

## 4D CT 영상 재구성 시 정확한 위상 변환을 위한 호흡 신호 분석 프로그램 개발

\*가톨릭대학교 의과대학 의공학교실, †전남대학교 의과대학 방사선종양학교실

박혜진\* · 정원균\* · 윤제웅\* · 송주영† · 서태석\*

방사선 치료 시 환자 호흡에 의한 종양부위와 주변 장기 움직임의 영향을 줄이기 위하여 일반적으로 환자의 복부 위에 외부 표식자를 두고 환자의 호흡과 복부의 움직임과의 상관관계를 통하여 호흡신호를 얻는다. 이를 기반으로 하여 안정된 호흡 신호의 일정한 부분에만 방사선이 조사되도록 하는 방사선 치료 방법들에 관한 많은 연구들이 수행되고 있고 임상에서 활용되고 있다. 하지만 이러한 호흡 연동 방사선 치료 시 진폭 기반 방사선 치료 방법은 환자의 호흡 신호의 안정성에 한계가 있기 때문에 위상 기반 방사선 치료 방법이 선호 되고 있다. 본 연구에서는 위상 기반 호흡 연동 방사선 치료 시 갑작스럽게 발생할 수 있는 환자의 불규칙한 호흡 신호의 적합성을 분석하고, 호흡 신호의 위상을 재구성하는 프로그램을 개발하였다. 다양한 불규칙한 호흡 패턴을 임상 실험 지원자를 통하여 얻은 후, 방사선 조사 구간과 직접적인 연관이 있는 위상 변환에 큰 영향을 주는 인자들을 프로그램을 통하여 분석하였다. 이후 자체 개발 알고리즘을 통하여 불규칙한 신호를 제거하여 위상 변환에 있어 정확도를 향상 시키도록 하였다. 본 연구는 기존의 RPM 시스템의 위상 변환을 통한 이미지 재구성 및 방사선 전달의 정확도를 향상시킴과 동시에, 환자의 호흡 신호 분석에 있어 유용한 도구로 활용될 것으로 생각된다. 또한 이를 바탕으로 프로그램을 이용하여 추후 4D CT 영상 개선여부를 팬텀 연구 또는 임상 실험을 통해 확인할 예정이다.

**중심단어:** 호흡연동 방사선치료, 위상 기반 방사선 치료, 4차원 전산화단층촬영(CT) 모의치료

### 서 론

영상유도 방사선 치료 방법에는 움직이는 종양을 추적하여 방사선이 조사되도록 치료하는 병소 추적 방사선 치료(tumor tracking radiation therapy) 방법과 환자의 호흡을 이용하여 안정된 일정 영역에만 방사선을 조사하여 치료하는 호흡 연동 방사선 치료(gated radiation therapy) 방법이 있다. 호흡 연동 방사선 치료 시 환자 호흡에 의한 종양부위와 주변 장기 움직임의 영향을 줄이기 위하여 영상유도 방사선 치료에 관한 많은 연구들이 수행되어 왔다.<sup>1)</sup> 종양부위 및 주변장기 움직임을 줄이기 위해 보통 환자 호흡을

일정하게 조절하여 방사선을 조사하게 하는 능동적 호흡 조절(active breathing control)과 깊이 숨을 들이마신 후 숨을 참도록 조절하여 방사선을 조사하게 하는 DIBH (deep inspiration breath-hold) 방법들이 사용되어 지고 있다. 하지만 환자의 호흡을 조절하는 방법은 환자의 상태가 좋지 않거나 특히 컨디션이 좋지 않은 폐암 환자의 경우에는 적용하기 어렵기 때문에 적용이 제한되는 단점이 있다. 따라서 최근에는 환자가 자유롭게 호흡을 하면서 호흡 주기 내 안정된 일정 영역에만 방사선을 조사하는 방사선 치료 방법이 많이 쓰이는데, 이는 호흡 신호의 진폭을 기반으로 하는 방식(amplitude-based gating)과 위상을 기반으로 하는 방식(phase-based gating)으로 구분된다. 이러한 호흡 신호로부터 위상을 변환하여 4차원 전산화단층촬영(4D CT) 모의치료를 통하여 영상을 재구성하기 이전에, 부적절한 호흡 신호를 제거하여 영상의 질을 높이고, 또한 수정된 호흡신호를 기반으로 적합한 위상에서의 방사선량을 전달하는 것은 영상 유도 방사선 치료에 있어서 매우 중요하다. 지금까지의 많은 연구에 따르면, 진폭 기반 방법은 내부 장기의 움직임과 외부 호흡 신호와의 관계에 있어서 위상기반에 비

