

자궁경부암 방사선치료 시 직장가스 용적 변화에 따른 선량 비교 평가 – Phantom Study

서울아산병원 방사선종양학과

최소영 · 김태원 · 김민수 · 송흥권 · 윤인하 · 백금문

목 적: 본 연구에서는 자궁경부암 방사선치료 시 전산화치료계획에 없던 직장 내 가스 용적 변화에 따른 선량 변화를 비교 평가하고자 한다.

대상 및 방법: 인체모형 팬텀(Anderson Research Laboratories Inc, RANDO™ phantom, USA)의 전산화 단층촬영 영상에 전산화치료계획시스템(Eclipse™ Treatment Planning System, Varian, Palo Alto, version 15.6, USA)으로 9개의 필드를 이용한 정적 세기조절방사선치료계획(Static Intensity Modulated Radiation Therapy, S-IMRT)과 Full arc로 두 방향의 체적변조회전방사선치료계획(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)을 수립하였다. 임의의 가스 변수는 0.5 cm 단위로 2.0 cm까지 변화를 주어 계획표적체적(Planning Target Volume, PTV)에 포함될 수 있도록 하였다. 표적에 대한 처방선량지수(Conformity Index, CI), 선량균질지수(Homogeneity Index, HI), PTV D_{max} 를 구하였고, 손상위험장기(Organ At Risk, OAR)에 대한 최소선량(Minimum Dose, D_{min})과 평균선량(Mean Dose, D_{mean}), 최대선량(Maximum Dose, D_{max})을 계산하여 비교하였다. T-검정을 실시하여 p-value를 구했으며 유의수준은 0.05로 설정하였다.

결 과: S-IMRT와 VMAT의 HI 결정계수(R^2)는 0.9423, 0.8223으로 상관관계가 비교적 명확하였고, PTV D_{max} 결과 임의의 가스 용적이 커질수록 최대 2.8%까지 증가하는 것으로 나타났다. OAR의 경우 두 전산화치료계획 모두 방광에서 유의한 차이가 없었고, 직장의 경우 +1.0 cm 이상의 가스 용적에서 두 전산화치료계획 모두 D_{mean} 700 cGy 이상의 유의한 선량 차이가 나타났다. 방광의 D_{mean} 을 제외한 모든 값에서 p-value 0.05 이하로 통계적인 유의한 차이를 확인하였다.

결 론: 기존 전산화치료계획에 없던 가스 발생 시 가스 용적 크기가 커질수록 PTV의 선량 변화와 직장에 전달되는 선량이 증가하였다. 방사선치료 진행 시 직장 가스의 용적이 클 경우 발생 할 수 있는 선량 전달 오류를 최소화하기 위한 노력이 반드시 필요한 것으로 판단되었다. 향후 가스 용적의 다양한 크기와 위치를 변수로 설정하여 추가적인 연구가 진행되어진다면 유의한 평가가 이루어 질 수 있을 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어:** 자궁경부암, 직장가스 용적, 세기조절방사선치료, 체적변조회전방사선치료

서 론

자궁경부암은 여성 암 사망의 주요 원인 중 하나이다. 특히 15~34세군에서 3위를 차지하며 높은 조기진단 발병률

을 보이고 있다. 자궁경부암 환자의 치료는 수술, 항암요법, 동시항암화학방사선치료가 있으며, 근치적 방사선치료는 외부방사선치료 후 근접치료가 표준 치료로 진행되고 있다.^(1, 2, 3)

자궁경부암 방사선치료의 목적은 병변 조직에 높은 선량을 처방하고 방광 및 직장과 같은 정상 장기의 손상을 최소화 하는 것이다. 인접한 정상 장기에 전달될 수 있는 선

책임저자: 최소영, 서울아산병원 방사선종양학과
서울특별시 송파구 올림픽로43길 88
Tel: 02) 3010-2703
E-Mail: qbx1999@naver.com

