

조사면 경계 밖의 주변 선량분포에 관한 고찰

서울대학교병원 치료방사선과

안희용 · 최병돈 · 박진홍 · 최계숙

I. 序 論

방사선이 암치료에 쓰이게 된 이후 방사선 치료분야는 꾸준한 발전을 거듭하여 오늘날에는 악성종양의 치료에 있어서 확고한 위치에 서게 되었다.

현재에는 백만볼트 이상의 고에너지 전리방사선을 암치료에 이용하므로써 치료성적이 크게 향상되었을 뿐 아니라 각종 암환자의 생존율도 매우 높아졌다.

그러나 방사선 치료를 시행함에 있어서 조사면을 벗어나는 1차 산란선 및 물질과의 상호작용으로 인한 2차선들은 방사선 감수성이 예민한 인접장기에 영향을 미쳐 방사선 치료로 인한 만성적 장애의 원인이 되므로 이에 대한 연구가 요구된다.

또한 만성적 장애를 일으킬 수 있는 정상조직의 피폭선량이 치료를 위한 총계획선량의 0.1% ~ 3.0%에 해당하므로, 치료부위 밖의 주변선량 분포에 대한 평가와 주변선량을 감소시키기 위한 연구는 만성적 장애를 감소시키는데 있어서 매우 중요하다고 하겠다.

본 실험에서는 10MV X선과 Co^{60} γ 선의 주변선량 분포를 물팬텀 속에서 측정한 결과와 조사면 경계부위를 차폐하여 측정한 결과를 비교하였고, Clarkson 방법에 의하여 계산된 값과 측정된 주변선량과도 비교하였다.

II. 本 論

1. 理 論

주변선량에 영향을 미치는 요인은 외부인자에

의한 것과 내부인자에 의한 것 등이 있으며, 외부인자에는 치료장치의 flattening filter 나 콜리메이터에 의한 것과 치료장치와 피사체 사이의 공기층과의 상호작용으로 인한 산란선 및 반발 전자에 의한 것 등이 있으며, 내부인자에는 조사면 내의 환자 조직으로부터 기인되는 선량등이 있다. <Fig 1>

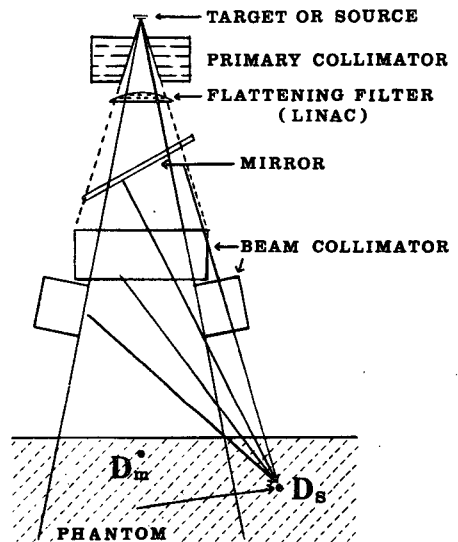


Fig. 1. Diagram showing origins of radiations that contribute to the peripheral dose.

그러나 이러한 여러가지 요인에 의한 선량을 따로 구분하여 측정하기는 어렵고 다만 어떤 중요한 점의 선량에 내부인자와 외부인자중 어느 것이 더 크게 기여하는가를 평가할 수는 있다.

<Fig 2> 에서 팬텀 내부의 조사면 경계에 수직으로 세운 납판은 조사면 내부의 물팬텀에서 방출되는 산란선을 제거하여 치료장치에서 발생되는 선량을 측정하기 위한 것이고, 팬텀위에 수

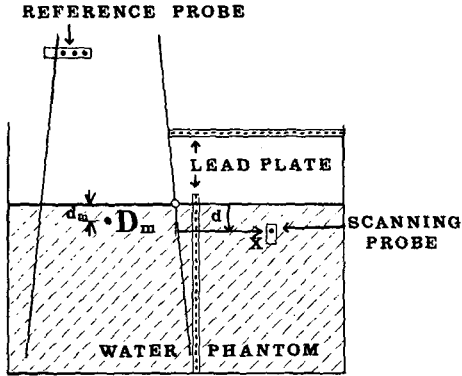


Fig. 2. Schematic diagram showing experimental setup.

