

폐암의 SABR(Stereotactic Ablative Radiotherapy)시 복부압박 (Abdominal compression)과 CPAP(Continuous Positive Air Pressure)를 이용한 치료계획의 비교 및 평가

서울대학교병원 방사선종양학과

김대호 · 손상준 · 문준기 · 박장필 · 이제희

목 적 : 폐암의 정위 절제 방사선 치료(Stereotactic Ablative Radiation Therapy, SABR)시 복부압박을 이용한 치료계획과 양압지속유지기(The Continuous Positive Air Pressure, CPAP)를 이용한 치료계획을 비교, 분석하여 방사선 치료 효과 향상에 기여하고자 한다.

대상 및 방법 : 본원의 폐의 SABR 환자 중 2명을 대상으로 복부 압박 고정 장치(the Body Pro-Lok, BPL)와 CPAP를 이용한 치료 계획을 수립하여, RTOG 0813에서 제안한 parameter들과 균질도(Homogeneity Index, HI), 일치도(Conformity Index, CI)를 통해 치료계획을 분석하였다. 또한 모든 4D CT에서 각 Phase별 계획용 표적 체적(Planning Target Volume, PTV) 중심의 X, Y, Z축 움직임을 분석하고, PTV와 손상위험장기(Organ At Risk, OAR)의 체적과 평균 선량을 구하여 비교하였다. 그리고 4개의 원뿔형빔 전산화단층촬영(Cone Beam Computed Tomography, CBCT)을 이용하여, PTV 중심점과 0°, 90°, 180°, 270° 중 세 방향에서의 흉강내 접점까지의 직선거리를 측정하고, 각 방향에서 평균거리 값과의 차이를 비교하였다.

결 과 : BPL과 CPAP를 사용하여 얻은 치료계획은 모두 RTOG의 권고값을 따랐으며, 균질도와 일치도에서도 큰 차이가 없었다. PTV 중심의 X축, Y축, Z축 움직임은 A 환자의 경우 BPL 사용시 0.49 cm, 0.37 cm, 1.66 cm, CPAP 사용시 0.16 cm, 0.12 cm, 0.19 cm을 보였고, B 환자의 경우 BPL 사용시 0.22 cm, 0.18 cm, 1.03 cm, CPAP 사용시 0.14 cm, 0.11 cm, 0.4 cm을 보였다. CPAP 사용시 BPL 사용시보다 A 환자의 경우 ITV가 46.27% 감소하였고 좌측 폐의 체적이 41.94% 증가하였으며, 평균선량은 심장에서 52.81% 감소하였다. B 환자의 경우 좌측 폐 106.89%, 우측 폐 87.32% 체적이 증가하였고, 평균선량은 위에서 44.30% 감소하였다. 각 방향의 직선거리 값과 평균거리 값과의 최대 차이는 A 환자의 경우 a방향에서 0.05 cm, b방향에서 0.05 cm, c방향에서 0.41 cm였고, B 환자의 경우 d방향에서 0.19 cm, e방향에서 0.49 cm, f방향에서 0.06 cm 차이가 났다.

결 론 : CPAP 사용시 폐용적의 증가를 통해 표적 근처 OAR의 선량을 BPL 사용시보다 더 효과적으로 감소시킬 수 있으며, 호흡에 따른 종양의 움직임 제한에도 더 효과적으로 기여할 수 있다는 것을 확인하였다. 추후 CPAP의 다양한 부위 적용과 다른 치료기와의 결합을 통해 방사선 치료 효과를 개선시킬 수 있을 것으로 사료된다.

▶ **핵심용어 :** 폐암의 정위절제방사선치료, CPAP, 복부 압박 고정 장치

서론

방사선치료는 폐암 환자의 주요 치료방법 중 하나로 오랫동안 인식되어왔다.⁽¹⁾ 최근 몇 년 동안 기술적 발전을 통해 정위 절제 방사선 치료법(Stereotactic Ablative Radiation Therapy, 이하 SABR)이 개발되었으며, 이를 통해 환자의 표적 체적 정확도와 개별성이 향상되었다.⁽²⁾ SABR는 높은 선량과 낮은 횃수의 방사선 조사를 통해 초기 단계의 비소세포 폐암과 폐의 소수 전이암 환자를 위한 확립된 표준적인 치료법이며^(3,4), 90% 이상의 높은 국소 제어율과 낮은 방사선 독성을 보인다.⁽⁵⁾

그러나 종양과 장기의 호흡에 따른 움직임은 폐와 상복부 종양의 방사선 치료시 치료를 진행하는데 있어 상당한 문제가 된다.⁽⁶⁾ 미국 의학물리협회 방사선종양학 호흡 관리 연구 그룹에서는 종양의 움직임이 5 mm 이상 관찰되거나 임상적으로 중요한 정상 조직의 피폭을 줄일 수 있는 경우 호흡 관리를 고려할 것을 권유한다.⁽⁷⁾

최근 방사선 치료중 양압지속유지기(The Continuous Positive Air Pressure, 이하 CPAP)를 이용하여 상기도와 폐에 지속적으로 공기 압력을 불어 넣는 방법이 호흡에 따른 움직임을 보완하기 위한 해결책으로 제시되었다.⁽⁸⁾ (Fig. 1., Fig. 2.) CPAP의 사용은 폐를 확장시켜 횃격막의 움직임을 최소화하여 호흡에 의한 폐의 체적변화를 감소시킨다. 이를 통해 종양과 장기의 움직임을 감소시키고 종양과 정상 폐간 거리의 증가로 정상 폐의 피폭을 줄일 수 있다고 보고되었다.⁽⁸⁻¹¹⁾

현재 본원에서는 폐암의 SABR시 복부 압박을 통해 횃격막의 움직임을 감소시켜 종양의 움직임을 줄이는 방법을 사용

하고 있다. 그러나 최근 연구를 위해 CPAP를 일시적으로 도입하여 폐암 환자 중 일부를 선별하여 SABR를 진행하였다.

