

DIR の基礎的検討とART Assist の使用経験

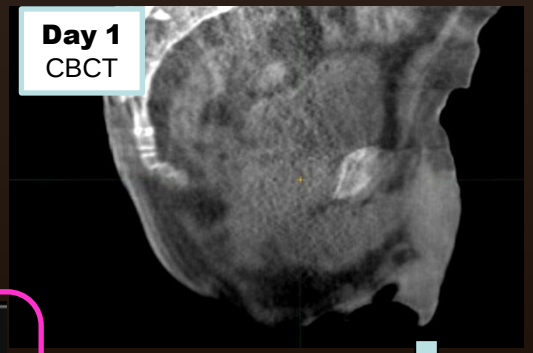
金沢大学附属病院　放射線部　小島礼慎

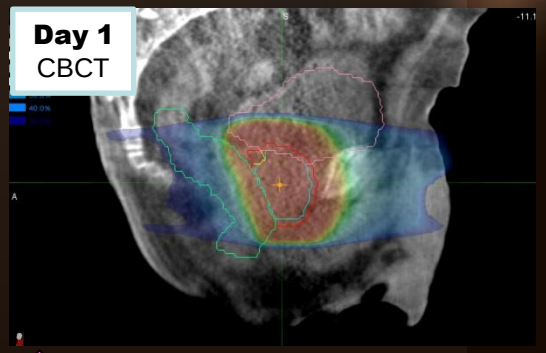
ART Assist機能

① 「1日目のCBCT画像」を「計画CT画像」に線形レジストレーション（Rigid Image Registration: RIR）し、治療計画時の輪郭および線量をCBCT画像にコピー。



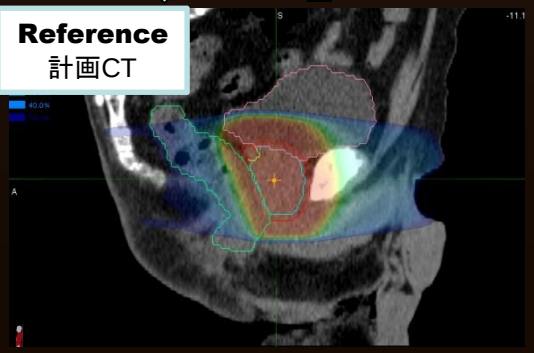






RIR

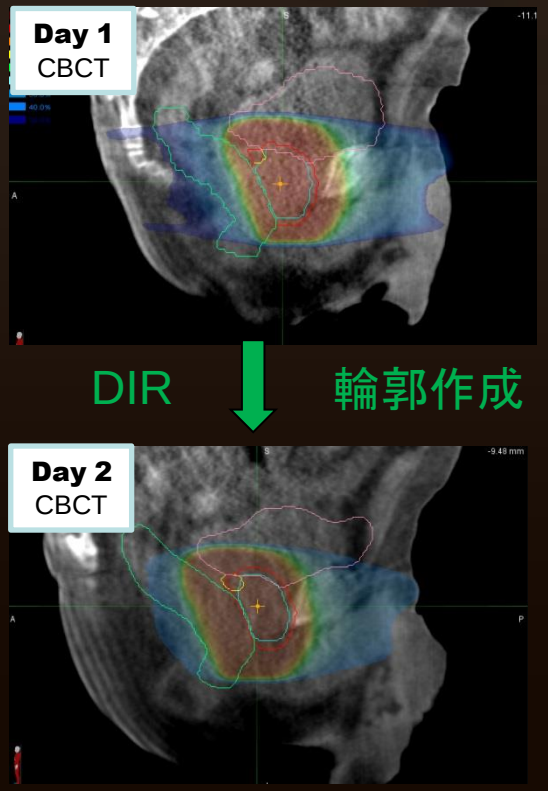
輪郭と線量をコピー



ART Assist機能

② 「1日目のCBCT画像」を「2日目以降のCBCT画像」に変形レジストレーション（ Deformable Image Registration: DIR ）することで輪郭を自動作成可能。

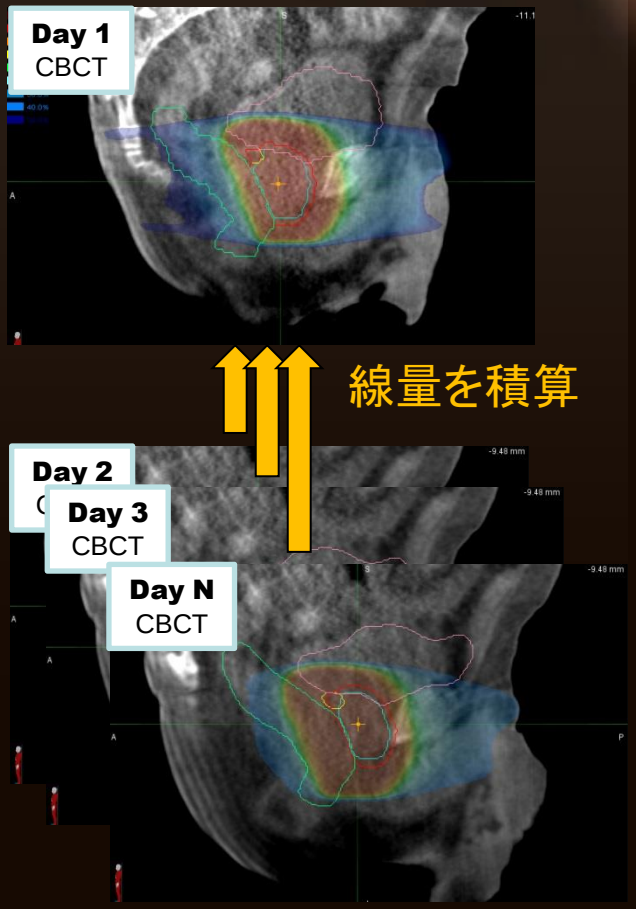




ART Assist機能

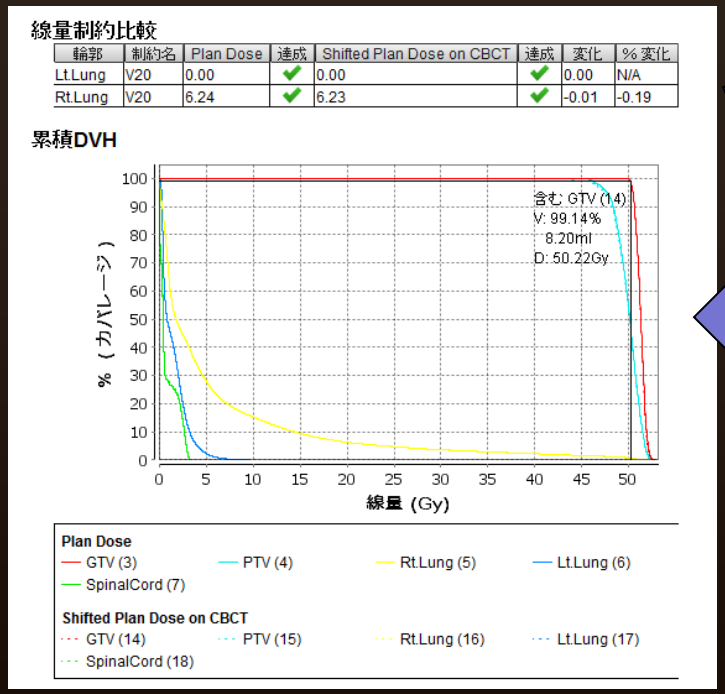
③ さらに、アイソセンタシフトさせた変形後の線量情報を「1日目のCBCT画像」に積算。N日間この作業を繰り返すことで積算線量を予測することが可能。





ART Assist機能

④ DVHや線量制約の変化が記載されたレポートを自動作成



線量制約比較

輪郭	制約名	Plan Dose	達成	Shifted Plan Dose on CBCT	達成	変化	% 変化
Lt.Lung	V20	0.00	✔	0.00	✔	0.00	N/A
Rt.Lung	V20	6.24	✔	6.23	✔	-0.01	-0.19

累積DVH

線量制約

DVH

患者情報
画像キャプチャ
容積の変化　etc.

