

ML-15MDX 술중조사용 Applicator에 의한 전자선선량 특성

계명대학교 의과대학 치료방사선과학교실

최태진 · 이호준 · 김영애 · 김진희 · 김옥배

= Abstract =

Dose Characteristics for IORT Applicator of ML-15MDX Electron Beam

Tae Jin Choi, Ph.D., Ho Joon Lee, M.D., Yeung Ae Kim, M.D.,
Jin Hee Kim, M.D. and Ok Bae Kim, M.D.

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

Experimental measurements of dose characteristics with pentagonal applicator at nominal energy of 4, 6, 9, 12 and 15 MeV electron beam were performed for intraoperative radiotherapy (IORT) in ML-15MDX linear accelerator.

This paper presents the percent depth dose, surface dose, beam flatness and output factors of using the IORT applicator in different electron beam energy.

The output factor showed as a 24 percent higher in IORT applicator than that of reference 10×10 cm² applicator. The surface dose of using the IORT applicator showed 7.7 and 2.7 percent higher than that of reference field in 4 and 15 MeV electron beam, respectively.

In our experiments, the variation of percent depth dose was very small but the output factor and flatness at 0.5 cm depth have showed a large value in IORT applicator.

Key Words: IORT cone, Electron Dosimetry

서 론

심부에 위치한 종양에 대한 체외방사선조사는 정상 조직에 도달 되는 선량을 줄이고 종양에 다량의 방사선이 도달되도록 치료계획이 많이 발전하고 있으나, 주위 정상 장기의 방사선내성이 현저히 낮은 경우 방사선에 의해 유발되는 부작용이 예상되어 방사선조사가 매우 어려워질 수 있다.

특히 복부장기의 종양경계는 영상검사 및 내시경에

서도 확정이 난해하고, 발달된 주위 임파절에 대한 전이여부의 결정에도 어려운 점들이 많다. 더욱이 복부종양은 장기 운동에 의해 광자선에 의한 체외조사의 어려움도 동반하고 있다.

최근 복부종양과 주위 정상 장기의 위치를 분리시켜 종양과 주위 임파절에 일회 다량의 선량을 조사한 후 외과적 봉합시술을 행하는 술중조사는 방사선내성이 낮은 치명 정상장기의 후유증을 줄이고 복부종양의 치료효과를 높이기 위해 Abe¹⁾에 의해 시행되었으며 주로 위암, 췌장암 및 전립선종양등에 이용되고 있는 방사선 치료방법이다.

최근 국내에서도 김 등²⁾에 의해 위암의 술중조사에

이 논문은 1992년도 동산의료원 특수과제 및 조사 연구비에 의해 이루어 졌음.

의한 치료성적이 발표되고 있어 종양학계에 관심을 불러 일으키고 있다.

최근 Gunderson등에 의하면⁹⁾, 직장암에 대해 술중조사와 체외조사를 병합한 방사선 치료성적이 체외 또는 수술단독에 의한 성적보다 통계적으로 향상된 결과를 보였다고 발표한 바 있다.

복부장기의 술중조사에는 조사부위가 주로 연부조직이고, 한정된 깊이에 방사선량이 도달되어야 하므로 주로 전자선을 이용하게 된다. 또한 위암의 술중조사는 종양과 주위 임파절을 포함시킬 수 있는 5각형 아프리케이터가 적합한 것으로 알려져 있다¹¹⁾.

아프리카이터에 의한 전자선의 선량률과 선량분포는 재질, 모양 및 조사면의 크기에 따라 변하므로 술중조사를 위해서는 적절한 선량평가가 필요하다.

이에 본 연구에서는 술중조사에 사용될 전자선 아프리케이터에 대한 선량을 측정하여, 심부선량백분률, 출력선량율, Air Gap에 의한 유효선원거리 및 전자선의 선량분포를 평가하여 타 연구와 비교할 수 있도록 결과를 발표하고자 한다.

