

공기 주입형 풍선 담요를 이용한 복부 고정 가능성 연구

울산대학교 의과대학 서울아산병원 방사선종양과
†이화여자대학교 물리학과, ‡가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

서예린*[†] · 이병용* · 안승도* · 이상욱* · 김종훈* · 신승애[†] · 최은경* · 서태석[‡]

방사선 치료 분야에서 환자를 고정시킬 수 있는 더 나은 도구에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히, 전신 방사선 수술과 세기 조절 방사선 치료 등의 치료 방법에서는 확실하면서도 실용적인 고정 기구가 필요하다. 외부 빔 방사선 치료시 복부를 고정하는 새로운 방법으로, 공기 주입형 풍선 담요(air-injected balloon blanket, AIBB)를 설계, 제작하였다. 공기가 풍선 담요의 내부로 주입되며 환자의 복부를 눌러 환자를 고정시킨다. AIBB는 환자의 움직임을 고정시키는데 유용한 역할을 하여, 환자의 복부에서 호흡에 의해 가장 많이 움직이는 앞뒤 방향 움직임을 5 mm 이상 감소시킬 수 있었다. 이러한 고정 기구의 이용으로 호흡에 따르는 환자의 움직임이 감소되었고, 실험 결과는 AIBB를 임상에서 사용하는 것이 가능하다는 것을 보여주었다.

중심단어 : 고정, 위치잡이, 방사선 치료

서 론

방사선 치료시 고정 기구 내에서 환자의 움직임과 분할 치료에서 위치 재연의 불확실성에 대한 문제가 제기됨에 따라, 환자를 정확하게 고정하는 방법에 대한 관심이 높아지고 있다.¹⁻³⁾ 더욱이 최근 발전 중에 있는 정교한 3차원 입체 조형 치료나 세기 조절 방사선 치료는 방사선 치료 중 표적이 움직이거나 환자의 위치 재연이 정확하지 않다면 만족할만한 결과를 얻기 어렵기 때문에, 방사선 치료 분야에서 더 나은 고정 기구에 대한 요구가 증가하고 있다.^{4,5)} 즉 환자의 위치잡이 오차를 최소화시킬 수 있을 때, 치료 효과를 극대화시킬 수 있는 것이다. 특히, 흉부와 복부 내의 표적은 호흡에 의해 그 움직임이 상당히 크면서도 고정시키기가 어려운 부분 중 하나로, 표적의 움직임과 위해 장기의 움직임도 함께 고려해야 한다.^{6,7)} 따라서 정확하면서도 재연성 있게 환자를 위치시킬 수 있는 방법이 필요하게 된다. 적절한 고정 기구를 사용하면, 표적의 위치적인 부정확성이 감소될 수 있을 것이다.

현재 사용되고 있는 환자 고정 도구들은 대부분 폴리우레탄 폼이나 진공 쿠션을 이용한 것이다.^{8,9)} 이것들은 둘 다 환자의 몸 아래에 놓이는 것이므로, 양위와 누운 환자의 복부가 호흡시 가장 많이 움직이게 되는 위아래 방향의 움직임을 고정할 수 없다. 이를 위해, 외부 빔 방사선 치료에서 환자의 복부를 고정하는 유용한 방법이 고안되었다. 호흡에 의한 움직임이 가장 큰 횡격막 근처 표적의 움직임을 감소시키기 위해, 복부 전체와 폐의 하엽 부분을 덮을 수 있는 공기 주입형 풍선 담요(Air-injected balloon blanket, AIBB)가 고정 기구로 설계되었다. 공기가 담요 내로 주입되며 복부에 대한 압력을 증가시킴으로써, 기계적으로 환자의 복부 및 폐의 하엽 부분에 압력을 가해 횡격막의 움직임을 감소시키는 원리이다.

본 연구는 이러한 환자 고정 방법을 임상에 적용하기 위한 선행 과제로, 설계된 AIBB를 이용하여 환자의 흉부와 복부 내 장기와 표적의 움직임을 감소시킬 수 있는 가능성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

방사선 치료시 환자를 고정하는 기구를 설계하기 위하여, 몇 가지 요건들이 미리 고려되어야 한다. 첫째, 고정 기구는 간단히 설치할 수 있어야 하며, 모의 치료나 치료시에 너무 많은 설치 시간이 걸리지 않도록 해야 한다. 둘째, 고정 기구의 역할이 호흡에 의한 환자의 움직임을

이 논문은 2002년 8월 23일 접수하여 2002년 9월 10일 채택됨.
이 연구는 보건복지부 HMP-98-G-1-016의 지원에 의해 수행되었습니다.

