

## Six-Dual 전자선 조사면에 의한 전신 피부 조사의 선량 특성

계명대학교 의과대학 치료방사선과학교실

최태진 · 김진희 · 김옥배

### Dose Characteristics of Total-Skin Electron-Beam Irradiation with Six-Dual Electron Fields

Tae Jin Choi, Ph.D., Jin Hee Kim, M.D. and Ok Bae Kim, M.D.

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

**Purpose** : To obtain the uniform dose at limited depth to entire surface of the body, the dose characteristics of degraded electron beam of the large target-skin distance and the dose distribution of the six-dual electron fields were investigated.

**Materials and Method** : The experimental dose distributions included the depth dose curve, spatial dose and attenuated electron beam were determined with 300 cm of target-skin distance (TSD) and full collimator size ( $35 \times 35 \text{ cm}^2$  on TSD 100 cm) in 4 MeV electron beam energy. Actual collimated field size of  $105 \text{ cm} \times 105 \text{ cm}$  at the distance of 300 cm could include entire hemibody. A patient was standing on step board with hands up and holding the pole to stabilize his/her positions for the six-dual fields technique. As a scatter-degrader, 0.5 cm of acrylic plate was inserted at 20 cm from the body surface on the electron beam path to induce ray scattering and to increase the skin dose .

**Results** : The full width at half maximum(FWHM) of dose profile was 130 cm in large field of  $105 \times 105 \text{ cm}^2$ . The width of  $100 \pm 10\%$  of the resultant dose from two adjacent fields which were separated at 25 cm from field edge for obtaining the dose uniformity was extended to 186 cm. The depth of maximum dose lies at 5 mm and the 80% depth dose lies between 7 and 8 mm for the degraded electron beam by using the 0.5 cm thickness of acrylic absorber. Total skin electron beam irradiation (TSEBI) was carried out using the six dual fields has been developed at Stanford University. The dose distribution in TSEBI showed relatively uniform around the flat region of skin except the protruding and deeply curved portion of the body, which showed excess of dose at the former and less dose at the latter.

**Conclusion** : The percent depth dose, profile curves and superimposed dose

---

본 논문은 1996년도 계명대학교 비사연구비로 이루어졌음.

이 논문은 1998년 4월 18일 접수하여 1998년 8월 17일 채택되었음.

책임저자: 최태진, 대구광역시 중구 동산동 194 계명대학교 동산의료원 치료방사선과

distribution were investigated using the degraded electron beam through the beam absorber. The dose distribution obtained by experiments of TSEBI showed within  $\pm 10\%$  difference except the protruding area of skin which needs a shield and deeply curved region of skin which needs boosting dose.

**Key Words** : Total-skin electron-beam irradiation

## 서 론

Mycosis fungoids 는 전신피부를 침범하는 T-cell 임파종으로 이의 치료에는 투과력이 낮은 저에너지 전자선을 이용하여 전신조사하는 방법이 Salzman 과 그의 동료들에 의해 시도되었으며, 그후 여러 방법의 전신전자선조사법이 개발되었다.<sup>1, 2)</sup>

전신조사는 피하 한정된 깊이의 전신을 충분히 포함할 수 있는 크기의 약 180 cm (길이)×100 cm (폭) 조사면을 이용하여 10% 이내의 균등선량이 조사되는 것이 바람직하지만 제한된 공간과 콜리메이터 크기에 의해 큰조사면을 구하기 어려우므로, 치료부위를 분할하여 조사하게 된다.

저에너지 전자선에 의한 전신조사에는 인체 굴곡부위의 조직필터효과를 피하고 전신피하에 균등한 선량을 조사하는 것이 중요하다.

전자선을 이용한 전신조사에서 선량분포는 물리적 선량균등도가 10% 이내 일지라도 환부의 거리, 조직에 의한 차폐 등으로 약 30%의 선량오차를 일으킬 수 있다고 발표되고 있으며,<sup>3)</sup> El-Khatib 등<sup>4, 5)</sup>은 전자선으로 인체 주위를 6 방향에서 고정조사를 시행하여 균등선량을 얻고자 하였으며, 중심선속각을 상하 21도 방향으로 경사지게 주어 광자선 오염을 줄일 수 있었다고 보고하였다.

전신피부의 방사선조사시 선량분포는 전자선의 투과력과 전자선의 입사각에 따라 상당히 좌우되며, 전신의 피부에 균등한 선량분포를 얻기 위한 전자선조사법으로 Sewchand 와 그 일행<sup>6)</sup>은 가속기의 지지체를 상하 진자운동을 시켜 균등선량을 얻는 방법을 연구 발표하였다.