재질 및 방법

본 실험에 이용된 선형가속기(ML-15MDX, Mitsubishi)의 전자선 에너지는 4, 6, 9, 12 및 15 MeV이며 술중조사에 필요한 전자선 아프리케이터는 십이지장, 췌장 및 주위 임파절을 포함할 수 있는 5각형으로 MITSUBISHI 회사에서 제작된 것으로 크기와 모양은 Fig. 1과 같다. 전자선 아프리케이터에 장착되는 부위는 5 mm 두께의 납으로 차폐되어 있고 아프리케이터의 End-Tip까지의 길이는 229 mm이고 끝부분은 5 mm 두께의 Plexyglas로 싸여 있으며 약 13도의 경사를 이루며, 중심선속이 지나가는 가로 및 세로의 크기는 8.2×7.2 cm²이며, Cone 끝은 선원으로 부터 100 cm 위치에 있고 환부에 밀착토록 고안되었다.

X-선 콜리메터는 전자선방출시 완전개방(35×35 cm²) 상태를 유지하며, 전자선 아프리케이터는 Periscope에 장착되어 정방향전자선 아프리케이터나 술중조사용 5각형 아프리케이터가 장치되도록 되어 있으며, 선속-검출기의 기하학적 도식은 Fig. 2과 같다.

출력선량률은 WP-600 선량계(Wellö, German)의 Water Phantom과 전리함(IC-10, 0.14 ml)을 이용

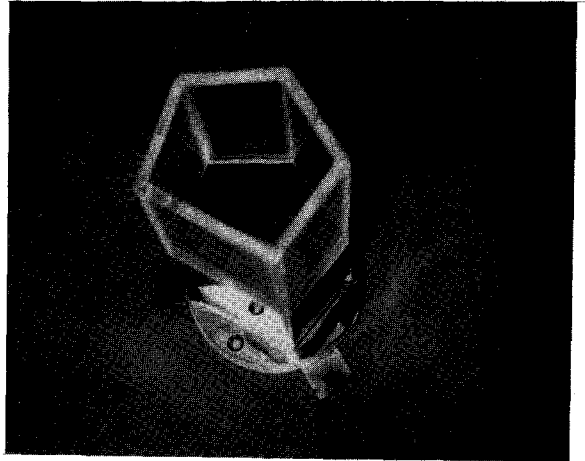


Fig. 1. Showing the IORT Applicator. The docking applicator was made of stainless steel 1 mm of thickness and 5 mm thick of plexyglas.

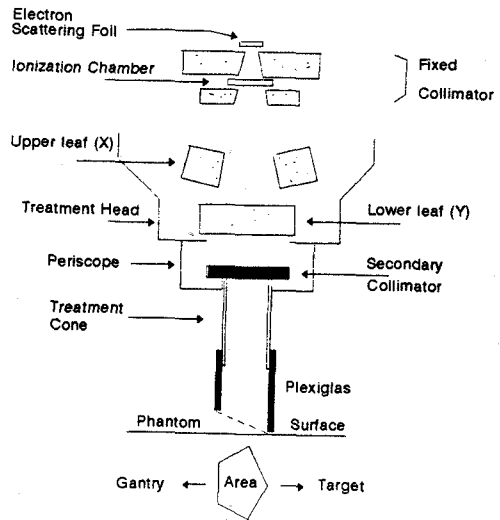


Fig. 2. Treatment applicator layout of the linear accelerator for intraoperative electron therapy.

하여 측정되었다.

ML-15MDX의 전자선은 환부에서 5 cm 띄워져 조사하게 되므로 기준 조사면인 10×10 cm² 아프리케이터의 끝은 수면에서 동일하게 떨어진 위치에 두어졌다.

본 실험에서는 5각형 술중조사 아프리케이터에 대한 전자선에너지별 심부선량, 출력선량 변화, Air Gap에 의한 선량률 변화, 조직내 선량분포 등을 기준 전자

선조사면 10×10 cm²에 대해 비교 분석하였다.

