

썰기 인자 결정 깊이에 관한 연구

김현자, 이병용*, 김계준**, 배훈식***, 최은경*, 장혜숙*, 안기정

부산침례병원 치료방사선과

*아산재단 서울중앙병원, 울산대학교 의과대학 치료방사선학교실

**원주의과대학 치료방사선학교실

***강동성심병원, 한림대학교 의과대학 방사선학교실

초 록

썰기 인자의 깊이 의존성 연구를 통하여 적절한 썰기 인자 결정 깊이에 관한 연구를 하였다. 4 MV, 6MV, 10MV, 15MV (사용가속기 Varian, Siemens, Mitsubishi) 선중에 대하여 명목 썰기 각도 15°, 30°, 45°, 60°, 썰기를 사용하여, 깊이 변화에 따르는 썰기 인자 변화를 살펴보았다. 적정 썰기 인자 결정 깊이를 알아보기 위하여 서울중앙병원, 부산침례병원, 원주기독병원에서 1990. 1-1991. 12 사이에 썰기를 이용하여 방사선 치료를 받은 환자중 무작위로 614명을 추출하여 사용 에너지별, 썰기 각도별, 치료 깊이별 분석을 시도하였다. 전체 환자의 60% 이상이 8cm±2.5cm 깊이에서 치료를 받았다. 썰기 인자를 선량 최대 깊이로 결정할 경우 모든 환자가 평균 2%(최대 4%)의 치료 오차를 갖게 된다. 그러나 8cm 깊이를 썰기 인자 결정 깊이로 할 경우 평균 0.5% 선량 오차 이내로 (사용가속기 기종, 에너지, 썰기 각도에 관계 없이 최대 오차 1.7% 이내) 정확한 치료를 받을 수 있음을 알았다. 따라서 썰기 인자는 5-10cm(8cm) 깊이에서 결정되는 것이 합리적인 것을 알았다.

서 론

방사선 치료에 있어서 썰기(Wedge)는 가장 흔히 사용되는 선량분포 변형 장치이다. Ellis와 Miller¹⁾가 1944년에 나무를 이용하여 orthovoltage 방사선의 선량분포 변형을 처음으로 시도한 이래 널리 사용되고 발달되게 되었다. 재질은 나무에서 구리, 스테인레스스틸, 납 등으로 다양하게 바뀌었고, 사용 방사선에 있어서도 Co-60, 선형 가속기로 확장되었다. Aron과 Scapicchio²⁾가 개발한 Universal Wedge는 방사선 치료에 있어서 일상적으로 썰기를 손쉽게 정확하게 사용할 수 있는 길을 열어 주었다. 썰기는 선량을 현저하게 감소시키므로 썰기 인자의 결정은 정확한 방사선 치료에 있어서 필수적이라 하겠다. Universal Wedge는 최근까지 치료 깊이가 10 cm 이내에서는 중심축 선질, 즉 TMR(Tissue Maxium Ratio), PDD(Percent Depth Dose)등을 바꾸지 않고 BSF(Back Scatter Factor)등 조사면 관련 인자도 바꾸지 않으므로 최대 선량 지점에서 측정해도 무방한 것으로 알려져 왔다³⁾. 최근 들어와서 선량 측정 장비가 발달되고 썰기를 사용할 수 있는 조사면이 점차 넓어지면서 Universal Wedge라 하더라