전신피부에 대한 전자선의 균등선량분포는 원거리 대조사면의 평탄선량과 다각도방향의 조사에서 얻을 수 있으며, 인체가가이 전자선의 산란체를 삽입하여 전자선의 산란을 일으켜 피부선량을 높이고 균등선량을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>6)</sup>

Brahme 은 방사선출구나 인체 가까이 전자선 산란체를 두어 균등선량과 피부에 적정 깊이의 피부선

량을 줄 수 있음을 발표하였으며,<sup>7)</sup> 전자선아프리카이터의 출구에 산란체를 둔 경우, 환부주위에 둔 경우보다 산란각이 상대적으로 좁아지며, 환부 전면에 에너지 감쇠 및 산란을 목적으로 흡수체를 두어 넓은 각도의 산란을 일으켜 피부선량을 높이는 전신조사법이 연구되고 있으며, 열형광선량계를 이용하여 피부선량을 평가하여 전신의 선량분포를 얻고 있다.<sup>8)</sup>

Antolak 등은 13 mm 의 아크릴판을 흡수체로 사용하여 피부면에 닿는 최빈도 에너지  $E_{p,0}$  가 4.4 MeV 인 전자선에너지를 방출시켜 80% 깊이가 1.12 cm 되도록 하였으며, 12개의 조사면으로 조사하여 비교적 균등한 피부선량을 조사할 수 있음을 발표한 바 있다.<sup>9)</sup>

원거리의 큰조사면의 선량분포가 대개 Gaussian 분포곡선을 나타내므로 분할조사면의 위치결정을 통해 비교적 균등한 선량분포를 얻을 수 있다.

본 연구는 전신피부조사시 4 MeV 전자선으로 선원-피부간 거리를 300 cm 로 하고, 아크릴 산란체를 사용하여 에너지를 감쇠시켜 피하 7-8 mm 깊이에 80% 의 심부선량률이 도달할 수 있도록 하였으며, 산란체에 의한 심부선량률변화와 선량평탄도 평가를 통해, Stanford 방식<sup>9)</sup> 으로 전신을 상하-6방향으로 조사하였으며, 체표면 74곳에 열형광선량계를 부착하여 계획된 피부선량을 측정평가하였다.

특히, 국내에서는 전자선에 의한 전신피부조사에 대한 연구가 미진하고 선량평가에 관한 연구가 발표된 바 없으므로, 본문의 선량계획 및 평가는 앞으로 전신전자선조사를 계획하는 타연구에 도움이 될 수 있을 것으로 믿어 이를 발표한다.

## 대상 및 방법

전신피부조사를 위한 방사선 선원은 전자가속 장치인 선형가속기(ML-15MDX, Mitsubishi) 의 4 MeV 전자선을 이용하였으며, 이 선형가속기의 전자선 출력선량율은 기준 조사면 10×10 cm<sup>2</sup> 으로 명목상 선원-피부간거리 100 cm 위치에서 분당 50-800 cGy 까지 가변선량율을 지원하고 있다. 전신전자선조사

(Total Skin Electron Beam Irradiation, TSEBI) 를 위한 선량결정은 최대선량율인 800 cGy/min을 사용하였다.

TSEBI의 큰조사면은 기존 전자선콜리메-터를 제거하고 X선 최대 콜리메-터 (35×35 cm<sup>2</sup>)를 열어 타겟-피부간 거리 (Target-Skin Distance, TSD) 300 cm에서 105×105 cm<sup>2</sup> 를 얻을 수 있었다. 피부선량을 높이고 에너지를 감소시키기 위하여 펜텀 전면 20 cm 거리에 0.5 cm 두께의 아크릴판 (240×120 cm<sup>2</sup>)을 산란체로 사용하였다 (Fig. 1).

조사면내 공간선량 분포는 IC-10 이온전리함과 전위계 (Capintec-192) 를 이용하여 측정하였으며, 전리함의 지지체는 후방산란선의 영향을 줄이기 위해 스티로폴(180 cm×180 cm×3 cm) 지지체를 이용하였으며, 스티로폴 지지체에 플라스틱관을 부착하여 전리함이 스티로폴에서 20 cm 떨어지게 하였으며, 선량측정점의 위치는 선원으로 부터 300 cm 되도록 하였다.

큰조사면의 조직흡수선량율과 심부선량백분율은 폴리크리스탈린 고체펜텀 (25×25×25 cm 적층두께) 위에 수조펜텀 (30×30×30 cm<sup>3</sup>) 2 개를 병행으로 쌓아 조사면의 길이와 거의 유사한 크기의 펜텀상에서 결정되었으며, 전리함이 부착된 수조펜텀의 위치를 이동하여 전자선의 중심선속 상의 선량과 임의 위치의 선량을 측정하였다.

수조펜텀의 측면에는 두께 0.5 mm, 폭 10 cm 의 창을 제작하여 수 mm 이내의 심부선량율을 측정할 수 있게 하였으며, 얇은 고무 (latex) 를 씌운 PS-033 외삽형 전위계를 이용하여 측정하였다.

측정된 전리량은 TG-21 지침에 따라 흡수선량으로 교정하여 출력선량율을 구하였다.<sup>10)</sup>

깊이 d 에서 전자선의 심부선량백분율 PDD(d)은 중심 선속과 50 cm 중심이탈선속 (Off-Axis Beam) 에서 각각 비교하였으며, 공간선량분포에 의한 중심선속이탈계수 OAR (x, y)를 구하였다.