전자선의 심부선량곡선은 기준조사면 10×10 cm²에서 전리함과 수조 펜툼을 이용하여 얻어진 심부전리량의 R₅₀으로부터 펜툼표면의 평균에너지 E₀를 구하여 아래와 같이 교정하였다^{4,5}).

$$\bar{E}_0 = 2.33 \text{ (MeV/cm)} \times R_{50}$$

$$D(z) = MU \text{ Nd S}_w^* P_u$$

여기서 D(z)는 물깊이 z위치의 선량, MU는 Monitor Unit, Nd는 선량계의 교정계수, S_w^{*}는 물깊이 z에 따른 전자선 에너지의 공기 저지능에 대한 물의 저지능비, P_u는 교란교정 계수이다.

각 에너지의 조사선량률은 중심선속에 대한 심부선량곡선을 얻은 후 최대선량점의 선량값을 측정하였으며 10×10 cm² 전자선 아프리케이터의 조사면에 대해 규격화 되었다.

특히 술중조사용 전자선 아프리케이터의 Tip-End가 경사져 있으므로 수면에 수직방향의 중심선속과 Tip-End가 수평이 되는 경사각으로 입사될 때의 선량을 비교하였다.

표면선량은 PS-033 평행평판형 선량계와 폴리스탈린 고체펜툼(밀도 1.045, 전자밀도 1.015)을 이용하여 측정되었으며, 심부선량곡선은 Kodak X-omat V2를 이용한 필름 선량과 비교하였다. 필름에 조사된 선량은 농도와 선량의 특성에서 직선성이 유지되고 있는 40 cGy를 조사하였으며, WP-102 Densitometer를 이용하여 판독하였다.

결 과

1. 심부선량

전자선에 대한 각 에너지의 심부선량곡선은 Fig. 3와 같으며, 12 MeV에 대한 기준조사면의 비정(Rp)은 63.0mm, R₅₀은 48.7mm를 보여주고 있으며, 동일에너지에 대한 술중조사 아프리케이터에 의한 비정은 60.0mm, R₅₀은 46.5mm를 보여주어 표면평균에너지는 기준조사면의 것보다 낮게 보여주고 있으며 기준조사면에 대한 각 명목상 에너지별 표면평균 에너지는 Table 1과 같다.

전자선 에너지 6 MeV에 대한 기준전자선 아프리케이터와 IORT 아프리케이터의 심부선량백분률은 Table 2와 같다. IORT 아프리케이터의 끝은 13도 경사를 이

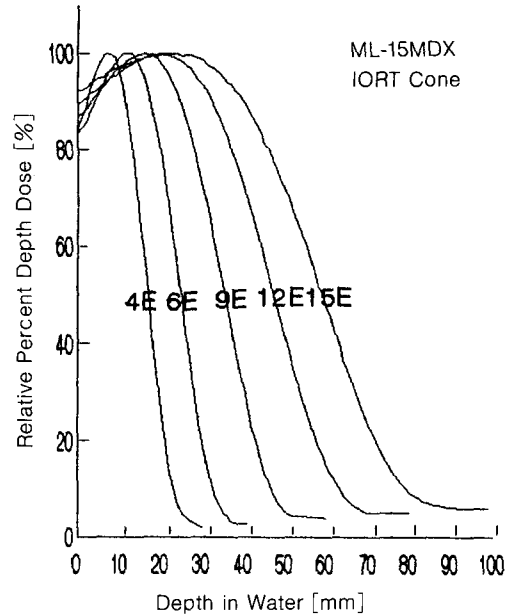


Fig. 3. Depth Dose Curves of IORT Applicator for ML-15MDX Electron Beam.

Table 1. Average Energy E₀ and E_{p, 0} of Standard Applicator 10×10 from R₅₀ and Practical Range in ML-15MDX Linear Accelerator Electron Beam.

