

6MV X-선에 대한 삼차원적 조직보상체의 연구

계명대학교 의과대학 치료방사선학과학교실

김 옥 배 · 최 태 진 · 서 수 지

= Abstract =

A Study of Three-dimension Tissue Equivalent Compensator for 6MV X-Rays

Ok Bae Kim, M.D., Tae Jin Choi, M.S., and Soo Jhi Suh, M.D.

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

Three-dimension paraffin compensator was designed to construct the tissue equivalent compensator for irregular body contours and obliques beam incidence.

The ratio of compensator thickness to tissue deficit was depended on field size, depth and air gap because the scattered dose loss.

The ratio of compensator-tissue was optimized 0.79, 0.73, 0.61 and 0.56 in 6MV x-rays as function of field size 4×4 , 10×10 , 20×20 and 30×30 cm² respectively. in our study.

Using this tissue equivalent compensator, it can be got 2% difference of dose at same mid-plane in phantom study.

Key Words: 3-D compensator, tissue deficit, TL Dosimetry

서 론

이 론

정상조직에 도달될 불필요한 방사선 선량은 일반적으로 차폐체를 적절히 사용함으로써 제어될 수 있다. 그러나 두경부 조사나 경부를 포함한 mantle 조사법에서는 치료부위의 두께 차이로 경부에 비교적 높은 선량이 도달될 우려가 있다. 또한 耐容線量이 낮은 척수에는 방사선에 의한 손상을 초래할 수 있다.

방사선치료부위내 경사가 심한 인체에는 선속을 변형시켜 선량분포가 균등해지도록 wax, 프라스틱, 알루미늄 및 연판등으로 wedge 형태의 보상체를 사용하는 예가 많다^{1,2)}.

필자들은 Paraffin [70%]과 stearin wax [30%]를 혼합시켜 보상체 제작이 용이한 재질로 이용하고, 3-D compensator 제작 기구를 고안 제작하여 simulator의 collimator에 부착하고 보상체를 만들므로써 Beam의 각도, 조사부위에 구애됨이 없이 보상체 제작이 가능하도록 하였다.

고에너지 X선속내 phantom의 심부선량은 그 지점에 도달하는 일차선량과 collimator와 phantom내 발생된 산란선의 합으로 이루어진다. Fig. 1과 같이 동일한 선속에 3가지 다른 기하학적 위치에서 선량을 측정함으로써 조직결손에 대한 보상체의 두께가 결정되어 질수 있다³⁾.

Fig. 1 a는 water phantom의 선속 dm 깊이에서 측정된 선량을 나타내며, 이 선량은 dm 두께를 투과한 일차선량과 주위 물질에 의한 산란선으로 구성된다. Fig. 1 b는 선속내 d+t 만큼의 두께가 있을 때의 선량을 나타내며, 이 선량은 $\exp[-\bar{u}(d+t)]$ 만큼 감소되어진다. 여기서 \bar{u} 는 조사면의 크기, Phantom 두께 및 에너지에 대한 유효선흡수계수이다. Fig. 1 c는 Phantom 표면에 밀착된 부분t를 조직결손 두께라 했을 때 Phantom 표면으로부터 떨어져 있는 조직보상체의 두께 t'를 나타낸다. 한편 t'에 발생된 산란선은 측정지점에 상대적으로 적게 도달될 것이며, 일차선량은 $\exp[-\bar{u}(d+t')]$ 만큼 적게 나타나게 된다(Fig. 1 c).

* 본 논문은 1988년도 계명대학교 갑종연구비 및 동산의료원 조사연구비로 이루어 졌음.

