

역방향 조사방식을 통한 동적썰기의 품질관리

*가톨릭대학교 의과대학 의공학교실, †건국대학교병원 방사선종양학과

이정우*[†] · 홍세미[†] · 서태석*

썰기형태의 선량분포를 만드는 데 이용되는 선형가속기에 장착된 동적썰기(EDW; Enhanced Dynamic Wedge)의 품질관리를 위한 간단한 방법을 고안하였다. 선량 프로파일의 품질관리를 위해서는 필름 선량측정 장비와 필름 스캐너, 고 에너지 선량 측정용 필름, 필름 농도계, 삼차원 치료 계획 장치가 사용되었다. 역방향 60° 동적 썰기를 각각 한 필름에 조사(이하 60°REWP; 60° Reversed Wedge Pair)하고, 이를 통해 얻어진 선량 프로파일의 선량 대칭도를 정량적으로 분석하였으며, 동적썰기 구동이 중간에 멈춘 경우 이를 보상하는 부분 보상조사(Partial treatment mode)도 비교하였다. 또한 측정된 자료들을 구간선량표(Golden STT; Segmented Treatment Table)로 구현한 삼차원 치료 계획 장치의 계산치와 비교하였다. 60°REWP의 실험을 통해 역방향 썰기의 효과가 1% 이내에서 잘 상쇄되었음을 알 수 있었으며 이 자료를 기준으로 한 품질관리의 타당성을 확보할 수 있었다. 실패썰기인자의 품질관리를 위해서는 썰기 각도 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 45°, 60°에 대해 실측하였고, 구간선량표에서 보정인자를 유도하여 동적썰기 조사 시 자동으로 생성되는 로그 파일을 참조하여 실패 썰기인자 계산치를 얻어내어 비교하였다. 이 방법을 통해 별도의 측정 장비 없이 용이하게 썰기인자의 이상 유무를 파악할 수 있었다. 기존의 복잡한 품질관리의 방법을 단순화하고 효율을 극대화시킴으로써 측정에서 분석까지 1시간 내에 동적 썰기의 품질관리를 수행할 수 있었다. 동적썰기는 금속썰기와 달리 선량률과 Y축 콜리메이터의 움직임에 따라 부정확도의 잠재가능성을 갖고 있으므로 수시 품질관리가 필수적인데 본 연구방법을 이용하면 단순하면서도 효율을 극대화할 수 있어 동적썰기를 이용한 방사선치료의 안전도를 높일 수 있었다.

중심단어: 동적 썰기, 역방향 조사, 구간선량표, 실패썰기인자

서 론

방사선 치료에서는 인체의 불규칙한 모양이나 여러 방향의 선속이 겹침으로 발생하는 선량 불균질을 완화시키기 위한 도구로 썰기필터가 사용되고 있다. 금속 재질의 썰기의 경우 보통 15°, 30°, 45°, 60° 네 가지의 제한적인 형태이며 방사선의 출력을 현격히 감소시키고, 불필요한 산란선을 발생시키는 등 여러 가지 단점을 갖고 있다.¹⁾ 또한 최근 들어 저용융점 납합금 차폐체의 대응으로 다엽콜리메이터(MLC)가 널리 이용되면서 방사선치료사의 노동력을 경감시키고 있지만 썰기 필터 사용 시 여전히 치료실을 출입해야 하며, 금속재질의 썰기 필터와 환자의 충돌 가능성을 안

고 있는 것이 사실이다.¹⁾

1990년 Levitt 등¹⁾은 미국 Varian사의 CL 2100C 선형가속기에 기존 썰기필터와 같은 효과를 낼 수 있는 동적 썰기를 이용한 기술을 소개하였으며, 1997년에는 기존 동적썰기의 기능을 강화하고 알고리즘을 간소화시킨 동적썰기(EDW; Enhanced Dynamic Wedge)를 소개한 바 있다.²⁾