평으로 설치한 납판은 치료장치에서 나오는 선량을 제거하여 조사면 내부의 물팬텀에서 발생되는 선량을 측정하기 위한 것이다.

이와 같이 장치를 하고 조사면 경계로부터 일정한 거리에서 수직으로 Scanning 하여 그 값을 비교하면 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

<Fig 3> 은 치료장치로부터 기인된 주변선량과 팬텀으로부터 기인된 주변선량에 대한 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보면, 주변선량은 최대선량점 깊이에서 약 3:1 정도로 치료장치에서 기인된 선량이 팬텀으로부터 발생된 산란선동에 의한 선량보다 많으나 깊이가 깊어짐에 따

라 팬텀내의 산란선동에 의한 주변선량이 점점 증가하여 오히려 치료장치로부터 기인된 선량보다 많아짐을 알 수 있다.

특히 10MV X선의 경우 콜리메이터의 기하학적인 위치에 의해 전자 가속 방향의 주변선량이 측면방향의 주변선량보다 많은데, 그 까닭은 콜리메이터가 정상적인 위치에 있을 때 전자 가속방향의 콜리메이터가 측면방향의 콜리메이터 상부에 위치하게 되어 타겟(target)와의 거리가 짧고, target 을 대하는 각도도 측면방향의 콜리메이터보다 커서 X선과의 충돌이 하부 콜리메이터보다 많기 때문이다. <Fig 4>

이러한 콜리메이터의 방향성때문에 이번 측정도 10MV X선인 경우는 주변선량 분포가 큰 전자 가속방향에서 시행하였다.

2. 測定 裝備 및 方法

1) 측정 장비

- Clinac 18 (Varian) ; 10MV X선
- Co⁶⁰ 원격치료장치 (Picker) ; γ선
- Silicon diod 제어장치 (LSC-2)
- X-Y recorder (Therados)
- Water phantom (")

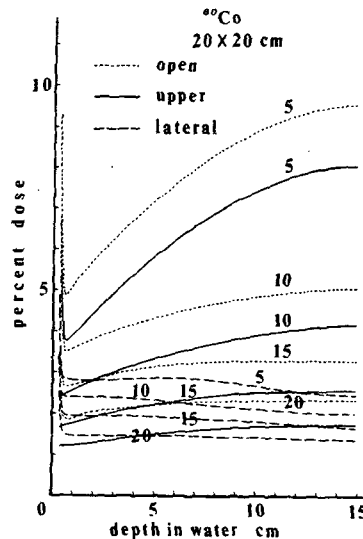
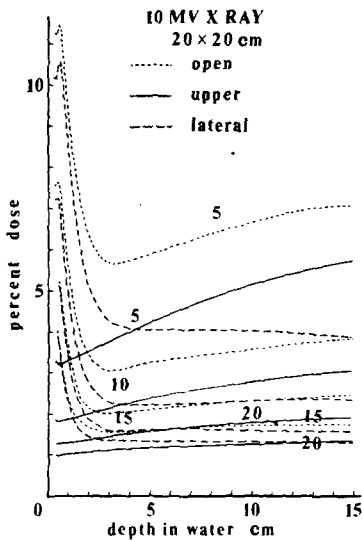


Fig.3 Graphs comparing shielding effects by the lead plate of HVL thickness in the direction parallel to the beam axis. Numbers near the lines are the distance in from field margin.

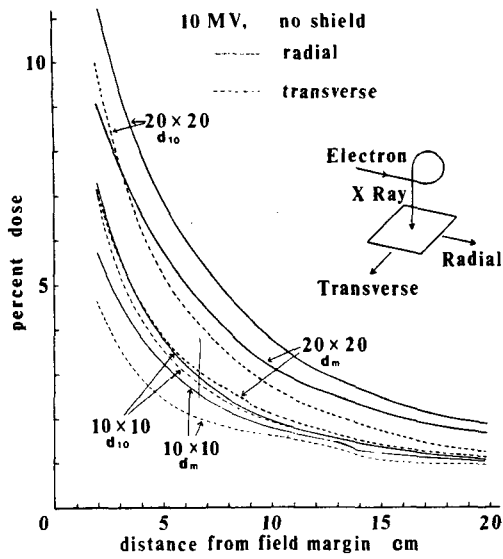


Fig.4. Graph comparing radial and transverse peripheral dose of the square fields of 10 MV X-ray.