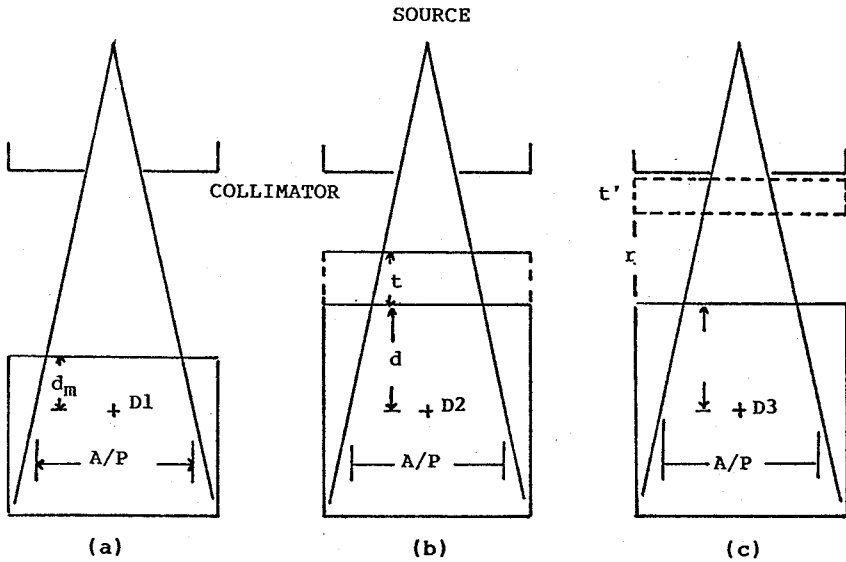


Fig. 1. Geometry of tissue deficit and compensator thickness.

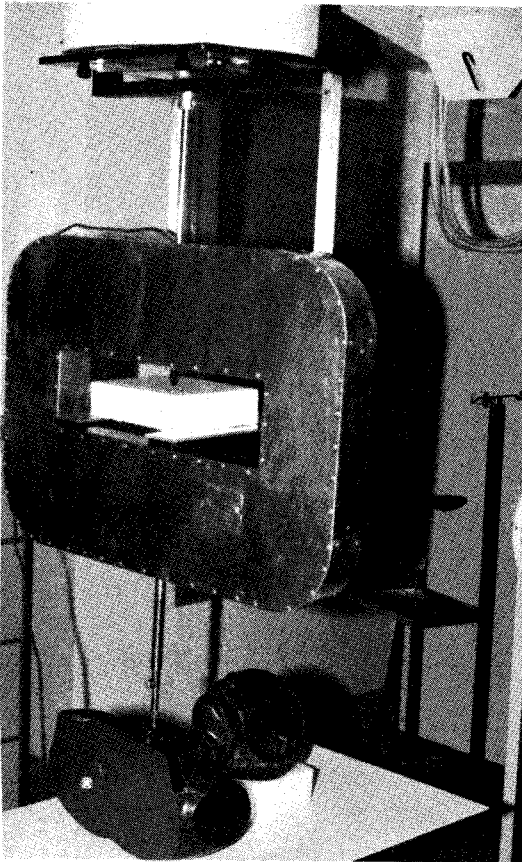


Fig. 2. Three-dimension compensator- device.

조직결손 두께를 밀착시키지 않는 것은 고에너지 X선의 피부보호 효과를 유지하기 위한 것이다. 따라서 보상체의 두께는 조직결손 부위가 밀착되어 있을 때의 선량과 Phantom에서 떨어져 있을 때의 선량이 동일하게 되어야 한다.

Fig. 1에서 D_1 에 대한 D_2 의 선량비 $D_2/D_1 = \text{TMR} [A, d+t]$ 로 나타낼 수 있고, 조직결손 두께에 대한 보상체 두께의 선량비 D_3/D_2 는 다음과 같이

$D_3/D_2 = \text{TMR} [A, d] \cdot \exp(-\bar{u}t') / \text{TMR} [A, d+t] - (1)$ 주어지게 된다. 여기서 A는 조사면적으로 면적/둘레 비이다.

또한 동일한 선량이 되기 위해서 (1) 식의 좌변은 1이 되어야 함으로

$\text{TMR} [A, d+t] = \text{TMR} [A, d] \exp(-\bar{u}t') - (2)$ 와 같이 변형될 수 있다. 여기서 TMR은 장비의 X선 에너지에 따라 측정된 자료를 이용할 수 있다.

