

공동에 의한 6MV X 선의 재선량증가 현상에 관한 연구

서울대학교 의과대학 치료방사선과학교실

조문준 · 최은경 · 정웅기 · 강위생 · 박찬일

A Study on Rebuildup of 6MV X-ray by the Cavity

Moon June Cho, M.D., Eun Kyung Choi, M.D., Woong Ki Chung, M.D.

Wee Saing Kang, Ph.D. and Charn Il Park, M.D.

Department of Therapeutic Radiology, College of Medicine, Seoul National University, Seoul, Korea

The inclusion of air filled cavities in treatment fields creates a potential dosimetric problem due to the rebuildup phenomenon near the air-tissue interface using a simulated phantom, such as air gap, air cylinder, and air cavity, the amount of rebuildup along the various field sizes and air cavity dimensions was measured.

The results are as follows.

1. As the field size becomes larger in comparison with the cavity size, or as the cavity size gets bigger when the field size is equal to the cavity size, rebuildup decreases.
2. When the distance between the phantom surface and the air cavity is less than 1.5 cm, there is prominent rebuildup. And when the distance is more than 1.5 cm, rebuildup is relatively constant.
3. The change according to the depth of the cavity is affected by the field size and the cavity size, rebuildup usually increases when the depth of the cavity increases.
4. It is suggested that tissue equivalent material should be applied on the skin to make tissue thickness over the air cavity more than 1.5 cm and that the field size should include the air cavity with at least 1 cm margin.

Key Words: Rebuildup, Air cavity, 6 MV X-ray

서 론

0.1~20 MeV의 전리방사선이 인체를 투과시 조직내 방사선의 흡수기전은 주로 Compton 산란에 의하므로 인체조직 gram 당 함유된 전자수에 비례한다¹⁾. 인체의 구성물질은 연조직, 골조직 및 공기로 구분되며 전리방사선의 조직내 흡수기전은 각종 구성조직의 구성량과 밀도에 따라 일차방사선의 플루언스(fluence)와 산란선 및 이차전자의 공간적 분포가 상이하므로 전리방사선이 통과하는 조직의 구성 및 밀도에 따라 흡수선량에 상당한 차이가 있다. 그러나 최근까지는 전리방사선이 통과하는 각종 조직의 정확한 용적 및 밀도등의 계산이 부정확하여 현재 일반적으로 사용되는 조직내 흡수선량 계산방법인 심부선량율(percent depth dose), 공

기대 조직선량비(tissue air ratio)는 조직간의 차이를 고려하지 않고 계산되므로 계산상의 흡수선량과 실제 흡수선량과는 큰 차이를 나타낼 수 있다^{2,3)}.

최근 전산화 단층촬영, 자기공명영상등의 임상응용으로 인체내 각종 구성조직의 형태, 크기, 위치 및 밀도등 환자 내부구조의 정확한 해부학적 파악이 용이하여짐으로써 이를 토대로 한 보다 정확한 흡수선량 계산방법이 많은 사람들에 의하여 연구되고 있다⁴⁻⁶⁾.

특히 두경부는 타부위에 비하여 연조직과 골조직의 구성비율이 다양하며 또한 치료 조사부위에는 공동(空洞)조직이 포함되는 경우가 많으며, 그 크기 및 위치가 다양하다. 특히 조직내 공기가 들어있는 공동을 방사선이 통과한 후에는 전자평형의 상실때문에 공기-조직의 접면부는 저선량이 되며 공기-조직 접면 후반부 조직내에 재선량증가(rebuildup)부위가 형성됨은 잘 알려진 사실이다^{7,8)}.

전리방사선의 에너지가 커질수록 재선량증가 현상이

본 논문은 1987년도 서울대학교병원 특수임상연구비의 보조로 이루어 졌음.

더욱 현저하여짐은 이미 많은 연구자들의 보고에서 입증되었으며^{9,10)}, 재선량증가 현상은 사용되는 치료기기, 공동의 크기 및 위치에 따라 큰 차이를 나타낸다. 더우기 방사선 치료기기는 점진적으로 에너지가 높은 선형가속기로 대체되는 추세로 새로운 치료기기의 에너지에 따른 재선량증가 현상의 파악 및 이를 토대로한 심부선량율의 보정은 필수적이다.

따라서 저자는 부비동, 상기도 등 공동조직이 많은 두경부의 방사선치료시 주로 사용되는 6 MV X선을 이용하여 공동의 크기 및 위치와 조사야 크기가 재선량증가 현상에 미치는 영향을 분석하여 이를 임상치료에 응용하고자 본 실험을 시행하였다.

재료 및 방법

1. 방사선

본 실험에 사용한 방사선은 서울대학교 병원 치료방사선과에 설치되어 있는 선형가속기(Clinac 6/100, 美, Varian사 제품)에서 발생하는 6 MV X선으로 평균 에너지는 2 MeV이다.

2. 팬 톱

넓이 54×54 cm²이고 높이가 40 cm인 방사선 선량 측정용 수조(Water Phantom: BDS-2, Sweden, Therados사 제품)에 물을 25 cm 깊이로 채우고 수면 상부에 단면이 25×25 cm²인 폴리스티렌(polystyrene) 팬 톱을 장치하여 폴리스티렌 하연과 수조내 물표면의 공간에 각각 1 cm~5 cm의 간격을 갖는 공기층(air gap), 공기주(air cylinder) 및 공동(air cavity)을 형성하여 본 실험을 시행하였다. 따라서 X선은 폴리스티렌, 공기, 물을 순서적으로 통과하도록 하였다(Fig. 1).

