

Evaluated Absorbed Dose According to Prescribed Dose and Therapeutic Technique in Radiation Therapy

Deuk-hee Lee,¹ Eun-tae Park,¹ Jung-hoon Kim,² In-chul Im^{3,*}

¹Department of Radiation Oncology, Busan Paik Hospital, Inje University, Korea

²Department of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan, Korea

³Department of Radiological Science, Donggeui University, Korea

Received: September 13, 2016. Revised: October 17, 2016. Accepted: October 30, 2016

ABSTRACT

In this study, evaluated absorbed dose of moving target using PLD according to prescribed dose and therapeutic technique. First, result of MCNPX when target was deviated from exposure field was reduced dose in proportion to distance. According to prescribed dose, absorbed dose of 3D CRT was better than IMRT in low dose and IMRT was more better in high dose. Absorbed dose of 3D CRT was highest according to therapeutic technique. Therefore, 3D CRT was technique of irradiated highest dose to moving target. But, considered protective effect of normal tissue and patient condition that therapeutic technique was selected to maximized treatment efficiency.

Keyword: Absorbed dose, PLD, Prescribed dose, Therapeutic technique

1. INTRODUCTION

우리나라의 암 환자 수는 1999년 10만 명당 219.9명에서 2013년에는 311.6명으로 매년 3.3%씩 꾸준히 증가하였다.^[1] 이렇게 암 환자가 증가함에 따라 암 치료의 3대 기법 중 하나인 방사선 치료의 비중 또한 높아지고 있다.^[2]

방사선치료의 중요도가 높아지는 만큼 그 기술도 같이 발전을 하여왔으며, 이와 함께 단순히 암의 사멸뿐만 아니라 정상조직의 보호에 대한 관심도 높아졌다.^[3] 이로 인해 3차원 입체조형방사선치료(3-Dimensional Conformal Radiation Therapy, 3D CRT)보다 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)의 비중이 높아졌으며, 정상조직의 보호효과와 치료효과를 동시에 향상 시킬 수 있게 되었다.^[4-6] 나아가 호흡에 영향을 받는 장기와 종양에 대한 관리의 필요성이 대두 되면서 이에 대한 관심도 증대되었다.

국제 방사선 단위 측정 위원회(International Commission

on Radiation Units & Measurements, ICRU)는 임상 표적체적(Clinical Target Volume, CTV)에 내부여유(Internal Margin, IM)를 더한 내부표적체적(Internal Target Margin, ITV)을 ICRU 62에 포함시켰다.^[7] 또한 미국의 핵물리협회(The American Association of Physicists in Medicine; AAPM)에서도 종양의 움직임이 큰 경우에는 호흡관리가 필요하다고 권고하였으며, 움직이는 종양의 영상을 획득하기 위한 여러 가지 방법을 제시하였다.^[8]

호흡주기에 맞춰 영상을 획득할 수 있는 4D CT(4-Dimensional Computed Tomography)의 도입으로 인해 움직이는 종양의 영상을 더 명확하게 획득하는 것이 가능해졌으며,^[9] 호흡주기를 고려한 4D RT(4-Dimensional Radiation Therapy)의 치료계획을 수립할 수 있게 되었다. 이렇게 치료기법이 발전함에 따라 종양에 흡수되는 선량의 관리가 중요해지면서, QA(Quality Assurance)에 관련한 연구 또한 활발히 진행되고 있다.^[10,11]

이에 본 논문에서는 MCNPX 프로그램을 사용하여

*Corresponding Author: In-chul Im

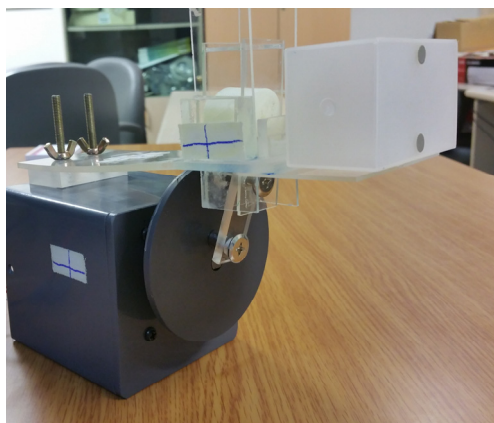
E-mail: icim@deu.ac.kr Tel: +82-51-890-2678