治療期間中の変化に迅速な対応が可能となるため、
Adaptive Radiotherapyの補助ツールといえる。

ART Assist機能

ただし、ワークフロー、線量制約等を自施設用カスタマイズに設定するのは手間がかかる。



ART Assist を使いこなすためには各種検証が必要と思われる。今回は、臨床例を通じ、DIRの精度について検討した。

ART Assist 使用経験

症例

1) 肺癌（自由呼吸下）のHypo-fractionated RT
2) 中リスク前立腺癌に対する^{192}Ir組織内照射後のIMRT

RTPS：Monaco ver.3.00
Planning CT : Aquilion LB (東芝メディカルシステムズ）
Cone Beam CT : XVI （エレクタ)

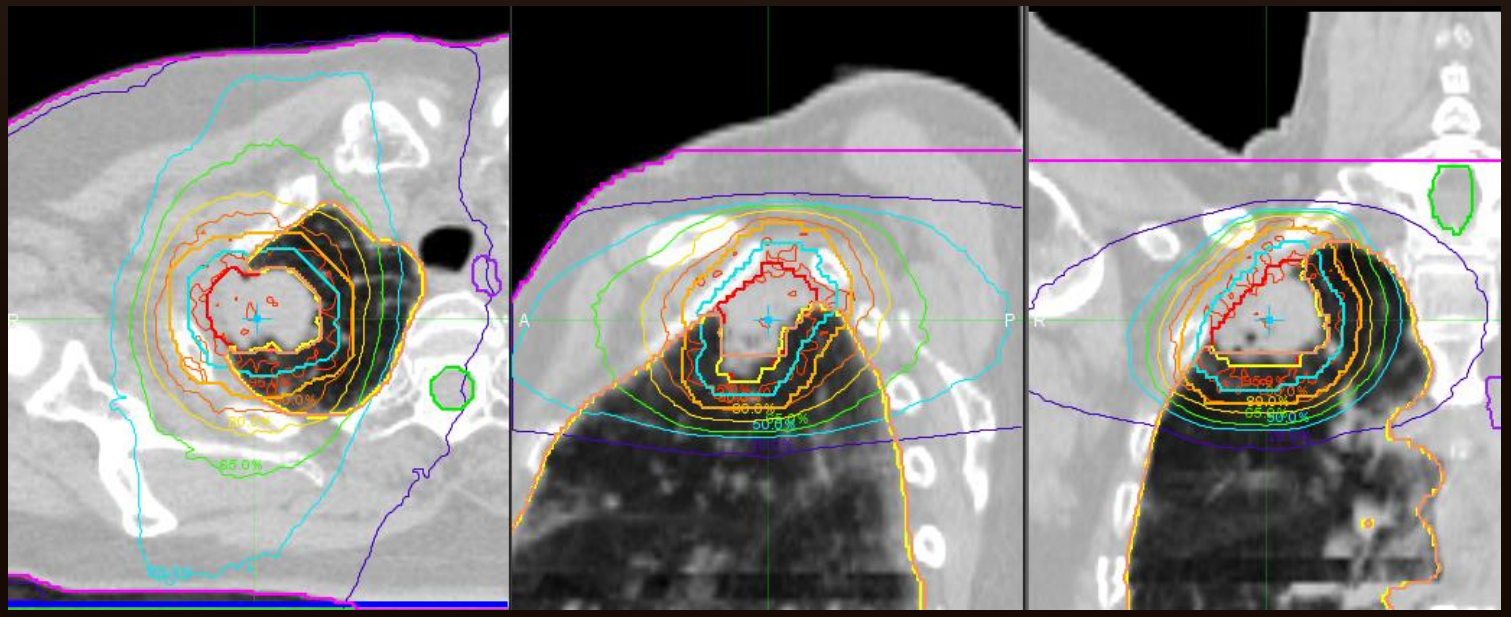
評価方法・項目

1.DVHの比較評価（計画時とART AssistによるN回後の推定）
2.画像のDIR精度評価（視覚的評価と類似度の評価）

ART Assist 使用経験

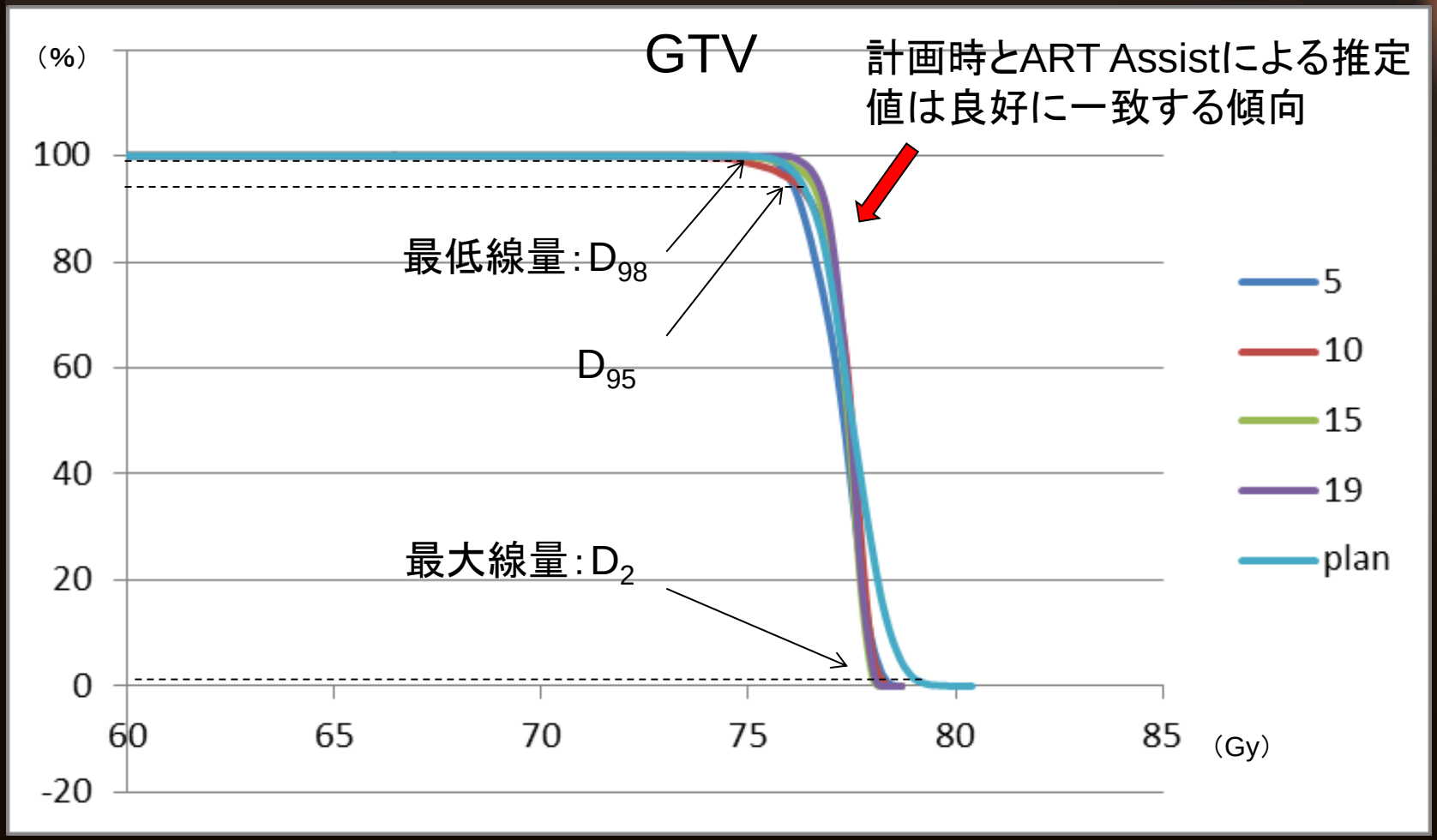
- 肺癌（自由呼吸下）のHypo-fractionated RT

対象：70歳女性　右肺上葉扁平上皮癌（根治）
病期：T1bN0M0
照射方法、処方線量：VMAT、76Gy/19回
CBCT撮影条件：Sサイズ、100kV、0.5mAs/F、200度収集