3. 방사선 흡수선량 측정

실험에 사용된 측정기는 반도체 측정기(silicon p-n 형, Sweden, Trerados 제품)로 물 팬톱내 방사선 조사야의 선축에 설치하고 공기층 물 팬톱 경계면 직하부 5 cm에서부터 선축 상부로 이동시키면서 공기층 물 팬톱 경계면까지 흡수선량을 연속 측정하였다. 반도체 측정기는 자동제어장치(BDS-2, Sweden, Therados사 제품)와 연결시켜 선축상으로 이동할 수 있도록 하였

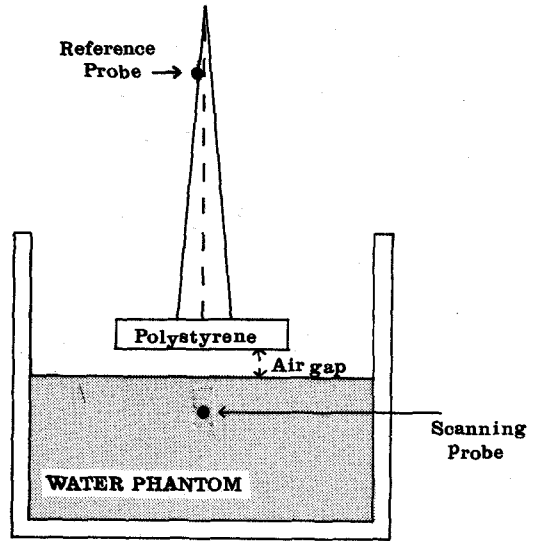


Fig. 1. Schematic diagram showing experimental setup for air gap.

다.

방사선원과 팬톱 표면간의 거리는 100 cm로 하였다. 팬톱내 흡수선량에 대한 공기중 흡수선량을 측정하기 위하여 팬톱내 측정기와 동일한 특성을 갖는 대조용 반도체 측정기를 콜리메이터 헤드 직하부 선축내에 고정하된 물 팬톱내 흡수선량에 영향을 미치지 않도록 선축을 피하여 설치하였다(Fig. 1).

팬톱내 측정치는 공기중 대조용 측정치에 대한 상대치로 변환시켜 X-Y 기록계로 연속적으로 기록하였다.

4. 공기층(Air Gap) 실험

선형가속기의 콜리메이터 하단부에 고정시킨 폴리스티렌 팬톱의 하단부와 물 팬톱 수면과의 공간을 공기층으로 설정하여 공기층의 간격을 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm 및 5 cm로 변화시켰으며 각각의 공기층의 간격에 따른 폴리스티렌 팬톱의 두께는 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, 2.5 cm, 3.5 cm 및 4.5 cm로 하였고 측정 조사야의 크기는 4×4 cm², 6×6 cm², 8×8 cm², 10×10 cm² 및 15×15 cm²로 하여 측정실험을 시행하였고 선량측정은 조사야 중심 선축상에서 시행하였다(Fig. 1).

두경부에서 공동의 위치는 피부로부터 통상 0.5 cm~4.5 cm 범위에 위치하므로 본 실험에 사용하는 폴리스티렌 팬톱 두께를 0.5 cm~4.5 cm로 정하였다.

5. 공기주(Air Cylinder) 실험

물 팬텀내에 공기주에 대한 측정실험을 위하여 루사이트판으로 공기주 모형을 제작하여 실험하였다. 루사이트 공기주는 하단이 개방된 직육면체로 물 팬텀내에 설치후 상단에 폴리스티렌 팬텀을 얹혀 고정시킴으로 물 팬텀의 수표면과 공기주의 상단이 일치하도록 하였다. 공기주의 가로변은 12 cm로, 세로변은 2 cm, 3 cm, 4 cm 및 5 cm의 네가지 형태로 공기주를 제작하여 사용하였다. 공기주내의 공기주입은 주사용 수액세트를 사용하였으며 공기층의 두께는 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm 및 5 cm로 변화시켰고 각각의 공기층에 대하여 폴리스티렌 팬텀의 두께를 0.5 cm, 1 cm, 1.5 cm, 2.5 cm, 3.5 cm 및 4.5 cm로 변화시켰다. 조사야 크기는 가로는 10 cm로, 세로는 공기주 세로변 y 에 따라 y cm, $(y+1)$ cm, $(y+2)$ cm 및 $(y+3)$ cm로 하여 선축상 선량분포를 측정하였다 (Fig. 2).

본 실험은 두경부내의 상기도에서의 재선량증가 현상을 유추하기 위하여 시행하였으며, 상기도의 크기는 지름이 2 cm~5 cm 범위이므로 그와 유사한 공기주를 모형으로 하여 단면의 한변의 길이를 2 cm~5 cm, 깊이를 1 cm~5 cm로 정하였다.

