

The Dose Attenuation according to the Gantry Angle and the Photon Energy Using the Standard Exact Couch and the 6D Robotic Couch

Tae Hyeong Kim*, Se An Oh[†], Ji Woon Yea[‡], Jae Won Park[†], Sung Kyu Kim[‡]

*Department of Physics, Yeungnam University, Gyeongsan,

[†]Department of Radiation Oncology, Yeungnam University Medical Center,

[‡]Department of Radiation Oncology, Yeungnam University College of Medicine, Daegu, Korea

The objective of this study is to increase the accuracy of dose transmission in radiation therapy using two types of treatment tables, standard exact couch (Varian 21EX, Varian Medical Systems, Milpitas, CA) and 6D robotic couch (Novalis, BrainLAB A.G., Heimstetten, Germany)). We examined the dose attenuation based on the two types of treatment tables and studied the dose of attenuation using the phase (In/Out) for the standard exact couch. We measured the relative dose according to the incident angle of a penetrative photon beam under a treatment table. The incident angle of the photon beam was from 0° to 360° in the increments of 5°. The reference angle was set to 0°. Furthermore, the relative dose of the 6D robotic couch was measured using 6 MV and 15 MV, and that of the standard exact couch was measured at the sliding rail position (In-Out) using 6 MV and 10 MV. In the case of the standard exact couch, the measured relative dose was 16.53% (rails at the "In position," 175°, 6 MV), 12.42% (rails at the "In position," 175°, 10 MV), 13.13% (rails at the "Out position," 175°, 6 MV), and 9.96% (rails at the "Out position," 175°, 10 MV). In the case of the 6D robotic couch, the measured relative dose was 6.82% (130°, 6 MV) and 4.92% (130°, 15 MV). The photon energies were surveyed at the same incident angle. The dose attenuation for an energy of 10 MV was 4~5% lower than that for 6 MV. This indicated that the higher photon energy, lesser is the attenuation. The results of this study indicated that the attenuation rate for the 6D robotic couch was confirmed to be 1% larger than that for the standard exact couch at 6 MV and 180°. In the case of the standard exact couch, the dose attenuation was found to change rapidly in accordance with the phase ("In position" and "Out position") of the sliding rail.

Key Words: Treatment couch, Status, Dose, Incident angle, Attenuation rate

서 론

방사선 치료의 궁극적인 목적은 암 조직에는 최대한의 선량을 조사하는 동시에 정상 조직에는 최소한의 선량을 전달하는 것이다.¹⁾ 이러한 목표를 이루고자 타엽콜리메이터(Multileaf collimator; MLC)를 이용하여 방사선 세기를 조절하는 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy; IMRT),^{2,3)} 선형가속기의 헤드가 360° 회전하며 방

사선 치료가 가능한 체적조절회전방사선치료(Volumetric modulated arc therapy; VMAT)^{3,4)}와 같은 치료의 정확성을 높인 다양한 특수 치료법이 개발되었다. 또한 방사선수술(Stereotactic Radiosurgery; SRS)⁵⁾와 같은 뇌 병변에 고 선량을 단일 조사하는 치료는 일방적인 방사선 치료보다 치료 계획 과정이 복잡하고 까다로워 보다 정밀한 치료 계획과 선량전달이 요구된다.

미국의학물리학회(American Association Of Physicist In Medicine; AAPM)에서 발표된 Task Group 65 보고서에 따르면 치료 시 발생하는 선량의 오차로 인해 정상 조직의 부작용이 초래된다고 언급하였다.⁶⁾ 또한 선량을 전달하는 치료법의 품질 보증(Quality Assurance; QA)항목들을 1994년에 발간된 Task Group 40 보고서와 2009년에 발간된 Task Group 142 보고서에서 확인할 수 있다.^{7,8)}

Received 27 May 2016, Revised 15 June 2016, Accepted 17 June 2016

Correspondence: Sung Kyu Kim (skkim3@ynu.ac.kr)

Tel: 82-53-620-3373, Fax: 82-53-624-3599

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이는 정확한 선량전달의 중요성을 의미하며 치료 중 발생하는 다양한 감쇠 원인들 중 하나는 치료테이블을 투과하는 광자선의 선량 감쇠를 생각할 수 있다.⁹⁾ 일반적으로 치료테이블은 선량의 투과율이 높은 탄소 섬유(Carbon fiber)로 제작되지만, Johns H., Cunningham JR.의 Physics of Radiology 4th¹⁰⁾에 의하면 탄소 원소 역시 선형 감쇠 계수를 지닌다. 이는 광자선이 탄소섬유로 제작된 치료테이블을 투과하였을 때 선량 감쇠가 발생함을 의미하며, 감쇠에 의해 발생하는 플루언스 교란 역시 간과할 수 없다는 것을 의미한다.

