

고선량률 강내 근접치료에 사용되는 Ir-192 선원과 치료계획 시스템간의 계산선량 비교

울산대학교 의과대학 *서울아산병원 방사선종양학과, †울산대학교병원 방사선종양학과

박동욱* · 김영석* · 박성호* · 최은경* · 김종훈* · 이상욱* · 송시열* · 안승도* · 노영주†

본 연구에서는 동일한 시스템 내에서 기하학적 모델이 다른 Ir-192 선원을 사용한 두 치료계획의 선량차이를 비교하고, 치료계획시스템 간 차이에 대해서 동일 선원을 사용할 경우 제조사별 프로그램 및 선원들의 위치결정방법에 따른 선량 계산결과의 차이와 그 영향을 평가하고자 하였다. 이를 위해 2007년 10월에서 2008년 1월까지 본 원에서 Ovoids와 Tandem을 이용하여 자궁경부암 근접치료를 시행 받았던 10명 환자의 치료계획에 대하여 적용하였다. 실제 환자에 적용된 치료계획을 바탕으로 평가한 결과 선원의 기하학적 특성의 차이로 발생할 수 있는 임상적 영향이 1.43% 이내로 전체 조사시간의 차이 및 B-point, 방광과 직장에서의 선량차이는 평균 $-0.91 \pm 0.09\%$, $-0.27 \pm 0.07\%$, $0.88 \pm 0.37\%$, $0.22 \pm 0.39\%$ 로 나타났다. 각 제조사별 프로그램에서 계산된 선량값들 간의 차이는 A-point, B-point, 방광 및 직장에서 평균 각각 $-0.22 \pm 0.42\%$, $-0.25 \pm 0.29\%$, $-0.23 \pm 0.63\%$, $-0.17 \pm 0.76\%$ 로 나타났다. 두 시스템에서 서로 다른 프로그램과 위치결정방법을 이용하여 계산한 각 치료계획의 선량분포 차이는 A-point, B-point, 방광 및 직장에서 평균 $-0.61 \pm 0.59\%$, $-0.77 \pm 0.45\%$, $-0.72 \pm 1.70\%$, $0.35 \pm 2.82\%$ 로 나타났다. 제조사별 프로그램상의 차이는 대체로 1.68% 이내, 직교좌표 상에서 선원의 경로좌표를 결정하는 방법론적인 차이에서는 치료계획자의 주관적인 판단이 더해져 최대 5.87% 가량의 선량계산결과 차이가 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 이러한 선원의 위치차이는 주로 환자의 AP방향에 위치한 직장과 방광의 선량에 더욱 민감하게 반영되었다.

중심단어: 자궁경부암, 고선량률 근접치료, Ir-192, 치료계획시스템

서 론

자궁경부암 치료시 고선량률 근접치료는 과거 저선량률 근접치료와 비교해 여러 이점들을 가지고 있기 때문에¹⁾ 국내에는 6개 제조사들의 원격치료장비 및 선원과 치료계획 시스템들이 도입되어 사용되고 있다.²⁾ 이들 시스템에 사용되는 선원과 치료계획시스템들은 AAPM TG 43³⁾에서 권고하는 동일한 선원선량특성 정의 방법과 선량계산 알고리즘을 동일하게 적용하여 치료부위의 선량분포를 예측하고 치료하는데 사용되고 있다. 하지만 동일한 처방이라 하더라도

제조사별 선원의 선량특성의 차이는 주위 정상조직에 미치는 실제 선량분포의 차이를 유발하고 시스템간의 선원 위치결정방법의 차이는 예측 선량분포에 있어서 차이를 유발한다. 분할조사당 높은 선량이 부과되고 그로 인한 주변 정상장기의 영향 등을 고려할 때 이에 대한 정량적 평가가 필요할 것으로 보인다.

