두경부암 치료를 위한 6 MV X-선 산란판의 제작과 산란분포 측정

이화여자대학교 의과대학 치료방사선과, 연세대학교 의과대학 치료방사선과학교실*

이 경 자 · 추 성 실*

= Abstract =

Skin Dose Distribution with Spoiler of 6 MV X-ray for Head and Neck Tumor

Kyung-Ja Lee, M.D. and Sung Sil Chu, Ph,D*

*Department of Therapeutic Radiology, College of Medicine, Ewha Womans University, *Younsei University, Seoul, Korea*

Purpose : This study was performed for adequate irradiating tumor area when 6 MV linear accerelator photon was used to treat the head and neck tumor. The skin surface dose and maximum build-up region was measured by using a spoiler which was located between skin surface and collimator.

Methods : A spoiler was made of tissue equivalent material and the skin surface dose and maximum build-up region was measured varing with field size, thickness of spoiler and interval between skin and collimator. The results of skin surface dose and maximum build-up dose was represented as a build-up ratio and it was compared with dose distribution by using a bolus.

Results : The skin surface dose was increased with appling spoiler and decreased by distance of the skin-spoiler separation. The maxium build-up region was 1.5 cm below the skin surface and it was markedly decreased near the skin surface. By using a 1.0-cm thickness spoiler, Dmax moved to 5, 10.2, 12.3 13.9 and 14.8 mm from the skin surface by separation of the spoiler from the skin 0, 5, 10, 15, 20 cm, respectively.

Conclusion : The skin surface dose was increased and maximum build-up region was moved to the surface by using a spoiler. Therefore spoiler was useful in treating by high energy photon in the head and neck tumor.

Key Words : Skin dose, Spoiler, Markus chamber

서 론

근래에는 선형가속기를 이용한 6-10 MV의 고에너지 광자선을 사용하여 방사선치료를 시행함에 따라 피부나 표면조직의 손상을 주지 않고 심부에 있는 악성종양에 고선량을 줄 수 있는 장점을 갖게 되었다. 이런 장점은 고에너지의 광자선은 깊이에 따라 선량이 서서히 감소되어 심부에 고선량을 줄 수 있으며, 또한 고에너지의 광자선은 증가된 전도(transmission)에 의

본 논문은 1996년 11월 20일 접수하여 1996년 12월 24일에 채택되었음.

한 이차산란 전자(recoil electron)가 증가되어 얻을 수 있기 때문에 피부보호작용이 있다. 그러나 피부종양 또는 피부주위의 종양이 피부를 밀고나온 종양을 치료할 경우에는 고에너지 광자선의 피부보호작용으로 인하여 종양부위에 불충분한 선량이 조사됨에 따라 만족할 만한 치료성과를 얻을 수 없게 된다. 이런 문제를 해결하기 위하여 많은 방법이 사용하게 되었으며 가장 간단한 방법은 조직등가물질의 볼루스를 사용함으로써 조직표면에 고선량이 되도록 한다. 그러나 이런 볼루스 사용방법은 표면에 위치한 종양에는 고선량을 줄 수 있으나 피부보호작용이 없어지는 단점이 있게 된다. 따라서 볼루스를 사용하는 경우에는 2일 또는 3일 간격으로 사용하여 피부의 선량을 감소할 수 있겠으나 표면조직의 매일 분할선량(fraction size)의 변동을 주게 된다. 따라서 표면조직의 선량은 변화시키고 피부보호작용을 얻을 수 있는 산란판(spoiler)을 사용하게 되었으며 산란판은 선량측정을 하여 표면의 선량을 증가시키고 임상적인 상황에 따라 표면선량을 변화시킬 수 있는 장점이 있다[1-4]. Nilssson[5]은 Fermi-Eyges Multiple scattering이론을 이용하여 고에너지 광자선의 filter에서 생성된 이차산란 전자로 부터 표면선량을 계산하였다. 이 계산에 의하면 filter에서 생성된 전자로 부터 표면선량은 조사야 크기, 광자선의 에너지, 원자번호와 filter의 두께, 피부로 부터 filter간의 거리에 따라 좌우된다고 하였다. 그러나 산란판을 사용하여 build-up 부위에서의 선량계산은 임상적인 치료계획 algorithm에서 이루어지지는 않았다.

