
X선치료 조사야 내 공동의 존재에 따른 선량분포의 측정

고려대학교 안암병원 치료방사선과 · 고려대학교 보건대학 방사선과*

정세영 · 김영범 · 권영호* · 김유현*

The Influence of Air Cavity on Interface Doses for Photon Beams

Se Young Chung · Young Bum Kim · Young Ho Kwon* · You Hyun Kim*

Dept. of Radiation Oncology, Korea University Hospital

*Dept. of Radiologic Technology, Junior college of Allied Health Sciences, Korea University**

When a high energy photon beam is used to treat lesions located in the upper respiratory air passages or in maxillary sinus, the beams often must traverse an air cavity before it reaches the lesion. Because of this traversal of air, it is not clear that the surface layers of the lesion forming the air-tumor tissue interface will be in a state of near electronic equilibrium; if they are not, underdosing of these layers could result. Although dose corrections at large distances beyond an air cavity are accountable by attenuation differences, perturbations at air-tissue interfaces are complex to measure or calculate. This problem has been investigated for 4MV and 10MV X-ray beams which are becoming widely available for radiotherapy with linear accelerator. Markus chamber was used for measurement with various air cavity geometries in X-ray beams. Underdosing effects occur at both the distal and proximal air cavity interface. The magnitude depended on geometry, energy, field sizes and distance from the air-tissue interfaces. As the cavity thickness increased, the central axis dose at the distal interface decreased. Increasing field size remedied the underdosing, as did the introduction of lateral walls. Following a $20 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ air cavity, $4 \times 4 \text{ cm}$ field there was an 11.5% and 13% underdose at the distal interface, while a $20 \times 20 \times 2 \text{ cm}^3$ air cavity yielded a 24% and 29% loss for the 4MV and 10MV beams, respectively. The losses were slightly larger for the 10MV beams. The measurements reported here can be used to guide the development of new calculation models under non-equilibrium conditions. This situation is of clinical concern when lesions such as larynx and maxillary carcinoma beyond air cavities are irradiated.

Key words : air-tissue interface, electronic equilibrium, air cavity, underdosing

I. 서 론

방사선치료에 있어서 흡수선량을 정확히 결정하는 것은 치료의 성패를 좌우하는 중요한 과제이다. Withers¹⁾는 종양선량을 약간만 증가시킬지라도 국소억제 확률이 현저하게 증가될 수 있다고 보고 하였고, Shukovsky²⁾는 방사선치료시 종양선량을 10% 정도 증가시키면 종양억제 확률은 15%에서 75%로 증가된다고 보고 하였다. 이와같이 방사선에 피폭된 세포는 방사선의 흡수선량에 매우 민감하게 좌우 된다.

그러나 대부분 임상에서 선량계산시 사용하고 있는 심부선량백분율, 조직-공기선량비, 조직-최대선량비 등은 균질인 물에 광자방사선이 직각으로 입사되는 조건에서 구해진 측정치에 근거하고 있다^{3,4,5,6)}. 그런데 환자에게 방사선치료를 할 때에는 지방, 뼈, 근육, 공기 등의 불균질 물질을 통과하게 되므로 이를 보정하지 않으면 종양선량에 커다란 오차를 일으킬 수 있다. 특히 고 에너지 방사선 치료시 공기와 조직의 접촉면에서는 전자 평형의 결핍으로 인해 선량이 변화 되므로 피부에 인접한 병소의 방사선 치료를 위해서는 전자평형의 감소 현상을 고려하여 선량계산을 하여야한다. 즉, 병소가 상기도부위나 상악동부위에 있을 때 공동의 존재로인하여 병소부위의 선량이 현저히 감소하게되는데 이것은 방사선이 병소표면에 도달하기 전에 공동을 통과하게 됨으로 병소표면에서의 전자평형 결핍 현상이 일어나기 때문이다^{7,8)}.