고선량률 근접치료를 위해 주로 사용되고 있는 각 제조사별 Ir-192 선원들 간의 선량특성의 차이는 주로 그 선원을 밀봉한 캡슐의 기하학적인 특성에 의해 결정되는데 물리적 특성(에너지, 반감기 등)은 같지만 기하학적인 모델이 다른 경우 선원에서 발생하는 방사선의 감쇄정도가 달라지므로 각 선원의 선량특성이 다르게 된다. 치료계획 시스템 간 차이는 주로 위치결정방법의 차이에서 기인한다. 직교영상을 이용한 치료계획 중 선원의 위치결정에 있어서 film과 digitizer를 이용한 방법과 치료계획시스템으로 전송된 디지털 이미지를 이용하는 방법에 따른 차이가 있을 수 있고, 제조사별 프로그램 간에도 결정된 경로좌표에 대하여 선원을 배열하는 방법에 따른 차이가 있을 수 있다. 동일한

본 연구는 과학재단 연구과제 지원으로 수행되었음(M20706000007-08M0600-00713).

본 내용은 2008년 한국의학물리학회 춘계학술대회에서 포스터로 발표하였음.

이 논문은 2008년 12월 12일 접수하여 2009년 3월 11일 채택되었음.

책임저자 : 박성호, (138-736) 서울시 송파구 풍납2동

서울아산병원 방사선종양학과

Tel: 02)3010-4433, Fax: 02)482-6987

E-mail: michael@amc.seoul.kr

선량계산 프로그램 내에서도 이러한 방법의 차이에 따라 상이한 계산결과가 나올 수 있고 이에 관하여 최대 3.2%의 선량차이가 보고되기도 하였다.^{4,5)}

본 연구에서는 동일한 시스템 내에서 기하학적 모델이 다른 Ir-192 선원을 사용한 두 치료계획의 선량차이를 비교하고, 치료계획시스템 간 차이에 대해서 동일 선원을 사용할 경우 제조사별 프로그램 및 선원들의 위치결정방법에 따른 선량계산결과의 차이와 그 영향을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

환자 치료계획에서의 선량분포 차이를 비교하기 위해 2007년 10월에서 2008년 1월까지 본원에서 Ovoids와 Tandem을 이용하여 자궁경부암 근접치료를 시행 받았던 10명 환자의 치료계획에 대하여 적용하였다. 각 환자의 치료계획을 위하여 환자의 환부에 삽입한 applicator에 모형선원(dummy source)을 장착한 후 본원에서 사용하고 있는 Acuity digital Simulator (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA)를 이용한 직교영상을 획득하였다. 획득 영상을 바탕으로 선원을 5 mm 간격으로 배치하였고 MRI 등 다른 영상에서 평가하여 치료하고자 하는 목적부위에 처방선량이 분포하도록 각 선원의 조사시간(dwell time)을 결정하였다.

1. Ir-192 고선량 근접치료용 선원에 의한 차이

Ir-192 선원별 차이를 평가하기 위해 microSeleton HDR classic과 Varian HDR new 선원을 비교하였으며 치료계획에는 BrachyVision version 7.5.51 (Varian Oncology Systems, Palo Alto, CA)을 이용하였다. 이들 선원의 기하학적 특성과 선량 특성은 ESTRO⁶⁾에서 권고하는 선량정보를 이용하였고 추가적인 정보는 관련 문헌들을 참조하였다.^{7,8)} 이를 치료계획에 적용하기 위하여 같은 시각에 동일한 공기커마

세기(air kerma strength, S_k)를 갖도록 각 선원의 선량특성인 선량률 상수(Dose rate constant, Λ), 비등방성 함수(Anisotropy function, $F(r, \theta)$), 방사상 선량함수(radial dose function, $g(r)$) 등을 선량계획시스템에 입력하여 생성하였다. 각 선원의 기하학적 모델과 선량특성은 Fig. 1과 Fig. 2에 각각 나타내었다. 이를 이용한 각각의 치료계획에 있어서 직교영상상에 모형선원들이 지시하는 일련의 선원들 위치(dwell position)에 동일한 좌표값들을 대입하였고, A-point에 대한 처방선량 및 각 선원의 위치에서 조사시간의 분포를 일치시켰다. 선원의 기하학적 특성에 따라 다르게 나타나는 선량분포의 차이는 B-point 및 ICRU에서 권고한 방광과 직장의 reference point에서의 선량계산결과를 통해 비교하였다.

