

강남세브란스병원 토모테라피를 이용한 치료환자의 130예 통계분석 및 경험

연세대학교 의과대학 강남세브란스병원 방사선종양학과

하진숙 · 전미진 · 김세준 · 김종대 · 신동봉

목 적: 본원에 2007년 10월에 설치된 토모테라피를 이용하여 치료한 환자 130명에 대하여 치료의 통계적 특성을 분석하여 종양의 부위별, 중앙표적체적의 변화, 전체치료시간(overall treatment time), 초고압전산화단층촬영(Megavoltage computed tomography; MVCT)을 이용한 환자의 이동 값, 종양의 크기 변화에 따른 보정치료계획(Adaptive plan) 필요성 등에 대한 통계를 분석하여 알아보고자 한다.

대상 및 방법: 본원에서 2007년 10월부터 2008년 8월까지 토모테라피를 받은 130명의 환자를 대상으로 조사하였다. 환자의 평균 연령은 53세(최소 25세, 최고 83세)이고, 치료 부위별로 두경부(22명), 흉부(47명), 복부(25명), 골반부(11명), 골격계(25명)로 나누었으며 MVCT는 2,702번의 총 분할조사를 치료 전 100% 시행하였고 종양의 크기변화가 큰 27명은 보정치료계획을 시행하였다. 또한 획득된 MVCT와 kV-CT를 일치시킨 후 이동된 값(X, Y, Z, roll, vector)을 치료부위와 사용된 고정기구의 평균 오차범위를 조사하였고 위치잡이(set up), MVCT, 평균 전체치료시간, 표적체적(target volume; TV)을 조사하였다.

결 과: 분석결과 환자가 카우치에 누워있는 평균시간은 22.8분, 평균 치료시간은 13.46분, 평균 보정계수(mm) X=-0.7, Y=-1.4, Z=5.77, roll=0.29, vector=8.66으로 평균 육안적종양체적(gross tumor volume; GTV)=229 cm³, 평균 임상표적체적(clinical tumor volume; CTV)=564 cm³으로 나타났다. 흉부, 복부, 골격계 치료환자보다 두경부 환자의 이동된 vector값이 2.96 mm적음을 알 수 있었다. 치료부위별 이동된 vector값이 두경부>골격계>복부>흉부>골반부 순서로 나타났다. 또한, 보정치료계획을 시행한 환자는 27명, 종양이 길거나 다발성 종양환자는 39명이며 치료 시 1개의 치료계획으로 치료할 때 전체치료시간은 32분, 2개의 치료계획으로 나누어 치료 시에는 각각 21분, 19분으로 총 40분 소요되는 것을 알 수 있었다.

결 론: 고정용구의 사용과 더불어 MVCT의 적용으로 더욱 정확한 세기조절방사선치료(intensity modulated radiation therapy; IMRT)를 할 수 있었다. 또한 매일 영상을 통해 종양의 변화를 확인하여 보정치료계획을 할 수 있었으며 종양이 길거나 또는 다발성 종양, 손상위험장기(organ at risk; OAR) 근처의 치료와 급격한 선량분포의 변화를 주어야 하는 복잡한 치료를 가능하게 하였다.

핵심용어: 영상유도방사선치료, 초고압전산화단층촬영, 보정치료계획

서 론

토모테라피는 전산화단층촬영(computed tomography; CT) 영상을 이용한 세기조절방사선치료(intensity modulated radiation therapy; IMRT)는 미국 위스콘신 대학교에서 발전시켰다. 그것은 초고압 전산화단층촬영(Megavoltage computed tomography; MVCT)과 선형가속기 치료기의 개념을 혼합시킨 것이었다. 회전 갠트리에 장착된 선형가속기에서 방사선은 부채꼴빔(fan beam)으로 방출되고 빠른 공기의 흐름에 의한 두 개의 슬릿으로 된 콜리메이터의 움직임에 의해 강도가 조절된다. 치료하는 동안 환자는 갠트리 보어(gantry bore)를

통해 움직이고 그 동안 갠트리는 계속하여 회전하며 나선형의 선량분포를 보이게 되며, 다양한 지점에서 서로 다른 많은 종양에 대해 안정적인 선량 분포를 보인다.