EPP⁹⁾ 등은 ⁶⁰Co 감마선을 이용하여 상기도 치료시 병소표면에서 10% 이상의 선량감소 현상을 보고하였고 Klein¹⁰⁾ 등은 선형가속기의 4MV를 이용한 대항 2분 조사시 공기-조직접촉면에서의 선량감소율이 10% 정도인 것으로 보고하고 있다. 또 Beach¹¹⁾ 등은 ⁶⁰Co에서 10MV의 에너지 범위에서 측정을 하였으나 측정깊이가 7 mg/cm²으로 너무 깊어서 공기-조직접촉면에서의 선량을 평가할 수 없으며, 이들 모든 연구에서는 공동을 지난 공기-조직접촉면에서의 측정이고 공동 앞면의

선량평가는 하지 않았다. Koskinen과 Spring¹²⁾, Nilsson과 Schnell¹³⁾은 열형광선량계(TLD)를 이용하여 공동의 전후에서 선량을 측정하였으나 전리조를 이용한 측정값과 크게 달랐으며 공동 측면에서의 선량평가는 하지않았다.

따라서 본 연구에서는 방사선 에너지, 공동의 크기, 조사면적, 공기-조직접촉면에서의 거리에 따라 공동의 전후, 측면에서의 선량변화를 측정하여 정량적으로 분석하므로써 고 에너지 방사선치료시 공동 존재에 따른 선량분포에 관한 지식을 제공하여 양질의 방사선 치료를 가능하게 하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

공동의 전후에서의 선량측정을 위하여 Fig 1. 과 같이 아크릴 팬텀을 이용하여 기하학적 위치를 설정하고 미국 Varian사의 선형가속장치인 Clinac 600C의 4MV와 Clinac 1800의 10MV의 광자선을 0.055cm³ active volume과 창 두께 2.3mg/cm³인 Markus chamber에 100MU를 조사하여 미소전류계(PW IQ4)에 연결하여 측정값을 읽었다. 이때 공동 앞부분의 두께는 환자의 상기도 부위의 공동전면에서 환자 피부면까지의 평균거리와 비슷한 4cm 으로 설정하였다. 또한 선원-전리조건 거리(SCD)를 100 cm으로 조사야를 4 × 4 cm²으로 고정하고 공동의 크기(길이 × 폭 × 깊이)를 20 × 20 × 1 cm³에서 20 × 20 × 4 cm³까지 변화시켰을 때 공동의 전면과 후면에서의 선량을 공기-조직접촉면으로부터 거리가 증가함에 따른 선량변화를 측정하였다(Fig. 1).

공동의 측면에서의 선량측정을 위하여 다른 모든 조건은 공동의 전후에서의 측정과 같게 하고 Fig 2와 같은 기하학적 위치를 설정하여 air gap의 크기를 0, 1, 2 cm로 변화시켰을 때와 조사야의 크기를 4 × 4~20 cm²로 변화시켰을 때 선량의 변화를 측정하였다(Fig. 2).

본 연구에서의 모든 측정값은 균질인 아크릴 팬텀내에서(공동이 존재하지 않을 때) 조사야

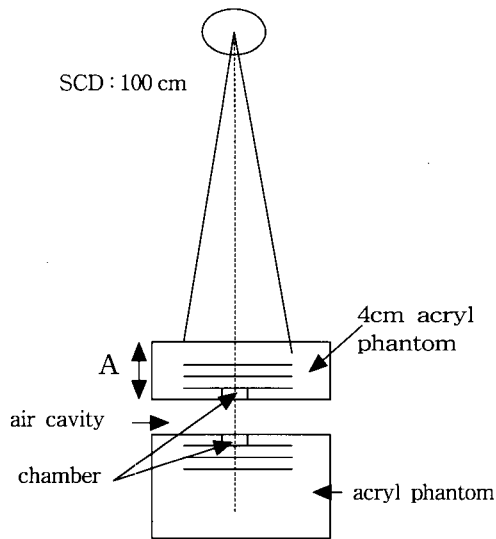


Fig. 1. Irradiation geometry for measurements

10 × 10 cm²일 때 최대선량점에서의 측정값에 표준화시켜 표준화 조직-최대선량비(NTMR)로 표시하였고 각각의 측정은 3번씩 측정하여 평균하였으며 극성효과는 무시하였다.