책임저자: 이병용, 서울시 송파구 풍납동 388-1
서울아산병원 방사선종양학과, 138-736
Tel: 02)3010-4433, Fax: 02)482-6987
E-mail: yiby@amc.seoul.kr

서예린 외 7인 : 공기 주입형 풍선 담요를 이용한 복부 고정 가능성 연구

고정시키는 것이기는 하지만, 환자가 불편함을 느끼게 하지 말아야 한다. 마지막으로, 빔을 감쇠 시키거나 방사선 영상에 어떠한 인공적인 것을 만들지 않아야 하는 등, 방사선 치료를 방해하지 않아야 한다.

본 연구에서 개발한 공기 주입형 풍선 담요(Air-injected balloon blanket, AIBB)의 구조는 두 부분으로 나뉜다. 하나는 환자의 복부를 누르는 공기 주입식 풍선 담요이고, 다른 하나는 받침틀에 담요를 고정시키는 블록이다. 담요의 양쪽 부분에는 T자 모양으로 된 고리가 있는 지지대가 부착되어 있어, 받침틀에 탈부착이 가능한 L자 모양의 블록에 끼워서 담요를 받침틀에 고정시킬 수 있게 한다. 담요의 윗면에 연결된 관에는 담요 내부의 압력을 조절하는 압력계와 공기의 드나듦을 조절하는 밸브가 부착되어 있는데, 이것들은 담요 내에 공기 주입을 마친 후 담요에서 떼어낼 수 있도록 되어 있다. 환자의 움직이는 복부를 위에서 아래로 누르기 위해 담요의 윗면에 비해 아랫면이 더 많이 부풀어야 하므로, 두 면은 서로 다른 재질로 만들어져 있다. 또한, 투명한 재질로 담요를 만들어 환자의 피부 위에 있는 조사면, 십자선, 거리 표시 눈금 등을 볼 수 있게 한다(Fig. 1).

이 고정 기구의 효과와 유용성을 확인하기 위한 실험에는 폐암 환자가 선택되었고, 형광투시경의 영상을 컴퓨터로 받아들일 수 있는 시스템을 제작하였다. 모의치료기에 받침틀을 올려놓고 담요를 고정시키는 받침을 장치한 후, 환자의 위치잡이를 재연하기 위해 각 환자에 맞게 개별적으로 구조된 진공 쿠션을 올려놓는다. 양쪽 폐의 상엽과 하엽 그리고 횡격막의 위치에 해당하는 환자 피부의 위에 표시점을 올려놓고, 환자를 진공 쿠션 위에 양와위로 눕혔다. 환자가 자연스럽게 호흡을 하는 상태에서 AIBB를 덮지 않은 채로, 각 표시점의 위치에서 환자의 움직임에 대한 형광투시 영상을 얻었다. 그 후, 복부 전체

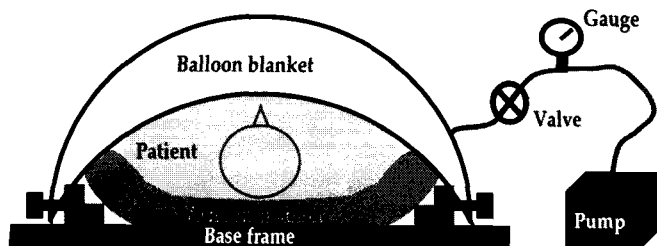


Fig. 1. The scheme for the Air Injected Balloon Blanket (AIBB).

와 폐의 하엽 부분을 AIBB로 덮은 상태에서 다시 한번 영상을 얻었다(Fig. 2).

얻어진 영상은 영상 장치 PVR (Personal Video Recorder, (주)디비코, 한국)을 이용하여 초당 29.97 프레임 비율의 MPEG 형식의 파일로 분석용 컴퓨터에 저장하였다. 저장된 영상에서 매 10 프레임 당 한 프레임을 추출하여, 피부 표시점의 위치 변화와 방향을 측정하였다.