이화여자대학 의과대학 부속병원에서는 6 MV의 심부치료용 가속기가 설치 운영되고 있으며 고에너지 x-선속을 산란시킬 수 있는 방사선 산란판을 제작하고 이를 이용하여 조직의 표면선량과 최대선량지점을 조절함으로써 두경부암, 피부암 등 피부표면에 근접된 종양에 균일한 선량을 부여하여 방사선치료효과를 높이고자 하였다.

대상 및 방법

피부면의 선량을 조절하기 위한 방법으로 가속기의 콜리메터와 피부간에 산란판을 설치하고 이를 이동시키면서 피부면과 피부하 깊이까지 선량을 측정하였다. 산란판은 조직등가물질인 폴리스틸렌판을 사용하였으며 두께 0.5, 1.0, 1.5 cm, 면적이 각각 10×10 cm^2, 15×15 cm^2로 여러개의 산란판을 제작하고 산란판과 피부간의 거리를 0-30 cm까지 조절할 수 있는 특수 트레이를 제작한 후 이를 가속기의 콜리메터 앞에 단단하게 탈착할 수 있도록 고안하였다.

고에너지 x-선 발생장치는 직선형 가속기(NELAC X1006, Japan)로서 최대 에너지가 6 MV이고 타게트와 회전중심간의 거리는 80 cm, 콜리메터와 피부간의 거리는 40 cm, 최대 조사면은 32×32 cm, 최대선량

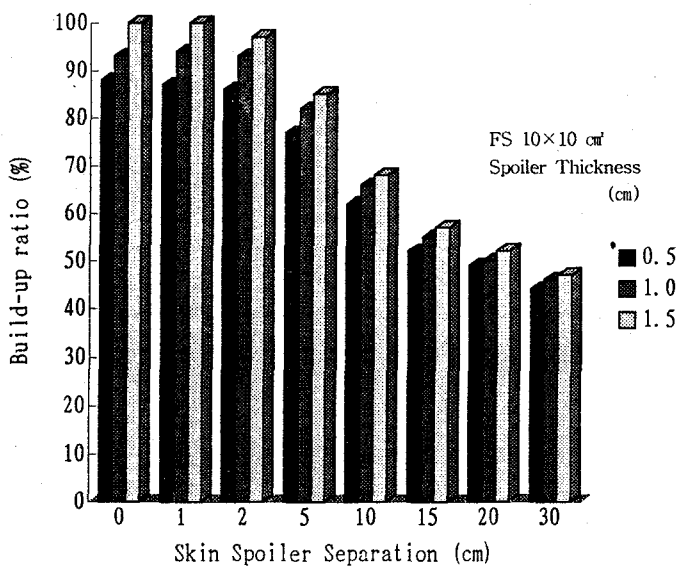

Fig. 1. Change of skin doses(2mm depth) by spoiler thickness.

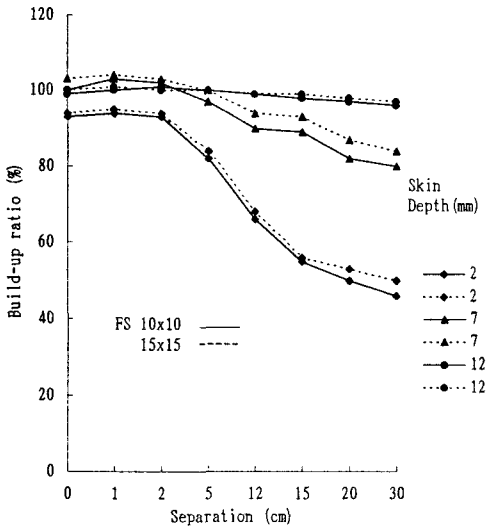

Fig. 2. Change of depth dose with 0.5 cm thickness spoiler.

