

토모 테라피 치료 시 선량 체적 히스토그램 표지자를 이용한 치료계획 비교에 관한 연구

세브란스병원 암센터 방사선종양학과

김주호 · 조정희 · 이상규 · 전병철 · 윤종원 · 김동욱

목적: 토모테라피 치료 계획 시 여러 가지 다양한 빔 조절 인자들의 수정으로 얻어진 각각의 치료 계획 결과를 특정한 선량 체적 히스토그램 표지자(DVH-Index)를 이용하여 치료 전에 비교 함으로써 최적의 치료 계획을 효율적으로 도출할 수 있는 방안을 제시하고자 하는데 목적이 있다.

대상 및 방법: 토모테라피 적응증례를 가진 3명의 환자(두경부, 복부, 골반부)를 대상으로 치료 전 PQ 5000 (CT simulator, Philips)을 이용하여 전산화 단층 촬영영상을 얻었고, pinnacle ver 7.6c (3D RTP, ADAC)에서 종양 조직과 정상조직의 윤곽선을 묘사하여 토모 치료계획 장비(hi-art system ver 2.0)로 전송한 후 빔 조사야, 피치 혹은 중요도를 각기 다르게 설정하고 치료 계획을 실시하였다. 각각의 치료 계획은 종양 부위와 정상 부위의 선량 통계량(최대선량, 최소선량, 평균선량, 선량체적)을 구하여 치료 적절성을 비교하였고 또한 선량 체적 히스토그램을 이용하여 종양 표적 내의 균일성 지수(homogeneity index, HI), 종양 표적에 대한 선량 조형 지수(conformity index, CI), 정상 조직에서의 선량 감소 지수(dose gradient index, DGI)를 이용하여 치료 계획을 비교한 후 두 가지 비교 결과의 유사성을 확인 하였다.

결과: 3명의 환자를 대상으로 각각 시행한 3가지 치료 계획을 등 선량 분포와 선량 통계량을 통해 비교한 결과와 선량 체적 히스토그램 표지자를 이용한 치료 계획의 비교 결과 두부, 복부와 골반부에 치료 부위를 가진 환자에 있어서 모두 동일한 치료계획을 우월하게 판정하였다.

결론: 토모테라피의 치료 계획 비교 시 선량 체적 히스토그램의 표지자를 이용한 방법은 특정한 치료 목표에 따라 다소간의 차이를 나타낼 순 있으나 종양 조직에 대한 선량분포의 적절성과 전체적인 정상조직의 고 선량 위험도를 반영함으로써 다수의 치료계획을 단시간에 상호 비교 검증 할 수 있는 적절한 방법으로 사료 된다.

핵심용어: 토모테라피, 선량 체적 히스토 그램 표지자, 치료 계획 비교

서 론

세기 조절 방사선 치료(Intensity Modulation Radiation Therapy, IMRT)는 종양조직에 고 선량의 방사선을 조사하고 종양 주변 정상장기를 효과적으로 보호 할 수 있는 치료로 현재 방사선 치료 방법 중 가장 진보된 형태의 치료법으로 인식 되고 있다.¹⁻⁴⁾

이 중 최근 세기조절 방사선 치료의 또 다른 형태로 발전된 토모테라피(tomotherapy)는 3차원 입체 조형 치료, 혹은 다엽-콜리메이터를 이용한 세기 조절 방사선 치료에 비해 월등히 많은 빔 방향과 다양한 빔 조사 변수를 통해 빔의 세기를 조절함으로써 종양 표적 내 선량 균일성을 향상 시키고

종양이 인접한 정상 조직에 고 선량 위험을 저감시킴으로써 안전하고 우수한 치료 효과를 기대 할 수 있다.

토모테라피는 기존의 방사선 치료에 응용되는 선형가속기(linear accelerator)와 진단용 전산화 단층 촬영기(computed tomography)를 합쳐 놓은 듯한 구조로 이루어져 있으며 선형가속기 구조에서 발생한 고 에너지 방사선을 갠트리(gantry)와 카우치(couch)가 일정한 속도로 움직이면서 고정된 환자 주변에서 360도 전 방향으로 나선형의 연속적인 빔을 조사할 수 있다.⁵⁾ 또한 토모테라피는 기존의 평평한 빔 에너지 분포와 달리 종 모양의 에너지가 상이한 빔을 발생시킴으로써 더 한층 세기 변조의 유연성을 가지며 빔 출구에 위치한 64개의 양측 다엽-콜리메이터(binary 64 leaf)의 순간적인 움직임을 통해 빔 조사 중 정상장기와 종양조직의 선량분포를 다양하게 만들 수 있는 장점을 가지고 있다.⁶⁾

그러므로 토모테라피 치료 계획 시 여러 가지 다양한 조건들[빔 조사야, 피치(pitch), importance, penalty, etc]을 적절히

이 논문은 2007년 6월 20일 접수하여 2007년 8월 3일 채택되었음.
책임저자 : 김주호, 세브란스병원 암센터 방사선종양학과
Tel: 02)2227-4438, Fax: 02)365-1792
E-mail: kimjooho@yuhs.ac

이용하여 종양 체적 내에 균일한 처방선량을 조사하고, 종양 체적의 복잡하고 입체적인 형태에 따라 빔을 조사하는 반면 종양 조직과 인접한 정상 조직에는 낮은 선량을 조사하기 위해선 빔 조사 방식을 설정하는 과정과 치료 계획을 최적화 (optimization)하는 과정 중에 무수히 많은 치료 결과가 나타날 수 있으며 이러한 각각의 치료 계획 결과를 상호 비교 검증하여 그 중 가장 우월한 치료계획 결과를 도출 하는 것은 상당한 시간과 노력이 요구 된다.