2. 치료계획시스템에 의한 차이

제조사별 치료계획프로그램 간 선량계산결과의 차이는 위와 동일한 환자들의 치료계획에 대해서 microSeleton Ir-192 선원을 사용하였으며 치료계획시스템으로는 PLATO version 14.2 (Nucletron, the Netherlands)와 BrachyVision을 이용하였다. 각 치료계획프로그램에 선원 경로의 위치 및 각 위치에서의 조사시간, 각 선량평가지점의 위치좌표를 동일하게 입력한 후 계산결과의 차이를 분석하였다.

선원의 위치결정방법에 따른 치료계획시스템 간 차이를 평가하기 위해 BrachyVision의 경우 각 선원의 좌표 및 직장과 방광의 ICRU reference point의 좌표를 치료계획프로그램으로 전송된 디지털 이미지 상에서 도시하였고, PLATO의 경우는 출력된 film에 digitizer를 이용하여 각각의 좌표를 입력하였다. 각 시스템에는 동일 선원(microSeleton Ir-192)이 사용되었고 같은 처방선량에 대한 각 치료계획시스템의 계산결과 차이를 분석하였다. 계산된 선량의 백분율 차이(Percent difference)는 다음의 수식으로 표현가능하며 reference는 본원에서 임상에서 사용 중인 선원과 치료계획시스템

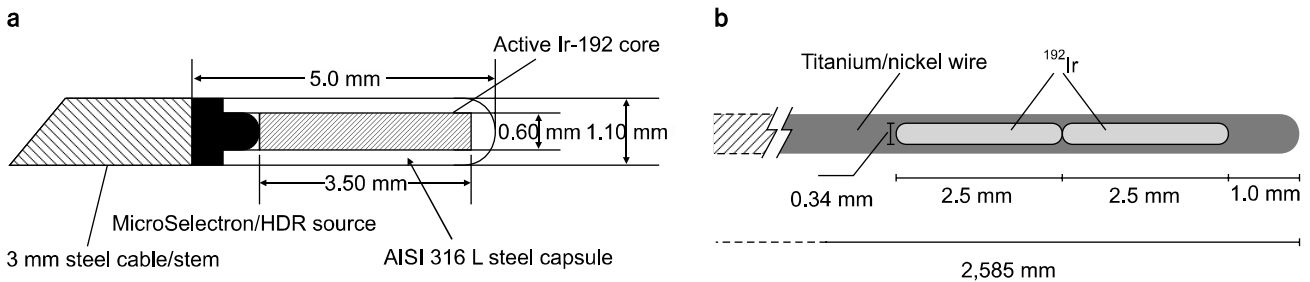


Fig. 1. Schematic diagram of (a) the microSeleton HDR classic Ir-192 and (b) the Varian HDR new Ir-192 source.