이 논문은 교육과학기술부 원자력기술개발사업(과제번호 20706000 007-08M0600-00710)과 원자력연구기반확충사업(과제번호 2007-01 355)의 지원으로 수행하였음.

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

책임저자 : 서태석, (137-701) 서울시 서초구 반포동 505

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

Tel: 02)590-2414, Fax: 02)532-1779

E-mail: suhsanta@catholic.ac.kr



Fig. 1. Equipment of respiratory signal : Varian RPM system :(a) Moving phantom and reflective marker, (b) Components of RPM respiratory gating system, (c) Turbine type spirometer.

Table 1. Cases of irregular respiratory signal.

Case No.	Irregular respiratory signal type (Description)
1	Normal breathing+Swallow
2	Normal breathing+Sigh
3	Normal breathing+Cough
4	Breathing heavily type 1
5	Breathing heavily type 2
6	Normal breathing+Breathing heavily
7	Normal breathing+Fast period
8	Normal breathing+Long period
9	Fast period (Signal drift)
10	Long period

해 더욱 밀접한 상관관계를 보이지만,<sup>2)</sup> 실제 치료 시에는 환자의 호흡의 불규칙성으로 인하여 호흡의 진폭 변화가 불안정한 이유로 임상에서는 위상 기반 방법을 많이 사용한다.<sup>3,4)</sup> 위상 기반 방법을 사용 하더라도 환자의 호흡이 고르지 않거나 기침(cough), 한숨(sigh), 침 삼킴(swallow) 등과 같은 불규칙한 호흡신호가 갑자기 들어오게 된다면 이는 환자의 호흡신호를 위상으로 변환 하는 과정에서 잘못된 위상 변환을 유발할 수 있으며, 4D CT를 이용한 모의치료 과정에서 재구성된 이미지에 심각한 artifact를 유발 할 수 있다.<sup>4,8)</sup> 이러한 artifact를 감소시키기 위하여 불규칙한 신호를 대상으로 위상 변환 방법을 달리 하거나,<sup>2)</sup> 불규칙한 신호를 제거하는 등<sup>6)</sup> 많은 연구들이 수행되어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 4D CT 모의치료를 통하여 얻은 영상 데이터도 호흡 신호에 따라 재구성하기 이전에, 이러한 불규칙한 신호를 제거 하여 영상의 질을 높이고자 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 gating 방사선 치료 방식을 위하여 호흡신호 분석 소프트웨어를 개발하였다. 특히 불규칙한 신호와 노이즈를 제거함으로써 기존에 RPM (real-time position management) respiratory gating 시스템(Varian Medical

Systems, Palo Alto, CA, USA)에서의 위상 검출 방식과 비교하여 보다 안정적이고 합리적인 검출을 해낼 수 있는지 확인하여 보았다.

## 대상 및 방법

### 1. 호흡신호 획득 및 대상

환자 호흡의 불규칙성 평가를 위하여 그 판단의 기준이 되는 신호를 얻기 위하여 가장 폭 넓게 사용되는 RPM respiratory gating 시스템을 사용하였다. 이는 타원형(9×8 cm) 동적 팬텀(moving phantom)과 적외선 반사체 마커(infrared reflective marker)와 적외선 카메라(infrared camera)로 구성되어 있다(Fig. 1a, b). 팬텀 위에 마커를 올리고 팬텀을 작동시켜서, 마커의 수직 방향의 움직임을 이상적인 호흡 신호의 기준 값으로서 획득 하였다.

