

직장암 방사선치료기법별 자세오차에 관한 분석

김정호^{1*}, 배석환², 김기진³, 유세종⁴, 김지윤⁵

¹건양대학교병원 방사선종양학과, ²건양대학교 방사선학과, ³건양대학교병원 핵의학과, ⁴건양대학교병원 영상의학과,
⁵혜전대학교 간호학과

Analysis of setup error at rectal cancer radiotherapy technique

Jeong-Ho Kim^{1*}, Seok-Hwan Bae², Ki-Jin Kim³, Se-Jong Yu⁴ and
Jee-Yoon Kim⁵

¹Department of Radiation Oncology, Konyang University Hospital

²Division of Radiology, Konyang University

³Department of Nuclear Medicine, Konyang University Hospital

⁴Department of Radiology, Konyang University Hospital

⁵Hyejeon College, Dept. of Nursing

요 약 직장암의 방사선치료는 정지된 영상을 이용하였다. 하지만 방사선치료 시 환자의 움직임이 발생된다. 이에 직장암 환자 14명을 대상으로 치료시간과 체형에 따른 기법별 자세오차를 비교하고자 하였다. 또한 평균오차에 대한 기법별 선량학적 변화량을 비교하였다. 비교를 통해 치료기법 선택의 기준을 마련하고자 하였다. 측정결과 3DCRT와 VMAT은 치료시간 및 자세오차가 비슷하였다. 이에 비해 IMRT는 치료시간이 약 2배, 자세오차는 약 4배 증가하였다. 체형에서는 비만형일수록 모든 치료기법에서 자세오차가 증가하였다. 선량평가에서는 소장측면에서는 동일한 오차에 대해 IMRT와 VMAT이 3DCRT에 비해 큰 폭의 선량증가를 보였다. 따라서 비만형인 직장암 환자의 경우 치료 시간이 짧은 3DCRT를 적용하여야 한다. 소장의 피폭이 많을 경우에는 IMRT보다는 VMAT을 선택하여야 한다.

Abstract Radiotherapy of rectal cancer requires a stabilized image but the movement of patients is almost unavoidable in radiotherapy. In this study, the setup error using the radiation treatment technique was compared according to the loading time and BMI(Body Mass Index) for 14 patients with rectal cancer. In addition, the variation of the dose by the average setup error was compared. Therefore, the technique of a selective standard was established. As a result, 3DCRT(3-Dimensional Radiation Therapy) and VMAT(Volumetric Modulated Arc Therapy) showed a similar time and error. In comparison, IMRT(Intensity Modulated Radiation Therapy) increased the time two fold and the error four fold. In BMI, a more pyknic patient showed a larger error for all techniques. Regarding the dose, IMRT and VMAT increased much more than 3DCRT in the average error at the small bowel. Therefore, 3DCRT of the short time will be applied to pyknic rectal cancer. Moreover, VMAT selects than IMRT in the overexposure of the small bowel.

Key Words : Conformity index, Homogeneity index, Quality of coverage, Radiotherapy technique, Rectal cancer

1. 서론

1.1 직장암의 방사선치료

대장 직장암 환자는 국내 전체 암 발생률 순위에서 위

암 다음으로 2위를 차지하고 있다. 그리고 세계적으로는 4번째로 발생률이 높아 매년 80만 명의 환자가 생기고 있다[1, 2]. 이 중 직장암 환자는 대장 직장암 환자의 1/3

을 차지한다[1]. 이러한 직장암의 치료는 수술적 절제부

*Corresponding Author : Jeong-Ho Kim (Konyang University Hospital)

Tel : +82-10-7602-7980 email: jeongho@kyuh.ac.kr

Received October 23, 2013

Revised (1st November 13, 2013, 2nd November 15, 2013, 3rd November 18, 2013)

