

# 호흡동조방사선치료 시 Real Time Monitor와 Ventilator의 유용성 평가

서울성모병원 방사선종양학과, <sup>1</sup>의용공학과, <sup>2</sup>광양보건대학교 방사선과

조중훈 · 김병진 · 노시원 · 이현찬 · 장형준 · 김희남 · 송재훈<sup>1</sup> · 김영재<sup>2</sup>

**목적:** 호흡동조방사선치료 시 호흡에 따른 종양의 위치를 정확하게 파악하여 치료하기 위해서는 안정되고 일정한 호흡유지가 중요하다. 이에 본 연구에서 Real time monitor와 Ventilator를 이용하여 측정된 호흡유지방법을 소개하고 그 유용성을 평가하고자 한다.

**대상 및 방법:** 7명의 실험자를 대상으로 하여 Gate on time (Beam on time) 600초를 기준으로 실험자를 총 5개의 그룹 -자연 호흡, Monitor를 이용하여 유도한 호흡, Ventilator를 이용하여 유도한 호흡, Monitor와 Ventilator를 동시에 이용하여 유도한 호흡, 실험자 스스로 Real time monitor를 이용하여 주기적 Breath-hold 상태를 유지하는 호흡- 으로 분류 하였다. 분류 후 ANZAI 4D system을 이용하여 각각의 호흡신호를 획득 하였다. 호흡신호별 총 소요 시간을 비교하고 호흡주기 상의 Gate on/off time 평균값, 표준편차, 분산, 평균 호흡 주기의 횟수와 변화 등을 각각 분석하여 호흡의 안정성을 평가 하였다. 동시에 실험자들을 대상으로 설문조사를 실시하여 각 장치들의 의존성을 정성적으로 조사하였다.

**결과:** 5개 그룹의 호흡신호 편차변화를 비교하여 실험자의 각 호흡신호 안정성을 평가하였다. 그 결과 모든 실험자는 Gate on time 600초 동안 소요되는 시간이 Monitor와 Ventilator를 동시에 사용 했을 경우에 실험시간이 가장 짧게 걸렸고, 가장 안정된 호흡을 유지한 것으로 나타났다.

**결론:** 본 연구에서 Real time monitor와 Ventilator를 사용하여 호흡유도를 진행해본 결과 실험대상자들의 안정적인 호흡유지에 유용성이 있는 것으로 나타났다. 2개의 장비를 독립적으로 사용하였을 경우 보다 동시에 사용할 경우 호흡유지 안정도가 더 우수한 것으로 나타났다. Real time monitor와 Ventilator를 이용하여 환자의 호흡조건을 설정하여 환자에게 적용시킨다면 호흡조절방사선치료 시 치료의 정확도를 높일 수 있으리라 예상되며 동시에 치료시간도 단축될 것으로 사료된다. 특히 규칙적인 호흡조절이 가능한 환자의 경우 Real time monitor를 활용한 Breath-hold 방법의 활용은 치료시간 단축의 효과를 현저히 높일 수 있을 것이라 사료된다.

**핵심용어:** 호흡동조방사선치료, real time monitor, ventilator, 호흡신호

## 서 론

흉부나 복부 부위에 위치한 종양의 방사선치료 시 환자호흡에 의한 종양의 움직임은 정확한 치료선량분포에 오차를 발생시킬 수 있다. 폐 허부나 상복부와 같이 횡격막에 근접한 종양의 경우 호흡에 따라 약 5 cm까지 움직임 있는 것으로 보고되고 있다.<sup>1,2)</sup>

이에 ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements) report 62에서는 치료계획표적용적(Planning Target Volume, PTV) 설정 시 치료 부위가 방사선 조

사영역을 벗어나지 않도록 권고하고 있다.<sup>3)</sup> 이러한 움직임을 고려한 PTV 설정은 종양 내 충분한 치료선량을 부여 할 수 있지만 종양 주변 정상조직의 선량이 증가한다는 단점이 있다.

방사선치료는 정상조직의 장해를 최소화하고 종양의 치료 효과를 극대화하기 위해 3차원 입체조형치료(3D Conformal Therapy), 세기변조방사선치료(IMRT, Intensity Modulated Radiation Therapy), 영상유도방사선치료(IGRT, Image Guided Radiation Therapy), 호흡동조방사선치료(RGRT, Respiratory Gated Radiation Therapy)에 이르기까지 지속적인 발전을 거듭해오고 있다.