량이 제한적이고 다량의 방사선이 조사되면 부작용 발생 빈도가 증가될 수 있다. 정상 장기의 방사선량을 최소화함은 방사선치료에 따른 부작용의 최소화를 의미한다.^(4, 5) 본원에서는 전산화단층촬영모의치료(Computed tomography simulation, CT simulation) 진행 시 방광을 비워 방광 용적을 일정하게 유지시키고, 동시에 관장을 시행하여 직장 내 가스를 제거하고 직장 용적을 최소화하여 내부 표적체적(Internal Target Volume, ITV)을 줄이는 노력을 하고 있다. 이는 곧 정상 장기에 대한 부작용을 최소화하기 위함이다. 특히 직장은 중요한 정상 장기 중 하나로 방사선 치료 부작용으로 염증, 출혈, 누공 형성 등으로 인해 환자의 삶의 질을 저하 시킬 수 있으며, 직장 용적 변화에 따라 계획된 전산화치료계획의 선량 전달 오차가 발생할 수 있다.^(6, 7) 또한 방사선치료 중 일관되지 않는 방광과 직장 용적은 계획표적체적(Planning Target Volume, PTV)과 손상위험장기(Organ At Risk, OAR)의 선량에 영향을 줄 수 있다는 보고들이 있다.^(8, 9) 치료 전 환자의 컨디션과 식단, 소화기관의 가스 유무 등 여러 요인들로 인해 직장 용적의 변화를 보이고 있다. 방사선치료를 시행하는 기간 동안 변화하는 해부학적 구조를 보정하기 위해 영상유도방사선치료(Image Guide Radiotherapy, IGRT)를 많이 시행하고 있고, 이를 통해 환자의 자세잡이(Set up), 직장 내 가스의 유무, 방광의 용적변화 등으로 인한 변화를 지속적으로 관찰해야한다.⁽¹⁰⁾ 이와 같은 변화요인은 CT simulation에서 획득된 전산화단층촬영 영상에 수립된 전산화치료계획의 선량분포에 영향을 끼칠 수 있기 때문이다.⁽¹¹⁾

이에 본 연구에서는 자궁경부암 방사선치료 시 전산화치료계획에 없던 직장 내 가스 용적 변화에 따른 선량 변화를 인체모형 팬텀을 사용하여 비교 평가하고자 한다.

대상 및 방법

1. 전산화치료계획용 영상 획득

골반부위의 전산화치료계획을 수립하기 위해 CT™, General Electric Co, USA)를 사용하여 인체모형 팬텀(Anderson Research Laboratories Inc, RANDO™ phantom, USA)의 전산화단층촬영 영상을 획득하였다.

획득 조건은 관전압 120 kVp, 관전류 250 mA, 슬라이스 두께 2.5 mm, 0.94 Pitch, 0.5 sec/rotation 로 하였다. 스캔 범위는 직장용적 변화에 따른 영향만을 평가하기 위하여 림프절(lymph node)을 포함하지 않는 골반부 전체로 설정한 요추 4번 부위에서 pelvic head이다. femoral head top, 골반부 중간 깊이(Mid depth)에 등중심점(iso-center)을 설정하였다.

2. 전산화치료계획

1) Volume Contouring

획득된 인체모형 팬텀의 전산화단층촬영 영상에 전산화치료계획시스템(Eclipse™ Treatment planning System, Varian, Palo Alto, version 15.6, USA)을 이용하여 팬텀 표면 윤곽(Body contour), 직장, 방광 등 OAR로 설정하여 volume contouring을 진행하였다. 자궁 용적을 임의의 원발적종양체적(Gross Tumor Volume, GTV)으로 정의하였고 GTV를 포함하고 0.5 cm 여지(margin)로 각각 임상표적체적(Clinical Target Volume, CTV), 계획표적체적(Planning Target Volume, PTV)을 설정하였다.

환자는 반듯이 누운 상태에서 영상 획득하기 때문에 임의의 가스는 앞쪽(Anterior)으로 위치하게 용적 설정하였으며, 0.5 cm 단위로 2.0 cm 까지 변화를 주어 직장 용적이 PTV, CTV, GTV 안에 포함되도록 하였다(Fig. 1). 임의의 가스는 공기[air, Hounsfield Unit(HU) : -1000]로 배치(Assign)하였고, 직장 윤곽과 합산하여 설정하였다. 또한 전산화치료계획 조사야 영역에서의 영향만을 평가하기 위해 포함되지 않는 직장 부위에는 임의의 가스를 적용하지 않았다. 임의의 가스 용적 변화로 인해 변화된 직장 용적 및 가스 용적은 다음과 같다(Table 1).

2) 전산화치료계획

획득된 전산화치료계획용 영상에 본원의 자궁경부암 방사선치료 protocol에 준수하여 전산화치료계획을 수립하였다. 9개의 필드를 이용한 정적 세기조절방사선치료계획(Static Intensity Modulated Radiation Therapy, S-IMRT)과 Full arc로 두 방향의 체적변조회전방사선치료계획(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)을 수립하였다. 두 전산화치료계획 모두 10 MV 에너지를 사용하였고

PTV의 처방선량은 1회에 200 cGy씩 총 선량 4600 cGy로 PTV의 95%를 처방선량 100%가 포함할 수 있게 하였다. 두 전산화치료계획 모두 선량계산을 위해 AAA(Anisotropic Analytical Algorithm)와 2.5 mm의 격자 크기(Grid Size)를 이용하였고, 동일한 제한(Constrain)을 적용하여 선량 최적화(Dose optimization)를 진행하였다.

3. 임의의 가스 변화량을 반영한 기준 전산화치료계획

임의의 가스 변화량에 의해 직장 용적이 증가하더라도 기준 전산화치료계획과 동일한 플루언스로 선량 전달이 되

었을 때의 선량 평가를 진행하고자 최적화 과정 없이 선량 계산을 하였다. 선량 계산 조건도 기준 전산화치료계획과 동일하다. 임의의 가스만 변수로 설정하여 가스 용적변화에 따른 PTV 및 OAR을 평가하였다.