전자선에 의한 임의의 깊이 d 위치의 피부선량 D(d)은 인체의 장축을 y 축, 측방을 x 축으로 할 때,

$$D(d) = D_{max} \cdot PDD(d) \cdot OAR(x, y) \quad (1)$$

으로 얻을 수 있다. 단, D<sub>max</sub> 는 펜텀에 조사되는 조사면 (105×105 cm<sup>2</sup>) 의 중앙에서 구한 최대 심부선량 깊이의 선량(율)을 의미한다.

원거리 전자선빔과 큰조사면에 의한 전신 전자선 조사는 비록 조사면이 클지라도 90% 이상의 선량이 도달되는 부위는 비교적 작다. 그러나 균등한 선량을

얻기 위한 원거리 단일 조사면은 공간확보측면과 출력선량율을 감안할 때 적절치 못하므로, 저자들은 Stanford 대학에서 사용한 상하 분할조사면과 6방향 환부회전을 통해 조사하는 방식을 통해 이루어졌다.

전신피부조사를 위해서는 선량률의 90% 이상인 조사면이 환자의 신장보다 커야하므로 두 선속의 공간선량분포곡선을 합성하여 구하였다.

본 실험에서는 4 MeV 전자선에너지를 흡수체로 감소시켜 인체펜텀에 상하 각각 6 방향에서 조사할 때의 선량분포를 구한 후, 각 선속방향의 모니터 선량 (Monitor Unit, MU)을 아래와 같이 결정하였다.

$$MU = \frac{TD}{UIC} \cdot Wt \quad (2)$$

여기서 TD는 중앙치료선량(cGy), UIC(useful isodose curve) 는 치료부위를 포함하는 합성선량곡선이며, Wt 는 선속의 선량비중을 의미한다.

임상에서 1회 조사에 의한 계획된 전신피부선량은 100 cGy 이며, Fig. 1 과 같이 하루에 120도 씩 상하 각각 3 방향을 조사하고(흉곽 단면의 A방향), 익일의 입사방향은 전일의 사잇각에 각각 조사(B방향)되도록 하였다.

펜텀을 이용한 선량평가는 Fig. 1 의 흉곽 단면에 나타나 있는 홀수 회 (odd fraction)와 짝수 회 (even fraction) 조사를 모두 시행하여 상하 각각 6방향 조사가 이루어졌을 때 얻어진 선량으로 평가하였다.

인체선량분포에 대한 확인은 계속용 필름(X-omat V, Kodak 사), WP-102(Wellope, 독일), 필름선량판독기, 열형광소자 (CaSO<sub>4</sub>:Dy) 및 열형광판독기 (System 310, Teledyne) 를 이용하여 측정하였다.

필름선량은 인체모형 펜텀 (Rando-Humanoid Phantom)에 필름을 삽입하여 선량계획에서 구한 조사선량을 상하 각각 6분조사로 총 12 방향에서 조사된 선량분포를 평가하여, 계획된 선량이 도달 되는지 확인하고 모니터 선량(MU) 결정에 이용하였다.

전신조사시 인체의 전신피부의 흡수선량은 테프론에 혼합 밀봉된 직경 1 mm 이고 길이 6 mm 인 CaSO<sub>4</sub>:Dy 열형광소자를 전신에 부착하여 분할조사면에 의한 합성선량을 평가하였다.

열형광소자는 교정선량으로 100 cGy를 조사한 후 24 시간 후 측정하여 3회 측정된 값이 3% 오차범위 이내에 속하는 것으로 임상 피부선량측정에 이용되었다.

체표면의 선량은 열형광선량소자를 가로 10×세로 10 mm 되는 폴리비닐 봉투에 넣어 인체 측방을 포

함해 전면의 44 곳과 후면의 30 곳에 각각 부착하여 전자선을 필름조사방법과 동일한 방향과 조사면크기로 조사하여 피부선량을 평가하였다.

상체 피부조사시, 수정체에는 직경 25 mm 와, 두께 2 mm 인 반달형 납판에 파라핀을 도포한 차폐체를 안구에 삽입하여 수정체에 도달되는 선량을 차폐하였다.

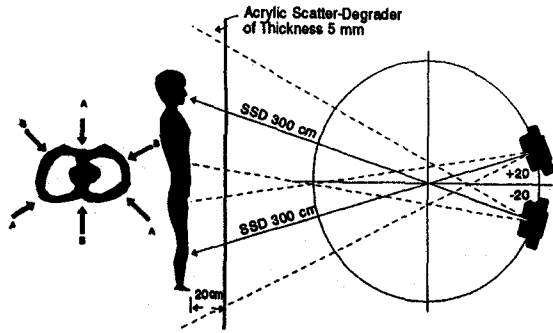


Fig. 1. Schematic diagram of the treatment set-up position. Patient is located at 300 cm distance from electron target. The irradiated gantry angles were 70° and 110° for each of six positions. The arrows of body cross-section indicates the direction of beam incidence (See text).

결 과

전자선에 의한 전신피부조사를 위해 선형가속기에 탈착용 전자선아프리케이터를 제거하고 선형가속기의 최대 콜리메이터 크기인 35×35 cm<sup>2</sup> 로 열고, 전자선의 타겟-피부간 거리를 300 cm 로 하여 105 x 105 cm<sup>2</sup> 의 큰조사면을 얻을 수 있었다. Fig. 1 과 같이 두 선속의 지지체를 상하 20 도씩 각도를 주어 조사면을 합성하여 인체전신을 포함할 수 있었다.