1996년 김미화³⁾는 필름을 이용하여 동적 썰기를 측정하였으며, 구간선량표를 근간으로 선량 중첩방식을 이용한 계산치를 비교함으로써 유용성을 입증하였다. 또한 2000년에 이정우 등⁴⁾은 Wellhofer사의 다중 24채널 전리함(CA24; Chamber Array 24)을 이용하여 CadPlan 시스템과 비교, 분석하여 임상 이용의 가능성을 높인 바 있다. 이러한 여러 논문을 통해 동적썰기는 금속 썰기필터에 비해 불필요한 산란선을 줄이고, 환자와의 충돌 가능성을 배제하고, 자동화 치료를 가능하게 하는 많은 장점이 입증되었다.¹⁻⁴⁾ 그러나 동적썰기는 방사선이 조사되는 동안 Y축 콜리메이터가 이동하며 이에 따라 선량률이 엄격하게 조절되어야 하기 때문에 언제나 불확정도를 가지고 있다. 따라서 주기적인

이 논문은 2004년 8월 7일 접수하여 2004년 8월 31일 채택되었음.
 책임저자 : 서태석, (137-701) 서울시 서초구 반포동 505
 가톨릭대학교 의과대학 의공학교실
 Tel: 02)590-2414, Fax: 02)590-2414
 E-mail: suhsanta@chatholic.ac.kr

품질관리가 중요한데 다중 전리함을 이용하여 선량 프로파일을 측정하거나 많은 수의 췌기인자들을 수시로 확인하는 데는 많은 시간과 비용, 인력자원이 소요되므로 인력이 많지 않거나 측정 장비를 구매해야 할 경우 제약이 따르는 게 사실이다. 본 연구의 목적은 동적 췌기의 품질 관리에 있어서 정확성, 효율성, 용이성을 극대화하는 방법을 고안하여 수시 점검을 가능하게 함으로서 동적 췌기를 이용하는 방사선 치료에 있어 선량전달의 불확정도를 줄이는데 있다.

대상 및 방법

1. 장비 및 재료

- 1) 선형가속기(CL 2100C/D, Varian, USA)
- 2) 3차원 치료 계획 장치(CadPlan plus, Varian, USA)
- 3) 선량 측정 시스템(WP700, Wellhofer, Belgium)
- 4) 선량 농도계(Film Densitometer, X-Rite, USA)
- 5) 측정용 필름(X-Omat V. film, Kodak, USA)

2. 선량 프로파일을 통한 동적췌기 재현성 검증

선량프로파일을 분석하기 위해 다중 24채널 전리함을 이용할 경우 각 전리함 사이의 간격이 2 cm이므로 0.5 cm의 분해능을 갖는 선량프로파일을 얻기 위해서는 4번 또는 5

번의 조사과정을 통해 하나의 완성된 형태를 얻게 된다. 또한 선량 측정용 물통과 다중전리함, 콘트롤러 등을 설치하고 해체하는 데 많은 시간과 인력이 필요하게 된다. 이러한 시간과 인력자원을 극복하기 위해 X-Omat 필름과 VXR12 필름 스캐너를 이용하여 Y축 콜리메이터의 이동과 조사된 플루언스를 검증하였다. 우선 CadPlan 시스템을 이용하여 역방향 60° 동적 췌기(이하 60° REWP)의 계산된 선량 프로파일을 만든다(Fig. 1).

CadPlan 시스템에서 만들어낸 60° REWP 선량프로파일은 구간선량표에 근거한 계산 값이며, 이는 60° 동적췌기에 대한 Y축 콜리메이터의 위치와 상대적인 MU값을 도표화하여 어떤 조사면, 췌기 각도를 타겟비로 계산하는 데 필요한 표이다. Fig. 2는 6 MV 광자선의 구간선량표⁶⁾를 도표화한 그림이다.