현재 토모테라피 치료 전 시도된 여러 치료(unconfirmed plan trials) 결과를 확인하고 비교 하는 것은 기존 방사선 치료에서 행해지던 방식처럼 종양 표적과 정상 조직의 등선량 분포(isodose distribution), 선량 체적 히스토그램(dose volume histogram, DVH) 등을 통해 이루어지고 있다. 그러나 각 단층 영상에서 등 선량 분포를 비교하는 것은 치료 계획 장비에 적절한 비교 방식이 제공 되지 않음으로 인해 용이하지 못하고, 선량 체적 히스토그램을 비교하는 것 또한 종양과 정상 조직의 수가 증가 할수록 전체적인 치료 계획의 적합성을 판단하기 어렵다.

따라서 본 연구는 동일한 환자에서 토모테라피 치료 전 시행된 여러 치료 계획의 비교 시 종양조직과 정상조직의 선량 체적 히스토그램의 특정한 표지자(DVH-Index)를 이용하여 종양 내의 선량 균일성을 확인하고, 종양조직 주변의 선량 조형성을 검증하는 한편 정상조직의 위험성을 비교함으로써 치료계획의 최적화(optimization)하는 과정 중에 최적의 치료 계획을 판단할 수 있는 효율적인 방안을 제시하고자 하였다.

대상 및 방법

토모테라피 적응증례를 가진 3명의 환자(두부, 흉부, 복부)를 대상으로 치료 전 PQ 5000 (CT-simulator, Philips inc.)을

이용하여 전산화 단층 촬영영상을 얻었고, pinnacle ver 7.6c (3D-RTP, ADAC inc.)에서 종양 조직과 정상조직의 윤곽선(contouring)을 묘사하여 토모 치료계획 장비(hi-art system ver 2.0, TOMO-therapy inc.)로 전송한 후 빔 조사야(Beam width, B.W), 피치(Pitch) 혹은 중요도(importance)를 각기 다르게 설정하고 치료 계획을 실시하였다.

각 환자에 있어서 토모테라피에서 사용할 수 있는 3종류의 조사 면(1.06 cm, 2.52 cm, 5.04 cm) 중 종양의 크기에 따라 2종류 이상의 조사 면을 이용하여 3가지의 치료 전 치료 계획(plan trials)을 시행 하였고, 처방선량의 크기와 적절한 치료 시간을 고려하여 피치와 M.F (modulation factor)를 달리 하였다.

부위가 다른 각 환자에서 3경우 치료 계획의 비교는 종양 부위와 정상 부위의 선량 통계량(최대선량, 최소선량, 평균선량, 선량체적)과 선량 분포를 확인하여 치료 계획의 적절성을 비교하는 기존 방법과 선량 체적 히스토그램의 특정한 선량 값과 체적 용적을 이용하여 종양 표적 내의 균일성 지수(homogeneity index, HI., DHI.), 종양 표적에 대한 선량 조형 지수(conformity index, CI), 정상 조직에서의 선량 감소 지수(dose gradient index, DGI)를 구하는 선량 체적 히스토그램 표지자를 이용한 치료 계획 비교방법으로 나누어 시행하였고 두 방법에 따른 치료 계획 판정 결과의 유사성을 확인 하였다.

1. 토모테라피 치료 계획

대상환자를 두부, 흉부, 복부 환자로 구분하였으며 두부 환자에서는 1.06 cm, 2.52 cm의 빔 조사 면을 이용하였고, 0.2, 0.3, 0.287 피치와 2.0, 2.45 modulation factor (M.F)를 사용하여 치료 계획을 시행하였고, 종양 조직과 정상 조직의 중요도(importance) 및 선량 한도(dose constraint)는 동일하게

Table 1. Beam delivery option and prescription of tomo-therapy planning trials

Region	Prescription	Paln_trial	Beam width	Pitch	M.F*
Cranial	HPTV ⁺ 50 Gy	plan_01	1.06 cm	0.300	2.00
	LPTV ⁺ 40 Gy	plan_02	2.52 cm	0.200	2.00
	for 95% volume	plan_03	1.06 cm	0.287	2.45
Thorax	HPTV 40 Gy	plan_01	5.04 cm	0.287	2.45
	LPTV 32 Gy	plan_02	5.04 cm	0.172	2.45
	for 95% volume	plan_03	2.52 cm	0.300	2.45
Abdominal	HPTV 50 Gy	plan_01	2.52 cm	0.300	2.00
	LPTV 40 Gy	plan_02	5.04 cm	0.172	2.00
	for 95% volume	plan_03	5.04 cm	0.287	2.00

M.F* is modulation factor, HPTV⁺ and LPTV⁺ are high-risk and low-risk planning target volume

설정된 후 최적화(optimization)한 3경우의 치료 계획을 비교 하였다(Table 1).

흉부와 복부 환자에서도 2.52 cm, 5.04 cm의 빔 조사 면을 이용하였고, 0.172, 0.287, 0.3 피치와 2.0, 2.45 M.F를 사용한 후 두부환자와 동일한 방법으로 3경우의 치료 계획을 시행한 후 각각 비교 하였다.

각각의 환자에서 피치는 종양선량 조사 시 3~4회 빔이 중 복되도록 설정한 피치(ex) 0.3, 0.2 pitch)와 회전조사 되는 빔 사이의 변화(tread effect)가 비교적 적은 피치⁷⁾($0.86 \cdot 1/N$ pitch, ex) 0.172, 0.287 pitch)를 사용하였고, 종양체적은 GTV와 1 cm margin을 합하여 고 위험 표적(high risk planning target, HPTV)과 CTV와 1 cm margin을 합하여 저 위험 표적(low risk planning target, LPTV)으로 설정하였다.