이러한 선량분포를 나타낼 수 있는 토모테라피는 영상유도의 독특한 시스템을 제공하였다. 매일 촬영하는 영상은 시각적인 위치잡이의 오차와 장기의 움직임을 비교하는데 많은 도움이 되었다. 영상유도는 다음의 세 가지 상황을 만들어내었다. 첫째 IMRT같이 환자 자세의 높은 정확성 필요, 둘째 MVCT영상의 사용으로 매 치료 시 종양의 변화를 알 수 있음, 셋째 최근의 방법은 매일 자세의 정확성이 축적된다. 치료시 CT 영상은 많은 다른 양식으로 실행된다.

본원은 2007년 국내에서는 5번째, 강남지역에서 처음으로 9월에 토모테라피 설치완료 한 후, 10월부터 첫 환자치료를 시작하여 2008년 11월 150예를 시행하였다.

이 논문은 2007년 11월 11일 접수하여 2007년 12월 5일 채택되었음.
책임저자 : 하진숙, 강남세브란스병원 방사선종양학과
Tel: 02)2019-3149, Fax: 02)2019-4821
E-mail: hjshj83@yuhs.ac

이에 지난 1년 동안 130명의 환자를 보면서 그 동안의 경험과 치료유형별로 분석하고자 한다.

대상 및 방법

1. 사용장비

본 연구에서 사용된 장비는 2007년 10월부터 가동된 Hi-Art Tomotherapy와 Tomotherapy planning system V2.2.1.55 (TomoTherapy Incorporated, Madison, WI, USA) 및 Pinnacle³ (philips Medica systems V 8.0 software), Cheese Phantom, 전리함(ion chamber, Middle, WI 53562 USA), Dosimetry PRO Advantage (Vidar, systems coporation), EDR film (Kodak EDR2, USA)을 사용하였다.

2. 대상

2007년 10월부터 2008년 8월까지 130명의 환자를 대상으로 하였다. 토모테라피를 사용한 이유는 복잡한 종양의 기하학적인 모양과 손상위험장기(organ at risk; OAR) 위치, 육안적종양체적(gross tumor volume; GTV)의 변화로 인한 영상유도의 필요성 또는 매 치료시 위치잡이의 미세한 변화 때문이다. 환자들의 평균 연령은 53세(최소 25세, 최고 83세)이다.

두경부(22명), 흉부(47명), 복부(25명), 골반부(11명), 전이암(25명) 치료를 각각 하였고, 고정기구는 S-plate (35명), Wing board (70명), Whole body vac lock (25명) 사용하였다.

토모테라피의 장점인 다양한 종양이거나 치료부위가 넓은 환자에게 적합한 만큼 고식적 치료가 40%로 주 대상을 이루었으며, 치료 진행 중에 종양이나 체중의 변화가 있는 130명의 환자 중 27명(20%)환자에게 보정치료계획을 시행하였다.

3. 치료 과정

토모테라피는 환자의 위치잡이가 중요한 만큼 각 환자에 대해서 고정기구를 제작하고 모의치료 CT를 실행하였다. 모의치료 CT 영상을 이용하여 치료계획을 수립하였다.

치료 전에 정확한 계획과 선량분포를 확인하기위해 모든 환자에 대해 방사선전달정도관리(Delivery Quality Assurance; DQA)를 시행한다. 또한, 치료 전의 MVCT는 2,702번으로 100%시행하였다.

1) 모의치료 시와 동일한 자세로 이동 레이저에 위치잡이를 한다. 2) MVCT를 시행한다. 3) KVCT와 MVCT 영상융합을 한다. 4) 위치잡이의 오차만큼 X, Y, Z, roll에 대해 환자의 위치를 조정한다. 5) 이동된 후 수립된 치료계획대로 치료를 진행한다.

4. 데이터 수집과정

1) DQA (Delivery Quality Assurance)

치료 전 시행한 130명 환자에 대한 데이터를 조사하였다. Cheese phantom, EDR film, Ion chamber를 사용하여 환자치료와 동일한 과정으로 진행한다. Film을 Vidar scanner에 스캔한 후에 선량은 3%, 선량 분포도간의 거리(Distance To Agreement; DTA) 3 mm 이내로 평가하였다(Fig. 1).

2) 치료

두경부, 흉부, 복부, 골반부, 전이암의 치료부위별 환자의 평균 MVCT 스캔시간, 영상융합시간, 치료 시간을 각각 나누어 조사하였다.

또한, 종양이 길거나 다양한 환자의 경우 1개의 치료계획과 2개의 치료계획으로 나누어 치료했을 때 환자의 평균 MVCT 스캔시간, 영상융합시간, 치료시간을 각각 나누어 조사하여 비교하였다. MVCT 이후 영상융합을 했을 때 X (lateral), Y (longitudinal), Z (vertical)의 공간의 이동 값을 vector이라고 한다. $v = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 로 이와 같은 공식으로 치료부위별, 치료계획 1개와 2개의 vector를 각각 조사하여 비교하였다.

