

PreciseART[®]を用いた適応放射線治療 (ART : Adaptive radiotherapy) の現状

田ノ岡征雄 / 岡田 亘 / 佐野圭佑 / 酒井優佑

宝塚市立病院 医療技術部 放射線治療室

Key
Words

●ART ●PreciseART ●Radixact

強度変調放射線治療 (IMRT : Intensity modulated radiation therapy) に代表される高精度放射線治療は、腫瘍の縮小や患者の体形変化による線量分布への影響は大きい。そのため、適宜治療計画を修正する方法である適応放射線治療 (ART : Adaptive radiotherapy) が注目されている。本項では、当院で実施している PreciseART[®] を用いた ART の現状について報告する。

はじめに

近年の放射線治療は、高精度化による治療成績の向上、集学的治療による治療適応の拡大により患者数が増加している。とりわけ、高精度放射線治療の代名詞ともいべき IMRT が急速に普及している。IMRT では、正確な位置に腫瘍径に沿った精密な線量分布を与えることが可能となるが、その反面、従来のコンベンショナルな照射法に対して、腫瘍の縮小や患者の体形変化による線量分布への影響は大きい。そのため、放射線治療中に起こる腫瘍体積変化や位置変化に対して、適宜治療計画を修正する方法である ART が注目されている¹⁻⁴⁾。

ART とは、放射線治療期間中に生じる腫瘍の縮小および患者の体重増減などにより、初期の治療計画では、標的への線量不足および周囲正常臓器への線量増加などが危惧される場合に、治療期間中に取得した三次元医用画像に基づき、新たな治療計画を立案し、照射する放射線治療と定義されている⁵⁾。

放射線治療装置 Tomotherapy[®] の最新プラットフォームである Radixact[®] では、専用の治療計画装置 Accuray Precision[®] (ver. 3.3.x, Accuray, Sunnyvale, CA) が用いられ、アダプティブモニタリング機能を有する PreciseART[®]^{6,7)} ソフトウェアが導入されている。また、ファンビームを使った Radixact[®] 独自のハードウェア技術であるガントリの連続回転と、カウチの連続動作によるヘリカル CT イメージング機能 (CTTrue[™] : MVCT イメージングや ClearRT[™] : kVCT イメージング) を有している。

当院では、2018年より PreciseART[®] を導入し、臨床で使用している。本項では、当院で実施している PreciseART[®] を用いた ART の現状について報告する。

PreciseART[®] の概要

PreciseART[®] では、画像誘導放射線治療 (IGRT : Image-guided radiotherapy) のために、Radixact[®] のヘリカル CT イメージング機能により、治療