전신피부조사를 위한 공간선량분포는 TSD 300 cm 의 위치에 스티로폴을 세우고 이온전리함을 부착하여 얻었다.

전자선에너지를 감쇠시키고 전자선을 분산하여 조사면내 비교적 균등한 선량분포를 얻기 위해 모든 선량측정은 펜텀 전면의 20 cm 위치에 0.5 cm 아크릴 판(120×240 cm)을 두고 이루어졌다.

공간선량분포에서 단일 조사면의 반치폭 (Full width at half maximum, FWHM) 은 Fig. 2 a)와 같이 130 cm 를 보였으며, 80% 조사면은 70 cm 로 나타났다.

전신에 균등한 선량을 조사하기 위해 각 조사면의 중심간 거리를 130 cm 띄워 공간선량을 합성한 경우 합성조사면내 ±10% 의 선량균등도를 갖는 폭은 186 cm 로 나타났으며, 이 때 두 조사면의 가장자리의 간격은 25 cm 이다.

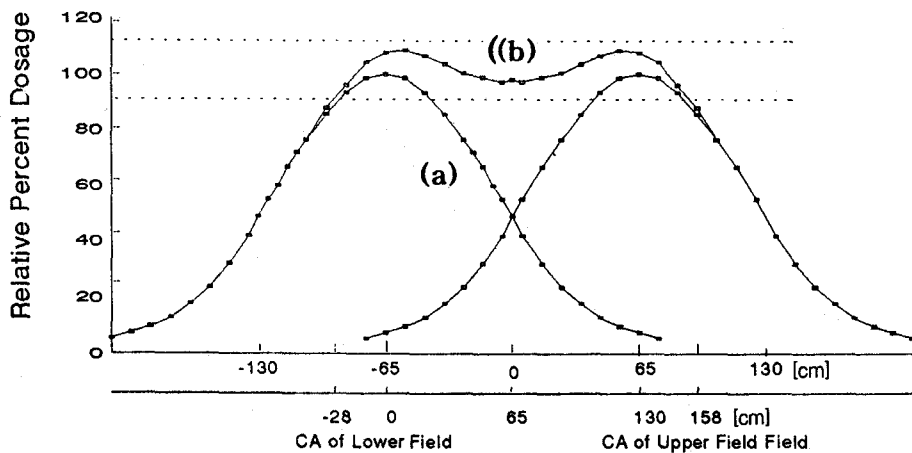


Fig. 2. The vertical beam profiles in free-space dose at 300 cm from the electron target is shown for a single beam beam with 5 mm thickness of acrylic spoiler (a) and for a resultant dose profiles of dual beam(b) with 25 cm off the field edge. The scale of lower axis represents the normalized distance to central-axis of a lower single field.

본 실험에 이용한 선형가속기의 전자선에너지는 4 MeV 였으며, TSD 100 cm 의 기준 조사면  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  에서 Fig. 3 의 a) 와 같이 최대선량깊이  $d_{max}$

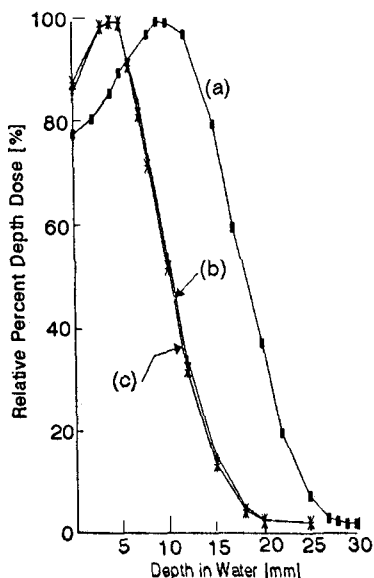


Fig. 3. The percent depth doses were measured in a water phantom to obtain the treatment planning data; (a) the percent depth dose of nominal energy 4 MeV, (b) the percent depth dose at central axis and (c) the percent depth dose at 50 cm off-axis distance of degraded electron beam energy  $E_0$  2.5 MeV.

가 8 mm, 80% 선량률의 깊이  $d_{80}$  은 15 mm 이다.

전자선에 의한 전신피부조사는 피하 7-8 mm 깊이에 80% 선량률이 되는 2-3 MeV 의 비교적 낮은 전자선에너지와 전신에 균등선량을 줄 수 있는 넓은 조사면이 요구되므로, 타겟-피부간 거리를 300cm 로 두고 피부전면 20cm 위치에 흡수체를 두어 심부선량을 구한 결과, Fig. 3의 b) 와 같이  $105 \times 105 \text{ cm}^2$  조사면의 중심선속의 심부선량백분율은  $d_{max}$ 가 5 mm,  $d_{80}$ 은 7.4mm,  $d_{50}$  은 10.7 mm를 보였으며, 전자선의 비정은 15.5 mm 를 나타내어, 전자선의 평균 입사에너지  $E_0$  는 2.5 MeV 로 평가 되었다.

광자선오염은 4 MeV에서 최대선량에 대해 2 %를 보였으며, 감소된 에너지에서는 2.3 %를 보였다.