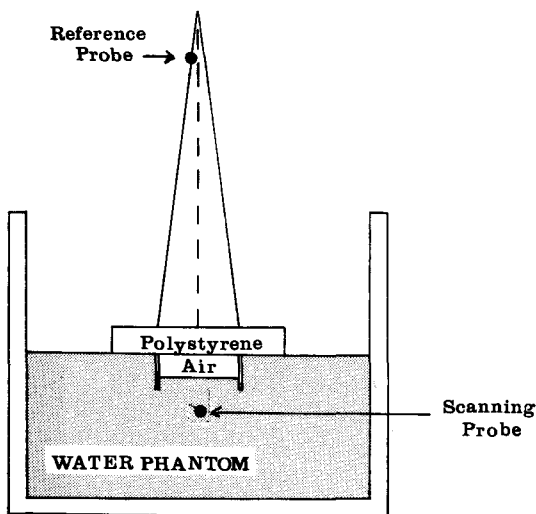


Fig. 2. Schematic diagram showing experimental setup for air cylinder and air cavity

6. 공동(Air Cavity) 실험

물 팬텀내에서 공동의 선축상 선량분포에 미치는 영향을 측정하기 위하여 루사이트판으로 2×2 cm², 3×3 cm², 4×4 cm² 및 5×5 cm²의 단면과 높이 7 cm되는 직육면체 형태를 제작하여 물 팬텀 수표면과 일치하도록 고정한 후 측정실험을 시행하였다.

측정 실험방법은 공기주 실험시와 동일하였으나 조사야 크기는 공동단면의 한변 (x)보다 0 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm씩 크게 한 $x \times x$ cm², $(x+1) \times (x+1)$ cm², $(x+2) \times (x+2)$ cm² 및 $(x+3) \times (x+3)$ cm²의 조사야로 선축상 선량분포를 측정하였다.

부비동의 크기는 개인에 따라 차이가 있으나 부비동 단면은 대부분 2×2 cm²~ 5×5 cm²범위에 속하므로 본 실험에서는 단면크기가 이와 동일하도록 공동모형을 제작하여 사용하였다.

7. 흡수선량 분석

수면선량($D's$)과 수면하방에서 최대선량($D'max$)을 측정하여 $D'max$ 에 대한 $D's$ 의 비를 BUR^{-1} (The inverse of the buildup ratio)로 정의하였다.

$$\text{즉 } BUR^{-1} = \frac{D's}{D'max} \text{로서}$$

$BUR^{-1}=1$ 은 재선량증가가 없는 경우, $BUR^{-1}<1$ 인 경우는 재선량증가가 있음을 뜻한다. 또한 수면에서 재선량증가 최고점까지의 거리를 $d'max$ (The depth of maximum dose)로 하였다.

연구 성적

1. 공기층에 의한 재선량 증가

팬텀내 공기층이 있는 경우 균질인 물에서의 선량분포에 비하여 공기층 투과후에는 선량분포의 현저한 차이가 측정되었다. 즉 공기-조직 접면부에서는 흡수선량이 낮고 이후 조직내에서 BUR^{-1} 측정치는 1과 거의 같거나 1보다 작아 대부분의 경우에서 재선량증가 현상이 관찰되었다(Fig. 3).

공기층 상방 폴리스티렌 팬텀 두께에 따른 BUR^{-1} 측정치는 공기층 두께와 조사야의 크기가 일정하면 공기층 상방 폴리스티렌 팬텀의 두께가 0.5 cm일 경우가 1.5~4.5 cm인 경우보다 0.13~0.19정도 낮았으나 1.5

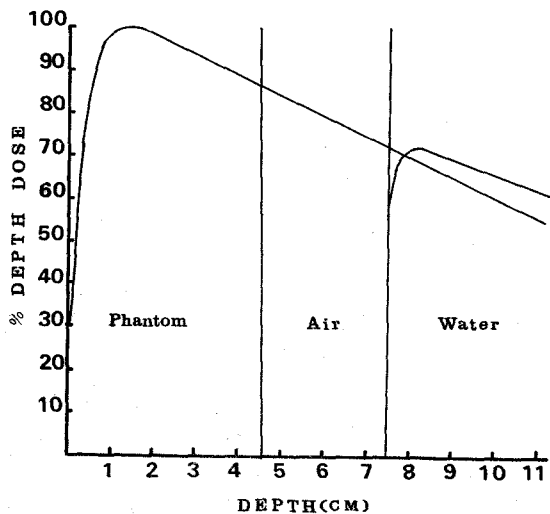


Fig. 3. Depth dose measured in the presence and absence of an air gap, irradiated by a 4x4 cm² field size. Air gap : 3cm, Phantom thickness : 4.5cm.

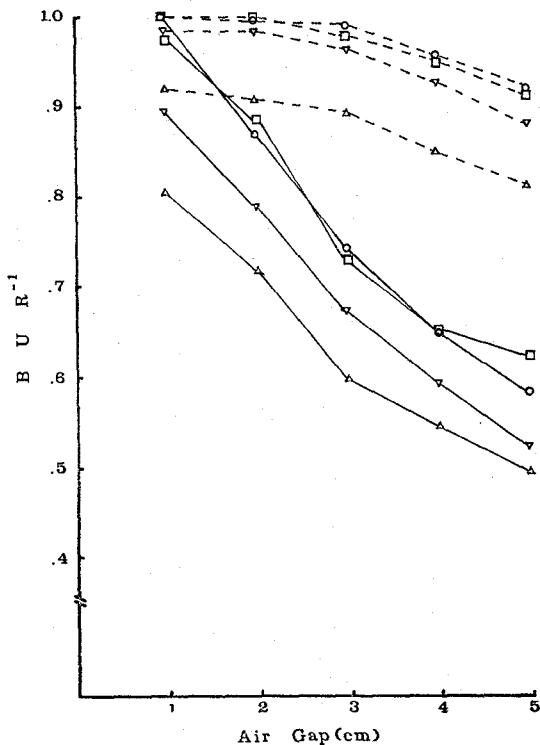


Fig. 4. Comparison of BUR⁻¹ according to the field size, the air gap, and the phantom thickness. Field size : 4x4cm² (solid), 10x10cm² (dashed). Polystyrene phantom thickness : 0.5cm (Δ), 1cm (▽), 1.5cm (○), 4.5cm (□).