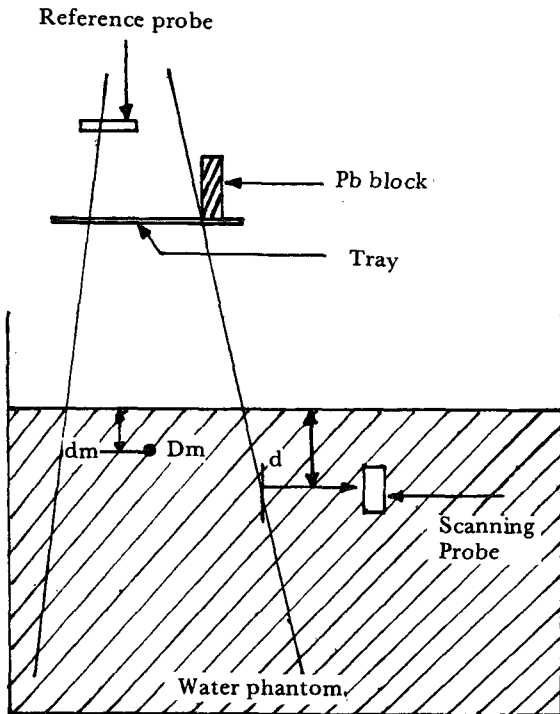


Fig. 5. Schematic diagram showing experimental setup

- 차폐용 Pb block ;
10MV X선 ; 높이 8 cm block
Co⁶⁰ γ선 ; 높이 5 cm block

2) 방 법

조사면 밖의 주변선량을 측정하기 위하여 <Fig 5> 와 같이 장치하고 10MV X선은 SSD를 100 cm로 하고, Co⁶⁰ γ선은 SSD를 80 cm로 하여 조사야 5×5, 10×10, 15×15, 20×20 (cm²)에 대하여 조사면 경계로부터 2, 5, 10, 15 (cm)의 거리에서 선속 (beam)의 중심축과 평행으로 팬텀내 15 cm 깊이까지 측정하였다.

조사면 경계부위를 차폐한 경우도 같은 방법으로 측정하였으며 각각의 조사야에 따라 개조사야일 때와 조사면 경계부위를 차폐했을 경우를 동시에 시행하였다.

측정에 사용한 측정기는 기준측정기 (reference probe)와 스캔측정기 (Scanning probe)로서 기준측정기는 폴리메이터 바로 아래 조사야 내에 위치하도록 하였고, 스캔측정기는 제어장치에 연결하여 움직이도록 하였다.

실제 측정에 있어서 스캔측정기는 조사면 중심과 수평인 위치에서 Scanning 되도록 조절하였고, 모든 측정치는 선속상 최대치에 대한 백분율로 나타냈다. 선속상 최대치란 beam의 중심축상에서 치료장치나 물팬텀, 또는 측정에 필요한 장치를 제외하고는 선량분포에 영향을 줄 수 있는 아무것도 없는 상태에서 측정된 선량을 말한다.

3. 결 과

<Fig 6, 7> 은 10MV X선과 Co⁶⁰ γ선에 대한 주변선량 분포를 나타내는 그래프이다. 10 MV X선과 Co⁶⁰ γ선의 주변선량 분포가 거의 같은 양상을 보이고 있음을 쉽게 관찰할 수 있다.

