度あたりの出力MU (MU/deg)」
 - ➤ 「リーフ移動1cmあたりの出力MU (MU/cm)」

- MLC Dynamic Parametersで関連する項目
 - Min. Dose Rate (MU/min)
 - > Max. Leaf Travel Per Second (mm)
 - ➤ Max. Gantry Travel Per Second (deg)



エクスポートデータ

DICOM RT Plan

MonacoがエクスポートするVMATのDICOM RT Planにも、実時間に関する情報は含まれません。

MonacoのVMAT DICOM RT Planファイルに含まれる情報は以下のようなものです。

Arc 1:総線量 1.896 Gy、総 MU 492.6 MU√

	ガントリー角	リーフ位置 j	照射済み線量の割合
CP 1 : 1	180.0	-1.8, 8.5, 14.5, 14.3, 20.5,	0.0 %⊬
CP 2 : 1	181.9	-1.8, 8.9, 14.9, 17.8, 20.9,	1.58%
CP 3 : 1	184.7	-0.4, 3.8, 6.1, 6.5, 10.5,	2.74%
CP 108:	177.7	-1.8, -18.0, -21.0, -30.0,-33,0,	98.36%√
CP 109:	180.0	-1.8, -1.4, -2.4, 3.2, 20,5,	100.00%↩
			پ



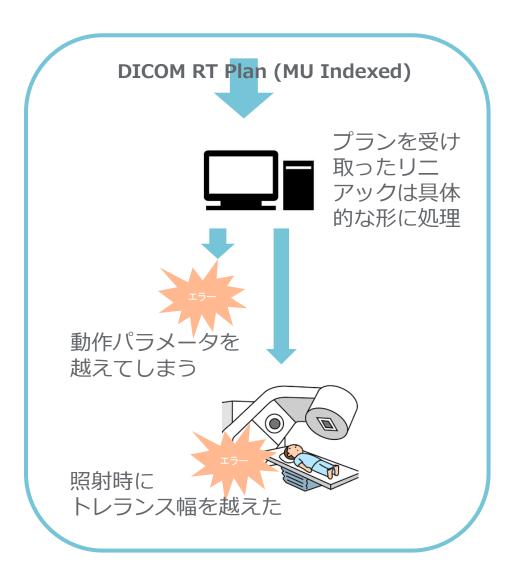
リニアックの動作

理想と現実

- 理想
 - 機械的遅延がなく、瞬時に指定した速度、線量率に達する

- 現実

 - ▶ モジュール間の通信遅延も無視できない





リニアックの動作

理想と現実

他治療機

前処理段階でエラーが出る フィードバックがなく、 照射中の修正がされない ↓ エラーが頻回する ↓ パラメータ調整をする必要がある

Elekta治療機

照射途中でフィードバックし、 ずれを相殺するように調整される (例:VMAT照射でたまにガント リー回転が一瞬逆行) ↓ 照射全体のずれは小さくおさまる ↓ 初期パラメータでほぼ問題なし



- 1. 何種類かの高変調プランを作成し、照射できるか確認する
- 2. うまく照射できない場合、以下のParametersをリニアックの現状に合わせる
 - Max. Leaf Travel Per Second
 - Max. Gantry Travel Per Second
- 3.2で解消しない場合、以下を少しずつ変更し、再プラン・照射を繰り返す
 - Min. MU Per Dynamic CPを少し増やす
 - Min. Gantry Deg Per CPを少し増やす
 - Max. Leaf Travel Per Second、Max. Gantry Travel Per Secondを実状より遅くする



Max. Dose Rate (MU/min)

最大線量率:リニアックに設定された値をそのまま登録

- Monacoで計算できる値は240 MU/min以上です。
- エクスポートされるプランデータには、線量率情報は含まれません。
- リニアックにインポートしたプランデータをリニアックが照射シーケンス(照射用データ) に変換する際、リニアック本体側の機械的スペック内でこれらの線量率を変換します。
- リニアックの実際の設定線量率によっては、ここで指定したよりも大きな線量率で照射が行われる可能性があります。



Min. Dose Rate (MU/min)