율은 분당 350 cGy으로 하였다.

피부의 선량은 임상적으로 피부반응이 발생되는 피부표면하 2 mm지점으로 정하였으며 피부표면 선량측정은 얇은 평판형 이온함(Parallel shallow chamber, Markus, PTW)을 이용하였으며 조직등가 물질인 폴리스틸렌 팬텀내에 삽입하여 전하 계측기(Radcon 500)로 원격 측정하였다.

각각의 조사면, 산란판의 두께 및 피부와의 간격에 따라 피부표면의 선량과 최대선량지점의 변화를 측정하였다. 측정결과는 최대선량 대 표면선량비율(BUR^{-1}, Inverse build-up ratio)로 표시하였으며 불균등 표면보상에 사용하는 조직등가 볼루스에 의한 선량분포변화를 측정하고 산란판과 상호 비교검토 하였다.

결 과

1. 피부선량의 측정

6 MV x-선 선형가속기와 피부사이에 선란판을 설치하였을 경우 피부선량이 증가되었으며 산란판의 위치와 두께에 따라 피부선량이 변화하였으며 최대선량지점도 피부표면쪽으로 이동하였다(Fig. 1). 피부표면의 선량은 임상적 피부반응이 발생되는 피부하 2 mm 깊이의 선량으로 결정하고 0.5 cm두께인 산란판을 사용하였을 경우 피부와 산란판간의 거리가 0, 5, 10, 15, 20 cm으로 이동하였을때 각각 88, 77, 62, 52, 49% (BUR^{-1})로 감소되었다(Fig. 2).

Table 1. Doses(BUR^{-1}) as Depth, Field Size and Separation for 0.5 cm Thickness Spoiler

Field size (cm)	10×10			15×15		
	Depth(mm)					
Separation (cm)	2	7	12	2	7	12
0	88	98	100	90	99	103
1	87	96	101	89	100	103
2	86	94	101	88	98	102
5	77	92	99	80	96	101
10	62	86	98	65	90	100
15	52	84	97	55	88	100
20	49	80	96	53	83	99
30	44	77	95	48	81	98

Table 2. Doses(BUR^{-1}) as Depth, Field Size and Separation for 1.0 cm Thickness Spoiler

Field size (cm)	10×10			15×15		
	Depth(mm)					
Separation (cm)	2	7	12	2	7	12
0	93	100	99	94	103	100
1	94	103	100	95	104	101
2	93	102	101	94	103	100
5	82	97	100	84	100	100
10	66	90	99	68	94	99
15	55	89	98	56	93	99
20	50	82	97	53	87	98
30	46	80	96	50	84	97

Table 3. Doses(BUR^{-1}) as Depth, Field Size and Separation for 1.5 cm Thickness Spoiler

Field size (cm)	10×10			15×15		
	Depth(mm)					
Separation (cm)	2	7	12	2	7	12
0	100	99	98	103	100	98
1	100	99	99	104	99	99
2	97	100	99	102	99	99
5	85	99	98	88	98	100
10	68	92	98	72	96	100
15	57	91	98	61	95	99
20	52	83	97	56	86	99
30	47	81	97	51	82	99

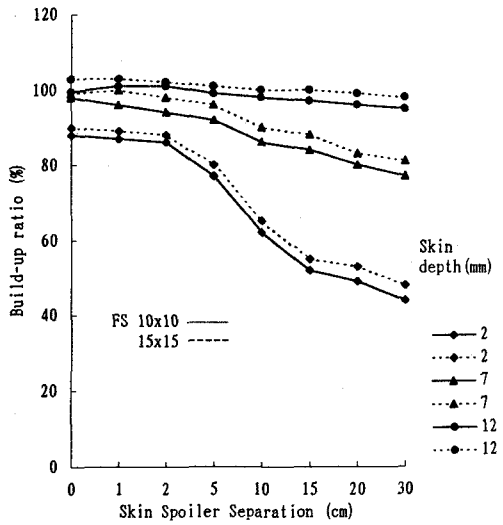

Fig. 3. Change of depth dose with 1.0 cm thickness spoiler.

