

DAO-IMRT の最適化計算に関する基礎的検討 —RTOG Benchmark における最適化計算の特性—

○中島 寛人^{1,2)}、笈田 将皇²⁾、西村 友則¹⁾、宮原 善徳¹⁾、板倉 佳苗¹⁾、高橋 司伸¹⁾、小松 明夫¹⁾

1) 島根大学医学部附属病院放射線部、2) 岡山大学大学院保健学研究科

【背景】当院では、昨年度より PROWESS 社製治療計画装置 Panther を試験導入している。Panther は、IMRT 治療計画の最適化アルゴリズムとして DAO (Direct Aperture Optimization) を採用しているが、その諸特性について国内の報告事例は少ない。

【目的】本研究では、RTOG (Radiation Therapy Oncology Group) Benchmark のプロトコルに従い、Panther における DAO-IMRT の最適化計算の基本的特性を評価することを目的とする。

【使用装置】治療計画装置の仕様を以下に示す。PROWESS Panther Ver.5.10、最適化計算アルゴリズム：DAO (Direct Aperture Optimization)、線量計算アルゴリズム：CCCS (Collapsed Cone Convolution Superposition) である。

【方法】RTOG Benchmark の定める前立腺 Virtual phantom (図1) に対して IMRT 計画を作成し、Beam 数を5、7、9と変化した時と、Segment 数を3、5、7、9と変化した時、どのように線量分布および DVH (Dose Volume Histogram) が変化するかを検討した。検討項目として、PTV では D_{95} 、 D_{max} 、Homogeneity Index (HI)、OAR では V_{60} 、 D_{max} を用いて評価した。なお、RTOG Benchmark では PTV について $D_{95} \geq 95\%$ 、 $V_{120} < 10\%$ 、また OAR について $V_{60} \leq 5\%$ となることが求められている。

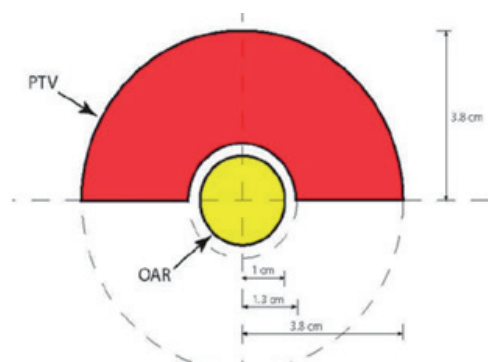


図1 RTOG Benchmark の定める前立腺 Virtual phantom

【結果】PTV の DVH と、HI をそれぞれ図2、図3に示す。Beam 数が5の時は $D_{95} \geq 95\%$ を満たさなかったが、それより多い条件ではすべて満たすことが明らかとなった。HI に関しては、Segment 数が3以上ではあまり変化は見られず、Beam 数が増加するごとに

均一性は増加することが明らかとなった。OAR に関しては、Beam 数が増加するにつれ、線量が低下する傾向が見られた。

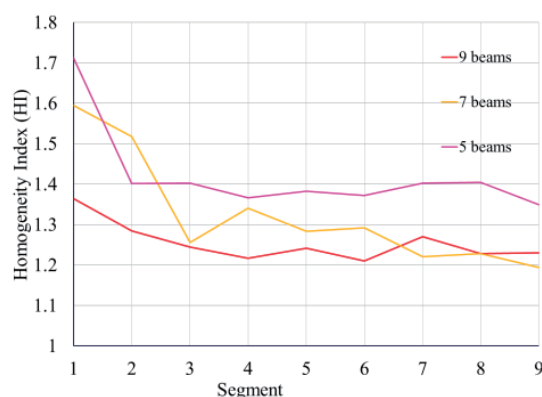


図2 PTV における HI

表1 PTVにおける D_{95} (%)

		Segment			
		9	7	5	3
Beam	9	98.5	96.0	97.0	97.0
	7	98.5	98.5	96.5	96.5
	5	94.5	94.3	94.6	94.7

表2 PTVにおける D_{max} (%)