3) 보정치료계획(Adaptive plan)의 필요성

토모테라피는 매일 MVCT를 시행하기 때문에 GTV의 변화를 확인할 수가 있다.

MVCT 영상은 연부조직의 대조도에 의해 제한되어 있지만, 영상의 질은 정확한 장기의 표현과 영상융합을 할 수 있도록 해준다.

치아 또는 뼈 속의 가공물에 의한 금속 인공물을 감소시키기 때문에 MVCT 영상으로 계산하게 되면 정확한 계획을 할 수 있다. 또한 치료 도중 체중변화가 있는 환자들에게 보정

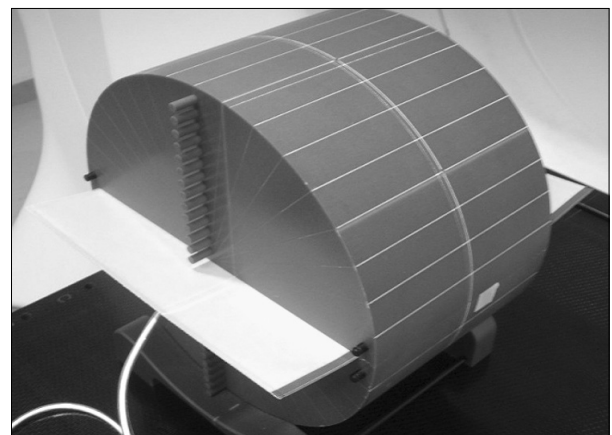


Fig. 1. DQA (Delivery QA) process.

치료계획을 함으로써 정상조직들을 보호하는데 많은 도움을 준다. MVCT 영상을 통해 GTV의 변화를 확인하여 130명의 치료 환자 중 27명이 보정치료계획을 시행하였다(Fig. 2~4).

환자가 1,221초로 가장 긴 만큼 치료 시 환자가 카우치에 누워있는 시간 또한 1,875초로 가장 길었다. 공간의 이동 값인 vector는 두경부가 5.7 mm로 가장 적게 나타난 것을 알 수 있었다(Table 1).

결 과

1. 치료부위별 데이터

두경부, 흉부, 복부, 골반부, 전이암으로 나누어 환자 수, 평균 GTV, CTV, 치료시간, 환자가 카우치에 누워있는 총 시간, vector를 조사하였다.

흉부가 47명으로 환자 수가 가장 많았고 평균 GTV는 복부가 449.3 cm³로 가장 크게 나타났다. 치료시간은 뼈 전이 암

2. 치료계획

본원은 130명의 치료환자 중 39명이 다양한 종양의 환자가 많았다. 그래서 이러한 경우 치료계획을 1개와 2개로 나누어 치료했을 때 비교하여 조사했다.

치료계획을 1개와 2개로 나누어 치료했을 때 평균 치료시간은 각각 1,394.6초, 1,079초이고 환자가 카우치에 누워있는 평균시간은 각각 1,928초, 2,142초로 나타났다.

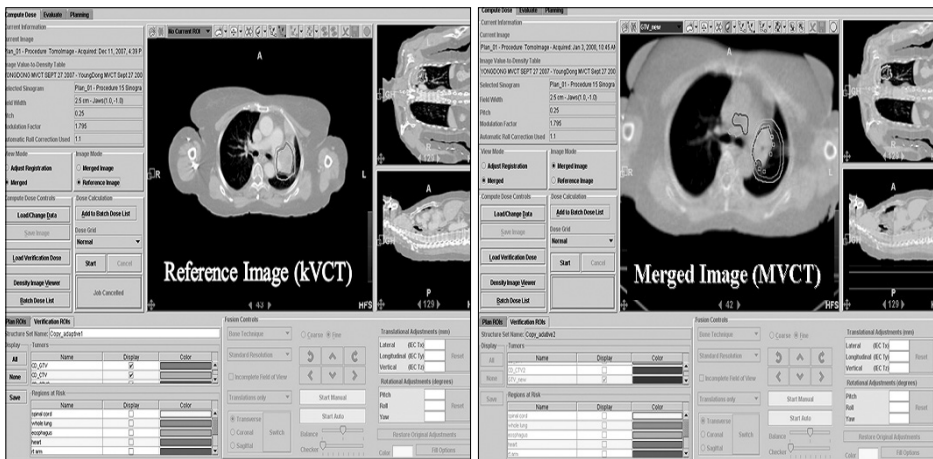


Fig. 2. Adaptive MVCT image (GTV changes).