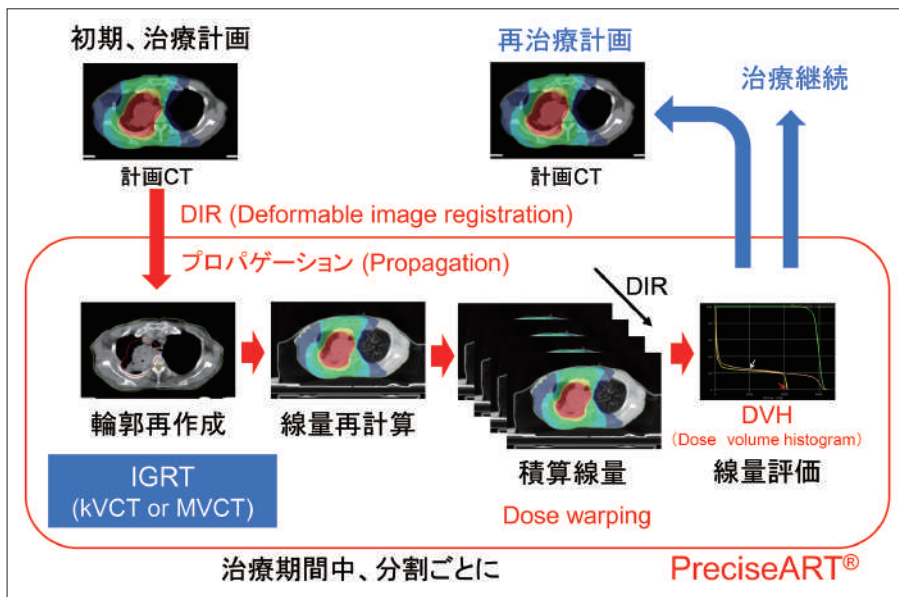


図1 PreciseART®のフローチャート

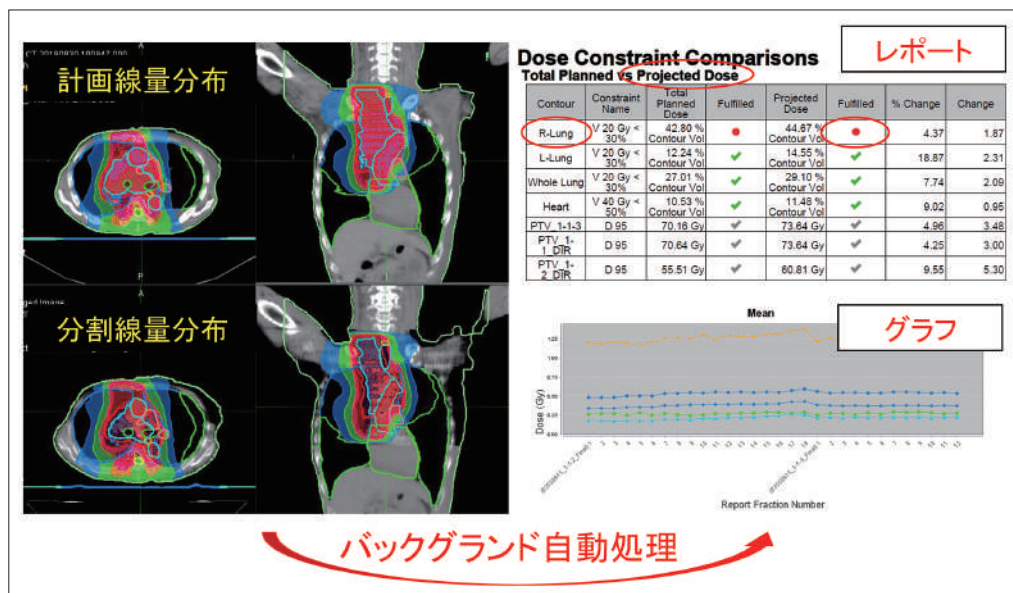


図2 PreciseART®の線量評価

期間中に分割ごとに取得した三次元画像 (MVCT 画像またはkVCT 画像) を使用する。治療期間中の腫瘍縮小や体形変化を考慮した分割線量や積算線量、予測線量などの線量評価が可能である (図1)。また、これらの線量評価のプロセスは、バックグラウンドで自動処理され、テンプレート化された線量制約などのサマリーレポートも自動作成される (図2)。

ARTはその技術の違いにより、ESTRO physics workshopによるPattern survey⁸⁾では、下記の4つに細分類されている。

- ・オフライン (事後適応)
 - ① Ad-hoc offline replanning : 腫瘍の縮小等に応じて再治療計画
 - ② Protocolled offline replanning : プロトコル

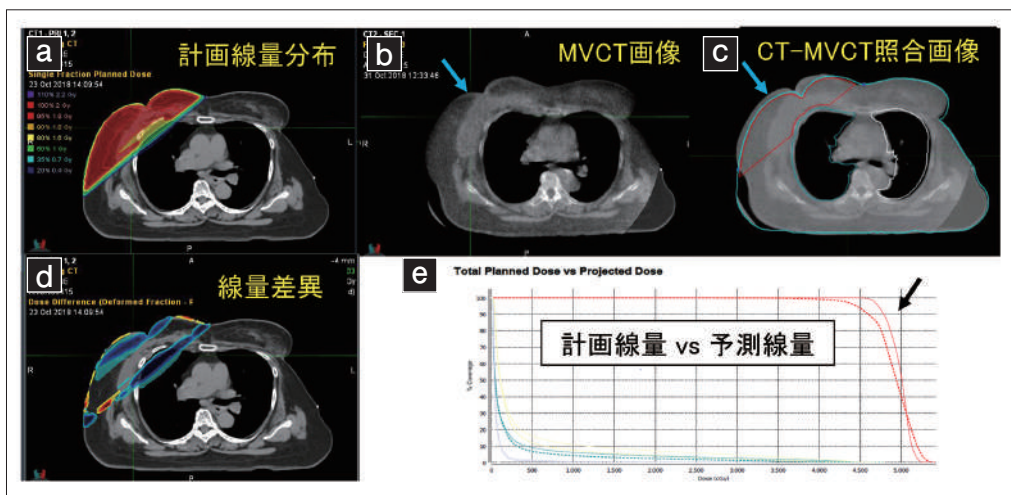


図3 ART 症例 1 乳がん術後照射：術創の漿液貯留が著明であった症例

初期治療計画時 (a) に比べ、術創の漿液貯留に伴う乳房体積増加があり (青矢印 (b、c))、体表面近くに20%の線量低下 (青色のカラーウォッシュ) を認めた (d)。DVH 上も治療計画 (赤実線) に対し、PTV 線量のカバレージ低下が予測され (赤破線) (e)、治療効果の低下を危惧し、再治療計画が実施された。

に基づいて再治療計画

・オンライン (即時適応)

- ③ Online plan library：用意した複数の治療計画の中から最適な治療計画を決定
- ④ Online using daily replanning：照射直前に最適な治療計画をその都度作成

PreciseART[®] を用いた ART に関しては、上記の ART の①、②に該当する。

当院における PreciseART[®] のワークフロー

PreciseART[®] を実行するには、患者治療計画の ART 登録からとなるが、iDMS[®] (統合データ管理システム) サーバのディスク使用量が膨大であるため、当院では初回からの ART 登録は、基本的に肺がん根治治療計画のみをルーチンとしている。PreciseART[®] の特長として、治療初回からでなく、治療期間中であっても患者治療計画の ART 登録は可能で、IGRT を実施済みであれば、再登録することで遡って線量評価が可能である。

また、当院では、毎朝、治療専門医、医学物理士、診療放射線技師、看護師などを含めた合同のカンファレンスを行っており、当日のスケジュール確認や治療計画レビュー、治療中患者の IGRT 承認、

問題症例の ART 評価を実施している。

PreciseART[®] は、放射線治療期間中に生じる腫瘍の縮小や患者の体重増減などにより、初期の治療計画では標的への線量不足および周囲正常臓器への線量増加などが危惧される場合に、治療継続の可否について、IGRT 画像による視覚的な評価だけではなく、客観的に線量評価が可能となり、当院においては、再治療計画の決定に非常に有用なツールとなっている。

臨床における PreciseART[®] の有用性

1) ART 症例 1

乳房温存手術後の乳房接線照射 (50 Gy 25 分割) の ART 症例を図3に示す。この症例は、治療期間中に術創の漿液貯留が著明であった症例である。治療早期に漿液腫の増大により体形が変化し、標的 (PTV: Planning target volume) への線量不足および周囲正常臓器への線量増加などが危惧された。そこで、PreciseART[®] を用いて客観的な線量評価を行い、再治療計画が実施された。