		Segment			
		9	7	5	3
Beam	9	110.1	111.7	109.5	110.3
	7	109.7	111.1	115.5	118.6
	5	116.1	121.9	121.6	122.4

表3 OARにおける D_{60} (%)

		Segment			
		9	7	5	3
Beam	9	0	0	0	1.1
	7	0	0	0.4	1.6
	5	0	0	0	2

表4 OARにおける D_{max} (%)

		Segment			
		9	7	5	3
Beam	9	55.5	56.7	56.5	62.2
	7	57.9	58.9	61.2	64.2
	5	57.8	59.8	58.8	65.8

表5 MU値

		Segment			
		9	7	5	3
Beam	9	380	378	354	363
	7	391	379	350	336
	5	355	347	355	334

【考察】DAO-IMRT は Beam 数の増加により Segment 数を少なく設定でき、総 MU 値を少なくすることが可能であった。また、Beam 数を増加させることで線量分布が改善し、Segment 数を少なくできることが可能であることが示唆された。

【結語】DAO-IMRT は Beam 数の増加により Segment 数を少なく設定でき、線量分布の悪化なく総 MU 値の低減を図ることが可能であった。

DAO-IMRT の最適化計算に関する基礎的検討 — 前立腺 IMRT 治療計画における機種間の比較 —

○中島 寛人^{1,2)}、笈田 将皇²⁾、西村 友則¹⁾、宮原 善徳¹⁾、板倉 佳苗¹⁾、高橋 司伸¹⁾、小松 明夫¹⁾

1) 島根大学医学部附属病院放射線部、2) 岡山大学大学院保健学研究科

【背景】当院では、昨年度より PROWESS 社製治療計画装置 Panther を試験導入している。Panther は、IMRT 治療計画の最適化アルゴリズムとして DAO (Direct Aperture Optimization) を採用しているが、その諸特性について、国内の報告事例は少ない。

【目的】本研究では、Panther の IMRT 最適化パラメータの計算特性について、他の治療計画装置を利用した過去の臨床事例と比較し、評価を行うことを目的とする。

【対象、使用装置】過去に前立腺 IMRT を施行した 8 例を対象とした。治療計画装置として Panther Ver. 5.10、Eclipse Ver. 8.6.15 (Varian Inc.) を用いた。

【方法】Eclipse で作成された治療計画を基準とし、X 線エネルギー (6MV)、照射門数 (7 門)、照射角度を固定した。さらに IMRT 最適化パラメータにおける PTV の Weight を 100% に固定し、Rectum Weight を 0～100% に 10% 刻みで変化させた場合と、1 門あたりの Segment 数を 3、5、7、9 と変化させた場合について、それぞれ比較し検討を行った。

【結果】PTV における Homogeneity Index (HI) を図 1 に示す。Segment 数の違いによる線量均一性の大きな変化は見られなかった。直腸、膀胱における V60、V40 を図 2、3 に示す。直腸の Weight が 50% 以上の時に臨床の規定を満たした。直腸線量が Eclipse と同等の時の PTV と直腸の DVH を図 4 に示す。Segment 数と Rectum Weight に対する総 MU 値の関係を表 1 に示す。

【考察】Rectum Weight が増加するにつれ、直腸、膀胱線量は減少した。一方で、PTV 線量・均一性は低下した。Segment 数の増加により直腸、膀胱、PTV 線量は改善されたが、5 以上の場合では大きな変化は見られなかった。Eclipse との比較では、PTV の線量均一性は悪い傾向だったが、Rectum Weight

が 40～60% で直腸、膀胱線量は同等となり、総 MU 値は大幅に軽減することが可能であった。

【結語】DAO-IMRT は Eclipse に比べて急峻な線量分布を作ることが難しいが、少ない Segment 数による IMRT 治療計画が可能であることが示唆された。