Accepted December 5, 2013

터 항암화학요법과 방사선치료를 포함하는 다방면 요법을 선택하는 다학제적 치료까지 변화해왔었다[3]. 이 중 방사선치료의 경우 단순치료기법에서부터 체적변환방사선치료까지 지속적으로 발전해왔다. 현재 직장암의 방사선치료는 크게 세 가지 방법으로 나뉘어졌다. 3DCRT(3D-Conformal Radiation Therapy; 3차원입체조형방사선치료), IMRT(Intensity Modulated Radiation Therapy; 세기변조방사선치료), VMAT(Volumetric Modulated Arc Therapy; 체적변환방사선치료)이 그것이다. 단순치료기법의 경우에는 종양의 치사를 목적으로 치료영역을 설정하게 되지만, 이로 인해 정상장기의 피폭이 커지게 되어 급성부작용 뿐만 아니라 만성부작용까지 발생하게 된다. 특히 소장의 경우 직장암 치료 시 치료범위에 포함되어 부작용을 발생시키는 예후인자로 알려져 있다[4, 5]. 단순치료기법을 적용한 경우에는 소장의 부작용이 크게 나타났다[6-10]. 이후 CT를 이용한 치료계획의 개발로 장기의 위치 및 피폭량을 확인할 수 있었다[11-14]. 이로 인해 3DCRT에서 소장의 피폭량을 확인하여 부작용 예방에 큰 도움을 주게 되었다[15]. 또한 다엽콜리메이터의 개발로 방사선범위를 잘게 나누어 강도 조절이 가능한 IMRT 및 기하학적 회전까지 병행한 VMAT이 개발되었다. 이러한 IMRT 및 VMAT는 출력을 차등시킬 수 있기 때문에 종양 및 정상장기의 형태와 분포에 따라 적절한 방사선분포를 구현할 수 있었다[16-22]. 우리나라의 직장암 방사선치료의 동향은 2003년 기준 연구에서는 대부분이 3DCRT를 실시하였지만, 2009년 기준 연구에서는 IMRT의 비율이 증가하였다[23, 24]. 또한, 지속적인 연구를 통해 3DCRT보다 IMRT 및 VMAT의 적용이 많아지고 있다.

1.2 자세오차

방사선치료는 계획한 선량 전달이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 방사선이 계획대로 전달되지 못할 경우 종양의 제거 및 부작용을 예측하기 힘들고 이로 인해 급성 혹은 만성 부작용이 발생하게 된다. 그러므로 방사선치료 시 정확한 선량전달을 위해 잠재된 다양한 오차를 줄이기 위해 노력하게 된다[25, 26]. 이러한 오차는 다양한 부분에 산재되어 있지만 그 중 가장 빈번하게 일어나는 것이 환자의 움직임이다[27]. 환자의 움직임은 치료 중 발생하는 요인으로 움직임이 발생하였을 경우 다른 오차에 비해 발생된 선량보상방법이 없다. 방사선치료 시 모든 오차를 감소시켜야 하지만 특히 환자의 움직임에 대한 오차 감소를 중요하게 고려해야하는 것은 이 때문이라고 하겠다.

1.3 연구목적

방사선치료기법이 발전되어지면서 종양의 제어율 및 정상장기의 보존율이 증가하게 되었다. 하지만 IMRT 및 VMAT는 정지된 영상을 이용한 치료계획단계에서 발전된 것으로 실제 방사선치료 시 환자의 움직임에 의한 영향은 치료계획단계에서 고려되지 않았다. 강도분포가 심한 IMRT 및 VMAT의 경우에는 환자의 움직임에 의한 좌표의 변화가 큰 영향으로 나타나게 된다. 만약 환자의 움직임이 거의 없다고 한다면 IMRT 및 VMAT의 효과는 높을 것이다. 그러므로 실제 방사선치료 시 치료기법별 환자의 움직임에 대한 오차를 비교하여 치료기법의 적절성을 판단할 필요가 있었다. 이에 본 연구에서는 움직임 발생요인인 체형과 치료시간에 대해 치료기법별 환자 움직임의 오차를 비교하였으며, 오차에 따른 선량학적 변화를 통해 적절한 치료기법의 선택기준을 마련하고자 하였다.