Fig. 3. Adaptive MVCT image (weight changes).

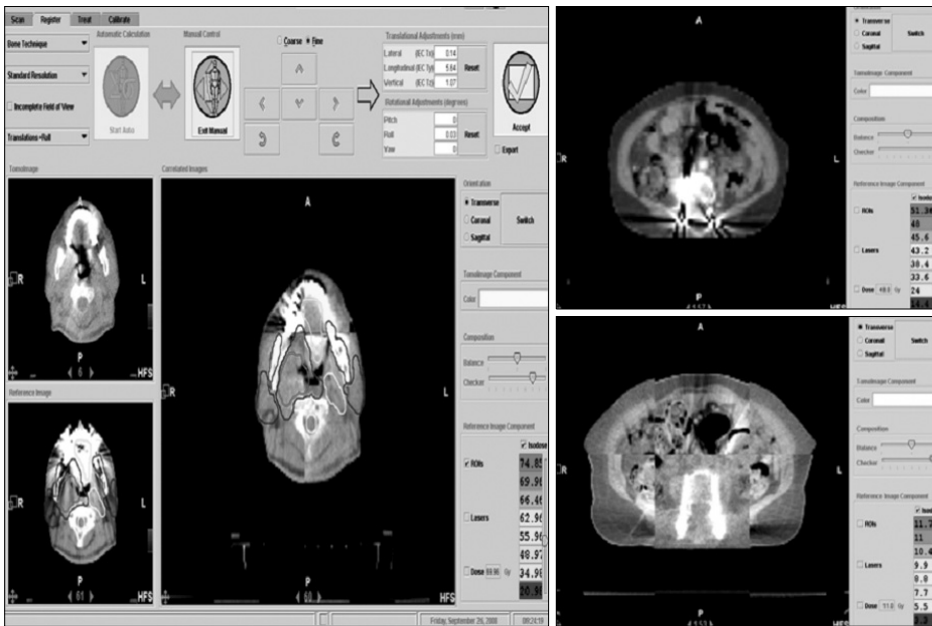


Fig. 4. Adaptive MVCT image (metal changes).

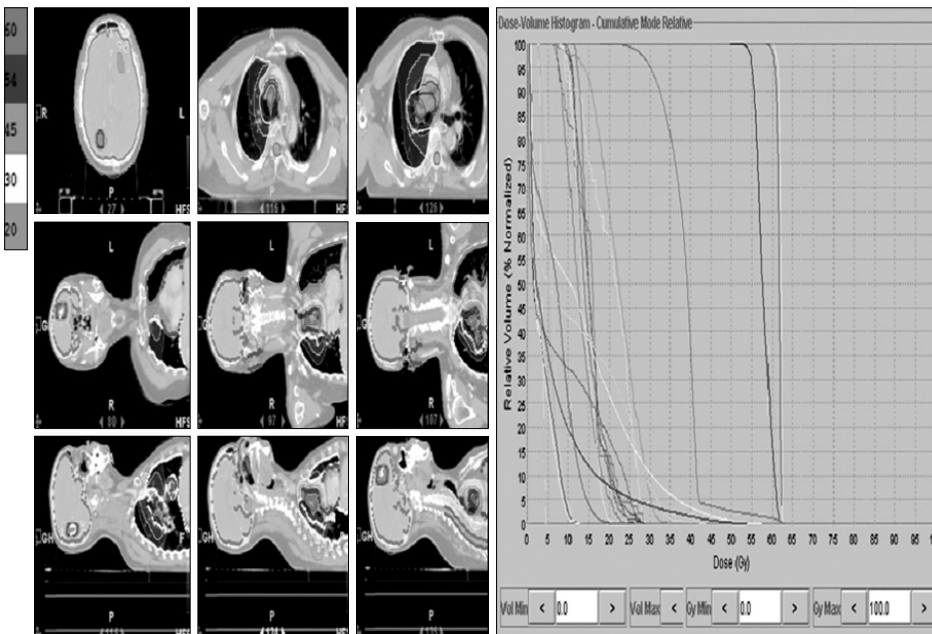


Fig. 5. Multiple target patient (plan_1).