움직이는 타겟(Target)이 조사야에서 벗어나는 정도에 따른 선량의 차이를 분석하고자 하였다. 이를 통해 실제 구동하는 타겟의 치료기법에 따른 선량을 측정 및 비교, 평가함으로써 움직이는 종양에 정확한 선량을 조사할 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다.

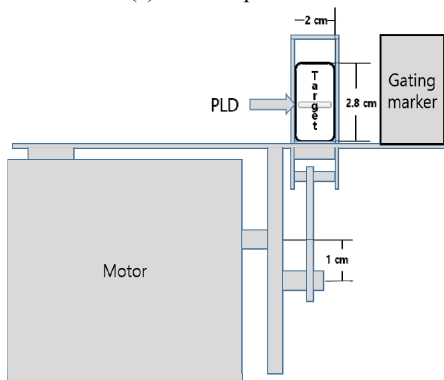
II. MATERIAL AND METHODS

1. 연구재료

모의모사는 MCNPX프로그램을 이용하여 구현하였다. 구동하는 타겟은 Fig.1과 같이 제작하였으며, 호흡주기에 따라 전후 방향으로 구동될 수 있도록 하였다.



(a) Actual phantom



(b) Mimetic diagram

Fig.1. The operating phantom that direction is anterior to posterior

구동 진폭은 선행연구에서 움직임이 큰 횡격막을 기준으로 하여 20 mm가 되도록 하였다.^[12] 타겟은 3D 프린터를 이용하여 연부조직의 밀도인 1.03 g/cm³와 유사한 1.04 g/cm³의 아크릴로니트릴(Acrylonitrile), 부타디엔(Butadiene), 스티렌(Styrene)의 합성물질인 ABS로

제작하였다. 또한 타겟의 중앙에 유리선량계(Photoluminescence Glass Dosimeter, PLD)가 삽입될 수 있게 하였다. 제작된 타겟은 전산화 단층촬영기(SOMATOM Sensation OPEN, Siemens, Germany)로 영상을 획득하였으며, 타겟의 호흡주기 획득에는 RPM system(Real-Time Position Management system, Varian, USA)을 이용하였다. 이렇게 획득한 영상은 전산화치료계획시스템(Eclipse version 10.0, Varian, USA)으로 치료계획을 수립하였다. 선량측정은 PLD(GD-302M, Asashi Techno Glass, Japan)를 이용하였으며, 제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Photoluminescence glass dosimeter specification

Specification of PLD	
Size of glass element	∅1.5 × 12 mm
Size of holder	∅2.8 × 13 mm
Effective atomic number	12.04
Fading effect	< 5% / year
Measuring rays	γ-rays and X-rays (15 keV to 20 MeV)

2. 연구방법

2.1 MCNPX 모의모사

실제 제작된 타겟과 동일한 크기와 물성을 바탕으로 타겟을 모의 모사하였다. 이 타겟을 Fig.2와 같은 방식으로 재구성하여 선량을 측정하였으며, 0 mm부터 1 mm 단위로 이동하여 최대 20 mm까지 21개 구간을 각각 산출 하였다. 본 연구에서는 F6 tally를 이용하여 MeV/g 단위로 나타내었으며, 오차범위가 3% 이내가 되도록 10⁹번 반복하여 모의실험을 진행하였다.