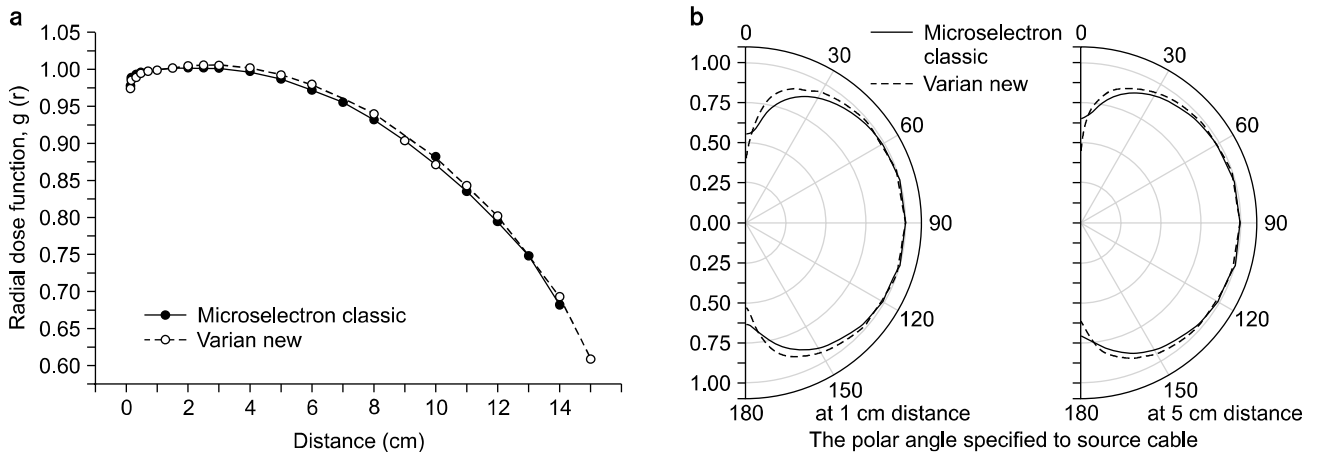


Fig. 2. (a) Radial dose function, and (b) The anisotropy functions for two Ir-192 sources at a distance of 1 cm and 5 cm.

을 기준하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{The percent dose diff.} &= 100 \times \frac{D_{\text{Varian}} - D_{\text{Nucletron}}}{D_{\text{Nucletron}}} \\
 &= 100 \times \frac{D_{\text{BrachyVision}} - D_{\text{PLATO}}}{D_{\text{PLATO}}} \\
 &= 100 \times \frac{D_{\text{Digital}} - D_{\text{Film}}}{D_{\text{Film}}}
 \end{aligned}$$

D는 계산된 선량결과를 나타낸다. 첨자의 Nucletron과 Varian은 각 제조사에서 제공하고 있는 Ir-192 선원을 의미하고, PLATO와 BrachyVision은 각 치료계획프로그램, Digital과 Film은 각 위치결정 방법을 의미한다.

결 과

1. Ir-192 고선량 근접치료용 선원에 의한 차이

Fig. 2에 나타난 방사상 선량함수의 경우 기준점인 1 cm 거리에서부터 10 cm 거리까지 Varian 선원의 선량이 microSelectron 선원의 선량보다 1% 이내에서 높은 값을 가지며, 비대칭 함수의 경우 선원의 첨두부분과 wire로 이어지는 방향에서의 선량차이가 5 cm 거리에서 최대 30%까지 나타나고 있다. 그로 인한 환자별 치료계획에서의 선량차이는 Table 1에 나타내었다. Varian 선원을 사용한 경우, 10명의 환자에 대해서 microSelectron 선원을 사용한 경우보다 공통적으로 동일한 처방선량에서 조사시간과 B-point에서의 선량은 감소하고 직장에서의 선량은 최대 1.43% 증가하였다. 방광의 선량 역시 평균적으로 증가하였다. 전체 조사시

Table 1. The percent differences between doses calculated with microSelectron and Varian Ir-192 source using a same treatment planning system, BrachyVision.

Patient No.	Percent difference			
	Total treatment time	B-points	Bladder	Rectum
1	-0.81	-0.24	0.22	1.24
2	-0.98	-0.27	-0.05	1.21
3	-0.89	-0.26	0.10	0.92
4	-0.97	-0.38	0.77	0.35
5	-0.90	-0.30	1.03	0.29
6	-1.00	-0.33	0.13	0.72
7	-0.88	-0.20	0.04	1.43
8	-1.01	-0.35	-0.13	1.07
9	-0.94	-0.23	-0.16	0.84
10	-0.73	-0.13	0.21	0.74
Average	-0.91 ± 0.09	-0.27 ± 0.07	0.22 ± 0.39	0.88 ± 0.37

간의 차이 및 B-point, 방광과 직장에서의 선량차이는 평균 -0.91 ± 0.09%, -0.27 ± 0.07%, 0.22 ± 0.39%, 0.88 ± 0.37%로 나타났다. 이는 방사상 선량함수의 경우 처방선량의 기준점(A-point)인 2 cm 거리에서 정규화 되었으므로 그 선원 간 차이가 상대적으로 적은 반면, 비대칭함수의 경우 환자의 자궁 위치에 따라 전방과 후방으로 완곡하게 휘어지는 applicator의 기하학적 분포와 더불어 그 차이가 더욱 크게 나타나는 것으로 보인다. 1번 환자의 경우에 대하여 해당 직교영상과 함께 두 선원을 이용한 각 치료계획 간에 선량 분포의 차이를 15×15 cm 영역으로 Fig. 3에 나타내었다. 대부분의 영역에서 처방선량의 1%인 5 cGy 이하의 차이를 나타내고 있으나 A-point와 B-point가 위치한 applicator의

