

Study of the Respiratory Monitoring System by Using the MEMS Acceleration Sensor

Ji Won Sung^{*†}, Myong Geun Yoon^{*}, Weon Kuu Chung[†], Dong Wook Kim[†], Dong Oh Shin[†]

^{*}Department of Radiologic Science, Korea University College of Health Science,
[†]Department of Radiation Oncology, [†]Kyung Hee University Hospital at Gandong,
[†]Kyung Hee University Medical Center, Seoul, Korea

In this study, we developed and evaluated the patient respiration training method which can help to avoid the problems for the limitation of RGRT applicable patient cases. By using the MEMS (micro-electro-mechanical-system) acceleration sensor, we measured movement of motion phantom. We had compared the response of MEMS with commercially introduced real time patient monitoring (RPM) system. We measured the response of the MEMS with 1 dimensional motion phantom movement for 2.5, 3.0, 3.5 second of period and the 2.0, 3.0, 4.0 cm of the amplitudes. The measured period error of the MEMS system was 0.6~6.0% compared with measured period using RPM system. We found that the shape of MEMS signals were similar with RPM system. From this study, we found the possibility of MEMS as patient training system.

Key Words: Radiation therapy, Respiratory gating system, MEMS sensor, Respiratory training, Lung cancer

서 론

폐·간암과 같이 흉·복부에 대한 방사선치료는 환자의 호흡으로 인하여 암세포의 위치가 평균 2~3 cm, 최대 6~8 cm까지 변화하므로 움직이는 장기를 대상으로 한 방사선치료의 성공률을 높이기 위해 호흡에 의한 종양의 움직임을 정확히 예측하고 이를 고려한 치료계획을 수립하는 것에 대한 연구가 진행되어 왔다.¹⁻⁶⁾

종양의 움직임을 보정하기 위해서 임상표적체적(clinical target volume, CTV)와 치료표적체적(planning target volume, PTV)에 대해 내부 종양의 움직임에 대한 여백에 해당되는 내부표적체적(internal target volume, ITV)를 적용함으로써 상대적으로 큰 체적에 대한 방사선 조사가 이루어지지만 정상조직의 조사 범위 또한 증가하는 단점이 보고되었으며⁷⁾ 이러한 문제를 해결하기 위해 주기적인 호흡 운동에서 특정한 위상구간(또는 진폭)에서만 방사선을 조사하는 호흡

연동 방사선치료(respiratory gating radiotherapy)와 환자로 하여금 방사선 조사 중에는 호흡을 멈추게 하는 호흡중지방사선치료(breath-hold radiotherapy) 그리고 호흡 보조장치를 이용하여 환자의 호흡을 강제로 조절하는 능동호흡조절(active-breathing control, ABC) 방법이 소개되었다. 이 방법들은 호흡을 고려한 추가적인 여백이 작아지므로 정상조직의 손상을 줄일 수 있지만 환자호흡의 안정성과 재현성 및 환자의 상태에 따라 치료의 불확도가 변화하므로 환자 적용이 제한적이다.⁸⁻¹¹⁾ 이외에도 움직이는 종양을 실시간으로 추적하여 치료하는 실시간 종양추적 방법(real-time tumor tracking)이 소개되었는데, 종양에 금속 기준표지자(fiducial markers)를 이용하여 종양의 움직임을 실시간으로 확인하는 방법으로 삽입된 표지자를 직접 추적하므로 장기 움직임을 가장 정확하고 신속하게 파악할 수 있어 방사선 치료의 정확도를 높일 수 있지만 금속 삽입을 위한 추가적인 시술이 필요하고 장시간 방사선 투사로 인해 불필요한 방사선 피폭을 유발한다.¹²⁻¹⁴⁾

환자의 호흡훈련 정도에 따라 매우 불규칙한 호흡패턴도 호흡연동치료가 가능한 정도의 규칙적인 호흡패턴으로 변화함을 보여주는 다양한 연구 결과¹⁵⁾를 토대로 볼 때, 호흡훈련은 환자의 치료 전 호흡 훈련이 치료의 정확도를 증대시키고 다양한 호흡패턴을 가진 많은 환자들을 수용할 수 있는 중요한 요소임을 확인할 수 있다.¹⁶⁾ 이에, 본 연구팀

이 논문은 2012년도 한국연구재단 기초연구사업 일반연구자 지원사업(연구과제번호: 2012-003174)과 지식경제부 전력산업연구개발사업(연구과제번호: 57311-12)의 지원을 받아 수행되었음.

이 논문은 2013년 2월 5일 접수하여 2013년 3월 6일 채택되었음.