도 췘기 인자가 조사면과 관련이 있다는 사실이 알려지게 되었다⁴⁾

1988년 McCullough⁵⁾ 등은 췘기 인자와 깊이와의 관계를, 같은해 Palta⁶⁾ 등은 조사면과 췘기 인자와의 관계에 대하여 논의 하였고 1989년 우홍⁷⁾ 등은 췘기를 사용할 때와 사용하지 않을 때의 중심축 선량을(PDD) 등의 변화에 대하여 연구한 바 있고, Kalend⁸⁾ 등은 1990년 실험을 통하여 췘기 형 조사면에서 선질이 변하는 이유에 대하여 분석하였다. 1991년에는 Knoeoes⁹⁾가 치료계획에 췘기를 사용하려면 최대 선량 깊이가 아닌 dosimetric protocol 에서 선량 결정을 위해 요구하는 기준 측정점에서 췘기 인자를 측정하여야 한다고 보고한 바 있다. 이 밖에도 비대칭 콜리메이터와 췘기 인자에 관한 연구가 보고되는 등 (1992년 Niroomand-Rad)¹⁰⁾ 췘기 인자에 관한 연구는 최근까지도 활발히 진행되고 있다. 그러나 대부분의 연구가 방사선 물리학적 관심에서 머물고 있을뿐 실제 임상 경험과 비교하는 시도는 없었다. 저자들은 국내에서 췘기를 사용하여 치료한 환자들을 대상으로 치료 깊이를 조사하여 가장 흔히 분포하는 깊이를 알아보고 그 깊이에서 췘기 인자를 결정할 경우와 선량 최대 지점에서 췘기 인자를 결정할 경우를 사용한 방사선 에너지 별로 비교 분석하였다.

재료 및 방법

췘기 인자 측정에 사용된 가속기는 Varian, Mitsubishi, Siemens 등 회사 제품으로 4MV (Varian CL/4/100), 6MV(Mitsubishi ML-6M, Siemens Mevatron 6070, Varian CL/1800), 10MV, 15MV(Varian CL/1800)의 에너지에 대해 각각의 가속기 제작회사가 공급하는 췘기를 사용하였으며 명목상 췘기 각도는 15°, 30°, 45°, 60°이다. 이 기기들을 사용하여 깊이 변화에 따르는 췘기 인자 변화에 따르는 췘기 인자 변화를 살펴보았다. 적정 췘기 인자 결정 깊이를 알아보기 위하여 서울중앙병원, 부산침례병원, 원주기독병원에서 1990.1-1991.12 사이에 췘기를 이용하여 방사선 치료를 받은 환자중 임의로 614명을 추출하여 치료 깊이별 분석을 시도하고 이에 따르는 췘기 인자의 변화 효과를 연구하였다.

결 과

그림 1은 사용된 췘기별 실제 사용깊이의 분포도이다. 15°췘기는 4cm-20cm 깊이에 걸쳐서 고른 분포로 이용되고 있었다. 얇은 두께의 두경부 부위로부터 흉부, 복부, 자궁등을 치료할 때 불균일한 contour의 보상체 성격으로 많이 이용되는 이유때문인 것으로 분석된다. 전체적으로 60% 이상의 환자가 8cm ± 2.5cm 사이의 깊이에 대해 치료를 받았다. 60°췘기는 낮은 에너지 (4-6MV)에서 주로 이용되었고 10cm이상의 깊이에서 사용된 예는 한 건도 없었다. 그림 1을 다시 사용에너지별로 나누어 분석하더라도 그 추세는 변하지 않았다. 이 결과를 이용하여 8cm 깊이에서 췘기 인자를 정할 때와 선량 최대 깊이 췘기 인자를 정할 때 각 깊이에서 생길 수 있는 선량 평가 오차를 에너지 별로 그림 2-9에 나타내었다. 깊이가 5~10cm 이상이 되면 췘기 인자의 변화는 크게 줄어들며, 특히 이 추세는 높은 에너지로 갈수록 현저해짐을 알 수 있다. 의료용 가속기 제작사별 췘기 인자변화를 표 1에 나타내었다. 조사면 크기 10×10cm²에서 최대선량 깊이와 10cm 깊이에 대한 비교를 할 때 세 회사 제품이 뚜렷한 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