4. 선량 평가

1) 표적에 대한 평가

표적의 선량평가를 위해 국제방사선단위측정위원회(International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) 보고서 62를 기준으로 하여 PTV

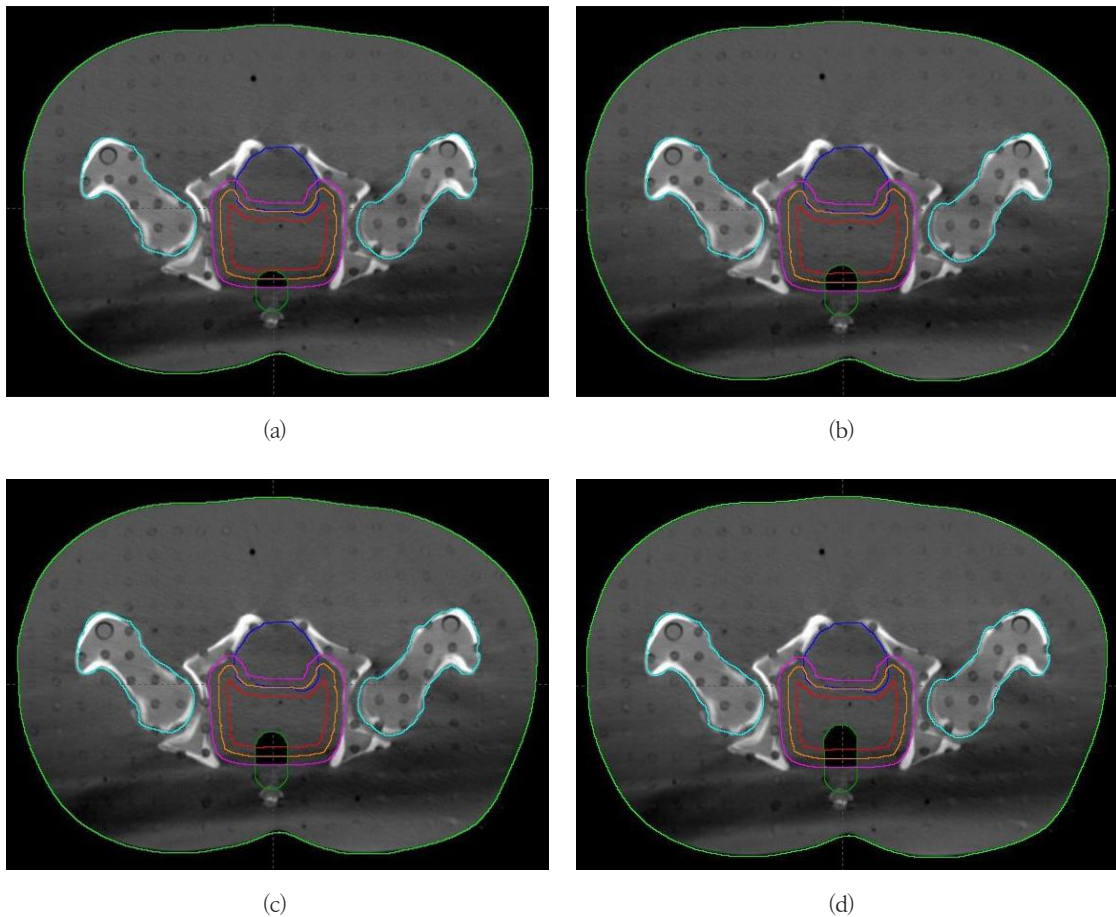


Fig. 1. Assigned to 4 parameters a) 0.5 cm, b) 1.0 cm, c) 1.5 cm, d) 2.0 cm air cavity in rectal volume

Table 1. Expanded rectal volume(cm³) and Air cavity in rectum(cc)

	Reference	+0.5 cm	+1.0 cm	+1.5 cm	+2.0 cm
Rectal volume	20,9	28,1	35	41,1	48,4
Air cavity	0	11	18	24	31

의 평가지표로 처방선량지수(Conformity Index, CI) [식 1]와 선량균질지수(Homogeneity Index, HI) [식 2]를 이용하여 각각 구하였다.

$$CI = \frac{V_{PD}}{V_{PTV}} \text{ ----- [식 1]}$$

V_{PD} : 처방선량(Prescribed Dose, PD)이 포함되는 용적 (cm^3)

V_{PTV} : PTV의 용적 (cm^3)

$$HI = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}} \text{ ----- [식 2]}$$

$D_{5\%}$: PTV의 5% 용적선량 (cGy)

$D_{95\%}$: PTV의 95% 용적선량 (cGy)

CI값과 HI값 모두 1.0에 가깝고 클수록 이상적인 선량분포를 나타낸다고 볼 수 있다. 임의의 가스라는 변수에 따른 상관관계를 평가하기 위해 결정계수(R^2 , Coefficient of Determination)를 산출하였으며 1.0에 가까울수록 상관관계가 명확히 반영된다는 의미이다. 또한 기준 전산화치료계획에 비교해 최대선량지점을 평가하고자 PTV D_{max} 를 평가하였다.