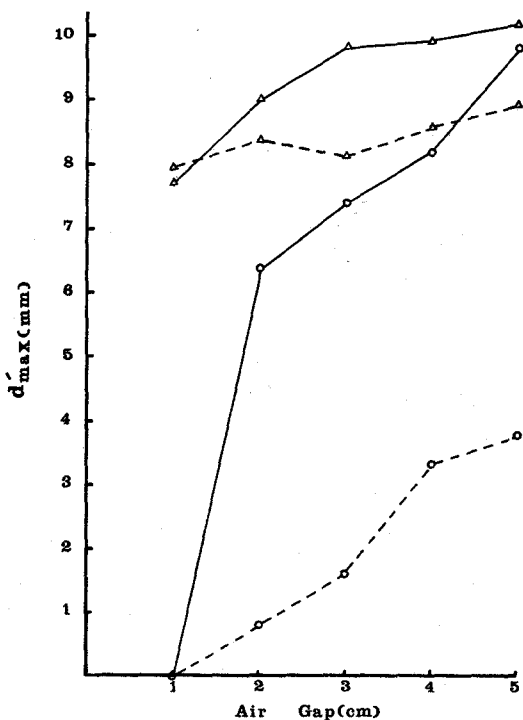


Fig. 5. Comparison of d_{max} according to the air gap, the field size, and polystyrene phantom thickness. Field size ; 4x4cm² (solid), 10x10cm² (dashed). Polystyrene phantom thickness ; 0.5cm (Δ), 1.5cm (○).

~4.5 cm인 범위에서는 0.04이내의 차이가 관찰되었다.

폴리스티렌 팬텀의 두께와 조사야 크기가 일정할 경우 공기층 두께가 증가함에 따라 BUR⁻¹ 측정치는 감소하였다. 폴리스티렌 팬텀의 두께가 1.5cm 이상이고 공기층의 두께가 1cm 이하인 경우 두 조사면에 대한 BUR⁻¹ 측정치는 0.96~1.0로서 재선량증가가 없거나 무시할 정도였다.

조사야 크기가 작은 경우 조사야 크기가 큰 경우에 비하여 폴리스티렌 팬텀 두께, 공기층의 두께에 관계없이 BUR⁻¹ 측정치는 현저하게 낮았다(Fig. 4).

조사야 크기, 폴리스티렌 팬텀 두께 및 공기층 두께의 변화에 의한 d'_{max}의 측정치는 6 MV X선의 최대선량점 깊이의 1.5cm 미만이었으며 조사야 크기 10x10 cm²와, 폴리스티렌 팬텀 두께 1.5cm 인 경우 d'_{max}는 1mm 이하로 재선량증가 현상이 거의 없었으나, 4x4 cm², 0.5cm 인 경우는 7.7mm이었다(Fig. 5).

폴리스티렌 팬텀 두께에 따른 BUR^{-1} 측정치는 조사야 크기와 공기층 두께가 일정할 경우 폴리스티렌 팬텀 두께가 1.5 cm 이상인 경우에 비해서 0.5 cm에서 현저히 감소하였다. 1.5 cm 이상에서는 BUR^{-1} 측정치가 조사야 크기가 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 이고 공기층 두께가 1 cm 일 때 0.99~1.0이었으며 조사야 크기가 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 이고 공기층 두께가 5 cm 일 경우 0.58~0.62로 비교적 일정하였다 (Fig. 6).

2. 공기주에 의한 재선량증가

조사야 면적이 $10 \times 2 \text{ cm}^2$ 으로 공기주 단면과 같고 폴리스티렌 팬텀 두께가 일정하면 공기주 깊이가 증가함에 따라 BUR^{-1} 측정치는 감소하였다. 또한 폴리스티렌 팬텀 두께가 1.5 cm~4.5 cm 인 경우 보다 0.5 cm 일 때 측정치가 0.07~0.11 정도 낮았으나 1.5 cm 두께에서는 4.5 cm 두께인 경우보다 0.02 이내의 감소가 관찰되었다.

조사야 크기가 공기주 단면보다 크고 폴리스티렌 팬

텀 두께가 1.5 cm~4.5 cm 인 경우에서 공기주 깊이가 3 cm 미만에서는 BUR^{-1} 측정치의 감소가 관찰되지 않았으나 공기주 깊이가 3 cm 이상에서는 0.06 이내의 감소가 관찰되었다.

조사야 크기가 공기주 단면보다 크고 폴리스티렌 팬텀 두께가 0.5 cm 인 경우 공기주 깊이에 따른 변화는 뚜렷하지 않아 0.11 이내의 감소가 관찰되었으며 조사야 크기가 증가함에 따라 BUR^{-1} 측정치의 감소 정도가 적어졌다 (Fig. 7).

공기주 단면 크기에 따른 BUR^{-1} 측정치를 알기 위한 실험 결과 공기주 단면 크기와 조사야 크기가 같은 경우에서 공기주 깊이가 5 cm 일 경우에는 깊이가 1 cm 인 경우보다 공기주 단면 크기나 폴리스티렌 팬텀 두께가 일정하면 BUR^{-1} 측정치가 현저히 감소하였다. 공기주 세로변이 작아짐에 따라 공기주 깊이나 폴리스티렌 팬텀 두께가 일정한 경우에는 BUR^{-1} 측정치가 감소하였으며 폴리스티렌 팬텀 두께가 1.5 cm 인 경우보다 0.5 cm 인 경우에 현저히 감소하였다.