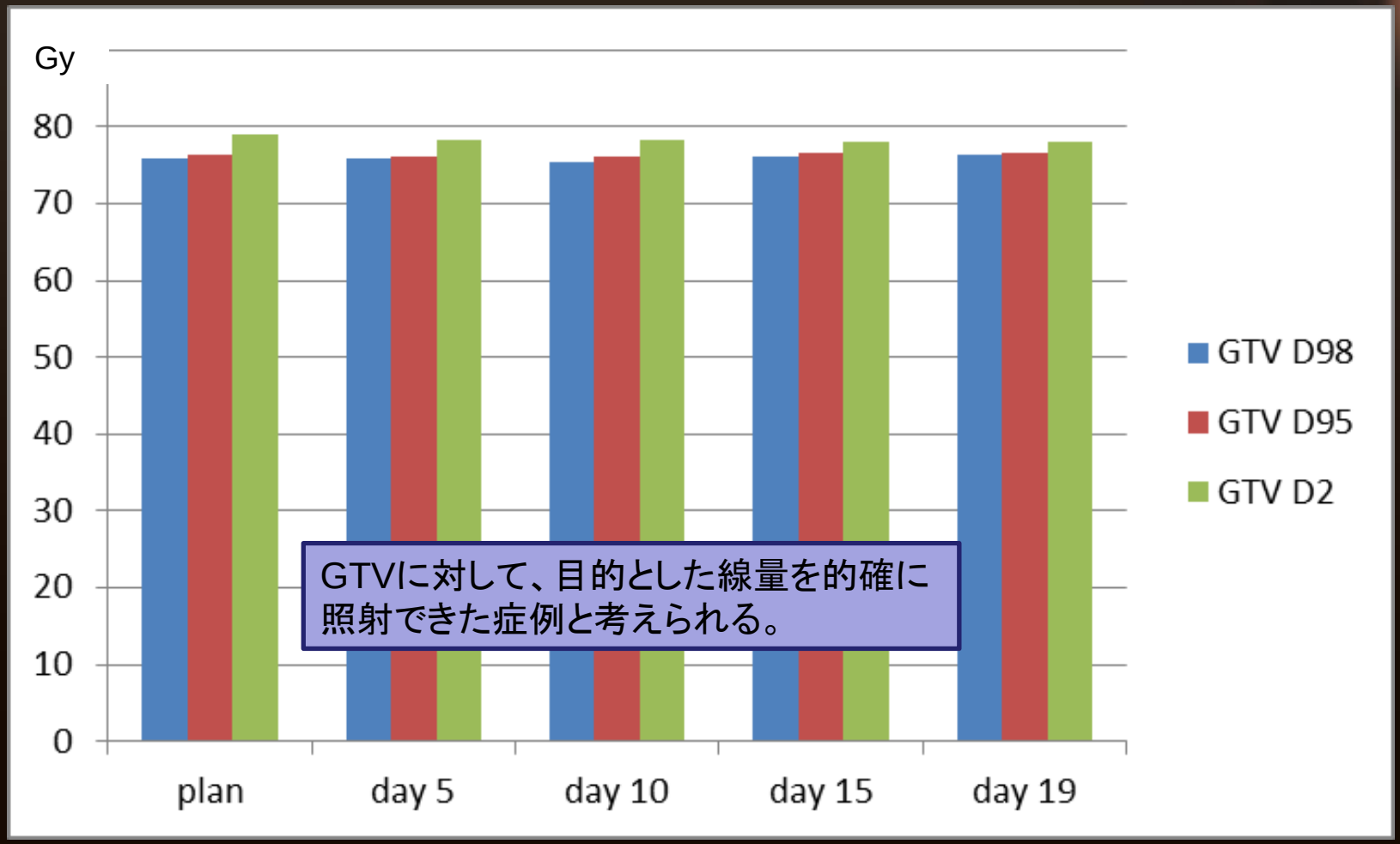
ART Assist 使用経験

- GTVにおけるDVHの評価（計画時とART AssistによるN日目の推定）



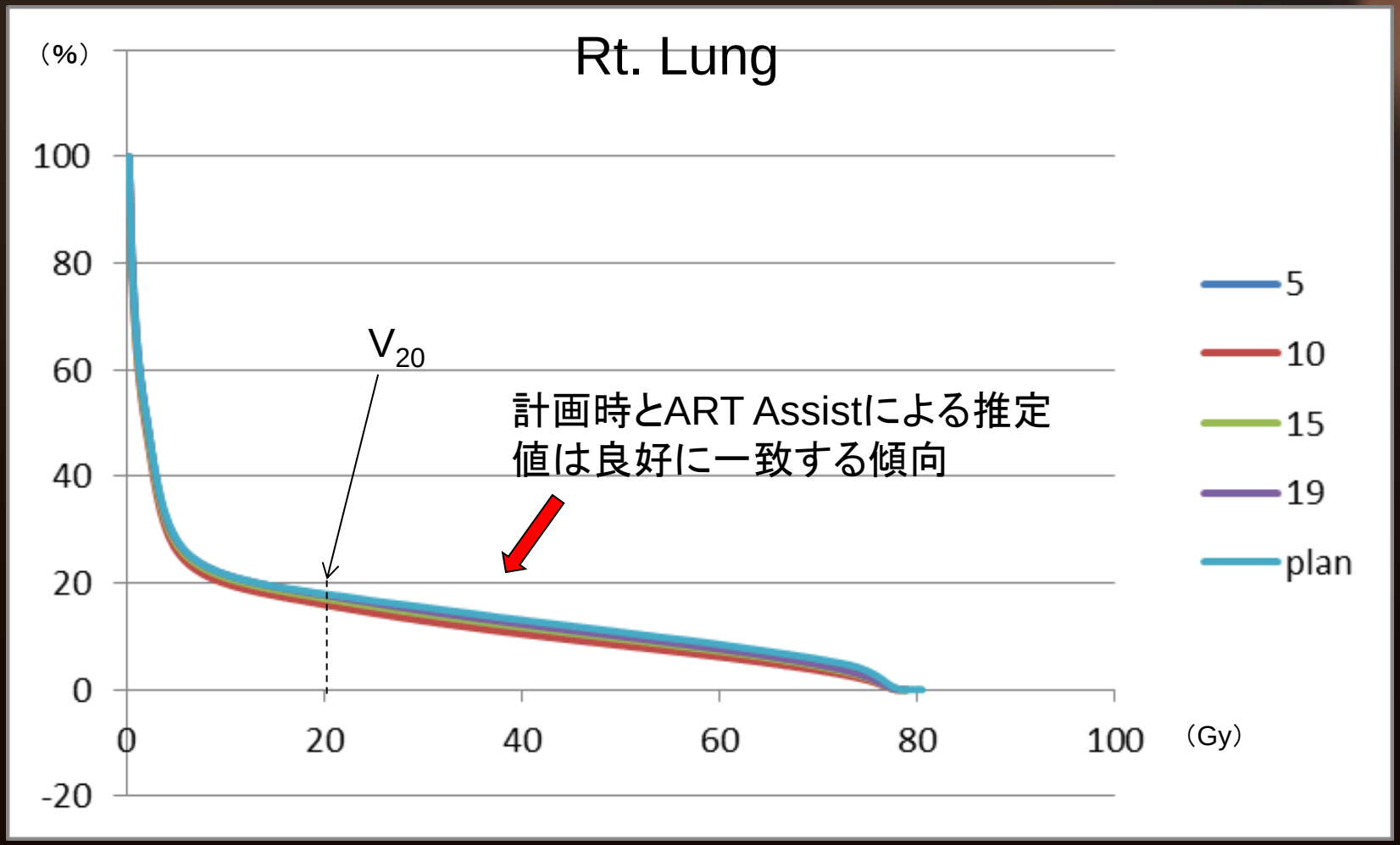
ART Assist 使用経験

- GTVにおけるDVHの評価（計画時とART AssistによるN日目の推定）



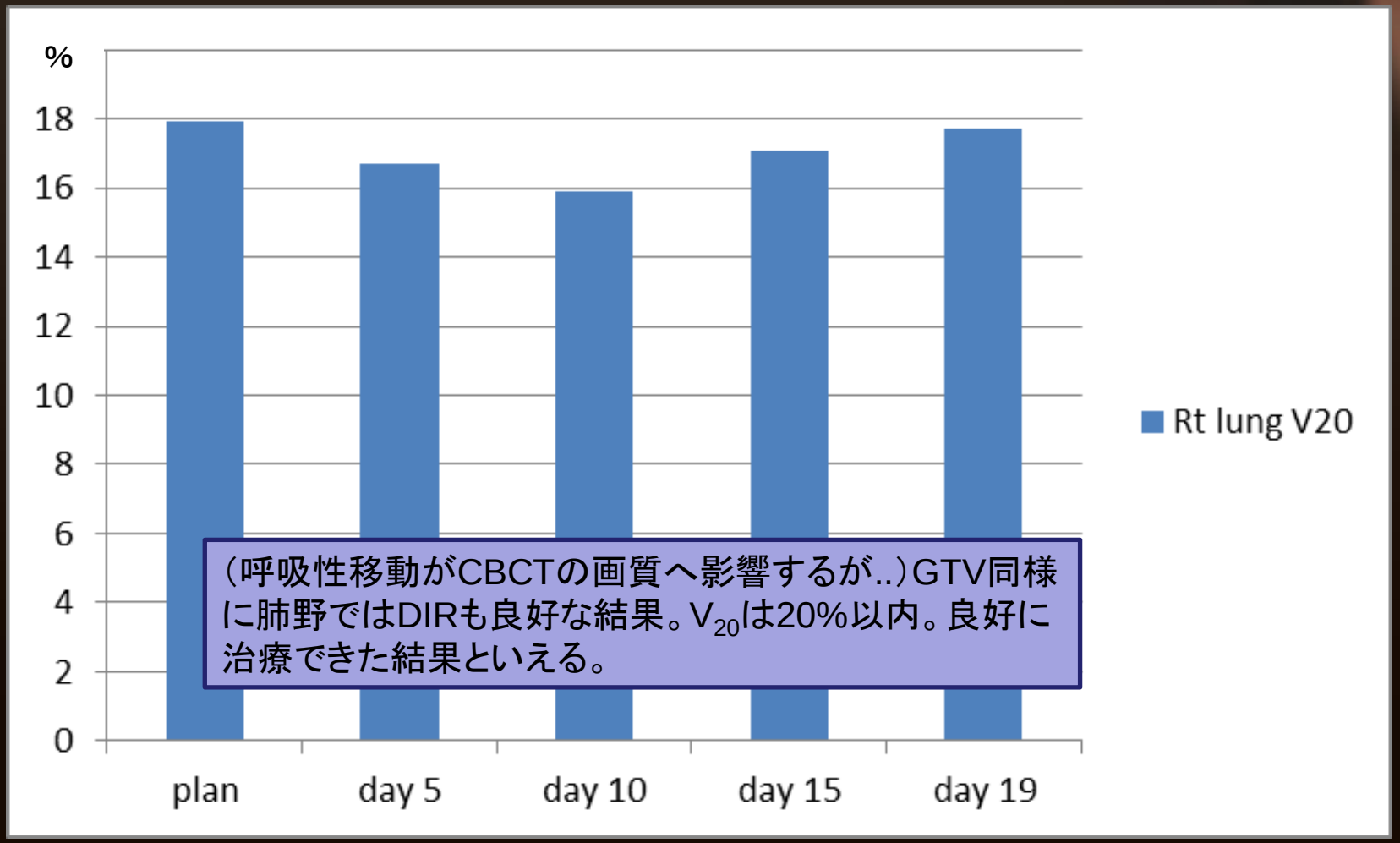
ART Assist 使用経験

- OARにおけるDVHの評価（計画時とART AssistによるN日目の推定）



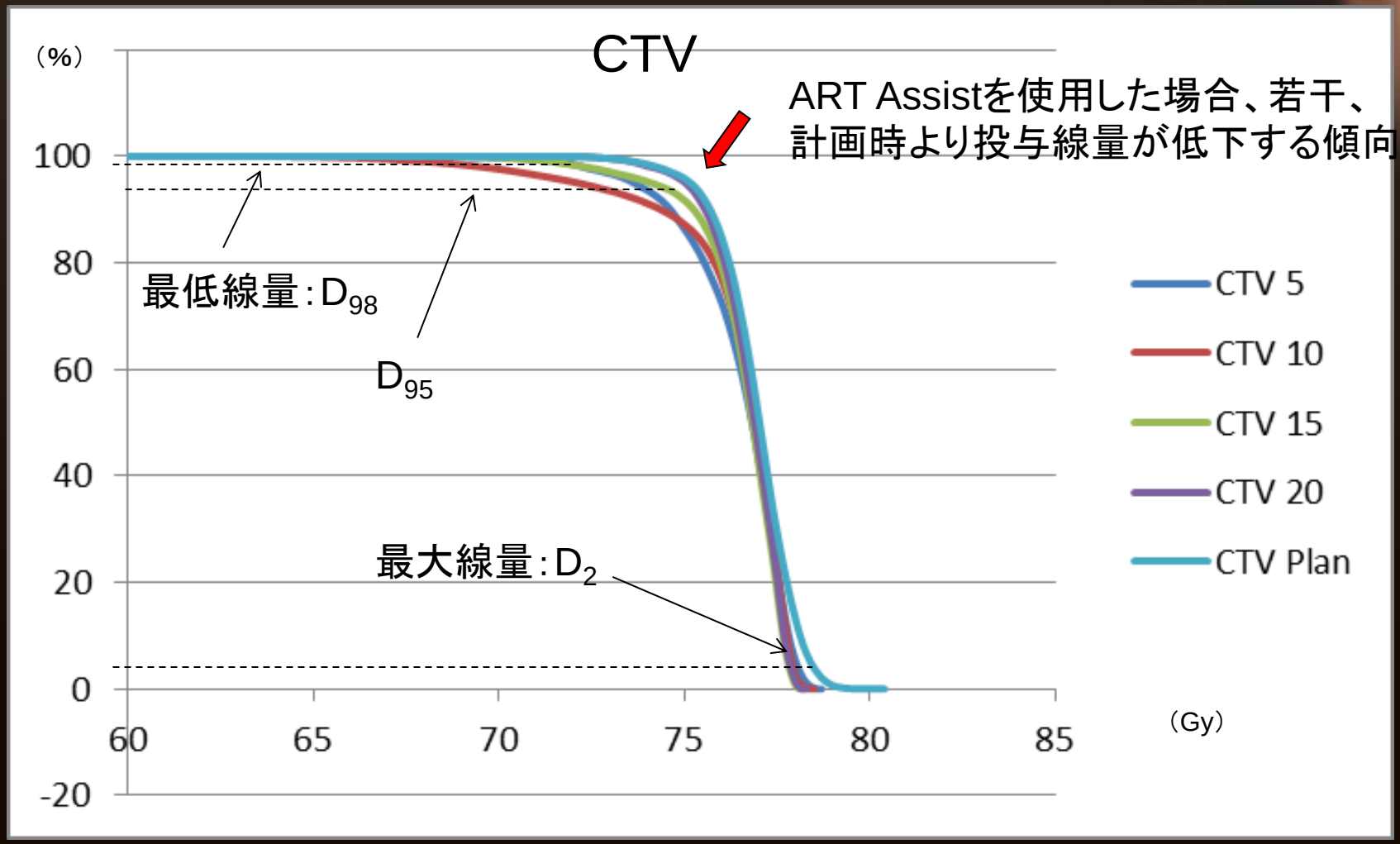
ART Assist 使用経験

- OARにおけるDVHの評価（計画時とART AssistによるN日目の推定）