중심선속에서 50 cm 떨어진 점의 전자선 선속에 대한 최대선량깊이와 심부선량곡선은 Fig. 3의 C와 같이 중심선속의 값과 거의 일치함을 나타내었다.

전신피부조사에서 균등선량을 얻기 위하여 환자의 상하부위에 각각 6방향을 2회 교대로 분할하여 조사하였으며, 선량계획은 굴곡이 많은 두부와 흉부 및 둔부의 선량분포를 구하여 심부선량의 100% 지점에 모니터 선량 (MU)을 정하였다.

인체모형팬텀에 상하 6방향으로 전자선을 조사하여 합성선량분포를 조사하였다. 각 방향의  $d_{max}$  깊이를 기준으로 조사선량 (100 cGy)을 조사한 선량분포는 각각 Fig. 4a, 4b 와 같이, 피하 4 mm 깊이에서 최대가 되고, 8 mm 깊이에서 80%를 나타내었다. 특히 피부표면에는 약 90%의 선량이 도달됨을 알 수 있었다.

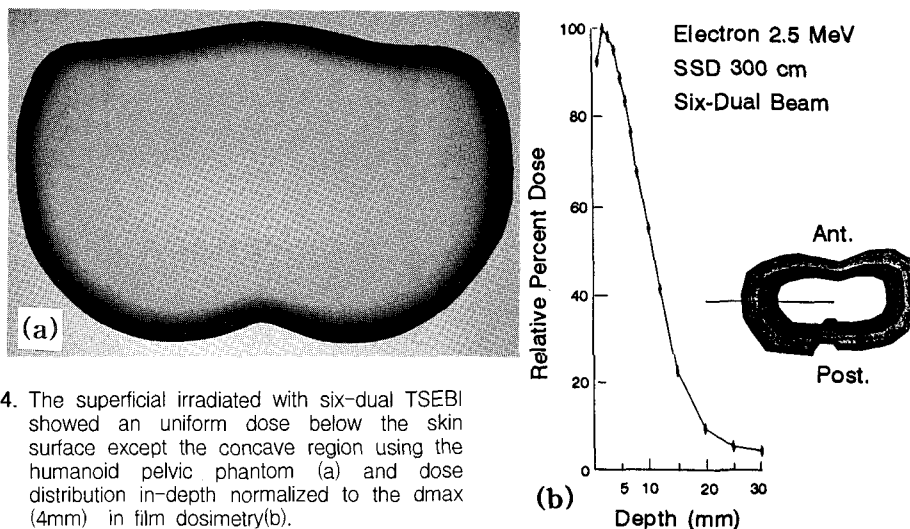


Fig. 4. The superficial irradiated with six-dual TSEBI showed an uniform dose below the skin surface except the concave region using the humanoid pelvic phantom (a) and dose distribution in-depth normalized to the  $d_{max}$  (4mm) in film dosimetry(b).

TSEBI 의 선량분포에서 선속이 경사지게 입사되어 접치는 경우, 최대선량 깊이는 더욱 알아지는 경향이 있으며, 인체의 돌기부에는 최대 30% 의 과다선량이 도달하고 오목면 또는 신체 일부가 가려지는 부분에는 극히 낮은 선량이 도달됨을 알 수 있었다.

전신피부선량의 평가는 Fig. 5a 와 5b 와 같이 전후 및 좌우측방 등 74 부위에 열형광선량소자를 각각 3개씩 부착하여 2일간 상하 각각 6 방향을 전신 조사할 때의 선량으로 나타내었다.

열형광소자에 의한 선량은 Fig. 1의 인체흉곽펜턴의 단면상에 나타난 조사방향의 전신피부조사시 피하 7 mm에 계획된 선량 200 cGy를 조사하였으며, 매위치 마다 소자 6개의 평균선량값을 취해 평가한 결과 돌출부와 중첩부분을 제외한 대부분의 위치에 180±20 cGy 범위내 비교적 균등한 선량이 도달됨을 알

수 있었다. 측정에 이용한 열형광소자는 ±3% 이내의 오차범위에 있는 소자를 이용하였다.

Fig. 5a 와 5b 는 무작위한 위치에 부착한 열형광선량계에 의한 선량평가로 대체로 돌출 부분에 비교적 높은 선량이 도달됨을 알 수 있었으며, 특히 코, 귀, 유두, 손발톱 등 인체돌출부는 과다한 선량이 도달되었고, 반면에 어깨, 두정부, 제대, 대퇴부 등의 입사선속내 조직경사에 의한 선량차폐효과가 높은 부위에는 적은 선량이 도달되었으며, 한편 회음부와 발바닥 부위에는 방사선 입사가 전혀 미치지 못하는 것으로 나타났다.

따라서 전신피부조사시 선량이 상대적으로 적게 도달되거나 전혀 미치지 못한 부위에는 선택적으로 추가 선량을 조사하였다.