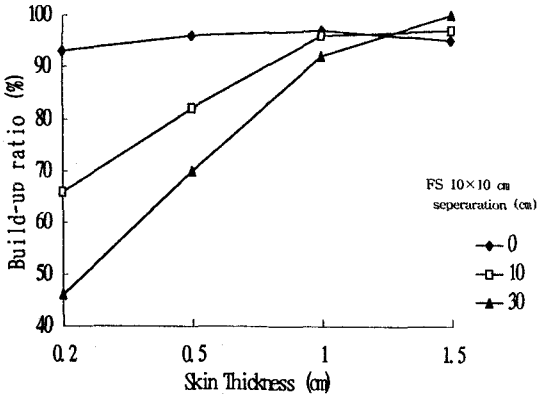

Fig. 4. Dmax shift by spoiler thickness.

Table 1, 2, 3은 산란판두께 5, 1.0, 1.5 cm에 따라 피부 및 피하지점의 선량을 산란판과 피부간의 거리를 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 cm로 증가시켰을때의 측정값으로서 산란판 1.5 cm이상, 피부하 7 mm이상에서는 큰 변화가 없었다.

1 cm두께의 산란판을 사용하였을때 피부표면하에서의 선량은 산란판과 피부간의 간격에 따라 변화하며 피부반응의 지점인 2 mm 깊이에서의 선량은 93%에서 46%로 상당히 많이 변화시킬 수 있으며 7 mm 깊이에서는 100%에서 80%, 12 mm 깊이에서는 99%에서 96%로 선량변화 폭이 적었다(Fig. 3).

Table 4. Dmax Shift for Spoiler Thickness

Thickness(cm) / Separation(cm)	0.5	1.0	1.5
0	10.0 mm	5.0 mm	0 mm
1	11.0 mm	6.6 mm	3.0 mm
2	11.8 mm	7.8 mm	4.5 mm
5	13.0 mm	10.2 mm	8.0 mm
10	14.0 mm	12.3 mm	11.1 mm
15	14.5 mm	13.9 mm	13.2 mm
20	14.9 mm	14.8 mm	14.8 mm
30	15.0 mm	15.0 mm	15.0 mm

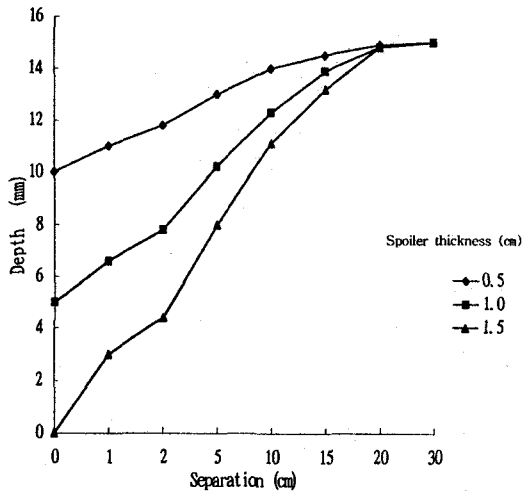

Fig. 5. Change of build-up curve for skin-spoiler separation with 1.0 cm thickness spoiler.