책임저자 : 김동욱, (134-727) 서울시 강동구 상일동 149번지

강동경희대학교병원 방사선종양학과

Tel: 02)440-7390, Fax: 02)440-7393

E-mail: joocheck@gmail.com

은 호흡 모니터링을 위한 체계로서 미세전자기계시스템 (micro-electro-mechanical system, MEMS) 가속도센서의 호흡 운동 감도를 기존의 RPM시스템과 병행 평가하여 호흡 동작 모니터링의 가능성을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

1. MEMS 가속도 센서를 이용한 호흡 신호 분석

호흡할 때의 흉·복부 상하운동을 감지하고 모니터 하기 위해 MEMS 가속도 센서를 활용하였다. MEMS 센서의 종류로는 가속도, 각속도, 자기장, 압력, 온도 센서가 있으며 현재 닌텐도 컨트롤러 wii, 디지털카메라의 떨림 방지 기능, 에어백 시스템, 아이폰4 화면 회전 기능 등 물체의 변화를 감지하는 센서로써 활용되고 있다.¹⁷⁾

가속도 센서의 원리는 센서 내부에 존재하는 빗 모양으로 생긴 미세 전극들의 간격 변화 정도를 전기적 신호로 바꿔 사인과 그래프로 출력하는 것이다. 센서가 정지해 있는 경우, 지면과 센서의 xy평면을 일치시켰을 때 x, y축으로 감지되는 중력가속도는 없지만 z축 방향으로 중력의 영향으로 인한 전극간의 간격에 변화를 받게 되어 감지된

다. 즉, 물체가 정지해 있을 때에도 중력가속도는 측정되고 센서를 회전시키면 중력가속도를 측정되는 축이 변경되기 때문에 센서가 어떤 포즈로 위치하고 있는지 감지 할 수 있게 된다.¹⁸⁾

본 연구에 사용하는 MEMS 센서 모델명은 LSM303DLH (ST microelectronics, Geneva, Switzerland) 3축 가속도·3축 자기장 복합 센서로 각 축당 3.9 mg/digit의 민감도를 가지며 감지된 신호는 ST microelectronics 사의 iNEMO™ 소프트웨어를 통해 모니터 상에 출력하였다.

MEMS 센서는 I2C 신호 전달 방식으로 출력된다. I2C 방식은 master와 slave의 데이터 교류로 인한 신호전달이 성립되며, master는 데이터 주고 받음을 명령하는 주체이고 slave는 master의 요청에 따라 데이터를 받거나 보내주는 역할을 한다. I2C 버스에서 사용되는 데이터의 기본 단위는 9비트이다. 센서를 통해 획득한 원 데이터는 소프트웨어 상에서 칼만 필터를 통해 신호 잡음이 제거 되었다. 칼만 필터는 최적추정(optimal estimation)의 기본 필터로서 상태변수의 운동을 나타내는 상태방정식과 측정방정식으로 구성되는 시스템 모델을 이용하여 측정치로부터 상태 변수를 추정하여 모니터 상에 출력하게 된다(Fig. 1).

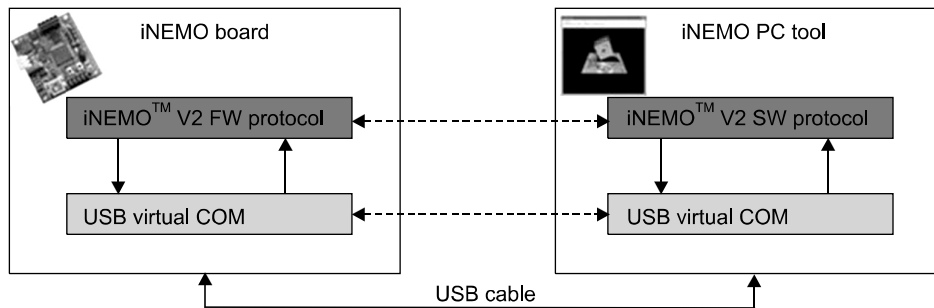


Fig. 1. MEMS acceleration sensor communication architecture (UM1017 User manual, STEVAL-MKI062V2 communication protocol).