2. 대상 및 방법

2.1 대상

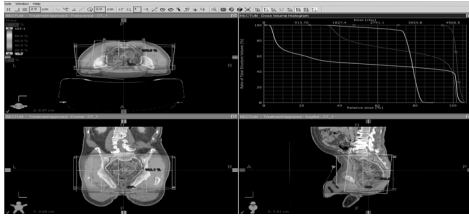
2013년 03월 01일부터 2013년 09월 30일까지 대전광역시 소재 대학병원 방사선종양학과에서 치료받는 직장암 환자 14명을 대상으로 실시하였다.

2.2 방법

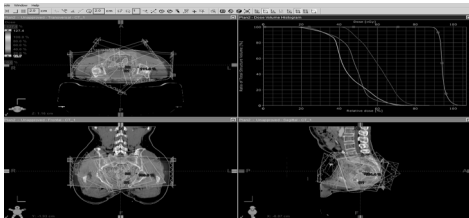
2.2.1 방사선치료계획

방사선치료계획은 3DCRT와 IMRT, VMAT으로 나누어 실시하였다. 임상에서 가장 많이 적용되는 3DCRT는 7명, IMRT와 VMAT은 각각 3명과 4명씩을 적용하였다. 3DCRT는 종양중심점을 기점으로 후방에서 6MV 광자선을 사용하였고, 양 측방에서 45도 가상췌기필터를 적용한 10MV 광자선을 사용하였다. IMRT계획은 선속방향이 최소 5개에서 최대 9개로 설정하였으며, 선량설정은 처방선량에 대해 PTV는 최소 95% 범위내로 가중치 350, 최대 105% 범위내로 가중치 400으로 설정하였으며, 방광은 최대 60% 범위내로 가중치 300, 고관절은 최대 40% 범위내로 가중치 100으로 하였다. 다엽콜리메이터는 sliding window방식으로 2회 계산하여 결과를 도출하였으며, 각각의 경우에서 부분적 선량체적적 보정을 실시하였다[24]. 마지막으로 VMAT계획의 경우 시계 진행방향은 181도에서 179도, 반시계 진행방향은 179도에서 181도로 각각 1회전씩만 설정하였으며, 선량설정은 IMRT와 동일하게 설정하였다. 방사선치료 처방선량은 3가지 기법 모두 1.8 Gy의 통상적 분할선량으로 50.4 Gy

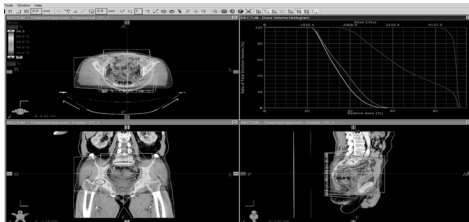
로 하였으며, 최소 93%에서 98%까지 선량분포를 선정하였다.



[Fig. 1] 3DCRT plan image



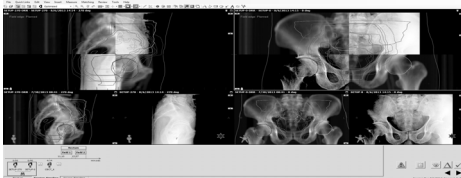
[Fig. 2] IMRT plan image



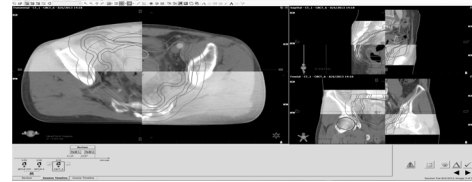
[Fig. 3] VMAT plan image

2.2.2 자세오차 측정방법

자세오차 측정방법은 14명의 대상 환자에 대해 매 치료시마다 OBI(On Board Imager)를 통해 자세잡이를 한 후 치료 종료 후 OBI를 재촬영하여 오차를 측정하였다. 단, 영상을 통한 오차 확인은 주관적인 관점이 크므로 정십자를 기준으로 골반뼈, 척추돌기, 꼬리뼈의 만곡점을 기준으로 계산하였다.