60°REWP를 시행하기 위해 60° 동적췌기 치료 테이블 측 Y축 콜리메이터 이동조사(이하 60°Y1 in), 60° 동적췌기 전자총 측 Y축 콜리메이터 이동조사(이하 60°Y2 out), 그리고 60°Y1과 60°Y2를 함께 조사한 60°REWP를 측정하였으며, 실제 임상에서 치료 중 조사가 멈춰진 경우 이를 보상하기 위한 부분보상조사도 비교하였다. 또한 의도적으로 45°동적췌기와 60°동적췌기를 역방향으로 조사(이하 (45°+60°) REWP)하여 필름 농도계를 이용해서 광학 농도(OD; Optical density)를 상대선량으로 환산하여 선량 대칭도를 측정하였

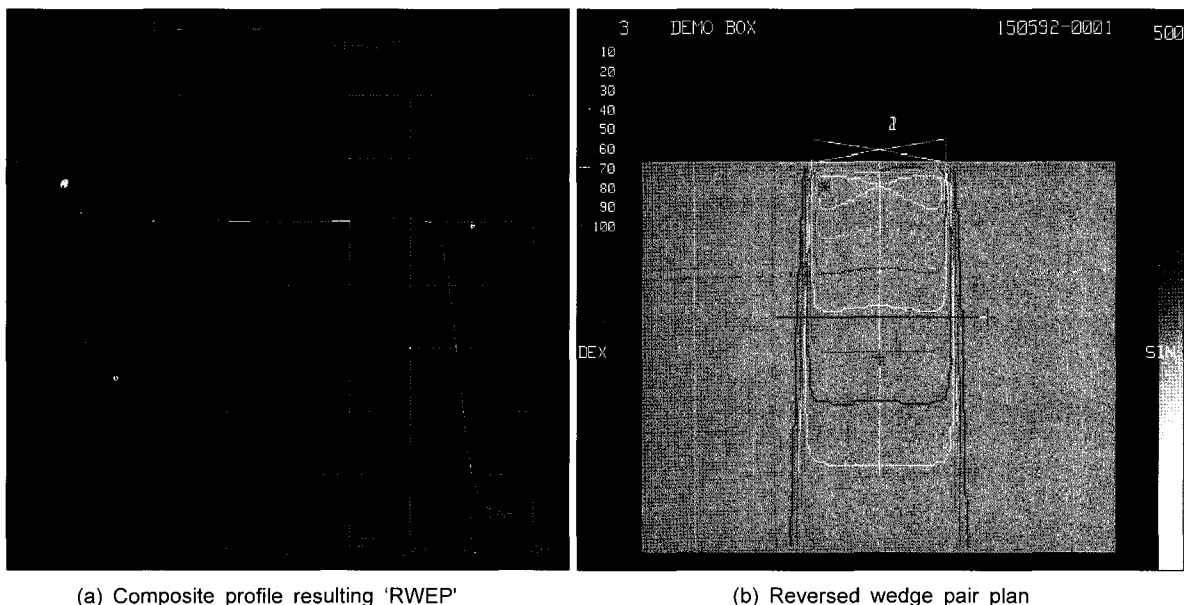


Fig. 1. A rewp (60°EDW Reversed Wedge Pair) irradiation setup and its profile for reference of measured Rewp results.

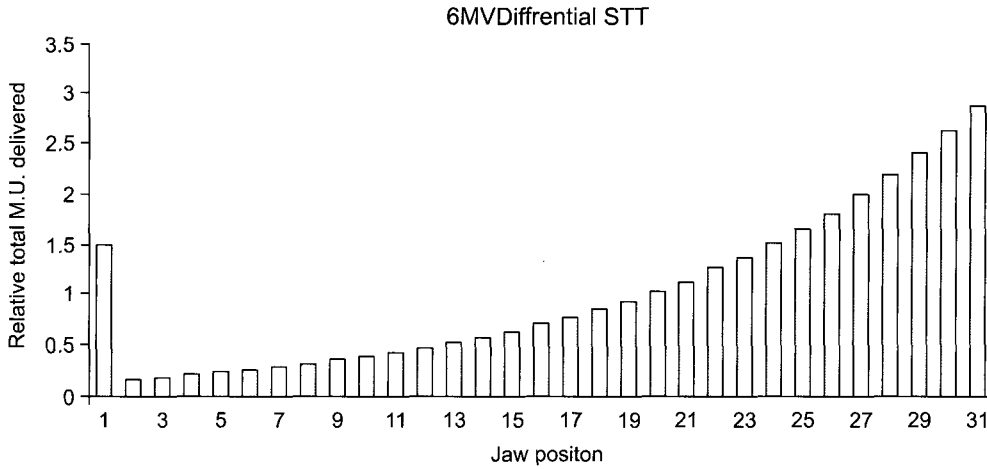


Fig. 2. 6MV Differential segmented treatment table graph.⁶⁾

다. 이렇게 얻어진 선량 분포와 CadPlan 시스템의 계산값을 비교하여 품질관리의 타당성을 검증하였다.