이에 본 연구는 폐암의 SABR시 복부 압박을 이용한 치료계획과 CPAP를 이용한 치료계획을 비교, 분석하여 방사선 치료 효과 향상에 기여하고자 한다.

대상 및 방법

1. 환자 선택(patient setup)

본원의 초기 단계의 비소세포 폐암(non-small-cell lung cancer, NSCLC)과 폐의 소수 전이암(Oligometastasis) 환자 중 2명(A,B 환자)을 대상으로 복부 압박 고정장치와 CPAP를 이용한 SABR 계획을 수립하였고, 치료는 CPAP를 이용하여 진행하였다.

A 환자는 78세 남성으로 2017년 11월 우측 상위 폐엽(Right Upper Lobe)에 편평상피세포암이 발생하여 폐엽 절제술을 받았고 2020년 8월 좌측 하위 폐엽(Left Lower Lobe)에 전이되었다.

B 환자는 66세 남성으로 2018년 5월 왼쪽 넓적다리 근위부에 종양이 발생하여 환부를 포함한 왼쪽 다리 절단술을 받았고 2020년 10월 우측 하위 폐엽(Right Lower Lobe)에 전이 되었다.

치료 전 이비인후과 진료를 통해 두 환자 모두 SABR시 CPAP의 사용이 가능함을 확인하였다. 대상 환자들은 CPAP와 관련된 지시사항을 충분히 이해하였으며, 폐엽의 하위부에 종양이 위치하여 호흡에 따른 종양의 움직임이

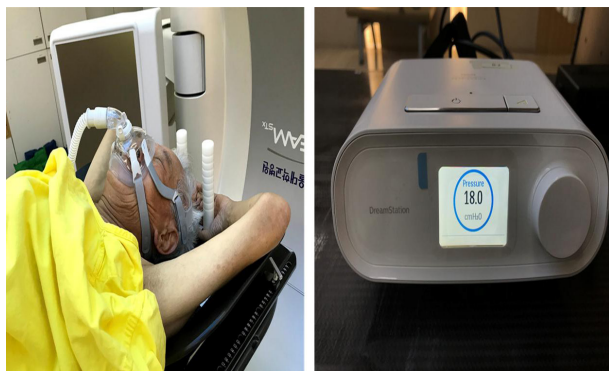
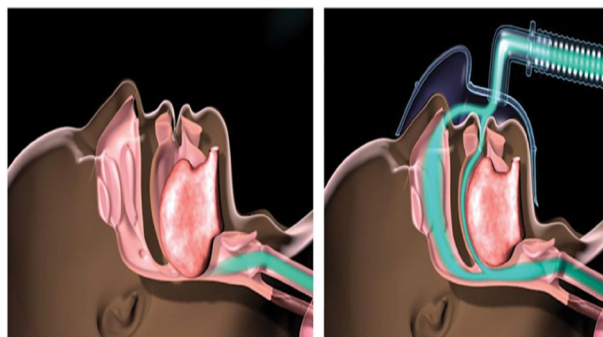


Fig. 1. Introduction of CPAP



Cleveland Clinic. PAP therapy. <https://my.clevelandclinic.org/health/treatments/17320-pap-therapy>. Accessed July 19, 2019.

Fig. 2. Application of CPAP

클 것으로 예상되었다.

2. 모의 치료 계획(CT Simulation)

CT simulation을 위한 영상획득에는 Brilliant Big Bore CT(Philips Medical, USA)를 사용하였다. Bellows(Philips Cleveland, OH)를 사용하여 10상(Phase)의 4차원 영상을 획득하였고, CT 영상의 슬라이스 두께(slice thickness)는 3 mm로 하였다. 획득된 영상은 Eclipse 치료계획 장치(Treatment Planning System, Ver.13.7, Varian Medical System, USA)로 전송하였고, RTOG protocol을 참고하여 윤곽그리기를 하였다. 계획용 표적 체적(Planning Target Volume, 이하 PTV)은 내부 표적 체적(Internal Target Volume, 이하 ITV)에 0.5~0.7 cm을 균일하게 확장하여 생성하였다.

환자들은 각각 4D CT를 2회 촬영하였다. 첫 번째 CT 촬영시 복부 압박 고정 장치인 the Body Pro-Lok (CIVI-CO, Orange City, IA) system를 사용하였고, 두 번째 CT 촬영시 CPAP(Dreamstation, Philips, USA)를 사용하였다. CPAP 사용 전 30분에서 1시간의 교육을 통하여 환자가 CPAP에 적응할 수 있게 하였으며, 담당 의사와 함께 각 환자에게 적절한 양압(16~18 cm H₂O)을 설정하였다. 또한 모든 CT 촬영시 보조 장치(Metronome)를 이용하여 일정한 호흡 주기를 유지하도록 하였다.

3. 치료 계획(treatment planning)

전산화 치료계획은 Eclipse 치료계획 장치를 이용하였으며, PO_13716(Photon optimizer, Version 13.7.16)과 AcurosXB_13716(Acurus External Beam, Version 13.7.16)을 사용하여 최적화(Optimization)와 선량 계산을 시행하였다.