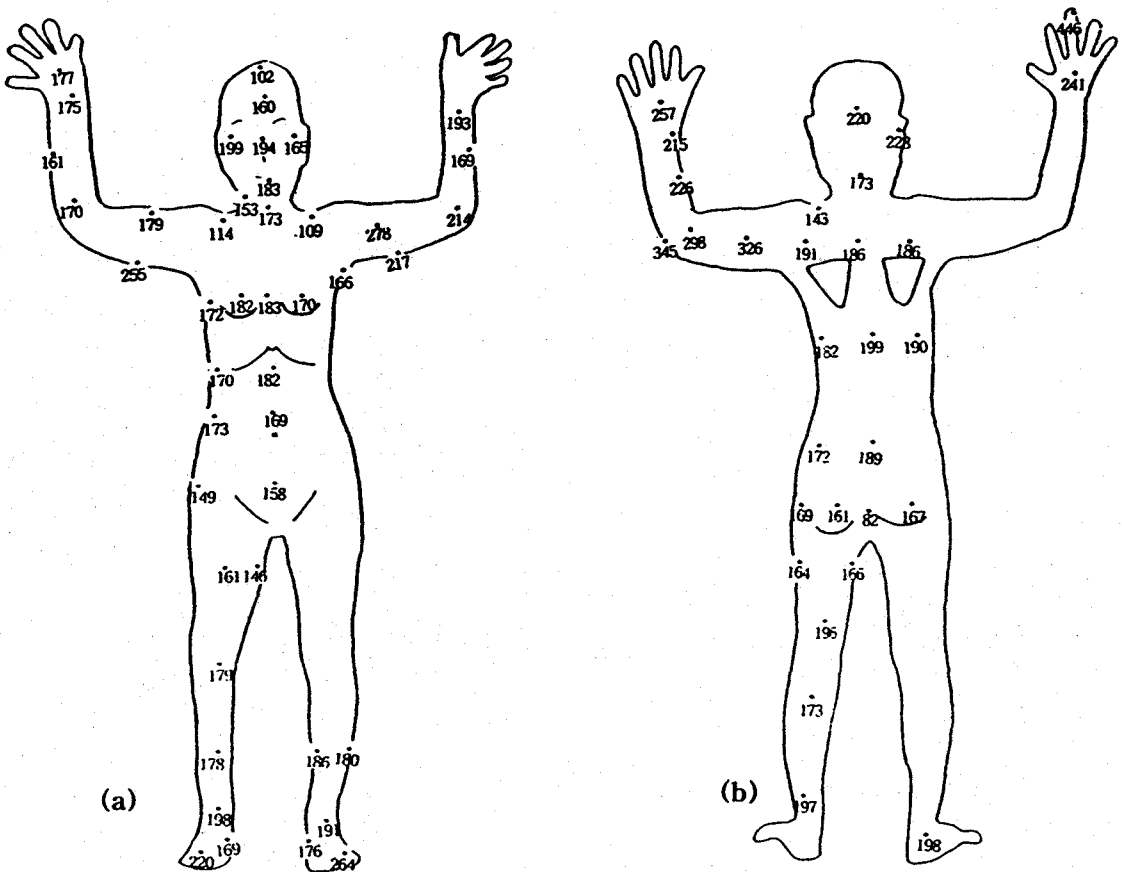


Fig. 5. Radiation-absorbed doses measured using the TLD at various positions on a patient skin irradiated with six-dual beams angled  $\pm 20$  degrees and 0.5 cm acrylic degrader. All doses are in cGy relative to 180 cGy/fraction of anterior (a) and posterior(b).

### 고안 및 결론

전신피부조사는 피하 수 mm 깊이에 균등한 선량이 도달하게 하는 것이 중요하다. Mycosis fungoides 에 대한 전신피부조사는 피하 7-8 mm 깊이에 치료 선량이 주어지므로 대개 2-3 MeV 전자선이 가장 적합한 것으로 알려져 있으며,<sup>4)</sup> 이 보다 높은 에너지의 경우, 전자선은 환자 전면 2-30 cm 위치에 산란체 및 에너지감쇠 필터를 사용하여 적정에너지를 얻고 있다.

본 연구에서는 4 MeV 전자선으로 5 mm 두께의 아크릴 판을 흡수체로 사용하여 체표면에 입사되는 전자선의 평균에너지 E<sub>0</sub> 2.5 MeV 를 얻었으며, 피하 7-8 mm 깊이에 80 %를 조사할 수 있었다.

전자선의 공간선량분포는 전신을 충분히 포함할 수 있는 큰조사면을 얻기 위해 대개 원거리의타켓-피부간 거리(TSD)를 직접 선량을 평가하여 얻게 되며, 원거리 대조사면의 출력선량은 기준 조사면의 선량률이 800 cGy/분인 경우 TSD 300 cm 에서 5 cGy/min 정도를 나타내었다. 전자선은 다중산란을 일으키므로 산란체 또는 흡수체를 이용하여 에너지를 감쇠시키는 경우 출력선량이 급격히 떨어져, 조사시간이 길어지고 환자체위유지에 어려움이 따르는 경우가 있다.

