

## 코발트-60 감마선의 多門線束에 의한 食道癌治療의 線量 評價\*

啓明大學校 醫科大學 放射線科學教室

崔泰珍·金玉培·徐修之

=Abstract=

### Dose Evaluation of Esophageal Cancer Treatment by the Multiple Radiation Beams of Co-60 Gamma Rays

Tae Jin Choi, ME; Ok Bae Kim, MD; Su Ji Suh, MD

Department of Radiology, Keimyung University  
School of Medicine, Taegu, Korea

CT technique was used to provide tumor depth, lung thickness and tissue density for the calculation of delivered radiation dose to various points on the esophagus, spinal cord and interest points of lung tissue. In treatment planning, in order to avoid excess dose at the spinal cord, we usually set the prone position of patient. The angle of the incidence beams were used for three portals: LPO, RPO and AP. The percentage depth dose changes by the inhomogeneity of various tissue structures, such as lung, mediastinum and other thoracic contents. Therefore the correction factor of 4% increase should be applied as being with lcm of lung tissue in Co-60 gamma radiation therapy. With known accuracy of the CT representation of the RANDO section, the treatment planning was computed to predict the dose to a point in the same section which was selected as representative of normal esophagus location in the TLD measurements in the phantom studies.

### 서 론

고에너지의 방사선으로 악성종양을 치료할 때 시행하는 치료계획은 인체에 照射된 방사선이 가능한 한 종양부위에 충분한 치유선량이 도달하여 신생물을 사멸시키고, 주위 정상조직 또는 치명장기(예를 들면 뇌척수, 수정체 등)에는 그 장기가 갖는 耐容線量 이하가 되어 정상조직의 원활한 회복을 기대하는 작업이다. 정상조직에 내용선량이 하가 도달되도록 하는 방법에는 다문조사(mutiportal beam)를 시행하거나 또는 조사선량비중을 변화시키는 조사법이 많이 쓰이고 있다<sup>1,2)</sup>. 이 경우 종양중심에 도달하는 선량을 의해 치료조처를 결정하는 예가

많은데 종양중심에 비해 가장자리에는 종양의 크기와 입사 방향 및 선량비중에 따라 다소 차이는 있겠으나 대개 10~15% 정도의 선량이 적게 도달하게 되므로 채널의 원인이 되기도 한다<sup>3)</sup>. 따라서 치료계획의 성패는 예상되는 침윤부위를 포함한 종양부위내 선량균등도가 상당히 좌우하게 되므로 필자는 1987년 1월부터 1987년 8월까지 식도암으로 치료한 환자를 대상으로 하고, 본원에서 가동중인 코발트-60 감마선 치료기를 사용하여 선속방향과 선량비중을 정하고 조사시간에 따라 정확한 선량이 종양에 도달하는지 확인하고자 환부와 동일 위치인 인체화펜토의 절편에 선량계를 삽입하여 실측 평가하였다. 한편 이 방법은 선형가속기(Linear Accelerator)의 X선 또는 다른 부위의 종양치료계획에도 확대

\* 이 논문은 1987년도 제명대학교 윤종연구비 및 동산의료원 조사연구비로 이루어졌음.

적용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 실험대상 및 방법

**대상:** 코발트-60 감마선치료를 받은 식도암 환자 중 전산화단층촬영을 시행한 5례를 대상으로 하였다.

**장비 및 재료:** 인체화 팬텀(RANDO Humanoid Phantom)

열발광선량계(Thermoluminescent Dosimeter, Victoreen 2800)

전산화 단층촬영기(SOMATOM-DRH)

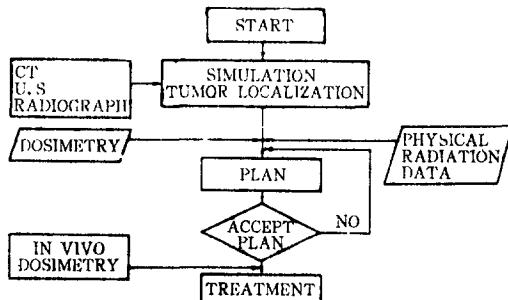


Fig. 1. Flow Chart for Radiation Therapy.