그 중 호흡동조방사선치료는 호흡에 따른 종양의 위치를 정확하게 파악하여 치료 대상 부위에만 집중적으로 조사할 수 있어서 치료의 정확도를 더욱 높일 수 있다. 이러한 호흡동조방사선치료를 시행하기 위해서는 치료 시 호흡에 따른

이 논문은 2013년 2월 15일 접수하여 2013년 3월 10일 채택되었음.  
책임저자 : 이현찬, 서울성모병원 방사선종양학과  
Tel: 02)2258-1512, Fax: 02)2258-1532  
E-mail: sagittal@cmcnu.or.kr  
송재훈, 서울성모병원 의공학과  
Tel: 02)2258-5573, Fax: 02)2258-5581  
E-mail: jhsongc.mc@gmail.com

중양 움직임을 정확하게 예측하는 것이 필요하고, 이는 안정적이고 일정한 호흡유지를 통해 가능해 질 수 있다. 다시 말해 호흡동조방사선치료 시 정확한 치료와 치료 시간 단축을 위해서는 일정한 호흡유지가 필수적이다.<sup>10)</sup>

그러나 긴 치료 시간 동안 환자 스스로 호흡을 일정하게 유지하는데 많은 어려움이 있다. 이에 환자의 호흡을 일정하게 유지할 수 있도록 Audio coaching system, Head-mounted display goggle 등과 같은 장치, 장비들이 고안되어 사용되고 있다.<sup>4-9)</sup> 그러나 개개인의 호흡 특성은 매우 다양하여 정형화된 호흡 패턴으로는 편안한 호흡 유지에 어려움이 있다.

이에 본 연구에서는 환자의 다양한 호흡패턴을 재현할 수 있는 Ventilator와 본인의 호흡신호를 실시간으로 확인 할 수 있는 Real time monitor를 이용하여 청각, 촉각, 시각의 조합이 호흡동조치로 시 일정한 호흡유지에 도움이 되는지 객관적으로 평가 해 보고자 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 실험 대상 및 재료

본원의 방사선치료용 선형가속기(ARTISTE MV, SIEMENS,

Germany)와 연동되는 호흡연동 추적시스템(ANZAI 4D system)을 이용하여 호흡동조방사선치료의 조건을 구성하였다. 일반인 실험자 7명을 대상으로 인공호흡기(Servo Ventilator 300, SIEMENS, Germany)와 Real time monitor (LCD 10" Monitor)를 추가적으로 구성하여 다양한 호흡신호를 측정하였다.

이때, 인공호흡기의 흡기와 호기 때 나타나는 가스 압력에 의한 소리를 Amplifier를 이용하여 실험자가 들을 수 있게 설치하였고, 산소마스크 대신 Balloon을 장착하여 실험자 양손에 위치시켰다.

### 2. 실험 방법

#### 1) 압력 조절형 인공호흡기(Pressure-controlled ventilator)의 사용(Fig. 1A)

압력 조절형 인공호흡기는 정해진 압력의 가스가 전달되면 흡기가 끝나고 수동적인 호기가 뒤따르게 된다. 아주 높은 압력이 걸리지 않는 한 전달되는 양은 일정하게 유지된다. 흡기 시간은 가스가 전달되는 속도를 조정함으로써 결정되며 가스가 전달되는 속도가 빠를수록 흡기시간은 짧아진다. 반대로 가스 전달속도가 느리면 느릴수록 흡기 시간은 길어지게 된다. 따라서 흡기 시간이 결정되고 분당 호흡수가