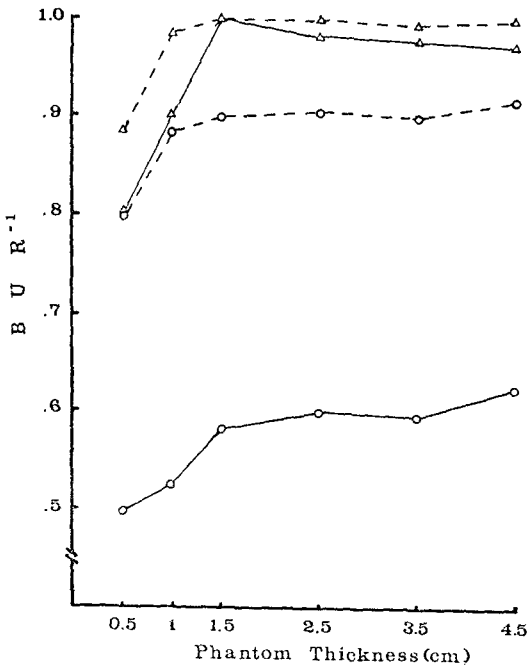


Fig. 6. Comparison of BUR^{-1} according to polystyrene phantom thickness for the various field size and air gap. Field size : $4 \times 4 \text{ cm}^2$ (straight), $10 \times 10 \text{ cm}^2$ (dashed). Air gap : 1 cm (Δ), 5 cm (\circ).

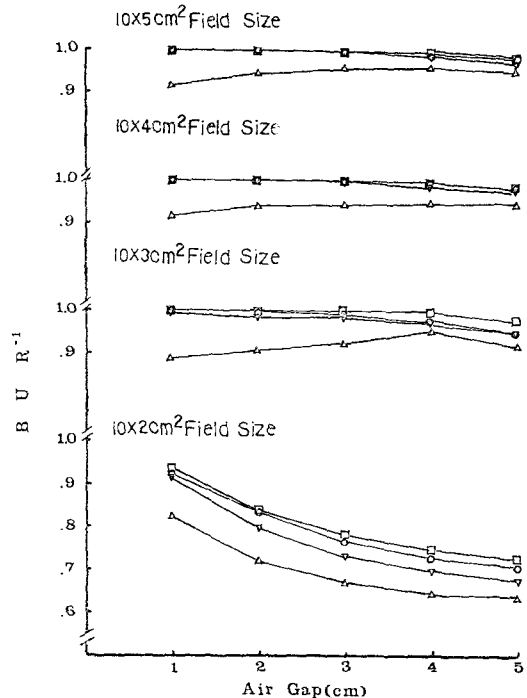


Fig. 7. Comparison of BUR^{-1} according to the field size when $12 \times 2 \text{ cm}^2$ air cylinder is used. Polystyrene phantom thickness : 0.5 cm (Δ), 1 cm (∇), 1.5 cm (\circ), 4.5 cm (\square).

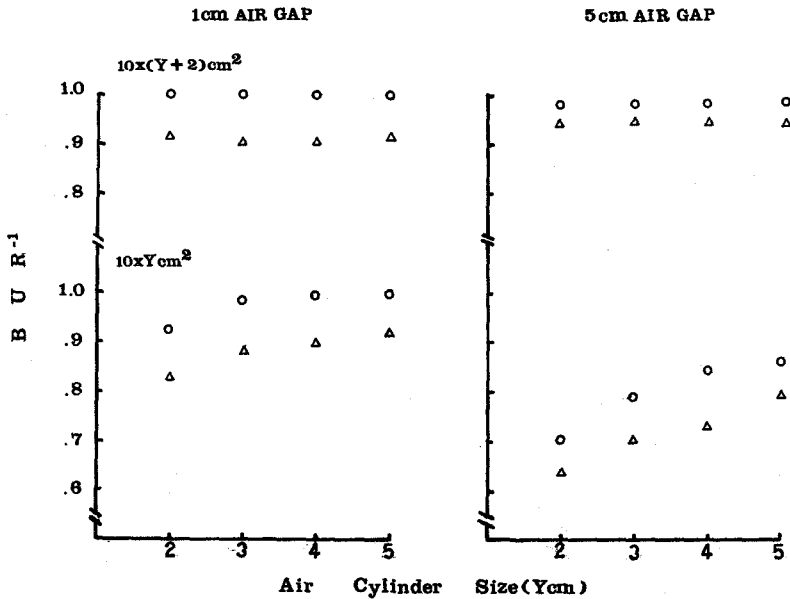


Fig. 8. Comparison of BUR^{-1} for the various size of air cavity as a function of the field size, the air gap, and the polystyrene phantom thickness. In lower portion, the field size is equal to $X \times X \text{ cm}^2$. In the upper portion, the field size is equal to $(X + 2) \times (X + 2) \text{ cm}^2$. Air gap ; 1cm (left), 5cm (right). Polystyrene phantom thickness ; 0.5cm (Δ), 1.5cm (O).

공기주 단면보다 조사야의 한쪽 변의 길이가 2cm가 큰 경우에는 BUR^{-1} 측정치가 폴리스티렌 팬텀 두께, 공기주 단면, 공기주 깊이에 따라서 변화하지 않았다. 폴리스티렌 팬텀의 두께가 1.5cm이고 공기주 깊이가 1cm인 경우에는 BUR^{-1} 측정치는 감소하지 않았으나 5cm인 경우에는 0.02 이내의 감소가 관찰되었다. 폴리스티렌 팬텀 두께가 0.5cm인 경우에는 BUR^{-1} 측정치의 감소는 공기주 깊이 1cm에서 0.08~0.1 공기주 깊이가 5cm에서는 0.05~0.06이었다(Fig. 8).