**방법:** 식도암 환자중 전산화 단층촬영을 시행한 5례에서 치료계획 프로그램(그림 1)에 따라 보의 치료 촬영을 시행하여 조사부위를 결정한다. 전산화 단층촬영상을 통해 종양의 크기와 척수간의 위치를 파악하고 선량분포가 종양내에서 균등해 지도록 선속방향을 AP, LPO, RPO,로 정하고 각 선속방향의 선량비중에 따라 종양과 주위 정상조직에 도달하는 선량을 계산하여 등선탐곡선을 취하고, 최적 이용곡선을 결정하여 1회 치료의 조사시간을 정한다. 이와 같이 계획된 선량이 정확히 종양에 도달하는지 확인하기 위하여 인체조직과 等價物質인 Phantom으로 실측한다. 이 팬텀은 열발광선량계(TLD)의 이용이 용이하도록 2.5cm 두께의 절편으

로 이루어져 있고 TLD(크기 1mm×1mm×3mm)의 삽입이 가능하다. TLD를 척수, 종양중심의 위치에 삽입하고 각 線東방향의 치료조건에 따라 실제 환자 치료를 시행하는 경우와 동일하게 조사한다. 조사방법은 TLD를 삽입한 종부위치의 팬텀절편을 코발트치료대에 복와위로 두고 선원-피부간 거리를 75cm 조사 각도는 AP(180°), LPO(47°), RPO(63°)로 하고 1회 종양선량(Tumor dose)인 200 rads 가 조사되도록 하였다.

## 실험 성적

식도암의 방사선치료계획은 해부학적으로 종양이 비교적 耐容線量이 낮은 척수와 방사선에 의해서 손상을 받기 쉬운 폐조직 등이 인접해 있으므로 이를 장기에 가능한 적은 선량이 탕도록 전산화단층촬영상을 이용한 세밀한 치료계획을 요한다. (그림 2)는 본원에서 식도암으로 코발트-60 감마선치료를 받은 환자의 선량계획을 나타낸다. 종양의 크기는 직경 약 3.5cm 이었으며  $T_5-T_9$ 에 분포한 10cm 길이의 편평상피암이다. 방사선 입사방향은 종격동을 향한 AP 방향과 척수를 피하기 위하여 복와위를 취하고 LPO 47°, RPO 63°로 3분조사 방법을 이용하였다. 또한 선량비중은 각각 80 : 100 : 100 이었다. 합성된 등선량분포 곡선 중에 종양내 최대선량을 기준하여 93%가 종양을 충분히 포함하므로 치료시간에 결정에 이용되었다. 이 경우 선량균등도는 약 7%로 나타났다. 이것은 종양내 일부는 가장자리보다 약 7% 정도 더 많은 선량이 도달됨을 의미한다. 치료계획 상 척수에는 종양에 비해 약 21% 정도, 폐조직 일부에는 약 50% 정도의 선량이 도달한다. 이 선량은 척수의 내용선량이 약 4000~4500 rad의 범위이므로 종양에 6000~7000 rad를 조사하는 경우 내용선량이 하가 된다. 그러나 이와 같은 치료선량계획이 조금이라도 빛나가게 되면 인접한 척수에는 치명적

Table 1. Outline of Tumor Localizations, Beam Incidence and Dose Uniformities in five different case of Esophageal Tumor.

Thickness of region (cm)	Tumor Volume $\text{cm}^3$	Region	Spinal Cord- Tumor center Distance(cm)	Beam incidence angle(°)			Uniformity		
				AP	LPO	RPO			
21.0	6.0	4.6	14	T5-T8	5.5	180	48	306	113.8%
21.5	5.5	5.5	12	T6-T11	5.0	180	41	297	110.7%
20.5	5.2	3.7	15	T5-T9	5.0	180	58	291	108.0%
21.0	3.5	3.5	10	T5-T9	5.5	180	47	297	107.1%
18.0	4.5	4.0	11	T3-T7	5.0	180	62	298	109.1%