한편 유효선흡수계수 \bar{u} 는 보상체의 재질과 방사선 에너지, 조사면의 크기 및 선원-보상체-피부간 거리에 따라 변한다¹⁻³⁾.

선원-보상체의 거리가 임상에서는 거의 일정하게 사용될 수 있음을 근거로 하면 보상체 두께는 조사면의 크기와 조직결손두께 및 종양깊이로 결정되어 질 수 있다. 즉 보상체 두께 t' 은 식 2로부터

$$t' = \ln (\text{TMR} [A, d] / \text{TMR} [A, d+t]) / \bar{u} - (3)$$

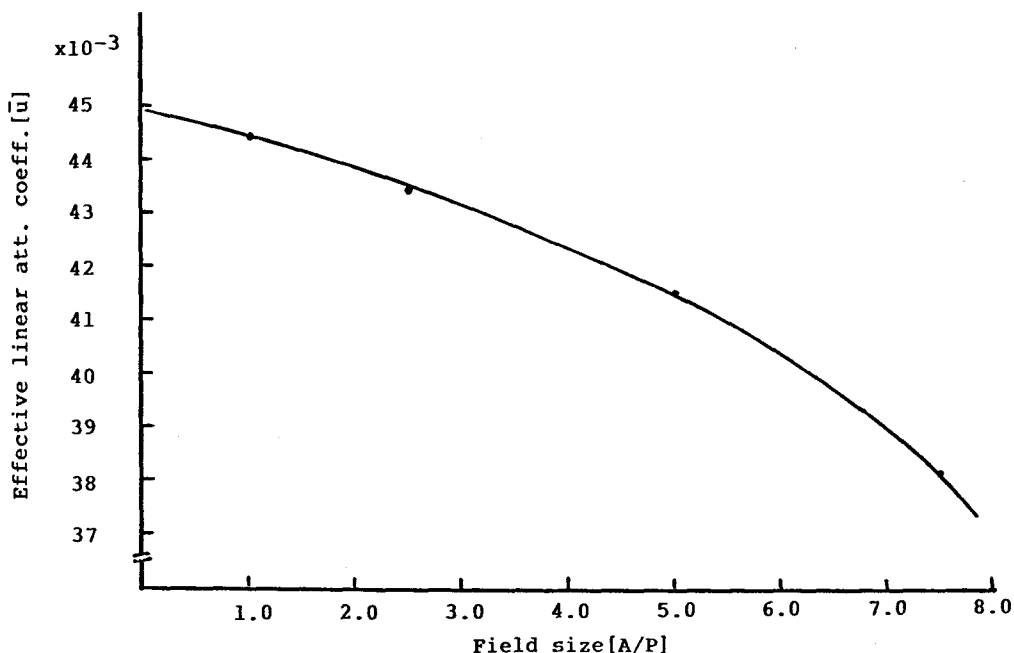


Fig. 3. Plot of effective linear attenuation coefficient of paraffin compound as function of field size.

이 되며 $\bar{\mu}$ 는 측정된 자료를 이용하여 오차를 줄이기 위해 다항식의 최소자승법에 의해 구해질 수 있다. 또 t'/t 를 특히 조직-보상체의 비라고 한다.

실 험

선원과 보상체 간의 거리를 일정하게 두고, 혼합 Paraffin (70% Paraffin, 30% stearin wax)의 두께에 따른 유효선흡수 계수 $\bar{\mu}$ 가 dm 깊이에서 측정된 자료로 구해졌고, 조사면의 크기와 측정된 자료로 구해졌고, 조사면의 크기와 측정지점의 깊이 d 에 따른 변화가 측정되었다. 조직보상체의 조직결손 두께에 대한 비 t'/t 는 6MV X 선의 TMR 표를 이용하여 식 3으로 구해졌다.