임상에서 실제 발생할 수 있는 불규칙한 호흡신호의 경우 10가지의 패턴을 고려하였으며(Table 1), 이는 임상 실험 지원자를 통하여 각각 2분에 걸쳐 2회씩 얻었다. Fig. 1 (c)는 지원자를 통하여 신호를 얻을 경우 사용 한 터빈 타입의 폐활량계를 보여주고 있는데, 이는 환자가 호흡을 들이 쉬거나 내쉴 때 폐활량계 안에 있는 프로펠러 회전 속도를 이용하여 단위시간당 흐르는 공기의 양을 호흡 신호로 획득한다.

### 2. 호흡 신호 분석 프로그램

호흡 신호 분석 프로그램은 LabVIEW version 8.5 (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, National Instruments Inc, USA)를 이용하여 개발하였다. 본 연구에서 개발한 프로그램은 RPM에서 제공하는 소프트웨어와 유사하게 구성하였다.

Fig. 2는 자체 개발한 프로그램 실행 화면을 나타내고 있다. 획득한 호흡 신호를 읽기 전, 먼저 센서의(폐활량계,

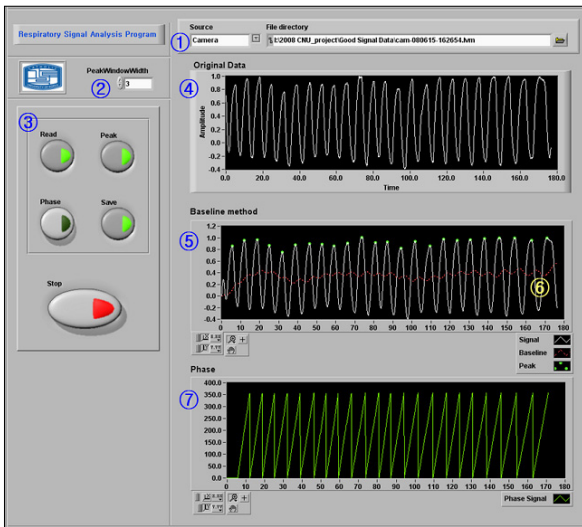


Fig. 2. A screen-shot of the developed in-house program is shown, which enables user-friendly interface to analysis the respiratory signal. : ① sensor type and file location, ② selection of peak widow width, ③ buttons of processing, ④ original respiratory signal, ⑤ detection of peaks, ⑥ baseline of respiratory signal, ⑦ phase assignments.

RPM system, in-house stereo camera) 형태를 결정하고, 저장된 임상 실험 지원자의 ASCII 형태 호흡신호 텍스트 파일을 읽어 들였다(①). 그리고 peak window width의 값을 수동으로 결정한 후(②), 표시되어 있는 각각의 버튼을 이용하여 신호를 읽었다(③). 신호 분석에 앞서 저역 통과 필터(low pass filter)를 사용하여 신호에 포함되어 있는 센서의 하드웨어적인 장비 자체에서 발생한 노이즈를 제거하였다. 이를 바탕으로 하여 호흡신호의 baseline을 만들어 비교(⑥), 분석하여 피크점을 검출하고 이를 다시 위상으로 변환하도록 하였다(⑤,⑦). Fig. 3에서는 개발한 프로그램의 전반적인 구조를 나타내고 있다. 입력 데이터는 앞서 언급한 RPM 시스템에서 출력되는 시간에 따른 진폭 값으로 정의되는 호흡신호에 관한 정보로써, ASCII형태의 텍스트 파일을 그대로 이용 하도록 구성하였다. 프로그램은 입력 데이터 파일을 분석하여 진폭기반과 위상 기반의 호흡 신호 할당을 모두 가능하게 하였다. 또한 호흡 신호의 패턴을 분석하여 불규칙한 호흡 신호를 여러 단계의 필터에 의하여 처리하였다. 개발된 프로그램에서는 RPM 시스템에서 읽어 온 원본 파일의 호흡신호와 처리된 결과파일의 호흡 신호를 서로 비교, 분석하는 것도 가능하게 하였다.