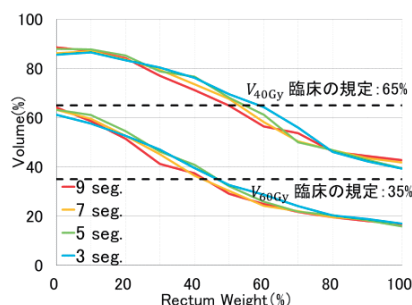


図 2 直腸線量の変化

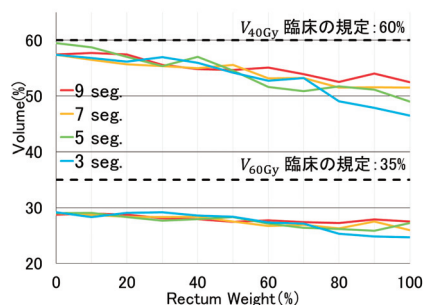


図 3 膀胱線量の変化

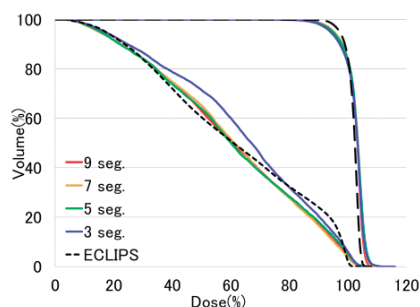


図 4 直腸 Weight60% の PTV と直腸

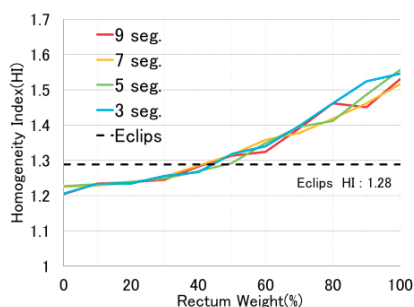


図 1 直腸 Weight と PTV (HI) の変化

		Segment				Eclipse
		9	7	5	3	
Rectum Weight (%)	0	347	334	325	320	691
	10	348	337	329	319	
	20	360	344	328	324	
	30	379	353	338	326	
	40	386	365	338	332	
	50	401	384	364	348	
	60	417	406	382	347	
	70	428	415	398	371	
	80	443	429	410	380	
	90	448	425	421	395	
	100	461	451	432	406	

表 1 Segment 数、Rectum Weight と総 MU 値の変化

IMRT 最適化パラメータの基本的検討 —SWO 機能、Segmentation アルゴリズムの違いについて—

○永瀬 義典¹⁾、笈田 将皇²⁾、青山 英樹³⁾、大塚 裕太³⁾、杉原 誠治³⁾、井俣 真一郎³⁾、
藤井 俊輔³⁾、宇野 弘文³⁾、田原 誠司³⁾、稲村 圭司³⁾

1) 岡山大学医学部保健学科、2) 岡山大学大学院保健学研究科、3) 岡山大学病院医療技術部

【背景】近年、IMRT が本格的に普及し始めており、QA/QC に関する技術開発に関する研究に加え、パラメータ特性が複雑化している IMRT 治療計画における Inverse Planning の技術的な研究が重要とされつつある。

【目的】本研究では、前立腺 IMRT 治療計画における最適化手法・アルゴリズムの違いと治療計画出力の関係について検討することを目的とする。

【方法】Primus KD2/7457 (Siemens 社製、公称エックス線エネルギー 10 MV) により前立腺 IMRT を施行した 10 症例について、三次元治療計画装置 (Xio Ver.4.62、Elekta 社製) の治療計画データを用いて retrospective に解析を行った。目的関数を一定とした状態で、Segment Weight Optimization (SWO) 機能の有無および Segmentation アルゴリズム Sliding Window (SW)、Smart Sequencing (SS) の選択により、患者群全体に関する総 Segment 数、総 MU 値、PTV の Homogeneity Index (HI)、リスク臓器線量がどのように変化するかを解析した。また、各項目の平均値について t 検定を行い有意差があるかを検討した。

【結果】PTV の HI に関しては、SW (1.171)、SS (1.178)、SS + SWO (1.181)、SW + SWO (1.185) の順に良い結果となり、SW が有意に改善される傾向が見られた ($p < 0.05$)。また、SWO 機能を利用した場合、利用しない場合に比べて若干悪化する傾向が見られた。