III. 결 과

Fig. 3과 Fig. 4는 4MV, 10MV 에너지일 때 조사야 4 × 4 cm², 공동 전면에 4 cm의 조직이 있을 때 아크릴 팬텀내에서의 측정값이다. 공동

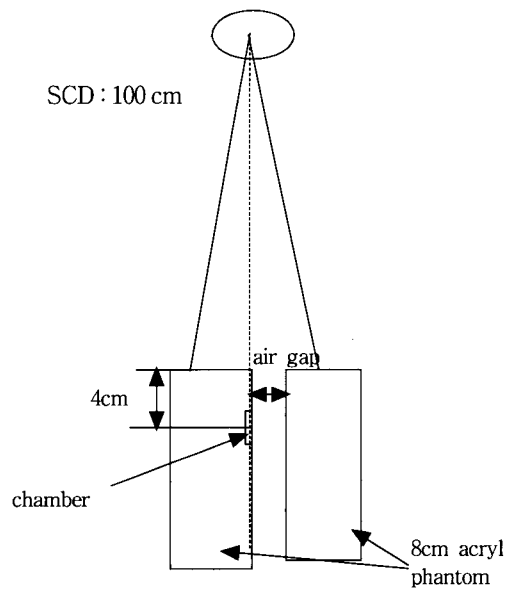


Fig. 2. Irradiation geometry for tangentially incident photon beams

후면의 공기-조직접촉면에서 깊이에 따른 측정값은 공동이 없을 때는 거리 증가와 함께 지수 함수적인 선량감소를 보이나 공동이 커짐에 따라 공기-조직접촉면에서는 급격한 선량감소를 보인다. 깊이에 따라 재 build-up현상이 나타나 재 build-up깊이가 4MV에서 4mm, 10MV에서는 10mm로 측정 되었다. 공기-조직접촉면에서의 측정값은 공동의 크기가 증가할수록 급격히 감소하여 공동이 20×20×4cm³에서는 거의 2배

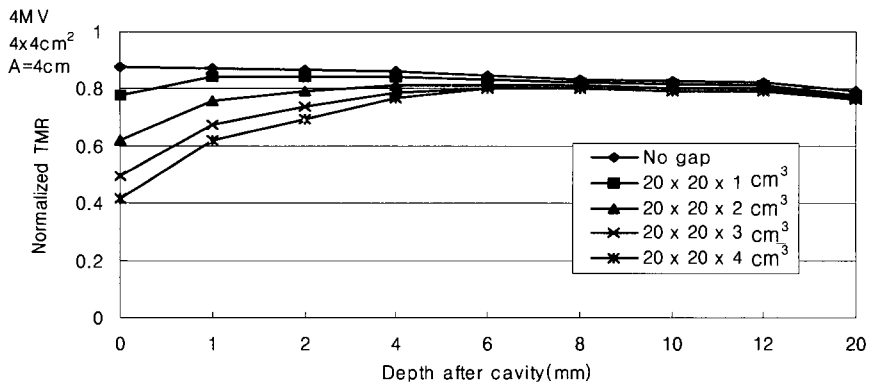


Fig. 3. Results of varying air gap thicknesses on distributions after air for 4MV

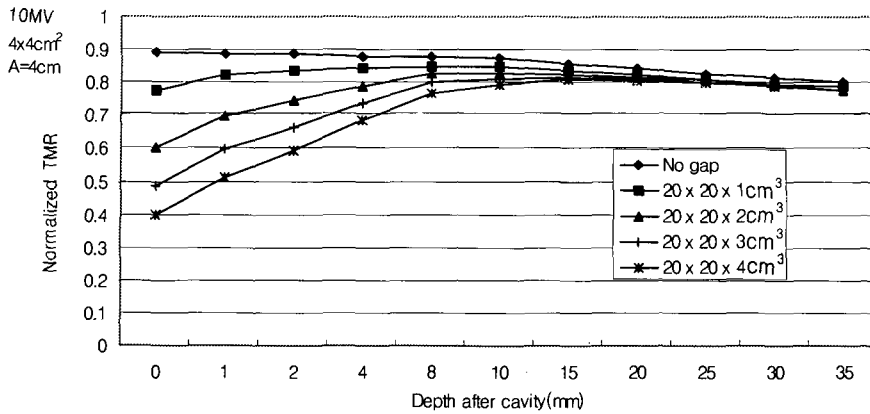


Fig. 4. Results of varying air gap thicknesses on distributions after air for 10MV