2.2 3D CRT와 IMRT기법의 선량 비교

4D CT를 이용하여 유동 타겟을 2mm의 두께로 영상을 획득하였다. 획득한 영상은 전산화 치료계획시스템을 이용하여 체적을 설정하였으며, 설정된 체적에 F1g.3과 같이 5분(0°, 72°, 144°, 216°, 288°)으로 하여 3D CRT와 IMRT기법으로 치료계획을 각각 수립하였다. 이 때 IMRT기법의 경우 sliding window 방식을 적용하였다. 처방선량은 일반분할 조사부터 정위적 체부 방사선치료(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT)까지 고려하여 2 Gy 단위로 설정하고, 2 Gy부터 20 Gy까지

10개의 치료계획을 수립하였다. 이렇게 수립된 계획을 이용하여 변동계수가 0.05로 유지될 수 있도록 각각 10회씩 측정하여 비교 평가하였다.

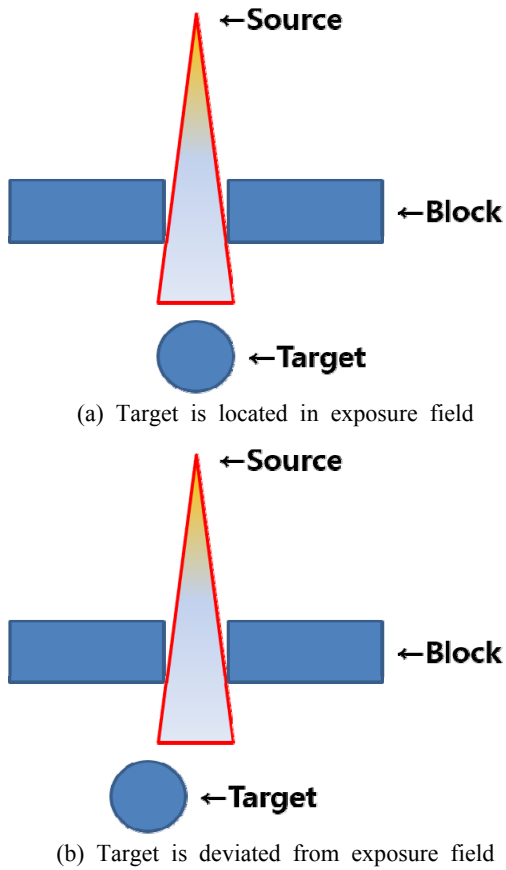


Fig.2. Schematic representation of exposure condition in MCNPX

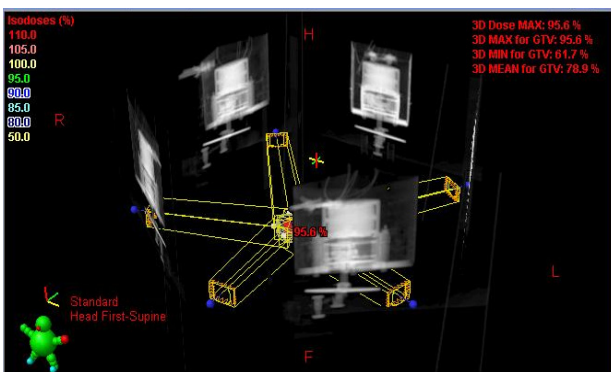


Fig.3. Treatment planning of using five portal

2.3 치료기법에 따른 선량 비교

동일하게 획득한 영상을 이용하여 치료계획을 수립하였다. 치료계획의 수립은 3D CRT와 IMRT 그리고 호흡동조 방사선치료(Respiratory Gated Radiation Therapy, RGRT) 기법으로 설정하였다. IMRT의 경우 다엽 콜리메이터(Multi Leaf Collimator, MLC)구동 방식에 따라 sliding window 방식과 step & shoot 방식으로 구분하였으며, RGRT는 Fig.4와 같이 호흡주기를 30~70%로 설정하였다. 이 때 처방선량은 10 Gy 단일로 하였다. 이렇게 수립된 치료계획으로 각각 10회씩 측정하였으며, 변동계수가 0.05 이하로 유지되도록 하였다.