치료계획은 체적조절호형 방사선 치료(Volumetric modulated arc therapy, 이하 VMAT)로 갠트리 회전 반경이 환자 A의 경우 0~179°와 179~0°, 환자 B의 경우 0~181°와 181~0° 인 각 두 개의 Half ARC와 Truebeam STX (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA)의 6X FFF(Flattening Filter Free)를 이용하여 수립하였다.

두 환자 모두 총선량 60 Gy로 15 Gy씩 4회 처방되었으며, 모든 치료 계획은 PTV의 95%가 처방선

량을 포함하도록 계획하였다. 선량제한은 AAPM과 QUANTEC(Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic), Emami, UK Consensus 권고사항을 참고로 하였고 각 장기별 선량-체적 한도(또는 Organ At Risk(이하 OAR)에 사용되는 선량 제약 조건)는 Table 1에 제시하였다. (Table 1.)

계산 grid 는 0.1 cm, 타겟 V100%=95%로 정규화(Normalization) 하였다.

4. 치료 계획 평가(plan quality evaluation)

모든 치료 계획에 대해 A, B 환자의 선량-체적 히스토그램(Dose-Volume Histogram)에서 PTV와 OAR에 대한 각 선량 분포를 검토하고 선택된 선량측정 지수를 계산하여 RTOG 0813에서 제안한 다음의 parameter들을 통해 치료계획을 분석하였다.⁽¹²⁾

1) R100%

$$R100\% = \frac{\text{volume of the 100\% of prescription dose}}{PTV}$$

2) R50%

$$R50\% = \frac{\text{volume of the 50\% of the prescription isodose}}{PTV}$$

3) D_{2cm}

D_{2cm}은 PTV로부터 모든 방향으로 2 cm을 확장하여, PTV를 뺀 체적의 최대 선량 값이다.

4) V₂₀, V_{12.5}와 V₇

RTOG에서 제안하는 20 Gy이상의 선량을 받는 동측 폐의 체적(%)인 V₂₀을 구하고, 12.5 Gy 이상의 선량을 받는 동측 폐의 체적 V_{12.5}, 7 Gy 이상의 선량을 받는 동측 폐의 체적 V₇을 추가로 구하였다.

각 parameter의 RTOG 권고 값은 Table 2, Table 3에 나타내었다. (Table 2., Table 3.)

또한 선량분포의 균질도(Homogeneity Index, 이하 HI) [식1]와 일치도(Conformity Index, 이하 CI) [식2]를 비교하였다.

$$HI = \frac{D_{5\%}}{D_{95\%}} \text{ ----- [식1]}$$

D_{5%} = Dose delivered to 5% of the PTV

D_{95%} = Dose delivered to 95% of the PTV

$$CI = \frac{V(RI)}{PTV} \text{ ----- [식2]}$$

V_{RI} = volume of tissue covered by the reference isodose

PTV = Planning Target Volume

HI 값은 1에 가까울수록 더 나은 균질성을 나타내고, CI 값은 1에 가까울수록 더 나은 일치성을 나타낸다.

또한 A, B 환자의 모든 4D CT에서 각 Phase별 PTV 중심의 X, Y, Z축 움직임을 분석하였다. 그리고 4D CT의 Average 영상을 이용하여 PTV와 OAR의 체적과 평균 선량을 구하여 비교하였다. 마지막으로 CPAP를 이용한 치료 중에 촬영한 4개의 원뿔형빔 전산화단층촬영(Cone Beam Computed Tomography, 이하 CBCT)을 이용하여, PTV 중심점과 0°, 90°, 180°, 270° 중 세 방향에서의 흉강내 접점까지의 직선거리를 측정하고, 각 방향에서 평균거리 값과의 차이를 비교하였다.

QA(Gamma test)는 PDIP(Portal Dose Image Prediction, PDIP 13716, version 10.7.16)를 이용하였으며, 1 mm/2%, pass rate 90% 이상을 통과 기준으로 설정하였다.

결 과

치료 계획 평가 변수 비교에서 A 환자의 복부 압박 고정장치(Body Pro Lok, 이하 BPL) 사용시, CPAP 사용시 R100%는 1.03, 1.05, R50%는 4.19, 4.42을 보였고, D_{2cm} 은 65.87 Gy, 66.32 Gy를 나타냈으며, V_{20} 은 5.02%, 4.26%, $V_{12.5}$ 는 170.32 cc, 172.34 cc, V_7 은 278.65 cc, 338.41 cc를 보였다.

B 환자의 BPL 사용시, CPAP 사용시 R100%는 1.00, 1.04, R50% 4.15, 4.58을 보였고, D_{2cm} 은 65.14 Gy, 65.09 Gy를 나타냈으며, V_{20} 은 8.01%, 9.16%, $V_{12.5}$ 는 139.00 cc, 278.50 cc, V_7 은 220.49 cc, 419.94 cc를 보였다. (Table 4.)

