

THE CHARACTERISTICS OF THE 10 MV & THE 6 MV PHOTON BEAM FROM THE CLINAC 1800

고려대학교 의과대학 부속병원 치료방사선과

김승겸·김유현

Varian Clinac 1800 선형 가속기의 6MV와 10MV X-선의 특성

본원에서 사용하고 있는 Varian사 Clinac 1800 선형 가속기의 6MV와 10MV의 특성을 알기 위하여 3Dimensional Water Phantom Dosimetry System을 이용하여 방사선 치료에 근간이 되는 심부선량백분율(Percent Depth Dose, PDD), 편평도(Beam Profile), 대칭도(Symmetry) 등을 측정하였고,

또한 측정된 심부선량백분율(PDD)로부터 각각의 Field Size에서 최대조직비율(Tissue Moximum Ratio, TMR)을 계산하였다. 추가로 Wedge Fatcor, Tray Factor와 선량 계산을 위하여 출력인자(Output Factor)를 구하였다.

I. INTRODUCTION(서론)

치료용 선형 가속기에서 발생하는 X-선은 에너지에 따라 선질의 특성이 다르고 제작 회사에 따라 조금씩 성질이 변하므로 기계마다 그 특성을 조사하여 치료시에 이용할 필요가 있다. 이런 이유로 그간 몇가지의 Energy에 대한 특성이 보고된 바 있다.

본원의 Clinac 1800 선형가속기는 6MV와 10MV의 X-선 및 전자선 6, 9, 12, 16, 20MeV 등 다양한 방사선 종류와 Energy를 동시에 사용할 수 있는 가속기로서, 기계의 출력(Output)은 6MV일 경우 1cGy/mu이고, 10MV일 경우

1cGy/mu의 출력을 내도록 조정되어 유지되고 있다. 치료에 필요한 6MV X-선과 10MV X-선의 정확한 특성을 알기 위해서는 심부선량백분율(PDD), 최대조직비율(TMR)등의 측정과 함께 편평도(Beam Profile), 대칭도(Symmetry), Wedge Factor, Tray Factor, Output Factor 등의 측정이 필수적이라 하겠다.

치료계획이 컴퓨터에 의해 이루어지고 있는 현재의 추세를 고려할 때 위의 기본 측정치들도 전산화 장치를 이용하여 측정할 필요가 있다. 이렇게 측정된 값이 그대로 치료계획용 컴퓨터에 읽혀져 치료계획용 자료로써 사용될 수 있기 때문이다. 본원이 보유하고 있는 측정장치인 MULTIDATA·RTD (Rodiation Therapy Dosimetry)를 사용하여 위에 열거한 자료를 측정할 수 있었다.

II. MATERIALS AND METHODS(측정 장비 및 방법)

1. 측정장비

- Linac : Varian clinac 1800 6MV, 10MV photon beam
- RTD : Multidata System
- Water Phantom : Multidata
- Ion Chamber : PTW 0.3cc M 233641
PTW 0.3cc M 23332
PTW Markus chamber M 23343
Capentec 0.6cc

○ Dosimeter : PTW IQ4

Capentec 192

6MV X선, 10MV X-선의 측정을 위한 장비로는 Ionization Chamber Water Phantom, Electrometer와 Water Phantom속의 전리함의 이동을 위한 조절부가 필요하다.

이 측정에서 얻어진 자료들을 곧장 치료 계획용 컴퓨터로 입력시키기 위하여 자료전송 장치가 적절한 프로그램과 함께 갖추어져야 한다. 본원이 보유한 MULTIDATA dosimetry System은 이런 목적에 맞게 제작된 것으로 450×450×450(mm) 크기의 Water Phantom, Sensitive Volume 0.3cc의 PTW 실린더형 Ion Chamber, 감약계(attenuator)와 MULTIDATA RTD(Radiation Therapy Dosimetry) Computer로 이루어지며, Water Phantom 속에는 ion chamber를 제어할 수 있는 3개의 Servo motor가 부착되어 측정용 컴퓨터에서 명령하는대로 자동적인 측정이 가능하도록 되어 있고, 측정된 자료는 프린터를 통해 출력해 내거나 치료 계획용 컴퓨터로 자료가 전송되도록 구성되어 있다. X-선의 흡수선량은 Exposure/Exposure Rate Meter(Capithec 192)를 사용하여 측정하였다.