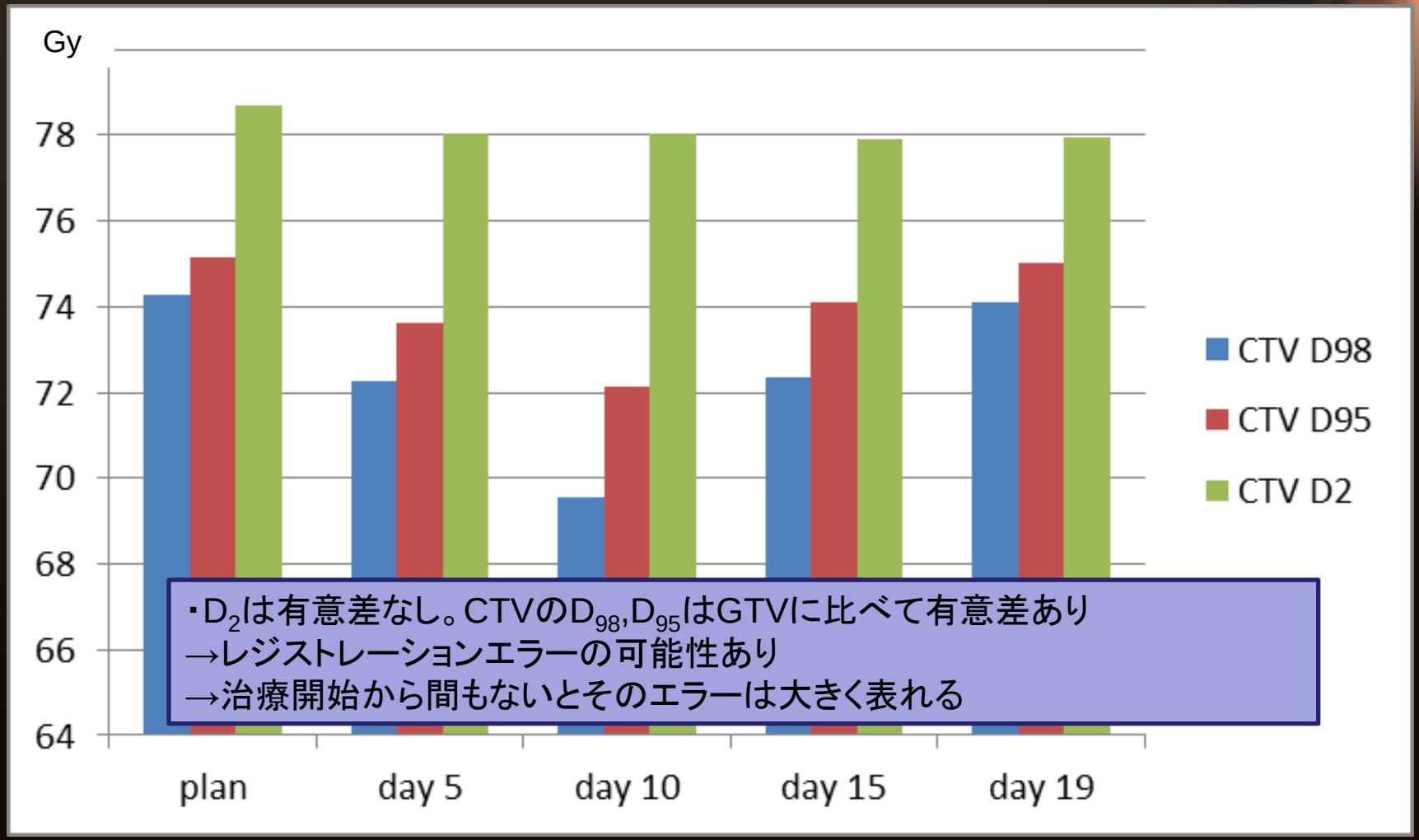
ART Assist 使用経験

- CTVにおけるDVHの評価（計画時とART AssistによるN日目の推定）



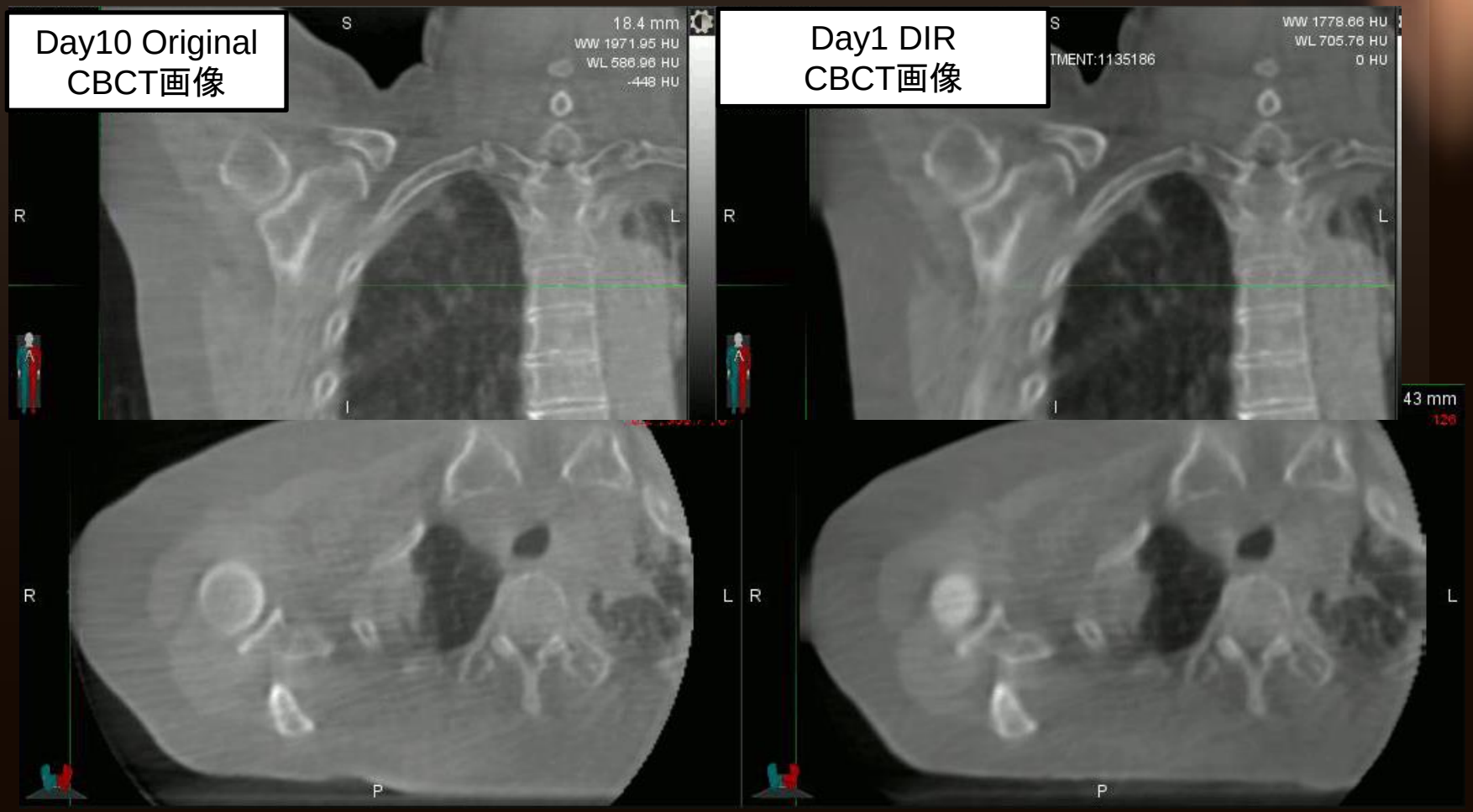
ART Assist 使用経験

- CTVにおけるDVHの評価（計画時とART AssistによるN日目の推定）



ART Assist 使用経験

- 画像のDIR精度評価（視覚的評価）



主観的に、オリジナルとDIR画像はよく一致している印象。

ART Assist 使用経験

- 画像のDIR精度評価（類似度の評価）

$$C = \frac{1}{IJ}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\frac{\{A(i,j)-\bar{a}\}\{B(i,j)-\bar{b}\}}{\sigma_A \sigma_B}$$

類似度は、A（N日目のオリジナルのCBCT画像）に対するB（1日目のCBCTのDIR画像）のC（相互相関係数）で求める。（Volumeの一致度ではなく画像そのものの評価にあたる）

N日目のOriginalに対するDIR画像の相互相関係数の結果

day 5	0.94
day 10	0.936
day 15	0.929
day 19	0.959
平均値±SD = 0.941±0.013	

2つの画像は非常に類似し、再現性のある結果を表している。

疑問　視覚的、客観的評価は良好なのに、なぜPTVにおけるDVHが一致しないのか？

Phantomを使用した基礎実験

- 方法
- 肺癌を模擬した3cmの球体ファントムを撮影したCBCT画像を2cmの球体を撮影したCBCT画像にDIRした。
- 「3cmから2cmへDIRさせたCBCTの輪郭・線量」と「2cmであらかじめプランした輪郭・線量」を比較した。