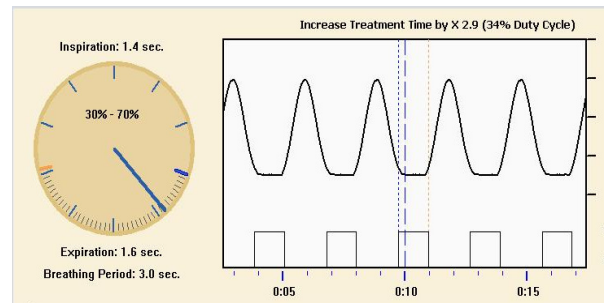


Fig.4. Respiratory range 30~70% during RGRT

III. RESULT

1. MCNPX 모의모사

모의모사 결과를 Table 2에 나타내었다. 타겟이 조사야에 벗어나지 않은 경우 4.00E-08 MeV/g으로 나타났으며, 거리가 멀어질수록 감소하여 20 mm가 벗어나는 경우에는 2.20E-08 MeV/g으로 나타났다. 결과적으로 Fig.5와 같이 1 mm씩 벗어날수록 1.30%에서 2.67%까지 감소하며, 20 mm가 벗어날 시 선량이 45.22% 감소하는 결과를 나타내었다.

Table 2. Result of MCNPX that absorbed dose when target is deviated from exposure field

(unit : MeV/g)

Deviat distance	Absorbed dose	Deviat distance	Absorbed dose	Deviat distance	Absorbed dose
0 mm	4.01E-08	7 mm	3.45E-08	14 mm	2.76E-08
1 mm	3.96E-08	8 mm	3.35E-08	15 mm	2.67E-08
2 mm	3.88E-08	9 mm	3.26E-08	16 mm	2.57E-08
3 mm	3.8E-08	10 mm	3.15E-08	17 mm	2.46E-08
4 mm	3.7E-08	11 mm	3.03E-08	18 mm	2.38E-08
5 mm	3.63E-08	12 mm	2.94E-08	19 mm	2.28E-08
6 mm	3.55E-08	13 mm	2.85E-08	20 mm	2.2E-08

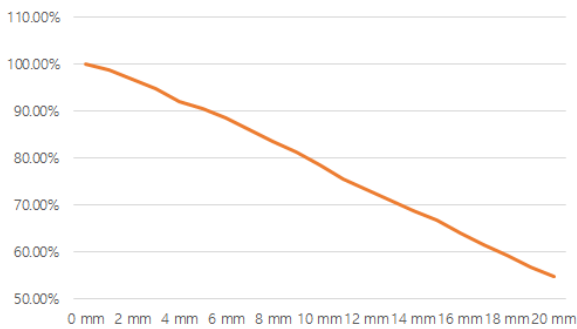


Fig.5. Ratio of absorbed dose when target is deviated from exposure field

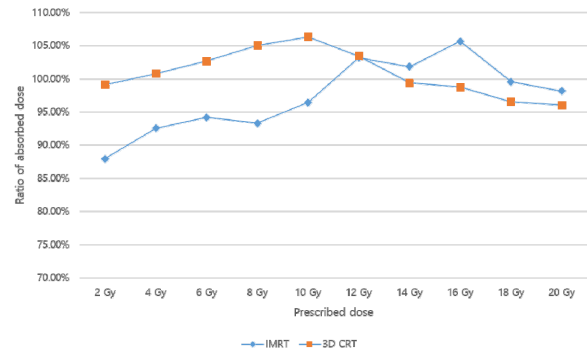


Fig.6. Ratio of absorbed dose according to prescribed dose

2. 3D CRT와 IMRT기법의 선량 비교

Table 3은 처방선량에 따른 결과이다. 3D CRT의 경우 처방선량 2 Gy에서는 1.98 Gy로 처방선량의 99.12%를 나타내었다. 또한 Fig.6에서와 같이 10 Gy에서 10.63 Gy를 나타내며 처방선량의 106.34%로 가장 높은 값을 보였으며, 20 Gy에서는 19.20 Gy로 처방선량의 96.01%를 보이며 가장 낮은 값을 나타냈다.