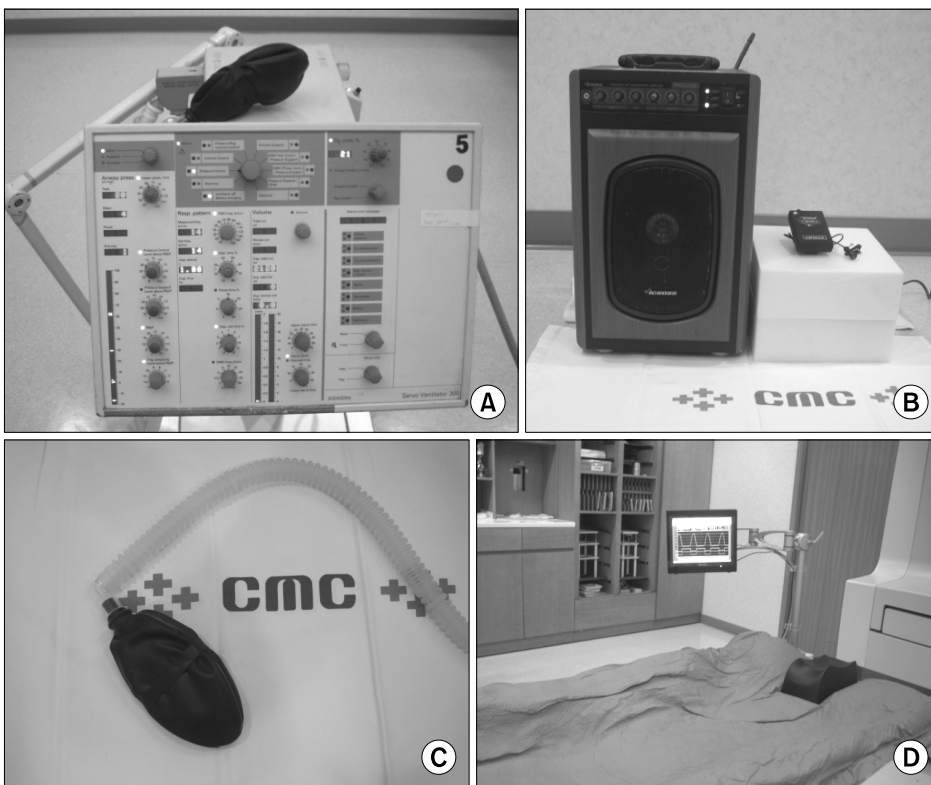


Fig. 1. (A) Ventilator settings for patients respiratory conditions. (B) Amplifier and MIC for application of auditory feedback for the patient respiration. (C) The balloon ball which is applied for tactile sense feedback for the patient respiration. Balloon ball replaced O<sub>2</sub> mask in ventilator. (D) Real time monitor for application of visual feedback for the patient respiration displayed respiratory signal came from ANZAI 4D system in control room.

결정되면 그 나머지 시간은 호기 시간이 된다. 이러한 인공 호흡기를 사용하면 분당 호흡수와 흡기시간을 세밀하게 조절할 수 있으며 개개인의 호흡특성에 맞는 조건 설정이 가능하다.

일정한 자극을 주는 것이 호흡유지에 도움이 될 것으로 생각되어 흡기와 호기 때 나타나는 가스 압력에 의한 소리를 증폭시켜 실험자가 들을 수 있게 하고(Fig. 1B), 산소마스크 대신 Balloon을 장착하여 실험자가 양손으로 Balloon을 감싸 잡도록 하여 청각과 촉각을 통하여 흡기와 호기를 알 수 있게 하였다(Fig. 1C).

2) Real time monitor의 사용

ANZAI 4D system의 AZ-733V gating program을 치료 자세 상태의 실험자 얼굴 전면에 위치한 Monitor에 출력되게 한 후 본인이 호흡하는 신호를 볼 수 있게 하였다. 실시간으로 본인이 호흡하는 신호를 볼 수 있게 함으로써 호흡의 주기, Gate on/off, 치료 진행시간 등을 실험자 스스로가 확인하며 일정한 호흡을 유지하도록 하였다(Fig. 1D).

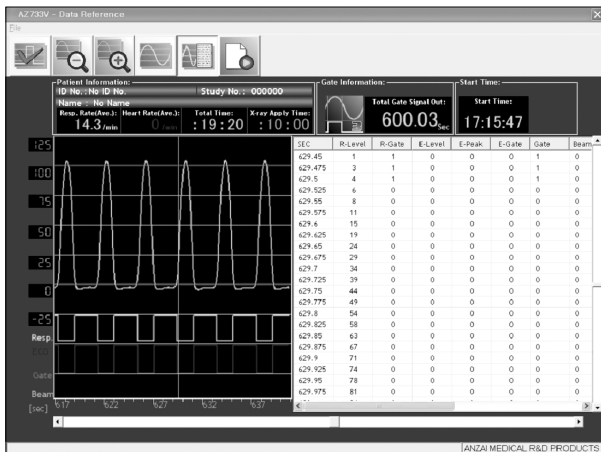


Fig. 2. ANZAI 4D system's AZ-733V program. Respiratory signal and gated signal which were acquired in ANZAI 4D system.

3) 호흡 주기의 적용

실험자 7명의 평소 호흡 패턴을 확인하고 각 실험자의 분당 호흡수와 흡기시간 등의 조건을 Ventilator에 설정하였다. 이 때 코로만 숨을 쉴 경우 실험 진행 중 시간의 흐름에 따라 잔 호흡이 생겨 위상이 높아지는 문제점이 발생할 수 있어 흡기 시 코로, 호기 시 입으로 숨을 쉬는 방법을 이용하였다.

4) 설정된 호흡주기의 안정성 확인

실험자가 Ventilator 상의 분당 호흡수와 흡기시간 등 설정한 조건으로 호흡을 한 후 안정된 호흡유지가 가능한지 확인하기 위하여 5분 단위로 2회 관찰하였다. 이 때 AZ-733V gating program을 이용하여 나타난 실험자의 호흡 주기와 설정된 Ventilator의 호흡주기의 일치성을 확인하고 두 호흡 주기의 수치 변화 폭이 클 경우 편안한 상태의 호흡이 아닌 것으로 판단, 호흡조건을 재검토하고 다시 설정 하였다.