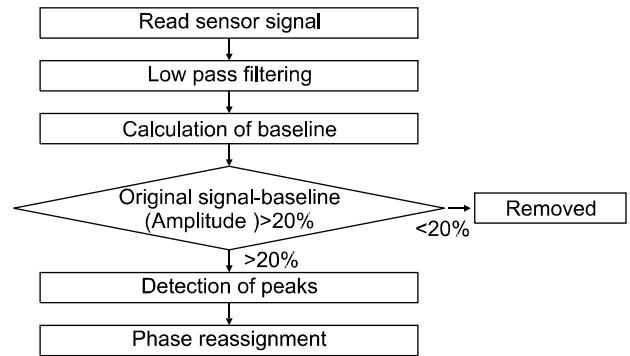


Fig. 3. Schematic diagram of in-house respiratory signal analysis program.

### 3. 호흡 신호 분석 방법

본 연구에서는 자체 개발한 분석 알고리즘을 통하여 호흡신호를 분석 하고자 하였다. 특히 분석에 앞서 호흡신호를 얻는데 사용된 장비에서 생기는 기계적인 노이즈를 줄이기 위하여 버터워스(butterworth) 필터의 저역 통과 필터를 사용하였다. 센서의 기계적인 노이즈를 효과적으로 제거하기 위하여 샘플링 주파수를 100 Hz, cutoff 주파수를 2.5 Hz로 설정하였으며, 이를 7차에 걸쳐 사용함으로써, smoothing filtering을 통하여 신호의 노이즈를 제거하였다.

위상 기반 방사선 치료에서 위상을 할당하는 일반적인 방법으로는, 호흡 신호의 피크점을 찾은 후에 각 피크점을 기준으로 선형적으로 위상을 할당하는 방법이 가장 많이 이용되어 왔다.<sup>3,5,6</sup> 기존에는 원래 신호의 2차 방정식을 구하고, 일정한 threshold 값 이상에서 이 방정식의 1차 미분 값이 '0'이 되는 지점을 모두 피크점으로 검출 하는 gradient 기반의 방법을 사용하였으나 기존의 gradient 기반 피크점 검출 방법은 불규칙한 호흡에 의하여 잘못된 지점을 피크점으로 검출하는 오류를 발생시킬 가능성을 내재하고 있고, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 baseline을 기준으로 피크점을 탐색하는 방법을 도입하였다. 이는 앞서 언급한 smoothing filtering을 거친 신호에서 다시 한 번 저역 통과 필터를 cutoff 주파수 0.25 Hz로 낮게 주어 원래의 신호의 baseline을 생성하고, 이를 원래의 호흡신호와 겹쳐서 표시하였다(Fig. 4). 그 후 겹쳐진 호흡 그래프에서의 교점들을 검출하고, 호흡 신호의 피크점을 교점들 사이의 샘플링된 값 중에서의 최고값으로 정의하였다. 불규칙한 호흡 패턴으로 인하여 피크점이 baseline 근처에 존재하는 경우 (Fig. 4. @) 피크점과 baseline의 차이가 이전 진폭의 20% 이상일 경우에만 피크점으로 인정하는 방법을

적용하였다. 또한 검출된 피크점을 기준으로 하여, 보간법과 (1)의 공식을 사용하여 이를 위상으로 변환 하였다.  $T_{cp}$ 는 위상 변환 신호 처리 시점에서의 현재 피크 시간 값을 뜻하고,  $T_{pp}$ 는 불러들인 현재 신호의 기준에서 이전 피크