체표면의 굴곡에 따라 종양에 닿는 선량은 일차선과 collimator 및 체내에서 발생하는 산란선에 의한 영향을 받게 되므로, 조직보상체의 비는 조사면의 크기, 조직결손두께, 종양의 깊이 및 보상체-피부간 거리 등에 의해 달라질 수 있으므로 조사면의 크기를 4×4 , 10×10 , 20×20 과 30×30 cm²에서 조사되었으며, 종양의 깊이 3, 5, 7과 10 cm에서 결정되

었다.

필자들은 결정된 조직-보상체의 비가 조사면의 크기에 따라 조절될 수 있고 Anteroposterior, Lateral 조사에서도 손쉽게 보상체의 제작이 가능한 기구를 고안 제작하였다. 치료모의촬영 후 동일한 치료위치와 선속 방향에서 결손 조직을 보상해 줄 수 있도록 Fig. 2와 같이 simulator의 collimator에 지지체를 고정하고 입체보상체 제작이 가능하도록 하였다. 이때 보상체와 피부간 거리, 선원-보상체간 거리 등은 치료기기와 동일한 위치에 있다.

이 기구는 중심선속과 일치하는 위치에 styrofoam을 녹이는 전기인두와 이를 조직-보상체의 비 만큼 움직이게 하는 연동장치와 환자 체표면을 따라 상하로 이동하는 장치로 구성되어 있다. Humanoid phantom의 흉부에 방사선조사가 이루어질 때 경사가 심한 부위인 9번에서 13번 까지 동일한 깊이의 면에 LiF TLD(소자의 크기 $1\text{mm} \times 1 \times 6\text{mm}^3$ rod)를 삽입하고 보상체를 사용한 경우 선량분포가 측정되었다. TLD 소자에 의한 선량 평가는 조사전에 소자를 400°C , 1 hr 가열하고 24시간 상온에서 냉각하여 방사선 조사가 이루어지고 조사후 24 hr에 판독되었

다⁴⁾.

Phantom의 흉부에 조사된 선량은 Phantom slice No. 11의 1.5 cm dmax 깊이이 100 cGy이며 조사면의 크기는 24×16 cm²이었다.

결 과

Paraffin 70%와 stearin wax 30%의 비율로 혼합된 보상체 재질은 기포가 적고 신축성이 작으며 가공이 용이하였다. 측정용 혼합 Paraffin의 총 두께는 11.3 cm이었다.

선원과 보상체간 거리는 44 cm였으며, 조사 조건은 SAD 100 cm, 조사면의 크기 4×4, 10×10, 20×20 및 30×30 cm²이고, 보상체 두께에 따른 유효선 흡수계수 \bar{u} 가 구해졌다. Fig. 3은 조사면의 크기에 따른 Paraffin의 유효선흡수계수로 조사면이 커질수록 \bar{u} 가 작아짐을 보인다. 이 곡선은 non-linear polynomial fitting으로 구해졌으며, 조사면(A)에 대하여

$$\bar{u} = 0.0448 - 3.28 \times 10^{-4} A - 7.023 \times 10^{-5} A^2$$

를 얻게 되었다.

MEVATRON KD8067의 6 MV X선으로 부터 구해

Table 1. Tissue-Maximum Ratio [TMR] for 6MV X-rays of Mevatron 8067

F.S A/P depth cm	4x4 1.0	10x10 2.5	16x16 4.0	20x20 5.0	30x30 7.5
1.5	1000	1000	1000	1000	1000
2.0	988	995	996	997	997
3.0	957	971	974	976	982
4.0	928	951	956	957	964
5.0	904	927	936	938	945
6.0	865	900	910	913	926
7.0	832	872	885	890	905
8.0	797	838	858	866	880
9.0	764	809	836	842	859
10	728	778	805	816	834
12	667	720	755	768	789
14	610	665	705	721	743
16	558	616	655	674	699
18	513	569	607	625	656
20	468	525	564	582	614
22	429	483	521	537	573
24	393	445	484	498	533
26	361	411	447	469	500
28	332	380	414	433	467
30	303	348	381	399	433