2. 선량 체적 히스토그램 표지자

치료 계획 결과를 비교하기 위한 선량-체적 히스토그램 표지자(dose-volume histogram index, DVH-index)는 종양 조직 내 선량 분포를 나타내는 선량 균일성 지수(homogeneity index, HI, dose homogeneity index, DHI)와 종양 조직 주변의 선량 조형성을 확인하기 위한 선량 조형성 지수(dose conformity index, CI), 종양 조직 외 정상조직의 선량 감소 지수(dose gradient index, DGI)로 설정하였다.

선량 균일성 지수는 처방선량(prescription dose)에 대한 최대선량(maximum dose)의 비를 구하여 비교하였고(식 1-1, Fig. 1) 또한 종양 조직 내 아주 적은 최대선량 체적 혹은 최소 선량 체적의 변이로 인한 오차를 줄이기 위하여 가장 높은 선량이 조사되는 상위 10%체적의 선량 값에 대한 가장

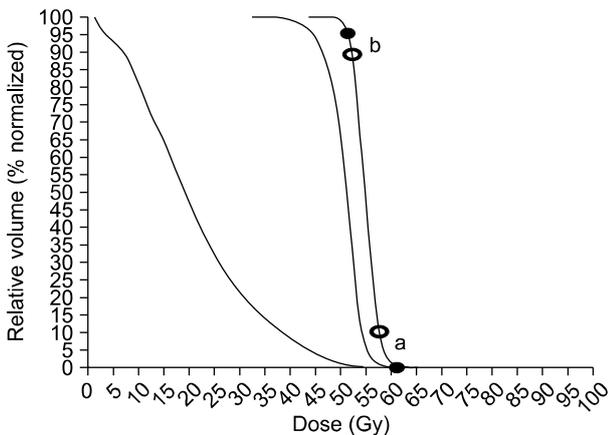


Fig. 1. The diagram of DVH index for evaluated dose homogeneity in target structure. Circle and dot 'a' are hottest 10% volume dose and maximum dose. Circle and dot 'b' are 90% volume dose and prescription dose.

낮은 선량이 조사되는 하위 90%의 선량 값의 비율을 구하여 비교하였다(식 1-2, Fig. 1).

$$HI = D_{max} / D_{prescription} \dots\dots\dots (식 1-1)$$

$$DHI = \text{minimum dose of 'hottest' 10\% volume} / \text{dose of 90\% volume} \dots\dots\dots (식 1-2)$$

선량 조형성 지수는 처방선량의 총 용적(prescribed isodose volume, V_{PTV})에 대한 종양 체적(target volume, V_{TV}) 중 처방 선량이 조사되는 용적(target volume covered by the prescribed isodose, T_{VPV})의 비를 구하였다(식 2, Fig. 2).

$$CI = T_{VPV}^2 / (V_{PTV} \cdot V_{TV}) \dots\dots\dots (식 2)$$

선량 감소 지수는 처방 선량의 총 용적을 균일한 구의 용적으로 환산하고 그 구의 반경(effective radius, R_{eff} -prescription, $R_{eff.Rx}$) (식 3-1)과 처방 선량의 50%선량 용적을 환산한 구의 반경(R_{eff} -50% prescription, $doseR_{eff}.50\% Rx$) 간의 차이로 나타내었다(식 3-2, Fig. 3).

$$R_{eff.Rx} = \sqrt[3]{3V_{Rx} / 4\pi}$$

$$R_{eff}.50\%Rx = \sqrt[3]{3V_{50\%Rx} / 4\pi} \dots\dots\dots (식 3-1)$$

Rx is prescription dose

$$DGI = R_{eff}.50\%Rx - R_{eff.Rx} \dots\dots\dots (식 3-2)$$

3. 선량 통계 값의 비교

각 치료 계획간의 등 선량 분포와 선량 체적 히스토그램을

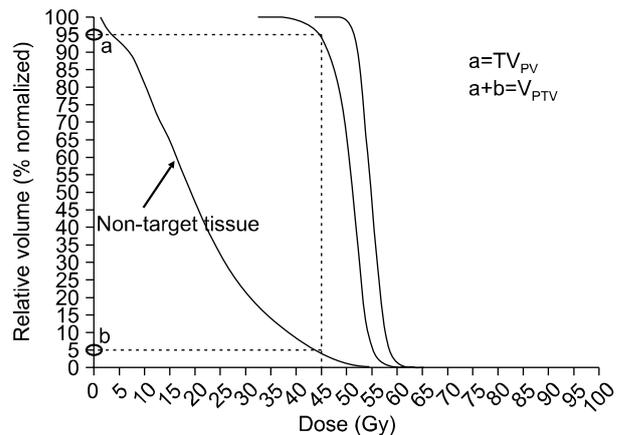


Fig. 2. The diagram of DVH index for evaluated dose conformity around target structure. a is target volume covered by the prescribed dose and b is non-target tissue volume irradiated by the prescribed dose.

비교 하였으며, 특정한 선량 값에서의 체적, 혹은 특정한 체적에서의 선량 값으로 비교 하였다.

모든 대상 환자의 치료 계획 결과에서 종양조직은 최대 선

량(MAX dose)과 최소 선량(min dose), 평균선량(average dose) 값을 비교 하였고, 정상조직 치료 부위에 따라 인접한 중요 장기의 최대 선량, 최소 선량 그리고 20 Gy (V20), 30 Gy (V30), 40 Gy (V40)에 대한 체적을 비교 하였다.

결 과

각 부위마다 3가지 다른 빔 조사 방식을 적용하여 도출된 치료 계획 결과를 등 선량 분포와 선량 체적 히스토그램, 그리고 종양 표적 혹은 중요한 정상 조직의 선량 통계량을 비교하여 가장 우수한 치료 계획을 판정하였고, 또한 선량 체적 히스토그램 표지자를 이용하여 치료 계획 결과를 비교하여 가장 우수한 치료 계획 결과를 판정한 후 두 판정 결과의 유사성을 확인하였다.