3. 공동에 의한 재선량증가

공동단면이 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 이고 조사야 크기가 동일한 경우에는 폴리스티렌 팬텀 두께가 일정하면 공동깊이가 증가할수록 BUR^{-1} 측정치는 감소하였다. 또한 폴리스티렌 팬텀 두께가 0.5cm인 경우의 BUR^{-1} 측정치는 1.5cm~4.5cm인 경우에 비하여 현저히 감소하였으며 4.5cm인 경우의 BUR^{-1} 측정치의 감소는 1.5cm의 경우에 비하여 작았다.

공동 단면이 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 이고 조사야가 이보다 큰 경우 폴리스티렌 팬텀 두께가 1.5cm, 4.5cm에서는 공동 깊이에 관계없이 BUR^{-1} 측정치의 감소는 없었다. 0.5

cm두께의 폴리스티렌 팬텀에서 조사야 크기가 $6 \times 6 \text{ cm}^2$ 에서는 공동 깊이에 따른 변화가 작았으며 $7 \times 7 \text{ cm}^2$, $8 \times 8 \text{ cm}^2$ 에서는 공동 깊이가 커짐에 따라 BUR^{-1} 측정치의 감소가 작아지는 추세를 보였다(Fig. 9).

공동의 단면적에 따른 BUR^{-1} 의 측정치에 관한 실험 결과 공동 단면과 조사야 크기가 같은 경우에 공동 단면, 폴리스티렌 팬텀 두께가 일정하면 공동 깊이가 1cm인 경우보다 5cm인 경우에서 BUR^{-1} 측정치는 현저히 감소하였다. 공동 단면의 크기가 작은 경우 폴리스티렌 팬텀의 두께, 또는 공동 깊이에 관계없이 BUR^{-1} 측정치는 현저히 감소하였다. 공동 단면이 $3 \times 3 \text{ cm}^2$ 이상이고 공동 깊이가 1cm이고 조사야 크기가 공동 단면과 동일한 경우에는 BUR^{-1} 측정치의 감소는 0.02이내였다. 공동 단면보다 조사야 크기가 각 변으로 2cm씩 큰 경우에 공동 단면의 크기와 공동 깊이에 무관하게 BUR^{-1} 측정치는 거의 변하지 않았다. 공동 깊이가 5cm일 때 공동 단면의 크기나 폴리스티렌 팬텀 두께에 관계없이 BUR^{-1} 측정치의 감소는 0.03이내였고, 공동 깊이가 1cm이고 폴리스티렌 팬텀 두께가 1.5cm인 경우에는 BUR^{-1} 측정치의 감소는 없었으나 폴리스티렌 팬텀 두께가 0.5cm인 경우는 0.09~0.1의 감

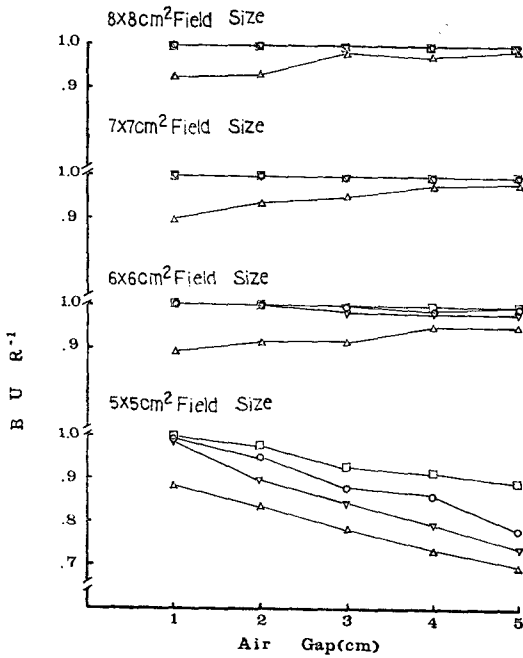


Fig. 9. Comparison of BUR^{-1} according to the field size for $5 \times 5 \text{ cm}^2$ air cavity. Polystyrene phantom thickness : 0.5 cm (Δ), 1cm (∇), 1.5cm (\circ), 4.5 cm (\square).

소가 관찰되었다(Fig. 10).

고찰

고에너지 체외조사시는 고에너지 방사선이 치료기기에 따라 통상 80cm~100cm 거리의 공기층을 통과후 피부 표면에 도달하므로 환자의 피부 표면에서는 공기-조직 접면이 존재하여 피부표면과 직하부에서 고형 산란 물질인 피부 및 연조직에 의하여 생성된 이차전자는 주로 전방산란을 하게되므로 일정 깊이까지는 생성되는 이차전자의 수가 증가하나 전자의 조직내 비정거리를 넘으면 소멸됨으로, 조직내 광자의 에너지는 조직을 통과할수록 에너지가 상실되어 ^{60}Co 은 피하 0.5cm, 6MV X선은 피하 1.5cm되는 부위에 최대선량점을 형성하여 피부보호 효과를 일으킨다^{11,12}.