2) 손상위험장기(OAR)에 대한 평가

OAR 평가대상은 직장(Rectum), 직장 위벽(Rectal anterior wall), 방광(Bladder)으로 선정하였고, 최소선량(Minimum Dose, D_{min})과 평균선량(Mean Dose, D_{mean}), 최대선량(Maximum Dose, D_{max})을 계산하여 비교하였다. 선량 평가의 차이 유의를 확인하기 위해 T-검정을 실시하여 p-value를 구했으며 유의수준은 0.05로 설정하였

다. 또한 선량체적히스토그램(Dose Volume Histogram, DVH)을 이용하여 임의의 가스로 인해 증가한 직장 용적에 대한 선량을 평가하였다.

결 과

1. 표적에 대한 평가

1) 처방선량지수(CI)와 선량균질지수(HI)

S-IMRT의 전산화치료계획을 수립한 후 기준 처방선량지수(CI)는 0.999로 확인되었다. +0.5 cm, +1.0 cm, +1.5 cm 가스 용적 증가에서 0.998로 확인되었고, +2.0 cm 가스 용적 증가에서 0.997로 확인되었다. 직장가스 용적 변화에 따른 처방선량지수(CI)의 평균값은 0.998 ± 3.815 로 확인되었다. 기준 선량균질지수(HI)는 1.044로 확인되었다. +0.5 cm, +1.0 cm 가스 용적 증가에서 1.045로 확인되었고, +1.5 cm 가스 용적 증가에서 1.049, +2.0 cm 가스 용적 증가에서 1.051로 확인되었다. 직장가스 용적 변화에 따른 선량균질지수(HI)의 평균값은 1.046 ± 0.002 로 확인되었다(Table 2).

VMAT의 전산화치료계획을 수립한 후 기준 처방선량지수(CI)의 계산결과 0.999로 확인되었다. +0.5 cm, +1.0 cm, +1.5 cm 가스 용적 증가에서 0.999로 확인되었고, +2.0 cm 가스 용적 증가에서 0.998로 확인되었다. 직장가스 용적 변화에 따른 처방선량지수(CI)의 평균값은 0.999 ± 1.073 로 확인되었다. 기준 선량균질지수(HI)의 계산결과 1.048로 확인되었다. +0.5 cm 가스 용적 증가에서 1.049, +1.0 cm 가스 용적 증가에서 1.050, +1.5 cm 가스

Table 2. Comparison of S-IMRT CI and HI

S-IMRT	CI	HI
Reference	0.999	1.044
+0.5 cm	0.998	1.045
+1.0 cm	0.998	1.045
+1.5 cm	0.998	1.049
+2.0 cm	0.997	1.051

S-IMRT : Static Intensity Modulated Radiation Therapy, HI : Homogeneity Index, CI : Conformity Index

Table 3. Comparison of VMAT CI and HI

VMAT	CI	HI
Reference	0.999	1.048
+0.5 cm	0.999	1.049
+1.0 cm	0.999	1.050
+1.5 cm	0.999	1.051
+2.0 cm	0.998	1.052

VMAT=Volumetric Modulated Arc Therapy, HI : Homogeneity Index, CI : Conformity Index

용적 증가에서 1.051, +2.0 cm 가스 용적 증가에서 1.052로 확인되었다. 직장가스 용적 변화에 따른 선량균질지수(HI)의 평균값은 1.051 ± 0.001 로 확인되었다(Table 3). S-IMRT 처방선량지수(CI)의 R^2 는 $0.5255(y=0.0003x + 0.9997)$ 의 결과 값을 얻었다. 선량균질지수(HI)의 R^2 는 $0.9423(y=0.0007x + 1.0473)$ 로 임의의 가스 용적이 증가할수록 증가하였다. VMAT 처방선량지수(CI)의 R^2 는 $0.2995(y=-2E-0.5x + 0.9992)$ 의 결과 값을 얻었다. 선량균질지수(HI)의 R^2 는 $0.8223(y=0.0008x + 0.0495)$ 로 임의의 가스 용적이 증가할수록 증가하였다. S-IMRT 전산화치료계획과 VMAT 전산화치료계획 둘 다 처방선량지수(CI)보다 선량균질지수(HI)가 임의의 가스 용적 증가 시 증가하였고 서로 경향성을 나타냈지만, 그 차이는 미미하였다.