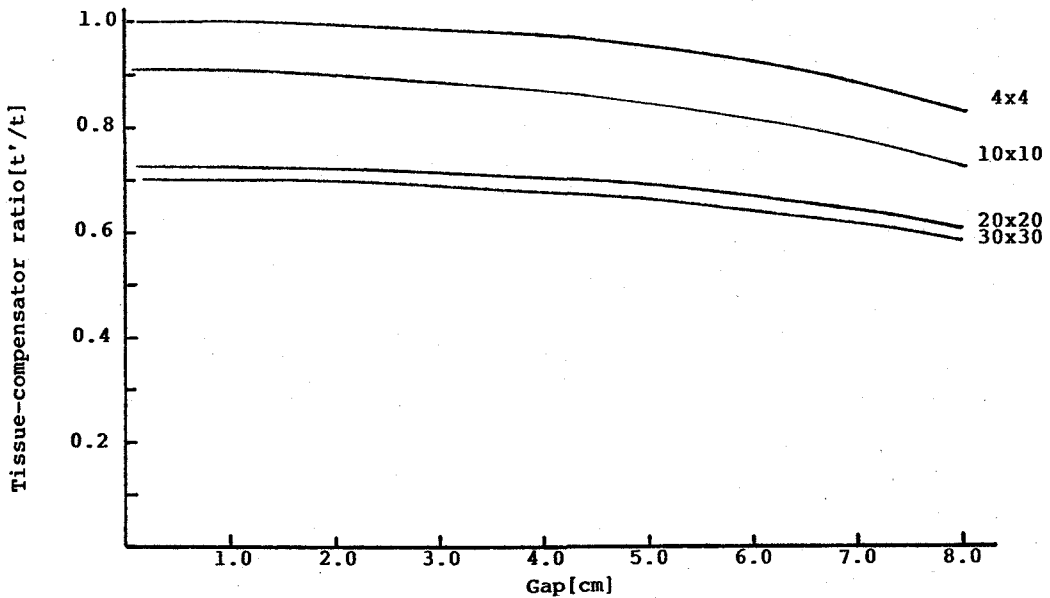


Fig. 4. Tissue-compensator ratio [t'/t] as function of tissue deficit [cm] on various field sizes, and reference depth 10 cm.

진 TMR 자료는 Table 1과 같다⁵⁾.

식 3을 이용한 조직결손 두께에 대한 조직-보상체의 비는 Fig. 4와 같다.

조직결손에 대한 보상체의 비가 조사면이 크고 결손조직의 두께가 클수록 작게 나타나고 있다. 이것은 조사면에서 발생된 산란선의 기여도가 크게 됨에 따라 t'에서 발생된 산란선이 심부에 적게 도달되고 조사면 바깥으로 산란되는 양이 많음을 의미하며, gap이 크게 되면 조직내에서 발생된 산란선보다 보상체에서 발생된 산란선이 많이 기여함으로 gap이 클수록 조직-보상체의 비는 작게 되는 것으로 생각된다.

또한 조직-보상체 비는 reference depth에 따라서도 Fig.4와 같이 달라짐을 보였다. Fig.5는 reference depth가 3,5,7,10 및 13 cm일때 각 gap에 따라 구해진 평균 조직-보상체의 비를 보여 준다. 여기서 조직-보상체의 비가 얇은 깊이에서 작게 나타나는 것은 곧 보상체에서 발생된 산란선이 많이 기여함을 보여 주고 있다.

이와 같이 조직-보상체의 비가 조사면, 측정깊이 및 조직결손 두께에 따라 달라지므로 필자들은 각 조사면의 크기와 중앙깊이 3~13 cm를 기준으로 조직

결손에 대한 보상체의 비를 산출하고 최적 값을 결정하였다. 조사면 4×4, 10×10, 20×20 및 30×30 cm²에 대한 조직-보상체의 비는 각각 0.79, 0.73, 0.61과 0.56으로 결정되었다⁶⁾.

Fig. 6은 Humanoid Phantom의 상흉부에 20×16 cm² 조사면을 위한 입체 조직보상체이다. 조사면 중심에서 air gap이 3.5 cm였고 경부에는 7.0 cm이었고, 보상체의 두께는 각각 2.1, 4.3 cm이었다.