각 조사야에 대하여 조사면 경계로부터의 거리와 깊이에 따른 주변선량 분포를 살펴보면 조

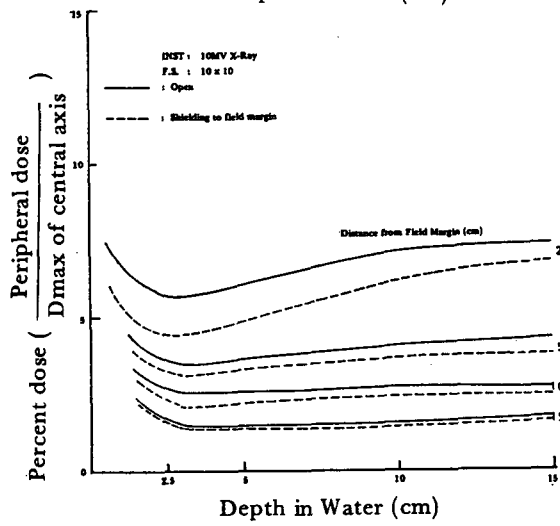
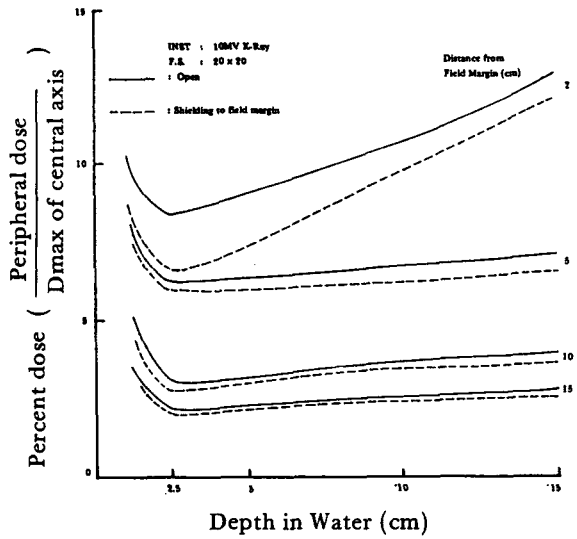
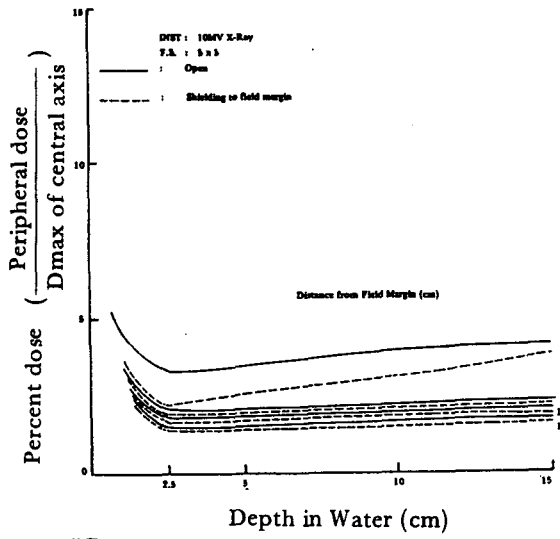


Fig. 6. The peripheral dose distribution on the lines parallel to the beam axis in 10MV x-ray.