전신 조사방법에는 회전조사, 전자선 슬릿빔 (Slit Beam)하에 인체를 일정방향으로 이동하는 인체이동 조사법, 상하 인접조사면을 피하기 위한 원호전자조사법(Arc Beam) 및 상하 6 방향 에서 조사하는 방법들이 있으며, 이 들 모두 전신피부에 균등선량을 조사하기 위한 방법으로 연구된 것이다.<sup>9)</sup>

상하 선원지지체의 중심선속각도는 20도 경사져 입사되며, 광자선오염은 중심선속방향으로 기여하므로 오염을 피할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 한편 본 실험에 이용된 전자선에너지 4 MeV 와 감쇠된 에너지는 광자선의 오염에 큰 차이가 없었다.

치료선량은 총 3200 cGy를 전신에 조사하였으며 1회분할조사 선량은 전신피부 7 mm 깊이에 200 cGy/회가 조사되었다.

본 실험을 통해 임상에 응용한 방법은 Stanford 방식으로 상하 각각 6문조사를 통해 전신피부중 비교적 완전한 부위에는 ±15% 이내 균등한 선량을 조사할 수 있었다.<sup>9)</sup>

전신의 상하 각각 6문 조사에 의한 전신피부조사에서 특이한 선량분포는 인체돌출부에 약 30% 과다선량이 조사되어졌으며, 인체굴곡부부분에는 조직경사로

인한 조직차폐효과가 현저하게 나타나므로 추가선량이 불가피하다.

특히 전신피부조사에서 귀, 손가락, 발가락부위는 조사부위의 중첩이 일어나 약 60-100% 의 과다 선량 부위가 있었으며, 치료선량에 도달한 이후부터 부위별 2 mm 두께의 납으로 차폐하였다.

상체전신을 조사하는 경우, 수정체에 도달하는 일차선 및 산란선의 피폭을 방지하기 위해 두께 2 mm 의 납판으로 차폐 보호할 필요가 있다.

전신전자선조사시 인체의 곡면이 완만한 경우 상당히 균등한 선량분포를 얻을 수 있으나, 돌출부에는 다문조사에 의한 선속중첩과 높은 심부선량으로 과다한 선량이 도달되므로 선량평가와 함께 차폐가 필요하였으며, 회음부와 발바닥은 해부학적으로 입사선이 도달하지 못하므로 선량미달 부위를 표시하여 별도로 부가적으로 시행하는 치료가 필수적이다.

Fig. 5a, 5b에서 Head 부분의 선량깊이 대칭이 되지 않은 것은 열형광소작 부착위치가 동일하지 않으며, 돌출부에 높은 선량이 도달됨을 알 수 있다.

전자선의 전신피부조사 선량계획은 인체형펜텀을 이용해 평가가 이루어지지만, 인체조사시 매 분할면을 조사하기 위해서 환자의 위치를 변경하게 되어 사실상 위치재현이 매우 중요하다.

본 임상조사에서는 발과 손의 위치와 모양을 바닥과 손잡이 막대봉에 표시하고, 기록용 폴라로이드 사진을 위치재현에 이용 하였으나, 위치재현에 대한 객관적 자료는 구할 수 없었다. 저자의 견해는 전신조사에서 in vivo 선량계측이 미흡한 선량평가부분을 보완해 줄 것으로 믿으며, 인체실측선량이 필수적이라고 생각한다.

전신피부조사시 특히 고려할 것은 장시간의 조사시간에 대비한 위치고정이나, 이에 관한 연구가 미흡하였으며, 앞으로 전자선조사에 영향을 주지 않고 환부고정이 이루어지게 할 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로 전신전자선조사시 환자앞 20 cm 거리에서 산란체를 고정하고 TSD 300 cm 거리에서 4 MeV를 조사시킨 결과 4 mm 깊이에 최대선량점을 보였으며, 전신피부 7-8 mm 부위에 80% 의 선량이 도달될 수 있었다.

원거리의 전자선조사면의 심부선량은 측정된 결과 중심선속과 50 cm 이탈된 부위의 심부선량은 거의 일치하여 조사면내 균등한 피부선량을 줄수 있음을 알 수 있었다. 전신조사는 조사부위를 상하반신으로 나누어 각각 6방향에서 조사할 때 비교적 균등한 선

량 분포특성을 얻을 수 있었으나, 해부학적으로 전자선이 도달되지 않는 부위는 부가적 조사가 요하였으며, 인체돌출부에는 과다선량이 도달되므로 부위에 따라 차폐가 이루어져야 된다.

전신피부조사의 선량분포 평가는 열형광선량계를 부착하거나 인체에 부착할 수 있는 검출기를 이용하여 전자선조사시 확인이 필요하다.