실제 품질관리에서는 60°REWP 방법으로 조사된 필름을 VXR12 필름스캐너로 읽은 뒤 Wellhofer 필름 선량분석 시스템을 이용하여 선량 대칭도를 측정하는 방식으로 품질관리를 수행하였다.

얻어진 선량프로파일의 대칭도를 분석하기 위한 수식은 Wellhofer사의 선량 분석 시스템에서 제공하는 분석 프로토콜 중에 IEC (International Electrotechnical Commission) Protocol을 이용하였다.

60°REWP 방법으로 얻어진 선량 프로파일에 대한 선량 대칭도를 분석하는 과정을 도표로 나타내면 Fig. 3과 같다.

3. 실험 체계인자 성능확인

기능을 강화시킨 동적썰기는 기존의 동적썰기에 비해 썰기인자의 감쇄비율이 Y jaw에 따라 직선적으로 나타난다. 또한 X jaw의 크기에 대한 의존도가 거의 없으므로 성능 확인을 위해서는 단일 조사면 10×10 cm²에 대하여 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 45°, 60° 동적썰기별로 수행하였다. 전자에 언급한 바와 같이 동적썰기는 미리 프로그램되어 있는 구간선량표에 의해 구동된다. 따라서 “1차선의 플루언스”만을 고려한 비를 STT를 통해 얻을 수 있으며, 전체 조사되는 상대 MU의 합과 Y jaw가 중심축을 지날 때의 상대 MU의 비를 산란선의 기여도를 배제한 썰기인자로 볼 수 있다.

Myften 등⁵⁾은 “산란선의 기여도”를 보정한 썰기인자를 계산하기 위해 산란선 보정인자(이하 CF_θ)를 유도한 바 있다.(2)(3)(4)

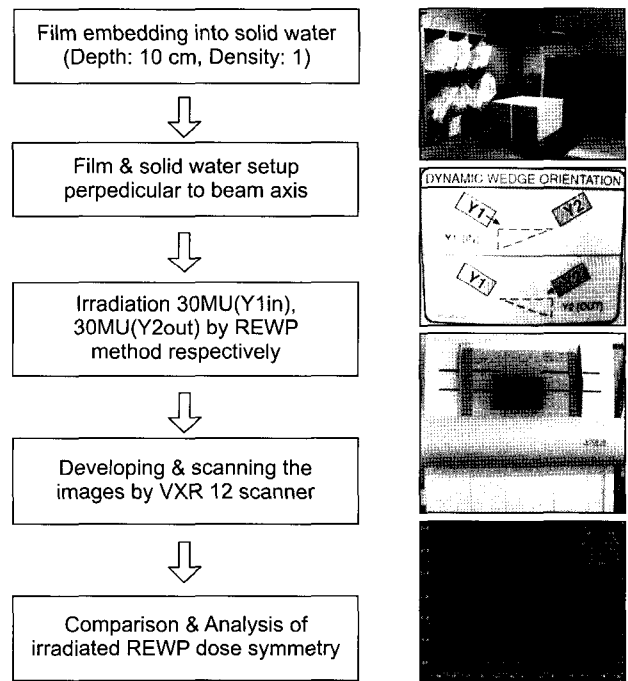


Fig. 3. The Procedure for beam symmetry analysis using the REWP method.

$$CF_{60}(10) = \frac{WF_{measured,60}(10)}{WF_{primary,60}(10)} \quad (2)$$

여기서 WF_{measured,60}(10)는 Y jaw 10 cm에 대한 60° 동적썰기의 측정된 썰기 인자이며 WF_{primary,60}(10)은 구간선량표에서 도출한 플루언스의 비이다. 따라서 CF₆₀(10)은 산란선의 기여도를 고려한 보정계수가 된다.