2) ART 症例 2

肺がん根治照射 (60 Gy 30 分割) の ART 症例を図4に示す。この症例は、治療期間中 (10 回目) に、

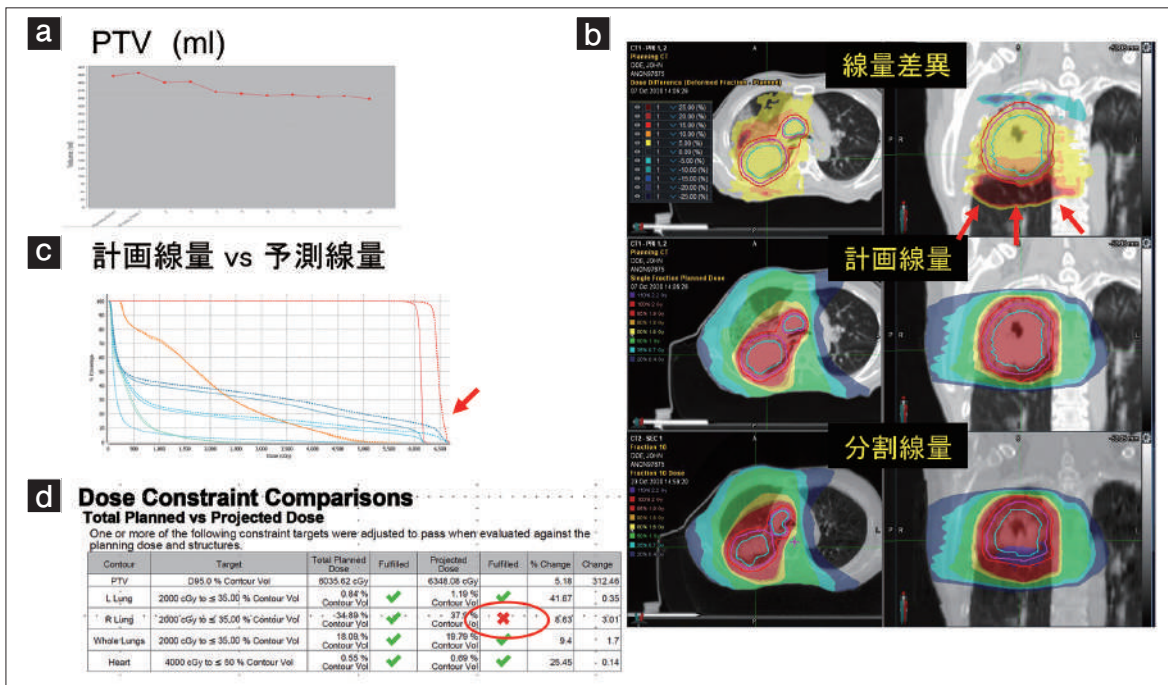


図4 ART症例2 肺がん根治照射における腫瘍縮小の症例

治療10回目、約20%のPTVの縮小を認め(a)、腫瘍の縮小に伴い、PTVの下端付近に肺線量の増加が認められた(赤矢印(b))。また、DVHでPTVの最大線量の急激な増加(赤矢印(c))、右肺線量の制約逸脱を認めたため(赤丸印(d))、再治療計画が実施された。

PTVの縮小、腫瘍の縮小に伴い肺線量の増加が認められた。PreciseART[®]を用いて線量評価を行い、DVH(Dose volume histogram)でPTVの最大線量の急激な増加、右肺線量の制約逸脱を認めたため、再治療計画が実施された症例である。

PreciseART[®]の精度について

積算線量評価は、アキュレイ独自開発のフリーフォーム変形アルゴリズム⁷⁾により、分割ごとのIGRT画像と計画CT画像との対応点を求め、その変形情報(DVF: Displacement vector field)に基づき積算線量が計算される。そのため、変形精度は積算線量の精度に直接関わるファクタであり、精度評価は重要である。そこで、筆者らは、フリーで利用可能な胸部CT画像^{9, 10)}(7症例/1037ポイントの対応点を持つ吸呼吸画像)(図5a)を利用して、画像照合精度の定量的評価指標の一つである目標レジストレーション誤差(TRE: Target registration error)¹¹⁾を算出した(図5b)。他社

マルチモダリティ対応DIR(Deformable image registration)ソフトウェア(MIM maestro[®] ver. 7.0.3, MIM Software, Cleveland, OH)と比較した結果を図5cに示す。このように、PreciseART[®]のDIR精度は、解剖学的変位量の大小に関わらず、他社マルチモダリティDIRアルゴリズムに比べても遜色なく、積算線量評価に十分な精度を持っている。

ClearRT[™]: kVCTイメージングによる精度向上の可能性について

2021年、Radixact[®]にヘリカルCTイメージング機能を有するClearRT[™]が搭載された^{12, 13)}。これにより、PreciseART[®]にも高コントラスト/高分解能のkVCT画像(図6a)が利用可能になった。そこで、筆者らは、ClearRT[™]による画質改善が、ART精度に及ぼす影響を調査した。円柱ファントムに各種コントラスト密度プラグ(①~⑧)を挿入したものを計画CTで撮影、各プラグの輪郭を抽出して治療計画を作成した。そして、腫瘍縮小と変