A, B 환자의 BPL과 CPAP를 사용한 치료계획은 모두

Table 1. Normal Tissue Constraints for SBRT

Serial Tissue	Volume(mL)	Volume max (Gy)	Max Point Dose(Gy)	Endpoint (≥Grade 3)
spinal cord and medulla	0.35	18		
	1.2	13.6	25.6	Myelitis
Esophagus	6	18.8	30	Stenosis/Fistula
Heart/pericardium	16	28	34	Pericarditis
Trachea and large bronchus*	5	28.8	34.8	Stenosis/Fistula
Rib	5	43	54	Pain or Fracture
Stomach	5	25	33.2	Ulceration/Fistula
Parallel Tissue	Critical Volume(mL)	Critical Volume Max(Gy)		Endpoint (≥Grade 3)
Lung (right and left)	1500	11.6		Basic lung function
Lung (right and left)	1000	13	V-13Gy<37%	Pneumonitis
Normal Liver	>700cc of normal liver**	15		Classic RILD*** (<5%)

*Avoid circumferential irradiation

**Dose to ≥ 700cm³ and ≥200cm³ is the maximum dose to the specified volume of the organ (700cm³, 200cm³) that receives the lowest doses(A minimum volume of 700cc or more must be less than 19.2 Gy and less than 15 Gy is recommended.)

***The risk of radiation-induced lung damage

Table 2. Plan evaluation table for R100%, R50%, D_{2cm} in the RTOG

PTV Volume(cc)	Ratio of (100%) prescription isodose volume to the PTV		Ratio of 50% prescription isodose volume to the PTV		Maximum dose (in % of dose prescribed) @ 2 cm from PTV in any direction, D_{2cm} (Gy)	
	Deviation		Deviation		Deviation	
	None	Minor	None	Minor	None	Minor
1.8	<1.2	<1.5	<5.9	<7.5	<50.0	<57.0
3.8			<5.5	<6.5	<50.0	<57.0
7.4			<5.1	<6.0	<50.0	<58.0
13.2			<4.7	<5.8	<50.0	<58.0
22.0			<4.5	<5.5	<54.0	<63.0
34.0			<4.3	<5.3	<58.0	<68.0
50.0			<4.0	<5.0	<62.0	<77.0
70.0			<3.5	<4.8	<66.0	<86.0
95.0			<3.3	<4.4	<70.0	<89.0
126.0			<3.1	<4.0	<73.0	<91.0
163.0	<2.9	<3.7	<77.0	<94.0		

Table 3. Plan evaluation table for V_{20} , $V_{12.5}$, V_7 in the RTOG

Constraints	RTOG 0813 50~60Gy / 5Fx	RTOG 0915 34~48Gy / 1~4Fx
	Deviation	Deviation
Percent of lung receiving 20Gy total or more, V_{20}	<10% (Minor, <15%)	<10%
Percent of lung receiving 12.5Gy total or more, $V_{12.5}$	<1500cc	
Percent of lung receiving 7Gy total or more, V_7		<1500cc

Table 4. A, B Patient's Comparison of R100%, R50%, D_{2cm} , V_{20} , $V_{12.5}$ and V_7

	A patient			B patient		
	BPL	CPAP	Minor Deviation	BPL	CPAP	Minor Deviation
R100%	1.03	1.05	<1.5	1.00	1.04	<1.5
R50%	4.19	4.42	<5.5	4.15	4.58	<5.3
D_{2cm} (Gy)	65.87	66.32	<68	65.14	65.09	<68
V_{20} (%)	5.02	4.26	<15	8.01	9.16	<15
$V_{12.5}$ (cc)	170.32	172.34	<1500	139.01	278.5	<1500
V_7 (cc)	278.65	338.41	<1500	220.492	419.94	<1500

RTOG의 deviation에 포함되었고, 치료계획간 의미 있는 차이는 나타나지 않았다.

또한 A 환자의 BPL 사용시, CPAP 사용시 HI는 1.07, 1.09를 보였고, CI는 1.03, 1.05를 나타냈다. 그리고 B 환자의 BPL 사용시, CPAP 사용시 HI는 1.07, 1.07을 보였고, CI는 1.00, 1.04를 나타냈다.

4D CT의 각 Phase별 PTV 중심의 X축, Y축, Z축 움직임은 A 환자의 경우 BPL 사용시 0.49 cm, 0.37 cm, 1.66 cm, CPAP 사용시 0.16 cm, 0.12 cm, 0.19 cm을 보였다. (Table 5.) B 환자의 경우 BPL 사용시 0.22 cm, 0.18 cm, 1.03 cm, CPAP 사용시 0.14 cm, 0.11 cm, 0.40 cm의 움직임을 나타냈다. (Table 6.) 두 환자 모두 Anterior-Posterior 방향인 Z축에서의 움직임의 차이가 가장 컸다. (Fig. 3., Fig. 4.)

또한 BPL 사용시와 CPAP 사용시 구한 체적과 평균선량을 비교하였을 때 A 환자의 경우 CPAP 사용시 BPL 사용시보다 ITV가 46.27% 감소하였고 좌측 폐 41.94%, 우측 폐 39.91% 체적이 증가하였다. (Table 7., Fig. 5.) 평균선량은 심장 52.81%, 기관-기관지 42.28%, 위 41.61% 감소하였다. (Fig. 6.) B 환자의 경우 CPAP 사용시 BPL 사용시보다 좌측 폐 106.89%, 우측 폐 87.32%, 기관-기관지 32.03% 체적이 증가하였고, (Table 8., Fig. 7.) 평균선량은 위 44.30%, 기관-기관지 36.54%, 좌측 폐 15.44% 감소하였다. (Fig. 8.)