Table 1. Examination for the tumor sites treated

Treatment site	Patient (n)	Mean				
		GTV (cm ³)	CTV (cm ³)	Treatment time (sec)	Time on table (sec)	Correction vector (mm)
Head & Neck	22	156.8	269	655.7	1,230	5.7
Chest	47	131.3	289.1	721.1	1,256	10.11
Abdomen	25	449.3	621.4	654.8	1,312	9.94
Pelvis	11	135.1	567	576.2	1,176	10.41
Bone	25	332.5	517	1,221.0	1,875	8.5

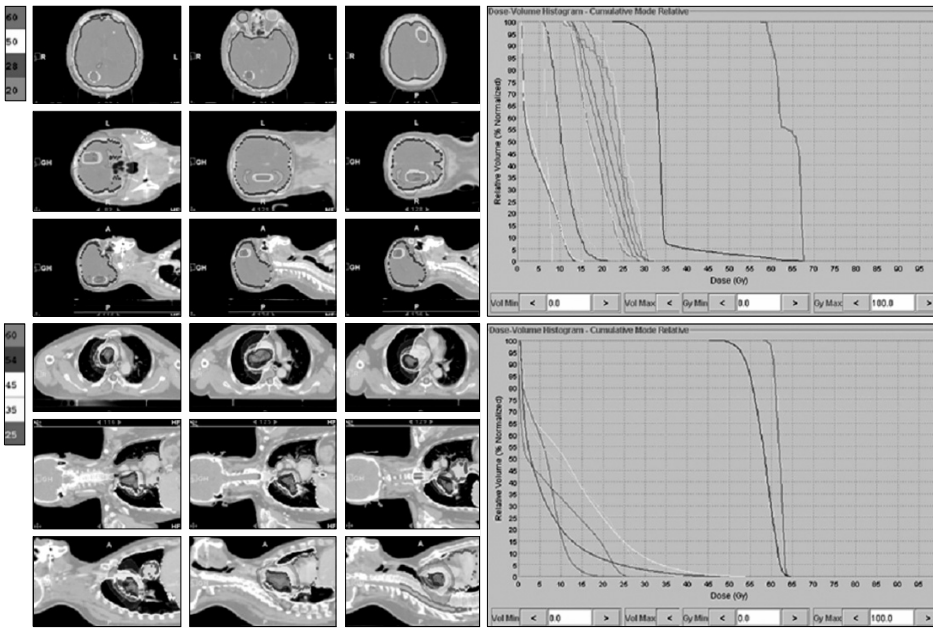


Fig. 6. Multiple target patient (plan_1, 2).

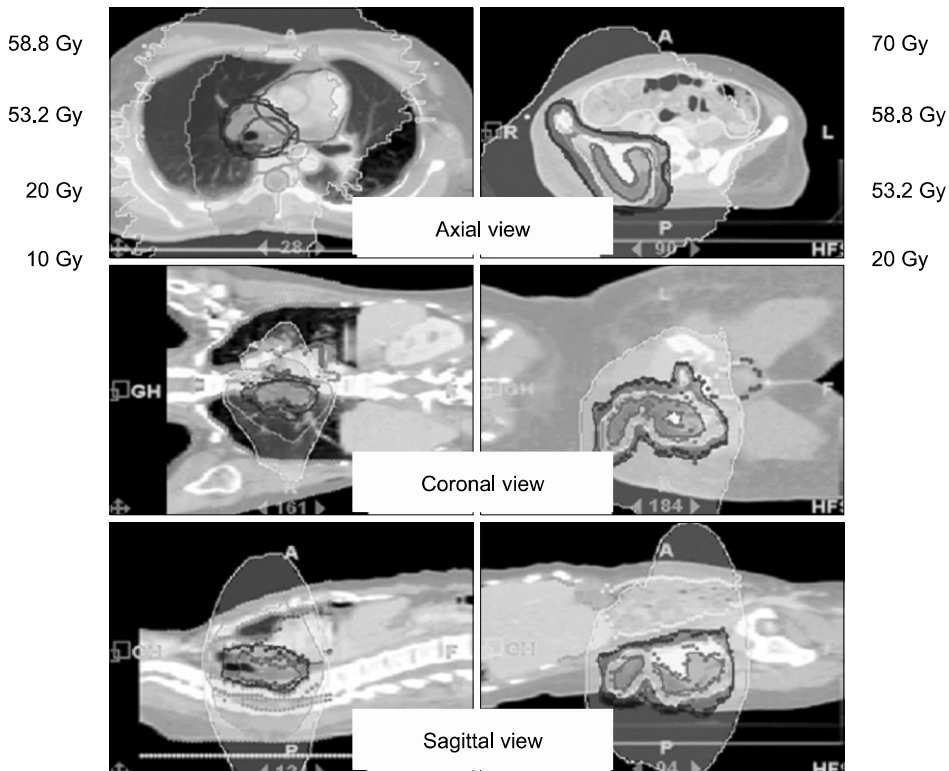


Fig. 7. Multiple target patient (plan_1, 2).