2. 심부선량백분율(PDD) 및 최대조직비율(TMR)

심부선량백분율(PDD)를 결정하기 위하여 피부에서 34cm 깊이에서 선속 중심축상의 전리조(Ionization chamber)의 유동변화를 측정하였다. 측정치는 RTD Computer로 자료가 전송되어 프린터를 통해 출력해 낸다. 심부선량백분율(PDD)는 선원과 물 표면과의 거리를 100cm로 고정시키고 조사야는 물 표면에서의 크기로 정의되며, 조사야의 변화에 따른 심부선량백분율(PDD)의 변화를 알기위해 3×3cm²에서 40×40cm²까지의 조사야에 걸쳐 측정하였다.

조사면이 10×10cm²이고 10cm depth에서 심부선량백분율(PDD)은 10MV에서 73.3%로 제작사에서 추천된 73±2%와 일치하였고 6MV에서도 66.6%로 측정되어 제작사에서 추천된 67±2%와 잘 일치하였다.

최대조직비율(TMR)은 심부선량백분율(PDD)과

는 달리 전리함과 선원간의 거리(SSD : Source Detector Distance)가 100cm로 일정하게 유지되어야 하는데 Water Phantom의 높이를 변형시켜 SDD를 일정하게 유지시키는 어려움이 있었다. 측정된 최대조직비율(TMR)과 계산된 최대조직비율(TMR) 값은 거의 일치 했다는 것이 보고 되었다.

이렇게 측정된 최대조직비율값을 아래식을 이용하여 심부선량백분(PDD) 값으로부터 계산한 최대조직 비율값과 비교하였다.

$$TMR(d,Rd) = \frac{PDD(d,R.SSD)}{100} \times \left(\frac{(SSD+d)}{SSD+Dmax} \right)^2 \times \frac{SP(RDmax)}{SP(RD)}$$

d : depth

R : SSD 10cm에서의 조사야

sp : phantom 산란 보정 인자

$$Rd = R \left(\frac{(SSD+d)}{SSD} \right)$$

$$RDmax = R \left(\frac{(SSD+Dmax)}{SSD} \right)$$

Phantom 산란 보정인자는 Collimator 크기를 고정시킨 후, 주어진 조사야에서 선속상 최대치 깊이(Dmax)에서의 선량율과 10cm×10cm² 기준 조사야에서의 선량율의 비로서 정의되지만, 이 값을 직접 측정하는 일은 기술적으로 어려우므로 Collimator 산란인자(Sc)와 전체산란인자(Sc.p)를 측정하여 아래와 같은 관계식으로 Phantom 산란보정인자를 구하였다.

$$SP = \frac{SC.P}{Sc} \quad (2)$$

3. Beam Profile과 Wedge

Beam Profile은 심부선량백분율을 측정할 때와 동일한 장치로 측정하였으며, 조사야는 3×3cm²에서 40×40cm²까지 선택하였고 5단계 깊이를 선정하여 각 2.5cm, 10.5cm, 18.5cm, 26.5cm, 34.5cm에서 중심선축을 지나는 종축 또는 횡축의 선량율의 변화로 측정하였다.

조사야의 편평도(flatness) 및 대칭도(Symmetry)는 기준조사야 10×10cm², dmaxx 깊이에서 측정하였으며 편평도(flatness)는 조사야 내의

선량최대최소점을, 대칭도(Symmetry)는 Beam 중심과 조사야 크기 80% 지점에서의 값으로 각각 계산하였다.