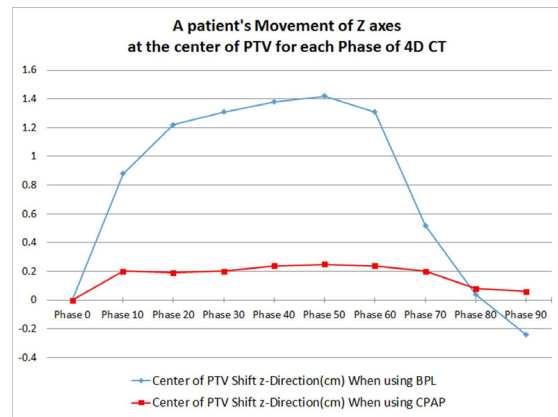


Fig. 3. A patient's Movement of Z axes at the center of PTV for each Phase of 4D CT

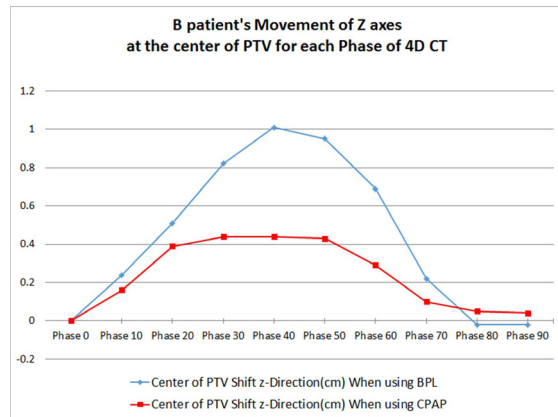


Fig. 4. B patient's Movement of Z axes at the center of PTV for each Phase of 4D CT

Table 5. A patient's Movement of X, Y, and Z axes at the center of PTV for each Phase of 4D CT

	Center of PTV Shift x-Direction		Center of PTV Shift y-Direction		Center of PTV Shift z-Direction	
	BPL	CPAP	BPL	CPAP	BPL	CPAP
Phase 0*						
Phase 10	-0.15	-0.11	-0.09	0.05	0.88	0.2
Phase 20	-0.2	-0.13	0	-0.02	1.22	0.19
Phase 30	-0.3	-0.25	0.13	0.05	1.31	0.2
Phase 40	-0.4	-0.24	0.19	0.01	1.38	0.24
Phase 50	-0.48	-0.27	0.28	0.05	1.42	0.25
Phase 60	-0.51	-0.24	0.26	-0.02	1.31	0.24
Phase 70	-0.28	-0.25	0.19	0.06	0.52	0.2
Phase 80	-0.12	-0.23	0.12	0.07	0.04	0.08
Phase 90	-0.02	-0.16	0.05	0.1	-0.24	0.06

*Reference Phase

Table 6. B patient's Movement of X, Y, and Z axes at the center of PTV for each Phase of 4D CT

(Unit in cm)

	Center of PTV Shift x-Direction		Center of PTV Shift y-Direction		Center of PTV Shift z-Direction	
	BPL	CPAP	BPL	CPAP	BPL	CPAP
Phase 0*						
Phase 10	0.02	0.04	-0.11	0.04	0.24	0.16
Phase 20	0.13	0.1	-0.16	0.05	0.51	0.39
Phase 30	0.19	0.13	-0.12	0.1	0.82	0.44
Phase 40	0.2	0.11	-0.04	0.12	1.01	0.44
Phase 50	0.18	0.15	-0.06	0.08	0.95	0.43
Phase 60	0.15	0.09	-0.03	0.06	0.69	0.29
Phase 70	0.09	0.01	0.02	0.03	0.22	0.1
Phase 80	-0.01	0.05	0.02	0.01	-0.02	0.05
Phase 90	-0.02	0.01	0	0.01	-0.02	0.04

*Reference Phase

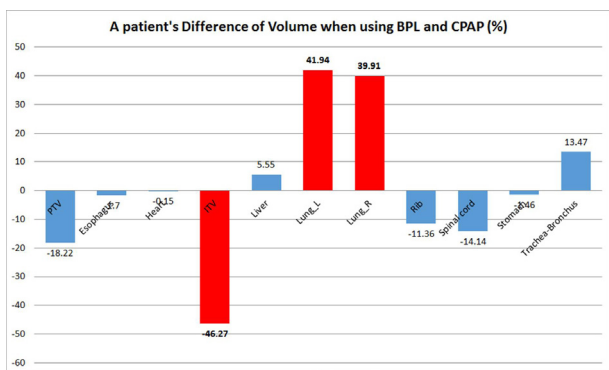


Fig. 5. A patient's Difference of Volume when using BPL and CPAP (%)

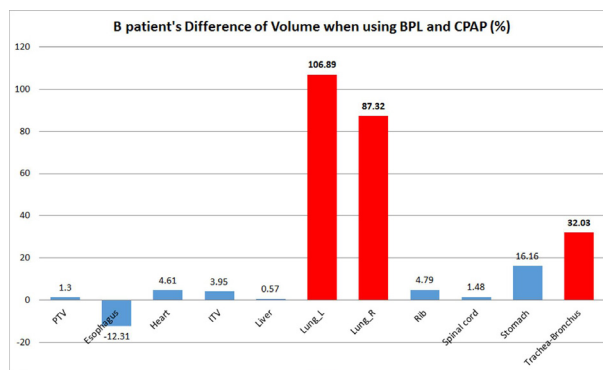


Fig. 7. B patient's Difference of Volume when using BPL and CPAP (%)