의 시간 값을 뜻한다.

$$phase(t) = 360 - \left( \frac{t - T_{pp}}{T_{cp} - T_{pp}} \times 360 \right) \quad (1)$$

$t$  : current time ( $T_{pp} < t < T_{cp}$ )

$T_{pp}$  : Previous peak time

$T_{cp}$  : Current peak time

## 결 과

본 논문에서는 실제 임상에서 보여 지는 불규칙한 호흡 case를 10가지로 분류하여 호흡신호를 얻었다. Case 1~6 (Table 1)에서는 주로 환자가 갑작스럽게 불규칙한 호흡을 했을 때 일어나는 상황을 고려하여 신호를 얻었다. 이러한 case에서는 많은 불규칙한 신호와 피크점 이 검출 되는 것을 볼 수 있었다. 특히 case 4와 같이 치료 중 환자의 거친 호흡에 의하여 발생한 신호 자체에 많은 노이즈가 포함되어 있기 때문에 저역 통과 필터를 통해 노이즈를 제거하는 작업이 반드시 필요함을 알 수 있었다. 반면에 환자가 치료

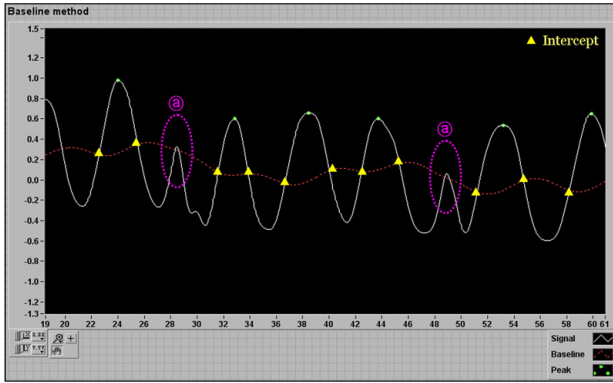


Fig. 4. Peaks were removed if the difference between baseline and original signal was less than 20% of previous mean amplitude.