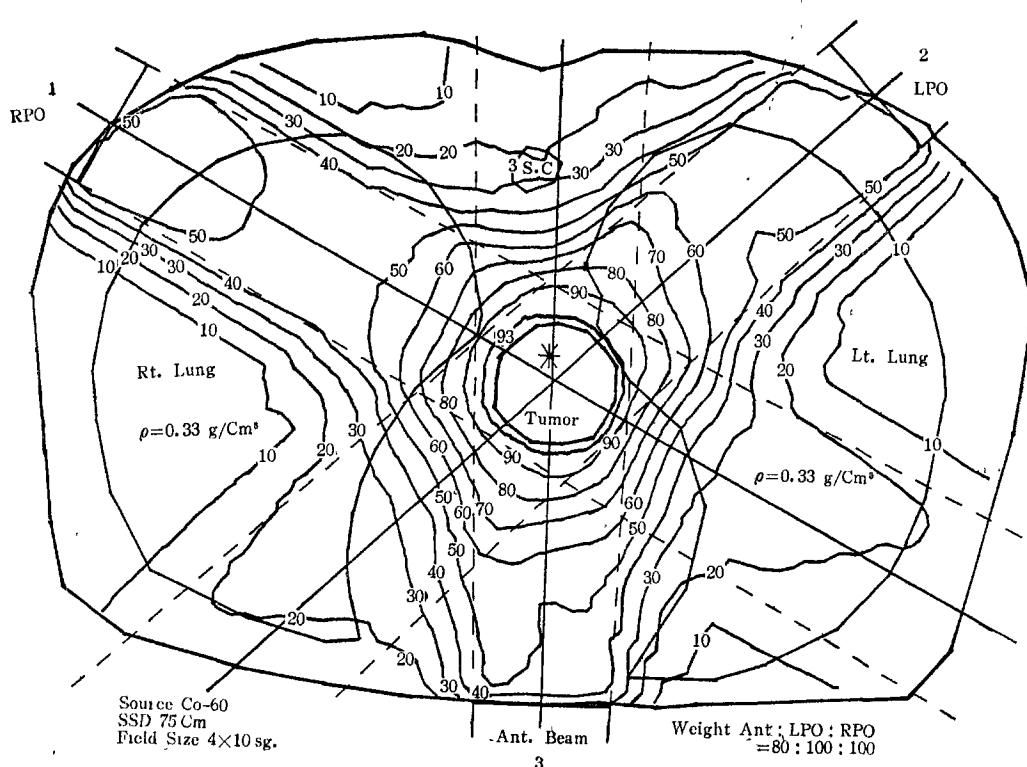


Fig. 2. Treatment plans using three open field combinations with Co-60 beams.

인 손상을 받게 되므로 동일한 조건으로 인체화 펜 톰의 전편(절편번호 17)번에 열 발광선량계를 삽입하여 계획된 선량을 측정하였다. 그 결과는 <표 2>와 같다. 계획된 선량에 대한 실측 결과는 종양중심에 217rad, 종양의 가장자리에 205rad, 척수에 43.2 rad, 폐조직에는 100rad로 각각 나타났으며 계획된 선량에 비해 약 3% 정도의 오차를 보였다.

Table 2. Comparision of planned dose and measured esophageal tumor dose in RANDO phantom.

Site	Planned dose(rads)	Measurement dose(rads)	Per Cent difference
Tumor	200	205.0	2.5
Tumor center	211	217.0	2.8
Spinal Cord	42.9	43.2	0.6
Lung	100	102.0	2.0

## 고 칠

조사부위의 오차는 환자의 원치율에 영향을 줄 수 있으므로 정확한 조사법이 시행되어야 한다. Bad-

cock<sup>5</sup>, Munzenrider<sup>6</sup>와 Goiten<sup>7</sup> 등은 전산화 단층촬영술을 이용했을 때에 전산화 단층촬영술 없이 치료한 경우와 비교하여 종양위치의 범위 결정이 35~47%에서 잘못 계획되었고, 35%에서 방사선선량의 계산에 오차가 있었다고 보고하여 치료계획용 전산화 단층촬영과 치료계획용 컴퓨터가 필수적임을 강조하였다.