### 감사의 글

본 연구 진행에 있어서 조언과 격려를 아끼지 않으시고 지원해주신 연세대학교 치료방사선과학교실의 서창욱 선생님께 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

### 참고 문헌

1. Lo TCM, Salzman FA, Moschella SL, et al. Whole body surface electron irradiation in the treatment of mycosis fungoides. *Radiology* 1979; 130:453-457
2. Karzmark CJ, Loevinger R, Steele RE, et al. A technique for large-field, superficial electron therapy. *Radiology* 1960; 74:633-643
3. Holt JG, Perry DJ. Some physical considerations in whole skin electron beam therapy. *Med Phys* 1982; 9:769-776
4. El-Khatib E, Hussein S, Nicholas JS et al. Variation of electron beam uniformity with beam angulation and scatter for total skin irradiation with the standford technique. *Int J Radiation Oncology Biol* 1995; 33:2:469-474
5. El-Khatib E, Rymel R, Al-Mokhlef JA. A technique for total skin electron irradiation using six large flattened electron beam. Implementation on linear accelerators having different modes of electron beam production. *Br J Radiol* 1989; 62:744-748
6. Sewchand W, Khan FM, Williamson J. Total-body superficial electron-beam therapy using a multiple-field pendulum-arc technique. *Radiology* 1979; 130:493-498
7. Brahme A, Svensson H. Specification of electron beam quality from the central-axis depth absorbed-dose distribution. *Med Phys* 1976; 3:95-102
8. Antolak JA, Cundiff JH, Ha CS. Utilization of thermoluminescent dosimetry in total skin electron beam radiotherapy of mycosis fungoides. *Int J Radiation Oncology Biol Phys* 1998; 50:101-108
9. Hoppe RT, Cox RS, Fuks Z et al. Electron-beam therapy for mycosis fungoides: The Stanford University experience. *Cancer Treat Rep* 1979; 63:691-700
10. Task Group 21, Radiation Therapy Committee, AAPM. Protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. *Med Phys* 1983; 10(6):741-770



국문 초록 =

### Six-Dual 전자선 조사면에 의한 전신 피부 조사의 선량 특성

계명대학교 의과대학 치료방사선과학교실

최태진 · 김진희 · 김옥배

**목적 :** 전신피부의 수 mm 깊이에 한정된 피부 종양의 전신전자선조사에서 균등선량을 얻기 위해, 원거리 전자선조사면에 대한 선량특성을 얻고 상하6방향조사에 의한 전신피부선량분포를 조사하였다.

**대상 및 방법 :** 전신조사를 위한 실험적 선량분포는 전자선 타겟-피부간 거리 300 cm에서, 크기가 105×105 cm<sup>2</sup> (콜리메-터 35×35 cm<sup>2</sup>, TSD 100 cm) 인 조사면으로 4 MeV 전자선의 심부선량을, 공간선량분포, 에너지감쇠에 의한 선량률 변화 등의 선량특성이 정해졌다.

환자는 상하 6방향조사가 이루어지는 동안 안정된 위치를 유지하기 위하여 양손을 치켜들고 기둥막대를 잡을 수 있는 발판에 위에 표시해둔 위치에 서게 하였다. 4 MeV 전자선 에너지를 감쇠 시켜 산란선고 피부선량을 높이기 위해 전자선 통로상 환자 전면의 20 cm 거리에 0.5 cm 두께의 산란체인 아크릴판을 설치하였다.

전신피부의 흡수선량은 테프론혼합 CaSO<sub>4</sub>:Dy 열형광소자 (1 mm 직경×6 mm 길이)를 전신 74 곳에 부착하여 분할조사면에 의한 합성선량을 평가하였다.

**결과 :** 전자선 타겟-피부간 거리 300 cm에서 얻어진 105×105 cm<sup>2</sup> 의 큰 조사면의 선량 반치폭은 130 cm 였으며, 80% 폭은 86 cm 로 나타났으며, 두 조사면을 FWHM 만큼 이동하여 두 조사면을 25 cm 띄워 조사한 합성선량분포에서 선량률이 100±10% 인 균등조사면의 폭은 186 cm 로 확장되었다. 인체전면 20 cm 위체에 0.5 cm 아크릴판을 삽입한 결과, 4 MeV 전자선은 최대선량점 5 mm, 80% 깊이가 7 mm, 50% 깊이는 10.7 mm를 보여 감쇠된 전자선의 평균에너지는 2.5 MeV 였다. 큰 조사면의 선속 중심에서 50 cm 떨어진 위치의 심부선량률은 중심선속의 심부선량과 거의 동일 값을 보였다.

전신피부조사에 의한 환자의 선량분포는 인체의 돌출부와 굴곡부분을 제외하고는 비교적 균등한 선량이 도달되었으며, 돌출부와 분할조사면이 잘 이루어지지 않는 중첩조사부위는 각각 30% 와 60-100% 의 과다선량이 도달되어 치료중 차폐가 불가피한 반면, 인체구조상 전자선이 가리워지는 두정부, 회음부 및 대퇴부 내측은 선량이 거의 도달 되지 않는 곳이 생겨지므로 부가적 조사가 필요함을 알 수 있었다.

**결론 :** 전신피부조사는 2-3 MeV 의 저에너지 전자선빔에 의해 피하 수 mm 깊이에 80% 의 선량을 도달시킬 수 있으며, 높은 에너지에서는 흡수체를 이용하여 적정에너지를 얻을 수 있다. 전신피부조사에서 전신균등선량은 전자선을 상하 각각 6분조사로 고정분할 조사하는 경우 전자선이 가리워지는 부위를 제외하고 대개 ±10% 의 선량오차범위에 들었으나, 돌출부위의 선량과다부위에는 차폐가 필요하였으며, 전자선이 가리워지는 부위는 부가치료를 통해 임상에 적합한 균등선량분포를 얻을 수 있다.