IMRT의 결과는 2 Gy에서 1.75 Gy를 보이며 처방선량 대비 87.92%로 가장 낮은 값을 나타냈으며, 16 Gy에서는 16.90 Gy로 105.64%의 비율을 보이며 처방선량 대비 가장 높은 값을 보였다. 그리고 가장 높은 처방선량인 20 Gy에서는 19.63 Gy로 98.13%의 비율을 보였다.

3. 치료기법에 따른 선량 비교

치료기법에 따른 선량 결과는 Table 4와 같이 3D CRT에서 10.63±0.33 Gy로 가장 높은 값을 보였으며, RGRT가 10.35±0.51 Gy로 다음을 나타내었다. IMRT 기법을 사용하였을 시에는 step & shoot 방식이 9.95±0.46 Gy로 sliding window 방식의 9.64±0.16 Gy보다 높은 결과를 보였다.

Table 4. Absorbed dose according to the therapeutic technique

(unit : Gy)

Therapeutic technic	Absorbed dose(M±SD)
3D CRT	10.63±0.33
IMRT(Sliding window)	9.64±0.16
IMRT(Step & shoot)	9.95±0.46
RGRT	10.35±0.51

M : Mean, SD : Standard Deviation

Table 3. Absorbed dose of PLD when apply 3D CRT and IMRT technique

(unit : Gy)

3D CRT				IMRT			
Prescribed dose	Absorbed dose (M±SD)	Prescribed dose	Absorbed dose (M±SD)	Prescribed dose	Absorbed dose (M±SD)	Prescribed dose	Absorbed dose (M±SD)
2 Gy	1.98±0.025	12 Gy	12.41±0.29	2 Gy	1.75±0.035	12 Gy	12.38±0.15
4 Gy	4.03±0.049	14 Gy	13.91±0.16	4 Gy	3.70±0.068	14 Gy	14.26±0.24
6 Gy	6.16±0.11	16 Gy	15.80±0.67	6 Gy	5.65±0.059	16 Gy	16.90±0.47
8 Gy	8.40±0.50	18 Gy	17.38±0.21	8 Gy	7.46±0.14	18 Gy	17.91±0.36
10 Gy	10.63±0.33	20 Gy	19.20±0.57	10 Gy	9.64±0.16	20 Gy	19.62±0.86

M : Mean, SD : Standard Deviation

IV. DISCUSSION

본 연구는 임상의 방사선치료 시 처방선량과 치료기법에 따른 흡수선량을 움직이는 타겟을 대상으로 하여 비교 분석하였다.

먼저 호흡 또는 내부 장기의 움직임에 의해 조사야에서 벗어나는 정도에 따른 선량의 모의모사 결과, 조사야에서 이격될수록 급격한 감소를 이루었다. 이러한 경향성은 선형가속기(Linear accelerator, LINAC)의 빔 가장자리(Penumbra region)의 경우 빔 축으로부터 측면 거리에 위치하기 때문에 급격한 선량을 감소를 보인 것으로 판단된다.^[13] 또한 AAPM의 QA 권고에 따라 광조사야의 오차가 2 mm를 넘지 않아야 하므로,^[14] 이를 벗어난 조사야의 경우에는 선량율의 감소에 대해 더욱 유념해야 할 것이다.

다음으로 3D CRT와 IMRT의 처방선량에 따른 흡수선량을 비교하였다. 일반 분할조사와 같이 저선량의 경우에는 3D CRT가 IMRT보다 처방선량에 더 가까운 값을 보였다. 이러한 결과는 IMRT의 sliding window 방식을 적용함으로써 타겟이 조사야에서 벗어나는 경우가 3D CRT보다 많아짐으로 인해, 선량이 감소된 것으로 사료된다.