다른 각도의 동적췌기의 CF_{θ} 에 대해서는 타젠트비 공식을 이용하여 계산하였다.

$$CF_{\theta}(10) = CF_{60}(10) - 1 \frac{\tan(\theta)}{\tan(60)} + 1 \quad (3)$$

θ 는 임의의 동적췌기 각도를 의미한다.

최종적으로 1차선 플루언스의 비, 즉 조사된 MU ratio와 보정인자를 이용하여 췌기인자의 계산 값을 유도할 수 있다.

본 실험에서는 단일 조사면 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 에 대하여 $10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 동적췌기를 100 MU 조사한 후 C:/varian/dynalog에 생성되는 log 파일을 이용하여 $WF_{primary}(10)$ 을 계산하고 $CF_{\theta}(10)$ 을 곱하여 각 동적췌기 각도에 대한 $WF(10)$ 을 계산하여 기준값인 실측 $WF(10)$ 와 비교하는 방식으로 성능 검사를 수행하였다.

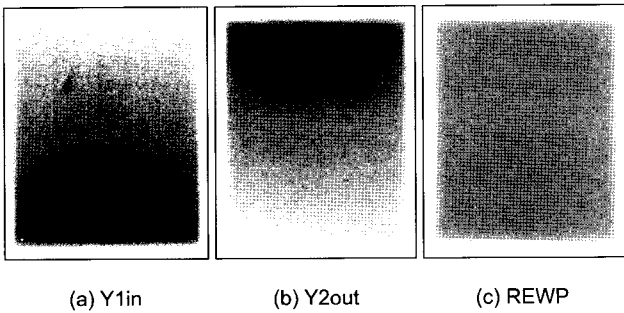


Fig. 4. Irradiated films (Y1in, Y2out directions and Reversed wedged pair).

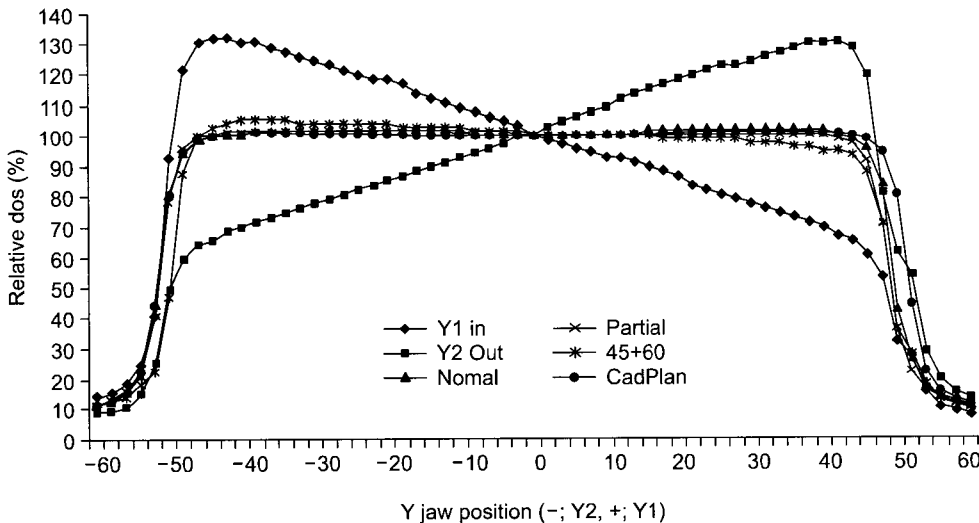


Fig. 5. Comparison of each profile: Y1 In, Y2 Out, Normal REWP, Partial REWP, (45°+60°) REWP and CadPlan calculated value.