[Fig. 4] OBI setup error measurement



[Fig. 5] CBCT setup error measurement

2.2.3 치료시간 측정

치료시간은 치료기법별 선속의 수 및 출력량, 환자자세의 재현성 등에 의존한다. 치료시간의 측정은 자세잡이부터 치료종료까지를 측정하였다.

2.2.4 체형의 분류

자세오차와 체형의 연관성을 확인하기 위해 체형을 분류하는 기준을 식1과의 공식을 통해 BMI(Body Mass Index)로 분류하였다. 각 치료기법에 따른 BMI와 자세오차를 비교하였다[28].

$$BMI = \left[\frac{weight - \{0.9 \times (height - 100)\}}{\{0.9 \times (height - 100)\}} \right] \times 100 \quad (\text{식1})$$

2.2.5 평균오차에 따른 선량평가

평균오차는 자세오차의 X, Y, Z축에 대해 전체 평균을 구하여 치료기법별로 동일하게 적용하였다. 적용되어진 치료계획의 DVH(Dose-Volume Histogram)를 기준으로 기준 치료계획과 오차 치료계획에 대한 RTOG(Radiation Therapy Oncology Group)의 정량화된 지표인 CI (Conformity index)와 HI (Homogeneity index), QOC (Quality of Coverage)를 이용하여 종양을 평가하며, 방광과 소장 경우 최대선량과 최소선량을 이용하여 평가하였다[29, 30].

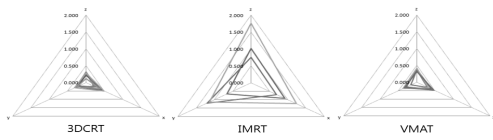
3. 결과

3.1 자세오차

치료기법별 자세오차는 표1과 같으며, 평균오차는 X축은 0.48mm, Y축은 0.43mm, Z축은 0.49mm로 나왔다.

[Table 1] Setup error

	[unit : mm]		
	3DCRT	IMRT	VMAT
X-axis	0.34±0.56	0.95±1.10	0.37±0.60
Y-axis	0.26±0.48	1.00±1.01	0.29±0.49
Z-axis	0.25±0.53	1.18±1.42	0.37±0.57



[Fig. 6] Distribution map of setup error

3.2 치료시간

치료기법별 치료시간은 표2와 같았다.

[Table 2] Loading time

[unit : sec]

	3DCRT	IMRT	VMAT
Time	424±37	917±58	448±29

3.3 체형별 오차

치료기법별 체형에 따른 오차는 표3과 같았다.

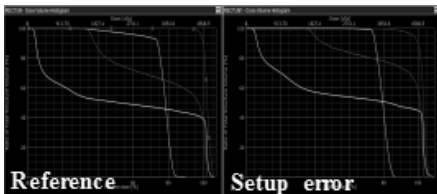
[Table 3] BMI and setup error

[unit : mm]

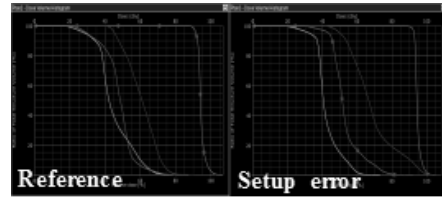
	BMI	Mean	Standard Deviation
3DCRT	18.8	0.64	0.80
	27.9	0.67	0.67
	32.4	0.77	0.57
	36.5	0.87	0.66
	37.9	0.77	0.71
	39.7	0.71	0.68
	46.3	1.05	0.55
IMRT	53.1	1.99	0.87
	55.8	2.01	1.43
	62.1	3.08	1.59
VMAT	53.1	0.80	0.64
	58.5	0.96	0.58
	63	1.00	0.55
	63.9	1.04	0.67

3.4 평균오차에 따른 선량평가

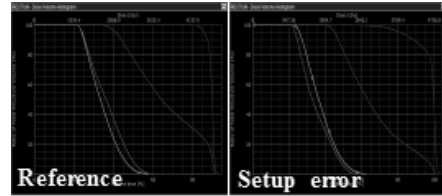
평균오차에 따른 선량평가는 표4와 같이 기준이 되는 치료계획의 DVH에서 지표와 자세오차를 적용하여 선량 계산한 DVH에서 지표로 구분하여 표현되었다.