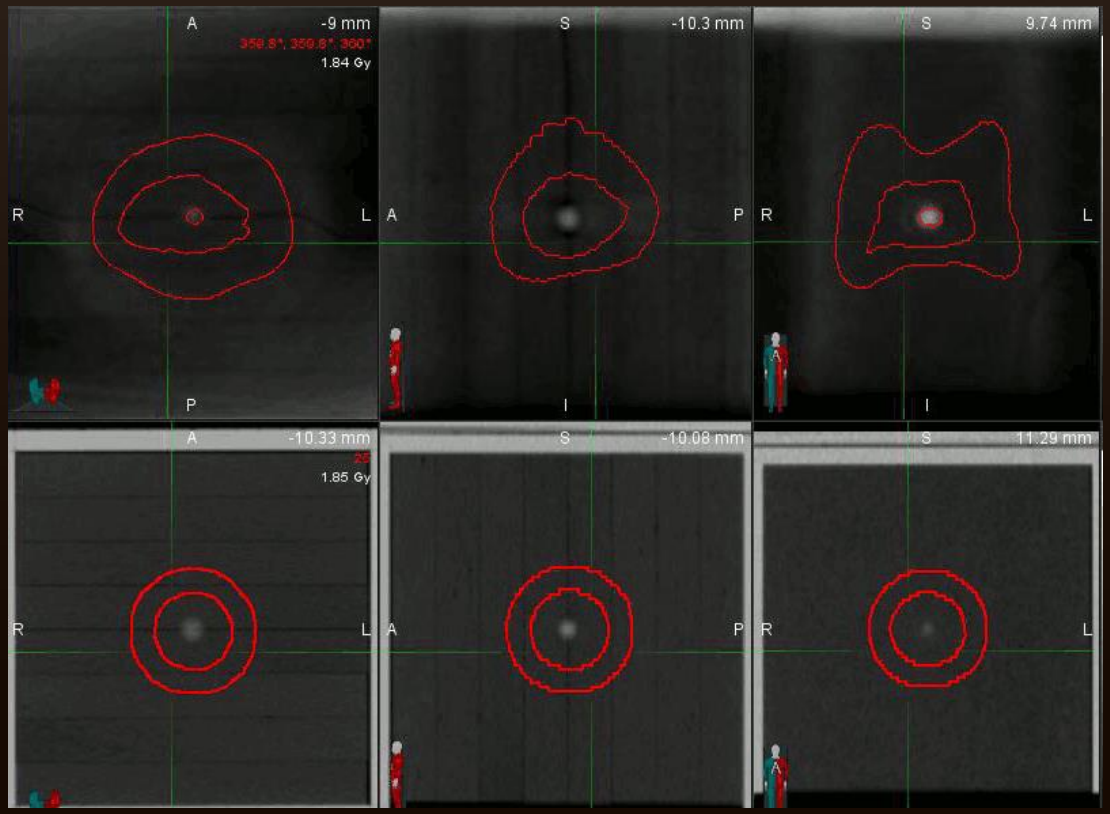
- 輪郭はGTV、GTV+10mm、20mmとした。
- 線量はGTVのVolume中心に200cGyを照射するプラン。

Phantomを使用した基礎実験

- 結果
- 境界明瞭なGTVでは体積比：0.83%と良好な一致。GTV+10mmで+21.0%、GTV+20mmで+ 59.2%と過大に見積もる結果となった。

3cm to 2cm DIR image

Reference image



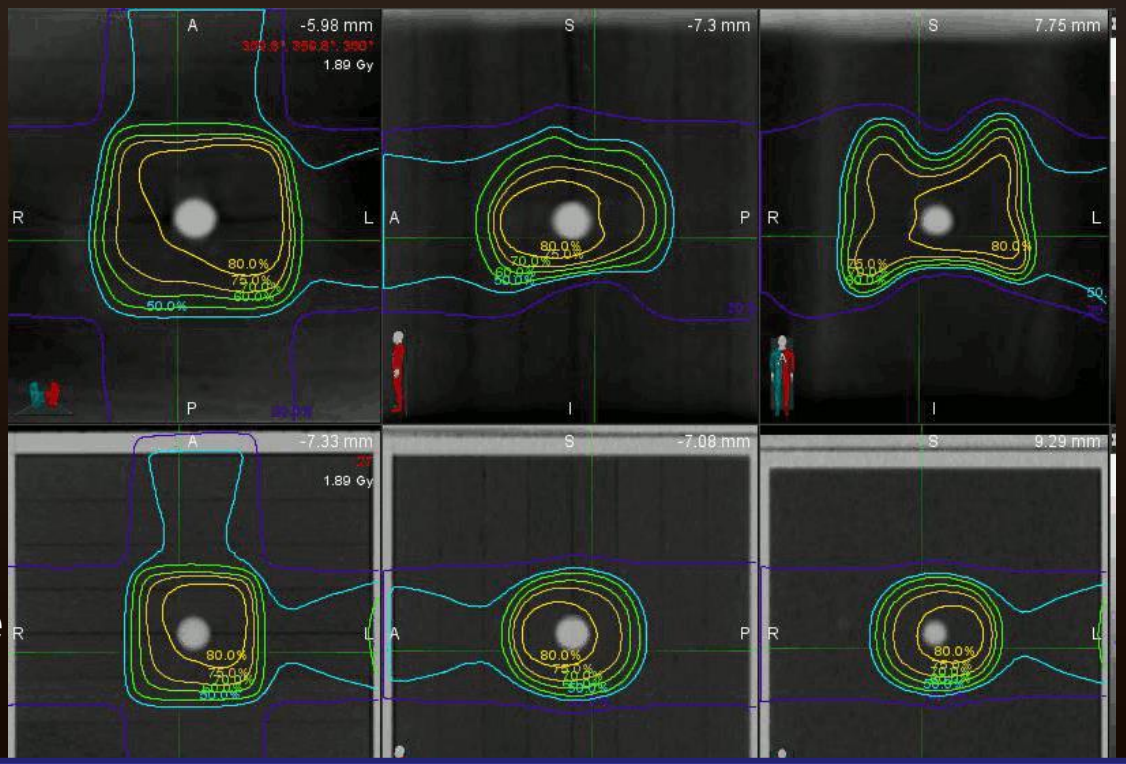
Phantomを使用した基礎実験

結果

- その結果、Volume内に含まれる線量情報が相対的に平均化され少なくなり、CTVのDVHにおける線量が低下してしまったと考えています。

3cm to 2cm DIR image

Reference image



- GTVなど境界明瞭な部位ではDIRは高精度で行われ、体積や線量評価も計画時と有意差はない。画像コントラストが低い部分や定量的にマージンを付加して作成するCTV等の領域はDIR精度が低下するため、体積や線量評価には注意が必要と考えられる。

