

The Usability Evaluation Half Beam Radiation Treatment Technique on the Esophageal Cancer

Hochoon Park*, Youngjae Kim**, Seongjoo Jang

Dept. of Radiological Technology, Dongshin University, Dept. of Radiation Oncology, Chunnam National University Hospital*,
Dept. of Radiologic Technology, Daegu Health College**

식도암 환자에서의 Half Beam 치료법의 유용성 평가

*, **, , , *

Abstract

Because of esophageal cancer has the long length of the lesion and also inhomogeneous in depth. So, the radiation dose distribution was inhomogeneous in radiation therapy. To overcomes the dose distribution uniformity using half beam method. Patient's CT image was used radiation treatment planning. We used two planning methods that one is the using normal beam and another is using half beam. Than comparing the two radiotherapy planning using target coverage, dose volume histogram, conformity index, homogeneity index and normal tissues - heart, spinal cord, lung -. In results, Treatment planning using half beam is little more than normal beam in target coverage, dose volume histogram, conformity index, homogeneity index and normal tissues covering. However, If the patient is not correct position patients may arise a side effect. Thus, the using in Half beam involving the geometrically exact under lung cancer is considered to advantage.

Key Words : Esophageal cancer, Radiation therapy, Half beam

요 약

식도암은 병변의 길이가 길고 깊이의 불균질성으로 인하여 방사선의 균일한 선량분포를 얻기 어렵다. 이러한 문제 점을 개선해 보고자 Half beam 법을 이용하여 선량분포의 균질성을 극복해 보고자 환자의 영상을 바탕으로 하여 Normal beam과 Half beam을 이용하여 각각 치료계획을 세워 표적체적포함율과 선량체적곡선, 일치성지수와 균질성 지수를 상호 비교하고, 인접정상장기인 심장, 척수, 폐를 비교해 보고자 한다. 실험결과 Half beam을 이용한 치료계획이 표적체적포함율과 선량체적곡선 그리고 일치성지수와 균질성지수가 우수하였으며 정상조직 보호측면에서도 미미 하지만 우수한 것으로 나타났다. 하지만 정확한 환자자세가 확보되지 않으면 부작용이 발생할 수 있다. 따라서, 기하학 적으로 정확한 환자의 위치잡이를 수반한 Half beam의 적용은 선량적으로 유용할 수 있을 것으로 사료된다.

중심단어: 식도암, 방사선치료, 하프빔

I. INTRODUCTION

식도암은 우리나라에서 발생하는 위장관 악성 종양으로 높은 발생 빈도를 보이는 종양으로서 최근 발생 빈도가 증가하고 있다¹⁻³⁾. 식도암의 치료법으로는 수술, 항암요법 및 방사선치료를 병행하여 치료하고 있으나, 절반 이상의 환자에서 치료 후 부작용이 발생하며, 5년 생존율 또한 35% 미만으로서 예후가 좋지 않은 것으로 알려져 있다⁴⁻⁸⁾.

이러한 전이 등의 경향에 의해 방사선 치료 범위 설정이 달라 질 수 있는데, 상부 식도암의 경우 쇄골상부 림프절을 조사야에 포함시키며, 중부 식도암의 경우 식도 및 기관 림프절을 치료 범위에 포함시키되 복강 림프절은 치료 범위에 포함시키지 않는다. 그리고 하부 식도암의 경우 식도 위 접합부를 침범할 경우 복강과 위 주변 림프절을 치료범위에 포함시켜 범위를 설정하고 있다⁹⁻¹²⁾.

방사선치료는 정상조직에는 최소한의 선량을 흡수하도록 하면서 동시에 종양조직에 처방선량에 근접한 선량값을 흡수되도록 하는 것이 방사선 치료에 목적이 있다고 할 수 있다. 정상조직의 견딜선량을 높게 하고 종양조직의 치사선량을 낮게 하여 치료가능비(TR, treatment ratio)의 값을 최대로 하는 것을 목적으로 치료기법도 개발되어왔다. 고식적 방법(conventional methode)으로는 2차원적 단순치료를 시작으로 3차원 입체조형치료(three dimensional radiation therapy)로 발전해 왔으며 세기조절방사선치료(IMRT, intensity modulated radiation therapy) 및 영상유도방사선치료(IGRT, image guided radiation therapy)로 발전해 왔다.