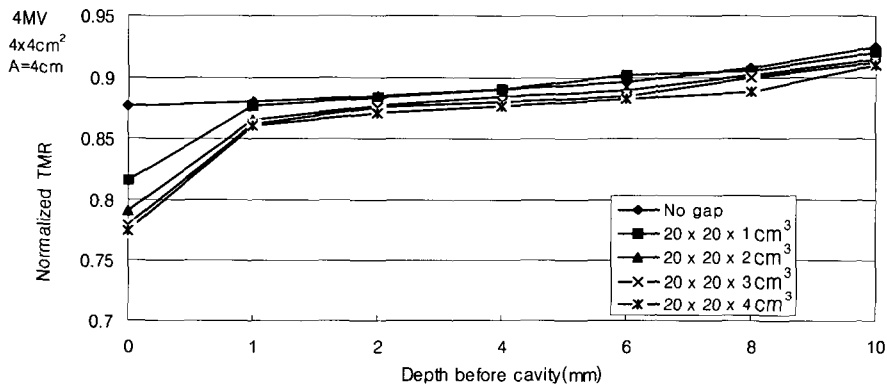


Fig. 5. Results of varying air gap thicknesses on distributions before air for 4 MV

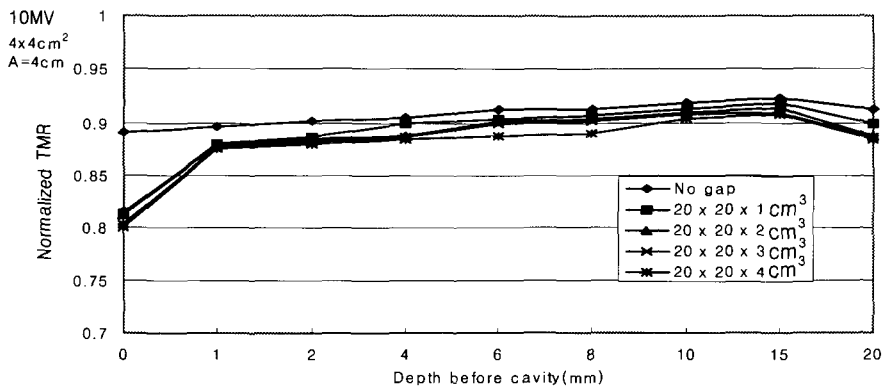


Fig. 6. Results of varying air gap thicknesses on distributions before air for 10MV

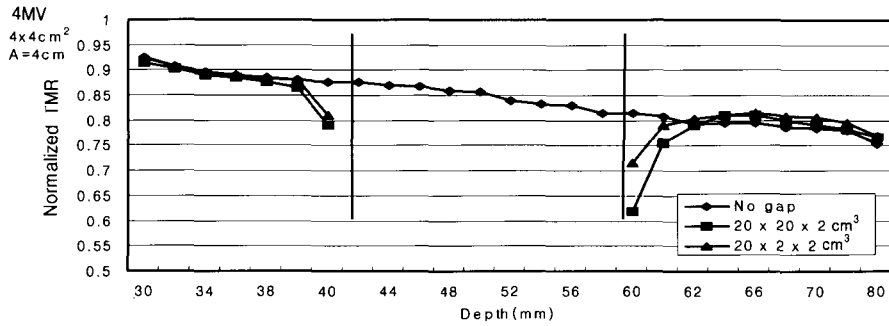


Fig. 7. Effects of varying cavity dimensions on distribution distal and proximal to cavity for 4MV

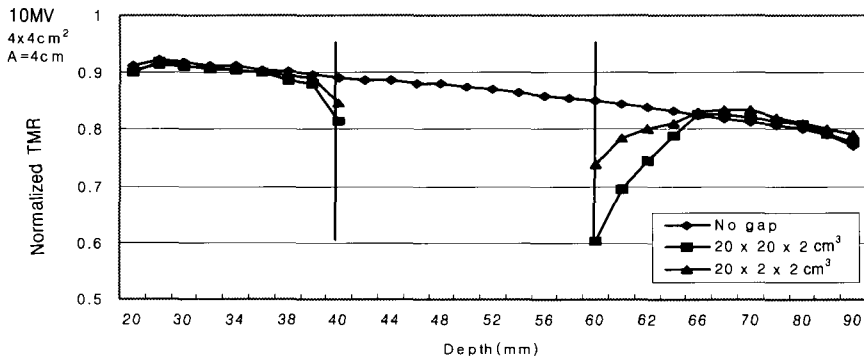


Fig. 8. Effects of varying cavity dimensions on distribution distal and proximal to cavity for 10MV