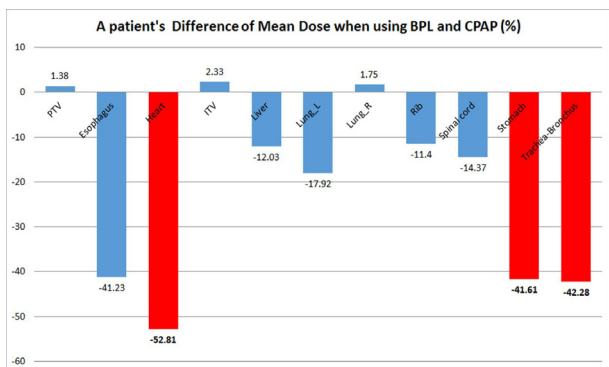


Fig. 6. A patient's Difference of Mean Dose when using BPL and CPAP (%)

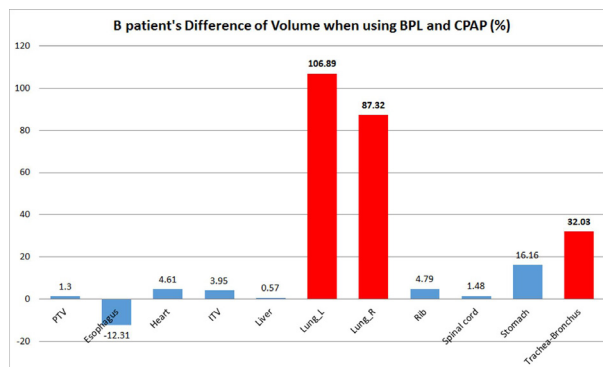


Fig. 8. B patient's Difference of Mean Dose when using BPL and CPAP (%)

치료중 촬영한 CBCT를 이용한 각방향의 직선거리 값과 평균거리 값과의 최대 차이는 A 환자의 경우 a방향에서 0.05 cm, b방향에서 0.05 cm, c방향에서 0.41 cm 났고,

(Table 9., Fig. 9.) B 환자의 경우 d방향에서 0.19 cm, e방향에서 0.49 cm, f방향에서 0.06 cm 차이가 났다. (Table 10., Fig. 10.)

Table 7. A patient's Comparison of Volume, Maximum dose and Mean dose of PTV and OAR

	Volume(cm ³)		Maximum Dose(cGy)		Mean Dose(cGy)	
	BPL	CPAP	BPL	CPAP	BPL	CPAP
PTV	24.7	20.2	6710.3	6742.5	6241.5	6327.9
Esophagus	35.3	34.7	618.3	425.1	103.8	61
Heart	657.8	656.8	848.8	669.4	110.2	52
ITV	6.7	3.6	6619.6	6696.7	6287.9	6434.3
Liver	919.6	970.6	834.5	1039.2	140.5	123.6
Lung(sum)	2496.1	3522.2	6330	6585.8	270.7	227
Lung_L	1473.5	2091.5	6330	6585.8	426.8	350.3
Lung_R	1022.6	1430.7	563.1	570.1	45.8	46.6
Rib	477.8	423.5	6472.4	6555.5	799	707.9
Spinal cord	50.2	43.1	628.6	629.9	65.4	56
Stomach	349.7	344.6	989.3	1088	157.4	91.9
Trachea-Bronchus	63.1	71.6	40.6	30	12.3	7.1

Table 8. B patient's Comparison of Volume, Maximum dose and Mean dose of PTV and OAR

	Volume(cm ³)		Maximum Dose(cGy)		Mean Dose(cGy)	
	BPL	CPAP	BPL	CPAP	BPL	CPAP
PTV	30.7	31.1	6652.2	6656.9	6250.1	6262.5
Esophagus	33.3	29.2	616.6	745	108.9	128.4
Heart	800.7	837.6	1266.7	1480.8	274.9	249.2
ITV	7.6	7.9	6540.2	6534.1	6284.6	6347
Liver	1162.4	1169	6545.1	6656.9	329.9	289
Lung(sum)	2244	4460.4	6349.7	6478.3	274.3	259.3
Lung_L	1314.2	2718.9	431	461.2	74.5	63
Lung_R	929.7	1741.5	6349.7	6478.3	556.7	565.8
Rib	557.6	584.3	5176.4	4186.4	691.6	693.1
Spinal cord	54.2	55	789.7	808.5	76.6	78.1
Stomach	659.1	765.6	204.4	33	22.8	12.7
Trachea-Bronchus	69	91.1	93.9	62.2	26	16.5

Table 9. A patient's the Difference between the straight distance value and the average distance value in each direction

	a Direction (180°)		b Direction (270°)		c Direction (0°)	
	Value	Difference	Value	Difference	Value	Difference
CBCT 1	0,18	-0,005	7,58	0,05	9,61	0,275
CBCT 2	0,23	0,045	7,48	-0,05	8,93	-0,405
CBCT 3	0,18	-0,005	7,53	0	9,21	-0,125
CBCT 4	0,15	-0,035	7,53	0	9,59	0,255
Average	0,185		7,53		9,335	

Table 10. B patient's the Difference between the straight distance value and the average distance value in each direction

(Unit in cm)

	d Direction (90°)		e Direction (180°)		f Direction (270°)	
	Value	Difference	Value	Difference	Value	Difference
CBCT 1	7,44	0,17	3,15	0,0575	1,17	-0,055
CBCT 2	7,08	-0,19	2,6	-0,4925	1,19	-0,0355
CBCT 3	7,15	-0,12	3,25	0,1575	1,27	0,045
CBCT 4	7,41	0,14	3,37	0,2775	1,27	0,045
Average	7,27		3,0925		1,225	