치료기법 뿐만 아니라 방사선 치료를 시행함에 있어서 정상조직을 최대한 제외시키며 종양의 움직임, 환자의 위치잡이(Set up), 환자의 호흡에 대한 움직임을 고려하여 영역을 설정하게 된다. 이렇게 영역으로 설정한 치료계획용적(PTV, planing target volume)¹³⁾을 정하게 됨에도 불구하고, 정상조직과 종양조직이 인접한 경우에는 선량의 오류가 발생할 수 있어 정상조직의 부작용이나 종양의 재발이 발생할 확률이 증가하게 된다. 특히, 방사선 치료계획과 방사선 치료시 선량의 불균질성은 차후 방사선장해와 부작용의 우려가

있다. 길이가 비교적 긴 종양의 방사선 치료의 경우 두 개의 조사야를 바탕으로 영역을 설정하게 되는데 이때 겹치는 경우에 특히 이러한 선량오류가 증가하게 된다. 따라서 본 연구에서는 식도암의 방사선 치료시 깊이와 길이의 불균질성으로 인한 방사선의 선량분포의 저하를 극복하기 위하여 Half beam을 사용유무를 비교하여 치료계획을 수립, 선량분포를 구하여 치료기법을 비교하고자 한다.

II. EXPERIMENTAL EQUIPMENT AND METHOD

1. 실험기기

환자의 영상을 얻는 CT 모의치료장치로는 GE사의 BrightSpeed(Bright speed excel, GE, China)의 16 채널을 이용하여 영상을 획득하였으며 Map CHECK2 (SunNuclear: Melbourne, Florida, USA) 를 이용하여 선량분포를 확인하였다. [Fig. 1],[Fig. 2].



Fig. 1. CT Simulation.



Fig. 2. Mapcheck image.

획득된 영상을 바탕으로 치료계획은 Eclipse software (varian medical system Ver.13)를 사용하여 치료 계획을 하였다[Fig. 3].



Fig. 3. Treatment Planning.

2. 실험방법

식도암으로 진단을 받고 병변의 길이가 20 cm 이상이며 방사선 치료를 시행받는 환자 중 사전에 연구의 목적과 방법을 충분히 설명 받았으며 모두 본 연구에 동의한 12명을 선택하여 각 환자들에게 두 가지의 치료방법을 계획하고 평가하였으며 계획장비를 사용하여 치료계획을 하였으며 선량분포를 확인하였다.

환자는 5 mm 간격으로 3차원 모의치료장치(CT-simulator)을 이용하여 모의치료를 하였다. 치료계획용적은 육안적중양체적을 기준으로 0.7 cm의 영역을 설정하여 MLC로 설정하였으며 처방선량의 95%를 포함하도록 확인하였다. 이때 선량의 결손 부위를 mm 단위로 실측하였다.

중심점으로 설정된 x, y, z축을 이용하여 각각 Upper, Lower로 나누어 Half beam 치료계획을 수립하였고 10회 방사선치료를 수행한다는 가정 하에 냉점(Cold area)를 없애기 위하여 위치이동(junction Moving)을 시행(1 cm 위쪽 방향으로 중심점을 이동함)한 후 10회 추가 방사선을 조사하는 조건으로 치료계획을 수립하였다. 같은 조건으로 Half beam 치료계획 후 결손 부위를 mm 단위로 실측하였다.

치료계획의 평가는 두 가지의 치료계획의 결과를 바탕으로 하여 프로그램을 이용하여 선량포함도(Dose coverage)를 바탕으로 한 치료계획부분 내의 선량의 균

질성을 나타내주는 균일도(homogeneity), 일치성(conformity), 그리고 선량체적곡선(DVH, dose volume histogram)을 토대로 비교하였다.