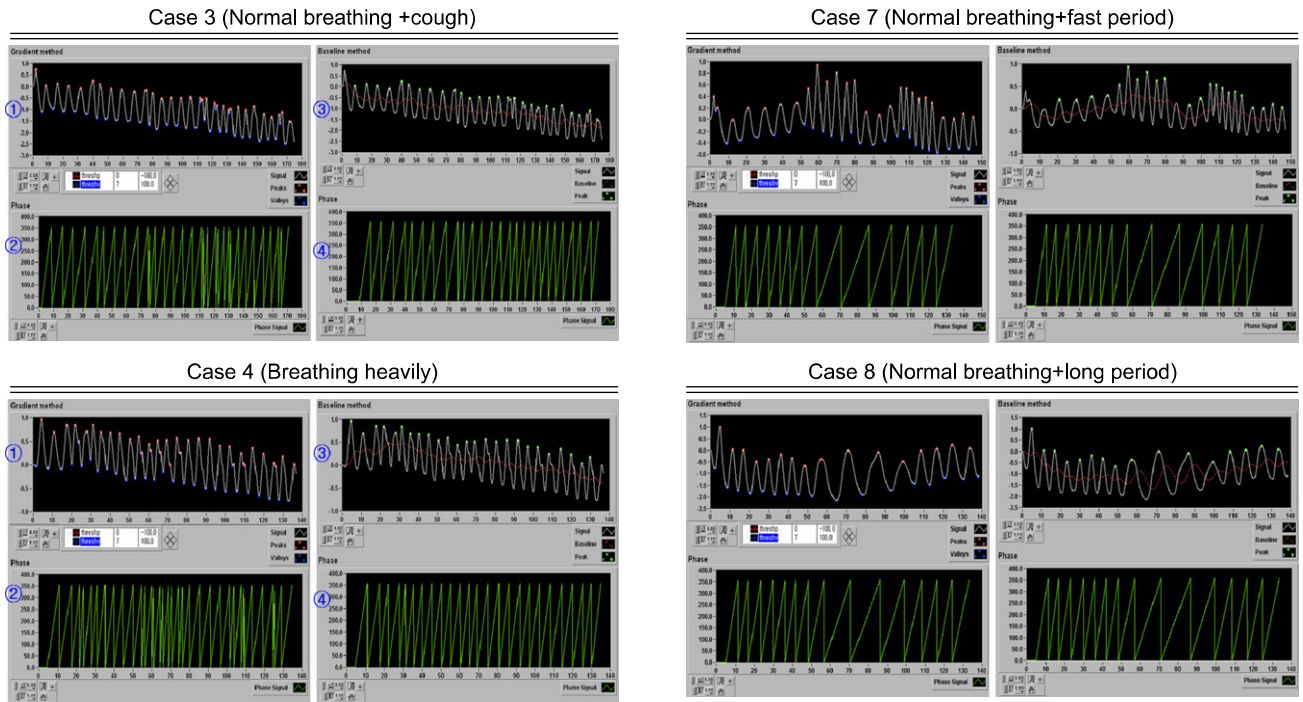


Fig. 5. Two volunteers' respiratory traces were processed for phase assignments using the previous gradient method (left) and the proposed baseline method (right). Respiratory signals are drawn by white lines with peaks marked as red and green dots, and the baselines are overlaid with red dashed lines in the right figures. Corresponding phase results are drawn below the respiratory traces which were assigned linearly based on successive peak locations. The baseline method excludes irregular peaks for correct phase assignments while the irregular peaks remained with the gradient method resulting in complicated phases.

**Table 2. Mean & standard deviation of respiration signals' period with baseline method and gradient method.**

Case No.	Baseline method (Period)		Gradient method (Period)	
	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Case 1	9.34	1.69	6.59	2.89
Case 2	6.77	1.26	5.11	1.52
Case 3	6.27	1.3	5.00	2.39
Case 4	5.23	0.77	3.75	1.69
Case 5	7.21	1.10	5.02	2.40
Case 6	5.65	0.45	3.42	1.87
Case 7	5.92	2.43	5.73	1.94
Case 8	8.58	3.02	8.58	3.02
Case 9	3.04	1.07	2.73	0.21
Case 10	9.61	1.03	9.61	1.03

중 호흡이 갑작스럽게 느려지거나 또는 빨라지는 경우를 고려한 case 7~10 (Table 1)에서는 호흡신호에 있어 진폭 변화 또는 주기변화가 생겼음을 알 수 있었다.

Fig. 5(a)에서 보여주듯이 gradient 방법을 사용하여 불규칙한 모든 피크점을 검출 하여 위상변환 하였을 때(①), 부정확한 위상 변환이 되고 있는 것을 확인 할 수 있었다(②). 특히 case 3의 시간축의 110~140 구간과 case 4의 60~80 구간에서 이러한 불규칙한 피크점에 의한 위상 변환의 부정확성을 확인할 수 있었다. 따라서 자체 개발 알고리즘인 baseline 방법(⑥)을 사용 하여 불규칙한 피크점을 검출하기에 앞서 불규칙한 신호를 제거한 후(③), 위상으로 변환 하게 되면 더욱 정확한 위상 변환이 가능해진다(④). 본 논문에서 제안한 baseline 방법을 통하여 불규칙한 주기 변화와 진폭의 drift가 나타나는 호흡신호에서도 피크점 검출이 잘 이루어짐을 확인할 수 있었다. 하지만 환자가 호흡을 갑작스럽게 빠르게 하거나 느리게 하였을 경우에는 Fig. 5(b)와 같이 피크점 검출에 있어 gradient 방식과 baseline 방식에 큰 차이점이 없음을 볼 수 있었다. 이는 또한 위상 변환에 있어서도 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다.