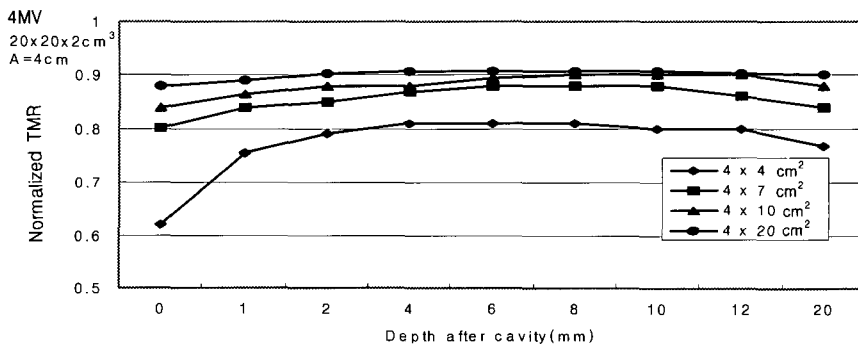


Fig. 9. Effects of varying field sizes on distributions following an air cavity for 4MV

의 선량감소를 보였으나 재build-up점 이하에서는 공동의 크기에 따른 측정값의 차이는 3%이하로 나타나 재build-up점 이하에서는 공동의 크기가 선량에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다(Fig. 3, 4).

Fig. 5와 Fig. 6은 4MV, 10MV 에너지일 때 조사야 $4 \times 4 \text{ cm}^2$, 공동전면에 4cm의 조직이 있을 때 아크릴 팬텀내에서, 공동전면의 조직-공기 접촉면에서 거리에 따른 측정값이다. 이때 전리조(Markus chamber)를 뒤집어 뒷면이 입사방

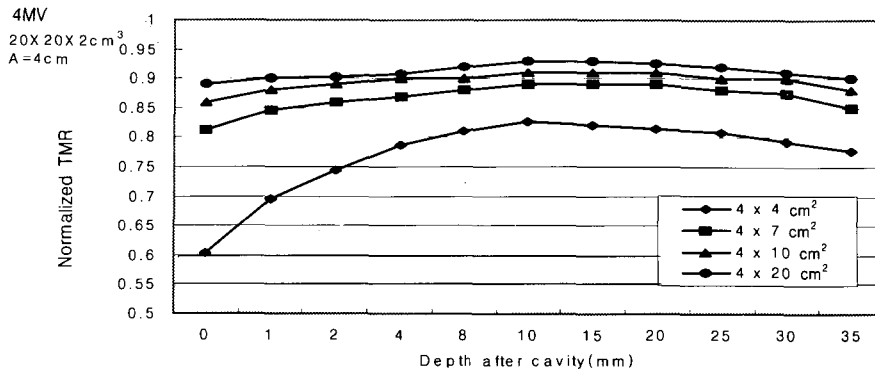


Fig. 10 Effects of varying field sizes on distributions following an air cavity for 10 MV

향으로 향하게 장치하여 전리조 표면이 공동의 전면과 접촉되도록 한다. (이와같은 전리조의 장착은 뒤집지 않은 장착과 비교해서 TMR값 측정에서 2%이내의 오차를 나타냄) 공동의 크기가 $20 \times 20 \times 2 \text{ cm}^3$ 인 경우 접촉면에서의 선량감소율이 4MV에서 9.8%, 10MV에서 8.8%로 나타났고 수밀리미터 이후 부터는 2%이내의 선량감소로 유의한 차이를 인정할 수 없었다 (Fig. 5, 6).

Fig. 7과 Fig. 8은 4MV, 10MV 에너지일 때 조사야 $4 \times 4 \text{ cm}^2$, 아크릴 팬텀내에서 2cm두께 공동이 있고 공동전면에 4cm의 조직이 있을 때 공동의 전면과 후면 접촉부위에서 거리에 따른 측정값이다. 공동의 크기가 $20 \times 20 \times 2 \text{ cm}^3$ 일 때 4MV의 공동전면에서 선량감소는 9.8%공동 후면에서는 24%이고, 10MV의 공동전면에서 선량감소는 8.5%, 후면에서 29%로 나타났다. 또 공동의 크기가 $20 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ 일 때 4MV, 10MV의 공동전면에서의 감소는 7.5%, 5%이고 후면에서는 11.5%, 13%의 선량감소를 보였다.