III. RESULT

1. Dose Coverage 분석

선량포함양상(dose coverage)를 확인해본 결과 측방향(axial plane)에서는 Normal 기법과 Half기법의 큰 차이가 보이지 않았지만[Fig 4.] 관상면(coronal plane)에서는 Normal 기법을 시행하는 것이 중간부분의 선량접침영역이 관찰되었다[Fig 5.]. Half 기법으로는 이러한 선량접침영역이 관찰되지는 않았으며 하부식도에서 선량의 전달도가 다소 낮게 된 점이 관찰되었다. 시상면(sagittal plane)의 영상에서도 Half 기법이 선량중첩은 피할 수 있었고 하부식도에서 선량전달도가 다소 낮음을 알 수 있었다[Fig 6].



Fig 4. Dose Coverage Normal planning(Lt) and Half beam planning(Rt)-Axial Image.

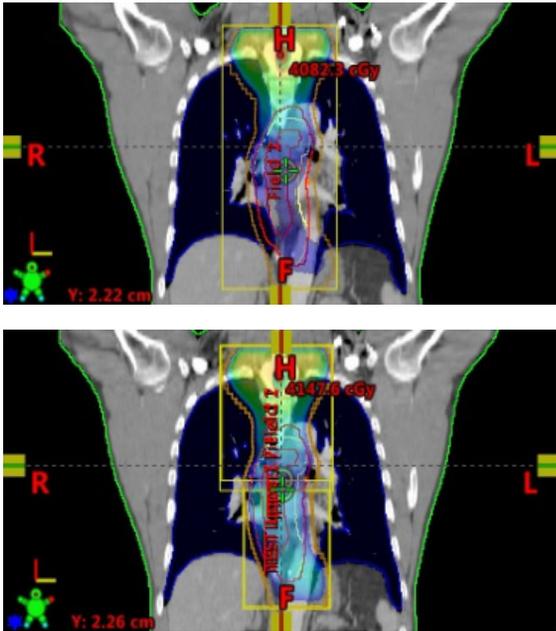


Fig 5. Dose Coverage Normal planning(Lt) and Half beam planning(Rt)-Coronal Image.

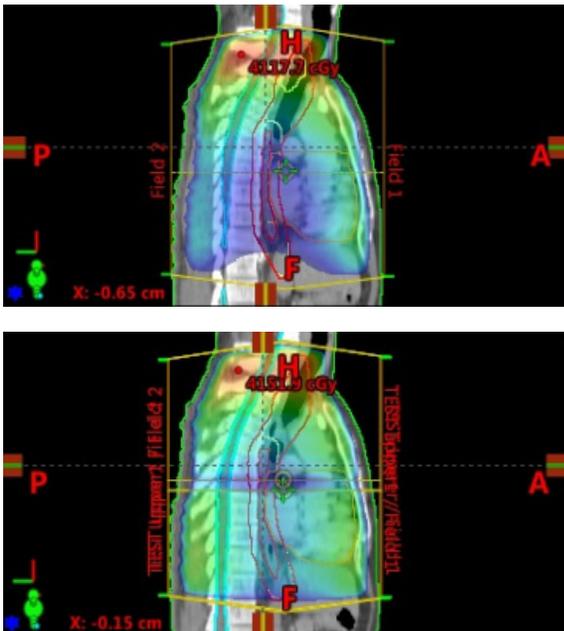


Fig 6. Dose Coverage Normal planning(Lt) and Half beam planning(Rt)-Saggital Image

2. DVH(dose volume histogram) 분석

선량체적곡선에서는 전체적으로 명확한 차이는 보이지 않으며 동일한 양상으로 관찰되고 있다[Fig 7]. 치료계획용적(PTV)에서는 Half 기법이 Normal 기법보다 80%의 체적에 7 Gy정도 추가선량이 입사되는 것이 관찰되었다[Fig 7].