결 과

호흡에 따르는 환자의 움직임은 환자를 기준으로 크게 좌우 방향, 앞뒤 방향, 그리고 위아래 방향의 세 방향으로 구분할 수 있다. AIBB를 덮지 않은 상태와 덮은 상태 각각에서의 형광투시 영상을 Fig. 3에 나타내었다. 호흡에 의한 흉부와 복부의 움직임에 따르는 위치 변화를 알아보기 위해, 폐의 상엽과 하엽 그리고 횡격막에서 피부 표시점의 위치 변화를 각각 측정하고 분석하였다.

움직임의 범위는 AIBB를 덮지 않은 상태에서 좌우 방향으로 8.6 mm, 앞뒤 방향으로 15.5 mm, 그리고 위아래 방향으로 17.1 mm로 측정된 반면, AIBB를 덮은 상태에서는 좌우 방향 5 mm, 앞 뒤 방향 10 mm, 그리고 위아래 방향으로 14 mm로 측정되었다. AIBB를 사용하지 않은 때와 사용한 때의 호흡에 의한 세 가지 다른 방향으로의 변위는 Table 1에 자세히 나와있다.

AIBB를 사용하지 않았을 경우와 사용하였을 경우 복부 위에 놓인 피부 표시점의 움직임을 Fig. 4에 나타내었다. 복부 움직임의 진폭이 감소하였음을 알 수 있다. 설계된 AIBB의 도움으로, 호흡에 의한 피부 표시점의 변위는

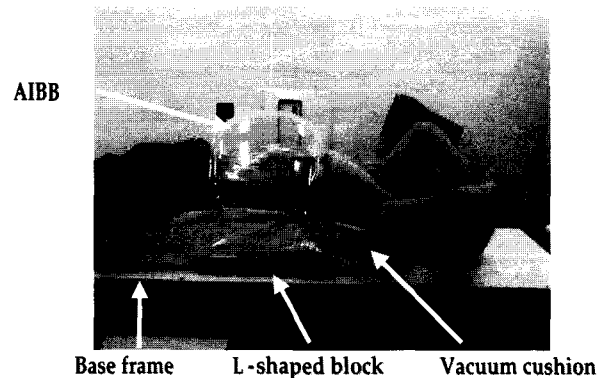


Fig. 2. Patient lying down on the table with the AIBB during simulation.

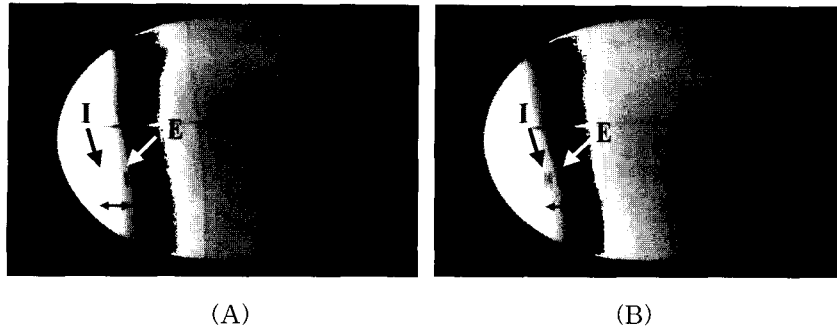


Fig. 3. Fluoroscopic images of the skin marks on the abdomen due to respiration in the lateral view (A) without and (B) with the AIBB. Both are the fused images of two which indicated the inhalation and the exhalation. "I" stands for the skin mark at the inhalation and "E" stands for the skin mark at the exhalation. With the AIBB, amplitude of the abdomen was reduced.