Nominal Energy	4	6	9	12	15 MeV
R ₅₀ mm	16.3	24.7	37.1	48.7	58.9
R _p mm	22.0	32.0	47.0	63.0	76.0
E _{p, 0} MeV	4.49	6.44	9.37	12.49	15.02
E ₀ MeV	3.80	5.76	8.64	11.35	13.70

Table 2. Comparison the Depth in mm of Given Percent Depth Dose of Standard Applicator with That of IORT Cone in 6 MeV of ML-15MDX Electron Beam. Measured by IC-10 (0.14 ml) Ionization Chamber

Nominal Energy	Standard Cone		IORT Pentagon Applicator 48 Cm ²	
	10×10 %	10×10 CmxCm	Vertical	13 degrees
6 MeV				
100	13.3		12.0	11.0
90	17.9		17.7	17.2
85	19.1		19.1	18.4
80	19.9		19.8	19.5
70	22.0		21.7	21.3
50	24.7		24.8	24.5
20	29.8		29.8	29.7
10	32.4		32.2	32.2

Table 3. Depth in mm of Given Percent Depth Dose of IORT Applicator in ML-15MDX Electron Beam.

Nominal Energy [MeV] %	4		6		9		12		15	
	STD	IORT	STD	IORT	STD	IORT	STD	IORT	STD	IORT
100	8.8	8.8	13.3	11.0	17.8	16.3	22.6	20.4	25.0	24.3
90	11.5	11.3	17.9	17.2	26.3	24.1	33.7	31.6	40.3	39.2
85	12.7	12.2	19.1	18.4	28.3	26.0	36.2	34.1	44.2	42.1
80	12.8	12.6	19.9	19.5	29.7	27.4	38.9	36.2	46.9	44.9
70	14.4	14.3	21.9	21.3	32.5	30.2	42.4	40.1	51.5	50.0
50	16.3	16.3	24.7	24.5	37.1	34.9	48.7	46.5	58.9	57.8
20	20.5	20.2	29.5	29.7	44.2	42.3	58.9	56.7	70.9	70.7
10	22.4	22.2	32.4	32.2	47.8	46.1	64.5	62.5	77.5	77.9

(STD: standard applicator, IORT: Intraoperatible radiotherapy applicator)

루고 있으므로 수직조사와 경사진 조사의 심부선량을 비교한 결과 경사지게 조사된 경우 최대선량깊이는 표면으로 약 2 mm정도 이동을 나타내었으나 전자선에너지지를 계산하는 R50과 비정은 거의 차이가 없었다.

한편 각 에너지에 대한 기준조사면과 IORT 아프리카케이터의 심부선량률은 Table 3과 같이 얻어졌다. 특히 최대심부선량깊이는 저에너지 전자선에서 기준조사면의 것에 비해 실험오차 범위에서 일치함을 보였으나 높은 에너지에서는 1 mm에서 3 mm정도 표면측으로 이동되었다.

2. Output Factor

선형가속기의 방사선방출은 맥동류 전자를 방출 가속시키므로 출력의 안정성이 항상 일정할 수는 없으므로 출력가동시간에 따라 비교적 안정된 방사선이 방출되는지 확인코자 각 전자선에너지마다 4분간의 연속출력을 XY 플로터로 기록확인 후 측정되었다. 전자선의 선량계수(Output Factor)는 지정 전자선에너지에서 기준조사면의 출력선량에 대한 비로 주어졌으며, 분석된 결과는 Table 4와 같다.

3. 표면선량

전자선의 표면선량은 PS-033 평판형 전리함에 의해 측정되었으며, 기준조사면 10×10 cm²과 IORT 아프리카케이터를 수직 및 경사진 상태의 표면선량을 각각 비교하기 위하여 명목상 선원-표면간 거리는 100 cm로 설정되었으며 결과는 Table 5와 같다.

표면선량은 각 에너지별 표면평균에너지의 저지능비(S_w⁰)에 의해 조직흡수선량으로 교정된 값이며, 에

Table 4. The Output Factors for IORT Applicator of ML-15MDX Electron Beam

Energy [MeV]	Reference Field 10×10 cm ²	IORT Applicator (60 cm ²)	
		VERTICAL	OBLIQUE*
4			
6	1.000	1.213	1.222
9	1.000	1.226	1.232
12	1.000	1.226	1.232
15	1.000	1.238	1.244

OBLIQUE* represents the SSD 100 cm and cone-tip surface distance is 8 mm.