인접 정상조직인 심장(heart)의 경우 60%의 체적에 6 Gy정도 추가선량이 입사되었고 정상조직에도 약간의 초과 선량을 보인 것으로 관찰되었다. 반면, 척수(Spinal cord)의 경우 Normal 기법과 half 기법의 선량흡수양상이 저선량영역에서는 Half 기법이 다소 효과적으로 방어하였지만 고선량영역에서는 Normal 기법이 5 Gy 정도의 추가선량을 보였다. 폐(lung)의 경우 식도의 조사야에 대부분의 면적이 포함되어있지 않아 선량체적곡선의 양상이 양호하며 양쪽 치료법 모두 동일 양상으로 관찰되었다[Fig 8-11].

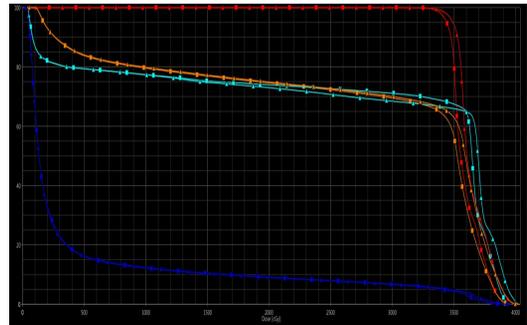


Fig 7. Dose Volume Histogram between normal method(■) and halfbeam method(▲). (light blue: PTV, red: heart, blue: spinal cord, yellow : lung)



Fig 8. Dose Volume Histogram of PTV. (■ : normal method, ▲ : halfbeam method)

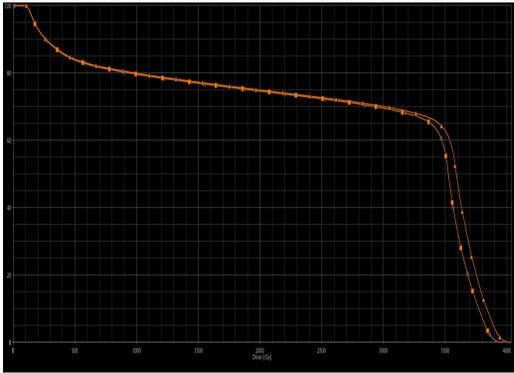


Fig 9. Dose Volume Histogram of Heart. (■ : normal method, ▲ : halfbeam method)

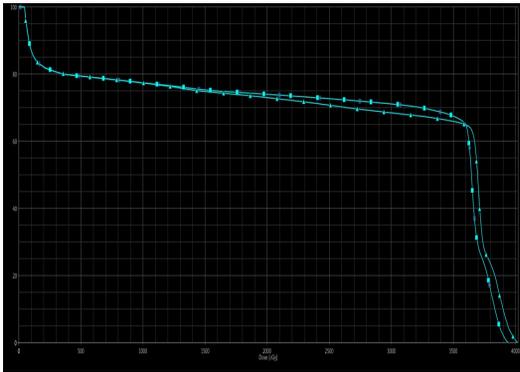


Fig 10. Dose Volume Histogram of Spinal cord. (■ : normal method, ▲ : halfbeam method)

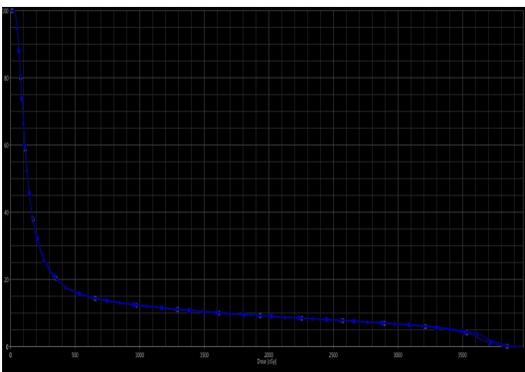


Fig 11. Dose Volume Histogram of Lung. (■ : normal method, ▲ : halfbeam method)

2. Comparison parameter 분석

균일도지수(HI, homogeneity index)는 TV의 균일성(uniformity)를 평가하는 인자로 표적 범위 내에서 어느 정도의 선량이 균질성이 있는지 평가하는 데 사용되며 Normal beam과 Half beam 치료법의 균일도지수를 관찰해 보면 Normal 기법에서는 1.20 ± 0.04 로 나타났으며 Half 기법은 1.19 ± 0.03 으로 오차범위 내에 모두 포함된 것으로 나타났다.