이렇듯 치료테이블에 의해 발생하는 선량 변화의 예측은 중요하지만, 치료 계획시 감쇠된 선량을 보정하거나, 조사면(Field)마다 일일이 측정하여 보정하는 것은 다소 번거로운 단점이 있다. 또한, 방사선 치료 시스템에서 치료테이블 종류와 Sliding rail의 위상에 따른 정보를 얻어 치료 계획에 포함하는 방법도 있다.¹¹⁾ 하지만 치료 시스템의 버전에 따라 포함할 수 있는 치료 테이블의 종류가 제한적이기 때문에, 치료테이블을 배제한 채 선량계산을 시행하는 병원이 많이 있다.

따라서 본 연구에서는 본원에서 사용 중인 Varian사의 치료테이블 Standard exact couch와 BrainLab사의 6D robotic couch를 이용하여 조사각에 따른 광자선의 선량 감쇠 정도를 파악하고, Standard exact couch는 Rail 위상(In/Out)에 따른 선량 감쇠에 대해 조사하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구는 광자선의 조사각에 따른 선량 감쇠를 조사하기 위하여 본원에 설치된 치료테이블 (A) Standard exact couch (Varian 21EX, Varian Medical Systems, Milpitas, CA)와 (B) 6D robotic couch (Novalis, BrainLAB A.G., Heimstetten, Germany)을 사용하였다(Fig. 1).

Standard exact couch top의 Flat panel은 탄소 섬유로 제작되었으며 폭 53 cm, 길이 92 cm, 높이 2.2 cm, 무게 3.74 kg의 분리가 가능한 편평한 형태이다(Fig. 1(a-3)). Couch top 아래에 두 개의 슬라이딩 레일이 존재하며, 이 레일은 대략 200 kg의 무게를 지탱할 수 있고, 각각의 레일은 In-Out의 위치 변경이 가능하다(Fig. 2). Standard exact couch의 Flat panel과 Sliding rail의 밀도는 0.53 g/cm³, 1.15 g/cm³이며,¹²⁾ 폭 3.5 cm, 8 cm의 두께를 지닌 평행사변형꼴의 단면을 지니고 있다.

6D (Dimensions) robotic couch top인 경우, 폭 53 cm, 길이 200 cm, 2 mm 두께의 얇은 두 개의 탄소 섬유판과 플라스틱 폼 코어(Plastic foam core)로 제작된 5 cm 두께의 속이 빈 구조를 지닌 치료테이블이다. 이는 11.9 kg의 무게를 지니며, 최대 185 kg까지 지탱할 수 있다고 한다. 세 방향의 병진 이동(X, Y, Z)과 세 방향의 회전 조절(Pitch, Yaw, Roll)을 할 수 있는 6차원 자동화 시스템(6D Robotic