5) 실험군의 설정

- ① 실험자 스스로 안정된 호흡을 유지하는 자연호흡 방법
- ② Real time monitor를 연결하여 실험자 스스로 호흡신호를 보면서 안정된 호흡을 유지 하는 방법
- ③ 해당 실험자의 조건을 Ventilator에 입력 후 Amplifier를 통해 흡기와 호기 때 발생하는 음향을 증폭시키고, Balloon을 이용하여 실험자가 들숨과 날숨을 촉각으로 느끼게 하여 호흡을 유도 하는 방법
- ④ Real time monitor와 Ventilator를 동시에 사용하여 안정된 호흡을 유도 하는 방법
- ⑤ Real time monitor를 이용하여 환자 스스로 호흡하며 Breath-hold 하는 방법

6) 호흡 신호 데이터 획득

각 실험자에게서 600초의 Gate on time (Beam on time)을 기준으로 5가지 실험군의 호흡신호 데이터를 ANZAI 4D system을 이용하여 획득하였다. 실험 시작 전 해당 실험 장비의 원리를 충분히 이해시키는 작업을 수행하였다. 각 호흡

Table 1. Total time (sec)

| Device | Experimenter |         |         |         |          |          |          |
|--------|--------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
|        | I            | II      | III     | IV      | V        | VI       | VII      |
| A      | 1,264        | 1,299.1 | 2,011.2 | 1,076.6 | 1,243.05 | 2,033.2  | 1,834.05 |
| B      | 994.78       | 1,680.5 | 2,108.1 | 972.7   | 1,432.12 | 1,692.85 | 1,328.35 |
| C      | 827.2        | 1,283.4 | 2,307.2 | 1,088.8 | 1,104.7  | 1,019.5  | 1,108.65 |
| D      | 790.5        | 1,238.2 | 1,015.2 | 868.45  | 1,012.75 | 1,044.05 | 988.55   |
| E      | 809.3        | 897.25  | 815.6   | 802.75  | 789.1    | 885.65   | 769.65   |

Total time, it means the time to take all respiration to exposure radiation in 600 sec. A: free breathing, B: breathing of visual feedback, C: breathing of auditory-tactile sense feedback, D: breathing of all device feedback, E: breath-hold.

신호 획득 시 실험자의 피로감이 호흡신호에 영향을 주지 않도록 30분간 휴식을 취하였다. 이 때 실험자들에게 ANZAI 4D system의 특성 상 신호 검출이 용이한 복식호흡을 하도록 유도하였다.

7) 호흡 신호의 분석

치료 시 호흡에 의한 종양의 움직임 최소화 하고 신호를 객관적으로 평가할 수 있을 것으로 판단되는 ‘호기 20%~흡기 10%’를 적용하였다.

분석은 ANZAI 4D system의 AZ-733V gating program 에 기록된 data를 이용하였으며 0.025초 단위를 기준으로 하였다(Fig. 2).

동일한 실험군의 데이터별 총 소요 시간(Total time)을 비교하고 각 주기의 Gate on/off time의 평균값(mean), 표준편차(standard deviation), 분산(variation value), 분당 호흡주기(Respiration rate)의 횟수와 변화, Beam-on된 횟수 등을 각각 분석하였다.

Table 2. Gate on time (beam on time)

|     |   | Avg. time (sec) | SD   | Variance | No. of beam (ea) |
|-----|---|-----------------|------|----------|------------------|
| I   | A | 2.04            | 1.19 | 1.42     | 294              |
|     | B | 3.7             | 0.72 | 0.53     | 162              |
|     | C | 3.4             | 0.6  | 0.35     | 176              |
|     | D | 3.57            | 0.39 | 0.15     | 168              |
|     | E | 10.71           | 2.7  | 7.3      | 58               |
| II  | A | 1.63            | 0.45 | 0.2      | 368              |
|     | B | 1.3             | 0.35 | 0.13     | 461              |
|     | C | 1.65            | 0.12 | 0.01     | 364              |
|     | D | 1.66            | 0.2  | 0.04     | 361              |
|     | E | 11.11           | 2.66 | 7.1      | 54               |
| III | A | 1.44            | 0.41 | 0.17     | 417              |
|     | B | 0.97            | 0.32 | 0.1      | 618              |
|     | C | 0.9             | 0.3  | 0.09     | 665              |
|     | D | 2.31            | 0.33 | 0.11     | 260              |
|     | E | 10.71           | 4.24 | 17.95    | 56               |
| IV  | A | 2.94            | 0.57 | 0.32     | 204              |
|     | B | 4.11            | 0.76 | 0.58     | 146              |
|     | C | 3.26            | 0.44 | 0.2      | 184              |
|     | D | 4.84            | 0.29 | 0.08     | 124              |
|     | E | 10.71           | 2.7  | 7.3      | 57               |
| V   | A | 1.58            | 0.89 | 0.8      | 379              |
|     | B | 1.2             | 0.69 | 0.47     | 502              |
|     | C | 1.96            | 0.55 | 0.3      | 306              |
|     | D | 2.07            | 0.17 | 0.03     | 290              |
|     | E | 10.71           | 2.19 | 4.78     | 57               |
| VI  | A | 1.36            | 0.42 | 0.18     | 441              |
|     | B | 1.44            | 0.34 | 0.11     | 417              |
|     | C | 2.7             | 0.37 | 0.14     | 222              |
|     | D | 2.42            | 0.26 | 0.07     | 248              |
|     | E | 7.89            | 3.45 | 11.91    | 76               |
| VII | A | 1.58            | 0.59 | 0.35     | 379              |
|     | B | 2.52            | 0.64 | 0.4      | 238              |
|     | C | 2.83            | 0.41 | 0.17     | 212              |
|     | D | 3.125           | 0.39 | 0.15     | 192              |
|     | E | 11.11           | 2.34 | 5.49     | 54               |

A: free breathing, B: breathing of visual feedback, C: breathing of auditory-tactile sense feedback, D: breathing of all device feedback, E: breath-hold.