Fig. 7은 Humanoid phantom에 LiF TLD chip을 삽입하고 dmax에 A-P one portal로 100 cGy를 조사할 때, RTP 컴퓨터에 의한 선량분포와 point dose이며, Table 2는 LiF TLD에 의한 각 점의 선량을 나타낸다. 보상체를 사용하지 않을 때 10%의 선량 차이를 보이고 있으나, 보상체를 사용한 경우 선량은 2%이내 균등분포를 보여 주고 있다.

고 찰

X선 중심축에 대하여 인체표면의 경사, 굴곡 및 조사부위의 두께 차이 등은 불균등한 선량분포를 초래하게 된다. Mantle 조사법에서는 중심 선속이 중

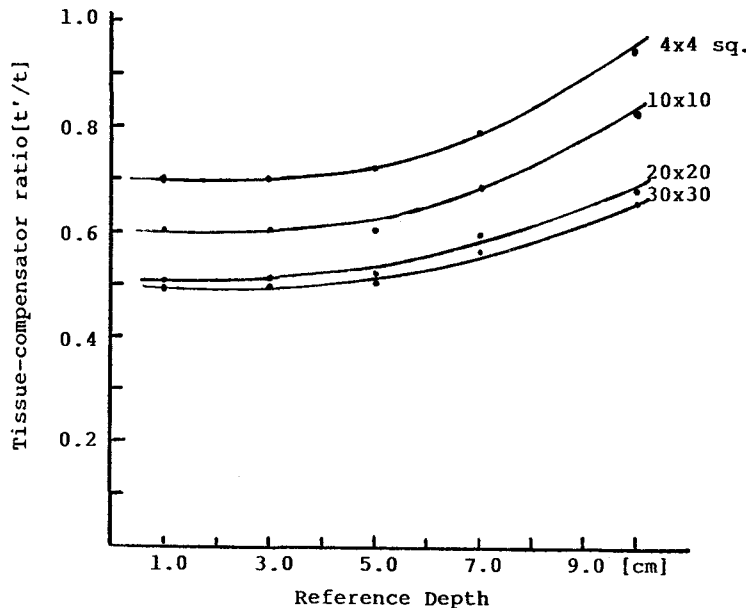


Fig. 5. Average tissue-compensator ratio [t'/t] as function of tumor depth and field sizes.

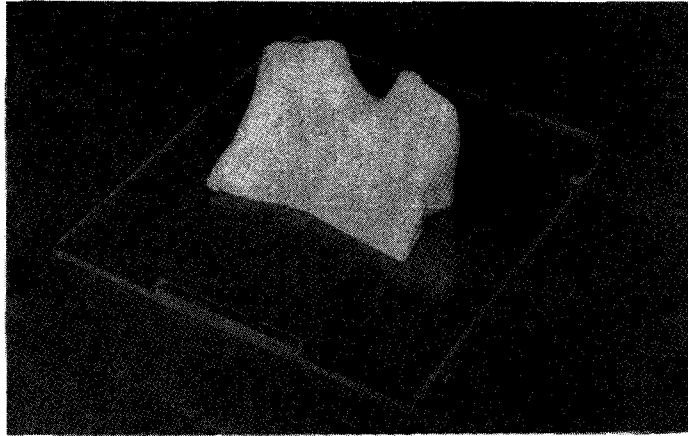


Fig. 6. Showing the three-dimension tissue equivalent compensator.