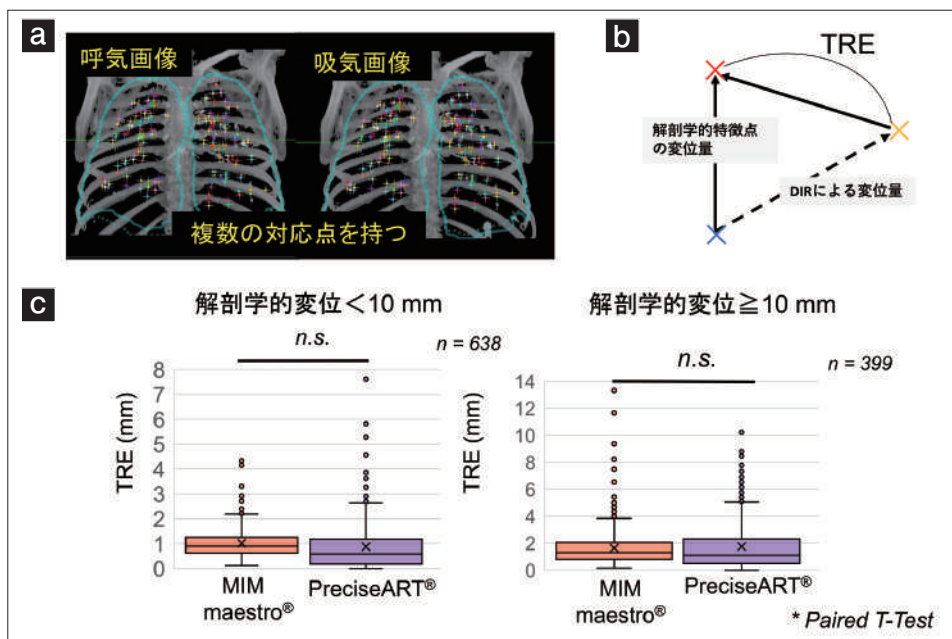


図5 PreciseART®の精度について

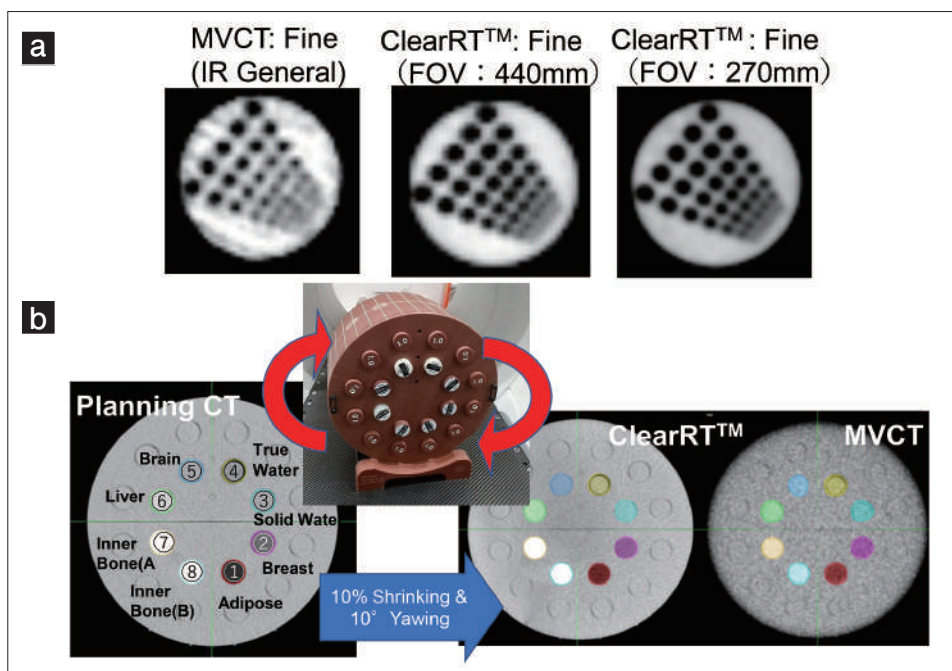


図6 ClearRT™ : kVCTイメージングによる精度向上の可能性について

形に見立てた10%の縮小 (Shrinking) と10°の回転誤差 (Yawing) を加えた状態で、ClearRT™によるkVCTおよび従来のCTTrue™によるMVCTにより、通常のIGRT照合を実施した(図6b)。これにより、PreciseART®において、各プラグの

輪郭がDIRで、どの程度正確に変形されたかを、画像照合精度の定量的指標であるダイス係数¹⁴⁾および平均一致距離 (mm)¹⁵⁾で評価した。表に示すように、MVCTに比べ、ClearRT™によるkVCTを使用した方が、Inner Boneを除く低コントラスト

表 ClearRT™およびMVCTにおける各プラグ輪郭の画像照合精度

Rod No.	プラグ輪郭	物理密度 (g/cm ³)	ダイス係数		平均一致距離 (mm)	
			ClearRT	MVCT	ClearRT	MVCT
①	Adipose	0.946	0.938	0.931	0.653	0.701
②	Breast	0.981	0.938	0.926	0.663	0.790
③	Solid Water	1.015	0.939	0.922	0.637	0.818
④	True Water	1.000	0.929	0.908	0.750	0.978
⑤	Brain	1.052	0.927	0.911	0.743	0.891
⑥	Liver	1.085	0.911	0.907	0.892	0.965
⑦	Inner Bone (A)	1.144	0.910	0.936	0.912	0.646
⑧	Inner Bone (B)	1.149	0.926	0.943	0.753	0.559
	Mean±SD		0.927±0.012	0.920±0.012	0.750±0.113	0.827±0.126

プラグ(①~⑥)において、ダイス係数が高く平均一致距離は小さくなり、計画CTとの高い一致度を得た。これらの結果より、ClearRT™による画質改善が、軟部組織(低コントラスト領域)のART精度の向上に寄与したことが示唆された。