1. 두부 환자에서의 치료 계획 결과 비교

종양 표적과 정상 조직에 대해 동일한 선량 처방과 동일한 중요도를 설정한 후 최적화 한 결과 빔 조사 방식에 따라 차이는 있었으나 매 단층 영상에서 등 선량 분포의 차이를 확인할 수 없을 만큼 매우 유사한 결과를 나타내었으며(Fig.

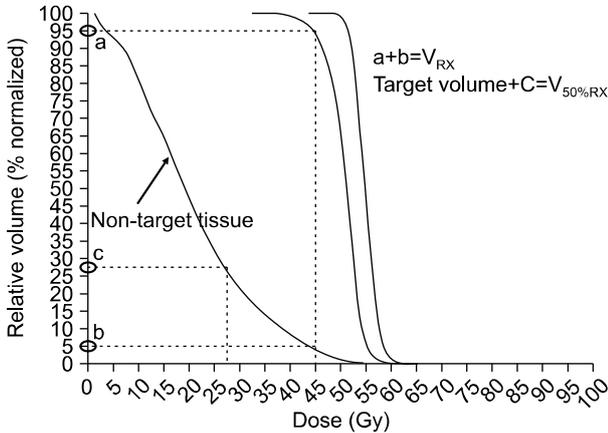


Fig. 3. The diagram of DVH index for evaluated dose gradient between target and normal structures. a is target volume covered by the prescribed dose, b is non-target tissue volume irradiated by the prescribed dose, and c is non-target tissue volume irradiated by the 50% prescribed dose.

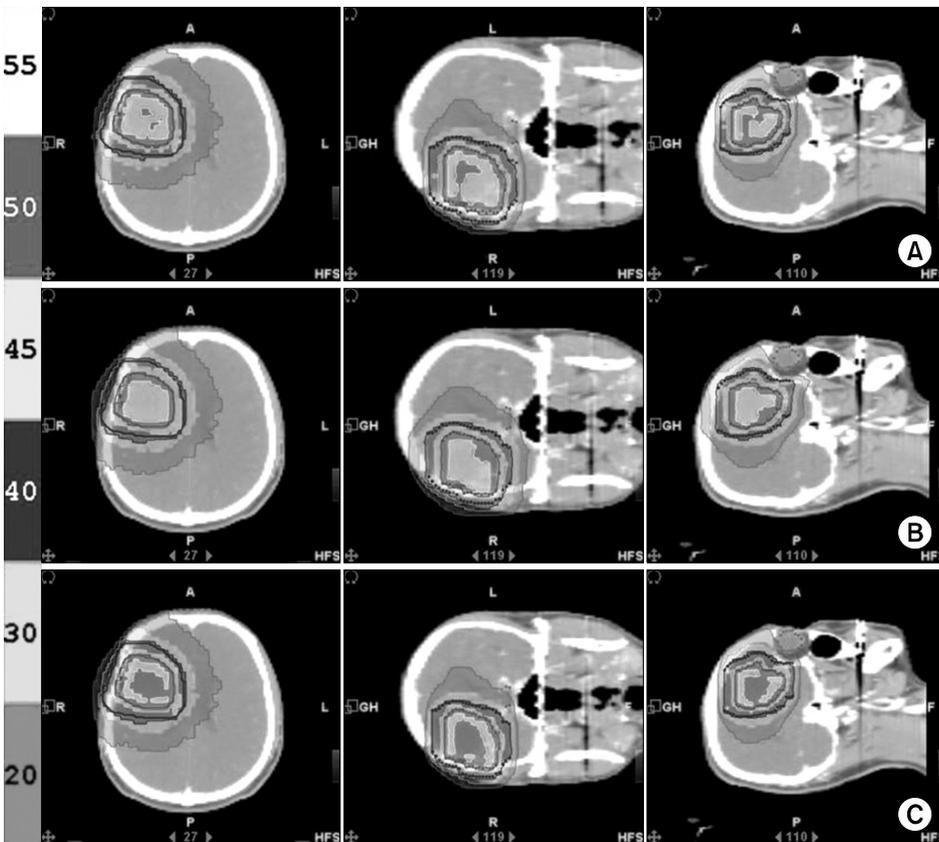


Fig. 4. Isodose distribution of plan trials for cranial region. A is plan_01, B is plan_02 and C is plan_03.

4), 선량 체적 히스토그램에서의 차이는 주변 정상 조직의 수가 많음으로 인해 전체적인 변화를 판단하기가 용이하지 않았다(Fig. 5).

선량 통계량을 비교한 결과 각각의 치료 계획에서 종양 표적에 대한 최대선량과 최소선량, 평균 선량은 큰 차이를 보이지 않았으나, 정상 조직 중 시신경 교차(optic chiasm)의 평균 선량은 plan_02와 plan_03에서 29.8 Gy와 29.1 Gy가 조사된 반면 plan_01은 24.6 Gy를 조사하였고, 25 Gy 이상 조사된 용적($V_{25\text{ Gy}}$) 또한 plan_01 가장 낮았으며 다른 중요한 정상장기인 연수(brain stem)와 정상 뇌 실질의 선량 또한 $V_{25\text{ Gy}}$

와 $V_{30\text{ Gy}}$ 가 0.3%와 17.1%로 비교대상 치료계획 중 가장 낮게 조사 됨으로써 plan_01이 가장 우수하였다(Table 2-1, 2-2)

선량 체적 히스토그램 표지자를 이용한 비교 결과는 plan_01과 plan_02가 plan_03에 비해 우수한 선량 조형지수와 선량 감소 지수를 나타내었으며 plan_01은 plan_02보다 선량 균일 지수와 선량 감소 지수가 좀더 우수하게 나타나 앞선 선량 통계량의 비교 결과와 유사한 결과를 보였다(Table 2-3).