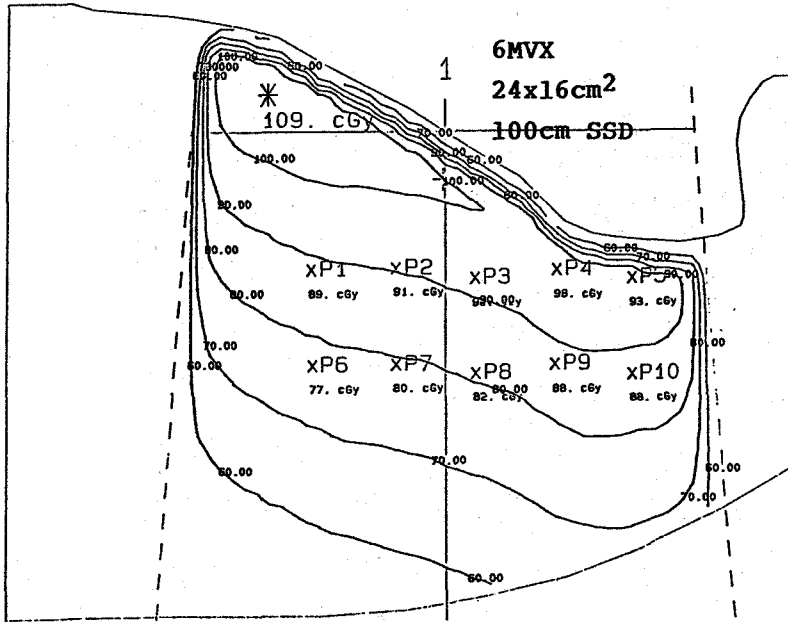


Fig. 7. Showing the dose distribution of 6MV X-rays without compensator and point doses of same plane.

격동에 위치하게 되며, 두께가 비교적 얇은 경부에도 조사되어지므로 Two opposing portals시 경부에는 중심선속에 비해 약 10~15% 높은 선량이 도달되어짐을 Fig. 7로 알 수 있었다.

한편 선량분포를 균등히 하기 위하여 air gap에 Bolus를 사용함은 고에너지 X선의 피부보호효과를 잃게 되며, 또 체표면에 고루 부착되어야 하는 일이

필요하다.

일반적으로 납, 일루미늄 등 금속체나 플라스틱 등으로 조직결손 두께에 해당되는 filter를 사용함으로써 균등선량을 얻을 수 있다⁷⁾.

필자들은 Paraffin 70%와 stearin wax 30%를 혼합하여 조직등가 보상체의 재질로 이용하고 입체적인 보상체를 만들고자 하였다.

Table 2. TLD Measurements with/without compensator for Humanoid Phantom Study in 6MV X-rays. Predict Dose, without Compensator, was Derived from RTP Point Dose [cGy]

Point valid	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
Predict dose	89.0	91.0	93.0	98.0	930
without comp.	86.4 ± 4.0	91.8 ± 4.2	93.0 ± 3.0	99.3 ± 2.5	94.6 ± 2.3
with comp.	89.1 ± 1.0	88.5 ± 3.3	90.5 ± 2.5	89.9 ± 3.1	90.6 ± 2.4

Point valid	P ₁	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
Predict dose	77.0	80.0	82.0	88.0	88.0
without comp.	75.8 ± 2.8	81.2 ± 1.6	83.2 ± 2.9	85.8 ± 2.1	86.0 ± 3.1
with comp.	79.1 ± 3.0	79.7 ± 1.5	79.8 ± 3.8	79.0 ± 3.2	80.6 ± 1.0

선속변형을 위한 보상체 제작의 중요인자는 조직-보상체의 비이며, 보상체가 체표면에서 떨어져 있는 경우 부착되어 있을 때 보다 측정지점에 도달되는 산란선의 기여가 줄게 되어 그 비는 항상 1보다 작아진다⁸⁾.

조직-보상체의 비는 조사면의 크기, 측정지점의 깊이, 보상체의 위치(retraction distance)에 따라 달라진다. D.M. Robinson등은 6 MV X 선을 사용하였을 때, 조사면 10×10, depth 4 cm, polystyrene 7 cm 두께를 retraction distance 26 cm 에 둔 것이 Phantom 표면에 부착되었을 때에 비하여 약 91%로 선량감소를 보여 주었고, 깊이가 클 수록 그 차이는 감소되고 있음을 나타내었다. 이것은 깊이가 클 수록 보상체에서 발생된 산란선 보다 phantom 주위의 산란선이 더 많이 기여됨을 의미한다.