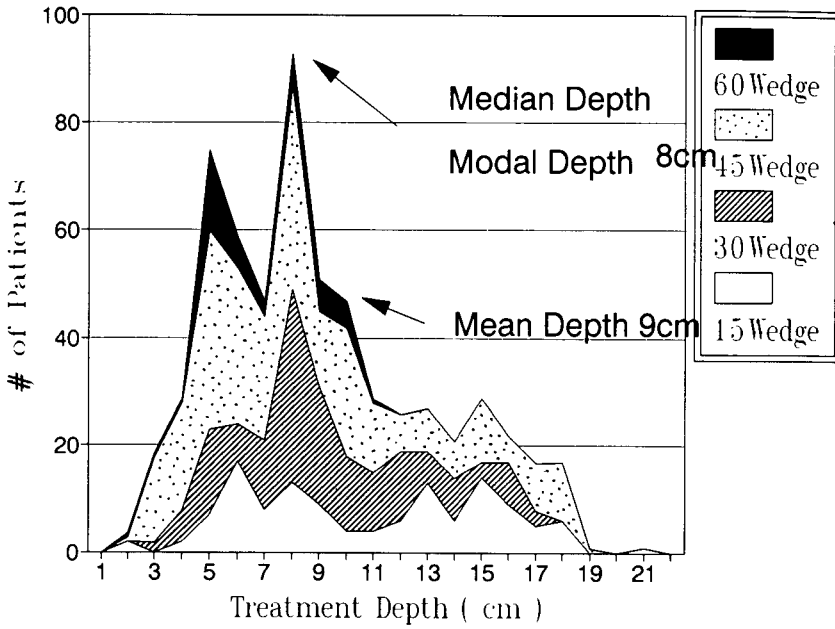


Fig. 1. Depth distribution of patients who had treated with wedge field

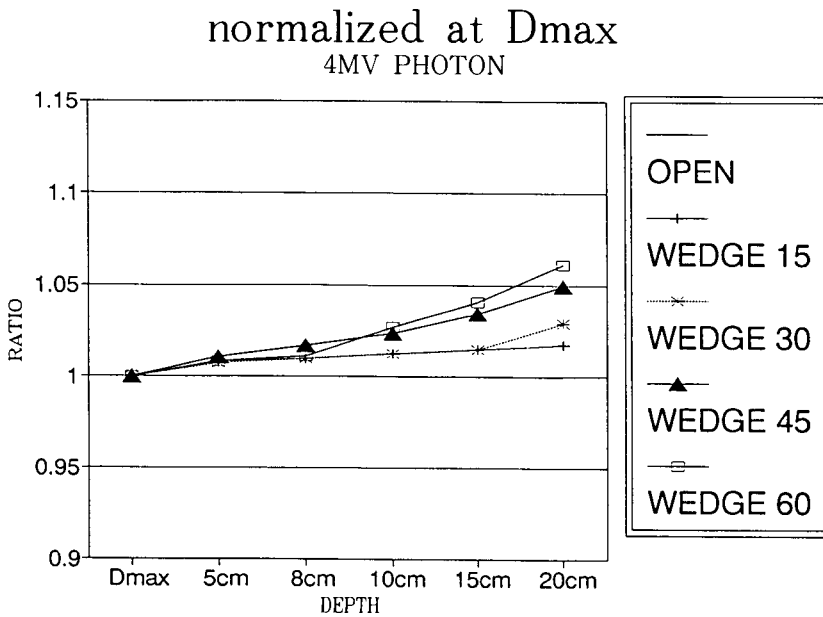


Fig. 2. Relative Wedge factors variation as depth for 4MV photon normalized at depth maximum

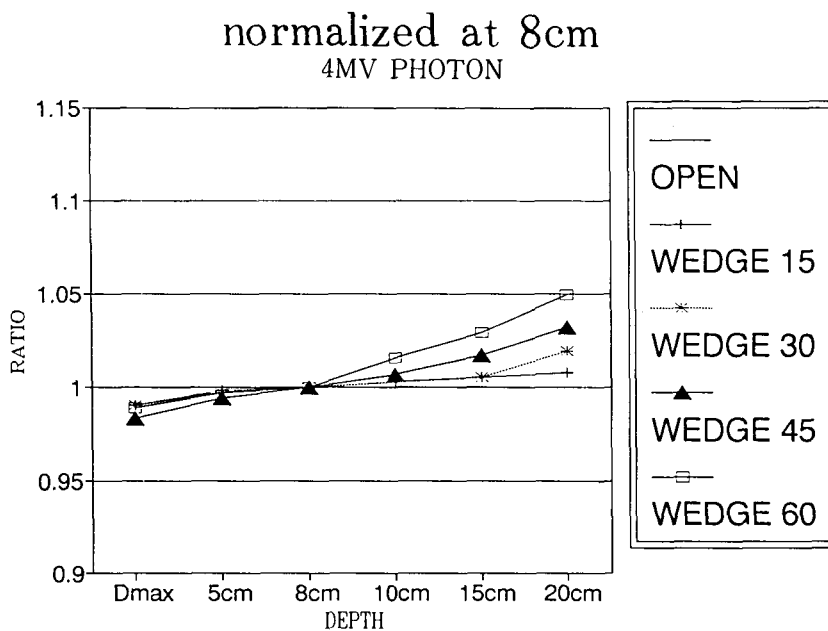


Fig. 3. Relative Wedge factors variation as depth for 4MV photon normalized at depth 8cm