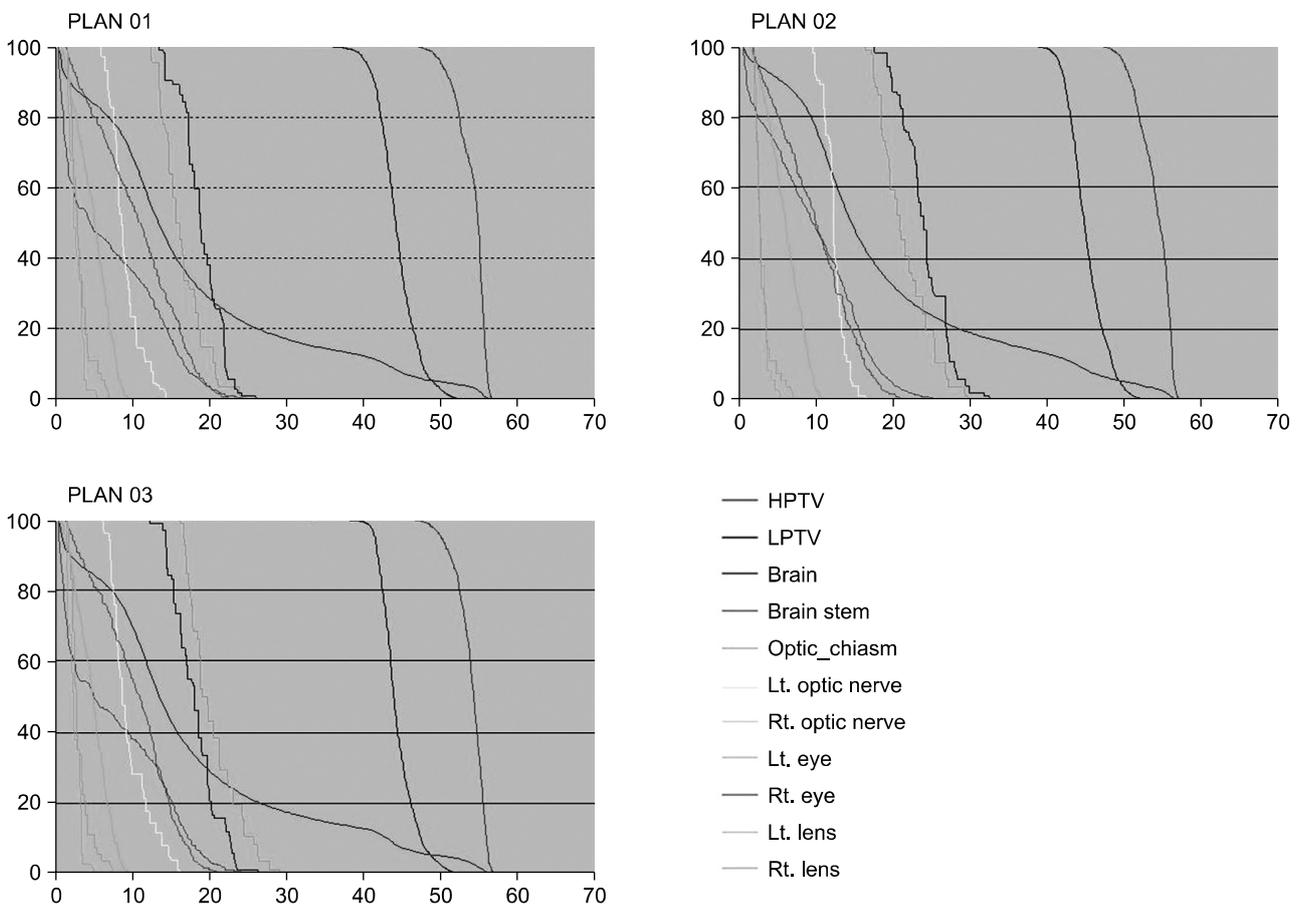


Fig. 5. Comparison of DVH for 3 case plan trials in cranial region.

Table 2-1. Dose statistics of 3 case plan trials for target structure in cranial region

Target	HPTV			LPTV		
	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg
PLAN_01	57.0	45.7	54.0	52.9	31.3	44.3
PLAN_02	57.4	46.0	54.6	53.8	36.5	45.1
PLAN_03	57.6	45.9	53.9	53.1	33.3	44.4

Table 2-2. Dose statistics of 3 case plan trials for normal organ in cranial region

Normal	Optic chiasm			Brain stem			Brain		
	Max	Avg	V25	Max	Avg	V25	Max	Avg	V30
PLAN_01	24.6	16.6	—	26.5	7.4	0.3%	57.0	17.6	17.1%
PLAN_02	29.8	21.6	19.7%	28.2	9.7	0.5%	57.4	19.2	19.0%
PLAN_03	29.1	20.5	10.5%	26.1	7.8	0.3%	57.6	17.8	17.4%

Table 2-3. DVH index of 3 case plan trials for cranial region

DVH index	HPTV		LPTV		Conformity index		DGI deviation	Treatment time
	HI	DHI	HI	DHI	HPTV	LPTV		
PLAN_01	1.14	1.09	1.32	1.15	0.91	0.93	1.28 cm	442 sec
PLAN_02	1.15	1.10	1.35	1.15	0.89	0.90	1.51 cm	350 sec
PLAN_03	1.15	1.09	1.33	1.13	0.93	0.94	1.29 cm	501 sec