일치성지수(CI, conformity index)는 Nedzi 등^[14]에 의해 다음과 같이 정의되었으며는 표적 범위에서의 품질을 평가하기 위해 사용하였다.

$$CI = \frac{V_{RI}}{TV}$$

여기서 V_{RI} 는 기준 등선량(reference isodose)의 체적이고, TV는 표적 체적(target volume)이다.

Normal beam과 Half beam 치료법의 일치성지수를 관찰해 보면 Normal 기법에서는 1.15 ± 0.03 로 나타났으며 Half 기법은 1.06 ± 0.03 으로 0.09 정도의 차이를 보인 것으로 나타났다[Table 4]. 모두 p값이 0.05미만으로 통계적 유의성을 확보하였다.

Table 4. Comparison parameter - Esophagus

Parameter	Normal plan	Half Beam plan	p value	
PTV	HI	1.20 ± 0.04	1.19 ± 0.03	<0.05
	CI	1.15 ± 0.03	1.06 ± 0.03	

정상조직의 체적별 흡수선량의 측정 결과 Table 5와 같고 본 표에서 나타낸 V_{20} 과 V_{30} 과 V_{40} 은 각각 20%, 30%, 40% 체적에 흡수되는 선량을 나타낸다. 척수(spinal cord)와 폐(lung)의 경우 평균선량은 동일하게 나타났으며 부분체적별 흡수선량률도 거의 동일하였다. 심장(heart)의 경우 70.8%와 69.4%로 그 차이가 1.4% 정도의 차이를 보인 것으로 나타났다.

Table 5. Comparison parameter - Normal Tissues

Parameter	Normal plan(%, Gy)	Half Beam plan(%, Gy)	p value
Spinal Cord	V ₂₀ 93.0% (37.61 ± 0.12)	95.0% (38.30 ± 0.09)	<0.05
	V ₃₀ 92.5% (37.00 ± 0.10)	92.5% (37.30 ± 0.11)	
	V ₄₀ 90.5% (36.64 ± 0.09)	92.5% (37.08 ± 0.09)	
	Mean dose 67.0% (27.87 ± 0.11)	67.0% (27.85 ± 0.10)	
Lung	V ₂₀ 8.9% (3.50 ± 0.01)	8.9% (3.50 ± 0.02)	
	V ₃₀ 5.7% (2.25 ± 0.02)	5.7% (2.25 ± 0.02)	
	V ₄₀ 3.9% (1.55 ± 0.01)	3.9% (1.55 ± 0.03)	
	Mean dose 12.3% (4.88 ± 0.03)	12.3% (4.88 ± 0.05)	
Heart	V ₂₀ 92.0% (36.80 ± 0.11)	93.8% (37.50 ± 0.10)	
	V ₃₀ 90.5% (36.20 ± 0.13)	92.0% (36.80 ± 0.07)	
	V ₄₀ 89.0% (35.60 ± 0.10)	91.0% (36.40 ± 0.12)	
	Mean dose 70.8% (28.30 ± 0.15)	69.4% (27.74 ± 0.13)	

IV. DISCUSSION

식도암 환자들의 근치적 치료 후 장기추적검사에서 보면 상부 및 중부식도암의 경우 복강 및 위 주변 림프절전이와 적지 않게 관찰^{[15],[16]}되고 있으며, 이러한 경우 간 등의 장기에 전이^[17]가 발생할 수 있어 치료반응 및 순응도의 감소가 관찰되고 있다. 그리고 인접 림프절 전이에 비하여 원발 림프절의 전이 시 복부장기로의 전이가 흔하게 일어나며, 생존율 또한 감소함을 알 수 있다^{[18],[19]}. 이러한 부작용을 방지하기 위하여 방사선 치료 또한 치료기법이 발달되고 발전되어 환자에게 적용하고 있다.