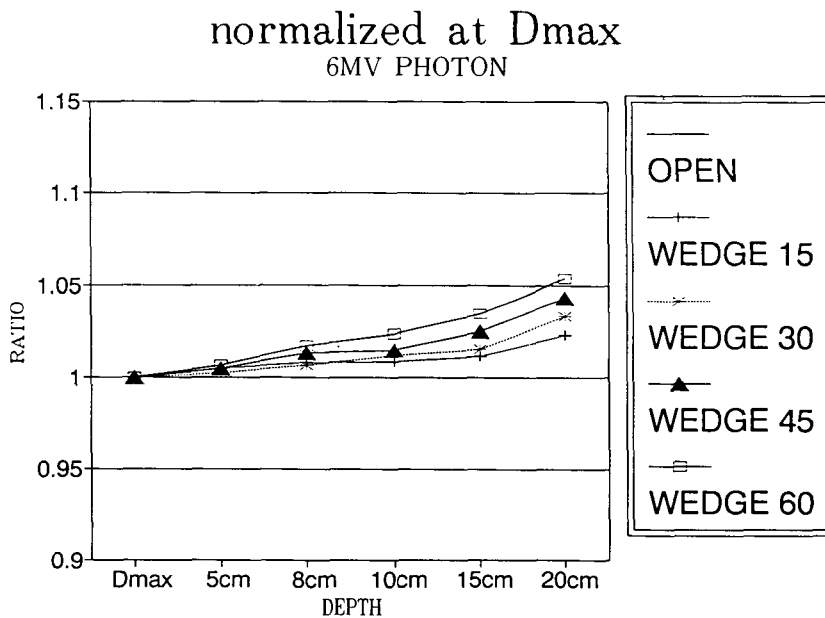


Fig. 4. Relative Wedge factors variation as depth for 6MV photon normalized at depth maximum

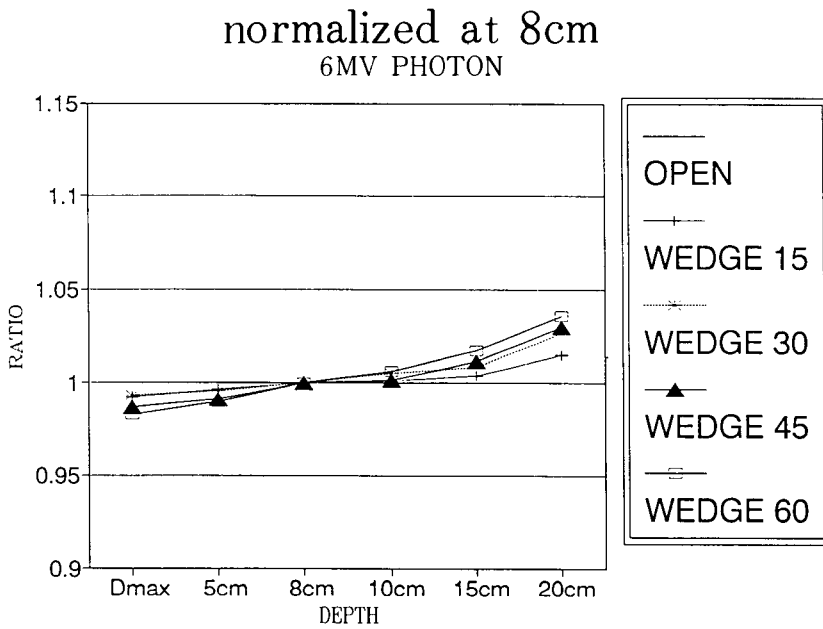


Fig. 5. Relative Wedge factors variation as depth for 6MV photon normalized at depth 8cm