따라서 체외 조사 치료시 종양이 공동부와 인접되어 있는 경우에는 공기층 때문에 급격한 이차전자 생성 감소로 종양부에 저선량을 초래할 수 있다. 즉 조사야내에 공동이 있으면 공동 상부 조직에서는 이차전자 생성에 의한 선량증가 현상이 관찰되나, 공동내에서는 저밀도 물질인 공기에 의한 전자공급원의 결핍으로 이차전

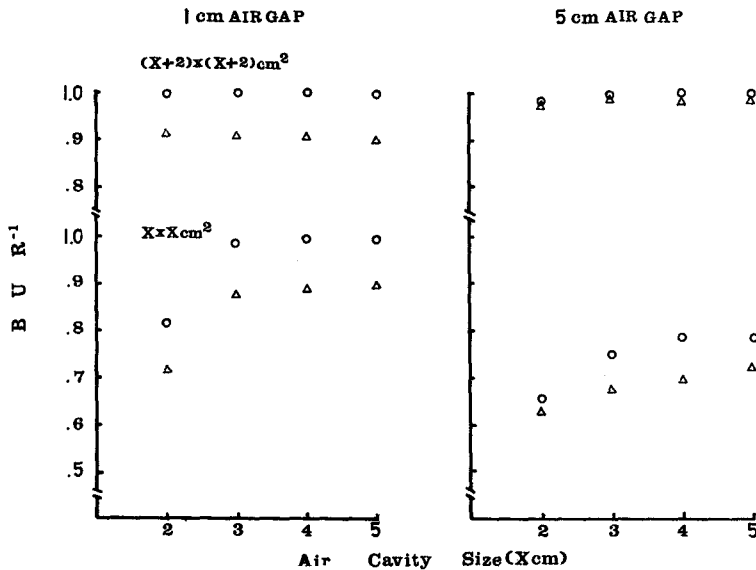


Fig. 10. Comparison of BUR^{-1} for the various size of air cavity as a function of the field size, the air gap, and the polystyrene phantom thickness. In lower portion the field size is equal to $X \times X \text{ cm}^2$. In the upper portion, the field size is equal to $(X + 2) \times (X + 2) \text{ cm}^2$. Air gap ; 1cm (left), 5cm (right). Polystyrene phantom thickness ; 0.5cm (Δ), 1.5cm (\circ).

자 생성이 작아져 공동직하부 조직에 도달하는 이차전자의 수가 감소되고 이어 공기-조직 접면을 지나면서 고형산란 물체인 조직에 의한 이차전자가 생성되어 다시 전자평형에 도달하게 됨으로 일정깊이의 지점에 재선량증가 부위가 형성된다^{10,13)}.

그러나 표면에서 공동까지의 조직의 두께, 공동의 크기 및 깊이, 조사야의 크기, 공동내 물질의 밀도와 일차방사선이 에너지변화에 따라 이차전자 생성율이 변화될 수 있어 이에 따른 재선량증가 현상과 재선량증가 형성 깊이가 변화됨으로 치료기기에 따른 에너지의 차이 및 조직간 밀도차이에 따른 흡수선량율의 연구는 필수적이다.

Epp등은 ⁶⁰Co 체외 조사시는 4×4 cm²의 조사야내에 공동이 존재할 경우에는 공동이 없는 경우에 비하여 약 0.07의 BUR⁻¹ 측정치의 감소를 관찰하였고¹³⁾, 이후 같은 조사야 크기로 10 MV X선에 의한 BUR⁻¹ 측정치는 약 0.15의 감소를 보고하였다⁹⁾. 또한 공기-조직 접면에서 재선량증가 최고점까지의 거리는 ⁶⁰Co의 γ선보다 6MV X선이 큰 것으로 보고하였다¹⁴⁾. 이는 에너지가 높아질수록 일차방사선에 의하여 생성되는 이차전자의 수가 증가되고, 에너지가 높을수록 생성된 이차전자가 전방산란을 하기 때문이다.

조직의 표면에서 공동까지의 조직 두께가 최대선량점(dmax)보다 작으면 공동내로 유입되는 이차전자의 양이 dmax보다 크면 더 많은 수의 이차전자가 공동내로 유입되므로 조직 표면에서 공동까지의 거리가 dmax보다 짧은 경우가 긴 경우에 비하여 재선량증가 현상이 뚜렷하나 dmax부위보다 긴 경우에는 각각의 차이가 거의 없었다. 본 실험에서도 6 MV X선의 dmax인 1.5 cm 대하여 두께 0.5 cm의 폴리스티렌 판톱에서는 현저한 재선량 증가가 관찰되었으나 1.5 cm 이상의 두께에서는 BUR⁻¹의 측정치에 차이가 거의 없었다.

공동 단면의 크기와 조사면 크기에 따른 재선량증가 양상은 같은 조사야 크기에서는 공동 단면의 크기가 작을수록, 공동 단면의 크기가 조사야 크기와 같은 경우에는 공동 단면의 크기가 커질수록 BUR⁻¹ 측정치의 감소가 적어짐이 보고되었으며^{9,13)}, 본 실험에서도 같은 결과가 측정되어 조사야 크기가 4×4 cm², 공기층 두께 1 cm, 폴리스티렌 판톱 두께가 0.5 cm에서는 공동 단면크기가 4×4 cm²의 경우에는 BUR⁻¹ 측정치가 0.

12 감소하였으나 2×2 cm²에서는 0.09 감소하였다. 공기층 두께 1 cm, 폴리스티렌 판톱 두께 0.5 cm에서는 조사야 크기와 공동 단면의 크기가 같은 경우 5×5 cm²에서 BUR⁻¹ 측정치는 0.11 감소하였으나 2×2 cm²에서는 0.29 감소하였다. 이는 조사야 크기가 증가할수록 공동 주위조직에서 생성된 이차전자의 산란증가, 공동 상부조직에서 생성된 이차전자의 공동 직하부 밖으로 산란되는 전자수의 감소등이 주요인으로 추정된다.