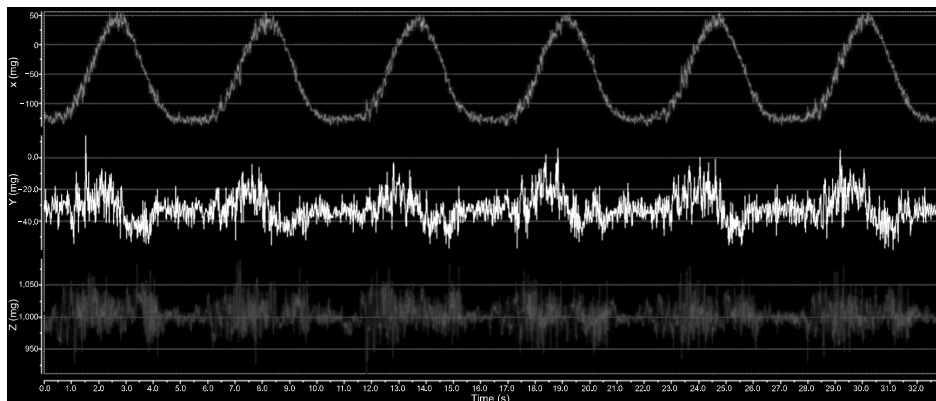


Fig. 2. Real MEMS signal displayed in the computer monitor (amplitude: 40 mm, velocity: 2.0 s/cycle).

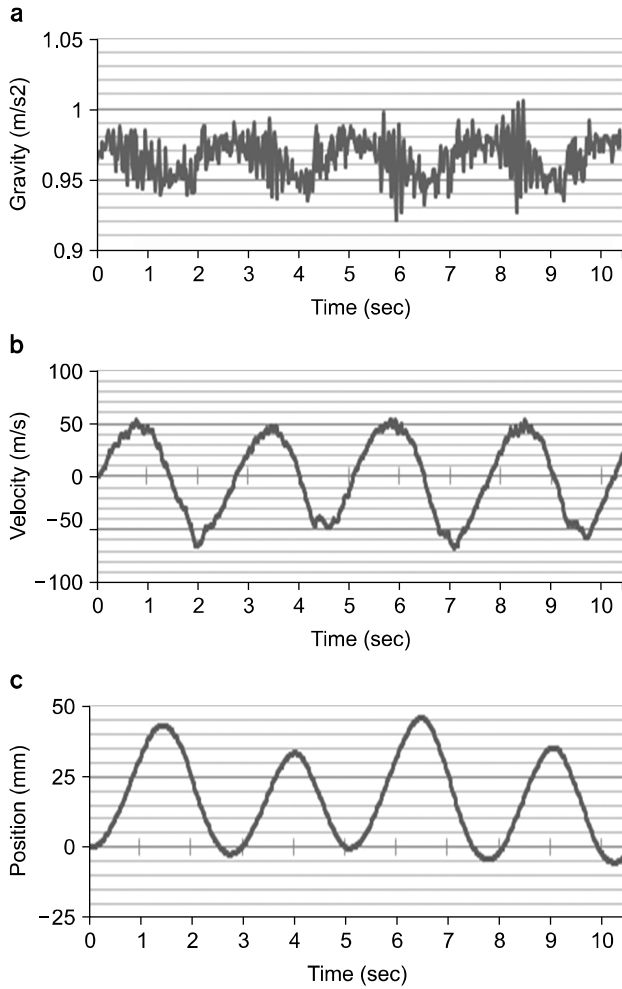


Fig. 3. (a) Gravity acquired using the MEMS acceleration sensor, (b) velocity reconstructed by using equation (1), (c) position reconstructed by using equation (2) (amplitude: 30 mm, velocity: 3.5 s/cycle).

소프트웨어 상에서의 신호 출력 방식은 각 3축에 따른 시간-중력가속도 사인과 그래프와 일정 시간마다 측정된 이산적인 중력가속도 값으로 두 가지 형태로 획득된다. 시간(t)를 가로축으로 진폭 또는 호흡에 따른 상하 움직임을 세로축으로 하는 일반적인 2차원 사인과 형태를 가지는 호흡패턴으로 표현하기 위하여 그래프를 통해 정성적인 운동 패턴을 파악한 후(Fig. 2) 중력가속도를 식(1), 식(2)를 통하여 속도와 위치 그래프로 변환하였다.

$$v[t_n] = \frac{1}{2}(t_n - t_{n-1})(a[t_n] + a[t_{n-1}]) + v[t_{n-1}] \quad (1)$$

$$s[t_n] = \frac{1}{2}(t_n - t_{n-1})(v[t_n] + v[t_{n-1}]) + s[t_{n-1}] \quad (2)$$

여기서 $a[t_n]$ 는 t_n 에서의 순간 가속도, $v[t_n]$ 는 t_n 에서의 순간 속도이며 $s[t_n]$ 는 t_n 에서의 위치이다.¹⁾ 시간-속도 그래프에서의 y값의 부호는 센서의 운동방향을 나타내는 것으로 양의 값은 흉·복부의 위치가 위로 올라가는 운동이며, 음의 값은 아래로 내려와 제자리로 돌아오는 운동을 의미한다. 또한 시간-위치 그래프에서의 y값은 흉·복부의 순간적 위치를 의미한다(Fig. 3).