2. 최대선량지점의 측정

에너지 6 MV의 x-선속은 피부하 1.5 cm 깊이에서 최대선량이 투여되며 피부쪽으로는 선량이 급히 감소되기 때문에 1 cm두께의 산란판을 사용하였을 경우 피부간의 거리가 0, 5, 10, 15, 20 cm로 증가하였을때 최대선량지점은 피부 표면으로부터 5, 10.2, 13.9, 14.8 mm로 증가되었다(Fig. 4).

Table 4는 산란판의 두께가 0.5, 1.0, 1.5 cm에서 산란판과 피부간의 거리를 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 cm로 증가시켰을때 조직내 최대선량지점은 피부표면에서 부터 점점 증가하였으며 산란판두께가 1.5 cm일때 가장 큰 폭으로 변화하였다.

산란판두께 1.0 cm이고 산란판과 피부간의 간격이 0, 10, 30 cm일때 피부근방의 심부율로서 간격이 클수록 피부선량은 감소되지만 최대선량지점은 피부표면에서 부터 점점 증가하였다(Fig. 5).

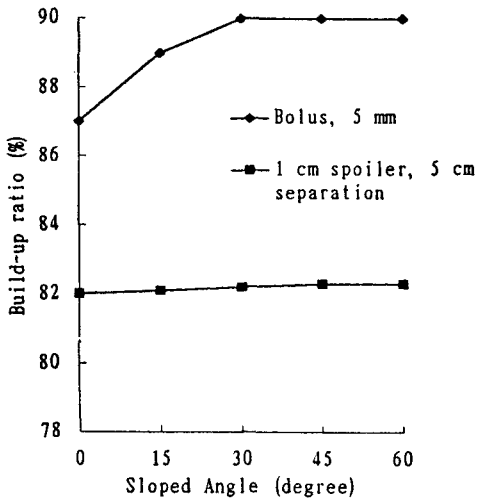

Fig. 6. Change of skin dose by skin slope with 1.0 cm thickness spoiler and 5 mm bolus.

3. 경사피부선량의 조절

산란판과 피부면이 일정한 각으로 경사를 이루고 있을때의 산란판에 의한 피부의 선량 증가는 경사각 0, 15, 30, 45, 60도에서 거의 변화가 없었고(Fig. 6), 피부의 굴곡이나 옆면의 선량은 피부간의 간격에 따라 60-95%(BUR^{-1})로 선량변동오차가 심하였고 굴곡이나 옆면의 선량은 볼러스의 두께에 관계없이 90-100% (BUR^{-1})의 많은 선량이 측정되었다.

4. 임상응용

후두암이 진행되어 경부임프절에 전이되어 피부까지 6 MV x-선으로 치료하여야 할 환자에서 1 cm의 산란판을 피부에서 10 cm 거리에 위치함으로써 피부를 최대한 보호하면서 종양에 균일하게 만족한 선량을 부여할 수 있었다.

고 찰

체외 방사선치료의 시작은 x-선 심부치료기(400 kVp)또는 Cs-137원격치료기(662 keV)등을 사용하였으며 저에너지 치료기의 결점은 피부선량증가와 낮은 심부율때문에 종양치료보다 피부손상에 의한 합병증이 크게 문제가 되어 왔다. 최근 방사선치료의 발달에 따라 megavolt이상의 고에너지 x-선을 선호하고 이는 고에너지 x-선의 전방산란 현상에 의한 피부보호 효과가 커서 체내의 심부에 있는 악성종양 치료에 상당한 이익을 주기 때문에 고에너지 가속기의 설치가 보편화 되고 있다.