2) PTV D_{max}

임의의 가스 용적 변화에 따른 PTV D_{max} 를 구하여 결과 값을 비교하였다(Table 4). S-IMRT의 기준 PTV D_{max} 는 4926 cGy로 확인되었으며 직장 내 가스 용적 증가 시 +2.0 cm 용적 증가에서 최대 5106 cGy까지 증가하는 것으로 나타났다. VMAT의 기준 PTV D_{max} 는 4886 cGy로

확인되었으며 직장 내 가스 용적 증가 시 +2.0 cm 용적 증가에서 최대 5056 cGy까지 증가하는 것으로 나타났다.

2. 손상위험장기(OAR)에 대한 평가

S-IMRT 전산화치료계획을 수립한 후 전체 직장의 기준 D_{min} 과 D_{mean} , D_{max} 은 각각 1555 cGy, 3230 cGy, 4830 cGy로 확인되었다. 임의의 가스를 적용한 결과 값은 평균 D_{min} 1539 cGy, 평균 D_{mean} 3872 cGy, 평균 D_{max} 4962 cGy으로 나타났다. D_{mean} 은 +2.0 cm 용적 증가에서 최대 865.1 cGy의 차이가 발생하였으며, D_{max} 은 +2.0 cm 용적 증가에서 최대 189.1 cGy의 차이가 발생하였다. PTV에 포함되는 직장 용적(Rectal anterior wall)에 대해 평가한 결과 기준 D_{min} 과 D_{mean} , D_{max} 은 각각 4301 cGy, 4642 cGy, 4830 cGy로 확인되었다. 임의의 가스를 적용한 결과 값은 평균 D_{min} 4089 cGy, 평균 D_{mean} 4776 cGy, 평균 D_{max} 4962 cGy으로 나타났다. D_{min} 의 경우 감소하는 경향을 나타냈고 D_{mean} 은 +2.0 cm 용적 증가에서 최대 189.3 cGy의 차이가 발생하였으며 D_{max} 은 +2.0 cm 용적 증가에서 최대 190 cGy의 차이가 발생하였다. 방광의 기준 D_{min} 과 D_{mean} , D_{max} 은 각각 1612 cGy, 3767 cGy, 4816 cGy로 확

Table 4. Comparison of PTV D_{max} (cGy)

PTV D_{max}	Reference	+0.5 cm	+1.0 cm	+1.5 cm	+2.0 cm
S- IMRT	4926	4939	5001	5068	5106
VMAT	4886	4898	4976	5012	5056

PTV : Planning Target Volume, Dmax : Maximum Dose

Table 5. Comparison of OAR D_{min} , D_{mean} , D_{max} with S-IMRT plan(cGy), T-test results(p<0.05)

S-IMRT	parameter (cGy)	Reference	+0.5 cm	+1.0 cm	+1.5 cm	+2.0 cm	t	p-value
Rectum	D_{min}	1555	1551	1550	1550	1506	5.93	0.01
	D_{mean}	3230	3593	3826	3973	4095	-5.94	0.00
	D_{max}	4830	4874	4968	4989	5020	-6.55	0.00
Rectal ant. wall	D_{min}	4301	4092	4092	4089	4082	11.95	0.00
	D_{mean}	4642	4685	4788	4801	4832	-5.33	0.01
	D_{max}	4830	4874	4968	4989	5020	-6.55	0.00
Bladder	D_{min}	1612	1612	1611	1611	1611	7.2	0.00
	D_{mean}	3767	3768	3769	3770	3772	-1.9	0.15
	D_{max}	4816	4827	4840	4851	4860	-3.9	0.02

OAR : Organ at Risk, Dmin=Minimum Dose, Dmean=Mean Dose, Dmax=Maximum Dose

인되었다. 임의의 가스를 적용한 결과 값은 평균 D_{min} 1611 cGy, 평균 D_{mean} 3769 cGy, 평균 D_{max} 4844 cGy으로 나타났다. D_{min} 과 D_{mean} , D_{max} 모든 값에서 차이없이 유사한 값이 발생하였다(Table 5).