Table 3. Gate off time

|     |   | Avg. time (sec) | SD   | Variance |
|-----|---|-----------------|------|----------|
| I   | A | 2.1             | 0.64 | 0.41     |
|     | B | 2.1             | 0.29 | 0.08     |
|     | C | 1.42            | 0.44 | 0.19     |
|     | D | 0.97            | 0.2  | 0.04     |
|     | E | 3.27            | 1.4  | 1.96     |
| II  | A | 1.83            | 0.3  | 0.09     |
|     | B | 2.28            | 1.4  | 1.96     |
|     | C | 1.78            | 0.14 | 0.02     |
|     | D | 1.77            | 0.2  | 0.04     |
|     | E | 5.28            | 5.3  | 28.1     |
| III | A | 3.26            | 2.13 | 4.54     |
|     | B | 2.4             | 0.89 | 0.8      |
|     | C | 2.53            | 0.89 | 0.79     |
|     | D | 1.46            | 0.38 | 0.14     |
|     | E | 3.38            | 3.07 | 9.44     |
| IV  | A | 2.21            | 0.32 | 0.1      |
|     | B | 2.38            | 0.27 | 0.07     |
|     | C | 2.62            | 0.5  | 0.2      |
|     | D | 1.78            | 0.18 | 0.03     |
|     | E | 2.81            | 0.59 | 0.35     |
| V   | A | 1.62            | 1.21 | 1.47     |
|     | B | 1.64            | 0.44 | 0.19     |
|     | C | 1.59            | 0.92 | 0.85     |
|     | D | 1.36            | 0.19 | 0.04     |
|     | E | 3.03            | 3.28 | 10.79    |
| VI  | A | 3.28            | 4.92 | 24.25    |
|     | B | 2.84            | 1.86 | 3.45     |
|     | C | 1.73            | 1.83 | 3.36     |
|     | D | 1.72            | 0.29 | 0.09     |
|     | E | 3.51            | 3.85 | 14.83    |
| VII | A | 3.14            | 0.46 | 0.21     |
|     | B | 2.93            | 0.6  | 0.36     |
|     | C | 2.26            | 0.44 | 0.19     |
|     | D | 1.92            | 0.39 | 0.15     |
|     | E | 2.48            | 1.68 | 2.82     |

A: free breathing, B: breathing of visual feedback, C: breathing of auditory-tactile sense feedback, D: breathing of all device feedback, E: breath-hold.