おわりに

PreciseART®は、放射線治療装置 Radixact®や治療計画装置 Accuray Precision®のデータとともに、iDMS®で統合管理されているため、ARTに要する計画者への負担や作業時間を大きく軽減可能である。また、PreciseART®のDIR精度は、他社マルチモダリティ DIR アルゴリズムに比べても遜色なく、安全にARTが実施可能である。今後のさらなるPreciseART®の進化が、オンラインARTにも発展し、より高精度なARTへ繋がることを期待している。

参考文献

- 1) Glide-Hurst CK et al: Adaptive radiation therapy (ART) strategies and technical considerations: a state of the ART review from NRG oncology. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 109 (4): 1054-1075, 2021
- 2) Piperdi H et al: Adaptive Radiation Therapy in the Treatment of Lung Cancer: An Overview of the Current State of the Field. *Front Oncol* 11: 770382, 2021
- 3) Surucu M et al: Adaptive radiotherapy for head and neck cancer: implications for clinical and dosimetry outcomes. *Technol Cancer Res Treat* 16 (2): 218-223, 2017
- 4) Tanooka M et al: Usability of deformable image registration for adaptive radiotherapy in head and neck cancer and an automatic prediction of replanning. *Int*

- 5) 井垣 浩ほか: MR画像誘導即時適応放射線治療ガイドライン(2021年版). 公益社団法人日本放射線腫瘍学会, 東京, 2021
- 6) Kainz K et al: PreciseART™ adaptive radiation therapy software: dose monitoring, re-planning and delivery verification. *Accuray White Papers* 2017. https://www.accuray.com/wp-content/uploads/AP-PreciseART_Froedtert_WP-MKT000500.pdf [2022.8参照]
- 7) Jordan P et al: Accuray deformable image registration: description and evaluation. *Accuray White Papers* 2017. https://www.accuray.com/wp-content/uploads/ACCURAY-DEFORMABLE-IMAGE-REGISTRATION_-DESCRIPTION-AND-EVALUATION_v3.0-1.pdf [2022.8参照]
- 8) Bertholet J et al: Patterns of practice for adaptive and real-time radiation therapy (POP-ART RT) part II: Offline and online plan adaption for interfractional changes. *Radiother Oncol* 153: 88-96, 2020
- 9) Vandemeulebroucke J et al: The POPI-model, a point-validated pixel-based breathing thorax model. *Proceedings of ICCR* 2: 195-199, 2007
- 10) Brock KK et al: Use of image registration and fusion algorithms and techniques in radiotherapy: report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No.132. *Med Phys* 44 (7): e43-e76, 2017
- 11) Fitzpatrick JM et al: Predicting error in rigid-body point-based registration. *IEEE Trans Med Imaging* 17 (5): 694-702, 1998
- 12) Yang B et al: Clinical implementation of kVCT-guided tomotherapy with ClearRT. *Phys Eng Sci Med*, 2022 [Online first]
- 13) Tegtmeier CJ et al: Characterization of imaging performance of a novel helical kVCT for use in image-guided and adaptive radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys* 23 (6): e13648, 2022
- 14) Dice LR: Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species. *Ecology* 26 (3): 297-302, 1945
- 15) Chalana VK et al: A methodology for evaluation of boundary detection algorithms on medical images. *IEEE Trans Med Imaging* 16 (5): 642-652, 1997

PreciseART[®]を用いた アダプティブモニタリング機能について

額額純一

アキュレイ株式会社 Physics & Clinical Support

Key
Words

●適応放射線治療 ●PreciseART[®] ●ClearRT[™]

近年の放射線治療のトピックとして、適応放射線治療 (Adaptive Radiotherapy : ART) が着目されている。ARTとは、治療期間中の病巣の変化や、体型、臓器の形状変化に対応すべく、再度治療計画を立案し、治療計画を変更する手法であり、さらなる高精度放射線治療の一助となる技術として期待されている。TomoTherapy[®]の最新プラットフォームであるRadixact[®]には、アダプティブモニタリング機能を有するPreciseART[®]ソフトウェアが治療計画装置に搭載されている。本稿では、PreciseART[®]の原理および機能を解説し、ART技術に関する今後の展望を記載する。

はじめに

高精度放射線治療として、腫瘍への線量集中度を高め、正常組織の線量を低減するために強度変調放射線治療 (Intensity-modulated radiation therapy : IMRT) や定位放射線治療 (Stereotactic radiotherapy : SRT) が実施されている。これらの技術は、腫瘍と正常組織の線量勾配を急峻にすることで、腫瘍に対して、より高線量を投与することが可能になり、正常組織においては照射される線量を、さらに低減することが可能になる。IMRTやSRTを実施する際に重要な技術として、画像誘導放射線治療 (Image-guided radiation therapy : IGRT) がある。IGRTは照射直前に照射部位の画像を取得し、治療計画通りの照射位置で照射すべく、照射部位の位置照合を行う一連の技術の総称である。線量勾配が急峻な場合、数ミリの位置ずれが数十パーセントの線量変化に繋が

る可能性があるため、Image guidanceは、高精度放射線治療には欠かせない技術となっている。IGRTの普及により、照射する前段階で、kVCTやMVCTを撮影する回数が増えたことで、放射線治療が進むにつれて生じる治療計画時からの体型変化や、腫瘍の縮小・増大による体内臓器の形状変化の確認が可能になった。これらの変化に対応するために、適用放射線治療 (Adaptive radiotherapy : ART) が着目され、イメージガイドによる空間位置の修正では補いきれない体内臓器の形状変化に対応すべく、照射期間中あるいは照射直前に再度治療計画を立案し、治療計画を変更する流れが注目されている。ARTの実施により個々の患者に合わせた最適な治療が可能になるため、より安全で、有害な副作用が低減するような、さらなる高精度放射線治療が実施可能になることが期待されている¹⁾。本稿では、TomoTherapy[®]の最新プラットフォームであるRadixact[®]に搭載さ