결과 및 고찰

1. 선량 프로파일 검사

구간선량표를 이용하여 CadPlan 시스템에서 계산한 선량 프로파일과 X-Omat V. Film을 이용하여 얻은 실측값을 비교한 자료가 실험 결과가 Fig. 4, 5에 나타나 있다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 연속조사한 경우(이후 Normal)와 부분 보상조사(Partial)사이의 차이는 대체로 2% 이내의 평평한 분포를 보이는 반면 인위적으로 45° 와 60° 동적췌기를 조사한 경우($45^\circ+60^\circ$) REWP 선량의 비대칭도가 증가하게 나타나게 된다. CadPlan의 계산값과 Normal REWP 방법의 비교에서 계산값과 실측값이 1% 이내로 잘 일치했다.

Normal REWP와 ($45^\circ+60^\circ$) REWP를 조사하여 필름스캐너로부터 얻어진 선량 대칭도를 정량적으로 분석한 결과는 Fig. 6, 7과 같다.

60° 동적췌기 선량프로파일의 선량대칭도를 측정된 결과 100.9%로 비교적 균등함을 알 수 있었으며 Y축 콜리메이터와 선량률의 정확도를 간접적인 방식으로 비교적 간단하게 확인할 수 있었다.

2. 실험 췌기인자 성능검사

구간선량표로부터 계산한 $WF_{primary,60}(10)=0.625$ 와 실측에 의해 구한 $WF_{measured,60}(10)=0.656$ 을 식(2)에 대입하여 $CF_{60}(10)$ 을 계산하였다.

$$WF(10) = WF_{primary}(10) \times CF_{\theta}(10)$$

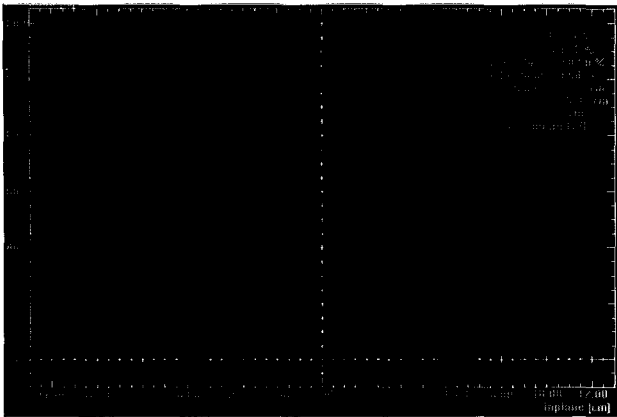


Fig. 6. A 60°EDW reversed wedge pair profile symmetry analysis (symmetry 0.9%).

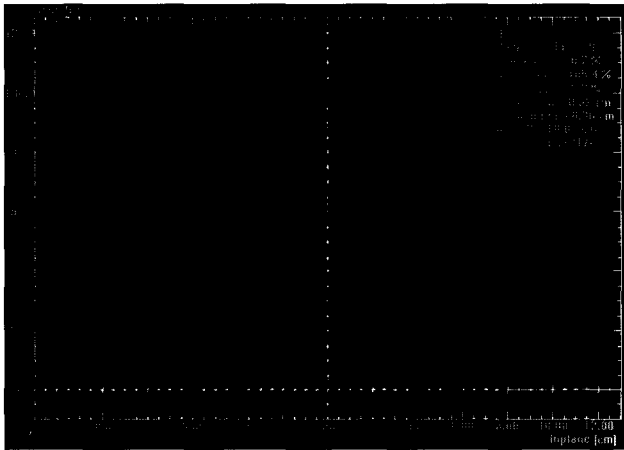


Fig. 7. A (45°+60°) reversed wedge pair symmetry analysis (symmetry 10.2%).

$$CF_{60}(10) = \frac{WF_{measured,60}(10)}{WF_{primary,60}(10)} = 1.0496 \quad (4)$$

CF₆₀(10)을 이용하여 10° 동적췌기의 보정인자 CF₁₀(10)을 구하면,

$$CF_{10}(10) = (CF_{60}(10) - 1) \times \frac{\tan \theta}{\tan 60} + 1$$

$$0.0496 \times 0.1018 + 1 = 1.005$$

Table 1. CF_θ, WF_{primaryθ}(10), WF_{correct}(10) for QA of wedge factor.