[Fig. 7] Reference versus error apply DVH in 3DCRT



[Fig. 8] Reference versus error apply DVH in IMRT



[Fig. 9] Reference versus error apply DVH in VMAT

[Table 4] Dose evaluation

		3DCRT		IMRT		VMAT	
		standard	error	standard	error	standard	error
Tumor	CI	1.273	1.356	0.974	0.978	0.922	0.934
	HI	1.085	1.106	1.105	1.093	1.125	1.108
	QOC	0.906	1.040	0.915	0.385	0.916	0.921
Bladder	$I_{max}(cGy)$	101.9	103.1	102.4	101.7	90.3	108.3
	$I_{min}(cGy)$	33.3	35.3	37.9	38.7	36.9	39.7
Small	$I_{max}(cGy)$	94.2	101.6	60.3	78.4	62.7	77.7
Bowel	$I_{min}(cGy)$	22.1	26.6	17.8	25.8	25.8	36.0

CI: V_{RI}/TV , HI: I_{max}/RI , QOC: I_{min}/RI , V_{RI} : volume encompassed by the prescription isodose, TV: target volume, I_{max} : maximum isodose in the target, RI: prescription isodose, I_{min} : minimum isodose in the target.

4. 결론

직장암의 방사선치료는 3DCRT, IMRT, VMAT로 발전되어지면서 적용되어지고 있었다. IMRT와 VMAT는 강도분포를 변화시켜 종양의 제어율 및 정상장기의 보존율을 상승시키는 장점이 있지만 정지된 CT영상을 이용한 치료계획에서는 환자의 움직임이 고려되지 못하고 있었다. 이에 본 연구에서는 환자의 움직임의 원인인 체형과 치료시간에 따른 치료기법별 오차를 비교하며, 오차가 방사선치료 시 선량학적 영향정도를 평가하여 적절한 치료기법 선택기준을 마련하고자 하였다. 실제 직장암환자 14명을 분석한 결과 치료시간은 3DCRT와 VMAT이 비슷하게 나왔으며, IMRT가 약 2배의 시간이 소요되는 결과를 보였다. 그리고 치료기법별 환자 움직임에 의한 오차 역시 3DCRT와 VMAT는 차이가 거의 없었으며,