Wedgex 15°, 30°, 45°, 60°인 Universal Wedge를 사용하였으며, Beam Profile과 같은 방법으로 선량을 변화곡선을 구하였으며, Dmax 깊이에서의 통과인자(Wedge transmission factor)를 구하였다.

4. 출력인자(Output Factor)

출력인자(Output factor)는 10×10cm 기준 조사야에서의 흡수 선량을 1로 할 때 각 조사야에서의 흡수선량비로서 PDD, TMR의 경우에 대해 조사야에 대한 함수로 측정하였다.

조사면 3×3cm에서 40×40cm까지의 범위를 선정하여 Water Phantom에서 출력인자(Output factor)를 측정하였다.

5. Wedge Factor와 Tray Factor

Wedge factor는 Wedge를 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때에 주어진 10cm depth에서 출력(Output)의 비로서 구해졌다. 선축상 최대치 지점(Dmax)에서 15°, 30°, 45°, 60°의 Wedge factor를 각각 측정하였다.

Tray factor는 Tray가 있을때와 없을때에 선축상 최대치 지점(Dmax)에서의 출력(Output)의 비로서 구하였다.

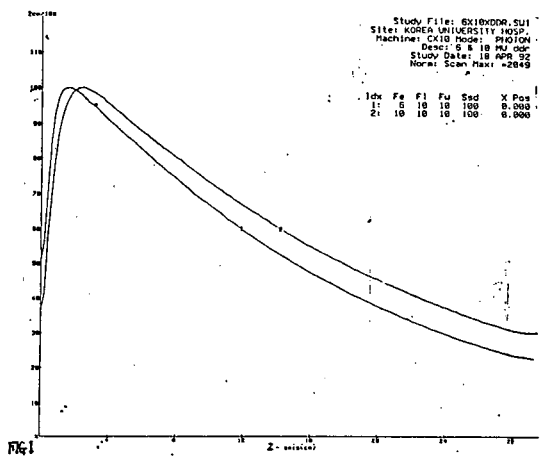
아크릴 Tray₁의 두께는 5.6mm였고

Tray₂의 두께는 6.4mm였으며 조사면 10×10cm에서 각각 측정하였다.

III. DISCUSSION(결과)

1. Fig 1과 같이 Dmax는 SSD가 100cm, 조사면이 10×10cm일때 6MV에서 1.6cm, 10MV에서 2.4cm으로 제작사에서 추천된 6MV의 1.5±0.2cm과 10MV의 2.4±0.2cm과 비교할 때 잘 일치하였고, 또한 4×4cm, 15×15cm, 40×40cm의 Field에서는 Table 1과 같이 6MV의 경우 1.6cm, 1.4cm, 1.4cm로 나타났고 10MV의 경우 2.8cm, 2.4cm, 2.2cm로 조사면이 넓어지면서 측정치가 표면에 가까워 짐을 알 수

있었다.



(Fig 1)

(Table 1) Dmax of 6MV and 10MV x-ray
SSD=100cm at a Depth of 10cm

| Energy F.S(cm) | 6MV | 10MV |
|-------------------|-----|------|
| 4×4 | 1.6 | 2.8 |
| 10×10 | 1.6 | 2.4 |
| 15×15 | 1.4 | 2.4 |
| 40×40 | 1.4 | 2.2 |

2. 조직표면선량(Surface Dose)는 Table 2에서와 같이 SSD 100cm일때 조사면이 10×10cm에서 6MV일 경우 49.9% 10MV일 경우 34.5%였고, 4×4cm에서 6MV일때 43.2% 10MV일때 26.8%로 나타났으며, 40×40cm에서는 6MV일때 69.6% 10MV일때 56.3%로 조사면이 넓어지면서 표면선량은 증가하는 결과를 보였다.