2. Respiratory Gating Platform (RGP)

본 연구는 환자의 흉·복부 상하운동을 나타내기 위해 Respiratory Gating Platform (RGP)를 이용하였다. RGP는 호흡운동을 구현하여 게이팅과 연관된 호흡훈련이나 치료선량 확인, 품질관리(quality assurance, QA)에 사용할 수 있게 Standard Imaging 사에서 제작된 1차원 운동팬텀이다. 수평방향으로만 운동하며, 5~40 mm의 거리, 2.0~6.0 s/cycle(second/cycle)의 속도 범위에서 원하는 조건으로 설정하여 작동시킬 수 있다. 또한 기기 테이블에 고정시킬 수 있어 RGP 자체의 흔들림을 방지하여 진단·치료기기에서의 정확성을 유도할 수 있으며 여러 종류의 팬텀을 RGP 위에 올려 놓고 측정할 수 있어 다양한 물체 운동 상태를 간편하고 쉽게 구현할 수 있다.¹⁹⁾

3. 호흡 신호 획득 과정

환자의 흉·복부 상하운동을 나타내기 위해서 RGP을 지면과 70° 각도로 세워 고정함으로써 1차원 모션 팬텀의 움직임을 3차원에서 측정이 가능하도록 하였다. 성인의 평균 호흡수는 1분당 12~20번으로, 3~5 s/cycle(second/cycle)임을 고려해 볼 때 RGP 속도는 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 s/cycle 중에서 MEMS 센서가 운동을 감지할 수 있고 호흡속도와 비슷한 속도인 2.5, 3.0, 3.5 s/cycle을 조건으로 설정한다. 또한 이동거리 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10, 5 mm 중 40, 30, 20 mm를 조건으로 설정하여 총 9 case를 측정하였다.

MEMS 센서의 위치가 RGP 모터와 가까울수록 모터의 진동으로 인한 잡음이 신호에 나타나기 쉽기 때문에 RGP 모터 위치에서 가장 멀리 떨어진 반대방향 쪽 가장자리에 MEMS 센서를 설치하였다. MEMS 센서와 컴퓨터 연결의 유·무선 방식 중 유선방식을 선택하여 범용직렬버스(USB)를 통해 MEMS 신호처리 프로그램(iNEMO™ V2)이 내장된 컴퓨터 본체와 연결하였다. 신호 획득 주파수란 단위 시간 동안 중력가속도 측정 횟수를 나타낸다. 동일한 속

도, 거리의 조건에서 각 1, 10, 50, 100, 300 Hz의 신호로 실험하여 그 중 MEMS 신호주기의 정확성이 크게 나타난 50 Hz로 설정하게 되었다. 한 신호 샘플을 획득하기 위한 측



Fig. 4. The motion of the respiratory Gating Platform (RGP) was measured by using the RPM system, independently.

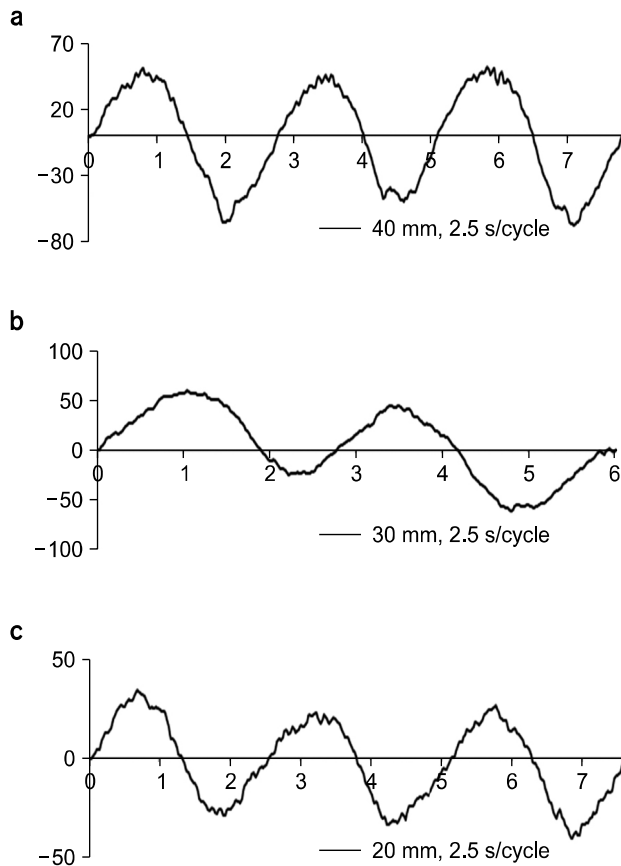


Fig. 5. The response of the MEMS acceleration sensor (y axis: velocity (m/s), x axis: time (sec)).