直腸線量 (V_{40}) に関しては、SW + SWO (35.2%)、SS + SWO (36.1%)、SW (39.9%)、SW (40.6%) の順に良い結果となり、SW と SS の違いにかかわらず SWO 機能を利用することにより有意に改善される傾向が見られた ($p < 0.05$)。

膀胱線量 (V_{40}) に関しては、SS + SWO (50.6%)、SW + SWO (52.4%)、SW (54.2%)、SS (54.6%) の順に良い結果となり、SW と SS の違いにかかわらず直腸線量の場合と同様に SWO 機能を利用することにより、有意に改善される傾向が見られた ($p < 0.05$)。

総 MU 値に関しては、SS (461.7)、SS + SWO

(467.7)、SW (581.3)、SW + SWO (583.0) の順に良い結果となり、SWO 機能の利用にかかわらず、SW に比べて SS は有意に総 MU 値が減少する傾向が見られた ($p < 0.05$)。

総セグメント数に関しては、SS + SWO (58.8)、SS (63.7)、SW + SWO (70.2)、SW (70.7) の順に良い結果となり、SW に比べて SS は有意に総セグメント数が減少する傾向が見られ ($p < 0.05$)、SWO 機能を利用することにより更に有意に減少する傾向が見られた ($p < 0.05$)。

【考察】SWO 機能は直腸、膀胱線量の低下に寄与し、総 MU 値と総セグメント数の減少にはあまり寄与しないことが明らかとなった。SS は総 MU 値と総セグメント数の減少に寄与し、直腸、膀胱線量の低下にはあまり寄与しないことが明らかとなった。SW は PTV 線量の均一性向上に寄与し、総 MU 値と総セグメント数の減少にあまり寄与しないことが明らかとなった。これより、前立腺 IMRT において効率良く良い線量分布を得るためには、SS と SWO の組み合わせによる最適化計算を行うことが望ましいのではないかと考えられた。

【結語】IMRT 最適化計算において、SWO 機能を利用することにより、線量分布および MU 値、セグメント数は改善できることが明らかとなった。また、前立腺 IMRT では、SS と SWO の組み合わせによって効果的な最適化計算が可能であることが明らかとなった。

Segmentation アルゴリズム間での差は僅かにあり、注意が必要であるが、本研究 (Siemens 社製リニアック) では、SS (Smart Sequencing) と SWO の併用により、良好な結果を得られることが示唆された。

【参考文献】

- 1) Ramachandran Prabhakar et al. 『A Study of segment weight optimization with the CMS Xio step-and-shoot IMRT technique for prostate cancer』 J Appl Clin Med Phys 13, 205-214, 2012

IMRT 最適化パラメータの基本的検討 —SWO 機能、Smoothing アルゴリズムの違いについて—

○菊田 佑志¹⁾、笈田 将皇²⁾、青山 英樹³⁾、大塚 裕太³⁾、杉原 誠治³⁾、井俣 真一郎³⁾、
藤井 俊輔³⁾、宇野 弘文³⁾、田原 誠司³⁾、稲村 圭司³⁾

1) 岡山大学医学部保健学科、2) 岡山大学大学院保健学研究科、3) 岡山大学病院医療技術部

【背景】近年、IMRT が本格的に普及し始めており、QA/QC に関する技術開発に関する研究に加え、パラメータ特性が複雑化している IMRT 治療計画における Inverse Planning の技術的な研究が重要とされつつある。

【目的】本研究では、前立腺 IMRT 治療計画における最適化手法・アルゴリズムの違いと治療計画出力の関係について検討することを目的とする。

【使用機器・方法】Primus KD2/7457 (Siemens 社製、公称エックス線エネルギー 10 MV) により前立腺 IMRT を施行した 10 症例について、三次元治療計画装置 (Xio Ver.4.62, Elekta 社製) の治療計画データを用いて retrospective に解析を行った。最適化計算では目的関数を一定とし、Segmentation アルゴリズムを Smart Sequencing (SS) とした状態で、Segmented Weight Optimization (SWO) 機能の有無および Smoothing アルゴリズムの選択によって、患者群全体に関する総セグメント数、総 MU 値、腫瘍およびリスク臓器の DVH パラメータの変化を解析した。