Table 5. The surface Dose for Reference 10×10 cm² and that of IORT Applicator in ML-15MDX Electron Beam

Energy [MeV]	4	6	9	12	15
10×10 applicator	72.0	75.5	80.7	84.5	88.4
IORT applicator	77.6	81.1	84.4	87.9	90.4
% of increase	7.7	6.8	5.9	5.1	2.7

IORT applicator is arranged in oblique to parallel tip and phantom surface.

Table 6. Effective Source Skin Distance of ML-15MDX Electron Beams

Energy [MeV]	4	6	9	12	15
ESSD [cm]	78	87	94	95	95

너지가 높을 수록 기준조사면과 IORT 아프리카케이터의 선량율이 모두 높게 나타났으며, 동일 에너지에서는 IORT 아프리카케이터의 표면선량이 기준조사면의 것보다 4 MeV에서 약 7.7%, 15 MeV에서 2.7% 높게 나타나 에너지가 높을 수록 표면선량의 차이는 적음을 알

수 있었다. 한편 4내지 6 MeV 전자선 에너지 에서는 표면선량이 유효치료 선량률을 80%또는 85%를 선택 할 때는 표면에 치료선량이 부족하게 됨을 알 수 있다.

4. Air Gap

숄중전자선 IORT 아프리케이터가 표적부위에 밀착 되지 않은 경우 선량률 변화를 얻게 된다. 일반적으로 X선의 선원위치는 거리역자승법칙이 유지되는 지정위 치가 결정되어 있으나, 전자선에서는 Scattering Foil 의 재질, 에너지, 콜리메터의 모양에 따라 산란선의 기 여도가 다르므로 선원위치가 결정되어 있지 않다. 임상 에서는 전자선의 출력선량과 Applicator-Tip과 피부간의 간격에 따라 변화된 선량을 측정하여 거리역자승법 칩이 성립하는 유효선원위치를 정하게 된다⁶⁾. Table 6 은 전자선 Applicator 10×10 cm²을 사용하여 Air Gap을 5 cm간격으로 20 cm까지 띄워 측정하여 유효 선원위치를 구한 값이다.

본 실험에서는 에너지가 클수록 유효선원위치가 크 게 나타났으며, 12 MeV와 15 MeV의 유효선원위치는 명목상 선원-표면간 거리에 가까운 값을 보였다.

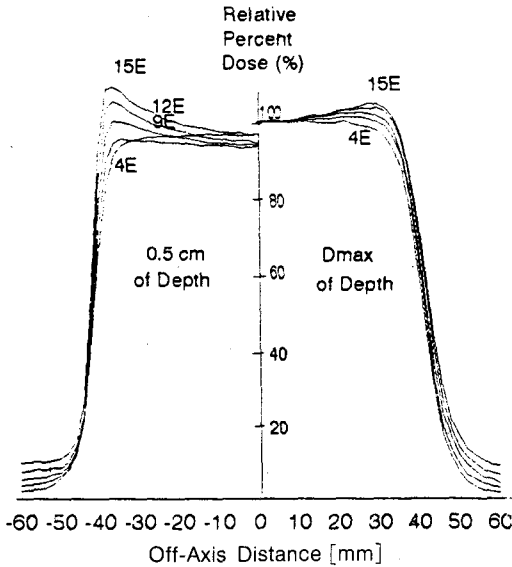


Fig. 4. Dose Profiles of IORT Applicator at 0.5 cm and D_{max} Depth in Different Energy of ML-15MDX Electron Beams.

5. Flatness

숄중조사 아프리케이터를 사용한 조적내 전자선의 선량분포는 아프리케이터벽에 의한 산란선의 영향으로 표재부위에서 중심선속부위에 비해 높은 선량이 도달 되고 있음을 알 수 있으며, Fig. 4는 각 에너지별 IORT 아프리케이터에 의한 0.5 cm깊이와 최대선량깊이에서 실측으로 얻어진 선량분포를 나타낸다.