정시간은 10초로 설정하되, RGP의 전원을 키면 0.8초 후 운동을 시작하기 때문에 실제 측정시간인 10초에 0.8초를 더한 10.8초로 설정하였다. 측정할 때에는 주변의 소음이나 진동은 최대한 제거한 후 RGP와 MEMS 신호 감지 프로그램을 동시에 시작하였다. 2.5 s/cycle, 40 mm부터 측정 시작하여 같은 속도로 30, 20 mm를 측정한 후 그 다음 빠른 속도인 3.0 s/cycle로 재설정하여 40, 30, 20 mm 순으로 측정하였다. 1 case 당 기본 5번으로 측정하였다.

RPM 시스템을 이용한 신호 획득 또한 MEMS 센서 측정 실험과 동일한 조건으로(Fig. 4)으로 측정하였다. CT 테이블 위에 RGP를 올려 놓고 70° 각도로 세워서 고정하였다. RGP에 붙였던 MEMS 센서를 제거한 후 그 위치에 표적 반사체를 붙여놓고 신호가 모니터 상에 나타나는지 확인하였다. 신호를 감지하지 못할 때에는 반사체의 위치를 옮겨서 신호가 모니터 상에 나타날 수 있게 조정한다. 2.5 s/cycle, 40 mm를 측정 시작하여 같은 속도로 30 mm, 20 mm를 측정한 후 3.0 s/cycle, 3.5 s/cycle 순으로 측정하였다. 측정값은 RPM에서 나오는 신호의 최대 진폭 값으로 정규화 했으며 장기간 측정을 통해 RPM의 진폭 변화가 주는 오차로 평가하였다.

MEMS 센서를 통해 나온 중력가속도 값을 식(1), (2)를 이용하여 속도, 위치를 계산했으며 한 신호 당 평균 주기, 표준편차를 계산하여 실제 운동주기와 비교 분석하였으며, RPM 시스템에서 획득한 신호의 위치 최대값과 최소값을 MEMS와 비교 분석하였다.

결 과

Fig. 5는 RGP가 2.5 s/cycle의 속도로 40 mm, 30 mm, 20

Table 1. Average cycle of 1D motion phantom which was measured with MEMS acceleration sensor and their errors.

No.	Displacement (mm)	1D motion phantom cycle	MEMS Waveform average cycle	Deviation
1	40	2.5	2.64	±0.2
2		3	2.95	±0.2
3		3.5	3.65	±0.4
4	30	2.5	2.91	±0.5
5		3	3.13	±0.2
6		3.5	3.61	±0.1
7	20	2.5	2.53	±0.2
8		3	2.82	±0.5
9		3.5	3.52	±0.2

mm의 거리를 상하 왕복 운동할 때 MEMS 센서로 측정하여 획득한 중력가속도를 식 (1)을 이용하여 시간-속도 그래프로 나타낸 결과이며 Table 1은 실제 운동주기와 MEMS 센서를 통해 측정된 신호주기를 비교 분석한 자료이다. 성인의 실제 호흡속도가 3~5 s/cycle이고 현 실험에 사용한

RGP속도와 비슷하다는 것을 고려해볼 때 MEMS 센서를 이용하여 호흡신호를 획득할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Table 1을 통해 MEMS 신호주기와 실제 왕복운동의 주기를 평균주기로 비교하였을 때 최소 94.0%에서 최대 99.4%의 일치도를 보였으며 각 신호들의 평균주기의 표준