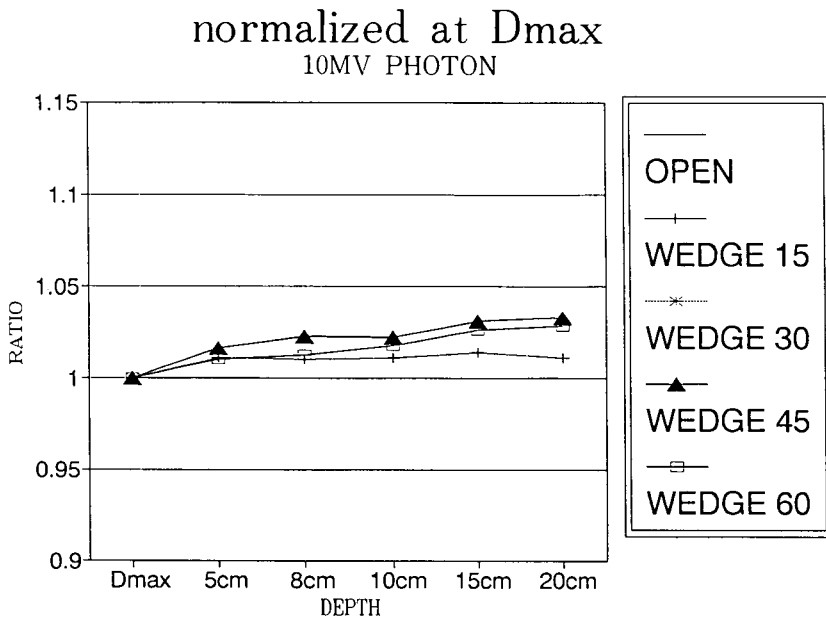


Fig. 6. Relative Wedge factors variation as depth for 10MV photon normalized at depth maximum

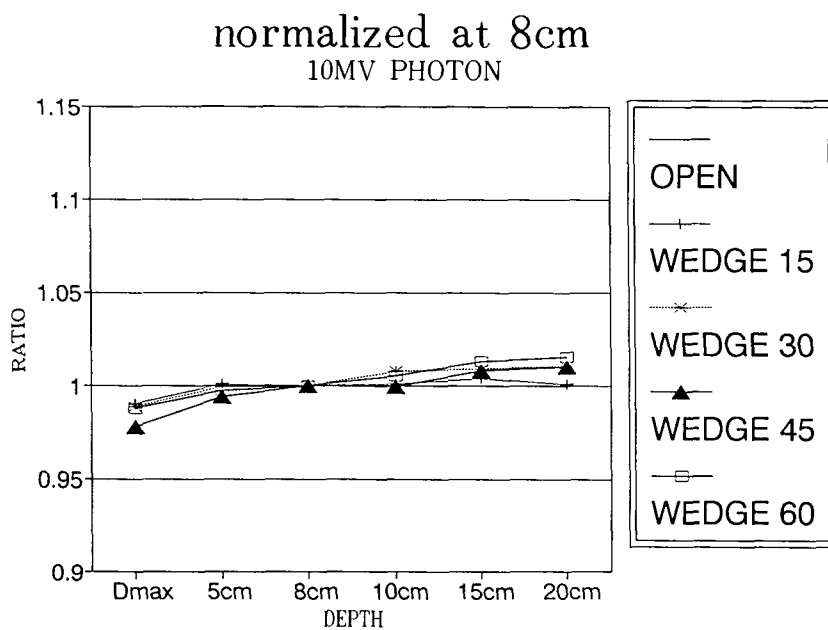


Fig. 7. Relative Wedge factors variation as depth for 10MV photon normalized at depth 8cm