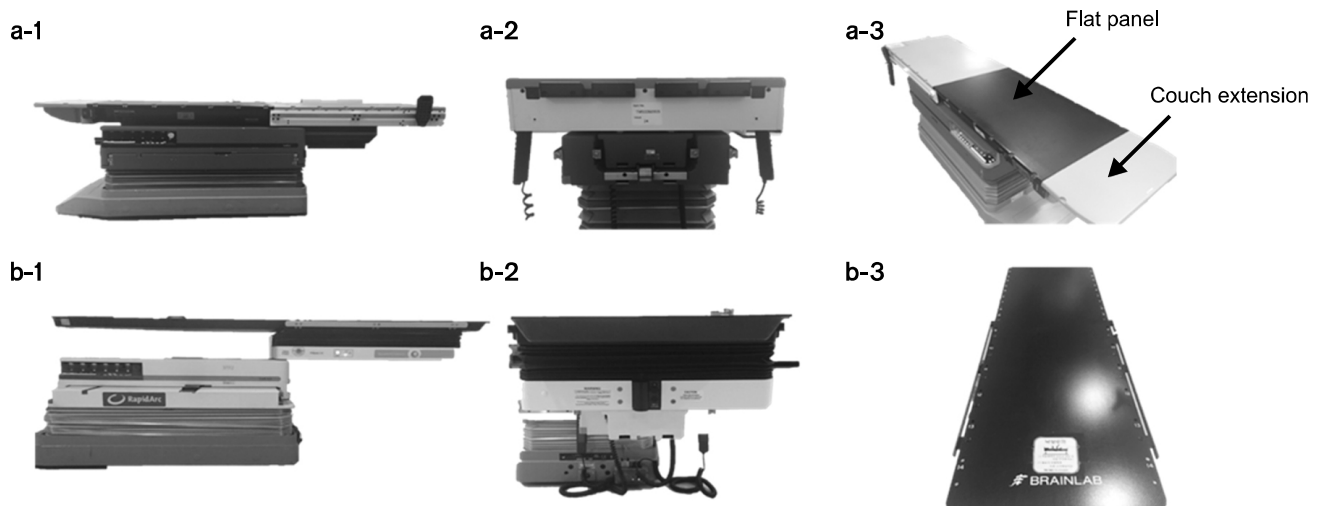


Fig. 1. The photographs of treatment couch: (a) Standard exact couch (Varian Medical Systems, Milpitas, CA), (b) 6D robotic couch (BrainLAB A.G., Heimstetten, Germany). (a-1) The side view of the standard exact couch, (a-2) The back side view of the standard exact couch, (a-3) The top view of the standard exact couch. (b-1) The side view of the 6D robotic couch, (b-2) The back side view of the 6D robotic couch, (b-3) The top view of the 6D robotic couch.

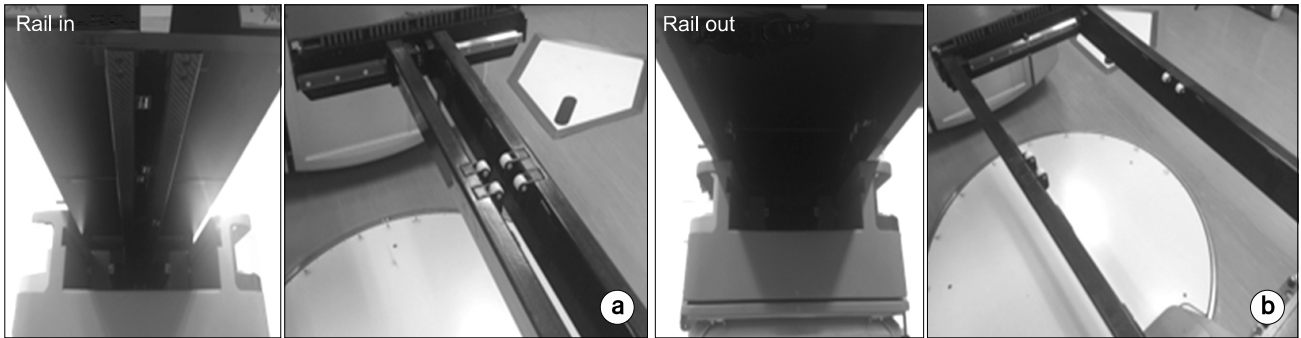


Fig. 2. The photographs of universal sandwich panel rail position: (a) Bottom view of rail at the “In position” and upper carbon fiber layer apart. (b) Bottom view of rail at the “Out position” and upper carbon fiber layer apart.