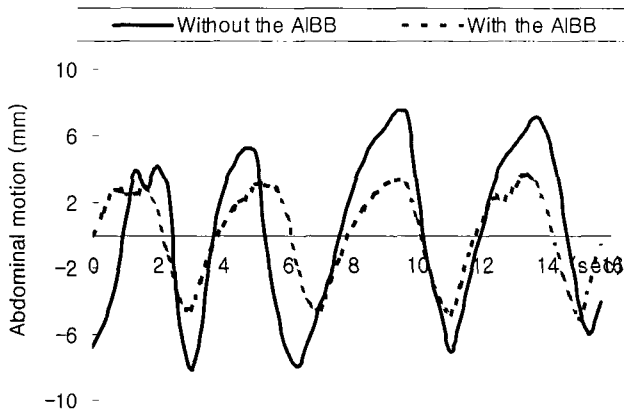


Fig. 4. The plots of the abdominal motion without and with the AIBB.

Table 1. Displacement of the skin marks on the abdomen due to respiration without and with the AIBB in three different direction. (mm)

	Direction	Right-Left	Anterior-Posterior	Superior-Inferior
Without AIBB	Range	8.6	15.5	17.1
	STDEV	2.5	4.7	4.7
With AIBB	Range	4.7	10.0	15.8
	STDEV	1.7	2.8	4.2
reduced by	Range	3.9	5.5	1.3

움직임의 방향에 따라 1 mm에서 5 mm 정도 감소하였다. 호흡이 가장 많이 움직이는 방향인 앞뒤 방향의 움직임은 5 mm 이상으로 가장 눈에 띄게 감소하였다. 고정 기구의 사용으로 폐의 상엽과 하엽 부분의 움직임도 약간 줄어들

었지만, 이러한 부분은 움직임이 2 mm 미만이면서 AIBB를 사용시 줄어드는 값도 1 mm 미만으로 나타났다.

고찰 및 결론

Lax,¹⁰⁾ Wulf¹¹⁾ 등은 정위 체부 고정틀에서 횡격막 고정 나사를 이용하여 환자 복부의 한 부분을 눌러줄 수 있는 장치(Arc and scaled screw for diaphragm control)를 개발하여 그 효능을 보고한 바 있다. 이 고정 기구도 환자의 복부를 눌러 호흡에 의한 움직임을 줄여주고 나사에 있는 눈금으로 압력의 재연성을 달성할 수 있으나, (1) 나사가 눌러진 곳과 그 주변을 치료하는데 어려움이 있고, (2) 플라스틱 나사로 인해 방사선 감쇠가 일어나 치료를 방해하며, (3) 나사 모양으로 되어있어 환자의 복부를 누를 시 환자가 통증을 느끼는 등의 문제점이 있다. 새로 설계된 AIBB는 횡격막 고정 나사와 비슷한 원리로 환자 고정틀에 같은 이점을 가지면서도, 이러한 문제점들을 해결할 수 있다. Lax 등의 고정틀은 구조적으로 AIBB를 사용하기가 불편하나, 정원균¹²⁾ 등이 보고한 평판형 정위 체부 고정틀을 사용하면, AIBB를 적합하게 이용할 수 있을 것으로 보인다.

AIBB의 설계에 있어, 담요에 몇 개의 구멍을 뚫거나 담요의 겉 표면을 기록가능한 재질로 만든다면, 그 구멍들을 통해 환자의 피부에 표시점을 그릴 수 있고 레이저나 치료 영역 경계가 담요 위에 표시될 수 있으므로 더욱 실용적일 수 있다.⁴⁾ 또한, 담요의 아래면에 몇 개의 세로 선을 박음질한다면, 담요가 더 쉽게 구부러지며 환자 복

부의 표면에 더 잘 맞게 될 것이다. 비상시, 담요를 고정 시키는 부분이 쉽게 풀어질 수 있도록 고리가 걸리는 부분을 개선시킬 필요가 있다. 추가로 환자 위치잡이 재연성에 관한 반복 실험을 통해 AIBB의 유용성을 확인하는 연구와, 피부 위의 표시점의 움직임뿐만 아니라 장기의 움직임을 측정해보는 것이 필요하다.