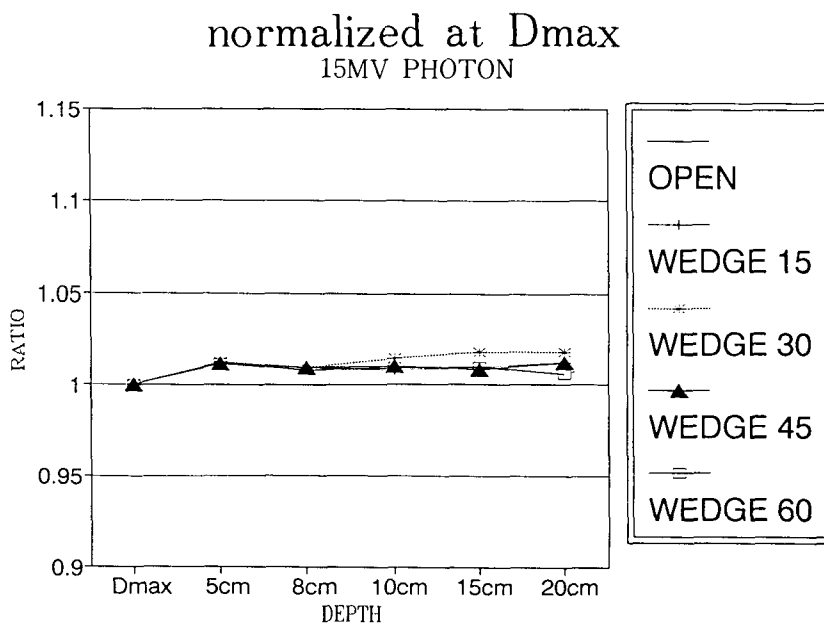


Fig. 8. Relative Wedge factors variation as depth for 15MV photon normalized at depth maximum

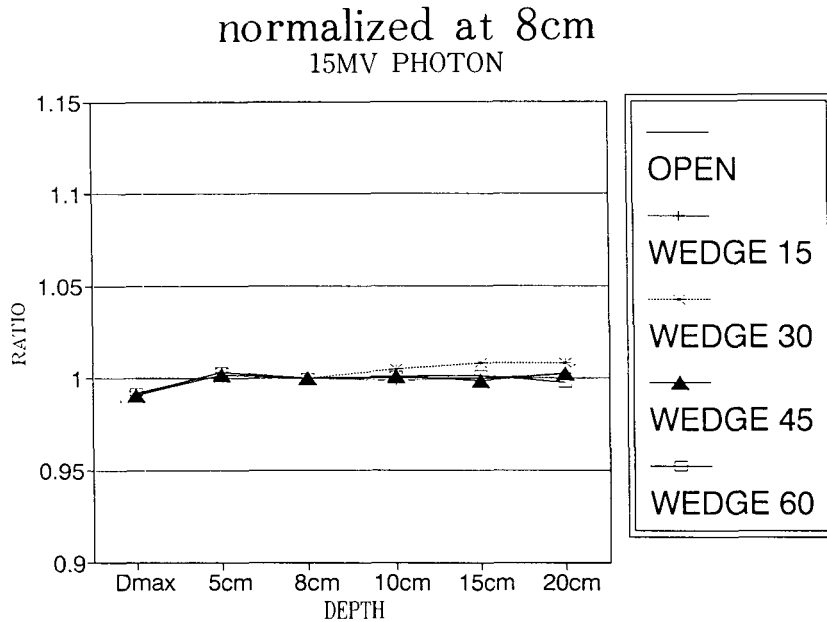


Fig. 9. Relative Wedge factors variation depth for 15MV photon normalized at depth 8cm

Table 1. Relative Wedge Factors of 6MV Photon beam for various wedge angles and for three manufacturers of linear accelerator. (Field size $10 \times 10\text{cm}^2$, ratio between depth d_{max} and 10cm)

Manufacture	PDD 10cm	15Wedge	30Wedge	45Wedge	60Wedge
Varian	67.2%	1.009	1.012	1.015	1.024
Siemens	67.6%	1.009	1.016	1.022	1.034
Mitsubishi	67.4%	1.009	1.016	1.002	1.024

고 찰

췌기 인자의 결정 깊이, 조사면 크기등의 변화에 따라 환자 치료 선량에 2-7%의 오차가 있을 수 있음을 보고하고 있다^{8,9,10}. 이런 문제를 해결하기 위해서 Knoeoes⁹는 췌기 인자 결정 깊이를 선량 결정 제안서 규정에 따르기를 권하고 있다. KAPM 91 Protocol¹¹에 따르면 6MV 이하의 에너지는 5cm 깊이에서, 그 이상의 에너지는 10cm 깊이에서 선량을 결정하도록 되어있다. 따라서 Knoeoes의 권고를 따른다면 에너지 별로 췌기 인자 결정 깊이를 에너지에 따라 바꾸어야 하는 불편함이 따른다. 우홍⁷⁾등은 췌기마다 PDD(Percent Depth Dose), TMR(Tissue

Maximum Radtio)등을 별도로 만들어서 사용할 것을 권하고 있지만 현실적이지 못한 처방이다.