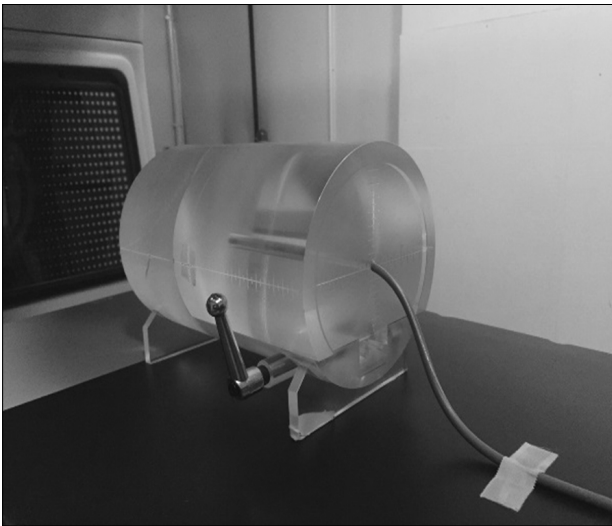


Fig. 3. Set up images for measurement of transmission and attenuation rate from a cylinder acrylic phantom.

System, BrainLAB)이 가능하다.¹³⁾

Gantry의 조사각에 따른 상대 선량의 변화를 알아보기 위해 0.125 cc 이온 전리함(Ion chamber, N31002, PTW-Freiburg, Germany), 전위계(Electrometer, Dose 1, IBA, GmbH, Scanditronix Wellhofer, Germany)와 자체 제작한 원통형 아크릴 팬텀(반경: 9 cm, 길이: 15 cm)을 사용하여 구성하였다(Fig. 3). 아크릴 팬텀의 중심점에 이온함을 삽입한 채, 2 cm 높이의 아크릴 스탠드 위에 설치하였다(Fig. 4). 선원축거리(Source-axis distance; SAD)는 100 cm, MU는 200으로 설정한 후, 전위계를 통해 선량 값을 측정하였다. 본원에 설치된 치료용 선형 가속기 21EX와 Novalis Tx를 통해 각각 6 MV, 10 MV와 6 MV, 15 MV의 광자선 에너지를 조사하였다. 치료테이블의 종류에 따라 각각 조사각 0°일 때를 기준

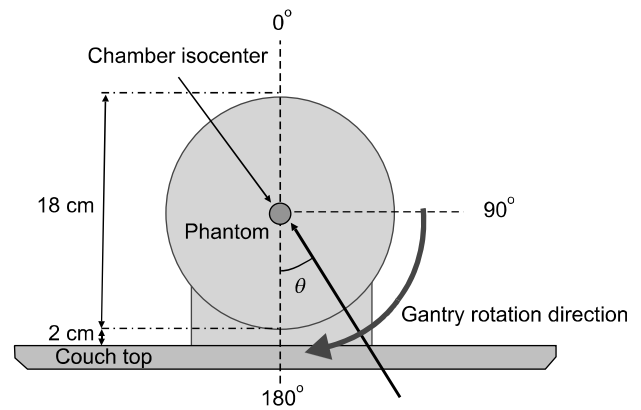


Fig. 4. The schematic diagram of the dose measurement using the ion chamber and cylinder acrylic phantom. 18 cm diameter cylindrical phantom centered on couch with ion chamber at center, beams every 5° from 0° to 360°. θ means the included angle from the couch's vertical axis to the gantry's incident angle.

선량으로 하여 5°간격으로 측정하였다. Li 등¹⁴⁾의 연구 결과에 의하면 조사면 크기(3×3 cm, 5×5 cm, 10×10 cm)에 따른 선량 변화에서 조사면이 작을수록 Rail에 의해 발생하는 선량 감쇠가 더욱 민감하게 반응하였다. 본 연구에서는 Li의 연구 결과를 참조하여 선량 감쇠율이 민감하게 변하는 5×5 cm를 기준으로 정하였다.

치료테이블의 종류에 따른 각각의 조사각에 대한 선량 감쇠 정도를 다음과 같이 계산하였다. Fig. 4로부터 광자선의 치료테이블에 대한 투과율(Transmission rate)과 감쇠율(Attenuation rate)에 대해 나타내면,

$$Tr_{\theta} [\%] = (I_{\theta} / I_{0^{\circ}}) \times 100 \quad (1)$$

$$Ar_{\theta} = |I_{0^{\circ}} - I_{\theta}| \quad (2)$$

식 (1), (2)으로 표현할 수 있다.¹⁵⁾ 일반적으로 광자선이 치료테이블을 투과하기 전까지의 조사각에서는 치료테이블에 의한 선량 감쇠는 일어나지 않는다. 따라서 본 연구에서는 조사각이 0°일 때의 선량에 대한 기준 값(Reference value)을 Ir_{0° 로 설정하여, 조사각에 따른 투과 선량을 측정하였다. 투과율과 감쇠율을 다음과 같이 Tr_θ , Ar_θ 로 표현하였으며, 단위는 [%]로 표기하였다.