그리고 공동후면의 공기-조직 접촉면을 지난 후의 선량은 재 build-up현상이 나타나 공동이 없을 때의 선량분포보다 오히려 증가하는 것으로 측정되었다(Fig. 7, 8).

Fig. 9와 Fig. 10은 4MV, 10MV에대한 공동 앞쪽에 4cm의 조직이 있는 아크릴 팬텀내에 $20 \times 20 \times 2 \text{ cm}^3$ 의 공동 후면에서 조사야에 따른 측정값으로 조사야가 작을수록 선량감소가 크게

나타났다(Fig. 9, 10).

Fig. 11과 Fig. 12는 Fig. 2와 같은 기하학적 인 위치에서 air gap이 변할 때 조사야에 따른 입사방향과 평행인 공기-조직접촉면에서의 측정값이다. Air gap이 1cm이고 조사야 $4 \times 10 \text{ cm}^2$ 일 때 선량감소는 4MV에서 6.7%, 10MV에서 10.6%로 에너지가 큰쪽에서 감소가 크게 나타났다. 또한 조사야가 작을수록 감소가 심하고 air gap이 조사야의 1/2일 때 특히 심한 선량감소를 보였다(Fig. 11, 12).

IV. 고 찰

Withers¹⁾는 종양선량을 약간만 증가시킬지라도 국소억제 확률이 현저하게 증가될 수 있다고 보고 하였고, Shukovsky²⁾는 방사선치료시 종양선량을 10% 정도 증가시키면 종양억제 확률은 15%에서 75%로 증가된다고 보고 하였다. 또한 방사선치료에서 종양세포에 인접해 있는 정상세포가 방사선에 의해 손상을 당하는 것을 피할수 없고 그로 인하여 여러 가지 합병증을 유발할 수 있다. Van Dyk¹⁴⁾ 등은 전신에 방사선을 일회 조사할 때 선량을 5% 정도 증가시키면 방사선폐렴이 22% 정도나 증가하였다고 보고하고 있다. 역으로 종양선량의 감소는 종양의 치유율을 떨어트릴 수 있다. 이와 같이 방사선에 피폭된 세포는 방사선의 흡수선량에 매우 민감하게

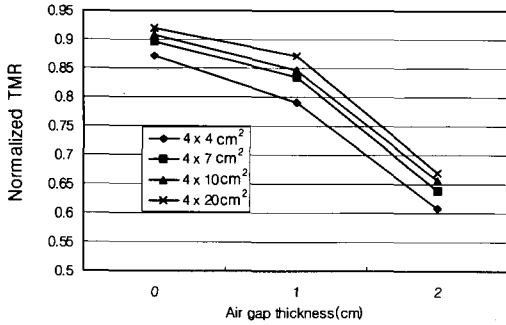


Fig. 11 Results of varying field sized on distributions with air gap thickness for 4MV

좌우되므로 정확한 중앙선량의 계산은 치료 성패에 매우 중요하다. 임상에서 두경부암환자 치료시 인체의 공동에 의한 선량의 과부족현상이 일어날 수 있으며 bolus사용시 환자 피부에 제대로 밀착시키지 못함으로써 공동이 생겨 선량의 불확실성을 초래하게 된다.^{9,10,13,15)}

X선 치료조사야 내에 공동의 존재는 광자에너지, 공동의 크기, 공기-조직접촉면에서의 거리에 따라 선량의 감소 또는 증가를 일으킬 수 있다. 공기-조직접촉면에서의 선량감소는 전자 평형의 결핍으로 인해 야기 된다. 본 연구에서는 여러 가지 인자, 즉 광자에너지, 공동의 크기, 조사야의 크기, 접촉면에서의 거리 등에 따른 공동 주변에서의 선량의 변화에 대해 연구하였다.

전체적인 측정값의 추세는 Beach 등¹¹⁾의 실험치와 일치하나 광자에너지나 측정의 기하학적 배치가 다르기 때문에 정확한 비교는 할 수가 없다.