선량분포의 평탄성은 최대선량깊이의 측방선량곡선 에서 조사면쪽의 80 퍼센트 위치의 선량값에 대한 최대 선량값의 비율로 주어지며, 실험결과는 Crossplane (장경 8.2 cm)과 Inplane (단경 7.2 cm)에 거의 같은 선량분포를 보였으며, Crossplane에 대한 선량분포는 Fig. 4의 우측과 같이 4 MeV에서 2.8%, 6 MeV 1.5%, 9 MeV와 12 MeV에서 각각 1.6%, 15 MeV에서 1.3%를 보여 에너지가 높을 수록 평탄성이 높은 것으로 나타났다.

그러나 표면에서 0.5 cm깊이의 각 에너지별 flatness는 Fig. 4의 좌측과 같이 4 MeV 1.0%, 6 MeV 1.1%, 9 MeV 3.3%, 12 MeV 5.9%와 15 MeV의 6.2%를 나타내어 표면에 가까운 깊이 일수록 평탄성을 잃게 되고, 에너지가 높을 수록 표면에서 높은 선량이 도달 됨을 알 수 있었다.

Fig. 5은 15 MeV의 IORT 아프리케이터에 의한 조 적내 선량분포로 X-omat (Kodak) V2 필름에 40 cGy

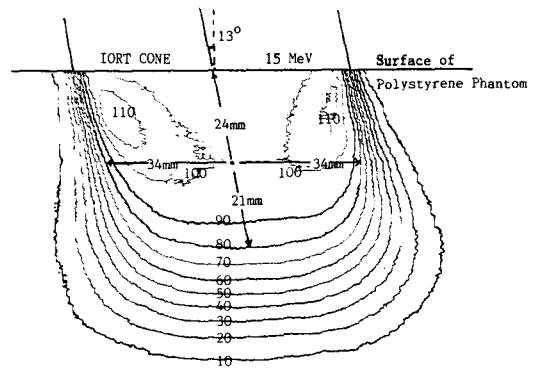


Fig. 5. Isodose Distribution of Electron Beam Energy for IORT Applicator in ML-15MDX Linear Accelerator. Values indicate the depth and width of 80% line of the isodose curves.

를 조사후 WP-102 Isodensitometer를 이용하여 얻어졌으며, 농도-선량 곡선에 따라 흡수선량으로 환산되었다.

아프리카이터의 내벽에 의한 산란선의 영향으로 중심선속에 비해 조사면의 가장자리에 과다선량이 나타남을 알 수 있었다. IORT 전자선 아프리카이터의 조사면적은 50% 등선량곡선의 폭과 잘 일치되어 72 mm를 보였으며, 80% 깊이와 폭은 각각 45 mm, 68 mm를 얻었다.

고 찰

본 연구에서는 복부장기내 원발부위와 전이가 의심되는 주위 인과절을 포함시킬 수 있는 술중조사용 5 각형 아프리카이터에 대한 전자선의 선량특성을 구하였다.

본 연구에서 심부선량, Output 및 표면선량은 가속기의 Gantry를 기울여 아프리카이터끝이 수면과 평행한 상태에서 측정하고 깊이에 따라 전자선의 에너지는 감소되므로 전리량은 전자선의 저지능비에 의해 조직흡수선량으로 교정되었다.

술중조사용 아프리카이터에는 5 mm 두께의 투명 Plexiglas가 stainless steel 아프리카이터에 부착되어져 있고, 끝부분은 약 13도 경사져 있으므로 수직조사와 경사조사를 구분하여 선량을 구한 결과 전자선의 비정에는 차이가 없었으나, 최대선량깊이는 표면측으로 미소한 이동을 보였다. IORT 아프리카이터에 의한 심부선량에서 전자선치료시 기준이 되는 80% 또는 85%의 깊이와 비정은 거의 변하지 않았으나, 최대선량점의 이동을 보였다. 이것은 본 실험에 이용된 IORT 아프리카이터의 크기가 48 cm²로 기준조사면보다 작고, Applicator-tip의 일부가 수면에서 밀착 되어 산란선의 심부도달이 상대적으로 크기 때문으로 생각되며, 콜리메터의 벽으로 부터 산란된 표면선량 증가는 추 등⁷⁾이 프라스틱 및 Mylar film을 이용한 원통형 cone의 선량평가와 잘 일치됨을 알 수 있었다.