Angle	CF _θ	WF _{primaryθ} (10)	WF _{correct} (10)
10°	1.0050	0.949	0.954
15°	1.0077	0.925	0.950
20°	1.0104	0.900	0.910
25°	1.0134	0.876	0.887
30°	1.0165	0.850	0.864
45°	1.0286	0.766	0.788
60°	1.0496	0.654	0.687

를 얻게 된다. 같은 방식으로 나머지 각도의 CF_θ값을 구하여 조사 시 자동 생성되는 로그 파일을 근거로 계산한 WF_{primaryθ}(10)값, 교정된 WF_{correct}을 Table 1에 나타내었다.

간단하게 7개의 각도의 동적췌기를 조사한 후 생성되는 log file을 이용하여 WF_{primaryθ}(10)을 얻어내고 미리 계산되어져 있는 CF_θ값을 이용하여 수시 점검을 할 수 있다.

60°REWP 방법을 통한 선량프로파일 성능확인과 로그 파일을 이용한 췌기 인자의 점검을 통해 간편하게 동적췌기의 이상 유무를 쉽게 파악할 수 있으리라 생각한다.

참 고 문 헌

1. Dennis D. Leavitt, Calvin Huntzinger, Thanos Etmektzoglou: Dynamic collimator and dose rate control: Enabling technology for enhanced dynamic wedge. Med Dosi 2:167-168 (1997)
2. Dennis D. Leavitt, Eric Klein: Dosimetry measurement tools for commissioning enhanced dynamic wedge. Med Dosi 22: 171-176 (1997)
3. 김미화: 선량 중첩 방식을 이용한 동적췌기 조사면의 특성 연구: 이학석사학위논문 1-40 (1996)
4. 이정우, 조화섭, 박성렬: Enhanced dynamic wedge의 선량계 측정적 특성 분석 및 이에 따른 임상응용 유용성에 관한 연구. 대한치료기술학회지 12:105-111 (2000)
5. Moyed Miften, Mark Wiesmeyer, Andy Beavis, et al: Implementation of Enhanced Dynamic wedge in the Focus RTP system. Med Dosi 25:81-86 (2000)
6. Varian Enhanced Dynamic Wedge Implementation Guide: Appendix B-2 6MV Golden STT (1996)

Simplistic QA for an Enhanced Dynamic Wedge using the Reversed Wedge Pair Method

Jeong Woo Lee^{*†}, Semie Hong[†], and Tae Suk Suh^{*}

^{*}Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, The Catholic University of Korea,

[†]Department of Radiation Oncology, Konkuk University Hospital

A simplistic quality assurance (QA) method was designed for a Linac built-in enhanced dynamic wedge (EDW), which can be utilized to make wedged beam distributions. For the purpose of implementing the EDW symmetry QA, a film dosimetry system, low speed dosimetry film, film densitometer and 3D RTP system were used, and the films irradiated by means of a 60° Reversed wedge pair (REWP) method. The profiles were then analyzed in terms of their symmetries, including partial treatment, which is the case of stopping it abruptly during EDW irradiation, and the measured and calculated values compared using the CadPlan Golden Segmented Treatment Table (Golden STT). The result of this experiment was in good agreement, within 1%, of the “reversed wedge pair counterbalance effect”. For the QA of the effective wedge factor (EWF), the authors measured EWFs in relation to the 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 45° and 60° EDW, which were compared with the calculated values using the correction factor derived from the Golden STT and the log files produced automatically during the process of EDW irradiation. By means of this method it was capable of check up the safety of effective wedge factor without any other dosimetry system. The EDW QA was able to be completed within 1 hour from irradiation to analysis as a consequence of the simplified QA procedure, with maximized effectiveness. Unlike the metal wedge system, the EDW system was heavily dependent on the dose rates and jaw movements; therefore, its features could potentially cause inaccuracy. The frequent simplistic QA for the EDW is essential, and could secure against the flaw of dynamic treatment that uses the EDW.

Key Words: EDW (Enhanced Dynamic Wedge), Reversed wedge pair, Golden STT (Segmented Treatment Table), EWF (Effective Wedge Factor)