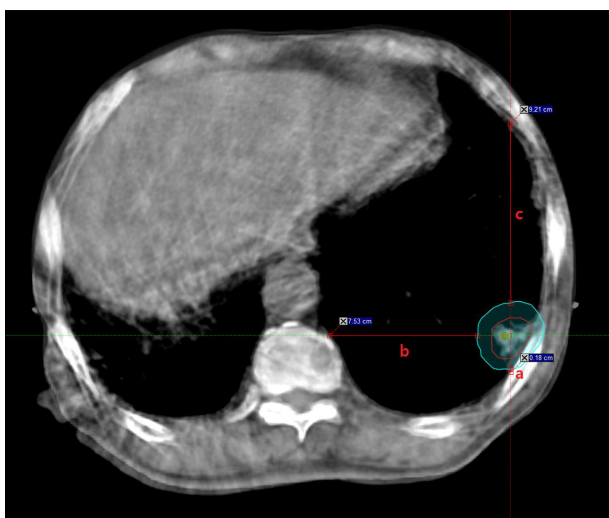


Fig. 9. Direction of a, b, c in CBCT of A patientT



Fig. 10. Direction of d, e, f in CBCT of B patient

고안 및 결론

이 연구의 목적은 폐에 SABR을 받는 환자들의 BPL과 CPAP를 이용한 치료계획의 비교를 통하여 호흡에 따른 종양의 움직임과 체적, 선량 변화를 확인하고 치료계획의

개선가능 여부를 알아보기 위함이었다.

BPL과 CPAP를 사용하여 얻은 치료계획은 모두 RTOG의 권고값을 따랐으며, HI 값과 CI 값도 큰 차이가 없었다. 그리고 환자들이 두 고정기구를 사용함에 있어서도 안정적이었다.

BPL의 사용은 호흡에 따른 종양의 움직임에 제어를 하는데 효과가 있다고 이전의 연구를 통하여 알려져 있다.⁽¹³⁾

그러나 본 연구를 통하여 CPAP 사용시 폐용적의 증가를 통해 심장, 기관과 기관지, 식도, 위 등의 OAR의 선량을 더 효과적으로 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 특히 A환자의 경우 심장의 평균 선량을 52.81%까지 감소시킬 수 있었다. (Table 7., Fig. 6.) 심장에 대한 낮은 선량의 피폭은 심각한 후발병 위험과 관련이 있어⁽¹⁴⁾ 심장의 방사선 피폭 부작용에 대한 많은 연구가 진행되고 있는데,^(15,16) CPAP를 통한 선량 감소는 긍정적인 효과로 보인다.

또한 CPAP 사용시 호흡에 따른 종양의 움직임 변화 폭이 모든 방향에서 BPL에 비해 작았으며, A환자의 Anterior-posterior 방향에서는 1.17 cm까지 종양의 움직임을 줄일 수 있었다. (Table 5., Fig. 3.) 이에 움직임 제한에 CPAP가 더 효과적으로 기여할 수 있다는 것을 확인하였다. 그리고 매 치료시 CBCT를 통하여 CPAP의 재현성과 물리적 지속성을 확인하였다.

또한 4D CT 촬영시와 치료시 보조 장치(Metronome)를 이용하여 일정한 호흡 주기를 유지하도록 하였는데, 이는 CPAP 사용과 함께 더욱 안정적인 호흡 주기를 유지할 수 있도록 기여하였다.

CPAP 사용을 통한 심장과 폐 등 OAR의 선량 감소가 임상적인 이익으로 이어진다는 것을 직접적으로 증명할 수는 없다. 그러나 많은 환자들이 방사선에 의한 추가적인 폐 손상의 위험을 받으며, 치료부위 외 피폭에 의해 차후 다른 치료를 받지 못하는 경우를 겪을 수 있는데,^(17, 18) 이러한 상황에서 정상적인 폐 기능과 기타 장기의 최소한의 피폭은 매우 중요하며, CPAP를 통해 얻은 이점이 방사선 치료 대상 환자 수를 증가시키고, 환자들의 치료 안정성을 향상시킬 수 있다.

본원의 CPAP 사용이 연구단계로 진행되어 대상 환자수가 적고 폐 종양의 위치가 다양하지 않다. 하지만 추후 방사선 치료에서의 CPAP 사용에 대해 국내의 정식 허가가 이루어진다면 더욱 다양한 부위에 적용할 수 있을 것이며, 선형 가속기 외에 중입자 가속기나 양성자 치료기와 같은 다른 치료기와의 결합을 통해 방사선 치료 효과를 개선시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Vansteenkiste J, De Ruyscher D, Eberhardt WE et al (2013) Early and locally advanced non-small-cell lung cancer (NSCLC): ESMO clinical practice guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol* 24(Suppl 6):vi89-vi98
2. Robert D, Timmerman MD, Brain D, et al: Stereotactic Body Radiation Therapy in Multiple Organ Sites. *Journal of Clinical Oncology* 25:947-52 (2007)
3. Timmerman R, Paulus R, Galvin J, Michalski J, Straube W, Bradley J, et al. Stereotactic body radiation therapy for inoperable early stage lung cancer. *JAMA*. 2010; 303: 1070±1076. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.261> PMID: 20233825
4. Ricardi U, Badellino S, Filippi AR. Stereotactic radiotherapy for early stage non-small cell lung cancer. *Radiat Oncol J*. 2015; 33: 57±65. <https://doi.org/10.3857/roj.2015.33.2.57> PMID: 26157674
5. Versteegen NE, Lagerwaard FJ, Hashemi SM et al (2015) Patterns of disease recurrence after SABR for early stage non-small-cell lung cancer: optimizing follow-up schedules for salvage therapy. *J Thorac Oncol* 10:1195-1200
6. Chi A, Nguyen NP, Komaki R. The potential role of respiratory motion management and image guidance in the reduction of severe toxicities following stereotactic ablative radiation therapy for patients with centrally located early stage non-small cell lung cancer or lung metastases. *Front Oncol* 2014;4:151.
7. Keall PJ, Mageras GS, Balter JM, et al. The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM task group 76. *Med Phys* 2006;33:3874-3900.