れているARTを支援するソフトウェア、PreciseART[®]によるアダプティブモニタリング機能を解説する。今後のART技術に関する展望も記載する。

PreciseART[®]について

PreciseART[®]は、毎回のIGRTで取得される位置照合用CT画像を利用して、計画用CT画像の線量分布の情報や、臓器のコンツールの情報をAccuray社のDeformable image registration (DIR) 技術²⁾を用いて、線量計算・合算を実施し、評価するオフライン アダプティブ モニタリング ソフトウェアである。特徴は、完全統合型の自動線量モニタリングが可能になる点である。患者をプログラムに登録すると、システムが自動で、当日のIGRT画像から、治療計画時の臓器のコンツール情報を当日のIGRT画像に合わせて変形させ、当日のIGRT画像に対して線量計算を実施する。さらに、治療計画時のCT画像上で、その日の線量を合算し、ユーザーが定義した線量指標、線量制約の達成度の確認が可能である。また、それらを照射回数という時間軸に沿った線量指標の傾向を記載したレポート形式で、自動で作成する機能も搭載されている。このプロセス全体の所要時間は、照射1回あたり15～20分程で完了する。照射後、短時間のうちに、レポート形式で各指標を確認可能な点も、治療計画変更のタイミングを評価する際に有用だと考える。

PreciseART[®]の評価項目

PreciseART[®]が、評価可能な項目として、Daily Dose Review、Accumulated Dose Review、Projected Dose Reviewがある。Daily Dose Reviewは、毎日の治療線量と計画されたフラクシオン線量を比較するワークフローであり、その日の治療線量を照射直前に撮影したCTを使用して再計算し、計画線量と比較することができる機能である。Accumulated Dose Reviewは、現在のフラクシオンを含む積算線量を確認、比較するワークフローであり、たとえば、その日の治療が10フラクシオン目の治療だった場合、1フラクシオン目

から10フラクシオン目までの線量を合算して、治療の経過を確認することができる機能である。Projected Dose Reviewは、現在のフラクシオンを含む積算線量と、治療終了までに予測される線量を現在のフラクシオンで投影した線量であり、仮に現在のフラクシオンで治療終了まで照射した場合に、どのような線量分布になるのかを確認することができる機能である。それぞれのReview機能の例を図1に示す。また、これらの視覚的評価に加えて、DVHや臓器ごとに設定した線量制約などの指標も確認可能である。これらの指標をまとめたレポートを出力することも可能であり、体積変化などのトレンド情報の確認、把握に有用である。レポートの一例を図2に示す。このように設定した各指標の経時的な変化をトレンドで評価することが可能なため、治療計画を変更するタイミングを決定する際に有用で、定量的な情報を一目で確認することができる。

ClearRT[™]への対応

ClearRT[™]は、2021年3月に厚生労働省から製造販売承認を取得し、Radixact[®]シリーズのオプション機能として搭載されたヘリカルkVCTイメージングシステムである。ClearRT[™]は図3に示すように、放射線治療用ビームと直交する位置にkV X線管球と、それに対向する位置にkV検出器が配置され、この両者を用いて、Radixact[®]独自のハードウェア技術であるガントリの連続回転と、カウチの連続動作機構を組み合わせ、ヘリカルkVCT撮影を可能としている。特徴は、ヘリカル機構の利点を生かしたファンビームによる画像収集方式を採用している点である。従来から放射線治療機に広く使用されているコーンビーム方式³⁾と比較して、ファンビームを利用することで、頭尾方向の散乱線の成分がカットされ、画像ノイズを削減し、より高画質な画像取得が可能になる。図4に診断用kVCTとの比較を示す。これまで、Radixact[®]では、治療用のLinacから照射されるMV-X線を利用して撮影したMVCTをIGRT用のCT画像として使用しており、PreciseART[®]も、MVCT画像を用いた評価が実施されていた⁴⁾。これに加え