(Table 2) Surface Dose of 6MV and 10MV x-ray
SSD=100cm

| Energy F.S(cm) | 6MV | 10MV |
|-------------------|-------|-------|
| 4×4 | 43.2% | 26.8% |
| 10×10 | 49.9% | 34.5% |
| 40×40 | 69.6% | 56.3% |

3. 심부선량백분율(PDD)은 Table 3에서 나타나는 바와 같이 SSD 100cm에서 측정하였고, 조

사면이 10×10cm이고 10cm depth에서 6MV에서 66.6%로 제작사에서 추천된 67±2%와 일치하였고, 10MV에서도 73.3%로 제작사에서 추천된 73±2%와 잘 일치하였다. 또한 80%와 50%에서의 선량의 깊이는 6MV에서는 80%에서 6.531, 50%에서 15.255로 나타났으며, 10MV에서는 80%에서 8.288, 50%에서 18.400으로 각각 측정되었다.

<DDR Table 3>

| KUH CLX6 18 APR 92 6.0MeV PHOTON 100.0cm SSD | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Description: 6mv ddr | | | | | | | |
| Field Size(Eq Square) -----> | | | | | | | |
| | 3.000 | 7.000 | 10.000 | 15.000 | 20.000 | 25.000 | |
| DEPTH | 0.000 | 0.4286 | 0.4720 | 0.4991 | 0.5477 | 0.5894 | 0.6222 |
| 1.500 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| 3.000 | 0.9376 | 0.9478 | 0.9489 | 0.9495 | 0.9504 | 0.9503 | |
| 5.000 | 0.8330 | 0.8554 | 0.8656 | 0.8709 | 0.8761 | 0.8800 | |
| 10.000 | 0.6073 | 0.6498 | 0.6653 | 0.6855 | 0.6986 | 0.7053 | |
| 15.000 | 0.4403 | 0.4861 | 0.5072 | 0.5315 | 0.5466 | 0.5575 | |
| 20.000 | 0.3208 | 0.3622 | 0.3814 | 0.4080 | 0.4240 | 0.4361 | |

<DDR Table 3>

| KUH CX10 18 APR 92 10.0MeV PHOTON 100.0cm SSD | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Description: | | | | | | | |
| Field Size(Eq Square) -----> | | | | | | | |
| | 3.000 | 7.000 | 10.000 | 15.000 | 20.000 | 25.000 | |
| DEPTH | 0.000 | 0.2886 | 0.3307 | 0.3664 | 0.4290 | 0.4752 | 0.5206 |
| 1.000 | 0.8362 | 0.8573 | 0.8683 | 0.8953 | 0.9228 | 0.9337 | |
| 2.000 | 0.9926 | 0.9928 | 0.9967 | 1.0006 | 1.0014 | 1.0050 | |
| 2.500 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | |
| 3.000 | 0.9900 | 0.9934 | 0.9895 | 0.9887 | 0.9888 | 0.9858 | |
| 5.000 | 0.9017 | 0.9158 | 0.9163 | 0.9151 | 0.9190 | 0.9190 | |
| 10.000 | 0.6945 | 0.7252 | 0.7329 | 0.7442 | 0.7509 | 0.7548 | |
| 15.000 | 0.5359 | 0.5680 | 0.5803 | 0.5965 | 0.6077 | 0.6153 | |
| 20.000 | 0.4133 | 0.4471 | 0.4577 | 0.4759 | 0.4883 | 0.4959 | |
| 30.000 | 0.2912 | 0.3156 | 0.3289 | 0.3475 | 0.3600 | 0.3687 | |

4. 최대조직비율(TMR)은 심부선량백분율(PDD)로부터 계산하였고 측정값과의 차이는 Table 4에서 나타나는 바와 같이 10×10cm 조사면의 10cm depth에서 6MV x-선은 0.7767로 나타나고 10M x-선은 0.8414로 측정되었다.