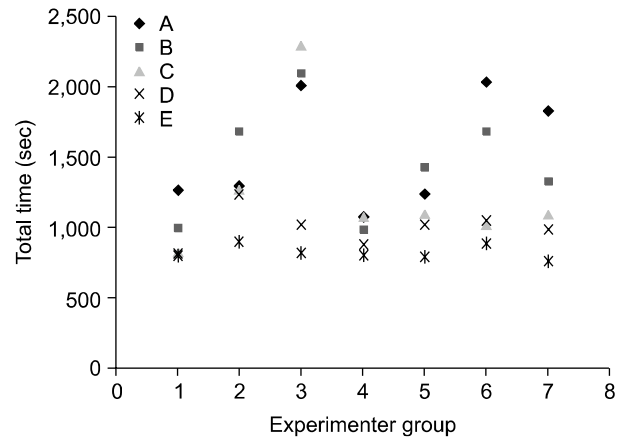
**Table 4.** Respiratory cycle

|     |   | Avg. Resp. rate (/min) | SD   | Variance | Max. RPM (ea) | Min. RPM (ea) |
|-----|---|------------------------|------|----------|---------------|---------------|
| I   | A | 14                     | 1.83 | 3.36     | 17            | 11            |
|     | B | 10.5                   | 1.16 | 1.35     | 13            | 9             |
|     | C | 12.14                  | 0.64 | 0.41     | 13            | 11            |
|     | D | 12.88                  | 0.6  | 0.36     | 14            | 12            |
|     | E | 4.86                   | 0.83 | 0.69     | 6             | 4             |
| II  | A | 17.27                  | 0.62 | 0.38     | 18            | 16            |
|     | B | 16.93                  | 1.58 | 2.49     | 20            | 14            |
|     | C | 17.3                   | 0.46 | 0.21     | 18            | 17            |
|     | D | 17.42                  | 0.49 | 0.24     | 18            | 17            |
|     | E | 4.88                   | 0.78 | 0.61     | 6             | 4             |
| III | A | 13.91                  | 0.78 | 0.61     | 15            | 13            |
|     | B | 17.97                  | 3.53 | 12.46    | 23            | 8             |
|     | C | 18.3                   | 0.65 | 0.43     | 19            | 17            |
|     | D | 15.93                  | 0.24 | 0.06     | 16            | 15            |
|     | E | 5                      | 0.68 | 0.46     | 6             | 4             |
| IV  | A | 11.78                  | 0.92 | 0.84     | 14            | 11            |
|     | B | 9.5                    | 1.12 | 1.25     | 12            | 9             |
|     | C | 10.25                  | 0.43 | 0.19     | 11            | 10            |
|     | D | 9                      | 0    | 0        | 9             | 9             |
|     | E | 4.43                   | 1.05 | 1.1      | 6             | 3             |
| V   | A | 18.82                  | 4.26 | 18.15    | 27            | 12            |
|     | B | 21.33                  | 4.94 | 24.39    | 33            | 15            |
|     | C | 17.78                  | 0.63 | 0.4      | 19            | 17            |
|     | D | 17.5                   | 0.5  | 0.25     | 18            | 17            |
|     | E | 5.83                   | 1.57 | 2.47     | 8             | 4             |
| VI  | A | 15.85                  | 2.21 | 4.9      | 21            | 12            |
|     | B | 14.93                  | 1.16 | 1.35     | 17            | 13            |
|     | C | 13.89                  | 0.57 | 0.32     | 15            | 13            |
|     | D | 14.1                   | 0.3  | 0.09     | 15            | 14            |
|     | E | 6.14                   | 1.36 | 1.84     | 9             | 5             |
| VII | A | 12.73                  | 1.12 | 1.26     | 15            | 11            |
|     | B | 10.82                  | 1.34 | 1.79     | 13            | 9             |
|     | C | 11.78                  | 0.42 | 0.17     | 12            | 11            |
|     | D | 11.88                  | 0.33 | 0.11     | 12            | 11            |
|     | E | 4.67                   | 0.75 | 0.55     | 6             | 4             |

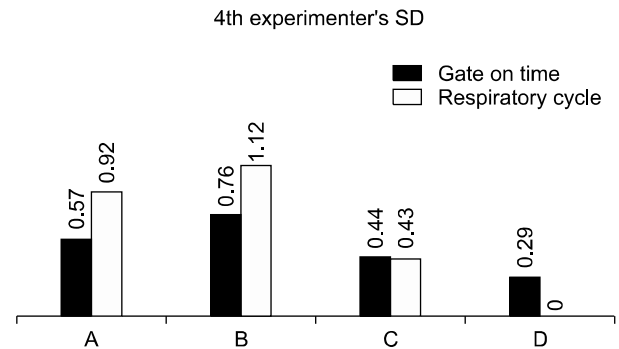
A: free breathing, B: breathing of visual feedback, C: breathing of auditory-tactile sense feedback, D: breathing of all device feedback, E: breath-hold.

### 결 과

7명의 실험자를 대상으로 각 그룹의 호흡신호를 측정된 결과는 Table 1~4와 같다. 여기서 표준편차와 분산 값이 적을 수록 호흡신호와 호흡패턴이 안정하다는 것을 의미한다. 모든 실험자에서 Real time monitor와 Ventilator를 동시에 사용하였을 때 총 소요 시간이 가장 짧게 나타났다(Table 1, Fig. 3). 2, 3, 4, 5번의 실험자는 Monitor와 Ventilator 중 한 가지



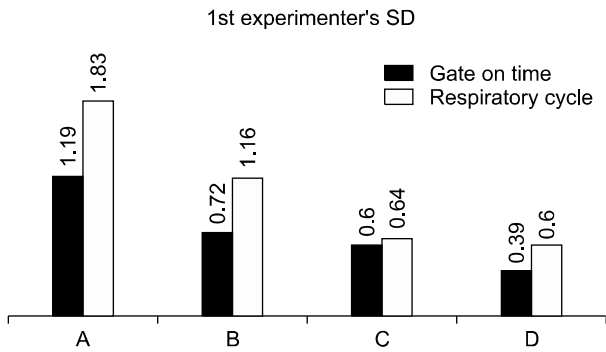
**Fig. 3.** Total times for the seven group of experimenters. Total time, it means the time to take all respiration to exposure radiation in 600 sec.



**Fig. 4.** Standard deviation of gate-on-time and respiratory-cycle for 4th experimenter. A: free breathing, B: breathing of visual feedback, C: breathing of auditory-tactile sense feedback, D: breathing of all device feedback.