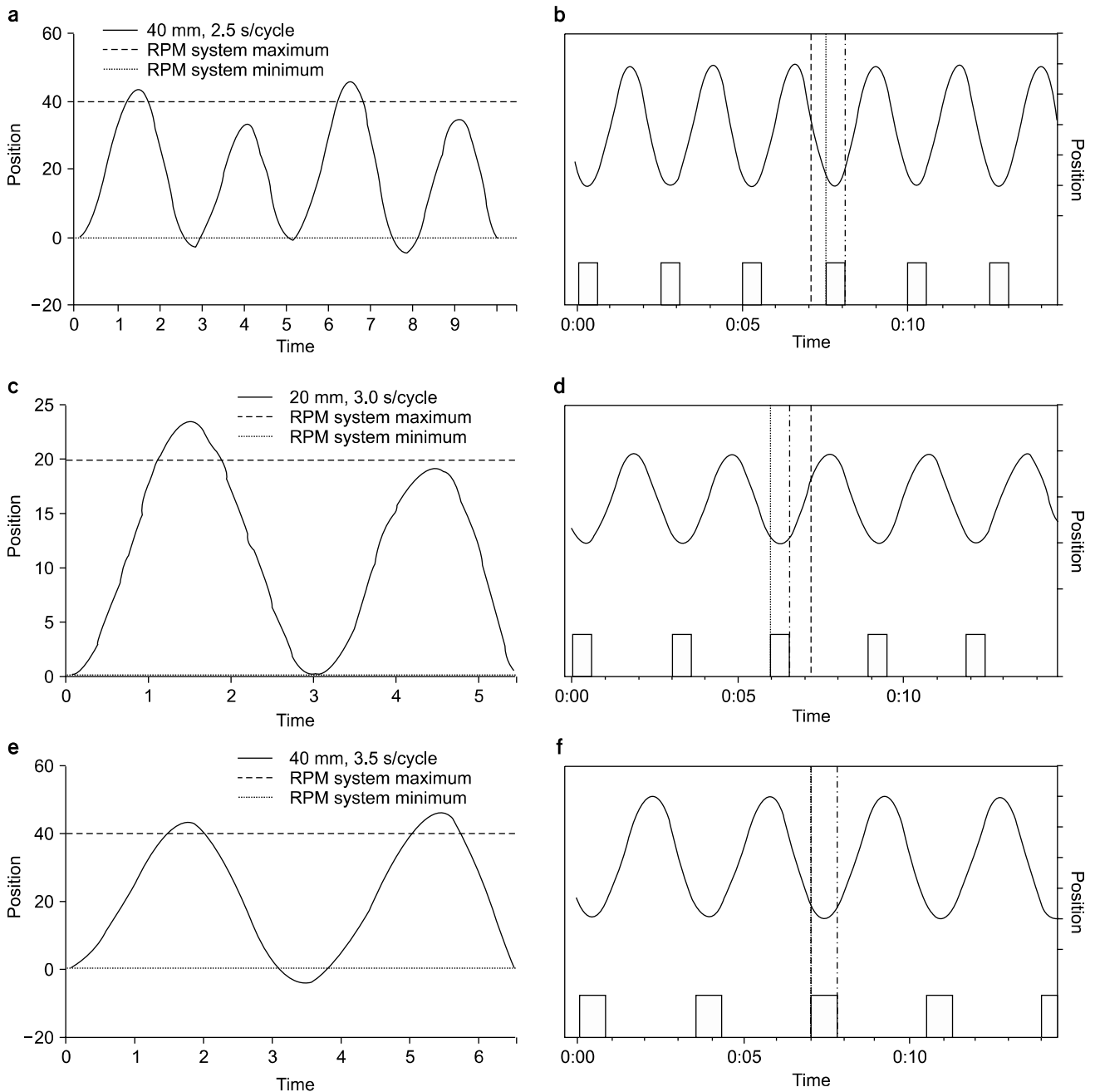


Fig. 6. MEMS signal compared with RPM system. (a) 40 mm, 2.5 s/cycle MEMS signal (b) 40 mm, 2.5 s/cycle RPM system signal (c) 20 mm, 3.0 s/cycle MEMS signal (d) 20 mm, 3.0 s/cycle RPM system signal (e) 40 mm, 3.5 s/cycle MEMS signal (f) 40 mm, 3.5 s/cycle RPM system signal.

편차는 0.2~0.5 s로 확인할 수 있었다.

MEMS 센서와 RPM 시스템 신호를 비교 분석하기 위해 Fig. 6에서 (a, c, e)은 40 mm-2.5 s/cycle, 20 mm-3.0 s/cycle, 40 mm-3.5 s/cycle일 때 MEMS 센서에서 획득한 값을 각각 식(2)를 이용하여 시간-위치 그래프로 나타낸 것으로 RPM 시스템에서 측정된 신호의 최대값과 최소값으로 비교한 그래프다. (b, d, f)은 각각 40 mm-2.5 s/cycle, 20 mm-3.0 s/cycle, 40 mm-3.5 s/cycle일 때 RPM 시스템으로 측정된 시간-위치 그래프이다. 동일한 조건에서의 RPM 시스템과 MEMS 센서 신호를 비교해보면 RPM은 1% 내외의 오차율로 같은 주기와 위상으로 일정하게 반복하는데 반해 MEMS 센서 신호는 RPM 시스템에 비해 주기와 위상에서 차이를 보이고 있다. MEMS 신호와 RPM 신호를 정량적으로 비교해 봤을 때 40 mm-2.5 s/cycle에서의 최대값은 44.4 ± 2.3 mm, 최소값은 -2.7 ± 2.0 mm이고 20 mm-3.0 s/cycle에서의 최대값은 22.3 ± 4.1 mm 최소값은 0.25 ± 0.25 mm이며, 40 mm-3.5 s/cycle에서의 최대값은 44.8 ± 1.8 mm, 최소값은 1.2 ± 2.8 mm으로 확인되었다. 즉 진폭의 최고점에서의 평균 일치도는 88.5%, 최소값의 일치도는 평균 96.4%으로 측정되었다.