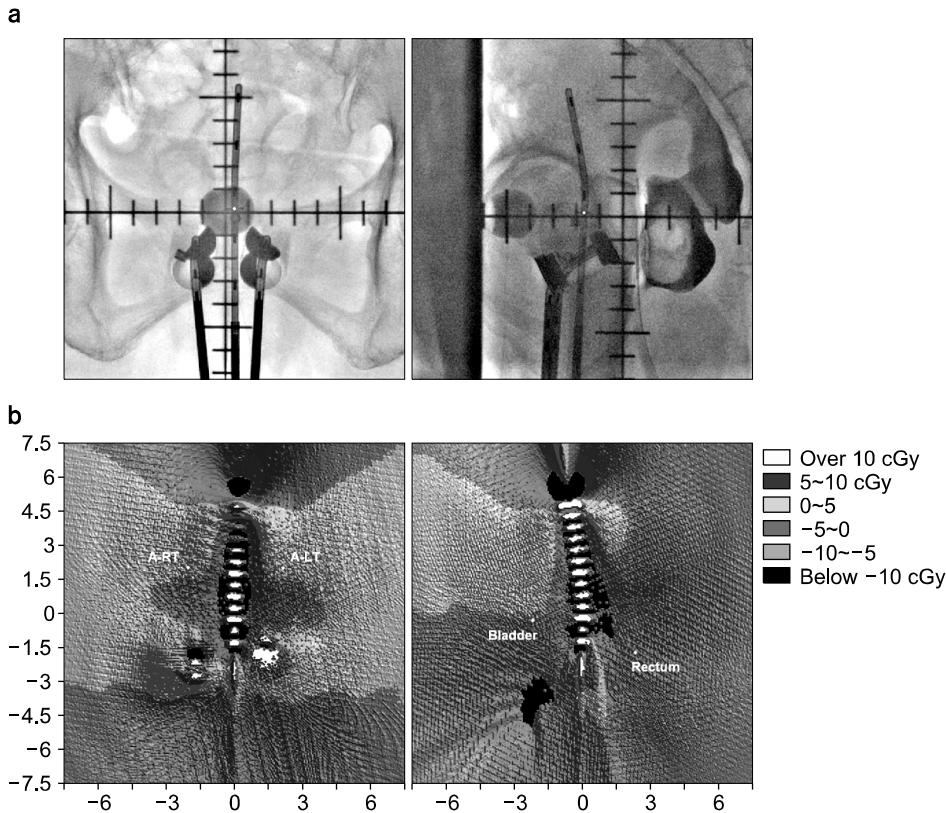


Fig. 3. In case of patient 1, (a) the orthogonal radiograph with applicators and dummy sources and (b) the subtraction map of the calculated dose between using the Varian HDR new ¹⁹²Ir source and the microSelectron HDR classic ¹⁹²Ir source in condition of a same prescription dose (500 cGy) at point A. Color coding by dose difference of 5 cGy were used.

Table 2. The percent differences between doses calculated with PLATO and with BrachyVision planning system using a same microSelectron Ir-192 source.

Patients	Percent difference			
	A-points	B-points	Bladder	Rectum
1	-0.42	-0.43	-0.78	-0.39
2	-0.70	-0.46	-0.62	0.51
3	-0.68	-0.59	0.53	-0.34
4	-0.53	-0.45	0.42	-0.70
5	0.19	-0.03	-0.32	-0.19
6	-0.54	-0.29	0.29	-0.40
7	0.25	0.12	0.24	0.59
8	-0.07	-0.11	-1.03	-0.14
9	-0.15	-0.54	-1.15	-1.68
10	0.46	0.25	0.13	1.07
Average	-0.22 ± 0.42	-0.25 ± 0.29	-0.23 ± 0.63	-0.17 ± 0.76

측면방향으로는 microSelectron 선원을 사용한 경우의 선량이 높고, 직장이 위치한 applicator의 끝에서는 Varian 선원을 사용한 경우의 선량이 더 높은 것으로 나타났다. 각 applicator 주변에 나타난 검정색과 흰색의 복잡한 차이 값의 분포는 각 선원의 유효길이(active core length) 차이에서 기인한 것이다.