最小線量率:以下の3つの値のうち、一番大きなもの(制限のゆるいもの)を登録

- 1. リニアックの性能としての最小線量率
- 2. リーフが最大速度で移動しているときの最小線量率
- 3. ガントリーが最大速度で回転しているときの最小線量率

※ Monacoで計算できる値は240 MU/min以下



Min. Dose Rate (MU/min)

(1) リニアックの性能としての最小線量率

- 単に「安定持続して照射できる最小線量率」というだけではなく、「最大線量率から一瞬にして線量率を下げ、また一瞬後に最大線量率に復帰する」といった場合に、意図通りの低い線量率を精度よく実現できるか、ということも関係します。
- 256段階で線量率が可変するCVDR(Continuously Variable Dose Rate Delivery Mode) 機能を備えているElektaリニアックの場合には下記が推奨されます。

Flattening Filterあり	50 MU/min
6MV FFF	100 MU/min
10MV FFF	200 MU/min



Min. Dose Rate (MU/min)

(2) リーフが最大速度で移動しているときの最小線量率

リーフ移動1cmの間に照射できる最小MU		
Flattening Filterあり	0.3 MU/cm	
6MV FFF	0.6 MU/cm	
10MV FFF	1.2 MU/cm	

たとえばAgilityで、Flattening Filterありの場合

・リーフ移動1cmの間に照射できる最小MU …… 0.3 MU/cm

・リーフの最大移動速度 …… 35 mm/s

このとき最小線量率は 0.3 MU/cm x 3.5 cm/s x 60 s/min=63 MU/min になります。



Min. Dose Rate (MU/min)

(3) ガントリーが最大速度で回転しているときの最小線量率

ガントリー回転1度の間に照射できる最小MU			
Flattening Filterあり	0.1 MU/degree		
6MV FFF	0.2 MU/degree		
10MV FFF	0.4 MU/degree		

たとえばAgilityで、Flattening Filterありの場合

- ・ガントリー回転1度の間に照射できる最小MU …… 0.1 MU/deg
- ・ガントリーの最大回転速度 …… 6 deg/s

このとき最小線量率は 0.1 MU/degree x 6 deg/s x 60s/min= 36 MU/min になります。



Min. Dose Rate (MU/min)

Agility Flattening Filterありの場合のエレクタ公称値:

ガントリーの最大回転速度	6 deg/sec
ガントリー回転1度の間に照射できる最小MU	0.1 MU/deg
リーフ最大移動速度	35 mm/sec
リーフ移動1cmの間に照射できる最小MU	0.3 MU/cm



リニアックの性能としての最小線量率50 MU/minリーフ速度をベースにした最小線量率63 MU/minガントリー速度をベースにした最小線量率36 MU/min



Min. Dose Rate (MU/min)

- 上記に説明した算出方法からすると、Elektaリニアックの10FFFのMin. Dose Rateは(2)の 252 MU/minとなるが、Monacoの仕様上240 MU/minを入力する必要があります。
- BVDR (Binned Variable Dose Rate) でコントロールされているエレクタリニアックでは、 最大線量率の1/8 (例えば500 MU/minに対し63 MU/min) が(2)(3)より大きな値かどう かを判断してください。
- もしそうであればその値をMin. Dose Rateとし、そうでなければ最大線量率の1/4 (500 MU/minに対し125 MU/min)をMin. Dose Rateとしてください。
- 他社製リニアックでは(2)あるいは(3)の制限は存在しないかもしれません。その場合は残り のうち 大きな値をMin. Dose Rateとしてください。



1. 何種類かの高変調プランを作成し、照射できるか確認する

2. うまく照射できない場合、以下のParametersをリニアックの現状に合わせる

- Max. Leaf Travel Per Second
- Max. Gantry Travel Per Second
- 3.2で解消しない場合、以下を少しずつ変更し、再プラン・照射を繰り返す
 - Min. MU Per Dynamic CPを少し増やす
 - Min. Gantry Deg Per CPを少し増やす
 - Max. Leaf Travel Per Second、Max. Gantry Travel Per Secondを実状より遅くする