만 사용했을 때 자유호흡보다 소요시간이 증가한 경우도 나타났다. Gate on time의 표준편차 비교 시 소요시간은 증가하지만 치료 시(Beam on time)에는 안정한 호흡신호를 나타냈음을 알 수 있다(Table 2).

호흡유지에 Monitor만 사용했을 경우 7명 중 3명의 실험자에서 자유호흡을 했을 때보다 불안정한 호흡패턴이 나타났다. 이는 2, 4, 7번 실험자의 호흡주기의 표준편차가 자연 호흡보다 큰 것으로 확인 할 수 있다(Fig. 4). 그러나 Ventilator를 사용하였을 경우에는 모든 실험자에서 안정된 호흡신호와 호흡패턴을 보였다. 안정된 호흡을 유지하기 위해서는 Monitor보다 Ventilator가 더 유용함을 알 수 있었다. 특히 4번 실험자의 경우 Real time monitor와 Ventilator를 동시에 사용했을 경우 분당 호흡주기의 변화가 실험 내 일정하게 나타났다(Table 4, Fig. 4).



**Fig. 5.** Standard deviation of gate-on-time and respiratory-cycle for 1st experimenter. A: free breathing, B: breathing of visual feedback, C: breathing of auditory-tactile sense feedback, D: breathing of all device feedback.

대부분의 실험자에게서 Monitor나 Ventilator를 사용했을 때 자연호흡보다 비교적 안정된 호흡신호와 주기가 나타났으며, Gate on/off time과 호흡주기의 표준편차를 서로 비교해보면 다른 실험군에 비해 Monitor와 Ventilator를 동시에 사용했을 때 호흡 안정성이 높게 나타났다(Table 2, 3, Fig. 5).

한편, 실험자 스스로 Breath-hold 한 호흡에서 대부분의 실험자들의 Gate on time은 평균 10초 이상이었으며 총 소요 시간도 다른 실험군에 비해 현저히 줄어들었다. ANZAI 4D system의 gate on time 기준시간은 11.95초로 그 이상 신호가 발생되어도 치료가 진행되지 않는다. 그 후 다시 안정된 호흡주기가 뒤따르면 Gate on signal이 다시 발생되며 Beam이 전달되게 된다.

위 실험 결과를 종합적으로 살펴봤을 때 실험자에게 Gate on time 600초 동안 위 2가지 장비를 모두 사용했을 경우에 총 소요 시간이 가장 짧았으며 그 시간동안 가장 안정된 호흡을 유지했음을 알 수 있다.

### 고안 및 결론

호흡동조방사선치료는 종양 내 치료 선량을 집중할 수 있을 뿐 아니라 정상조직을 최대한 보호할 수 있는 최신 치료 기법이다. 이를 시행하기 위해서는 치료 시 종양 움직임을 정확히 예측하고 이 움직임을 안정적으로 유지하는 것이 무엇보다 중요하다. 종양의 움직임을 예측하여 정확한 조사를 시행하는 것은 종양조직에 최대의 선량을 부여하고 동시에 정상조직에는 최소의 선량을 부여하여 치료효과를 높일 수 있다. 이와 같은 이유로 본 연구에서 Real time monitor와 Ventilator를 사용하여 호흡유도를 진행해본 결과 실험대상

자들의 호흡의 안정성 및 유지에 유용성이 있는 것으로 나타났다. 아무런 보조 장비 없이 일반적인 호흡교육만 이루어진 후 실험자 스스로 안정된 호흡을 유지하게 하였을 경우 막연하게 진행되었던 측정시간이 위의 2가지 장비를 동시에 사용함으로써 안정적인 심리상태를 나타낼 수 있었고 결과적으로 편안한 호흡을 유지할 수 있었던 것으로 보인다. 이렇게 호흡을 일정하게 유지할 수 있다는 것은 치료 시간을 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 예측 불가능한 종양의 움직임을 최소화 할 수 있으며 그로인해 치료효과에 긍정적인 도움이 될 것으로 생각된다.

본원에서 교육용으로 사용되어지는 Ventilator와 Real time monitor를 이용한 호흡유도방식으로 고가의 장비를 대체할 수 있으며 이를 통해 호흡동조치료 시 안정된 호흡유지가 가능함으로써 환자들의 치료효과에 도움이 클 것으로 예상된다. 실험 후 실험자들의 설문조사결과에서 청각, 촉각, 시각적으로 제시한 조건에서 실험자 개인마다 의존하는 방법의 차이가 나타난 만큼 의존성이 더 큰 보조 장치에 대해 그에 맞는 교육이 필요한 점도 고려해야 될 부분으로 나타났다.