<TMR Table 4>

| KUH CLX6 18 APR 92 6.0MeV PHOTON 100.0cm SSD | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Description: 6MV TMR | | | | | | | |
| Field Size(Eq Square) -----> | | | | | | | |
| | 3.000 | 7.000 | 10.000 | 15.000 | 20.000 | 25.000 | |
| DEPTH | 0.000 | 0.4160 | 0.4582 | 0.4845 | 0.5316 | 0.5721 | 0.6039 |
| 1.500 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | |
| 3.000 | 0.9653 | 0.9755 | 0.9770 | 0.9777 | 0.9786 | 0.9786 | |
| 5.000 | 0.8906 | 0.9134 | 0.9246 | 0.9312 | 0.9365 | 0.9407 | |
| 10.000 | 0.7099 | 0.7553 | 0.7767 | 0.7991 | 0.8149 | 0.8248 | |
| 15.000 | 0.5895 | 0.6106 | 0.6393 | 0.6701 | 0.6916 | 0.7065 | |
| 20.000 | 0.4412 | 0.4894 | 0.5182 | 0.5517 | 0.5777 | 0.5955 | |

<TMR Table 4>

| KUH CX10 18 APR 92 10.0MeV PHOTON 100.0cm SSD | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Description: | | | | | | | |
| Field Size(Eq Square) -----> | | | | | | | |
| | 3.000 | 7.000 | 10.000 | 15.000 | 20.000 | 25.000 | |
| DEPTH | 0.000 | 0.2747 | 0.3148 | 0.3487 | 0.4083 | 0.4523 | 0.4955 |
| 1.000 | 0.8118 | 0.8320 | 0.8427 | 0.8685 | 0.8949 | 0.9060 | |
| 2.000 | 0.9829 | 0.9831 | 0.9867 | 0.9906 | 0.9916 | 0.9949 | |
| 2.500 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | |
| 3.000 | 0.9996 | 1.0029 | 0.9996 | 0.9984 | 0.9985 | 0.9959 | |
| 5.000 | 0.9457 | 0.9598 | 0.9615 | 0.9605 | 0.9636 | 0.9644 | |
| 10.000 | 0.7974 | 0.8296 | 0.8414 | 0.8535 | 0.8620 | 0.8673 | |
| 15.000 | 0.6706 | 0.7058 | 0.7237 | 0.7429 | 0.7576 | 0.7683 | |
| 20.000 | 0.5607 | 0.5993 | 0.6193 | 0.6398 | 0.6579 | 0.6710 | |
| 30.000 | 0.4616 | 0.4918 | 0.5128 | 0.5383 | 0.5605 | 0.5760 | |

5. 대칭도(Symmetry)와 편평도(Flatness)는 Table 5와 같이 조사면 10×10cm일때 Dmax 점에서 6MV x-선에서는 각각 0.09%와 0.82%로 나타났으며, 10MV x-선에서는 각각 0.21%와 1.30%로 측정되었다.

<Table 5>

6MV

| F·S(cm) | Symmetry(%) | Flatness(%) |
|---------|-------------|-------------|
| 10×10 | 0.09 | 0.82 |

10MV

| F·S(cm) | Symmetry(cm) | Flatness(%) |
|---------|--------------|-------------|
| 10×10 | 0.21 | 1.30 |

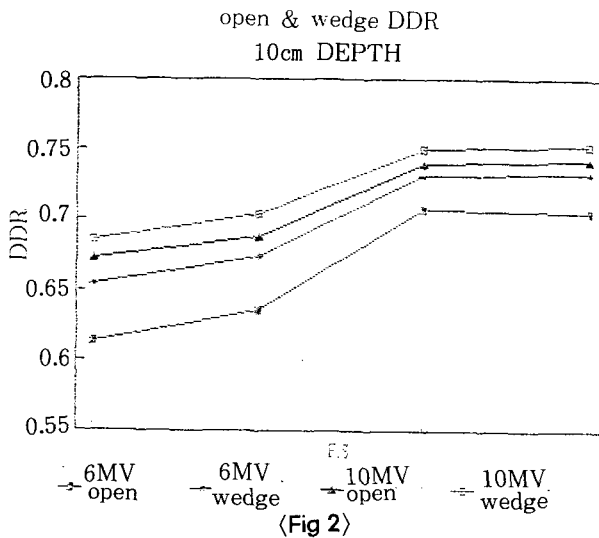
6. 출력인자(Output factor)는 Table 6에서 나타나는 바와 같이 10×10cm 기준 조사면에서 흡수선량을 1로 하였을 때 6MV에서는 4×4cm에서 0.920, 40×40cm 조사면에서 1.111로 각각 측정되었고, 10MV x-선에서는 4×4cm 조사면에서 0.903, 40×40cm 조사면에서 1.134로 측정되어 조사면이 증가할수록 흡수량이 증가하는 결과를 보였다.