고찰 및 결론

호흡이 규칙적으로 유지된 환자의 경우 불규칙한 호흡 패턴을 보여준 환자에 비해 복부의 움직임이 실제 종양의 움직임 사이의 상관관계가 크다는 연구²⁰⁾와 환자가 호흡연습 장치를 사용한 경우 호흡의 재현성과 규칙성이 향상되었다는 연구¹⁵⁾가 보고된 바와 같이 환자의 호흡 훈련은 치료 성공률을 높일 수 있는 하나의 요인임을 확인할 수 있었다. 이에 본 연구팀은 호흡연동치료시스템 개발에 대한 선행 연구로, 흉·복부의 상하 운동을 MEMS 신호로 확인할 수 있는지에 대하여 MEMS 가속도 센서의 성능을 평가하였다.

MEMS 센서가 복부의 호흡 운동의 주기성을 나타낼 수 있는지 평가하기 위해 RGP의 실제 운동 주기와 비교하였다. MEMS 가속도 센서는 0.001 g 단위로 그 위치에서의 중력가속도 측정하기 때문에 흉·복부 상하 운동을 측정할 수 있는지 여부를 Fig. 2을 통해 정성적으로 확인하였고 Table 1을 통해 정량적으로 분석하였다. Fig. 2를 통해 그래프 모양으로 호흡의 주기성을 파악할 수 있었고 Table 1을 통해 MEMS 신호주기는 실제 운동 주기와 비교하여 최대 6%의 오차를 나타냄을 확인할 수 있었다. 비슷한 조건으로

시행한 기존의 연구결과²¹⁾를 보면 3 s/cycle에서 최대 4.3%의 오차를 보였다. 다만 RPM에 비해 상대적으로 높은 오차가 발생한 이유는 MEMS에서 측정되는 흉·복부 상하 운동에 대한 가속도의 절대적인 크기가 중력가속도에 비해 상대적으로 작기 때문에 신호 대 잡음 비(S/N)가 증가함에 따라 신호의 주기와 진폭에 영향을 준 것으로 사료된다.

MEMS 센서 신호의 전체적 형태를 RPM 시스템을 통해 측정된 신호와 비교해 보았을 때 RPM시스템은 1% 미만의 오차율로 주기와 진폭으로 반복하는데 반해 MEMS 신호는 주기, 진폭이 일정 구간마다 오차를 보였으며 진폭의 경우 최대 6.6 mm, 최소 0.0 mm의 오차를 확인할 수 있었다.

비록, 기존의 호흡동조방사선치료에 사용되는 상용제품인 RPM에 비해 상대적인 오차가 근소하게 크지만 많은 환자들이 신호를 보고 호흡 훈련을 하기 위해서는 한눈에 신호주기를 판단할 수 있는 단순성과 어디서든 쉽게 사용할 수 있는 간편성에 초점을 둔다면 MEMS 가속도 센서는 호흡운동신호를 획득하는 센서로서 활용 가능할 것으로 예상된다. 좀 더 정확한 신호를 획득하고자 한다면 MEMS 센서의 민감도를 본 연구에 사용한 센서 규격보다 높은 것으로 이용하고 추가적인 필터링을 통해 잡음 제거를 하는 것도 정확도를 높이는 하나의 방법이 될 것이라 추정한다.

참 고 문 헌

1. Keal PJ, Mageras GS, Balter M, et al: The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group. Med Phys 33:3874-3881 (2006)
2. Britton KR, Starkschall G, Tucker SL, et al: Assessment of gross tumor volume regression and motion changes during radiotherapy for non-small-cell lung cancer as measured by four-dimensional computed tomography. Int J Radiat Oncol Biol Phys 68:1036-1046 (2007)
3. Chang J, Mageras GS, Yorke E, et al: Observation of interfractional variations in lung tumor position using respiratory gated and ungated megavoltage cone-beam computed tomography. Int J Radiat Oncol Biol Phys 67:1548-1558 (2007)
4. Weiss E, Wijesooriya K, Dill SV, et al: Tumor and normal tissue motion in the thorax during respiration: Analysis of volumetric and positional variations using 4D CT. Int J Radiat Oncol Biol Phys 67(1):296-307 (2007)
5. Rietzel E, Liu AK, Chen GTY, et al: Maximum-intensity volumes for fast contouring of lung tumors including respiratory motion in 4DCT planning. Int J Radiat Oncol Biol Phys 71(4): 1245-1252 (2008)
6. Ju SG, Hong C, Huh W, et al: Development of an offline based internal organ motion verification system during treatment using sequential cine EPID images. Korean J Med Phys