따라서 Case 3이나 4와 같이 불규칙한 신호가 순간적으로 들어오게 되었을 경우에는 이를 제거 하지 않으면 잘못된 위상 변환을 유발 하는 것을 볼 수 있었지만, case 7과 8 같이 단순히 호흡 신호의 주거나 진폭이 변화하는 경우는 위상 변환에 있어 큰 영향을 끼치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 또한 Table 2에서 보여 주듯이, case 3과 4에 대해 baseline 방법을 사용 하였을 때와 gradient 방법을 사용 하였을 때를 비교 하면, 그 주기의 평균값의 차이가 각각 1.27과 1.48로서 gradient 방법을 사용했을 시 호흡 주기의

오차가 baseline 방법을 사용 할 때 보다 크다는 것을 알 수 있었고, 또한 그 주기의 평균값에 대한 표준편차도 gradient 방법이 baseline 방법 보다 각각 1.09, 0.92 더 높아 호흡 주기의 일관성도 떨어진다는 것을 알 수 있었다. 하지만 case 7과 8의 경우에서 baseline 방법과 gradient 방법을 비교 하였을 때 호흡 신호의 주기의 평균값과 표준편차의 값에 큰 오차가 없다는 것을 알 수 있었다.

### 고찰 및 결론

본 연구에서는 위상 기반 호흡 연동 방사선 치료를 위하여 4D CT 이미지를 얻을 경우에 환자의 갑작스런 불규칙한 호흡에도 불구하고 위상 변환의 정확도를 높이기 위하여 호흡 신호를 분석하고, 위상을 재구성 하는 프로그램을 개발하였고 그 타당성을 검증하였다. 프로그램은 호흡 신호의 피크점을 검출하여 적합한 위상 변환을 할 수 있을 뿐만 아니라, 호흡 신호의 주기 및 진폭 등의 정보를 출력함으로써 환자의 호흡 신호 분석에도 유용하며, 환자 호흡의 안정성 판별에도 사용될 수 있기 때문에 실제 임상에서의 효용가치는 매우 클 것으로 판단된다.

앞서 언급한 바와 같이 기존의 gradient 방식에 기초한 위상 변환 방식의 경우 제거 되지 못한 갑작스런 기침, 한숨, 침 삼킴 등에 의해 발생하는 불규칙한 신호의 영향으로 위상을 정확히 변환 하지 못한다. 이러한 환자의 불규칙적인 신호는 4D CT 영상에도 많은 artifact를 유발 할 수 있다.<sup>4,8)</sup> 이는 4D CT 이미지의 재구성에 좋지 않은 영향을 끼칠 뿐 아니라, 실제 4D 방사선 치료 시 움직이는 종양에 정확하게 방사선이 조사될 수 없다.<sup>7)</sup> 그러므로 방사선 치료 시 환자가 호흡을 안정하게 하게 할 수 있도록 오디오 또는 비디오 코칭 등<sup>9,10)</sup>을 통하여 안정적인 호흡을 유도함과 동시에, 갑작스런 호흡에 대비하여 본 연구에서 개발된 프로그램 등을 활용하여 불규칙적인 신호를 자동적으로 제거 하여 위상 변환 시 정확도를 높여야 한다. 따라서 본 연구는 기존의 RPM 시스템의 위상 변환을 통한 이미지 재구성 및 방사선 전달의 정확도를 향상시킴과 동시에, 환자의 호흡 신호 분석에 있어 유용한 도구로 활용될 것으로 생각된다.