조직내 선량(율)은 방사선의 에너지, 조사면의 크기, 깊이 및 조직의 구성 밀도에 따라 달라진다. 특히 식도암의 방사선치료는 1차선이 척수를 지나지 않게 하거나, 가급적 적은 선량이 가도록 하며, 주위 조직에 손상이 적은 치료기술이 시행되어야 한다. 또 주위에는 폐조직이 공기를 포함하는 장기이므로 선량의 균등분포를 얻기는 쉽지 않다. 따라서 균질 상태에서 구한 심부선량배분율을 치료계획에 적용하는 경우 계획된 선량보다 많은 선량이 도달되므로 정상조직에 필요 이상의 선량이 주어진다. 방사선은 조직의 밀도에 따라 투과력이 달라진다<sup>8,9</sup>. 그럼 3과 같이 밀도가  $1\text{g}/\text{cm}^3$ 인 조직과  $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ 인 폐조직 아래 임의의  $P$  지점에 도달하는 선량은 아래와 같이 보정하여 적용한다. 보정계수  $CF$ 는

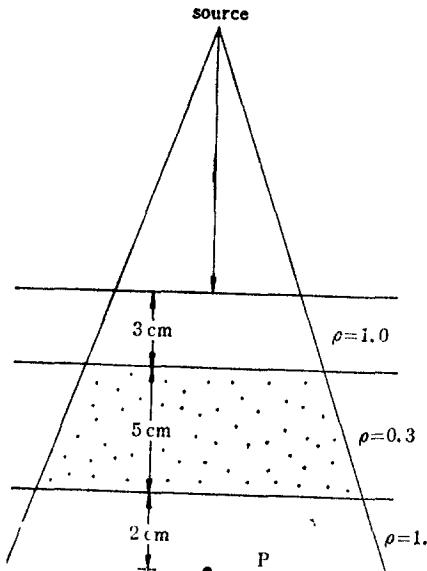


Fig. 3. Schematic diagram showing an inhomogeneity of relative density 0.3 in a water equivalent phantom. The alteration in dose, due to the inhomogeneity, is to be calculated at point P.

$$CF = \frac{T(d', W_d)}{T(d, W_d)}$$

와 같이 주어진다. 여기서

$d'$ =등가두께 또는 유효두께

$d$ =계산점과 피부간 실제 두께

$W_d$ =계산점의 조사면적

$T$ =조직-공중선량의 비

를 나타낸다. 그림 3의 P 지점에  $W_d$ 가  $100\text{cm}^2$  이면  $CF = T(6.5, 100)/T(10, 100) = 0.847/0.709 = 1.19$ 를 얻게 되고<sup>10)</sup>, 폐조직 두께 5cm에 대해 약 19% 증가를 보이게 된다. 치료계획 시 상기 방법에 의한 보정을 조사면의 각 점에 도달하는 선량을 적용하고 3문조사로 합성된 等線量分布를 구한 결과 종양중심의 합성선량의 93%가 종양을 충분히 포함되는 것을 확인했다. 한편 선량비중은 종양의 위치, 치명장기인 척수의 위치를 고려하여 AP: LPO: RPO는 80 : 100 : 100이 적절하다고 생각되었으며 이 때 선량균등도는 약 7%로써 이상적인 치료계획이라 볼 수 있다. 대개 균등도가 10% 이하 일 때 적합한 치료계획이 이루어지며 비교적 부작용이 적게된다<sup>11)</sup>. 각 입사방향의 최대선량( $D_{\max}$ )은 아래의 식으로 구한다.

$$D_{\max} = \text{Tumor dose(rad)} \cdot W_t / \% \text{UIC}$$

여기서 % UIC는 이 용동선량곡선(Useful Isodose Curve)이며,  $W_t$ 는 선량비중이다. 한편 조사시간

$T$ 는

$$T = \frac{D_{\max}}{\text{output} \cdot \text{BSF} \cdot \text{correction-factor}}$$