ART Assist 使用経験

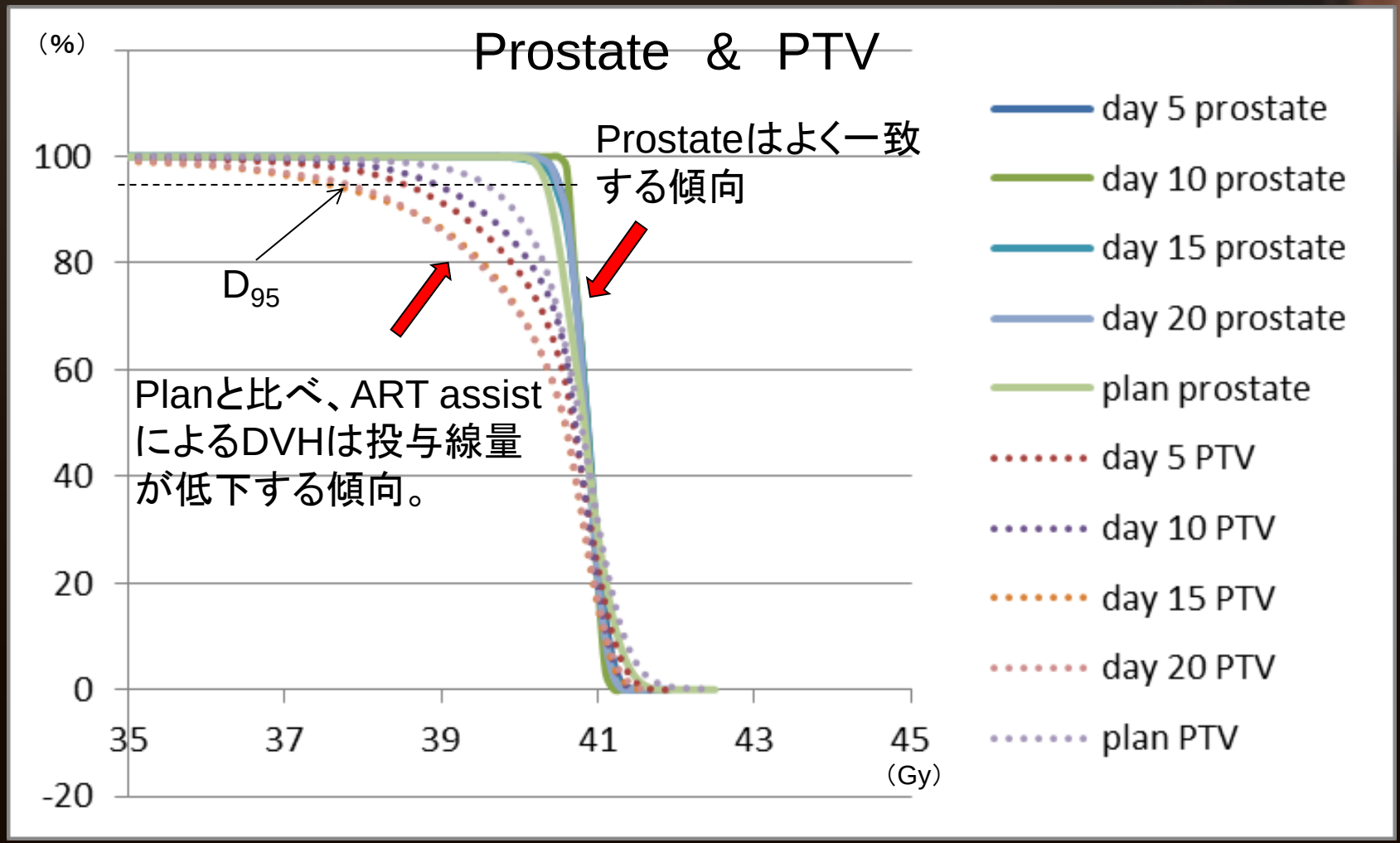
- 前立腺癌に対する^{192}Ir組織内照射後のIMRT

対象：77歳男性、中リスク前立腺癌
病期：T2aN0M0、GS：7=4+3、PSA：4.721
照射方法、処方線量：VMAT、40Gy/20回
CBCT撮影条件：Mサイズ、120kV、1.6mAs/F、360度収集



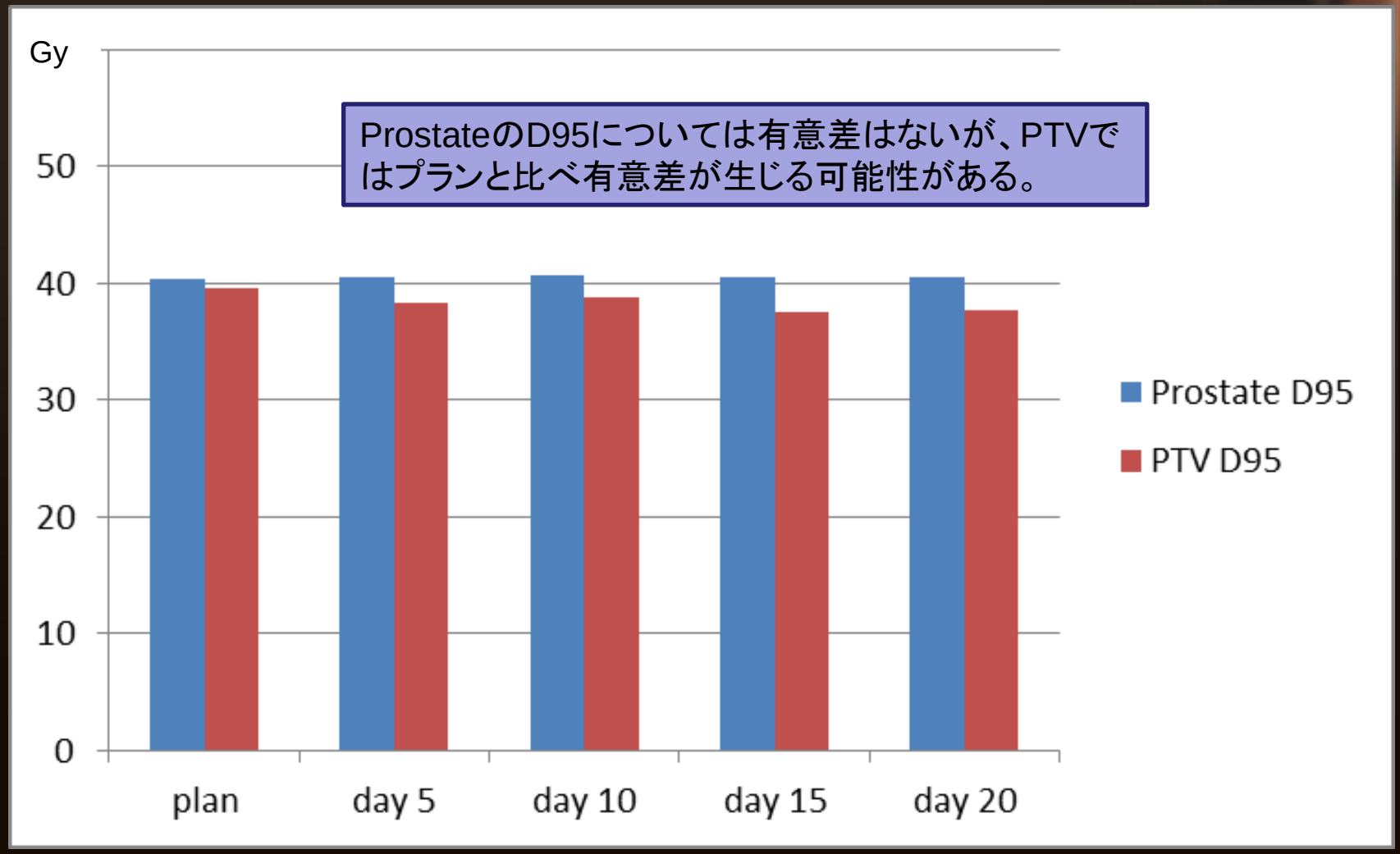
ART Assist 使用経験

- ProstateとPTVのDVHの評価（計画時とART AssistによるN日目の推定）



ART Assist 使用経験

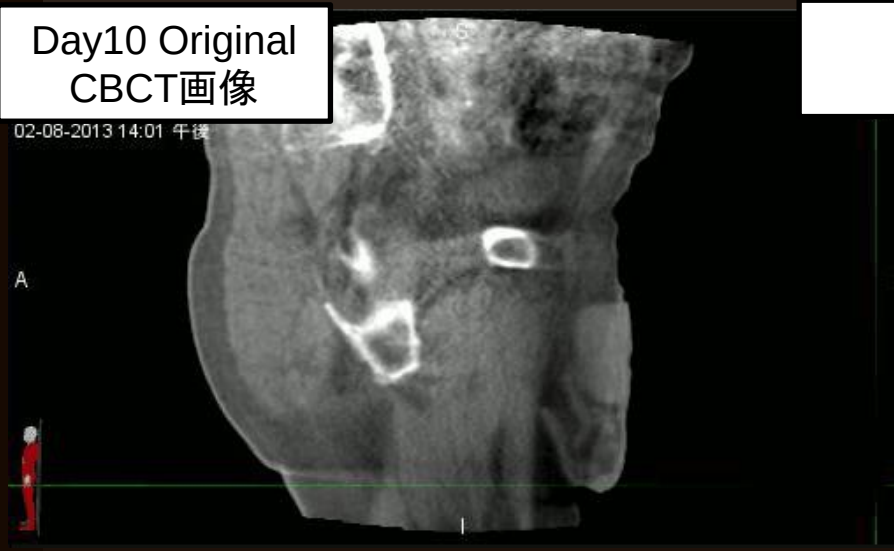
- ProstateとPTVのDVHの評価（計画時とART AssistによるN日目の推定）