- 23(2): 91-98 (2012)
7. **Webb S:** Motion effects in (intensity modulated) radiation therapy: a review. *Phys Med Biol* 51(13):R403-R425 (2006)
8. **Minohara S, Kanai T, Endo M, et al:** Respiratory gated irradiation system for heavy-ion radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 47(4):1097 (2000)
9. **Liu HH, Koch N, Starkschall G, et al:** Evaluation of internal lung motion for respiratory-gated radiotherapy using MRI: Part II - Margin reduction of internal target volume. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 60:1473-1483 (2004)
10. **Mah D, Hanley J, Rosenzweig KE, et al:** Technical aspects of the deep inspiration breath-hold technique in the treatment of thoracic cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 48(4):1175-1185 (2000)
11. **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* 60(2):419-426 (2004)
12. **Jiang SB:** Radiotherapy of mobile tumors. *Semin Radiat Oncol* 16(4):239-248 (2006)
13. **Shirato H, Harada T, Harabayashi T, et al:** Feasibility of insertion/implantation of 2.0-mm-diameter gold internal fiducial markers for precise setup and real-time tumor tracking in radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 56(1):240-247 (2003)
14. **Murphy MJ:** Tracking moving organs in real time. *Semin Radiat Oncol* 14(1):91-100 (2004)
15. **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 Radiat Oncol Biol Phys* 65(3):924-933 (2006)
16. **Neicu T, Berbeco R, Wolfgang J, et al:** Synchronized moving aperture radiation therapy (SMART): improvement of breathing pattern reproducibility using respiratory coaching. *Phys Med Biol* 51(3):617-636 (2006)
17. **Jeong JD:** Micro Electro Mechanical System, MEMS. In company: (2011) p.78-83
18. **Zeng H, Zhao Y:** Sensing movement: microensors for body motion measurement. *Sensors* 11(1):638-660 (2011)
19. <http://www.standardimaging.com/>, STANDARDIMAGINE phantom product home 'respiratory gating platform'
20. **Hoisak JD, Sixel KE, Tirona R, et al:** Correlation of lung tumor motion with external surrogate indicators of respiration. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 60(4):1298-1306 (2004)
21. **Ono T, Takegawa H, Ageishi T, et al:** Respiratory monitoring with an acceleration sensor. *Phys Med Biol* 56(19):6279-6289 (2011)

MEMS 가속도 센서를 이용한 환자 호흡동작 모니터링 체계 연구

*고려대학교 보건과학대학 방사선학과, †강동경희대학교병원 방사선종양학과,
‡경희대학교병원 방사선종양학과

성지원*[†] · 윤명근* · 정원규[†] · 김동욱[†] · 신동오[†]

본 연구팀은 호흡 훈련을 통해 호흡의 안정성과 재현성을 증대시킴으로써 환자 적용 범위를 넓히고자 미세전자기계시스템(micro-electro-mechanical system, MEMS) 가속도 센서를 이용한 새로운 호흡훈련시스템을 개발하고자 한다. 본 연구는 호흡동작 모니터링의 선형연구로 MEMS 센서의 성능평가를 Respiratory Gating Platform (RGP)을 이용하여 2.5, 3.0, 3.5 s/cycle의 속도와 4.0, 3.0, 2.0 cm을 진폭으로 하는 1차원 왕복운동에 대한 MEMS 가속도 센서의 순간중력가속도에 대한 반응을 측정하였고 이를 Varian RPM (real time patient monitoring system) 시스템과 비교하였다. RGP의 운동 주기에 대한 MEMS 가속도 센서의 주기 오차는 0.6~6.0%로 측정되었으며 RPM 시스템과 MEMS 가속도 센서에 대한 진폭 감도 오차는 1%와 3.6~11.5%로 측정 되었다. 본 연구를 통하여 MEMS 가속도 센서에 대한 환자 호흡 훈련용으로서의 가능성을 확인할 수 있었다.

중심단어: 방사선치료, 호흡연동시스템, 미세전자기계시스템(MEMS) 센서, 호흡 훈련, 폐암