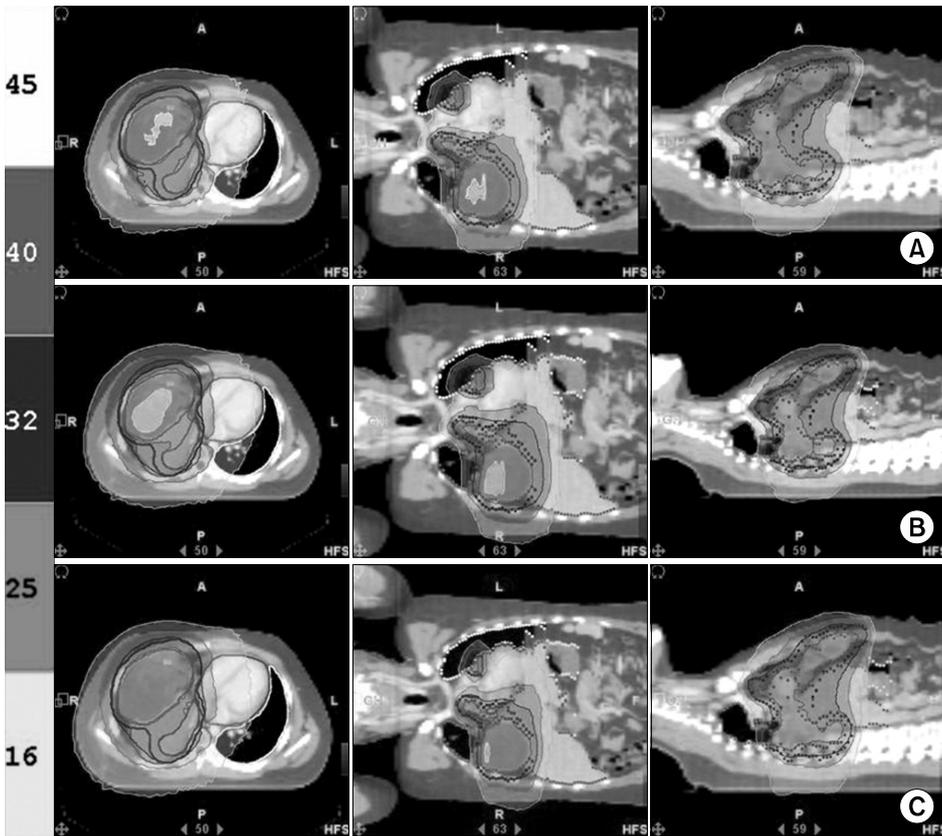


Fig. 6. Isodose distribution of plan trials for thorax region. A is plan_01, B is plan_02 and C is plan_03.

2. 흉부 환자에서의 치료 계획 결과 비교

등 선량 분포와 선량 체적 히스토그램의 비교는 앞선 두부 환자에서의 치료 계획 결과와 유사한 결과를 보였으나 각각의 조직을 정상 조직과 종양조직으로 크게 나누어 비교한 선

량 체적 히스토그램을 통하여 plan_03이 종양조직에서 가장 균일한 선량 분포를 나타냈고, 또한 가장 낮은 선량이 정상 조직에 조사됨을 확인 할 수 있었다(Fig. 6, 7).

선량 통계량 또한 plan_03에서 종양 표적 내 최대 선량은 HPTV와 LPTV에 각각 46.2 Gy와 42.5 Gy가 조사 되어 48.0

Gy가 조사된 plan_01과 47.3 Gy가 조사된 plan_02보다 균일한 선량 분포를 나타냈으며 좌측 폐와 간, 척수의 조사 선량은 12.7% ($V_{20\text{ Gy}}$), 14.9% ($V_{30\text{ Gy}}$), 0.6% ($V_{30\text{ Gy}}$)로 plan_01, plan_02에 비해 낮게 조사 되었다(Table 3-1, 3-2).

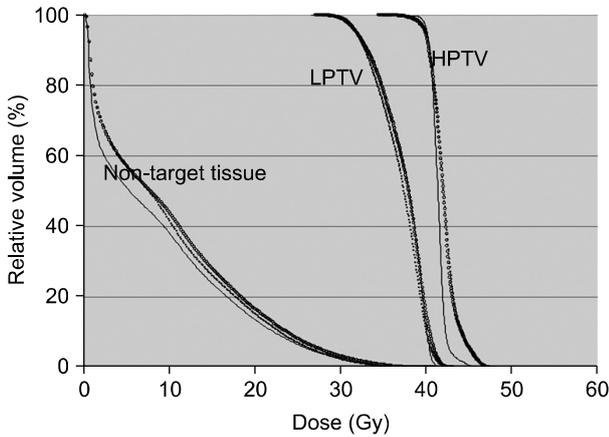


Fig. 7. Compare of dose distribution for target and non-target structure in thorax region, circle is plan_01, dot is plan_02 and line is plan_03.

선량 체적 히스토그램 표지자를 이용한 비교 결과 또한 plan_03은 선량 균일성 지수에서 HPTV는 1.15, 1.05를 나타냈고, LPTV는 1.33, 1.21로 가장 우수하게 나타냈다. 또한 선량 감소 지수는 4.20 cm과 4.12 cm을 나타낸 plan_01과 plan_02에 비해 3.76 cm을 나타내어 가장 우수하였다 (Table 3-3).

3. 복부 환자에서의 치료 계획 결과 비교

등 선량 분포와 선량 체적 히스토그램은 비교 대상 치료 계획 간 유의한 차이를 확인 할 수 없으며 선량 통계량 또한 종양 조직내의 선량 분포 차이는 미미하였다. 직장 내 선량은 plan_01이 9.9% ($V_{30\text{ Gy}}$)로 높게 조사 되었으나 방광의 선량은 5.6% ($V_{40\text{ Gy}}$)로 다른 치료 계획에 비해 낮게 조사되어 치료 계획의 우열을 판정 할 수 없었다(Table 4-1, 4-2).