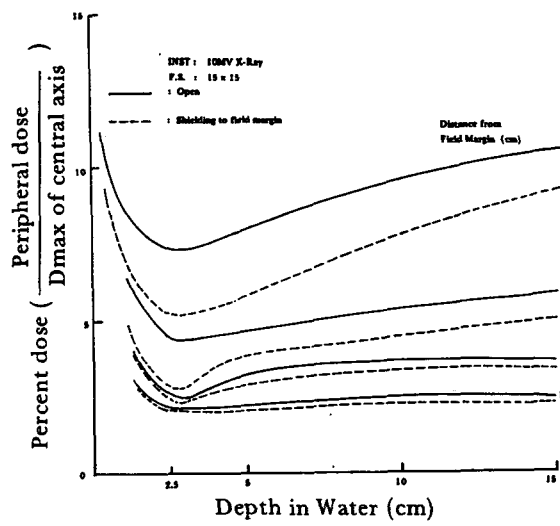
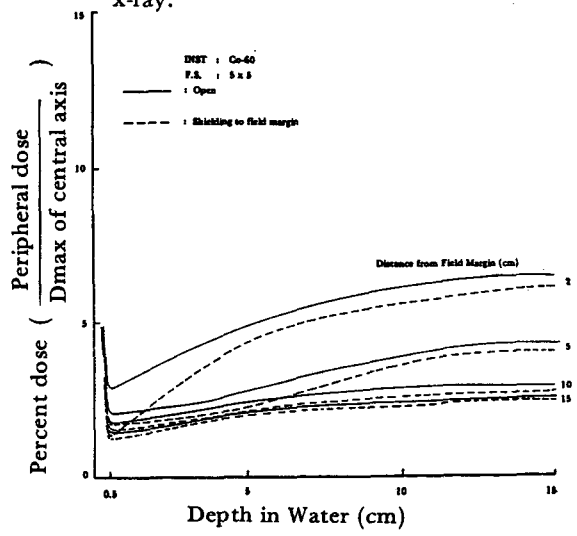
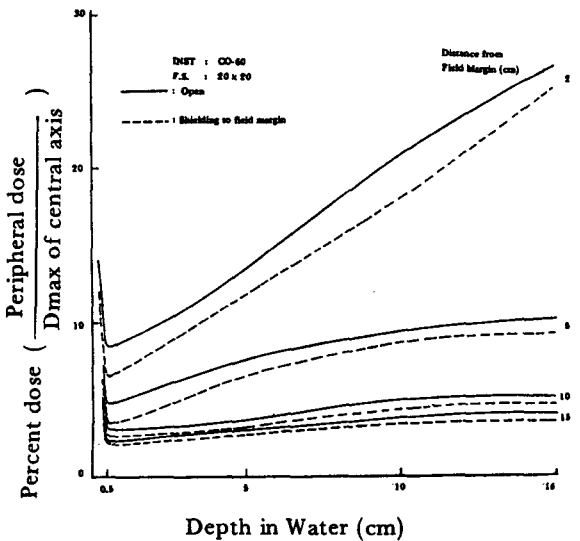
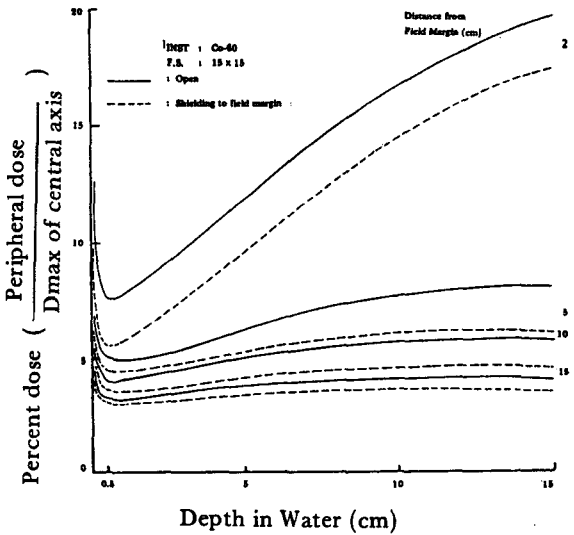
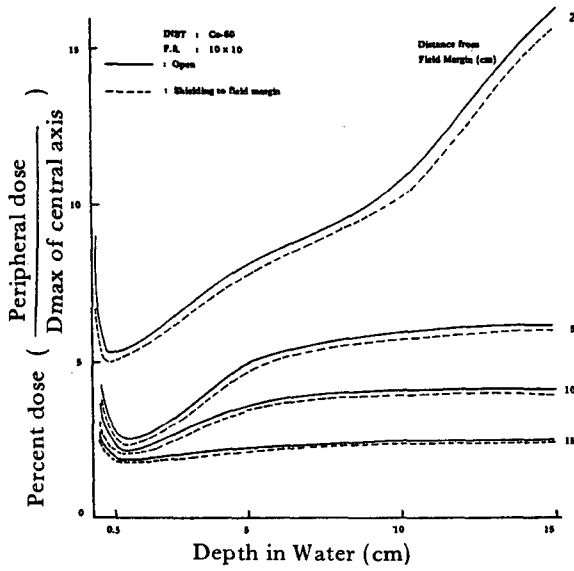


Fig. 7. The peripheral dose distribution on the lines parallel to the beam axis in Co-60 γ -ray.



사야가 클수록 주변선량의 증가율도 크고, 표면으로부터 최대선량점 깊이까지는 주변선량이 점점 감소하다가 최대선량점 깊이에서 최소가 되는 것을 알 수 있다.

깊이의 증가에 따른 주변선량은 조사면 경계에 가까울수록 많고 조사면 경계에서 멀어질수록 적게 나타났다.