Table 2. Examination for the separated plan

Treatment site	Patient (n)	Mean				
		GTV (cm ³)	CTV (cm ³)	Treatment time (sec)	Time on table (sec)	Correction vector (mm)
Plan_1	24	328	503.5	1,394.6	1,928	7.8
Plan_1, 2	15	238	457.7	1,079.6	2,142	6.5

치료시간은 약 6분정도 차이를 보였고, 환자가 카우치에 누워있는 시간은 약 3분정도 차이가 나타남을 볼 수 있었다.

다양한 종양의 환자치료 시 정확한 위치잡이를 한다고 하지만 카우치의 처짐(sagging)이나 치료의 정확성면에서는 치료계획을 2개 이상으로 나누어 치료하는 것이 더 효과적임을 보였다(Table 2) (Fig. 5~7).

3. DQA (Delivery Q.A)

치료 전 시행한 130명 환자에 대한 DQA데이터를 조사한 결과 97%가 선량은 3%, DTA 3 mm 이내의 결과가 나타났다 (Fig. 8, 9).

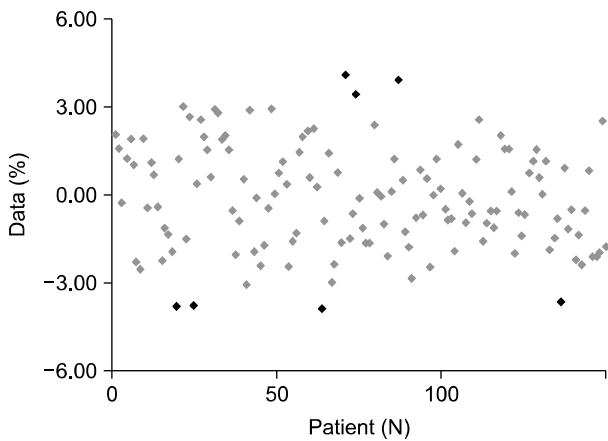


Fig. 8. Result of DQA (Delivery Q.A) data.

4. 보정치료계획

토모테라피는 매일 MVCT를 시행하기 때문에 GTV의 변화, 체중의 변화를 확인할 수 있었기에 본원에서 치료받은 130명의 환자 중 27명(20%)이 보정치료계획을 시행하였다. 그 중에 폐암환자가 10명(37%)로 가장 많은 환자 수를 차지하였다(Table 3).

고안 및 결론

치료 전 MVCT를 시행하는 토모테라피는 방사선치료를 한 단계 발전시켰다.

치료할 수 없거나 치료의 의미가 없는 복잡한 방사선 치료를 보다 좋게 했다. 특히, 길거나 다양한 종양, OAR 근처의 치료를 함에 있어서 더욱 유용했고, 또한 영상유도는 급격한 선량분포의 변화를 주어야하는 복잡한 치료도 가능하게 해주었다.

Vector값은 흉부나 골반부에 비해서 두경부의 경우가 적음을 확인할 수가 있었다. 그 이유는 두경부의 경우에는 흉부나 골반부에 비해 움직임이 적고 고정성이 잘 되기 때문이다.

종양이 길거나 다양하게 있는 환자들의 경우 치료계획을 1개로 치료할 때 보다 2개로 나누어 치료했을 때 카우치의 처짐이나 영상융합하는데 더욱 정확했다. 치료 전 시행한 DQA는 97% 이상이 선량 3%, DTA 3 mm 이내로 정확한 선량분