ART Assist 使用経験

- 画像のDIR精度評価（視覚的評価）

Day10 Original
CBCT画像



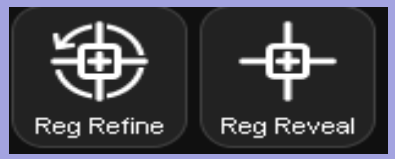
Day1 DIR
CBCT画像



骨構造や筋組織と脂肪の境界はよく一致している。
しかし、前立腺周囲の軟部組織は…

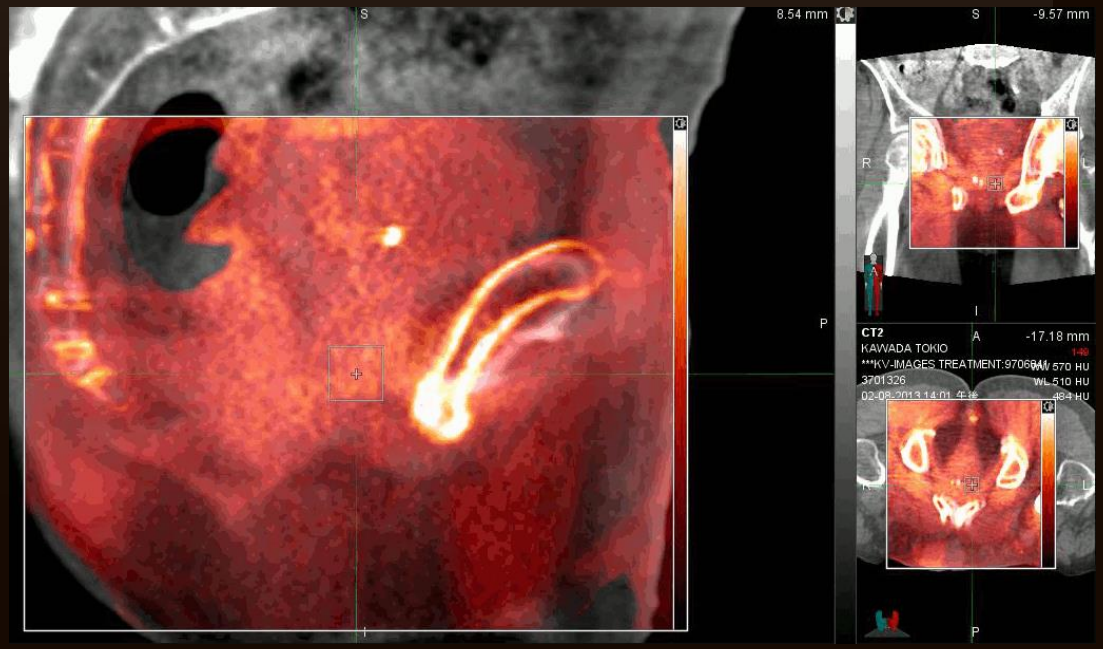
ART Assist 使用経験

- 画像のDIR精度評価（視覚的評価）



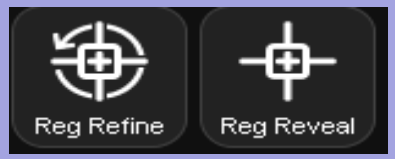
視覚的評価をするためには、Reg RevealやReg Refineを使用し（場合によっては、ワークフローに組込み）、下で示すように正確性を確認するとよい。

似たデジタル値が周囲にあると、Free Formで変形するMIMのDIRでは回転性のエラーが生じる。

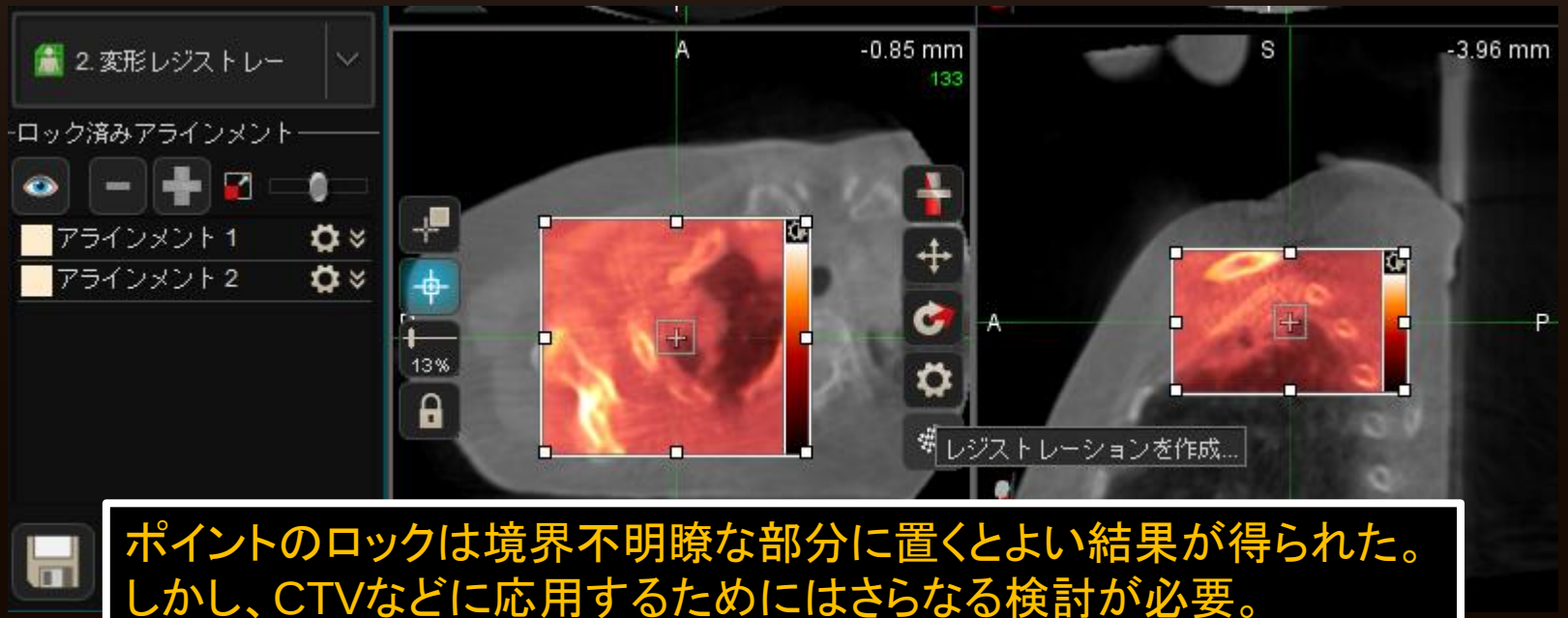


ART Assist 使用経験

- 画像のDIR精度評価（視覚的評価）



（作業効率は低下するが、）DIRが明らかに正確でない場合は線形アライメントをロックをし、再度レジストレーションを行うことも可能



ポイントのロックは境界不明瞭な部分に置くとよい結果が得られた。
しかし、CTVなどに応用するためにはさらなる検討が必要。

ART Assist 使用経験

- 画像のDIR精度評価（相互相関係数の評価）

$$C = \frac{1}{IJ}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}\frac{\{A(i,j)-\bar{a}\}\{B(i,j)-\bar{b}\}}{\sigma_A \sigma_B}$$

類似度は、A（N日目のオリジナルのCBCT画像）に対するB（1日目のCBCTのDIR画像）のC（相互相関係数）で求める。（Volumeの一致度ではなく画像そのものの評価にあたる）

N日目のOriginalに対するDIR画像の相互相関係数の結果

day 5	0.94
day 10	0.936
day 15	0.929
day 19	0.959
平均値±SD = 0.941±0.013	

2つの画像は視覚的一致度は悪いにかかわらず、2つの画像の類似し、再現性のある結果を表している。

まとめ

- GTVなどの境界明瞭な部位のDIRは比較的良好であり、ART Assistも有効に利用できる。しかし、マージンを付加したStructureはミスレジストレーションが起こる。
  - ✓ 解決方法としては、Reg refineを使用し、境界部分をロックした状態でDIRを行う。
  - ✓ もしくは、変形されたGTVからあらたにStructureを作成する。
- OriginalのCBCT画像とDIRにより作成されるCBCT画像はかなり類似した結果が得られる。しかし、低コントラストな部位ではミスレジストレーションが生じている可能性がある。
- CBCTの画質を向上させようと高線量にするのはいただけない。なによりも臨床・患者第一で利用をしてほしい。



ご清聴

ありがとうございました。