IMRT에서는 약 4배의 차이를 보였다. 이를 통해 치료시간이 길수록 환자의 움직임에 의한 오차는 더욱 증가한다는 것을 알 수 있었다. 체형에 따른 결과를 보면 BMI가 높은 경우 방사선치료기법 모두 오차가 증가하는 결과를 보였다. 즉 체형이 비만일수록 움직임의 오차 발생 확률이 증가하는 것으로 보였다. 하지만 일부의 경우에는 BMI가 높은 경우가 낮은 경우에 비해 오차가 적은 경우도 발생하였다. 이 결과는 치료시간에 비해 BMI의 영향이 적은 것을 보여주는 것 이었다. 이를 통해 환자의 체형보다는 치료시간을 줄여 환자의 움직임에 관한 오차를 줄이는 것이 유효하다는 결론을 내릴 수 있었다. 선량학적 평가에서는 동일한 기준을 적용하기 위해 전체 평균 오차에 대한 값을 3DCRT, IMRT, VMAT에 적용할 경우 각각의 지표값을 비교하였다. 종양에 관한 지표의 경우에는 치료기법별 변화량이 크지 않았지만, 정상장기의 경우에는 방광의 경우에는 VMAT의 경우 최대선량이 큰 폭으로 변화되었다. 또한 부작용 발생요인인 소장의 경우에는 IMRT와 VMAT에서 최대선량과 최소선량 모두 큰 폭으로 증가되는 것을 알 수 있었다. 이는 3DCRT의 경우 방사선조사범위 내 동일한 강도분포를 가지고 있어 비교적 선량학적 변화가 적음에 비해 IMRT와 VMAT의 경우에는 환자의 움직임에 의한 좌표 이동으로 중심점에서 일정 간격에 위치한 소장의 피폭선량이 증가되는 것이었다. 이를 통해 환자의 움직임에 의한 영향은 3DCRT에 비해 IMRT와 VMAT에서 정상장기의 부작용 발생 확률이 높아지는 것을 보였다. 본 연구의 결과와 같이 직장암의 방사선치료 시 치료기법의 선택에서 치료계획상의 영상만을 통해 결정하는 것이 아니라 환자의 체형 및 치료 소요시간을 측정하여 판단하여야 할 것이다. 만약 환자가 체형이 비만형이라면 가급적 3DCRT를 선택해야 하며, 치료계획 시 소장 등의 정상장기 피폭이 우려될 경우에는 IMRT보다는 VMAT을 고려하여야 된다. 물론 환자의 움직임에 대한 원인은 체형과 치료시간뿐만 아니라 환자의 나이, 체력정도, 정신적 요인, 기타 항암제의 병용여부에 따라 차이가 발생할 수 있다. 그러므로 다양한 변화인자를 고려하여 적절한 치료기법의 선택기준 마련에 도움이 되고자 하였다.

References

- [1] A. Jemal, R. Siegel, E. Ward, "Cancer statistics", *CA Cancer J Clin*, 58, pp. 71-96, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3322/CA.2007.0010>
- [2] Goyang., National Cancer Information Center, <http://www.cancer.go.kr/cms/statics/incidence>, 2011 Jan 30.
- [3] H. C. Park, D. H. Choi, "Radiation Therapy for Colorectal Cancer", *J Korea Med Assoc*, 53(7), pp. 592-602, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5124/jkma.2010.53.7.592>
- [4] K. L. Baglan, R. C. Frazier, D. Yan, R. R. Huang, A. A. Martinez, J. M. Robertson, "The dose-volume relationship of acute small bowel toxicity from concurrent 5-FU-based chemotherapy and radiation therapy for rectal cancer", *Int J Radiat Oncol Biol Phys.*, 52, pp. 176-183, 2002.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-3016\(01\)01820-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-3016(01)01820-X)
- [5] M. J. Gallagher, H. D. Brereton, R. A. Rostock, J. M. Zero, D. A. Zekoski, L. F. Poyss, M. P. Richter, M. M. Kligerman, "A prospective study of treatment techniques to minimize the volume of pelvic small bowel with reduction of acute and late effects associated with pelvic irradiation.", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 12, pp. 1565-1573, 1986.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0360-3016\(86\)90279-8](http://dx.doi.org/10.1016/0360-3016(86)90279-8)
- [6] T. G. Shanahan, M. P. Mehta, K. L. Bertelrud, "Minimization of small bowel volume within treatment fields utilizing customized belly boards", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 19, pp. 469-476, 1990.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0360-3016\(90\)90559-3](http://dx.doi.org/10.1016/0360-3016(90)90559-3)
- [7] I. J. Das, R. M. Lanciano, B. Movsas, K. Kagawa, S. J. Barnes, "Efficacy of a belly board device with CT-simulation in reducing small bowel volume within pelvic irradiation fields", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 39, pp. 67-76, 1997.
- [8] S. J. Huh, D. H. Lim, Y. C. Ahn, "Effect of customized small bowel displacement system in pelvic irradiation", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 40, pp. 623-627, 1998.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-3016\(97\)00764-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-3016(97)00764-5)
- [9] T. H. Kim, E. K. Chie, D. Y. Kim, "Comparison of the belly board device method and the distended bladder method for reducing irradiated small bowel volumes in preoperative radiotherapy of rectal cancer patients", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 62, pp. 769-775, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrobp.2004.11.015>
- [10] K. J. Lee, "The 3-dimensional analysis of the efficacy of a belly-board device for the displacement of small bowel during pelvic irradiation", *J Korean Soc Ther Radiol Oncol*, 26, pp. 271-279, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3857/jkstro.2008.26.4.271>
- [11] P. C. Koper, P. Jansen, W. Putten, "Gastro-intestinal and genito-urinary morbidity after 3D conformal