선량 체적 히스토그램 표지자를 이용한 비교 또한 이와 유사하여 종양 조직 내 선량 균일 성 지수는 1.12, 1.06 (HPTV), 1.29, 1.13 (LPTV)를 나타낸 plan_03이 가장 우수 하였으나 선량 감소지수는 plan_01에서 3.24 cm으로 가장 우수하게 나타났다(Table 4-3).

Table 3-1. Dose statistics of 3 case plan trials for target structure in thorax region

Target	HPTV			LPTV		
	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg
PLAN_01	48.0	35.0	42.0	43.1	27.6	36.8
PLAN_02	47.3	34.5	42.1	43.1	27.2	37.3
PLAN_03	46.2	37.0	41.4	42.5	26.5	37.2

Table 3-2. Dose statistics of 3 case plan trials for normal organ in thorax region

Normal	Lt_lung			Liver			Spinal cord		
	Max	Avg	V20	Max	Avg	V30	Max	Avg	V30
PLAN_01	41.2	15.1	14.5%	39.5	17.2	13.6%	32.5	15.9	2.4%
PLAN_02	41.6	16.2	18.4%	40.2	18.3	18.8%	32.0	16.8	3.0%
PLAN_03	41.3	14.3	12.7%	39.5	16.1	14.9%	31.0	13.7	0.6%

Table 3-3. DVH index of 3 case plan trials for thorax region

DVH index	HPTV		LPTV		Conformity index		DGI deviation	Treatment time
	HI	DHI	HI	DHI	HPTV	LPTV		
PLAN_01	1.20	1.09	1.36	1.22	0.88	0.84	4.20 cm	240 sec
PLAN_02	1.19	1.09	1.35	1.21	0.84	0.78	4.11 cm	397 sec
PLAN_03	1.15	1.05	1.33	1.21	0.87	0.83	3.76 cm	462 sec

Table 4-1. Dose statistics of 3 case plan trials for target structure in abdominal region

Target	HPTV			LPTV		
	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg
PLAN_01	69.6	55.9	64.0	65.0	45.9	55.8
PLAN_02	66.6	54.8	62.3	64.1	43.1	56.54
PLAN_03	62.2	54.6	62.2	64.4	43.3	56.7

Table 4-2. Dose statistics of 3 case plan trials for normal organ in abdominal region

Normal	Bowel			Rectum			Bladder		
	Max	Avg	V30	Max	Avg	V30	Max	Avg	V40
PLAN_01	60.3	17.3	8.2%	36.8	21.3	9.9%	55.3	25.0	5.6%
PLAN_02	60.2	18.3	9.0%	36.8	21.2	4.5%	55.6	26.7	7.2%
PLAN_03	59.8	18.3	9.0%	36.3	21.3	4.5%	55.9	26.6	7.0%

Table 4-3. DVH index of 3 case plan trials for abdominal region

DVH index	HPTV		LPTV		Conformity index		DGI deviation	Treatment time
	HI	DHI	HI	DHI	HPTV	LPTV		
PLAN_01	1.16	1.11	1.30	1.13	0.85	0.80	3.24 cm	662 sec
PLAN_02	1.11	1.06	1.29	1.13	0.72	0.75	3.41 cm	590 sec
PLAN_03	1.12	1.06	1.29	1.13	0.75	0.74	3.34 cm	358 sec

고 안

토모테라피 치료 계획 시 빔 조사 방식을 설정하고 치료 계획을 최적화하는 과정 중에 나타날 수 있는 다수의 치료 결과 중 가장 우월한 치료계획 결과를 도출하기 위해선 치료 계획을 상호 비교 검증할 수 있는 적합한 방식이 요구 된다.

현재 토모테라피 치료 계획 장비에서 제공 되는 비교방식은 등 선량 분포와 선량 체적 히스토그램 등이 제공 되고 있으나 등 선량 분포는 각각의 단면 영상에서 비교할 수밖에 없는 제한점이 있고, 선량 체적 히스토그램의 경우 종양 표적과 정상 조직간의 상충(trade-off)으로 인해 우월한 치료계획을 판단하기가 모호한 단점이 있었다.

따라서 본 연구는 선량 체적 히스토그램의 특정한 표지자를 이용하여 종양의 균일한 선량 분포와 정상조직 내에 고 선량 위험체적이 적은 치료 계획을 보다 쉽게 도출함으로써 기존의 비교방식을 보완하고자 하였다.

본 연구에서 사용한 선량 체적 히스토그램 표지자는 선량 체적 히스토그램의 특정한 값을 통하여 구할 수 있으며 종양 표적 내 선량 균일성을 확인하기 위하여 종양 내 최대 선량

을 비롯하여 종양표적의 체적 중 가장 빈도가 많은 부분(고 선량 영역 중 10% 이하~저 선량 영역 90% 이상)의 비율을 이용하여 비교함으로써 매우 적은 용적에서의 고 선량 영역으로 인한 판단 오차를 줄이고자 하였다. 또한 선량 조형 지수 또한 ICRU⁸⁾에서 권고하는 중앙용적 대비 처방선량 영역으로 구할 수 있는 선량 조형 지수 보다 선량 영역 중에 포함된 중앙 용적을 고려함으로써⁹⁾ 처방 선량 영역의 체적이 종양 용적과 일치하지 않을 경우 낮은 값(CI<1) 나타날 수 있도록 하였고 종양의 모양과 선량 분포의 모양이 유사할 수록 더욱 우수한 값(CI≤1)이 나타나도록 하였다. 선량 감소 지수는 감마 나이프를 이용한 방사선 수술 요법 시 치료 계획을 평가하기 위한 선량 감소 성적 지수(gradient score index, GSI⁸⁾)를 응용하였으나 일정한 형태의 종양 체적을 가진 방사선 수술과 달리 종양 체적이 다양한 점을 고려하여 100을 기준으로 하는 값이 아닌 처방 선량과 처방 선량의 50% 영역의 사이의 거리를 지수로 설정하였다. 따라서 본 연구에서 사용된 선량 감소 지수는 동일한 환자에서의 상대적인 비교 값으로 유용하나 서로 다른 환자에서의 절대적 비교 치로는 적절치 않다.