VMAT 전산화치료계획을 수립한 후 전체 직장의 기준 D_{min} 과 D_{mean} , D_{max} 은 각각 1568 cGy, 3351 cGy, 4869 cGy로 확인되었다. 임의의 가스를 적용한 결과 값은 평균 D_{min} 1566 cGy, 평균 D_{mean} 3982 cGy, 평균 D_{max} 4960 cGy으로 나타났다. D_{min} 의 경우 미미한 차이가 발생하였고 D_{mean} 은 +2.0 cm 용적 증가에서 최대 814 cGy의 차이가 발생하였으며, D_{max} 은 +2.0 cm 용적 증가에서 최대 121.7 cGy의 차이가 발생하였다. PTV에 포함되는 직장 용적(Rectal anterior wall)에 대해 평가한 결과 기준 D_{min} 과 D_{mean} , D_{max} 은 각각 4217 cGy, 4651 cGy, 4869 cGy로 확인되었다. 임의의 가스를 적용한 결과 값은 평균 D_{min} 4152 cGy, 평균 D_{mean} 4771 cGy, 평균 D_{max} 4960 cGy으로 나타났다. D_{min} 의 경우 감소하는 경향을 나타냈고 D_{mean} 은 +2.0 cm 용적 증가에서 최대 150 cGy의 차이가 발생하였으며, D_{max} 은 +2.0 cm 용적 증가에서 최대 122 cGy의 차이가 발생하였다. 방광의 기준 D_{min} 과 D_{mean} , D_{max} 은 각각 2150 cGy, 3929 cGy, 4899 cGy로 확인되었다. 임의의 가스를 적용한 결과 값은 평균 D_{min} 2147 cGy, 평균 D_{mean} 3929 cGy, 평균 D_{max} 4904 cGy으로 나타났다. D_{min} 과 D_{mean} , D_{max} 모든 값에서 차이없이 유사한 값이 발생하였다(Table 6). T-test를 시행한 결과 두 전산화치료계획 모두 방광의 D_{mean} 을 제외하고 p-value 0.05이하로 통계적으로 유의한 차이를 확인하였다. 또한 두 전산화치료계획 모두 임의의 가스로 인해 직장 용적이 증가할수록 직장에 대한 선량이 증가함을 선량체적히스토그램(DVH)으로 확인하였다(Fig. 2).

고찰 및 결론

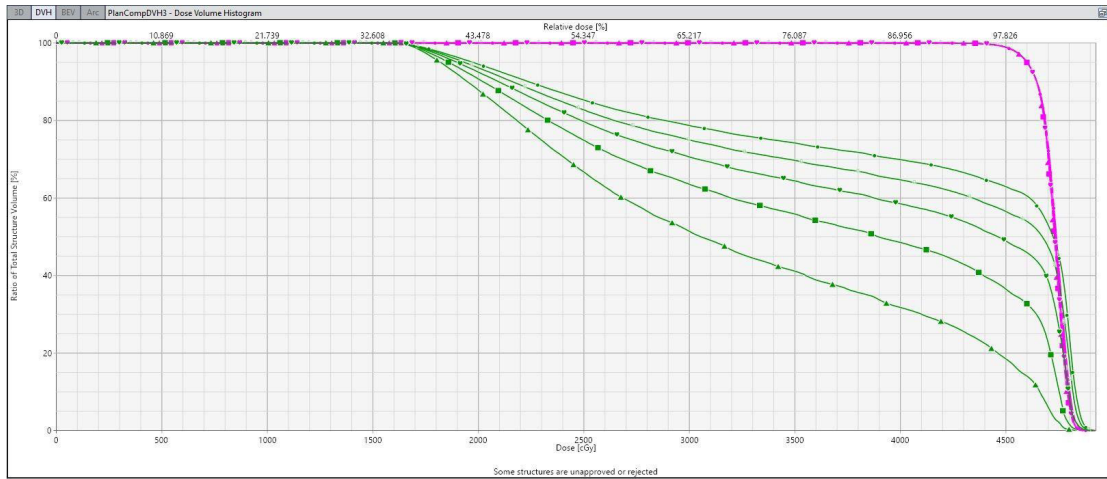
본 연구에서는 자궁경부암 방사선치료 시 임의의 직장 가스 용적 변화에 따른 PTV와 OAR의 선량 변화를 연구하였다. 전산화치료계획에 없던 임의의 가스를 매개 변수로 설정하였고 기준 전산화치료계획을 그대로 반영하여 선

량 계산을 하고, PTV와 OAR의 영향을 분석하고자 하였다. S-IMRT와 VMAT의 처방선량지수(CI) 결정계수(R^2)는 각각 0.5255, 0.2995로 가스 용적 변화에 따른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 선량균질지수(HI)의 결정계수(R^2)는 0.9423, 0.8223로 가스 용적 크기가 커질수록 상관관계가 비교적 명확하였으나 차이는 미미하였다. 하지만 PTV D_{max} 결과 임의의 가스 용적이 커질수록 S-IMRT 전산화치료계획에서 최대 180 cGy까지 증가하는 것으로 나타났다. 또한 임의의 가스 주변으로 계획된 선량이 채워지지 않는 영역(Under dose area)이 발생함을 확인하였다. 이는 기준 전산화치료계획에 없던 임의의 가스로 인해 re build-up 현상이 발생함으로써 가스 주변 PTV D_{max} 의 증가 및 Under dose area 발생으로 판단된다.⁽¹³⁾ OAR의 경우 두 전산화치료계획 모두 방광에서 유의한 차이가 없었고, 직장의 경우 유의한 선량 차이가 발생하였다. +1.0 cm 이상 용적 증가에서 유의한 선량 증가를 보였고, 특히 +2.0 cm 용적 증가에서 두 전산화치료계획 모두 D_{mean} 800 cGy 이상의 의미 있는 선량 차이가 나타났다. 곧 기준 전산화치료계획과 달리 실제 방사선치료 도중 가스의 용적 크기가 커질수록 PTV의 선량변화와 직장에 전달되는 선량의 차이가 커졌다. 이는 종양제어확률(Tumor Control Probability, TCP)의 감소로 향후 재발 가능성이 높아질 수 있고, 방사선치료 부작용으로 직장의 염증, 출혈, 누공 형성 등으로 인해 환자의 삶의 질을 저하 시킬 수 있다.^(5, 7) 방사선치료진행 시 직장 가스의 용적이 클 경우 발생할 수 있는 선량 전달 오류를 최소화하기 위한 노력이 반드시 필요한 것으로 판단되었다. 따라서 영상유도방사선치료(IGRT) 시행을 통해 환자의 자세잡이(Set up) 확인 뿐 만 아니라 직장 내 가스의 유무, 방광 용적변화 등의 변화 유무를 확인하여야 할 것이다. 이를 통해 정확한 전 처치 시행을 확인할 수 있고 환자에게 의도하지 않은 선량 전달을 최소화하여 부작용을 감소시킬 수 있을 것이다. 연구의 한계점으로 팬텀을 이용하여 임의의 가스를 설정하는 크기와 위치가 한정적이고, PTV의 체적 변화가 없다는 가정 아래 연구가 진행되었다. 본 연구를 바탕으로 향후 가스 용적의 다양한 크기와 위치를 변수로 설정하고, 임의의 가스로 인한 PTV의 체적 변화에 대한 추가적인 연구가 진행되어진다면 유의한 평가가 이루어 질 수 있을 것으로 사료된다.