Max Leaf Travel Per Second (mm)

- リーフの機械的な最大速度ですが、出荷時の設定はスペック値より10%程度小さな値となっています。これより速くするとスムーズな照射を損なう恐れがあります。
 - ➤ Elekta Agility (スペック値35 mm/s) に対しては 32 mm/s
 - ➤ Elekta MLCi (スペック値25 mm/s) に対しては 24 mm/s



Max Gantry Travel per second (mm)

ガントリーの最大回転速度です。基本的にスペック値を登録して構いません。照射に問題があるようなら10 %程度下げることを推奨します。

これらの速度設定は、リニアックのインストール時に、カタログスペック値よりも遅く設定されている場合があります。カタログ値ではなく、リニアックの実際の設定値を参照するようにしてください。



- 1. 何種類かの高変調プランを作成し、照射できるか確認する
- 2. うまく照射できない場合、以下のParametersをリニアックの現状に合わせる
 - Max. Leaf Travel Per Second
 - Max. Gantry Travel Per Second
- 3. 2で解消しない場合、以下を少しずつ変更し、再プラン・照射を繰り返す
 - Min. MU Per Dynamic CPを少し増やす
 - Min. Gantry Deg Per CPを少し増やす
 - Max. Leaf Travel Per Second、 Max. Gantry Travel Per Secondを実状より遅くする



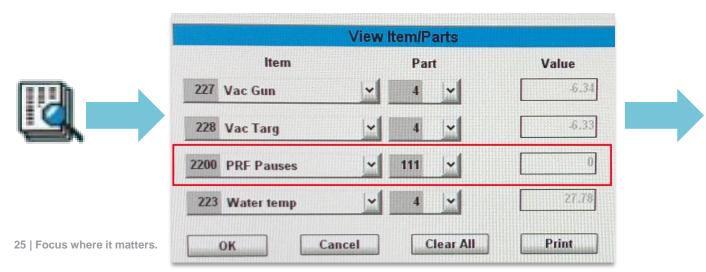
Elektaリニアックにおいて移動速度超過を評価する方法

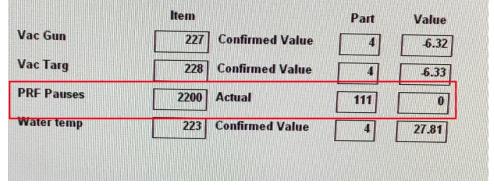
- Elekta機では、(実時間情報を含まない)計画データを受け取り、これを照射する際に計画 データを(実時間情報を含む)照射シーケンスに変換します。
- 実際に照射した際に、リーフやガントリーが追いつかない場合には、リニアックはPRF Inhibit 信号を発生させて、加速パルスをキャンセルし、ビームを一時停止(PRF Pause)して、その間リーフやガントリーが追いつくのを待ちます。(PRF = Pulse Repetition Frequency)
- このようなビームの一時停止は、照射時の線量誤差を増加させないためにも、できるだけ起こさない方が望ましいです。

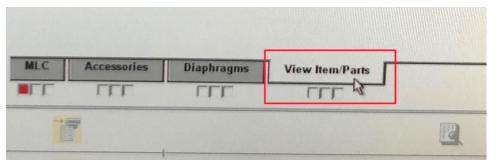


Clinical ModeにおけるPRF Pauseの確認方法

- PRF Inhibitの回数は、リニアックコンソールで見ることができます。
- Item 2200, Part 111が実際のPRF Inhibitのアクチュアル値です。
- 1. 二次アイコン View Item/Parts を選択します
- 2. Item 2200, Part 111を入力します
- 3. View Item/Partsタブから確認できます







まとめ

Monacoの計画の照射において問題を抱えている場合:

- 1. MLC Dynamics Parametersがリニアック公称値と一致しているか確認する。
- 2. Min Dose Rateを決定し、一連のMLC Dynamics Parametersが良好であるか確認する。
- 3. プランデータを転送して照射する。この際PRF Inhibitの発生回数を数えておく。
- 4. これを減らすようにMLC Dynamics Parametersを修正する。

という繰り返しを行うことになります。





Thank you