공동의 크기가 $20 \times 20 \times 2 \text{ cm}^3$ 일 때 4MV의 공동전면에서 선량감소는 9.8% 공동후면에서는 24%이고 10MV의 공동전면에서 선량감소는 8.5%, 후면에서 29%로 나타난 것은 Eric 등¹⁰⁾의 4MV의 공동전면에서 13%와 후면에서 35%, 15 MV의 후면에서의 38%선량감소와 비슷한 경향이고 또 공동의 크기가 $20 \times 20 \times 2 \text{ cm}^3$ 일 때 4MV, 10 MV의 공동전면에서의 감소는 7.5%, 5%이고 후면에서는 11.5%, 13%의 선량감소를 보인 것 역시 Eric 등¹⁰⁾의 4MV, 15MV에서 공동후면의 선량감소가 11%, 18%인 것과 맥을 같이한다.

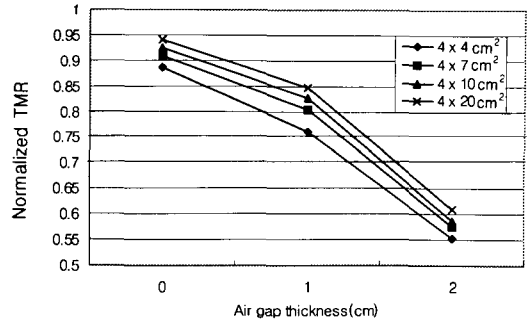


Fig. 12 Results of varying field sizes on distributions with air gap thickness for 10MV

그리고 공동전면에서의 선량감소가 4MV가 10MV보다 큰 것은 4MV에서의 후방산란선의 기여가 10MV보다 크기 때문에 조직-공기 접촉면 뒤에 공동크기가 증가함에 따라 후방산란선의 기여가 상대적으로 많이 감소한 것과 공동후면에서의 2차 전자가 전면에도달하는 양이 감소한 것 때문으로 사료되며 이와 같은 현상은 조직-공기 접촉면에서 불과 몇mm 후에는 무시할 수 있다.

또한 공동의 크기가 $20 \times 20 \times 2 \text{ cm}^3$ 일 때보다 $20 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ 일 때 공동 전후접촉면에서의 선량감소가 적은 것은 측방산란선의 기여 때문으로 Fig. 7과 8에서 보듯이 4MV는 공동 후 약 4mm 이상, 10MV에서는 약 10mm 이상에서는 공동의 크기에 의한 차이는 무시할 수 있었다. 그러나 공동전면 접촉면에서의 선량감소는 공동의 크기가 $20 \times 20 \times 2 \text{ cm}^3$ 일 때보다 $20 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ 일 때가 줄어 그 차이는 약 4% 이하로 작은 양이지만 임상에서 후두암환자의 방사선치료나 상악동암환자의 수술후 방사선치료에는 중요하리라 사료된다.

Fig. 11과 Fig. 12에서와 같이 에너지가 클수록, air gap이 증가할수록 그리고 조사야가 작아질수록 선량감소가 증가한 것으로 나타나다. 예를 들면 air gap 1cm, 조사야 $4 \times 10 \text{ cm}^2$ 일 때 4MV에서 6.7%, 10MV에서 10.6%의 감소를 보여 Prasad 등¹⁵⁾의 air gap 2cm, 조사야 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 일 때 4MV에서 9%, 6MV에서 11%의 감소

를 보인 것과 맥락을 같이한다. 또한 조사야가 작을수록 감소가 심하고 air gap이 조사야의 1/2일 때 특히 심한 선량감소를 보여 조사야가 작고 air gap이 조사야의 1/2보다 클 때에는 선량계산시 상당한 주의를 요한다.

대부분 임상에서 사용되고 있는 선량계산 방법인 RTAR(ratio of tissue-air ratios)법과 Batho법³⁾에 의해 공동후 어떤 깊이에서의 선량의 증가를 예측할 수 있으나 이 RTAR법과 Batho법은 D_{max} 깊이가 보다 얇은 깊이에서의 값은 측정하지 않은 TAR값에 근거하였기 때문에 공동접촉면에서의 선량은 예측할 수 없다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 Petti 등¹⁶⁾은 보정계수를 측정하여 공동접촉면에서의 선량계산을 시도하였다. 그러나 이들도 폐부근의 밀도보상을 위해서는 유용하지만 공기-조직 접촉면에서의 정확한 선량계산은 할 수 없다. 이와같은 공기-조직접촉면 부근에서의 선량보상을 위해 Jiang 등¹⁷⁾은 상악동암환자의 수술 후 방사선치료시 공동을 보상하기 위하여 물을 채운 풍선을 상악동에 삽입하고 치료한 결과를 보고하고 있다. 이는 본 연구에서도 나타났듯이 고에너지 방사선치료시 공동의 크기가 클수록 비례적으로 공동후면에서의 선량감소가 큰 것을 보상하기 위함이다.