결 과

위에서 언급한 실험 방법을 통하여 치료테이블의 종류에 따른 조사각에 대한 상대 선량에 대한 결과 값을 다음과 같이 얻었다.

Standard exact couch인 경우, 6 MV, 10 MV의 광자선을 사용하였다. 조사각에서 115°와 250° 사이에서 치료테이블에 의한 선량 감쇠가 발생했다. 그 중 6 MV의 광자선을 Rail-in position상태에서 조사면 5×5 cm로 조사하였을 때 조사각이 175°일 때 16.53%의 최대 선량 차이를 보였다(Fig. 5). Rail-out position상태에서 동일한 조사면에서 225°일 때 15.15%의 최대 선량 차이를 보였으며, 10 MV인 경우 각각 12.42%, 14.39%의 최대 선량 차이를 보였다(Fig. 6).

6D robotic couch인 경우 조사각 110°에서 250° 사이에서 치료테이블에 의한 선량 감쇠가 발생하였다. 조사면 5×5 cm에서 6 MV, 15 MV의 광자선을 조사 했을 때, 각각 230°에서 6.83%, 130°에서 4.92%의 최대 선량 차이를 보였다

(Fig. 7). 전반적으로 광자선이 치료테이블을 투과하지 않는 경우에는 측정된 선량의 변화는 없었다. 하지만 치료테이블을 투과하는 경우, 두 종류의 치료테이블의 수직 축(180°)을 기준으로 하여, 조사각 θ 가 커질수록 선량의 투과율이 줄어들음을 확인할 수 있다. 식 (1), (2)를 이용하여 치료테이블에 의한 선량의 감쇠율을 계산하면 감쇠율은 Rail을 투과하는 광자선의 조사각 θ 이 커질수록 증가하는 것으로 나타났다.

논의 및 결론

Li 등¹⁴⁾의 연구에 의하면 Rail-in position상태에서 최대 선량 차이가 15.6% (Standard exact couch, Filed size 5×5 cm, Pelvis position, 6 MV), Rail-out position상태에서 13.3%가 발생하였다. Sliding Rail이 없는 Exact IGRT couch (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA)인 경우, 선량감쇠가 4.8% (Field size 5×5 cm, Pelvis position, 6 MV)와 유사한 수치를 보였다. 또한 상대 선량을 수치상으로 비교하였을 때, 본원에서 측정된 상대 선량 최대 차이는 3% 미만인 것을 확인할 수 있다.

Spezi 등¹⁶⁾의 연구에서는 IGRT tabletop (Simens Medical Solutions, Condord, CA)와 Polystyrene phantom (RW3: PTW, Freiburg, Germany)를 사용하여, Field size (10×10 cm)에서 6 MV의 선량감쇠에 대해 조사한 연구 결과, couch top을 투과하는 광자선의 선량감쇠는 전반적으로 대략 3~4%가 존재함을 확인하였다. 이는 본원에서 사용한 BrainLAB사의

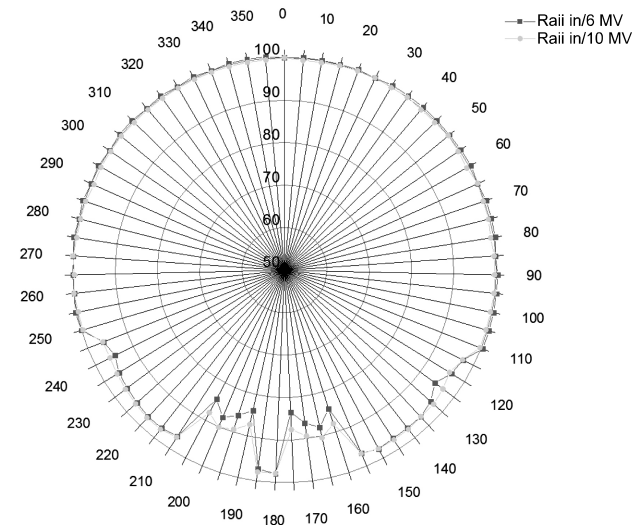


Fig. 5. Relative dose of the standard exact couch's rail at the "in position", field size 5×5 cm.