조직 표면에서 공동까지 두께가 증가하면 일차방사선에 대한 산란선의 비율이 증가하며 공동의 깊이가 커질수록 증가된다¹⁰⁾. 조사야 크기가 커지면 공동 직하부 밖으로 산란되는 전자수는 감소하며 공동 단면의 크기보다 조사야 크기가 커지면 공동 주위조직에서 생성된 산란선 증가로 인하여 공동 상부조직 두께에 따른 영향은 적어진다. 본 실험에서도 공동의 깊이가 증가할수록 재선량증가가 현저하였으나 조사야 크기가 증가함에 따르는 재선량증가 현상은 작게 관찰되었다.

조사야 크기는 다르지만 공기층에 비해서 공기주나 공동 실험에서는 조사야 크기가 증가함에 따라 재선량증가의 감소정도가 적어졌다. 이는 공동 주위 조직에서 생성된 이차전자의 산란에 의한 것으로 추정된다.

인체의 두경부에 발생된 종양에 대한 방사선 치료시는 부비동 및 기도등 공기조직이 조사야내에 포함될 기회가 매우 높으므로, 상기 조직내 또는 상기 조직에 연하여 발생된 종양을 방사선 치료시는 조사야내에 포함되는 공기조직 또는 공동에 인접되어 발생된 종양부위에 저선량부위가 발생될 수 있어 이는 국소재발과 직결될 수 있다. 그러나 본 실험결과로 공기조직이 조사야내에 포함되어도 피부 표면에서 공동간의 거리가 1.5 cm 미만일 경우에는 조직등가 물질을 피부에 부착하여 조직등가 물질 표면에서 공동간의 거리를 최소 1.5 cm 이상으로 하거나 공동보다 최소 2 cm 이상 조사야를 크게 하여 치료할 경우 공동에 의한 저선량부위의 발생을 감소시킬 수 있음을 보여주고 있다.

결 론

6MV X 선을 사용하여 조사야내에 공기층, 공기주 및 공동의 존재시 선측상 선량측정을 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조사야 크기가 공동 크기에 비하여 클수록, 조사

야 크기가 공동 크기와 같은 경우는 공동 크기가 커질수록 재선량증가 현상은 감소하였다.

2. 조직 표면에서 공동간 거리가 1.5 cm 미만에서 재선량증가가 현저하였으며 1.5 cm 이상에서는 비교적 일정하였다.

3. 공동 깊이에 따른 변화는 조사야 크기와 조직 표면에서 공동간 거리등에 영향을 받기도 하였으나, 공동 깊이가 증가할수록 재선량증가 현상은 현저하였다.

4. 임상적으로 종양부가 공동과 접해있는 경우 공동 상부 피부에 조직등가물질을 부착하여 공동 상부조직의 두께를 1.5 cm 이상으로 하거나 조사야를 공동보다 2 cm 이상 크게 함으로써 공동에 의한 저선량부위의 발생을 감소시킬 수 있다.

REFERENCES

1. **Johns HE, Cunningham JR:** The physics of radiology. 4th ed, Illinois, Charles C Thomas 1983:pp 133-166
2. **Khan FM:** The physics of radiation therapy. 1st ed, Baltimore, Williams and Wilkins 1984:pp 157-181
3. **Khan FM:** The physics of radiation therapy. 1st ed, Baltimore, Williams and Wilkins. 1984:pp 239-273
4. **Wong JW, Henkelman RM, Andrew JW, et al:** Effect of small inhomogeneities on dose in a cobalt-60 beam. Med Phys 8:783-791, 1981
5. **Lulu BA, Bjarngard BE:** Batho's correction factor combined with scatter summation. Med Phys 9: 372-377, 1982
6. **Kang WS:** Calculation method of dose distribution considered to the contribution of electron and the discussion on the results. Post-graduate school, Seoul National University
7. **Scrimger JW:** Effect of air gap on absorbed dose in tissue, Radiology 102:171-172, 1972
8. **Lin FJ, Cheng TC, Tu CP, et al:** Reevaluation of dose distribution in the region of small air spaces in human body by Co-60 beam and 10 MV X-ray. The 5th Asian-Oceanian Congress of Radiology. Abstracts 326, 1987
9. **Epp ER, Boyer AL, Doppke KP:** Underdosing of lesions resulting from lack of electronic equilibrium in upper respiratory air cavities irradiation by 10MV X-ray beams. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2:613-619, 1977
10. **Beach TL, Mendiondo MS, Mendiondo OA:** A comparison of air cavity inhomogeneity effects for cobalt-60, 6-and 10-MV X-ray beams. Med Phys 14:140-144, 1987
11. **Trump JG, Cloud RW:** The production and characteristics of 3,000 kilovolt roentgen rays. Am J Roentgenol & Rad Therapy. 49:531-535, 1942
12. **Richardson JE, Kerman HD, Brucer M:** Skin dose from a cobalt 60 teletherapy unit. Radiology 63:25-36, 1954
13. **Epp ER, Loughheed MN, McKay JW:** Ionization build-up in upper respiratory air passages during teletherapy with cobalt 60 radiation. Br J Radiol 31:361-367, 1958
14. **Nilsson B, Schnell PO:** Build-up effects at air cavities measured with thin thermoluminescent dosimeters. Acta Radiol Ther Phys Biol 15:427-432, 1976