전자선의 출력은 1차 콜리메터의 개방 크기에 따라 큰 영향을 주므로⁹⁾ 본 실험에서는 제조회사의 규정에 따라 X선 콜리메터를 35 cm×35 cm으로 개방시켜 측정하였다.

또한 IORT 아프리카이터에 의한 전자선의 심부선

량백분율은 각 에너지별 비교되었으며, 유효 치료깊이인 80%의 깊이는 6 MeV 19.5 mm, 9 MeV 27.4 mm, 12 MeV 36.2 mm와 15 MeV에서 44.9 mm로 기준조사면에 비해 약 2 mm정도 적음을 알 수 있었다.

선형가속기의 전자선방출은 X선에 비해 미세한 변화에 대해서 출력은 불안정할 수 있으므로 본 실험에서는 4분간 연속방출하여 안정성이±1%이내 유지된 상태에서 측정이 이루어졌다.

IORT 아프리카이터의 수평상태에서 출력선량의 변화는 기준조사면에 비해 22내지 24% 증가함을 보인 것은 명목상의 선원-표면간 거리가 99.2 cm로 줄어 들고, Applicator-tip이 표면까지 닿아 산란선의 기여가 있으며, 특히 Periscope의 내직경이 10 cm로 X선 콜리메터에 비해 매우 작으므로 Periscope 벽에서 산란된 전자선량의 기여는 전 에너지영역에서 모두 높은 것으로 생각된다.

표면선량은 검출기창과 중심전극간의 간격이 비교적 작은 평행평판형전리함을 많이 사용하고 있으며, 본 실험에서는 0.5 ml의 PS-033(창두께 0.5 mg/cm², Capintec사) 평행평판형전리함을 이용하였다.

IORT 아프리카이터 조사면의 표면선량은 에너지가 높을 수록 크게 나타났으며, 이는 Biggs등¹⁰⁾이 발표한 표면선량에 대해 원통형조사면의 경우 18 MeV 까지는 증가함을 보인 것과 잘 일치됨을 의미한다. 한편 IORT 아프리카이터를 사용한 표면선량은 기준조사면(10×10 cm²)에 비해 4 MeV에서 약 8% 증가 한 반면 15 MeV 에[서는 2.7% 증가를 보였다. 이것은 에너지가 높을 수록 전자선의 산란각이 작아지는 데 원인이 있는 것으로 보여진다. 특히 표면가까운 0.5 cm 깊이의 선량 Flatness 측정에서 아프리카이터벽에 의한 산란선으로 중심선속의 선량보다 높은 것을 볼 수 있으며, 에너지가 높을 수록 벽가까이 산란선이 높은 것은 산란각이 작아짐을 의미한다. 한편 Applicator-tip이 경사져 있는 경우 술중조사시 환부밀착이 용이한 점은 있으나 선량계측에는 변수가 많아진다. 여기서는 아프리카이터를 수직으로 세워 물표면과 Applicator-tip이 경사진 것과 가속기의 지지체를 Applicator-tip의 수평각 만큼 기울여 물표면과 평행밀착 시킨 경우를 비교하였다.

Air gap에 대한 유효선원위치는 기준조사면을 이용하여 명목상 선원-표면간거리를 100 cm로 두었을 때 공간을 0 cm으로 두고 20 cm까지 띄워 측정하여 거리

역사승법칙이 이루어질 수 있는 위치를 결정하였다.