앞선 결과에서 등 선량 분포, 선량 체적 히스토그램의 비교, 그리고 선량 통계치를 이용한 치료 계획 비교 결과와 선량 체적 히스토그램 표지자를 이용한 결과는 상호 유사한 판정 결과를 나타냄으로써 선량 체적 히스토그램 표지자는 치료 계획에 대한 전반적인 설명력을 갖는다고 결론지을 수 있다. 그러므로 선량 체적 히스토그램 표지자를 이용한 치료 계획 비교 방식은 치료계획을 최적화하는 과정 중에 나타난 다수의 치료 결과 중 기존의 방식보다 더욱 짧은 시간 안에 최적의 치료계획을 도출하는 데 효과적이었으며, 치료의 비교결과가 상호 유사할 경우 보다 적은 치료 시간을 가진 치료 계획을 선택할 수 있었다. 그러나 전체적인 치료 계획의 지표로써 유용한 반면 부분적인 선량 분포를 확인 할 수 없으므로 방사선 치료 후 재발한 방사선 재 치료 혹은 특정 제한 선량을 가진 정상 조직의 선량 제한 등 특정한 목적이 부합된 치료 계획에 있어선 보조적인 참고지표로써 이용되어져야 할 것이다.

결 론

토모테라피 치료 계획 비교 시 선량 체적 히스토그램 표지자를 이용하여 종양 내 선량의 균일성과 종양표적의 형태에 따른 선량 조형성을 확인할 수 있었고, 정상조직의 고 선량 위험성에 대한 전체적인 치료 계획의 추세를 파악하는데 쉽고 용이하였다.

또한 기존의 등 선량 분포와 선량 체적 히스토그램, 선량 통계량을 이용한 비교 결과와 동일한 결과를 나타냄으로써 선량 체적 히스토그램 표지자를 이용하여 치료 전 시행된 여러 치료 계획을 비교하는 것은 균일한 종양선량과 정상장기의 위험이 낮은 치료 계획을 도출할 수 있는 유용한 방식이

라고 사료 된다.

참고문헌

1. Christine E. Oh, Kyle Antes, Michael Darby, et al.: Comparison of 2D conventional, 3D conformal, and intensity-modulated treatment planning techniques for patients with prostate cancer with regard to target-dose homogeneity and dose to critical, uninvolved structures. *Med Dosim* 1999; 24:255-263
2. Carlson D: Intensity modulation using multileaf collimators: current status. *Med Dosim* 2001;26:151-156
3. Cheng CW, Das IJ: Comparison of beam characteristics in intensity modulated radiation therapy (IMRT) and those under normal treatment condition. *Med Phys* 2002;29:226-230
4. Cheng B Saw, Komanduri M Ayyangar, Weining Zhen, et al.: Clinical implementation of intensity-modulated radiation therapy. *Med Dosim* 2002;27:161-169
5. Glenn Bauman, Slav Yartsev, George Rodrigues, et al.: A prospective evaluation of helical tomotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007;68:632-641
6. Robert Jeraj, Thomas R. Mackie, John Balog, et al.: Radiation characteristics of helical tomotherapy. *Med Phys* 2004;31: 396-404
7. Kissick MW, Fenwick J, James JA, et al.: The helical tomotherapy thread effect. *Med Phys* 2005;32:1414-1423
8. ICRU Prescribing, recording and reporting photon beam therapy (Supplement to ICRU Report 50), international Commission of Radiation Units and Measurements (ICRU 62, Bethesda, MD 1999).
9. Thomas H Wagner, Francis J Bova, William A Friedman, et al.: A simple scoring ratio to index the conformity of radio surgical treatment plans. *Int J Radiat Oncol Biol Physics* 2003;57:1141-1149

Abstract

A Study on Prospective Plan Comparison using DVH-index in Tomotherapy Planning

Joo Ho Kim, Jeong Hee Cho, Sang Kyo Lee, Byeong Chul Jeon, Jong Won Yoon, Dong Wook Kim

Department of Radiation Oncology, Cancer Center, Severance Hospital, Seoul, Korea

Purpose: We proposed the method using dose-volume Histogram index to compare prospective plan trials in tomotherapy planning optimization.

Materials and Methods: For 3 patients in cranial region, thorax and abdominal region, we acquired computed tomography images with PQ 5000 in each case. Then we delineated target structure and normal organ contour with pinnacle Ver 7.6c, after transferred each data to tomotherapy planning system (hi-art system Ver 2.0), we optimized 3 plan trials in each case that used differ from beam width, pitch, importance. We analyzed 3 plan trials in each region with isodose distribution, dose-volume histogram and dose statistics. Also we verified 3 plan trials with specialized DVH-indexes that is dose homogeneity index in target organ, conformity index around target structure and dose gradient index in non-target structures.

Results: We compared with the similarity of results that the one is decide the best plan trial using isodose distribution, dose volume histogram and dose statistics, and the another is using DVH-indexes. They all decided the same plan trial to better result in each case.

Conclusion: In some of case, it was appeared a little difference of results that used to DVH-index for comparison of plan trial in tomotherapy by special goal in it. But because DVH-index represented both dose distribution in target structure and high dose risk about normal tissue, it will be reasonable method for comparison of many plan trials before the tomotherapy treatments.

Key words: tomotherapy, DVH-index, plan comparing