차후에는 실제 4D CT 이미지의 재구성에 있어서 본 프로그램으로 수정된 호흡 신호가 어느 정도의 정밀성을 높이는가에 대하여 연구가 진행될 것이다. 이를 위하여 특수한 4D CT 영상 검증 팬텀을 통한 연구가 수행될 예정이며, 이를 토대로 실제 영상 유도 방사선 치료의 대상이 되는 환자들의 영상 이미지를 활용한 임상 검증을 통하여 본 프

로그래밍의 유용가치를 확인할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. Vedam SS, Keall PJ, Kini VR, et al: Determining parameters for respiration-gated radiotherapy. *Med Phys* 28:2139-2146 (2001)
2. Lu W, Parikh PJ, Hubenschmidt JP, et al: A comparison between amplitude sorting and phase-angle sorting using external respiratory measurement for 4D CT. *Med Phys* 33(8):2964-2974 (2006)
3. Rietzel E, Chen GTY: Improving retrospective sorting of 4D computed tomography data. *Med Phys* 33(2):377-379 (2006)
4. Mutaf YD, Antolak JA, Brinkmann DH: The impact of temporal inaccuracies on 4DCT image quality. *Med Phys* 34(5):1615-1622 (2007)
5. Yelin Suh, Sonja Dieterich, Byungchul Cho, et al: An analysis of thoracic and abdominal tumour motion for stereotactic body radiotherapy patients. *Phys. Med. Biol.* 53:3623-3640 (2008)
6. Lu W, NystromMM, Parikh P J, et al: A semi-automatic method for peak and valley detection in free-breathing respiratory waveforms *Med. Phys.* 33:3634-6 (2006)
7. Song JY, Nah BS, Chung WK, et al: Development of Error Analysis Program for Phase-based Respiratory Gating Radiation Therapy. *Kor J Med Phys* 17(3):136-143 (2006)
8. Olsen JR, Lu W, Hubenschmidt JP, et al: Effect Of Novel Amplitude/Phase Binning Algorithm On Commercial Four-Dimensional Computed Tomography Quality. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys* 70(1):243-252 (2008)
9. George R, Chung TD, Vedam SS, et al: Audio-Visual Biofeedback For Respiratory-Gated Radiotherapy: Impact Of Audio Instruction And Audio-Visual Biofeedback On Respiratory-Gated Radiotherapy. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys* 65(3):924-933 (2006)
10. Kini VR, Vedam SS, Keall PJ, et al: Patient Training In Respiratory-Gated Radiotherapy. *Med Dosim* 28(1):7-11 (2003)

## Development of Respiratory Signal Analysis Program for Accurate Phase Reassignment in 4D CT Reconstruction

Hae-Jin Park\*, Won-Gyun Jung\*, Jai-Woong Yoon\*, Ju-Young Song<sup>†</sup>, Tae-Suk Suh\*

\*Department of Biomedical Engineering, The Catholic University of Korea, Seoul,

<sup>†</sup>Department of Radiation Oncology, The Chonnam National University Medical School, Gwangju, Korea

Patient's respiration can have an effect on movement of tumor range and peripheral organs. Therefore, the respiratory signal was acquired by relation between external markers and movement of patient's abdomen during radiational therapy in order to minimize the effect of respiration. Based on this technique, many studies of rational therapy to irradiate at particular part of stable respiratory signals have executed and they have been clinically applied. Nevertheless, the phase-based method is preferred to the amplitude-based method for the rational therapy related to respiration. Because stabilization of the respiratory signal are limited. In this study, a in-house respiratory signal analysis program was developed for the phase reassignment and the analysis of the irregular respiratory signals. Various irregular respiratory patterns was obtained from clinical experimental volunteers. After then, the in-house program analyzed the factors affecting to phase assignment which is directly related to irradiated sector. Subsequently, accuracy of phase assignment was improved with removal of irregular signals by self-developed algorithm. This study is considered to be useful for not only image reconstruction and elevation of irradiating accuracy through phase assignment of RPM system but also analysis of respiratory signals. Moreover, development of 4D CT image is planned with phantom researches or clinical experiments based on this program.

**Key Words:** Respiratory gated radiotherapy, Phase-based gating, Four-dimensional CT simulation