또한 조사면 경계로부터의 거리와 상관없이 주변선량은 깊이가 깊을수록 점점 증가하나, 조사면 경계로부터의 거리가 15 cm 이상이 되면 각 조사야에 대하여 거의 일정하게 나타났다. 조사면 경계로부터 2 cm 거리에서의 경우는 예외였다.

주변선량의 증가율은 조사면 경계에서 가장 가까운 2 cm 거리에서 가장 크게 나타났다. 또한 주변선량은 최대선량점 깊이에서 가장 적게 나타나고 심부로 갈수록 점점 증가하나 일정 깊이가 되면 그 변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

조사면 경계부위를 차폐하여 측정된 경우는 같은 조건에서의 개조사야로 측정된 측정치에 비해 전반적으로 낮은 분포를 나타냈으며, 조사면 경계로부터 2 cm 거리에서의 선량차이가 가장 큰 것으로 나타났다.

10MV X선과 Co^{60} γ 선의 주변선량 분포를 비교해 보면 조사면 밖 2 cm의 거리에서 측정된 경우 10MV X선은 각각의 조사야에 대하여 1.24%, 1.30%, 1.42%, 1.54%였고, Co^{60} γ 선은 각각의 조사야에 대하여 2.24%, 3.06%, 2.60%, 3.12%로서 조사면적의 증가에 따른 주변선량의 증가율이 10MV X선에 비하여 Co^{60} γ 선이 더 큰 것을 알 수 있었다. 또한 조사야 10x10에 대한 주변선량의 증가율은 조사면 경계로부터 2, 5, 10, 15 cm에 대하여 10MV X선은 각각 1.37%, 1.23%, 1.08%, 1.13%였고, Co^{60} γ 선은 각각 3.06%, 2.35%, 1.17%, 1.32%로서 조사면 경계로부터 가까운 거리일수록 주변선량의 증가율이 크고, 10MV X선에 비하여 Co^{60} γ 선의 변화가 더 큰 것을 알 수 있었다.

조사면 경계부위를 남으로 차폐한 경우의 주변선량은 차폐를 하지 않은 경우보다 10MV X선

은 1.0~1.7%정도 낮았고 Co⁶⁰ γ선은 1.1~2.1%정도로 낮아 Co⁶⁰ γ선의 차폐효과가 10MV X선보다 더 큰 것을 알 수 있었다. 또한 차폐효과는 각각의 조사야에 대하여 조사면 경계에서 가까울수록 크고, 최대선량점 깊이에서 가장 큰 효과가 있음을 알 수 있었다.

또 실제 측정치보다 Clarkson 방법에 의하여 계산된 주변선량이 작은 것으로 나타났는데 이는

Clarkson 방법이 치료장치등으로 인한 산란선과 같은 외부인자를 고려하지 않은 때문이다.

(Table 1, 2 참조)

Clarkson 방법에 의한 값은 아래 식으로부터 구했다.

$$\bullet \text{ 10MV X선 ; } \%DD = \text{TMR}(d) \times \left(\frac{\text{SSD} + \text{dm}}{\text{SSD} + d} \right) \times 100$$

$$\bullet \text{ Co}^{60} \text{ } \gamma \text{선 ; } \%DD = \frac{\text{TAR}(d)}{\text{BSF}(r_m)} \times \left(\frac{\text{SSD} + \text{dm}}{\text{SSD} + d} \right) \times 100$$

%DD : 심부선량백분율 (Percent Depth Dose)

• TMR : 조직-최대선량비 (Tissue-Maximum Ratio)

• TAR : 공기중 조직선량비 (Tissue-Air Ratio)

• BSF : 후방산란계수 (Back-Scatter Factor)

• SSD : 선원-표면간 거리 (Skin-Source Distance)

• dm : 선축최대선량깊이 (depth of the peak absorbed dose)

• d : 임의의 선량깊이 (any depth of the absorbed dose)

[Table 1. 10MV X-ray]