식도와 같은 비교적 긴 장기를 치료함에 있어서는 두 가지 방사선 조사야의 결합을 필요로 하는데 이러한 조사야를 결합시키는 방법으로는 방사형 빔을 사

용하는 방식(Normal beam)과 Half beam을 사용하는 방식으로 크게 나뉠 수 있다. 이러한 방식을 선택하여 두 가지의 치료기법의 비교를 통해 선량분포도와 선량균일성, 척수와 폐 그리고 심장의 피폭선량을 관찰해본 결과 선량분포의 양상은 Normal beam을 사용하는 방식보다 Half Beam을 사용하는 방식이 표적포함도(target coverage)가 우수하였고 선량체적곡선(DVH)상 선량적으로 우수한 치료효과를 보일 것으로 예상되었다. 선량의 균일성을 뜻하는 균질성지수(HI)와 일치성지수(CI)의 경우 Half beam을 이용한 방식이 다소 우수한 점으로 사료되며 이는 Normal beam을 이용한 치료 계획시 빔의 겹침현상 때문에 나타나는 과선량효과(hotspot)의 방지 때문인 것으로 추측된다. 한편, 주위 조직의 결정(정상)조직인 척수, 폐, 심장의 피폭선량의 V₂₀, V₃₀, V₄₀ 을 각각 살펴보면 폐에서의 흡수선량은 거의 동일하였으나 척수, 심장의 경우 Half beam을 사용할 때 우수한 선량분포곡선을 나타낸 것으로 보아 정상조직 보호측면에서 다소 유리할 수 있을 것으로 생각된다. 이렇듯 Half beam을 이용하여 긴 조직의 방사선치료를 공간적으로 분할 조사할 때 다방면으로 유리할 수 있으나 이는 환자 위치잡이(set-up)시 기하학적으로 정확하게 환자가 위치해야 할 것으로 생각되며 이를 방지하기 위해서 일정 치료를 시행 후 조사면적의 이동(junction moving)을 해야 할 것으로 생각된다.

정확하고 정밀한 방사선치료가 시행되지 않는 식도암의 방사선치료의 경우 여러 부작용을 야기시키는 것으로 알려져 있다^[20]. 대표적으로 치료의 실패, 폐전이, 인접림프절의 전이, 골전이 등이 있을 수 있다는 보고가 있으며 식도의 과선량 부여로 식도협착 부정확한 방사선조사로 인해 방사성폐렴이 발생하여 식도내 삼관술 및 풍선확장술을 시술 받기도 하였다. 이러한 부작용을 조금이라도 감소시키려 두 가지의 치료계획을 수립하여 비교해본 결과 Half beam 법을 이용한 방사선 치료가 선량분포, 정상조직 흡수선량 감소 등 선량적으로 이점이 있었지만 큰 차이를 보이지 않았으며 Half beam 치료법으로 선량적인 이점이 회복하기 위해서는 선형가속기의 기하학적인 정확성이 확보되어야 할 것이며, 치료계획상의 선량이 실제 치료에 정확하게 전달되는 점을 면밀히 관찰해볼 필요가 있

을 것이다.

V. CONCLUSION

Normal beam과 Half beam을 사용하여 비교적 길이가 긴 장기인 식도에 발생한 암의 치료법을 관찰해 본 결과 종양조직의 흡수선량, 정상조직의 보호선량 및 HI, CI는 모두 양호하였으며 선량분포양상과 정상조직(척수, 폐, 심장) 흡수선량에서는 Half beam을 이용한 치료계획이 다소 양호하게 나타났으며 Normal beam을 이용한 치료법과 큰 차이가 없는 것으로 나타나 실제적인 치료효과를 보기위해선 기하학적 일치성의 확보, 선량전달의 실제적 확인 등의 연구가 진행되어야 할 것으로 생각되고, 이러한 확인과정을 거친다면 Half beam의 치료효과는 더욱 효과적일 것이라 사료된다.