통상적으로 깊이에 따라 췘기 인자의 변화가 생기는 것은 우홍등이 지적한 바와 같이 beam hardening 효과 때문인 것으로 알려졌으나, Kalend⁸⁾의 연구를 통해 beam hardening 효과가 아닌 dose-gradient scatter 효과인 것임이 밝혀졌다. 따라서 이 효과만 적절히 고려한다면 굳이 PDD, TMR 등을 각 췘기마다 별도로 만들어서 이용할 필요가 없어지게 된다. 그림 2-9의 결과는 깊이가 깊어짐에 따라 췘기 인자의 변화 값이 점점 커지는 경향임을 보여 주고 있으나 췘기 인자를 8cm(5-10cm) 깊이에서 결정하면 에너지, 췘기 각도에 관계 없이 오차가 현저히 줄어들을 알 수 있다. 실제로 치료 깊이, 사용 에너지에 따라 췘기 인자를 선량 최대 깊이로 결정할 경우 최대 4%, 전체 환자 평균 2%의 선량오차가 있을 수 있게 된다. 그러나 8cm깊이에 췘기 인자를 결정하면 평균 0.5% 이내로 (최대 1.7%)선량 오차를 줄일 수 있음을 본 실험에서 알 수 있었다. (60%이상의 환자는 췘기 인자에 관한 한 선량 오차가 0%가 된다) 췘기의 사용여부, 각도의 결정등은 치료용 가속기의 특성뿐 아니라 의학 물리학자 또는 치료 방사선과 의사등의 취향에 따라 변화하게 마련이다. 본 연구에서는 3개 병원에서 치료한 환자를 대상으로 연구를 시행하였으므로 개인차에 의한 오차의 요인이 제거될 수 있었다. 사용에너지는 국내에 사용중인 Co-60과 23MV 를 제외하곤 모두 조사대상에 올랐으며, 사용기기 별도로 국내에 사용중인 전체 의료용 가속기의 71%를 차지하는 Varian, Siemens, Mitsubishi 등을 사용하여서 연구 결과의 객관성을 더 할 수 있었다¹²⁾. 본 연구를 통해 췘기를 이용하여 방사선 치료를 받는 환자의 치료 깊이가 8cm ± 2.5cm 임이 밝혀졌다. Das¹³⁾는 Massachusetts 대학병원에서 2년간 방사선 치료를 받은 환자의 치료 깊이를 조사하였는데, 치료 깊이의 분포가 표면에서 27cm 까지 Poisson 분포를 하였고 85% 이상의 환자가 12.5cm 이내에서 치료를 받았고 깊이의 중간값이 8cm가 된다고 보고하였다.

그림 1에서와 같이 본 연구에서도 중간값, 최빈값이 8cm, 평균값이 9cm에 이르며 치료 깊이가 표면에서 22cm까지 Poissin 분포하는 결과가 나와서 본 연구의 결과와 Das의 보고가 정확히 일치하고 있으므로 본 연구의 결과가 국제적으로 적용되는데 무리가 없음을 알 수 있다.

결 론

췘기 인자의 깊이 의존성 연구를 통하여 적절한 췘기 인자 결정 깊이에 관한 연구를 하였다. 4MV, 6MV, 10MV, 15MV 선종에 대하여 국내에서 대표적으로 사용되는 기종인 Siemens, Varian, Mitsubishi 제품을 비교하였다. 이때 사용한 명목 췘기 각도는 15°, 30°, 45°, 60°였다. 췘기를 사용하여 치료받은 614명의 환자중에서 60% 이상이 8cm ± 2.5cm 깊이에서 치료를 받았다. 8cm 깊이를 췘기 인자 결정 깊이로 할 경우, 방사선 선종, 가속기 제작사, 췘기 각도에서 관계없이 평균 0.5% 이내 (최대 1.7%)의 선량 오차이내로 치료받을 수 있음을 알았고 이중의 60%환자는 선량 오차가 거의 없이 치료 받을 수 있음을 알았다. 따라서 췘기 인자 결정 깊이를 8cm(5-10cm)로 하는 것이 합리적임을 알았다.