IORT 아프리케이터에 의한 최대선량점의 Dose Profile은 에너지가 클 수록 조사면 가장자리의 선량이 높은 것을 알 수 있었으며, 15 MeV의 최대선량깊이에서 약 5% 증가함을 보였다. Kim¹¹⁾등의 발표에 의하면 약 9%의 증가를 보였다고 한 바 있으나, Collimator system, IORT 아프리케이터의 모양과 크기가 다르기 때문에 동일값을 기대할 수는 없다. 그러나 전자선 아프리케이터를 표면에 밀착시킬 때 조사면의 가장자리에 더 높은 선량이 예상되며, 0.5 cm 깊이에서 15 MeV인 경우 중심선속에 비해 약 13% 증가함을 볼 수 있다.

IORT 아프리케이터의 경사면을 수평하게 조사한 Film dosimetry 결과 2차원적 선량분포는 아프리케이터벽에 의한 산란선의 기여로 표재부위에 약 10%의 선량증가를 보여주었으며, 전리함 선량계에 의한 평가와 잘 일치함을 알 수 있었다.

선량분포도 중심은 선속을 따라 기울어진 것을 볼 수 있으며 이것은 선원-tip의 거리 또는 선원-표면간의 거리가 경사방향에 따라 달라 지며 조직내 경사선 조직필터와 같은 효과에 기인 된 것으로 생각된다.

결 론

본 연구에서는 술중조사에 사용될 5 각형 전자선 cone에 대한 전자선의 선량특성으로 선량분포, 심부선량율, air-gap, flatness 및 표면선량 등이 분석되었다. IORT 아프리케이터의 면적은 48 cm²의 5 각형 아프리케이터로 심부선량율은 10×10 cm²의 조사면적에서 R₅₀에서 미소한 차이를 보이고 있으나, 비정은 거의 동일한 값을 가졌다. 전자선 cone을 사용한 경우, 출력선량율은 기준조사면에 비하여 약 20~24% 증가함을 보였으며, 아프리케이터의 가장자리는 산란선의 영향으로 높은 선량율을 보였으며, 15 MeV에서 13%의 증가를 보였다. 평행평판형에 의한 표면선량은 4 MeV 77%, 6 MeV 78%, 9 MeV 85%, 12 MeV 90%, 15

MeV 91%를 얻었다. 전자선의 선량은 TG-21 protocol에 따라 조직깊이마다 에너지 변화에 따른 저지능비를 적용하여 흡수선량으로 교정되었다.

REFERENCES

1. Abe M, Takahashi M: Intraoperative radiotherapy: The Japanese experience. Int J Radiat Oncol Biol Phys 7:863-868, 1981
2. 김명세: 위암의 수술중 방사선 치료: 대한치료방사선 과학회지 9(1):87, 1991
3. Gunderson LL, Cohen AC, Dosoretz DD, et al: Residual, Unresectable or Recurrent Colorectal Cancer: External Beam Irradiation and Intraoperative Electron Beam Boost with/without Resection. Int J Radio Biol Phys Vol 9:1597-1606, 1983
4. AAPM Protocol: TG-21: A Protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. Med Phys 10(6):741-770, 1983
5. 한국의학물리학회: 방사선량의 표준측정법(방사선 치료용 광자선 및 전자선): p 13-36, 1990
6. Khan FM: Electron Beam Therapy: The Physics of Radiation Therapy. Baltimore/London, Williams & Wilkins 1989, pp 299-350
7. Chu SS, Kim GE, Loh JJK: Design and Dose Distribution of Docking Applicator for an Intraoperative Radiation Therapy. J. Korean Soc Ther Radiol Vol 9(1):123-130, 1991
8. Palta JR: electron beam on a Phillips SL-25, Med Phys 17(1):27-34, 1990
9. McCullough EC, Anderson JA: The dosimetric properties of an applicator system for intraoperative electron-beam therapy utilizing a Clinac-18 accelerator Med Phys 9(2):261-268, 1982
10. Biggs PJ, Epp ER, Ling CC, et al: Dosimetry, Field Shaping and Other Considerations for Intraoperative Electron Therapy. Int J Radi Oncol Biol Phys Vol 7, 875-884, 1981
11. 김성규, 신세원, 김명세: Rectal IORT cone의 선량 분포에 관한 연구. 의학물리 3권 1호, 45-52. 1992