본 연구에서 구해진 조직-보상체의 비는 조사면이 커질 수록 작아졌고, 보상체에서 발생된 산란선의 기여가 큰 것을 알 수 있었다. 한편 깊이가 클수록 조직-보상체의 비가 커져 인용된 문헌 발표와 일치하는 경향을 보여 주었다.

제작된 입체 Paraffin 보상체를 사용한 1문선속의 TLD 선량평가는 동일 plane에서 불과 2% 차이를 보여 주고 있어 균등한 선량분포를 이루고 있음을 알 수 있었다.

결 론

Stearin wax 30%와 Paraffin 70%를 혼합한 재료로 입체 보상체를 제작하여 조사면내 굴곡진 부위의

종양에 균등한 선량분포를 얻고자 하였다.

조직-보상체의 비는 보상체 재질의 방사선 흡수계수와 TMR Table을 이용하여 구해질 수 있었으며, 그 비는 조사면, 조직결손 두께(air gap) 및 깊이에 따라 차이가 있으나 10×10 cm²에서는 0.73, 20×20 cm²에서는 0.61이 최적조건으로 결정되었다. 이에 따라 3-dimension 조직-보상체 제작기구는 이 비를 유지할 수 있도록 고안되었다.

본 연구에서 고안된 보상체 제작기구는 simulator의 collimator에 설치됨으로써 환자체위와 Beam angle에 구애됨이 없이 beam axis에서 3-dimension 보상체를 제작할 수 있으므로 임상적용이 매우 용이 할 것으로 보여진다.

제작된 조직보상체를 사용하여 ±2% 이내의 균등 선량을 얻을 수 있었으며, 중심선속의 예상 심부선량에 비해 약 2.5% 적은 것은 최적조건으로 선택 결정된 조직-보상체의 비와 실험오차에 기인된다고 생각되지만 1σ의 표준편차 범위에 들어감으로 임상적용에 무리가 없을 것으로 사료된다.

고에너지 X 선 치료에서는 조직과 air에 대한 방사선흡수차가 비록 low energy X 선 보다 비교적 적다고 생각되어지지만, 임상에서 상흉부 또는 경부에 two opposing portals로 조사되는 경우 neck 또는 submental 부위에는 많은 선량이 도달되어 radiation에 의한 edema등 부작용을 초래하거나, 이를 피하려고 할 때 종양에 충분한 치유선량을 줄 수 없는 경우가 흔히 나타난다.

필자들이 고안한 3-Dimension compensator는 임상 적용이 용이하고 균등한 선량을 줄 수 있어 조사

면내 얇은 부위에 나타날 수 있는 방사선 부작용을 현저히 감소 시켜 줄 수 있을 것으로 확신된다.

REFERENCES

1. **Saylor WL, Thomas MS, Ames E:** Dosage calculations in radiation therapy, univ. of North Carolina at chapel Hill school of Medicine. urban & Schwarzenberg. Baltimore Munich 32-34, 1979
2. **Khan FM, Vaughn C Moore, Dennis J Burns:** The construction of compensators for Cobalt Teletherapy, Radiology 96:187-192, 1970
3. **Robinson DM, Scrimger JW:** Megavoltage photon beam dose reduction with retracted tissue compensators, physics in Medicine and biology, 32(8):1031-1038, 1987
4. **Cameron JR, Suntharalinam N, Kenney GN:** Thermoluminescent Dosimetry. The University of Wisconsin Press. 131-149, 1968
5. **Burns JE:** Definition of Tissue-Air Ratio, Central axis depth dose data for use in radiotherapy; BJR supp 17, London, 137-141, 1983
6. **Khan FM:** The physics of Radiation Therapy; Tissue compensation, Williams & Wilkins, Baltimore/London 261-266, 1984
7. **Shragge PC:** Improved method for the design of tissue compensators, Med Phys 8(6), Nov/Dec 885-890, 1981
8. **Sewchand W, Bauto N, Scott RM:** Basic data on tissue-equivalent compensators for 6 MV X-rays, Radiation on cology Biol Phys vol 6, 327-332, 1980