방사선치료를 함에 있어서 치료가능비는 중요한 고려사항이며, 종양에 들어가는 선량은 치료성적에 큰 영향을 미친다.^[13] 하지만 호흡에 영향을 받거나 내부 장기의 움직임으로 인해 유동성을 가지는 종양의 경우, 저선량을 처방한 IMRT기법이 치료가능비가 감소하는 결과를 초래할 수 있다. 반면에 SBRT와 같이 대선량을

처방함에 있어서는 3D CRT보다 IMRT가 종양에 선량을 더 집중시켜 치료가능비를 상승시킬 수 있을 것이다.

또한 한 번에 대선량 조사를 할 경우 분할횟수는 감소하게 되며, 분할횟수가 감소 될 시 Timmerman의 선행연구와 같이 정상조직의 1회 견딤선량(Tolerance dose)은 감소하게 된다.^[15] Park 등과 Lee 등의 연구에서도 IMRT기법이 3D CRT보다 정상조직 보호효과가 높은 것으로 보고하였으며,^[6,16] 본 연구 결과처럼 움직이는 종양의 대선량 조사에 있어서 IMRT기법이 더 유리할 것으로 사료된다.

움직이는 타겟을 대상으로 치료기법에 따른 선량을 비교한 결과 3D CRT가 가장 높은 선량을 보였다. 이후 RGRT, IMRT기법의 step & shoot방식의 순으로 나타났으며, sliding window 방식이 가장 낮은 선량을 보였다. IMRT의 step & shoot 방식이 sliding window 방식보다 흡수선량이 약 3% 높은 것으로 나타났다. 이 차이는 PLD 자체의 오차를 감안할 경우 큰 차이로 보기는 어려우나,^[17] 대선량을 조사 시 선량적인 측면에서는 간과할 수 없을 것이다. 따라서 움직임이 큰 종양을 치료함에 있어서 step & shoot 방식이 치료가능비가 높을 것으로 사료된다. 하지만 step & shoot방식은 sliding window방식 보다 치료시간이 더 오래 소요된다.^[18] 장시간의 치료는 환자의 재현성 유지에 영향을 미칠 수 있으므로, 이를 고려한 적절한 치료기법의 선택이 요구되어진다.

RGRT와 3D CRT의 선량의 차이는 약 3%로 나타났다. 이 차이에서도 측정의 오차를 감안 할 시 큰 차이

로 보기는 힘들 것이다. 또한 RGRT의 경우 호흡을 제어하여 치료함으로써 인해 IMRT보다 이익이 있으며,^[19] 3D CRT보다 정상조직의 보호효과에 있어서 우수한 결과를 보인다. 하지만 치료시간이 매우 길다는 단점이 존재한다. 그러므로 움직이는 종양을 치료함에 앞서, 환자의 상태 및 정상조직 보호효과를 고려한 적절한 치료기법의 선택이 동반되어야 될 것이다.

본 연구결과를 토대로 움직이는 종양을 치료하는 경우, 일반분할 치료와 같은 저선량에 있어서는 3D CRT가 흡수선량이 더 높게 나타났으며, SBRT와 같은 대선량에 있어서는 IMRT가 더 우수함을 알 수 있었다. 또한 치료기법에 있어서는 3D CRT에서 중심선량이 가장 높게 집중되었다. 하지만 방사선치료에 있어서 정상조직에 들어가는 선량의 감소 방안은 항상 뒷받침되어야 한다. 따라서 움직이는 종양을 치료함에 있어서 정상조직 보호효과가 더 큰 RGRT 방식이 더 적합할 것으로 사료된다.