참고문헌

1. Ellis E. and Miller H: The use of wedge filters in deep X-ray therapy. Brit. J. Radiol. 17: 90, 1944.
2. Aron BS and Scapicchio M: Design of a universal wedge filter system for a cobalt 60 unit. Am. J. Roentgenol. 96(1) : 70-74, 1966.
3. Khan FM: The Physics of Radiation Therapy. Williams & Williams & Wilkins, Baltimore, 1984, 215-216.
4. Wu A, Zwicker RD, Krasin F, and Sternick ES: Dosimetry Characteristics of large Wedges for 4-and 6-MV X rays. Med. Phys. 11(2):186-188, 1984.
5. McCullough EC, Gortney J and Blackwell CR: A depth dependence determination of the wedge transmission factor for 4-10MV Photon beams. Med. Phys. 15(4):621-623, 1988.
6. Pallta JR, Daftari I, and Suntharalingan N: Field size dependence of Wedge factor Med. Phys. 15(4):624-626, 1988.
7. U H, Ryu S, Park IK: Variation in Dose Data between Open and Wedge Fields for 6MV X rays. 대한치료방사선과학회지 7(2):279-286, 1989.
8. Kalend AM, Wu A, Yoder V, and *etal*: Separation of dose-gradient effect from beam-hardening effect on wedge factors in photon fields. Med. Phys. 17(4): 701-704, 1990.
9. Knoeoes T. and Wittgren L: Which dose data should be used for dose planning when wedge are used to modify the photon beam? Phys. Med. Biol. 36(2):255-267, 1991.
10. Niroomand-Rad A, Haleem M, Rodgers J, and *etal*: Wedge factor dependence on depth and field size for various beam energies using symmetric and half-collimated asymmetric jaw settings. Med. Phys. 19(6):1445-1450, 1992.
11. 한국의학 물리학회: 방사선량의 표준측정법, 의학물리 2(1): 37-105, 1991.
12. 대한치료방사선과학회: 방사선 치료 전국 통계 1990. 대한치료방사선과학회지 9(2):361-367, 1991.
13. DAS IJ, Kase KR: Higher energy: Is it necessary, is it worth the cost for radiation oncology. Med. Phys. 19(4):917-925, 1992.

The Study of the Measurement Point for Wedge Factor

Hyun Ja Kim, Ph. D., Byong Yong, Ph.D^{*}., Kye Jun Kim, B.S^{**}. Hun Sik Bae, M. D^{***}., Hye Sook Chang, M.D^{*}., Eun Kyun Choi, M.D., Ph.D^{*}, Ki Jung Ahn, M.D. Kyung Ra Park, M. D^{**}.

Dept. of Therapeutic Radiology,

Wallace Memorial Baptist Hospital

^{*}Asan Medical Center, College of Medicine, Univ. of Ulsan

^{**}Wonju College of Medicine, Yonsei Univ.

^{***}Kangdong sacred Heart Hospital, College of Medicine, Hallym Univ.

Traditionally, the wedge factor of universal wedge is regarded as constant for small depth. Recently, some investigators have reported the beam hardening effect from wedged beam even in small depth, suggesting that the wedge factors are depth dependent values. Here authors performed the study to determine the proper depth of measurement for wedge factor.

In this study, we have measured the wedge factors (nominal wedge angles 15, 30, 45, and 60) not only for depth maximum, but also for each depth, for several energies (4MV, 6MV, 10MV, and 15MV) of various machines (Varian, Siemens, Mitsubishi). And we have analysed the treatment depth of 614 patients who had been treated with wedged field at our hospitals to determine of the proper depth of the measurement point for wedge factor.

More than 60% of the patients are treated at the depth of $8\text{cm} \pm 2.5\text{cm}$ with the wedged field for various machines, energies, and wedge angles. The results of the wedge factor measurements show that the systemic error of average 2% (maximum 4%) might be inherently originated for the patients who had been treated with wedged field if we adapt the depth maximum as the wedge factor determination depth due to beam hardening effect. But we could achieve average error less than 0.5% (maximum within 1.7%) if we use 8cm for wedge factor measurement point

We conclude that the measurement depth point for wedge factor should be 8cm in order to deliver more accurate dose to target for Korean patients, instead of depth maximum.