Field size (cm)	Depth (cm)	Distance from field margin											
		2 cm			5 cm			10 cm			15 cm		
		O	S	CM	O	S	CM	O	S	CM	O	S	CM
5 × 5	2.5	3.3	2.2	-	2.1	1.9	-	1.8	1.7	-	1.6	1.5	-
	5	3.5	2.6	0.3	2.1	2	0.1	1.9	1.7	0.0	1.6	1.6	0.0
	10	4	3.1	1.3	2.2	2.1	0.4	1.9	1.8	0.1	1.7	1.7	0.0
	15	4.1	3.8	2.4	2.3	2.2	0.7	2.0	1.9	0.2	1.8	1.8	0.1
10 × 10	2.5	5.7	4.4	-	3.5	3.1	-	2.5	2	-	1.5	1.4	-
	5	6.1	4.9	0.6	3.7	2.4	0.2	2.6	2.2	0.1	1.5	1.4	-
	10	7.1	6.2	2.5	4.1	3.6	0.9	2.7	2.4	0.2	1.6	1.4	0.1
	15	7.4	6.8	4.6	4.3	3.8	1.7	2.7	2.4	0.5	1.7	1.5	0.2
15 × 15	2.5	7.4	5.3	-	4.5	2.7	-	3.2	2.9	-	2.2	2.1	-
	5	8.1	5.9	0.8	4.8	3.9	0.3	3.3	2.9	0.1	2.3	2.2	0.1
	10	9.6	7.8	3.4	5.4	4.5	1.3	3.6	3.2	0.4	2.4	2.2	0.1
	15	10.5	9.2	6.7	5.9	5	2.5	3.7	3.4	0.9	2.4	2.2	0.4
20 × 20	2.5	8.4	6.6	-	6.3	6	-	3.1	2.8	-	2.2	2	-
	5	9.1	7.4	0.9	5.9	5	0.3	3.3	3.1	0.1	2.4	2.2	0.1
	10	10.7	9.8	4.1	6.7	6.2	1.6	3.7	3.5	0.5	2.6	2.4	0.2
	15	12.9	12.1	8.2	7.1	6.6	3.2	4	3.6	1.2	2.8	2.6	0.5

• O : Open field • S : Shielding to field margin • CM : Clarkson method

[Table 2. Co- 60 γ -ray]

Field size (cm)	Depth (cm)	Distance from field margin											
		2 cm			5 cm			10 cm			15 cm		
		O	S	CM	O	S	CM	O	S	CM	O	S	CM
5×5	0.5	2.9	1.4	0.5	2.1	1.8	0.3	1.8	1.6	0.1	1.5	1.3	0.0
	5	4.9	4.4	2.5	2.7	2.3	0.7	2.5	2.2	0.2	2.3	2.1	0.1
	10	6.1	5.6	3.8	3.9	3.7	1.4	2.9	2.6	0.5	2.4	2.3	0.2
	15	6.5	6.2	4.5	4.3	4.1	1.9	3.0	2.7	0.7	2.6	2.5	0.4
10×10	0.5	5.3	5	1.3	2.6	2.4	0.7	2.2	2.1	0.3	1.9	1.8	0.1
	5	8.1	7.7	4.6	5	4.7	1.0	3.7	3.5	0.7	2.3	2.2	0.3
	10	10.5	10	7.8	5.9	5.6	3.4	3.8	3.6	1.3	2.4	2.3	0.6
	15	16.2	15.6	10.0	6.1	5.9	4.9	3.9	3.7	2.0	2.5	2.4	1.0
15×15	0.5	7.5	5.5	1.8	5	4.5	1.1	4	3.6	0.4	3.3	3.1	0.2
	5	11.8	9.6	6.2	6.3	5.2	2.7	5.1	4.3	1.1	3.9	3.5	0.5
	10	16.7	14.5	10.9	7.6	5.6	5.3	5.5	4.3	2.1	3.9	3.5	1.0
	15	19.5	17.3	14.7	8	6	7.8	5.6	4.6	3.3	4	3.5	1.0
20×20	0.5	8.5	6.5	2.3	4.8	3.5	1.3	3.2	2.7	0.5	2.3	2.1	0.2
	5	13.5	12	7.3	7.7	6.7	3.3	3.8	3.3	1.4	3.3	2.8	0.6
	10	20.7	17.9	13.5	9.4	8.7	6.9	5	4.4	2.8	3.9	3.5	1.4
	15	26.6	25.1	19.1	10.2	9.2	10.1	5.2	4.7	4.4	4.1	3.7	2.2

·O: Open field ·S: Shielding to field margin ·CM: Clarkson method

III. 討 論

조사면을 벗어나는 주변선량은 조사면적과 조사면 경계로부터의 거리 및 표면으로부터의 깊이, 방사선의 에너지등과 관계가 있다.