제안점으로 본 연구는 치료기법에 따른 선량의 측정을 10 Gy 단일 선량으로 측정을 하였으며, RGRT에 있어서도 호흡주기 30~70% 단일 주기에 한하여 수행을 하였다. 하지만 임상에서는 환자의 병기 및 상태에 맞춰 다양한 선량을 처방하며, 호흡주기 또한 환자의 상황에 맞게 조절하여 치료를 수행한다. 그러므로 추후에는 이런 여러 조건에 대한 개별적인 실험과 함께 정상조직에 대한 피폭 관련 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. CONCLUSION

타깃의 움직임으로 인해 조사야를 벗어나는 정도에 따른 선량을 모의모사한 결과, 벗어나는 거리에 비례하여 선량이 감소하는 것을 알 수 있었다. 그리고 움직이는 타깃을 대상으로 처방선량에 따른 결과는 저선량에서는 3D CRT가 그리고 대선량에서는 IMRT가 선량을 더 집중시키는 것으로 나타났다. 또한 치료기법에 따라서는 3D CRT가 가장 높은 선량을 보였다.

방사선 치료를 시행함에 있어서 정확한 선량을 종양에 조사하는 것은 중요하다. 더불어 정상조직을 보호하는 것 또한 필수불가결한 요소이다. 따라서 방사선치료에 앞서 종양에 선량을 집중함과 동시에 정상조직을 보호하여 치료가능비를 높일 수 있는 적절한 치료기법

의 선택이 필요할 것이다.

Reference

- [1] National Cancer Information Center(www.cancer.gov), 2015
- [2] J. S. Lee, J. N. Kim, "Efficient Data Acquisition Technique for Clinical Application of Multileaf Collimator," Journal of The Korea Contents Association, Vol. 8, No. 11, pp. 182-188, 2008
- [3] B. S. Park, J. H. Ahn, D. Y. Kwon, J. M. Seo, K. W. Song, "The Effect of Photoneutron Dose in High Energy Radiotherapy," The journal of the Korean society for radiotherapeutic technology, Vol. 25, No. 1, pp. 9-14, 2013
- [4] G. Budgell, "Intensity modulated radiotherapy(IMRT) and introduction," Radiography, Vol. 8, No. 4, pp. 241-249, 2000
- [5] S. H. Benediet, R. M. Cardinale, Q. Wu, R. D. Zwickler, W. C. Broaddus, R. Mohan, "Intensity-modulated stereotatic radiosurgery using dynamic multileaf collimation", Int. J Radiat Oncol Biol Phys, Vol. 50, No.3, pp.751-758, 2001
- [6] E. T. Park, D. H. Lee, S. S. Kang, "Evaluation of Photoneutron by Hypofractionated Radiotherapy," The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 15, No. 12, pp. 347-354, 2015
- [7] ICRU. Prescribing, recording and reporting photon beam therapy(supplement to ICRU report 50), report 62, 1999. Bethesda. USA
- [8] P.J. Keall, G. S. Mageras, J. M. Balter, R. S. Emery, K. . Forster, S. B. Jiang, J. M. Kapatoes, D. A. Low, M. J. Murphy, B. R. Murray, C. R. Ramsey, M. B. Van Herk, S. Sastry Vedam, J. W. Wong, E. Yorke, "The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group 76," The International Journal of Medical Physics and Practice, Vol. 33, No. 10, pp. 3874-3900, 2006.
- [9] F. Li, J. Li, Y. Zhang, X. Min, D. Shang, T. Fan, T. Liu, Q. Shao, "Geometrical differences in gross target volumes between 3DCT and 4DCT imaging in radiotherapy for non-small-cell lung cancer," Journal of Radiation Research, Vol. 54, No. 5, pp. 950-956, 2013.