Table 3. The percent differences of dose calculated using different positioning methods coupled each treatment planning systems (PLATO with radiograph films and BrachyVision with digital radiograph images). Two treatment plans were calculated using a same microSelectron Ir-192 source.

Patients	Percent difference			
	A-points	B-points	Bladder	Rectum
1	-0.14	-0.52	-2.59	5.87
2	-1.21	-0.86	-1.15	-1.10
3	-1.86	-1.74	-0.04	0.81
4	-0.87	-1.02	-1.91	2.26
5	-0.50	-1.22	1.54	-2.05
6	-0.75	-0.52	-1.72	1.57
7	-0.39	-0.48	-0.80	-0.87
8	0.16	-0.23	-2.12	1.64
9	-0.34	-0.57	-1.19	-0.09
10	-0.24	-0.52	2.78	-4.60
Average	-0.61 ± 0.59	-0.77 ± 0.45	-0.72 ± 1.70	0.35 ± 2.82

2. 치료계획시스템에 의한 차이

제조사별 프로그램에서 각 위치에 대하여 계산된 선량값들 간의 차이는 Table 2에서 나타내었고, A-point, B-point, 방광 및 직장에서의 평균은 각각 $-0.22 \pm 0.42\%$, $-0.25 \pm 0.29\%$, $-0.23 \pm 0.63\%$, $-0.17 \pm 0.76\%$ 로 나타났다. 최대 차이는 9번 환자의 직장에서 -1.68% 였고 40개의 평가지점 중 4곳을 제외한 36곳에서 1% 이내의 차이를 나타내었다. 동일한 평가조건(선원, 선량계산 알고리즘, 조사위치, 조사시간)에서 발생한 이러한 차이는 경로좌표를 따라 배열하는 선원들의 위치나 방향 등에서 제조사별 프로그램 간에 차이가 있기 때문인 것으로 판단된다.

Table 3에는 두 시스템에서 서로 다른 프로그램과 위치 결정방법을 이용하여 계산한 각 치료계획의 선량분포 차이를 나타내었다. 각 A-point, B-point, 방광 및 직장에서 선량값의 차이는 평균 $-0.61 \pm 0.59\%$, $-0.77 \pm 0.45\%$, $-0.72 \pm 1.70\%$, $0.35 \pm 2.82\%$ 로 환자의 측면에 위치한 A 및 B-point의 선량 차이보다 환자의 전방과 후방에 위치한 방광과 직장에서의 선량 차이에서 그 편차값이 더욱 크게 나타났고 1번 환자의 직장에서 최대 5.87%의 차이를 나타냈다. 이러한 경향은 제조사별 프로그램 계산결과와의 차이에서도 각 위치별 평균값의 편차를 통해 확인할 수 있는데, 이는 환자의 측면보다는 전방과 후방에 위치한 방광과 직장의 선량이 선원의 위치에 더욱 민감하게 변화함을 의미한다.

결 론

동일한 Ir-192 선원을 사용하더라도 제조사별 캡슐과 선원의 상이한 기하학적 특성의 차이가 각 선원 선량특성의 차이로 나타난다. 이러한 차이는 환자치료에 있어서도 치료계획에 반영되어 실제 선량분포에 있어서도 유효한 차이를 유발할 수 있으며 본 연구에서는 실제 환자에 적용된 치료계획을 바탕으로 평가한 결과 선원의 기하학적 특성의 차이로 발생할 수 있는 임상적 영향이 1.43% 이내로 나타났다.