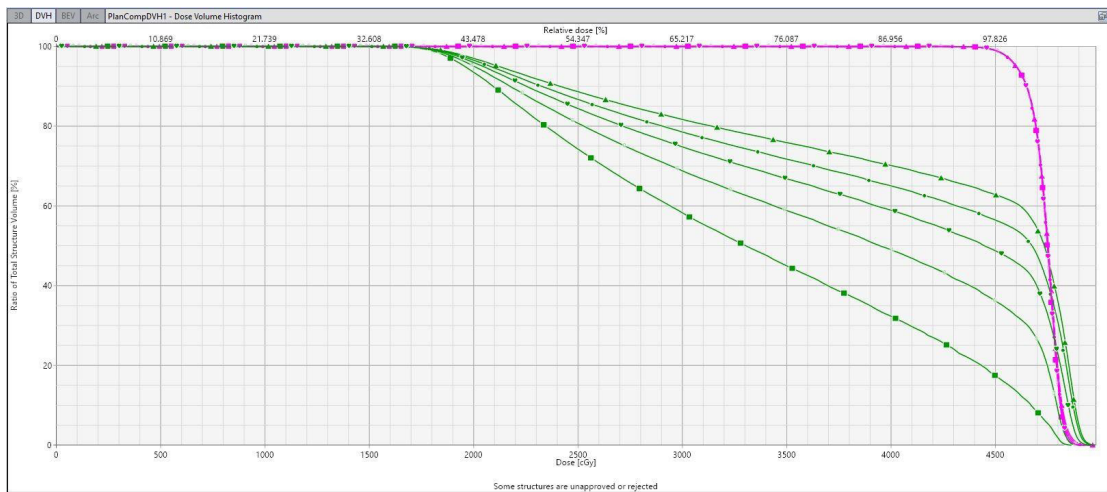
Table 6. Comparison of OAR D_{min} , D_{mean} , D_{max} with VMAT plan(cGy), T-test results(p<0.05)

VMAT	parameter (cGy)	Reference	+0.5 cm	+1.0 cm	+1.5 cm	+2.0 cm	t	p-value
Rectum	D_{min}	1568	1566	1566	1567	1567	10.95	0.00
	D_{mean}	3351	3695	3916	4153	4166	-5.99	0.00
	D_{max}	4869	4912	4960	4979	4991	-5.53	0.01
Rectal ant. wall	D_{min}	4217	4155	4151	4152	4150	58.28	0.00
	D_{mean}	4651	4710	4777	4798	4801	-6.26	0.00
	D_{max}	4869	4912	4960	4979	4991	-5.5	0.01
Bladder	D_{min}	2150	2148	2148	2147	2146	4.93	0.01
	D_{mean}	3929	3929	3929	3930	3930	-2.1	0.11
	D_{max}	4899	4899	4900	4906	4912	-5.9	0.02

OAR : Organ at Risk, D_{min} = Minimum Dose, D_{mean} = Mean Dose, D_{max} = Maximum Dose



(a)



(b)

Fig. 2. Dose Volume Histogram of PTV and Rectum between reference plan and a) Assign S-IMRT plan, b) Assign VMAT plan