Leung 등[6]은 cobalt 60 원격치료장치에서 피부표면선량이 평균 65%로 측정보고 하였으며, Purdy 등[7]은 6 MV 선형가속기에 대한 피부 및 통과선량측정에서 피부선량이 50%로 감소한다고 보고하였으며 그외 많은 연구자들이 고에너지 치료기의 피부보호에만 중점을 두었다. 그러나 피부 또는 피부근방에서 발생하여 종양이나 피부를 밀고 밖으로 튀어나오는 종양치료에는 피부근방의 선량이 적을경우 만족할 만한 치료성과를 기대할 수 없다. 특히 두경부에 발생되는 림프종등은 체표면굴곡과 겹쳐 피부 및 최대선량지점의 선량을 최적 조건으로 조절할 수 있어야 한다[8-10]. 그러나 연구소마다 저에너지와 고에너지등 여러기종의 가속기를 설치하기에는 재정상 문제가 많고 택일할 경우 고에너지 가속기의 설치가 불가피하다. 따라서 이러한 피부 및 체표면의 선량을 높이기 위하여 산란판을 사용하게 되었다.

McKenna 등[11]은 polysthylene plate와 beam spoiler는 고에너지의 광자선을 사용할 경우 build-up 부위의 선량에 변화를 일으킨다고 하였다. 많은 연구발표에 의하면 조사야의 크기가 클수록, 산란판과 피부간의 거리가 짧을수록 build-up 부위의 선량이 증가된다고 하였다[5, 12]. Monte Carlo simulation에서 산란판으로부터의 이차산란 전자는 광자선의 에너지와 관계가 있으며, 상대적으로 조사야의 크기와 산란판의 두께와는 관계가 없고 산란판과 표면간의 거리와는 약간 관계가 있다고 하였다. 이차산란 전자의 표면선량에 대한 영향은 조사야의 크기와 산란판의 두께가 커질수록 표면선량이 증가된다. 이 실험에 따르면 두경부종양의 치료에서는 산란판과 피부간의 거리는 5-15 cm가 가장 적당하다고 하였다.

본원에서는 6 MV 선형가속기 1대를 설치하여 흉부와 복부의 심부에 위치한 악성종양에 사용되고 있으나 피부암, 두경부암, 악성림프종 등 피부근방에 발생하는 종양에는 피부근방의 선량을 증가시킬 수 있는 방법이 필요하였으며 따라서 저자들은 x-선속을 산란시킬 수 있는 방사선 산란판을 제작하고 이를 이용하여 조직의 표면선량과 최대선량지점을 측정, 조절함으로써 두경부암, 피부암 등 피부표면이 근접된 종양에 균일한 선량을 부여하여 방사선치료의 효과를 높이고 있다.

결 론

흉부, 복부, 골반내에 존재하는 종양치료에는 심부율이 높고 피부보호가 큰 고에너지 광자선을 사용하는 것이 바람직하며, 두경부암, 피부암, 피부를 밀고나온 림프종, 전이암 등은 피부에 근접한 부위를 포함하여 치료가 될 수 있는 1-4 MV 에너지의 광자선이 바람직하다. 그러나 6 MV 이상의 고에너지 x-선을 이용하여 두경부암을 치료할때는 피부표면의 선량을 계획된 선량으로 증가시켜야 할 경우가 종종 발생한다. 이와 같은 상황에서는 산란판을 이용하며 산란판은 조직내에서 발생되는 이차 산란 전자를 피부표면 앞에서 발생시킴으로서 피부의 선량이 증가되며 최대선량지점을 피부표면으로 이동시킬 수 있어서 피부근방에 발생된 종양에 균일한 선량을 부여할 수 있다.

피부표면의 선량을 최대로 높일 수 있는 볼러스는 조직 표면의 굴곡이나 옆면에서 선량변화의 조절이 불가능하지만 산란판은 피부간의 간격을 조절함으로서 피부선량을 단계적으로 변화시킬 수 있고 굴곡이나 옆면의 선량도 조절할 수 있었다.