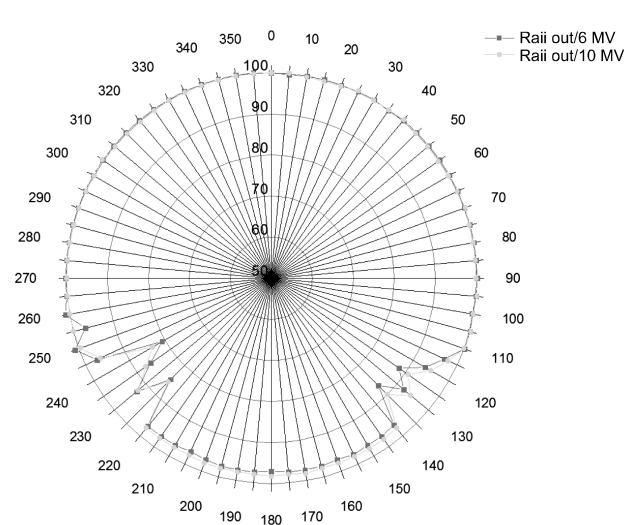


Fig. 6. Relative dose of the standard exact couch's rail at the "out position", field size 5×5 cm.

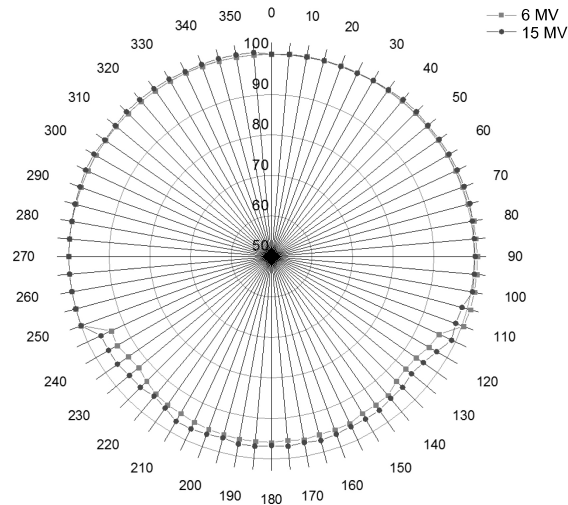


Fig. 7. Relative dose of the 6D robotic couch, field size 5×5 cm.

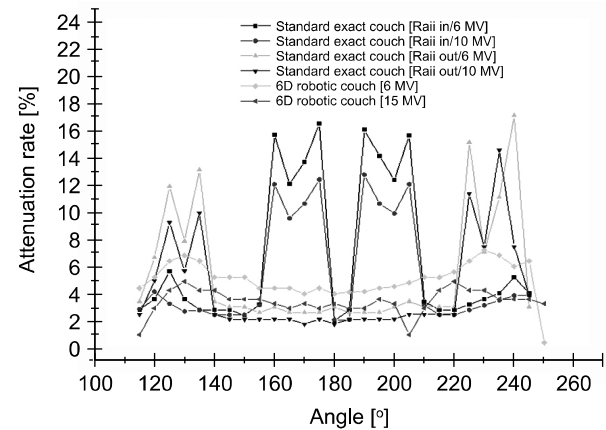


Fig. 8. Dependence according to photon beam's incident angle and the photon energy about the attenuation rate for the type of the couch.

Table 1. The maximum relative dose measured by the various photon energies with two types of treatment couches in the size of field 5×5 cm.

Energy	Couch type	Gantry angle	Maximum relative dose [%]
6 MV	Standard exact couch (Rail in)	175°	16.53
	Standard exact couch (Rail out)	225°	15.15
10 MV	Standard exact couch (Rail in)	175°	12.42
	Standard exact couch (Rail out)	225°	14.39
15 MV	6D robotic couch	130°	6.83
	6D robotic couch	130°	4.92

6D robotic couch의 선량 감쇠와 비슷한 것을 확인할 수 있다.