참고문헌

1. Kyu-Won Jung, Young-Joo Won, Hyun-Joo Kong, et al.: Cancer Statistics in Korea: Incidence, Mortality, Survival, and Prevalence in 2016. Official Journal of Korean Cancer Association 2019;51(2):417-430
2. William Small, Monica AB, Linus TC, et al.: Cervical Cancer. A Global Health Crisis. American Cancer Society 2017;123:2404-12
3. Yang Jian, Cai Haoyang, Xiao, et al.: Effect of radiotherapy on the survival of cervical cancer patients. SEER 2019;98(30):e16421
4. Michael JZ, Zvi Fuks, Laura Happersett, et al.: Clinical experience with intensity modulated radiation therapy (IMRT) in prostate cancer. Radiotherapy and Oncology, 2000 Jun;55(3):241-9
5. Michael JZ, Zvi Fuks, Margie Hunt, et al.: High-dose intensity modulated radiation therapy for prostate cancer: early toxicity and biochemical outcome in 772 patients. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2002;53(5):1111-6
6. Xue Jiang¹, Ying Chen¹, Junqing Liu¹, et al.: Reduction in rectal doses of pelvic radiotherapy with excessive rectal gas extraction. Ann Palliat Med 2021;10(6):7062-7068
7. Ha Min Yong, Son Sang Jun, Kim Chan Yong, et al.: Analysis of the cause of dose delivery errors due to changes in abdominal gas volume during MRgART pancreatic cancer. Korean Society for Radiation Therapy 2020;32:73-83
8. Qurat-ul-Ain Shamsi, Khalid Iqbal, Shagufta Ja-been, et al.: To analyse target volume variations during SIB-IMRT of squamous cell carcinoma of uterine cervix. Journal of Radiotherapy in Practice 2021;20(2):183-188
9. A. Cree, Y. Song, M. Dubec, et al.: Inter- and intra-fractional stability of rectal gas in pelvic cancer patients during MRigRT. American Association of Physicists in Medicine, 2020;48:414-426
10. Jane Shortall, Eliana VO, Robert Chuter et al.: Assessing localized dosimetric effects due to unplanned gas cavities during pelvic MR-guided radiotherapy using Monte Carlo simulations. American Association of Physicists in Medicine 2019;46(12):5807-5815
11. Thomas Berger, Jørgen BBP, Jacob CL, et al.: Impact of bowel gas and body outline variations on total accumulated dose with intensity-modulated proton therapy in locally advanced cervical cancer patients. ACTA 2017;56(11):1472-1478
12. R. Jadon, C.A. Pembroke, C.L. Hanna et al.: A Systematic Review of Organ Motion and Image-guided Strategies in External Beam Radiotherapy for Cervical Cancer. Elsevier Ltd, 2014;26(4):185-96
13. Ebert MA, spry NA : Dose perturbation by air cavities in megavoltage photon beams: Implications for cavity surface doses. Australasian Radiology 2001;45(2):205-210

Comparative evaluation of dose according to changes in rectal gas volume during radiation therapy for cervical cancer : Phantom Study

Department of Radiation Oncology, ASAN Medical Center, Seoul, Korea

Choi So Young, Kim Tae Won, Kim Min Su, Song Heung Kwon, Yoon In Ha, Back Geum Mun

Purpose: The purpose of this study is to compare and evaluate the dose change according to the gas volume variations in the rectum, which was not included in the treatment plan during radiation therapy for cervical cancer.

Materials and methods: Static Intensity Modulated Radiation Therapy (S-IMRT) using a 9-field and Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) using 2 full-arcs were established with treatment planning system on Computed Tomography images of a human phantom. Random gas parameters were included in the Planning Target Volume(PTV) with a maximum change of 2.0 cm in increments of 0.5 cm. Then, the Conformity Index (CI), Homogeneity Index (HI) and PTV D_{max} for the target volume were calculated, and the minimum dose (D_{min}), mean dose (D_{mean}) and Maximum Dose (D_{max}) were calculated and compared for OAR(organs at risk). For statistical analysis, T-test was performed to obtain a p-value, where the significance level was set to 0.05.

Result: The HI coefficients of determination(R^2) of S-IMRT and VMAT were 0.9423 and 0.8223, respectively, indicating a relatively clear correlation, and PTV D_{max} was found to increase up to 2.8% as the volume of a given gas parameter increased. In case of OAR evaluation, the dose in the bladder did not change with gas volume while a significant dose difference of more than D_{mean} 700 cGy was confirmed in rectum using both treatment plans at gas volumes of 1.0 cm or more. In all values except for D_{mean} of bladder, p-value was less than 0.05, confirming a statistically significant difference.

Conclusion: In the case of gas generation not considered in the reference treatment plan, as the amount of gas increased, the dose difference at PTV and the dose delivered to the rectum increased. Therefore, during radiation therapy, it is necessary to make efforts to minimize the dose transmission error caused by a large amount of gas volumes in the rectum. Further studies will be necessary to evaluate dose transmission by not only varying the gas volume but also where the gas was located in the treatment field.

▶ **Key words:** Cervical cancer, Rectal gas volume, Intensity Modulated Radiation Therapy, Volumetric Modulated Arc Therapy