본 실험에서는 AIBB의 사용으로 호흡에 의한 피부 위 표시점의 움직임이 감소함을 알 수 있었고, 이것으로 볼 때 장기의 움직임도 감소한다고 추정할 수 있다. 즉 AIBB가 호흡에 의한 환자의 움직임을 감소시켜, 방사선 치료시 환자를 고정시키는데 유용하게 사용될 수 있음을 보였다. 특히, 호흡에 의해 가장 많이 움직이는 방향의 움직임이 현저하게 줄어들어 효율적인 환자 고정을 이룰 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Bentel GC, Marks LB, Sherouse GW, Spencer DP, Anscher MS: The effectiveness of immobilization during prostate irradiation. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 31:143-148 (1995)
2. Nalder CA, Bidmead AM, Mubata CD, Tait D, Beardmore C: Influence of a vac-fix immobilization device on the accuracy of patient positioning during routine breast radiotherapy. *Br. J. Radiol.* 74:249-254 (2001)
3. Graham P, Elomari F, Browne L: Armrest versus vacuum bag immobilization in the treatment of breast cancer by radiation therapy: A randomized comparison. *Australasian Radiology.* 44:193-197 (2000)
4. Saw CB, Yakoob R, Enke CA, Lau TP, Ayyangar KM. Immobilization devices for intensity-modulated radiation therapy (IMRT). *Medical Dosimetry.* 26: 71-77 (2001)
5. Malone S, Szanto J, Perry G, Gerig L, Manion S, Dahrouge S, Crook J: A prospective comparison of three systems of patient immobilization for prostate radiotherapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 48: 657-665 (2000)
6. Ozhasoglu C, Murphy MJ: Issues in respiratory motion compensation during external-beam radiotherapy. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 52:1389-1399 (2002)
7. Dawson LA, Litzenberg DW, Brock KK, Sanda M, Sullivan M, Sandler HM, Balter JM: A comparison of ventilatory prostate movement in four treatment positions. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 48:319-323 (2000)
8. Halperin R, Roa W, Field M, Hanson J, Murray B: Setup reproducibility in radiation therapy for lung cancer: a comparison between T-bar and expanded foam immobilization devices. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 43:211-216 (1999)
9. Bentel GC, Marks LB, Krishnamurthy R: Impact of cradle immobilization on setup reproducibility during external beam radiation therapy for lung cancer. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 38:527-531 (1997)
10. Lax I, Blomgren H, Naslund I, Svanstrom R: Stereotactic radiotherapy of malignancies in the abdomen. Methodological aspects. *Acta. Oncol.* 33: 677-683 (1994)
11. Wulf J, Hadinger U, Oppitz U, Olshausen B, Flentje M: Stereotactic radiotherapy of extracranial targets: CT-simulation and accuracy of treatment in the stereotactic body frame. *Radiother. Oncol.* 57:255-236 (2000)
12. Chung WK, Yi BY, Choi EK, Kim JH, Ahn SD, Min CK, Shin DI, Chang H: Whole Body Frame for the Target Localization with CCTV Camera System and Fluoroscopy. Schlegel W., Bortfeld T.(ed). *XIIIth International Conference of Use of Computers in Radiation Therapy.* 2000, Springer, Heidelberg, pp. 582-583

A Feasibility Study on the Abdomen Immobilization with Air Injected Balloon Blanket

Ye Lin Suh*[†], Byong Yong Yi, Ph.D.*[†], Seung Ai Shin, Ph.D.[†], Jong Hoon Kim, M.D.*[†],
Seung Do Ahn, M.D.*[†], Sang-wook Lee, M.D.*[†], and Eun Kyung Choi, M.D.*[†],
Tae Suk Suh, Ph.D.[†]

**Department of Radiation Oncology, Asan Medical Center, College of Medicine,
University of Ulsan, Seoul, Korea*

[†]Department of Physics, Ewha Womans University

[†]Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Catholic University of Korea

The demand for a better immobilization device has been increased in the radiation oncology field. Especially, it is essential to have a reliable and practical immobilization tool for the whole body radio-surgery and the IMRT(intensity modulated radiation therapy). A new method to immobilize the abdomen for the external beam radiation treatment was developed. The air-injected balloon blanket (AIBB) was designed as an immobilization device. As the air was injected into the AIBB, it pressed down the patient's abdomen and fixed the patient. The AIBB played a useful role to grab the patients' motion. Displacement of the abdomen in the anterior-posterior direction, which showed moving most during the respiration, reduced by more than 5 mm. Patients' movements from the breathing were reduced. The experimental results revealed that the AIBB could be used for the clinic.

Keywords : Immobilization, setup, Radiation therapy