- [10] B. G. Choi, C. H. Choi, I. G. Yun, J. S. Yang, D. M. Lee, J. M. Park, "A study to 3D dose measurement and evaluation for Respiratory Motion in Lung Cancer Stereotactic Body Radiotherapy Treatment," *Journal of The Korea Contents Association*, Vol. 26, No. 1, pp. 59-67, 2014
- [11] J. S. Kim, E. H. Shin, J. S. Shin, S. G. Ju, Y. Y. Han, H. C. Park, D. H. Choi, "The Clinical Implementation of 2D Dose Distribution QA System for the Patient Specific Respiratory-gated Radiotherapy," *Korean Journal of Medical Physics*, Vol. 21, No. 2, pp. 127-136, 2010
- [12] K. M. Langen, D. T. Jones, "Organ motion and its management," *International Journal of Radiation Oncology·Biology·Physics*, Vol. 50, No. 1, pp. 265-78, 2001
- [13] S. S. Kang, I. H. Go, G. J. Kim, S. H. Kim, Y. S. Kim, *Radiation Therapeutics*, 3rd edition, Cheong-gu munhwasa, Seoul, 2014
- [14] G. J. Kutcher, L. Coia, M. Gillin, W. F. Hanson, S. Leibel, R. J. Morton, J. R. Palta, J. A. Purdy, L. E. Reinstein, G. K. Svensson, M. Weller, L. Wingfield, "Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40," *Medical Physics*, Vol. 21, No. 4, pp. 581-618, 1994
- [15] R. D. Timmerman, "An overview of hypofractionation and introduction to this issue of seminars in radiation oncology," *Seminars in Radiation Oncology*, Vol. 18, No. 4, pp. 215-222, 2008.
- [16] B. R. Lee, S. Y. Lee, M. G. Yoon, "Dosimetric Comparison of Radiation Treatment Techniques for Breast Cancer: 3D-CRT, IMRT and VMAT," *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 36, No. 3, pp. 237-244, 2013
- [17] H. S. Jeon, J. H. Nam, D. Park, Y. H. Kim, W. T. Kim, D. W. Kim, Y. K. Ki, D. H. Kim, J. H. Lee, "Reading Deviations of Glass Rod Dosimeters Using Different Pre-processing Methods for Radiotherapeutic in-vivo Dosimetry," *Progress in Medical Physics*, Vol. 24, No. 2, pp. 92-98, 2013
- [18] T. D. L. F. Herman, E. Schnell, J. Young, H. Kim, Ö. Algan, E. Syzek, T. Herman, S. Ahmad, "Dosimetric comparison between IMRT delivery modes: Step-and-shoot, sliding window, and volumetric modulated arc therapy - for whole pelvis radiation therapy of intermediate-to-high risk prostate adenocarcinoma," *Journal of Medical Physics*, Vol. 38, No. 4, pp. 165-172, 2013
- [19] S. S. Jang, G. J. Huh, S. Y. Park, P. S. Yang, E. Y. Cho, "The impact of respiratory gating on lung dosimetry in stereotactic body radiotherapy for lung cancer," *European Journal of Medical Physics*, Vol. 30, pp. 682-689, 2014

방사선치료 시 처방선량과 치료기법에 따른 흡수선량 평가

이득희,¹ 박은태,¹ 김정훈,² 임인철^{3,*}

¹인제대학교 부산백병원 방사선종양학과,

²부산가톨릭대학교 방사선학과,

³동의대학교 방사선학과

요 약

본 논문에서는 움직이는 타겟을 대상으로 처방선량과 치료기법에 따른 흡수선량을 유리선량계를 이용하여 평가하였다. 타겟의 움직임에 따라 조사야에서 벗어나는 정도에 따른 선량을 MCNPX를 이용하여 모의 모사하였으며 그 결과 조사야에서 이격하는 거리에 비례하여 감소하는 것으로 나타났다. 처방선량에 따른 흡수선량의 결과는 3D CRT의 경우 저선량에서 IMRT보다 흡수선량이 높은 것으로 나타났으며, 대선량에서는 IMRT가 더 높은 비율을 보였다. 치료기법에 따른 결과는 3D CRT가 가장 우수한 것으로 나타났으며, IMRT의 sliding window방식이 가장 낮은 것으로 나타났다. 본 연구를 통하여 3D CRT가 움직이는 타겟에 가장 높은 선량을 조사할 수 있는 기법으로 평가되었다. 하지만 정상조직의 보호효과와 환자의 상태 등을 고려한 적절한 치료기법의 선택으로 치료효과를 높일 수 있는 노력이 필요할 것이다.

중심단어: 흡수선량, 유리선량계, 처방선량, 치료기법