Stevens 등은 자발적 Breath-hold 방법이 폐암 환자에게 적용하기 어려울 뿐만 아니라 치료 시 불편을 초래하며 Breath-hold 방법을 수행할 경우에는 호흡을 도와줄 장비의 필요성을 언급하고 있다.<sup>11)</sup> 따라서 본 연구에서 적용한 Real time monitor를 호흡조절이 용이한 환자군을 대상으로 적용한다면 Breath-hold 방법을 이용할 수 있는 가능성을 높일 수 있을 것으로 예상되며 그에 따른 호흡동조방사선치료 시 활용도가 높을 것으로 생각된다.<sup>4,9,11)</sup>

본 연구는 일반인을 대상으로 실험하였기 때문에 실제 고령의 환자군에게 적용하기 위해서는 모의치료 전에 보다 심도 깊은 호흡 교육이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한 실제 환자를 대상으로 모의치료(Simulation) 시와 호흡동조방사선치료 시 육안적종양체적(GTV, Gross tumor volume)의 위치 재현성 확인이 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. Chen QS, Weinhaus MS, Deibel FC, et al.: Fluoroscopic study of tumor motion due to breathing: facilitating precise radiation therapy for lung cancer patients. *Med Phys* 2001; 28:1850-1856
2. Verellen D, Soete G, Linthout N, et al.: Quality assurance of a system for improved target localization and patient set-up that combines real-time infrared tracking and stereoscopic X-ray imaging. *Radiotherapy and Oncology* 2003;67:

- 129-141
3. International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, recording and reporting photon beam therapy (supplement to ICRU report 50). ICRU Report 62. Bethesda, MD: International Commission on Radiation Units and Measurements; 1999
  4. Nadine L, Samuel B, Iwein V, et al.: Treatment delivery time optimization of respiratory gated radiation therapy by application of audio-visual feedback. *Radiotherapy and Oncology* 2009;91:330-335
  5. George R, Chung TD, Vedam SS, et al.: Audio-visual biofeedback for respiratorygated radiotherapy: impact of audio instruction and audio-visual biofeedback on respiratory-gated radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006;65:924-933
  6. Dawson LA, Brock KK, Kazanijan S, et al.: The reproducibility of organ position using active breathing control (ABC) during liver radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;51:1410-1421
  7. 신은혁, 박희철, 한영이 등: 호흡연습장치를 적용한 호흡교정법의 영향 평가. *대한방사선종양학회지* 2008;26:181-188
  8. Guckenberger M, Krieger T, Richter A, et al.: Potential of image-guidance, gating and real-time tracking to improve accuracy in pulmonary stereotactic body radiotherapy. *Radiotherapy and Oncology* 2009;91:288-295
  9. Berson AM, Emery R, Rodriguez L, et al.: Clinical experience using respiratory gated radiation therapy: comparison of free-breathing and breath-hold techniques. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2004;60:419-426
  10. Case RB, Sonke JJ, Moseley DJ, et al.: Inter- and intra-fraction variability in live position in non-breath hold stereotactic body radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2009;75:302-308
  11. Stevens CW, Munden RF, Forster KM, et al.: Respiratory-driven lung tumor motion is independent of tumor size, tumor location and pulmonary function. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;51:62-68

Abstract

## Utility Estimation of the Application of Auditory-Visual-Tactile Sense Feedback in Respiratory Gated Radiation Therapy

Jung Hun Jo, Byeong Jin Kim, Shi Won Roh, Hyeon Chan Lee,  
Hyeong Jun Jang, Hoi Nam Kim, Jae Hun Song<sup>1</sup>, Young Jae Kim<sup>2</sup>

Departments of Radiation Oncology, <sup>1</sup>Biomedical Engineering, Seoul St. Mary's Hospital, Seoul,  
<sup>2</sup>Department of Radiological Technology, Gwang Yang Health Collage, Gwangyang, Korea

**Purpose:** The purpose of this study was to evaluate the possibility to optimize the gated treatment delivery time and maintenance of stable respiratory by the introduction of breath with the assistance of auditory-visual-tactile sense.

**Materials and Methods:** The experimenter's respiration were measured by ANZAI 4D system. We obtained natural breathing signal, monitor-induced breathing signal, monitor & ventilator-induced breathing signal, and breath-hold signal using real time monitor during 10 minutes beam-on-time. In order to check the stability of respiratory signals distributed in each group were compared with means, standard deviation, variation value, beam\_time of the respiratory signal.

**Results:** The stability of each respiratory was measured in consideration of deviation change studied in each respiratory time lapse. As a result of an analysis of respiratory signal, all experimenters has showed that breathing signal used both Real time monitor and Ventilator was the most stable and shortest time.

**Conclusion:** In this study, it was evaluated that respiratory gated radiation therapy with auditory-visual-tactual sense and without auditory-visual-tactual sense feedback. The study showed that respiratory gated radiation therapy delivery time could significantly be improved by the application of video feedback when this is combined with audio-tactual sense assistance. This delivery technique did prove its feasibility to limit the tumor motion during treatment delivery for all patients to a defined value while maintaining the accuracy and proved the applicability of the technique in a conventional clinical schedule.

---

**Key words:** respiratory gated radiation therapy, real time monitor, ventilator, respiratory signal