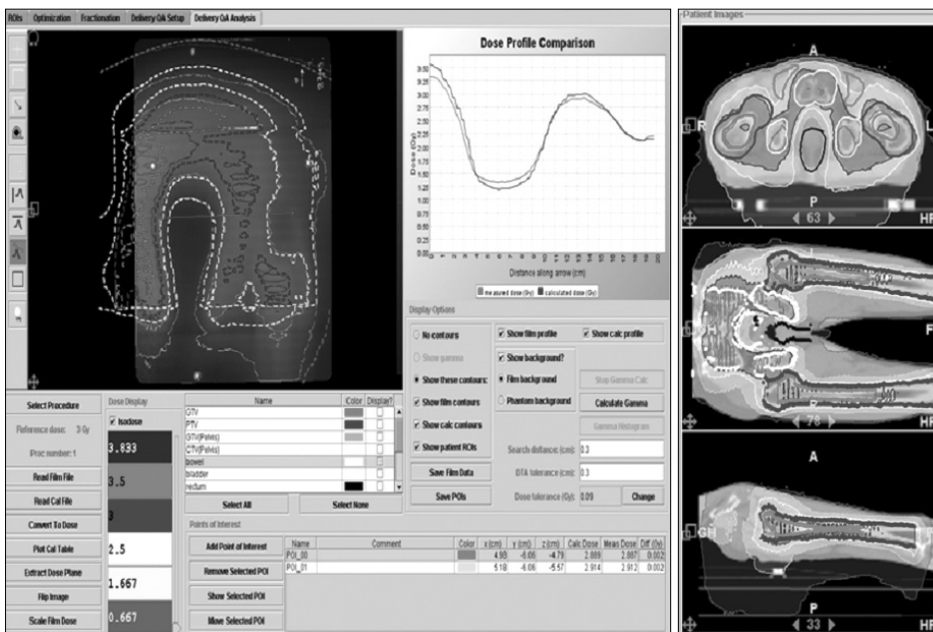


Fig. 9. DQA (Delivery Q.A) case.

Table 3. Adaptive plan patients

No.	Name	M/F	Site	Fx	T.T	p/m	F.W	pitch	M.F	FD	TD
1	Kim	F	Lung	26	721	r	2.5	0.250	2.7	250	6,500
2	Kim	F	Lung	15	601	r	2.5	0.250	3.0	250	3,750
3	Kim	F	brain	25	721	r	2.5	0.250	2.8	250	6,250
4	Han	M	HCC	25	658	m	2.5	0.250	2.0	180	4,500
5	Kim	M	Lung	20	831	m	2.5	0.250	3.0	300	6,000
6	Joo	M	Lung	25	1,038	m	2.5	0.250	3.5	300	7,500
7	Joo	M	Lung	25	963	m	2.5	0.250	4.1	250	6,250
8	Heo	M	Breast/liver/SCL	25	1,118	m	2.5	0.250	4.1	300	7,500
9	Choi	F	Lung	20	523	m	2.5	0.250	3.0	300	6,000
10	Mo	M	Lung	30	525	p	2.5	0.250	2.5	250	7,500
11	Lee	M	Ethmoid	25	469	m	5.0	0.430	3.5	180	4,500
12	Lee	M	Intra abdomen	20	356	m	2.5	0.250	4.3	300	6,000
13	Lee	M	Ethmoid	25	593	p	1.1	0.300	2.7	250	6,250
14	Kwon	M	LN mets	25	482	m	2.5	0.250	3.7	240	6,000
15	Kim	F	Lung	25	1,621	m	2.5	0.250	2.0	250	6,250
16	Kim	M	Esophageal	22	1,088	p	2.5	0.287	3.3	220	4,840
17	Kim	M	NPC	25	991	m	1.1	0.300	3.0	250	6,250
18	Kim	F	PALN	30	1,528	m	1.1	0.250	3.0	220	6,600
19	Kang	M	Pelvic bone	20	1,028	m	2.5	0.287	2.5	350	7,000
20	Choi	M	Renal cell ca	30	747	m	2.5	0.250	2.8	220	6,600
21	Lee	F	Lung	27	1,176	m	1.1	0.300	3.0	250	6,750
22	Lee	M	Tonsil ca	25	627	p	2.5	0.250	3.8	270	6,750
23	Song	F	Pancreatic ca	23	241	r	2.5	0.250	2.5	230	5,290
24	Lee	M	Lung	25	557	m	5.0	0.287	2.3	250	6,250
25	Koo	F	Brain	30	356	p	5.0	0.300	2.1	180	5,400
26	Jung	M	Bladder	30	447	m	2.5	0.250	3.0	250	7,500
27	Jung	F	Renal pelvis	30	327	m	5.0	0.200	1.7	200	6,000

포와 계획을 확인하여 치료를 시행했다.

매일 MVCT를 시행하기에 종양과 체중의 변화를 확인하거나 치아나 뼈 속에 가공물에 의한 금속 인공물이 감소되기 때문에 정확한 계산을 얻는데 유용하고, 이런 환자의 경우 보정치료계획을 시행하여 보다 정상조직을 보호하는데 도움이 되었다.