【結果・考察】SWO 機能無しを基準として、SWO 機能と Smoothing アルゴリズムの選択による効果を Fig.1 に示す。また SWO 機能有りを基準として Smoothing アルゴリズムの選択による効果を Fig.2 に示す。SWO 機能により、総 MU 値は増加する傾向が見られた。総セグメント数は顕著に減少した。PTV 線量は変化せず、直腸の中線量域 (V_{40}) が大幅に改善し、膀胱の高線量域 (V_{70}) も大幅に改善した。

Smoothing アルゴリズムの効果は、いずれのアルゴリズムも総 MU 値は変化せず、総セグメント数が増加傾向であった。PTV 線量は僅かに改善傾向が見られたが、直腸、膀胱線量は改善が見られなかった。

上記の結果から、Complex Smoothing 系のアルゴリズム (CSH, CSL) では、他の General, Intermediate, Simple Smoothing 系のアルゴリズムに比べ、直腸、膀胱線量の高線量域の悪化傾向が見られ、注意が必要とされた。

		SWO(+)	SWO+ CSH	SWO+ CSL	SWO+ GSH	SWO+ ISH	SWO+ ISL	SWO+ SSH	SWO+ SSL	
PTV	D95	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	良い ↑ 悪い
	MAX	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	
	HI	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Rectum	Mean	0.94	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.95	0.95	
	MAX	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	
	V20	0.96	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.97	0.97	
	V40	0.89	0.90	0.89	0.90	0.89	0.88	0.90	0.89	
	V60	0.96	0.99	0.98	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	
	Mean	0.95	0.96	0.96	0.96	0.95	0.96	0.96	0.96	
Bladder	MAX	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	V20	0.96	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.96	
	V40	0.93	0.93	0.93	0.94	0.93	0.93	0.94	0.94	
	V60	0.93	0.94	0.94	0.94	0.93	0.95	0.94	0.95	
	V70	0.87	0.87	0.89	0.89	0.87	0.91	0.89	0.90	
	Mean	0.92	0.97	0.98	0.96	0.95	0.94	0.93	0.94	
Segments		1.01	1.02	1.03	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	
MU		1.01	1.02	1.03	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	

Fig.1 SWO 機能無しを基準とした、各種パラメータの組み合わせ違いによる線量指標の変化

		SWO+ CSH	SWO+ CSL	SWO+ GSH	SWO+ ISH	SWO+ ISL	SWO+ SSH	SWO+ SSL	
PTV	D95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	良い ↑ 悪い
	MAX	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	HI	0.99	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	
Rectum	Mean	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.01	1.01	
	MAX	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	V20	1.00	1.00	1.01	1.00	0.99	1.01	1.00	
	V40	1.01	1.00	1.01	1.00	0.99	1.01	1.01	
	V60	1.03	1.02	0.99	1.01	1.01	1.02	1.02	
	Mean	1.00	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	
Bladder	MAX	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	V20	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	
	V40	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	
	V60	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01	1.01	1.01	
	V70	1.00	1.01	1.01	1.00	1.04	1.01	1.03	
	Mean	1.05	1.06	1.04	1.03	1.02	1.01	1.02	
Segments		1.01	1.02	1.00	1.01	1.01	1.00	1.01	
MU		1.01	1.02	1.00	1.01	1.01	1.00	1.01	

Fig.2 SWO 機能有りを基準とした、Smoothing アルゴリズムの違いによる線量指標の変化

【結語】SWO 機能を利用することにより、PTV 線量への影響なく、リスク臓器線量、総 MU 値、総セグメント数の改善が可能であった。Smoothing アルゴリズムの利用により、総セグメント数、リスク臓器線量を増加させる場合があり、注意が必要とされたが、SWO 機能に比べて大きく影響しないことが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) Ramachandran Prabhakar et al. 『A Study of segment weight optimization with the CMS Xio step-and-shoot IMRT technique for prostate cancer』 J Appl Clin Med Phys 13, 205-214, 2012