Standard exact couch의 경우 레일의 위치에 따라 변화된 선량 감쇠에 대한 편차가 전반적으로 6D robotic couch에 비해 훨씬 큰 것을 확인할 수 있다(Fig. 8). 이는 Couch top을 지지하는 슬라이딩 레일에 의한 영향이며, 두 종류의 치료테이블에서 동일한 각도에서 조사된 광자선의 에너지가 높을 수록 선량감쇠가 낮다. 또한 조사되는 광자의 에너지가 클수록 선량 감쇠율이 감소되어 치료테이블의 전반적인 선량 감쇠의 정도도 줄어들음을 확인 할 수 있다. 이는 불균질한 광자 에너지가 매질을 통과하는 투과거리가 길어지게 되면, 상대적으로 저 에너지 광자가 선택적으로 광자선의 평균 에너지가 상승하는 선속 경화(Beam hardening)현상¹⁷⁾으로 인해, 저 에너지일수록 매질을 통과할 수 있는 투과력이 낮아, 선량 감쇠율이 지수 함수적으로 증가하기 때문이다.

Fig. 8에서 보면 조사각이 180°인 경우, 선량감쇠는 Standard exact couch인 경우 대략 2~3%, 6D robotic couch인 경우 3~4% 남짓 발생한다. 겐트리 조사각과 수직 축

(180°)과의 사이각(θ)이 커질수록 광자선이 통과하는 치료테이블의 두께가 길어져 감쇠율이 16.5% (Standard exact couch, Rail in, 6 MV), 6.83% (6D robotic couch, 10 MV)까지 증가하였다.

결론적으로, 본 연구를 통해 6D robotic couch와 Standard exact couch의 감쇠 정도를 확인 하였다. 확인 결과, 6D robotic couch는 Standard exact couch보다 전반적으로 감쇠 정도가 낮지만, 이는 두 치료 테이블의 Rail의 유무에 의해 발생하는 차이이다. Rail을 지나치지 않는 부분만 비교한다면 Standard exact couch가 6D robotic couch에 비해 couch top에 의해 발생하는 선량 감쇠가 대략 1%정도 낮게 발생하는 것을 확인하였다.

통상적으로 6D robotic couch보다 많이 사용되고 있는 Standard exact couch를 이용한 방사선 치료 시, 선량 감쇠가 많이 발생하는 특정 조사각에서는 슬라이딩 레일의 위상에 유의한다면, 6D robotic couch를 사용했을 때보다 더욱 정확한 치료를 기대 할 수 있을 것이다. 추후, 조사면적이 선량

감쇠에 미치는 영향에 대해 연구할 필요성이 있다.