로 주어진다. 여기서 output는 출력선량율(rad/min), BSF는 후방산란계수, correction-factor는 차폐물을 사용시 차폐물지지대에 대한 보정형이다. 체내 종양선량을 평가하는데 열발광선량계(TLD)는 가장 적합한 것으로 알려져 있다<sup>12)</sup>. 특히 TLD는 소형이며 방사선의 감도가 높으며 선량비례성이 아주 우수하여 수 mrad에서 수만 rad까지 측정할 수 있고 재사용 및 반영구적이라는 등의 특징이 외에도 조직등가물질이라는 장점이 있다. <표 1>에서 볼 때 척수와 종양중심까지는 대개 5cm이나 종양의 크기와 코발트-60 선원의 반음영(penumbra)을 감안한다면 불과 1cm 내지 2cm 이내에 조사면이 위치하게 됨으로서 식도암의 방사선 치료계획에서 입사선속의 방향 결정은 상당히 중요시 되어야 함을 말해 주고 있다. 또한 종양 중심은 대개 척수에서 약 1cm 정도 좌우 벗겨 있으므로 우측 입사방향 즉 RPO는 좌측 입사방향에 비해 약간 큰 자도로 나타나는 경향이 있음을 알았다.

종양의 크기가 작을 수록 선량균등도가 좋아진다는 것도 확인되었다.

## 요약

방사선치료에서 환자 개개인에 대한 종양과 주위 치명장기 등의 위치를 정확히 결정하는 것은 치유율을 높이는데 결정적인 요소가 되며 이를 위해서 전산화 단층촬영은 필수적이라고 생각된다. 식도암은 척수와 상당히 근접한 위치에 있으므로 치료계획 시 척수가 일차선속에 들어가지 않도록 LPO(40° 내지 50°), RPO(50° 내지 70°)로 경사지게 조사하는 것이 바람직하다. 특히 선량비중에 따라 종양에 도달하는 선량과 손상반기쉬운 주위 정상조직에 도달되는 선량을 적절히 배분할 수 있을 것으로 본다.

식도암 치료계획에서는 폐조직이 일차선속에 들어가므로 코발트-60 감마선의 심부에 도달하는 선량율이 폐조직 1cm 당 약 4% 씩 증가시키는 보정이 실질적으로 적용되어져야 한다. 한편 폐장기의 일부에 방사선손상이 일어나지 않을 범위의 치료계획이 요구된다.

식도암의 방사선치료에 3문조사를 이용하고 합성 선량분포로 치료시간을 정한 다음 계획된 선량이 정확히 종양에 도달하는지 확인하는 방법으로 이용될

펜텀내 실측량은 계획된 선량의 3%이내의 오차를 보였으나 이것은 실험오차로 생각된다.

### 参考文献

1. Faiz M Khan: *The Physics of Radiation Therapy*, Baltimore, London, Williams & Wilkins, 1984, p 223.
2. Gary D Fullerton, Wilfred Sewchand, Sc D, J Thomas Payne, Seymour H Levitt: CT determination of parameters for inhomogeneity Corrections in Radiation therapy of the esophagus. *Radiology* 1978; 126: 127.
3. Herring DF, Compton DMJ: The degree of precision required in the radiation dose delivered in cancer radiotherapy in computers in radiotherapy; Br J Radiol Spec Rep: 5: British Institute of Radiology 1971 : 51~55.
4. AR Jones: Measurement of the dose absorbed in Various organs as a function of the external gamma ray exposure AECL, 1964, p 5.
5. Badcock P: The role of computed tomography in the planning of radiotherapy fields. *Radiology* 1983; 147: 241.
6. Munzenrider JE, Pilepich M, Rene-Ferrero JB, et al: Use of body scanner in radiotherapy treatment planning. *Cancer* 1977; 40 : 170.
7. Goitein M, Wittenberg J, Mendiondo M, et al: The Value of CT scanning in radiation therapy treatment planning: A prospective study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1979; 5: 1987.
8. E El-Khatib, JJ Battista: Accuracy of lung dose calculation for large-field irradiation with 6-MV X rays. *Med Phys* 1986; 13(1) : 111.
9. RP Parker, Pauline A Hobday, KI Cassel: The direct use of CT numbers in radiotherapy dosage calculations for inhomogeneous Media. *Phys Med Biol* 1979; 24: 802.
10. ICRU Report 24: Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or gamma rays in radiotherapy procedures 1976, p 21.
11. 이명자, 최태진: 6MV X-선과 전산화 단층 활영상을 이용한 뇌하수체 종양 치료계획. 대한치료방사선과학회지 1985; 3: 59.
12. JR Cameran, N Suntharalingam, GN Kenney: Thermoluminescent Dosimetry; Madison, Milwaukee and Londor, The University of Wisconsin Press, 1968, p 30.