- radiotherapy of prostate cancer", *Radiat oncol*, 73, pp. 1-9, 2004.
- [12] J. M. Michalski, K. Winter, J. A. Purdy, "Preliminary evaluation of low-grade toxicity with conformal radiation therapy for prostate cancer on RTOG 9406 dose levels I and II", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 56, pp. 192-198, 2003.
- [13] M. J. Zelefsky, D. Cowen, Z. Fuks, "Long term tolerance of high dose three-dimensional conformal radiotherapy in patients with localized prostate carcinoma", *Cancer*, 85, pp. 2460-2468, 1999.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0142\(19990601\)85:11<2460::AID-CNCR23>3.0.CO;2-N](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-0142(19990601)85:11<2460::AID-CNCR23>3.0.CO;2-N)
- [14] M. J. Zelefsky, Z. Fuks, L. Happersett, "Clinical experience with intensity modulated radiation therapy(IMRT) in prostate cancer", *Radiation Oncol*, 55, pp. 241-249, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8140\(99\)00100-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8140(99)00100-0)
- [15] J. P. Gerard, O. Chapet, C. Nemoz, "Improved sphincter preservation in low rectal cancer with high dose preoperative radiotherapy: the lyon R96-02 randomized trial", *J Clin Oncol*, 22, pp. 2404-2409, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1200/JCO.2004.08.170>
- [16] L. J. Verhey, "Comparison of three-dimensional conformal radiation therapy and intensity modulated radiation therapy systems", *Semin Radiat Oncol*, 9(1), pp. 78-98, 1999.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1053-4296\(99\)80056-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1053-4296(99)80056-3)
- [17] S. H. Benedict, R. M. Cardinale, Q. Wu, R. D. Zwicker, W. C. Broaddus, R. Mohan, "Intensity modulated stereotactic radiosurgery using dynamic micro-multileaf collimation", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 50(3), pp. 751-758, 2001.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-3016\(01\)01487-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-3016(01)01487-0)
- [18] R. G. J. Wigenraad, A. L. Petoukhova, L. Versluis, J. P. C. van Santvoort, "Stereotactic radiotherapy of intracranial tumors: A comparison of intensity-modulated radiotherapy and dynamic conformal arc", *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 74(4), pp. 1018-1026, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrobp.2008.09.057>
- [19] G. Budgell, "Intensity modulated radiotherapy (IMRT) and introduction", *Radiography*, 8, pp. 241-249, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1053/radi.2002.0390>
- [20] E. Ludlum, C. Akazawa, P. Xia, "IMRT plans can be simplified using one step optimization", *Med Phys*, 33, pp. 2111, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1118/1.2241198>
- [21] K. Otto, "Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc", *Med Phys*, 35, pp. 310-317, 2008.
- [22] M. Rao, W. Yang, F. Chen, "Comparison of Elekta VMAT with helical tomotherapy and fixed field IMRT: Plan quality, delivery efficiency and accuracy", *Med Phys*, 37, pp. 1350-1359, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1118/1.3326965>
- [23] J. H. Kim, D. Y. Kim, Y. H. Kim, W. C. Kim, C. Y. Kim, J. S. Seong, S. C. Sohn, H. S. Shin, Y. C. Ahn, D. H. Oh, W. Y. Oh, M. R. Ryu, H. J. Yoo, K. J. Lee, K. C. Lee, M. S. Chun, H. J. Chun, S. E. Hong, I. H. Kim, "Survey on Radiotherapy Protocols for the Rectal Cancers among the Korean Radiation Oncologists in 2002 for the Development of the Patterns of Care Study of Radiation Therapy", *J Korean Soc Ther Radiol Oncol*, 21, pp. 44-53, 2003.
- [24] B. Yao, M. Zheng, P. Wang, "Dosimetric study of five-field intensity-modulated radiotherapy compared with conventional three-dimensional conformal radiotherapy for rectal cancer", *Chinese-German J Clin Oncol*, 8, pp. 607-610, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10330-009-0130-7>
- [25] G. Delaney, S. Jacob, C. Featherstone, M. Barton, "The role of radiotherapy in cancer treatment: estimating optimal utilization from a review of evidence-based clinical guidelines", *Cancer*, 104, pp. 1129-37, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/cncr.21324>
- [26] WHO, *World Health Organization. Radiotherapy risk profile*, WHO Publication, 2008.
- [27] J. H. Kim, "Categorizing accident sequences in the external radiotherapy for risk analysis", *Radiat Oncol J*, 31(2), pp. 88-96, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3857/roj.2013.31.2.88>
- [28] J. S. Bae, H. J. Joung, J. Y. Kim, K. N. Kwon, Y. J. Kim, S. W. Park, "Validity of Self-Reported Height, Weight, and Body Mass Index of the Korea Youth Risk Behavior Web- Based Survey Questionnaire", *J Prev Med Public Health*, 43, pp. 396-402, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3961/jpmph.2010.43.5.403>
- [29] L. Feuvret, G. Noel, J. J. Mazeron, "Conformity index: A review", *Int J Radiation Oncology Biol Phys*, 64, pp. 333-342, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrobp.2005.09.028>
- [30] W. R. Lee, L. Daniel, *RTOG 0415: A phase III randomized study of hypofractionated 3D-CRT/IMRT versus conventionally fractionated 3D-CRT/IMRT in patients with favorable-risk prostate cancer*, Radiation Therapy Oncology Group, Mahul, 2009.