이상과 같이 방사선 조사야 내에 공동의 존재시 광자에너지, 공동의 크기, 조사야의 크기, 접촉면에서의 거리 등에 의한 선량의 불확실성을 보상하기 위한 여러 가지의 방법 임상적으로 시도되고 있다. 즉, 후두암치료시는 고에너지 광자선보다 저에너지 광자선이 더 유효하다는 보고 등이 있으나, 아직도 공동접촉면에서의 정확한 선량계산법에 대한 문제는 여전히 남아있다. 따라서 본 연구의 자료들이 더 정확한 선량계산법의 발전에 유용한 기초자료로서 사용되기를 희망한다.

V. 결 론

공동 밀의 선속중심축상에서의 선량분포는

간단한 계산법에 의해 평가할 수 있으나 공동접촉면 부위의 선량평가는 대단히 복잡하다.

공동접촉면에서의 선량감소는 공동의 크기가 클수록 증가하고, 조사야가 작을수록 증가하며 광자에너지가 4MV에서 공동전면의 선량감소는 10MV보다 크지만 공동후면에서의 감소는 10MV에서 더 크게 나타났다. 따라서 공동을 포함하고 있는 종양을 치료할 때 고에너지 광자선의 이용에 세심한 주의가 필요하다.

본 연구에서 제시된 측정값은 방사선치료시 조사야내에 공동존재나 전자불평형상황에서의 새로운 선량계산방법의 개발을 위해 사용될 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. Withers HR : Radiology 1973 ; 108, 131-137
2. Shukovsky LJ : Am J Roent, 1970 ; 108, 27-29
3. Johns HE, Cuningham JR : The Physics of Radiology, 4th ed., 1983 ; 336-381
4. Khan FM : The Physics of Radiation Therapy, 1984 ; 157-204
5. Hendee WR : Radiation Therapy Physics, 1981 ; 56-82
6. ICRU Report 24 : Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures, 1976 ; 1-50
7. Beach J.L. et al : A Protocol for the Determination of Absorbed Dose from High Energy Photon and Electron Beams, Med. Phys. 1983 ; 10, 741-771
8. Massey JB : Dose Distribution Problems in Megavoltage Therapy, Brit. J. Radiol., 1962 ; 35, 735-738
9. EPP E. R. et al : Underdosing of Lesions Resulting from Lack of Electronic Equilibrium in Upper Respiratory Air Cavities Irradiated by 10MV X-ray Beams, Int. J.

- Rad. Oncol. Biol. Phys., 1977 : 2, 613-619
10. Eric E.Klein et al : The Influence of Air Cavities on Interface Doses for Photon Beams, Int. J. Rad. Oncol. Biol. Phys, 1993 : 27, 419-427
 11. Beach J.L. et al : A Comparison of Air Cavity in Homogeneity Effects for Cobalt -60, 6 & 10MV X-rays Beams, Med. Phys. 1987 : 124, 140-144
 12. Koskinen M. O. et al : Build-up and Build-down Measurements with Thin LiF-Teflon Dosimeters with Special Reference to Radiotherapy of Carcinoma of the Larynx, Strahlentherapie 1973 : 145, 565-570
 13. Nilsson B. : Build-up Effects at Air Cavity measured with Thin Thermoluminescent Dosimeters, Acta Radiol. Ther. Phys. Biol. 1976 : 15, 427-432
 14. Van Dyk J et al : Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1981 : 7, 461-467
 15. S. C. Parasad et al : Surface Dose for Tangentially Incident Photon Beams in the Presence of Air Gap and Air Cavity, Med. Dosimetry 1995 : 20, 15-19
 16. Petti P. L. et al : A Multiplicative Correction Factor for Tissue Heterogeneities, Phys. Med. Biol. 1986 : 31(10), 1119-1128
 17. Jiang G. L. et al : Maxillary Sinus Carcinomas: Natural History and Results of Postoperative Radiotherapy, Radiother. Oncol. 1991 : 21, 193-200