주변선량은 조사면적이 클수록 조사면내의 조직이나 치료장치로부터 발생되는 산란선이 많기 때문에 주변선량에 미치는 영향도 커진다. 또한 조사면 내에서 산란된 전자는 비정기 짧기 때문에 조사면 경계로부터의 거리가 멀어짐에 따라 주변선량에 미치는 영향도 적어진다. 따라서 조사면적이 클수록 주변선량은 증가하나, 조사면 경계로부터의 거리가 멀어질수록 주변선량은 점점 감소한다. 이러한 결과는 Kase²⁾, Fraass 와 Geijn³⁾, 등의 보고와도 일치한다.

표면과 최대선량점 깊이 (dm) 사이의 주변선량은 깊이가 깊어짐에 따라 감소하여 dm 근처에서 최

소가 되며 그 이상 깊이가 증가하면 주변선량은 점점 증가한다. 표면과 dm사이의 선량분포는 치료장치에서 발생된 전자에 의한 것인데 산란된 전자가 dm에 도달하기 전에 거의 모두 흡수되어 dm 근처에서는 거의 최소가 된다. 또한 조직을 투과하는 선속은 깊이가 깊어짐에 따라서 흡수·감약되므로 산란각이 커져 측방산란선량이 증가하기 때문에 주변선량이 증가하는 것이다. Kase²⁾, Fraass 와 van de Geijn³⁾, 등도 같은 결과를 보고하였다.

100 만 전자볼트 이상의 에너지 영역에서는 에너지가 높을수록 2 차전자의 산란각이 작아지므로 전방산란선량이 많아진다. 따라서 주변선량은 에너지가 높을수록 적어진다.

조사면 경계부위를 차폐한 경우의 주변선량은 차폐를 하지 않았을 때보다 1.0~2.0%정도 낮은 분포를 나타냈다.

그러므로 조사면 경계부위를 차폐하여 주변선량을 가능한 한 감소시키는 것이 바람직하다. 또한 최대선량점 깊이에서 주변선량이 최소가 되므로 조사면 밖의 주변선량을 감소시키기 위하여 Co^{60} γ 선은 0.5 cm 두께의 bolus 를 조사면에 접한 피부에 얹고, 10MV X 선은 2.5 cm 두께의 bolus 를 얹는 것이 바람직하다. 실제 임상에서 생식기관이나 안구등의 피폭을 방지하기 위하여 이들 부위는 남으로 차폐하여야 한다.

IV. 結 論

조사면 밖의 주변선량 분포에 대한 측정실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

조사면 밖의 주변선량 분포는,

1. 조사면적이 커짐에 따라 증가한다.
2. 조사면 경계로부터의 거리가 멀어질수록 감소한다.
3. 표면과 dm 사이에서는 점점 감소하며 dm 근처에서 거의 최소가 되나 그 이상 깊이가 증가하면 주변선량도 증가한다.
4. 치료에 이용되는 100 만 전자볼트 이상의 에너지 영역에서는 선속의 에너지가 높을수록 감소한다.

5. 조사면 경계부위를 차폐한 경우의 주변선량은 차폐를 하지 않았을 때보다 낮아 차폐효과가 있음을 알 수 있다.

6. 조사면 밖의 표면선량을 줄이기 위하여 Co^{60} γ 선의 경우는 0.5 cm 두께의 bolus 를, 10MV X 선의 경우는 2.5 cm 두께의 bolus 를 조사면 경계 부위의 피부에 얹는 것이 바람직하다.

參 考 文 獻

1. 강위생 . 허승재 . 하성환 ; Co^{60} γ 선과 10 MV X 선의 조사면 밖의 선량분포에 관한 연구, 대한치료방사선과학회지. 2.2; 271~280, 1984
2. Kase KR, Svenson GK, Wolbarst AB, et al; Measurements of dose from Secondary radiation a outside a treatment field, Int J Radiat Oncol Biol Phys 9:1177~1183, 1983
3. Fraass BA, van de Geijn J; Peripheral dose from megavolt beams. Med Phys 10:809~818, 1983