김 정 호(Jeong-Ho Kim)

[정회원]



- 2004년 3월 ~ 2005년 9월 : 삼성서울병원 방사선종양학팀
- 2005년 9월 ~ 2009년 3월 : 건양대학교병원 방사선종양학팀
- 2013년 7월 : 전북대학교 방사선 과학기술학과 (이학석사)
- 2011년 9월 ~ 현재 : 건양대학교병원 방사선종양학팀

<관심분야>

방사선치료, 방사선방호, 방사선계측, 방사선물리

유 세 중(Se-Jong Yu)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한밭대학교 화학공학과 공학사
- 2010년 2월 : 건양대학교 보건학과 보건학석사
- 2013년 8월 : 건양대학교 보건학과 보건학박사
- 2002년 3월 ~ 현재 : 건양대학교병원 영상의학과

<관심분야>

방사선학, 보건의료, 보건의료정책, PACS, 의료사진학, 디지털영상학

배 석 환(Seok-Hwan Bae)

[정회원]



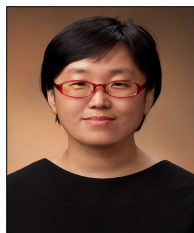
- 2003년 3월 ~ 2005년 2월 : 건양대학교 보건학석사
- 2005년 3월 ~ 2009년 8월 : 건양대학교 보건학박사
- 2008년 9월 ~ 현재 : 건양대학교 방사선학과
- 2009년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 방사선학과 교수/학과장

<관심분야>

방사선학, 보건의료, 보건의료정책, 의료영상진단기술학

김 지 윤(Jee-Yoon Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 연세대학교 대학원 보건학과 (보건학석사)
- 2004년 2월 : 연세대학교 대학원 보건학과 (보건학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 혜천대학교 간호학과 조교수

<관심분야>

간호, 보건정책

김 기 진(Ki-Jin Kim)

[정회원]



- 2009년 2월 : 전북대학교 방사선 과학기술학과 (이학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 방사선학과 겸임교수
- 2000년 2월 ~ 현재 : 건양대학교병원 핵의학과

<관심분야>

핵의학, 방사선물리학, 생물학