산란판은 이와같이 임상적 효과뿐만 아니라 제작과 임상사용이 간단하고 편리하며 피부선량을 계획한 만큼 조절할 수 있기 때문에 방사선치료 성과를 향상시킬 수 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. **Chu JCH, Coia LR, Aziz D, Stafford PM.** Dose to superficial node for patients with head and neck cancer treated with 6 MV and ^{60}Co photon. Radiother Oncol 1991; 21:257-260
2. **Doppke K, Novack D, Wang CC.** Physical consideration in the treatment of advanced carcinomas of the larynx and pyriform sinus using 10 MV x-rays. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1980; 6:1251-1255
3. **Khan FM, Moore VC, Levitt SH.** Effect of various atomic number absorbers on skin dose for 10 MeV x-rays. Radiolgy 1973; 109:209-212
4. **Kubo H, Russel MD, Wang CC.** Use of 10 MV spoiled x-ray beam for treatment of head and neck tumor. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1982; 8:1795-1798
5. **Nilsson B.** Electron contamination from different materials in high energy photon beam. Phys Med Biol 1985; 301:139-151
6. **Leung PMK, Sontag MR, Maharaj H, Chenery S.** Dose measurements in the buildup region for Co-60 therapy units. Med Phys 1976; 3:169-172
7. **Purdy JA.** Buildup surface dose and exit dose measurements for a 6 MeV linear acclerator. Med Phys 1986; 13:259-262
8. **Fiorino C, Cattaneo GM, et al.** Skin dose measurements for head and neck radiotherapy. Med Phys 1992; 19:1263-1266
9. **Gerber RL, Marks JE, Perdy JA.** The use of thermal plastics for immobilization. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1992; 8:1461-1462
10. **Wishko D, Lewinsky B.** Measurements of surface dose with one, two or three layers of lightcast. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1977; 2:363-365
11. **Mckenna MG, Chan XG, Altschuler MD, Block P.** Calculation of the dose in the build-up region for high energy photon beam. Treatment planning when beam spoiler are employed. Radioth Oncol 1995; 34:63-68
12. **Wu A.** Effects of an acrylic resin tray on relative surface doses for 10 MV x-ray beams. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1980; 6:1257-1260

국문초록 =

두경부 치료를 위한 6 MV x-선 산란판의 제작과 산란분포 측정

이화여자대학교 의과대학 치료방사선과, 연세대학교 의과대학 치료방사선과교실*

이 경 자 · 추 성 실*

목 적 : 6 MV x-선의 선형가속기를 이용하여 두경부종양환자를 치료시에 피부표면의 종양에 균일한 선량을 부여하기 위하여 조직등가물질로 산란판을 제작하여 산란판의 두께와 위치에 따라 조직의 표면선량과 최대선량지점을 측정하였다.

방 법 : 조직등가물질인 폴리스틸렌으로 산란판을 제작하여 가속기의 콜리메터와 피부사이에 부착하여 조사면, 산란판의 두께 및 피부와의 간격에 따라 피부표면 선량과 최대선량지점을 측정하여 측정결과는 최대선량 대 표면선량비(BUR-1)로 표시하였으며 불균등 표면보상에 사용하는 조직등가 볼러스에 의한 선량분포변화를 측정하여 산란판과 비교하였다.

결 과 : 6 MV x-선 선형가속기와 피부사이에 산란판을 설치하여 피부선량이 증가되었으며 산란판의 위치에 따라 피부선량이 변화되었고 최대선량지점은 피부표면쪽으로 이동하였다. 최대선량지점은 피부하 1.5 cm 깊이에서 최대선량이 투여되고 피부쪽으로 선량이 급속히 감소되어 1 cm 두께의 산란판을 사용한 경우 피부간의 거리가 0, 5, 10, 15, 20 cm로 증가하였을때 최대선량지점은 피부표면으로 부터 5, 10.2, 12.3, 13.9, 14.8 mm로 증가되었다.

결 론 : 6 MV x-선을 이용하여 두경부종양을 치료할 경우 산란판을 이용하여 이차산란전자를 피부표면 앞에서 발생시킴으로써 피부의 선량이 증가되어 최대선량지점은 피부표면으로 이동시킴으로써 종양부위에 균일한 선량을 부여시킬 수 있었다.