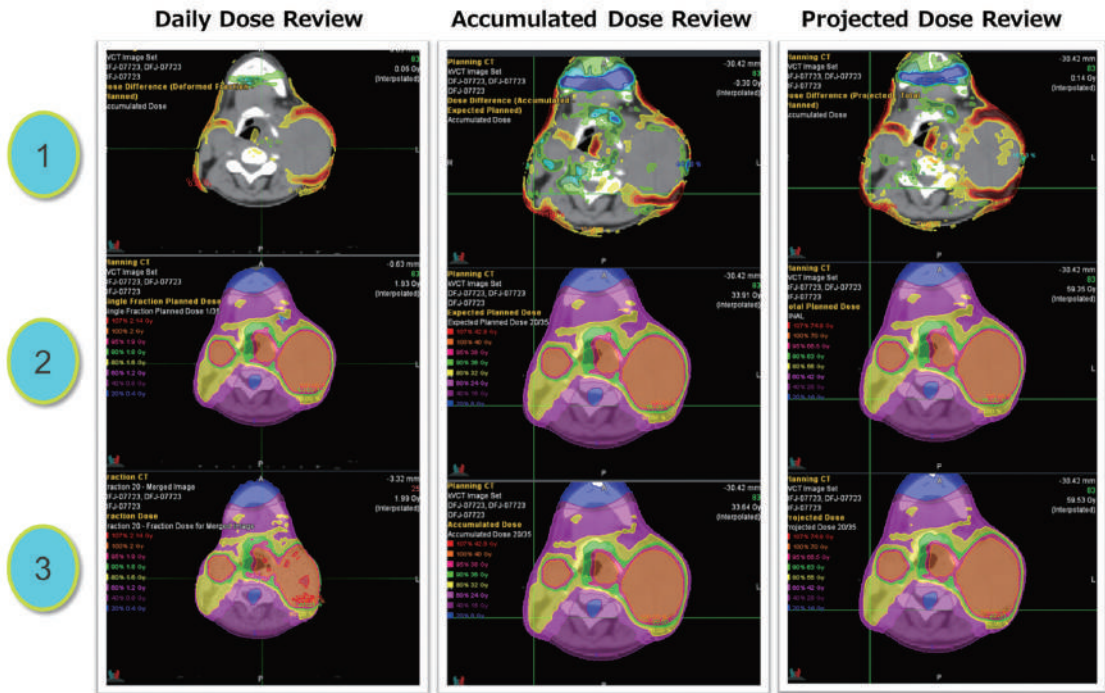


図1 各モニタリング機能の線量分布比較
 上段(1): 治療計画との差分線量、中段(2): 治療計画、下段(3): フракション線量

アダプティブ・モニタリング

レポート機能: 線量制約・DVH・各種トレンドグラフを表示

Dose Constraint Comparisons

Total Planned vs Projected Dose (1 of 2 pages)

Constraint	Constraint Name	Total Planned Dose	Fulfilled	Projected Dose	Fulfilled	% Change	Change
L-PAROTID	Mean < 20 Gy	23.46 Gy	✓	31.75 Gy	✗	35.34	8.29
	Max < 29 Gy	23.06 Gy	✓	20.08 Gy	✓	-13.01	-3.00
RT-PAROTID	Mean < 20 Gy	20.51 Gy	✓	18.77 Gy	✓	-8.48	-1.74
	Max < 29 Gy	18.39 Gy	✓	22.87 Gy	✗	23.27	4.28
L-PAROTID	V 20 Gy < 50%	48.03 %	✓	68.49 %	✗	42.60	20.46
	V 30 Gy < 50%	36.15 %	✓	30.38 %	✓	-15.02	-5.80
RT-PAROTID	V 20 Gy < 50%	39.86 %	✓	30.38 %	✓	-23.27	-9.48
	V 30 Gy < 50%	28.27 %	✓	43.27 %	✗	53.06	15.00

線量目標テーブル

DVH テーブル

Dose (Gy)	Rectum		Subesoph		CUT	
	N	%	N	%	N	%
0.00	8100	100.00	1381	100.00	4031	100.00
10.00	61	0.75	1381	100.00	4031	100.00
20.00	61	0.75	1381	100.00	4031	100.00
30.00	61	0.75	1381	100.00	4031	100.00
40.00	61	0.75	1381	100.00	4031	100.00
50.00	61	0.75	1381	100.00	4031	100.00
60.00	61	0.75	1381	100.00	4031	100.00
70.00	61	0.75	1381	100.00	4031	100.00
80.00	61	0.75	1381	100.00	4031	100.00
90.00	61	0.75	1381	100.00	4031	100.00
100.00	61	0.75	1381	100.00	4031	100.00

DVHプロット

DVHプロット

体積推移

線量制約グラフ

カウチ移動量チャート

図2 レポートに表示可能な指標例
 一般的な線量制約、DVHに関するデータや、フラクションごとに取得した体積推移のトレンド情報など、再治療計画に必要な情報を自動取得し、評価可能である。

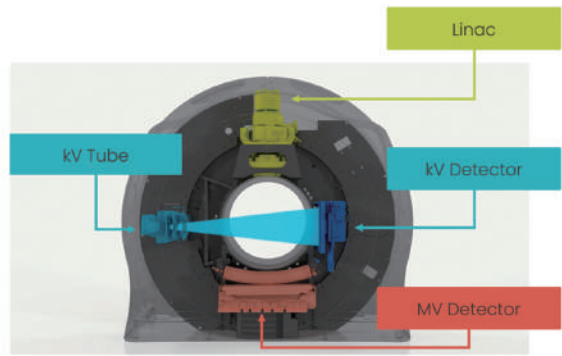
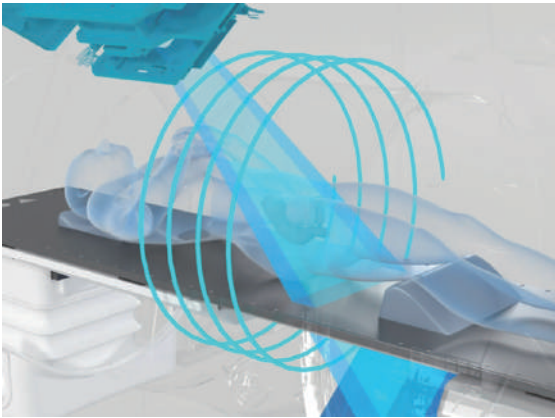


図3 ClearRT™模式図(左:ヘリカルスキャンのイメージ図、右:ガントリ内部構造イメージ図)
 0度方向に搭載されているLinacに対して、270度方向にkV管球が新たに搭載された。これによりヘリカルkVイメージングが可能になる。

**ClearRT™:
Prostate Cancer**

Clearly visualize soft-tissue boundaries

Superior soft-tissue contrast, for more confident patient registration, and clear target delineation.