Reference

- [1] Central Cancer Registry Center. "Annual Report of the Central Cancer in Korea (2002.01~2002.12)", Vol.11, 2003
- [2] Pera M, Pera M, "Recent changes in the epidemiology of esophageal cancer". *Surg Oncol*, Vol.10, pp.81-90, 2001
- [3] Sons HU, Borchard F. "Cancer of the distal esophagus and cardia. Incidence, tumorous infiltration, and metastatic spread." *Ann Surg*, Vol.203, No.2, 203, pp.188-195, 1986
- [4] Koshy M, Esiashvili N, Landry JC, et al. "Multiple management modalities in esophageal cancer: combined modality management approach". *Oncologist*, Vol.20, No.5, pp.147-159, 2004
- [5] Kok TC, Siersema PD. "Neoadjuvant chemotherapy in operable esophageal squamous cell cancer: final report of a phase III multicenter randomized trial". *Proc Am Clin Oncol*, Vol.16, pp.277a, 1997
- [6] Toita T, Ogawa K, Adachi G, et al. "Concurrent chemoradiotherapy for squamous cell carcinoma of thoracic esophagus: feasibility and outcome of large regional field and high-dose external beam boost irradiation." *Jpn J Clin Oncol* Vo.31, No.8, pp.375-381, 2001
- [7] Chidel MA, Rice TW, Adelstein DJ, et al. "Resectable esophageal carcinoma: local control with neoadjuvant chemotherapy and radiation therapy". *Radiology*, Vol.213, Issue.1, pp.67-72, 1999
- [8] Briboulet JF, Gignoux M, Triboulet JP, et al. "Chemoradiotherapy followed by surgery compared with surgery alone in squamous cell cancer of the esophagus." *N Engl J Med*, Vol.337, pp.161-167, 1997
- [9] Minsky BD. Cancer of the esophagus. In: Leibel SA, Phillips TL, eds. "Textbook of Radiation Oncology. 2nd ed." Philadelphia, PA: Saunders Co. pp.811-824, 2003
- [10] ICRU, "International Commission on Radiation Units and Measurements." Report 62: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Report 50), 1999
- [11] Denttis AS. Esophagus. In: Perez CA, Brady LW, eds. "Principles and Practice of Radiation oncology. 4th ed." Philadelphia, PA: Lippincott Co. pp.1282-1304, 2004
- [12] Tai P, Van Dyk J, Yu E, et al. "Variability of target volume delineation in cervical esophageal cancer". *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, Vol.42, Issue.2, pp.277-288, 1998
- [13] Raman NV, Small W Jr. "The role of radiation therapy in the management of esophageal cancer." *Cancer Control*. Vol.6, pp.53-62, 1999
- [14] Nedzi LA, Kooy HM, Alexander E 3rd, Svensson GK, Loeffler JS. "Dynamic field shaping for stereotactic radiosurgery: a modeling study". *Int J Radiat Oncol Biol Phys* Vol.25, pp.859-69, 1993
- [15] Anderson LL, Lad TE. "Autopsy findings in squamous cell carcinoma of the esophagus". *Cancer*, Vol.50, pp.1587-1590, 1982
- [16] Akiyama H, Tsurumaru M, Kawamura T, et al. "Principles of surgical treatment for carcinoma of the esophagus: analysis of lymph node involvement." *Ann Surg*, No.194, pp.438-446, 1981
- [17] Heeren PA, Jager PL, Bongaerts F, et al. "Detection of distant metastases in esophageal cancer with 18F-FDG PET." *J Nuc Med*, No.45, pp.980-987, 2004
- [18] Aisner J, Forastiere A, Aroney R. "Patterns of recurrence for cancer of the lung and esophagus. In: Wittes RE, ed. Cancer treatment symposia: proceedings of the workshop on patterns of failure after cancer treatment," vol 2. Washington DC, PA: Department of Health and Human Services, No.87, 1983
- [19] Stein HJ, Feith M, Bruecher BL, et al. "Early esophageal cancer: pattern of lymphatic spread and prognostic factors for long-term survival after surgical resection." *Ann Surg*, No.242, pp.566-575, 2005
- [20] Ji Young Jang, "The Outcome of Conventional External Beam Radiotherapy for Patients with Squamous Cell Carcinoma of the Esophagus", *Int J Radiat Oncol*, Vol.26, No.1, pp.17-23, 2008.