<Table 6> MV out put factor

| F·S | Energy | |
|-----|--------|-------|
| | 6MV | 10MV |
| 3 | 0.876 | 0.843 |
| 4 | 0.920 | 0.903 |
| 5 | 0.938 | 0.926 |
| 6 | 0.956 | 0.945 |
| 7 | 0.969 | 0.959 |
| 8 | 0.978 | 0.977 |
| 10 | 1.000 | 1.000 |
| 12 | 1.018 | 1.023 |
| 15 | 1.040 | 1.046 |
| 20 | 1.062 | 1.074 |
| 25 | 1.075 | 1.092 |
| 32 | 1.097 | 1.120 |
| 40 | 1.111 | 1.134 |

7. Wedge fatcor는 15°, 30°, 45°, 60° Wedge에서 6MV는 0.776, 0.631, 0.487, 0.412로 측정되었고 10MV는 0.802, 0.671, 0.518, 0.442로 각각 측정되었으며, Tray의 투과율은 Tray 1에서 6MV, 10MV 모두 0.995로 나타났으며, Tray 2의 경우 6MV에서 0.972, 10MV에서 0.982로 측정되었다.

8. 10cm Depth에서의 open DDR과 Wedge DDR을 비교해 본 결과 Fig 2에서 보듯이 6MV에서는 open DDR에서 2%가 높게 나타났으며, 10MV에서는 open DDR과 Wedge DDR은 약 1% 이내의 차이를 보였다.



IV. CONCLUSION(결론)

1. 심부선량백분율(PDD), 최대조직비율(TMR)등은 표면선량은 제외하고는 이미 보고된 값과 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

2. Surface Dose가 10×10cm에서 6MV에서는 49.9%, 10MV에서는 34.5%로 측정되어 문헌의

15%와는 많은 차이를 보였다.

3. 심부선량백분율(PDD)는 15°, 30°, 45°, 60° Wedge에서 각각 측정하였고, Wedge가 있을 때와 없을 때의 심부선량백분율(PDD)은 6MV x-선에서 2%, 10MV x-선에서 1% 내의 각각 차이를 보였다.

4. 편평도(Flatness) 및 대칭도(Symmetry)는 각각 6MV에서는 0.82%, 0.09%로 나타나고 10MV x-선에서는 1.30%, 0.21%로 측정되었다.

5. Wedge Factor는 15°, 30°, 45°, 60° Wedge에서 6MV x-선은 0.776, 0.631, 0.487, 0.412였고, 10MV x-선은 0.802, 0.671, 0.518, 0.442로 측정되었다.

REFERENCES

1. Karzmark CJ ; advances in liner accelerator design for radiotherapy. Med phys 11:105~128, 1984
2. John E, Aldrich, et al : characteristics of the photom beam from a new 25-MV liner accelerator. Medp phys 12:619~624, 1985
3. 이병용·이명자 : Mevatron KD 선형가속기에서의 10MV x-선특성, 대한치료방사선과학회지 6:101~108, 1988
4. 김계준·이종영·박영란 : CLINAC 1800 선형가속기의 10MV x-선의특성 대한치료방사선과학회지 9:131~140, 1991
5. Khan FM, Moore VC, et al : Depth dose and scatter analysis of 10MV x-rays. Radiology 102:165~169, 1972
6. Khan FM : The physics of Radiation Therapy. Baltimore, Williams & Wilkins, 1984, pp.182~204