図4 前立腺がんのCT画像例(左: ClearRT™のCT画像、右:診断用CT画像)
 従来のMVCTと比較して、高画質なCT画像が取得可能になった。軟部組織のコントラストが向上し、患者位置合わせやターゲットの明確な確認の際によりメリットがあると考えられる。

てClearRT™によるヘリカルkVCTも利用可能となり、MVCTと比較して、画質が向上したkVCT画像を用いて、PreciseART®の機能が実施可能になった。Tegtmeier⁵⁾らは、ClearRT™の画質の評価を、ノイズ、均一性、コントラスト、空間分解能、CT値の直線性の指標で実施して、ClearRT™の画質が放射線治療の画像誘導と解剖学的構造の描写に十分であり、ARTでの使用を可能にす

るという報告を発表している。このことから、PreciseART®においても高画質化のメリットがあることが予測される。また、一般論として、オンラインARTのような照射直前に再度、治療計画を即時に立案し直す手法においても、同一のカウチおよび治療機で、高画質ヘリカルkVCT撮影と放射線治療の両方ができる機構は、非常にメリットがあると考えられる。患者セットアップの面では、カ

ウチを含めて治療時とまったく同一のジオメトリ環境下で再計画を立てることができるため、非常に高い患者位置の再現性が得られる。また、再計画の際にDIRなどを用いた自動輪郭描画の面でも、画質が向上したIGRT用のkVCT画像のメリットを生かし、既存の診断CT用の学習データセットから作られた精度の高いAI技術をスムーズに取り込むことができる可能性もある。近年、急速に発展しているAIによる自動輪郭描画の技術も取り入れ、輪郭描画の精度が上がり、最終的な放射線治療の品質自体も高精度になることが予測される。また、現在、MRIではDWIなどの腫瘍密度の高い部位を可視化できる技術があり⁶⁾、肺のVentilation imagingでは機能性を可視化することができる⁷⁾。同様に、CTでは、Dual-energy CT⁸⁾やPhoton-counting CT⁹⁾を使用することで、MRI同様に機能性情報を得ることができる。今後は、単純画像だけではなく、機能性情報も加味した自動輪郭描画や、IGRTが実施されるようになることで、さらなる放射線治療の高精度化が期待される。

PreciseART[®]と臨床データの可能性

PreciseART[®]は照射後の線量評価になるため、別の表現では臨床QAとも捉えることができる。どの臓器にどれだけの線量が照射されたのかを自動で定量評価することで、医療従事者の業務負担の軽減と臨床データの蓄積が可能となる。従来は、治療計画線量と治療計画に基づいて照射された後の臨床結果の関係から、線量制約表 (QUANTEC¹⁰⁾など)を作成し、利用してきた。この過程において、PreciseART[®]を使用することで照射後の評価まで可能になることによる、本アプローチの臨床的意義は高いと考える。たとえば、乳腺照射で肺平均線量が1 Gy 増えると、放射性肺臓炎になる確率が7%増えることが示されており¹¹⁾、線量を正確に評価し、臨床結果と紐づけることは重要である。こうした臨床データを蓄積し、適切に評価する過程を経て、PreciseART[®]は単なるアダプティブモニタリング機能というだけではなく、放射線治療全体の質を向上させるための一助になることを期待している。

おわりに

適応放射線治療 (Adaptive Radiotherapy : ART) と PreciseART[®] のアダプティブモニタリング機能、ClearRT[™]への対応について記載した。一般的にARTの技術は、現実的に高精度で実現可能な領域に達しつつあり、今後も放射線治療のトピックとして、活発に議論されることが予測される。個々の患者に合わせた最適な放射線治療を可能にするため、PreciseART[®]と弊社製品が、その支援になることを期待している。

参考文献

- 1) Wu QJ et al: Adaptive radiation therapy: technical components and clinical applications. *Cancer J* 17 (3): 182-9, 2011
- 2) Kainz K et al: PreciseART[®] adaptive radiation therapy software: dose monitoring, re-planning and delivery verification. *Accuray White Papers* (2017). https://www.accuray.com/wp-content/uploads/AP-PreciseART_Froedtert_WP-MKT000500.pdf [2022.8参照]
- 3) Yang Y et al: Evaluation of on-board kV cone beam CT (CBCT)-based dose calculation. *Phys Med Biol* 52 (3): 685-705, 2007
- 4) Ruchala KJ et al: Calibration of a tomotherapeutic MVCT system. *Phys Med Biol* 45 (4): N27-36, 2000
- 5) Tegtmeier RC et al: Characterization of imaging performance of a novel helical kVCT for use in image-guided and adaptive radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys* 23 (6): e13648, 2022
- 6) Tsien C et al: Clinical applications for diffusion magnetic resonance imaging in radiotherapy. *Semin Radiat Oncol* 24 (3): 218-26, 2014
- 7) Mathew L et al: Detection of longitudinal lung structural and functional changes after diagnosis of radiation-induced lung injury using hyperpolarized magnetic resonance imaging. *Med Phys* 37 (1): 22-31, 2010
- 8) Marin D et al: State of the art: dual-energy CT of the abdomen. *Radiology* 271 (2): 327-42, 2014
- 9) Willeminck MJ et al: Photon-counting CT: technical principles and clinical prospects. *Radiology* 289 (2): 293-312, 2018
- 10) Bentzen SM et al: Quantitative Analyses of Normal Tissue Effects in the Clinic (QUANTEC): an introduction to the scientific issues. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 76 (3 Suppl): S3-9, 2010
- 11) Darby SC et al: Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast cancer. *N Engl J Med* 368 (11): 987-98, 2013
- 12) Manual: Accuray[®] PreciseART and PreciseRTX User Guide