References

1. Oh SA, Kang MK, Kim SK: Comparison of IMRT and VMAT Techniques in Spine Stereotactic Radiosurgery with International Spine Radiosurgery Consortium Consensus Guidelines. *Prog Med Phys* 24, 145-153 (2013)
2. Donovan E, Bleakley N, Denholm E, Evans P, et al: Randomised trial of standard 2D radiotherapy (RT) versus intensity modulated radiotherapy (IMRT) in patients prescribed breast radiotherapy. *Radiotherapy and Oncology* 82, 254-264 (2007)
3. Ahn YC.: Introduction of intensity modulated radiation therapy. *J Korean Med Assoc* 54 (2011)
4. Otto K: Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Medical physics* 35 (2008)
5. Uematsu M, Shioda A, Tahara K, et al: Focal, High Dose, and Fractionated Modified Stereotactic Radiation Therapy for Lung Carcinoma Patients. *American Cancer Society* 82, 1062-1070 (2000)
6. Papanikolaou N, Battista JJ, Boyer AL, et al: Task Group 65 report: Tissue inhomogeneity corrections for megavoltage photon beams. (2004)
7. Klein EE, Hanley J, Bayouth J, et al: Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. (2009)
8. Han SC, Lee DJ.: Differences in Target Volume Delineation Using Typical Radiosurgery Planning System. *PROGRESS in MEDICAL PHYSICS* 24, 265-270 (2013)
9. Olch AJ, Gerig L, Li H, et al: Dosimetric effects caused by couch tops and immobilization devices: report of AAPM Task Group 176. *Medical physics* 41, 061501, doi:10.1118/1.4876299 (2014)
10. Johns H, Cunningham JR: *Physics of Radiology* 4th. 137-142 (1983)
11. Wagner D, Vorwerk H.: Treatment couch modeling in the treatment planning system Eclipse J. *Cancer Sci. Ther* 3 007-012 (2011)
12. Van Prooijen M, Kanesalingam T, Islam MK: Assessment and management of radiotherapy beam intersections with the treatment couch. *JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS* 11, 128-139 (2010)
13. Kim SJ, Sin HS, Ko SY, et al: A Correction Method of Dose to Attenuation Rate of Transmitting Photon Beam Through Couch Top for Radiosurgery Using Novalis. *PROGRESS in MEDICAL PHYSICS* 22, 12-17 (2011)
14. Li H, Lee AK, Johnson JL, et al: Characterization of dose impact on IMRT and VMAT from couch attenuation for two Varian couches. *JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS* 12, 23-31 (2011)
15. Njeh CF, Raines TW, Saunders MW: Determination of the photon beam attenuation by the BrainLAB imaging couch angular and field size dependence. *JOURNAL OF APPLIED CLINICAL MEDICAL PHYSICS* 10, 16-27 (2009)
16. Spezi E, Ferri A: Dosimetric characteristics of the Siemens IGRT carbon fiber tabletop. *Medical dosimetry : official journal of the American Association of Medical Dosimetrists* 32, 295-298, doi:10.1016/j.meddos.2006.11.006 (2007)
17. Brooks RA, Chiro GD: Beam Hardening in X-ray Reconstructive Tomography. *PHYS. MED. BIOL.* 21 (1976)

Standard Exact Couch와 6D Robotic Couch를 이용한 광자선의 조사각에 따른 선량 감쇠에 대한 연구

*영남대학교 물리학과, [†]영남대학교의료원 방사선종양학과, [‡]영남대학교 의과대학 방사선종양학교실

김태형* · 오세안[†] · 예지원[‡] · 박재원[†] · 김성규[‡]

본 연구는 방사선치료에서 방사선 선량전달의 정확도를 높이기 위해 두 종류의 치료테이블 6D robotic couch (BrainLab, Feldkirchen, Germany)와 Standard exact couch (Varian Exact couchTM, Varian Medical Systems, Milpitas, CA, USA)를 이용하여 Rail의 위상(In-Out)에 따른 상대선량을 측정하여, 선량감쇠율을 계산하였다. 치료테이블을 통과하는 조사에너지의 조사각 0°에서 360°까지의 상대 선량을 각각 측정하였으며, 조사각이 0°일 때 측정된 선량을 기준으로 하여 5° 간격으로 선량의 변화를 측정하고 선량 감쇠율을 계산하였다. Standard exact couch의 광자선 에너지는 6 MV와 10 MV를 사용하였으며 치료테이블의 Rail 위상(In position, Out position)에 따른 상대 선량을 측정하였다. 6D robotic couch는 6 MV와 15 MV의 광자선 에너지를 사용하였다. Standard exact couch의 광자선의 최대 선량차이는 Rail In position에서 6 MV (175°), 10 MV (175°)일 때, 선량차이는 각각 16.53%, 12.42%, Out position에서 6 MV (225°), 10 MV (225°)일 때, 선량차이는 각각 15.15%, 9.96%였다. 6D robotic couch에서는 6 MV (130°)와 15 MV (130°)일 때, 선량차이는 각각 6.82%, 4.92%였다. 본 연구를 통해, 치료테이블의 종류에 따른 선량 감쇠율은 6D robotic couch가 Standard exact couch보다 6 MV에서 조사각 180° 기준 약 1% 더 발생함을 확인하였고, Standard exact couch인 경우, Sliding rail의 위상(In position, Out position)에 따라 선량 감쇠가 급격히 변화하는 것을 확인하였다.

중심단어: 치료테이블, 위상, 선량 차이, 조사각, 감쇠율