하지만 치료받는 환자는 치료시간이 길기 때문에 한 자세로 고정하는 것과 기기의 열 발생으로 온도가 낮아 치료실내에 온도가 낮았고, 기기의 소음이 컸다.

토모테라피로 인해 방사선 치료를 한 층 더 발전시켰으며 환자들이 좀 더 편하게 치료를 받을 수 있다면 더 효과적인 방사선 치료로 발전할 것으로 생각한다.

참고문헌

1. Dawson LA, Sharpe MB: Image-guided radiotherapy: rationale, benefits, and limitations. *Lancet Oncol* 2006;7:848-

858

2. Bauman G, Yartsev S, Rodrigues G, et al.: Aprospective evaluation of helical tomotherapy. *Int J Radiol* 2006;79:S87-98

3. Huntzinger C, Munro P, Johnson S, et al.: Dynamic targeting imagr-guided radiotherapy. *Med Dosim* 2006;31:113-125

4. Ling CC, Yorke E, Fuks Z: From IMRT to IGRT: frontierland or neverland. *Radiother Oncol* 2006;78:119-122

5. Meyer JL(ed): IMRT, IGRT, SBRT-Advances im the Treatment Planning and Delivery of Radiotherapy. *Front Radiat Ther Oncol Bael Karger* 2007;40:162-178

6. Timothy E Schultheiss: Pitch, roll, and yaw variations in patient positioning. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 2006;66:949-955

7. Barbera L, Jackson LD, Schulze K, et al.: Performance of different radiotherapy workload models. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2003;55:1143-1149

8. Soisson ET, Tome WA, Richards GM, et al.: Comparison of linac based fractionated stereotactic radiotherapy and tomotherapy treatment plans for skull-base tumors. *Radiother*

대한방사선치료학회지 2008;20(1):45-53

Oncol 2007;82:174-178

9. Li XA, Qi XS, Pitterle M, et al.: Interfractional variations in patient set up and anatomic change assessed by daily

computed tomotherapy. Int J Radiant Oncol Biol Phys 2007; 68:581-591

Abstract

Experiences of the First 130 Patients in Gangnam Severance Hospital

Jin Sook Ha, Mi Jin Jeon, Sei Joon Kim, Jong Dae Kim, Dong-Bong Shin

Department of Radiation Oncology, Gangnam Severance Hospital, Seoul, Korea

Purpose: We are trying to analyze 130 patients' conditions by using our Helical Tomotherapy, which was installed in our center in Oct. 2007. We will be statistically approach this examination and analyze so that we will be able to figure out adaptive plans according to the change in place of the tumor, GTV (gross tumor volume), total amount of time it took, vector ($v = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$) and the change in size of the tumor.

Materials and Methods: Objectives were the patients who were medicated with Tomotherapy in our medical center since Oct. 2007 August 2008. The Average age of the patients were 53 years old (Minimum 25 years old, Maximum 83 years old). The parts of the body we operated were could be categorized as Head&neck (n=22), Chest (n=47), Abdomen (n=25), Pelvis (n=11), Bone (n=25). MVCT had acted on 2702 times, and also had acted on our adaptive plan toward patients who showed big difference in the size of tumor. Also, after equalizing our gained MVCT and kv-CT we checked up on the range of possible mistake, using x, y, z, roll and vector. We've also investigated on Set-up, MVCT, average time of operation and target volume.

Results: Mean time on table was 22.8 minutes. Mean treatment time was 13.26 minutes. Mean correction (mm) was X=-0.7, Y=-1.4, Z=5.77, roll=0.29, vector=8.66 Head&neck patients had 2.96 mm less vector value in movement than patients of Chest, Abdomen, Bone. In increasing order, Head&neck, Bone, Abdomen, Chest, Pelvis showed the vector value in movement. Also, there were 27 patients for adaptive plan, 39 patients, who had long or multiple tumor. We could know that When medical treatment is one cure plan, it takes 32 minutes, and when medical treatment is two cure plan, it takes 40 minutes that one medical treatment takes 21 minutes, and the other medical treatment takes 19 minutes.

Conclusion: With our basic tools, we could bring more accurate IMRT with MVCT. Also, through our daily image, we checked up on the change in tumor so that adaptive plan could work. It was made it possible to take the cure of long or multiple tumor, the cure in a nearby OAR, and the complicated cure that should make changes of gradient dose distribution.

Key words: IGRT, MVCT, adaptive plan