8. Goldstein JD, Lawrence YR, Appel S et al (2015) Continuous positive airway pressure for motion management in stereotactic body radiation therapy to the lung: a controlled pilot study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 93:391-399
9. Strollo PJ Jr., Sanders MH, Atwood CW. Positive pressure therapy. *Clin Chest Med* 1998;19:55-68.
10. Rappard S, Hickey J. Just the berries. Use of CPAP and BIPAP in acute respiratory failure. *Can Fam Physician* 2001;47:269-270.
11. O'Donoghue FJ, Catcheside PG, Jordan AS, et al. Effect of CPAP on intrinsic PEEP, inspiratory effort, and lung volume in severe stable COPD. *Thorax* 2002;57:533-539.
12. ROTG. Seamless phase I/II study of stereotactic lung radiotherapy (SBRT) for early stage, centrally located, non-small cell lung cancer (NSCLC) in medically inoperable patients. RTOG 0813. Philadelphia, PA: ROTG; 2014.
13. Rebecca Van Gelder, BAppSci., Shelley Wong, BAppSci., Andrew Le, BAppSci et al. Experience with an abdominal compression band for radiotherapy of upper abdominal tumours. *J Med Radiat Sci*. 2018 Mar; 65(1): 48-54.
14. Darby SC, Ewertz M, McGale P, et al. Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast cancer. *N Engl J Med* 2013; 368:987-998.
15. Chargari C, Riet F, Mazevet M, et al. Complications of thoracic radiotherapy. *Presse Med* 2013;42:e342-e351.
16. Beukema JC, van Luijk P, Widder J, et al. Is cardiac toxicity a relevant issue in the radiation treatment of esophageal cancer? *Radiother Oncol* 2015;114:85-90.
17. Thompson R, Giuliani M, Yap ML, et al. Stereotactic body radiotherapy in patients with previous pneumonectomy: Safety and efficacy. *J Thorac Oncol* 2014;9:843-847.
18. Trovo M, Minatel E, Durofil E, et al. Stereotactic body radiation therapy for re-irradiation of persistent or recurrent non-small cell lung cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2014;88:1114-1119.

Comparison and evaluation of treatment plans using Abdominal compression and Continuous Positive Air Pressure for lung cancer SABR

Department of Radiation Oncology, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea

Kim Dae Ho, Son Sang Jun, Mun Jun Ki, Park Jang Pil, Lee Je Hee

Purpose : By comparing and analyzing treatment plans using abdominal compression and The Continuous Positive Air Pressure(CPAP) during SABR of lung cancer, we try to contribute to the improvement of radiotherapy effect.

Materials & Methods : In two of the lung SABR patients(A, B patient), we developed a SABR plan using abdominal compression device(the Body Pro-Lok, BPL) and CPAP and analyze the treatment plan through homogeneity, conformity and the parameters proposed in RTOG 0813. Furthermore, for each phase, the X, Y, and Z axis movements centered on PTV are analyzed in all 4D CTs and compared by obtaining the volume and average dose of PTV and OAR. Four cone beam computed tomography(CBCT) were used to measure the directions from the center of the PTV to the intrathoracic contacts in three directions out of 0°, 90°, 180° and 270°, and compare the differences from the average distance values in each direction.

Result : Both treatment plans obtained using BPL and CPAP followed recommendations from RTOG, and there was no significant difference in homogeneity and conformity. The X-axis, Y-axis, and Z-axis movements centered on PTV in patient A were 0.49 cm, 0.37 cm, 1.66 cm with BPL and 0.16 cm, 0.12 cm, and 0.19 cm with CPAP, in patient B were 0.22 cm, 0.18 cm, 1.03 cm with BPL and 0.14 cm, 0.11 cm, and 0.4 cm with CPAP. In A patient, when using CPAP compared to BPL, ITV decreased by 46.27% and left lung volume increased by 41.94%, and average dose decreased by 52.81% in the heart. In B patient, volume increased by 106.89% in the left lung and 87.32% in the right lung, with an average dose decreased by 44.30% in the stomach. The maximum difference of A patient between the straight distance value and the mean distance value in each direction was 0.05 cm in the a-direction, 0.05 cm in the b-direction, and 0.41 cm in the c-direction. In B patient, there was a difference of 0.19 cm in the d-direction, 0.49 cm in the e-direction, and 0.06 cm in the f-direction.

Conclusion : We confirm that increased lung volume with CPAP can reduce doses of OAR near the target more effectively than with BPL, and also contribute more effectively to restriction of tumor movement with respiration. It is considered that radiation therapy effects can be improved through the application of various sites of CPAP and the combination with CPAP and other treatment machines.

▶ **Key words :** Lung cancer SABR, CPAP, abdominal compression device