또한 치료계획시스템 간에도 발생할 수 있는 예측결과와의

차이에 대해서도 평가하였다. 그 차이는 주로 선원의 결정 위치 차이에서 기인하는 것으로 제조사별 프로그램상의 차이는 대체로 1% 이내, 직교좌표 상에서 선원의 경로좌표를 결정하는 방법론적인 차이에서는 치료계획자의 주관적인 판단이 더해져 최대 5.87%의 선량계산결과 차이가 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 이러한 선원의 위치차이는 주로 환자의 AP방향에 위치한 직장과 방광의 선량에 더욱 민감하게 반영되었다. 각 시스템 프로그램 간의 계산결과와의 차이가 1% 이내임을 감안한다면 이는 주로 필름과 디지털 이미지상의 위치결정 방법의 차이에서 기인하는 것으로 판단되며 결국 이러한 예측선량의 차이는 실제선량과의 차이와도 연관되어 있으므로 고선량 근접치료에 있어서 우려되는 인근 정상조직의 선량과 관련하여 정확한 선원 경로좌표의 결정 방법을 사용하는 것이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. SG Park, HS Chang, EK Choi and BY Yi: Remote after-loading high dose rate brachytherapy, AMC EXPERIANCES. J Korean Soc Ther Radiol 10:267-275 (1992)
2. 지영훈, 김미숙, 류성렬, 유대현, 최문식, 정해조: 방사선종양학과 전국 통계(2006년). 방사선종양학회지 26:131-133 (2008)
3. Nath R, Anderson LL, Luxton G, et al: Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: Recommendations of AAPM radiation therapy committee task group No. 43. Med Phys 22:209-234 (1995)
4. MacDougall ND: Comparison of dose rates calculated on Nucletron NPS v11: catheter tracking versus catheter describing. Phys Med Biol 48:L1-L2 (2003)
5. Laarse RVD: Comment on 'Comparison of dose rates calculated on Nucletron NPS v11: catheter tracking versus catheter describing'. Phys Med Biol 48:L3-L4 (2003)
6. ESTRO Booklet No. 8: A Practical Guide to Quality Control of Brachytherapy Equipment. European Society for Therapeutic Radiology and Oncology, Brussels (2004)
7. Williamson J, Li Z: Monte Carlo aided dosimetry of the microelectron pulsed and high dose rate ^{192}Ir sources. Med Phys 22:809-819 (1995)
8. Angelopoulos A, Baras P, Sakelliou L, Karaiskos P, Sandilos P: Monte Carlo dosimetry of a new Ir-192 high dose rate brachytherapy source. Med Phys 27:2521-2527 (2000)

Dose Comparison of Treatment Plans Using Different Ir-192 Sources and Treatment Planning Systems for Intracavitary HDR Brachytherapy

Dong-Wook Park*, Young Seok Kim*, Sung Ho Park*, Eun Kyung Choi*, Jong Hoon Kim*, Sang-Wook Lee*, Si Yeol Song*, Seung Do Ahn*, Young Joo Noh[†]

Department of Radiation Oncology, *Asan Medical Center, Seoul,

[†]Ulsan University Hospital, University of Ulsan College of Medicine, Ulsan, Korea

For HDR intracavitary brachytherapy with ovoids and a tandem, we compared the dose discrepancy of treatment plans using two different Ir-192 sources (microSelectron, Varian) and generated on two different treatment planning systems (PLATO, BrachyVision). The treatment plans of ten patient treated from Oct. 2007 to Jan. 2008 were selected for these comparisons. For the comparison of dose calculation using different sources, the average discrepancies were $-0.91 \pm 0.09\%$, $-0.27 \pm 0.07\%$, $0.22 \pm 0.39\%$, and $0.88 \pm 0.37\%$ in total treatment time and at B-point and ICRU bladder and rectum reference point, respectively. Comparing the two systems, the average dose discrepancies between treatment planning programs were $-0.22 \pm 0.42\%$, $-0.25 \pm 0.29\%$, $-0.23 \pm 0.63\%$, and $-0.17 \pm 0.76\%$, and the average dose discrepancies between positioning methods (PLATO with film and BrachyVision with digital image) were $-0.61 \pm 0.59\%$, $-0.77 \pm 0.45\%$, $-0.72 \pm 1.70\%$, and $0.35 \pm 2.82\%$ at A-point, B-point, and ICRU bladder and rectum reference points, respectively. The rectal dose discrepancies between two systems were reached 5.87%. The difference in the dwell position expected by each TPS are mainly affected by the differences in the positioning method in TPSs and have an effect on dose calculations of rectal and bladder located in AP direction.

Key Words: Cervix carcinoma, Intracavitary HDR brachytherapy, ¹⁹²Ir, Treatment planning system