자체 제작한 정위적체부방사선치료(Stereotactic Body Radiotherapy) 고정용구의 유용성 평가

삼성서울병원 방사선종양학과

이동훈 · 안종호 · 서정민 · 신은혁 · 최병기 · 송기원

목 적: 정위적체부방사선치료(Stereotactic body radiotherapy) 시 환자셋업의 재현성 및 장시간 안정된 자세의 유지를 위한 고정용구는 정확한 치료를 위해 무엇보다 중요하다. 이에 본 연구는 상품화된 고정용구 두 가지와 자체 제작한 고정용구를 비교 평가하여 정위적체부방사선치료 시 최적의 고정용구를 적용하는데 그 목적이 있다.

대상 및 방법: 일반인 5명을 대상으로 각기 다른 세 가지 고정용구(A: Wing-board, B: BodyFix system, C: Arm up holder with vac-lock)를 각각 적용하였으며 대상자의 가장 안정적인 호흡주기를 선택하여, 고글 모니터를 착용 후 일정한 호흡을 30분간 유지토록 하여 호흡신호를 획득하였다. 호흡신호의 분석은 본원에서 자체 개발한 프로그램을 통해 호흡신호의 최고값(peak value)과 최저값(valley value)의 표준편차(standard deviation) 및 분산값(variation value)을 시간대별로 분리하여 획득하고 이를 이용해서 상대적 비교지수를 구하여 각 고정 용구를 비교평가 하였다.

결 과: 각 고정용구의 호흡시간대별 편차의 변화를 고려한 안정도를 평가하였으며, 고정 용구 별 비교지수는 각 실험자별로 다음과 같다. A: 11.20, B: 4.87, C: 1.63 / A: 3.94, B: 0.67, C: 0.13 / A: 2.41, B: 0.29, C: 0.04 / A: 0.16, B: 0.19, C: 0.007 / A: 35.70, B: 2.37, C: 1.86으로 나타났으며, 실험자 5명 모두 고정용구 C를 사용하였을 때 가장 안정된 값을 나타냈다. 반면 A를 사용했을 때 4명, B에서 1명이 상대적으로 가장 불안정한 호흡결과를 나타냈다.

결 론: 자체개발한 정위적체부방사선치료 고정용구(arm up holder with vac-lock)는 다른 두 고정용구에 비해 호흡을 안정적으로 유지시킴으로서 조사분할내 종양움직임(intra-fraction organ motion)을 감소시켜 치료효과를 높일 수 있을 것으로 생각된다. 특히 셋업을 장시간 유지시켜야 하는 정위적체부방사선치료의 특성상 시간의 경과에 따라 불안한 호흡주기를 나타낸 다른 두 고정용구에 비해 자체개발한 고정용구가 정위적체부방사선치료에 유용할 것으로 사료된다.

핵심용어: 정위적체부방사선치료, 고정용구, 호흡신호

서 론

과거의 정위적방사선치료(Streotactic Radiotherapy)는 고정이 용이하고 움직임이 거의 없는 부위인 두개강 내의 뇌혈관 질환, 뇌종양 등에 주로 적용이 되었으나 현재에는 방사선치료기의 발전 및 체부 고정용구의 발달로 인해 정확한 위치의 표적화가 가능해짐에 따라 정위적체부방사선치료가 널리 적용되고 있다. 소분할 정위적체부방사선치료는 폐암이나 간암과 같은 광범위한 두개강 외 병변에 매우 높은 처방선량을 조사할 수 있으며 고식적인 방사선치료에 비해 높은 생물학적유효선량(Biological effective dose)을 짧은 주기로 줄 수 있는 장점이 있어 임상에서 널리 적용되고 있다.[1,2]

이 논문은 2010년 9월 17일 접수하여 2010년 12월 26일 채택되었음.
책임저자 : 이동훈, 삼성서울병원 방사선종양학과
Tel: 02)3410-2600, Fax: 02)3410-2619
E-mail: leedh.lee@samsung.com

하지만 타겟의 부정확한 위치잡이는 때때로 정상조직에 고선량이 조사되거나 타겟 내에 불충분한 선량이 조사되는 현상을 야기하기도 한다. 타겟의 부정확한 위치는 환자의 셋업 오차에서 발생할 수 있는 조사분할간(inter fraction motion)과 환자의 심박동, 환자의 호흡, 내부장기의 불규칙한 움직임으로 인한 조사분할내(intra fraction motion)에 의해 발생할 수 있다.[3] 이러한 현상은 흉부, 복부와 같이 호흡의 영향을 많이 받는 장기에서 특히 많이 발생하게 되며 임상에서는 타겟의 움직임을 줄이기 위해 환자의 호흡을 조절하는 방법(복부압박, 호흡통제치료방법, 종양움직임 추적 시스템, real time position management 등)과 환자의 호흡을 일정하게 유지시켜주는 고정용구 고안 등에 많은 연구가 이루어지고 있다.[4-6]

정위적체부방사선치료는 고식적 방사선치료에 비해 상대적으로 긴 치료 시간(약 30~60분)으로 인해 환자 셋업의 재현성 및 치료 중 동일한 자세유지는 상대적으로 어렵기 때문에 이를 위한 안정적인 고정용구는 무엇보다 중요하다고 할

수 있다.[7,8)]

이에 본 연구에서는 지원자 5명을 대상으로 현재 정위적체부방사선치료에 이용하는 상품화된 두 가지 고정용구와 본원에서 자체 제작한 고정용구를 CCD카메라를 이용해 복부에 위치한 surrogating marker block의 상하운동을 측정하여 호흡신호를 획득 및 분석하여 정위적체부방사선치료 시 자체 제작한 고정용구의 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법

1. 실험대상 및 재료

본 연구의 실험자는 5명의 지원자를 대상으로 진행되었으며 각각의 실험자에게 상품화된 고정용구인 A: Extended Wingboard (CIVCO, MedTec, USA), B: Bodyfix system (Medical intelligence, Elekta, Germany), 본원에서 자체 제작한 정위적체부방사선치료 전용 고정용구 C: Arm up holder with Vac-lok (이하 AUHV, Arlico Medical, Korea)를 각각 사용하였다(Fig. 1). 호흡 대상의 관찰을 위해 CCD 카메라, IR illuminator 및 Surrogating Marker Block을 사용하였다(Fig. 2). 또한 실험자의 안정된 호흡주기를 확인하기 위해 Head-mounted display goggle (Shades 301, USA)를 사용하였으며 호흡신호는 실시간으로 RPM respiratory gating system 1.7 (S/W)을 통해 확인하였다(Fig. 3).

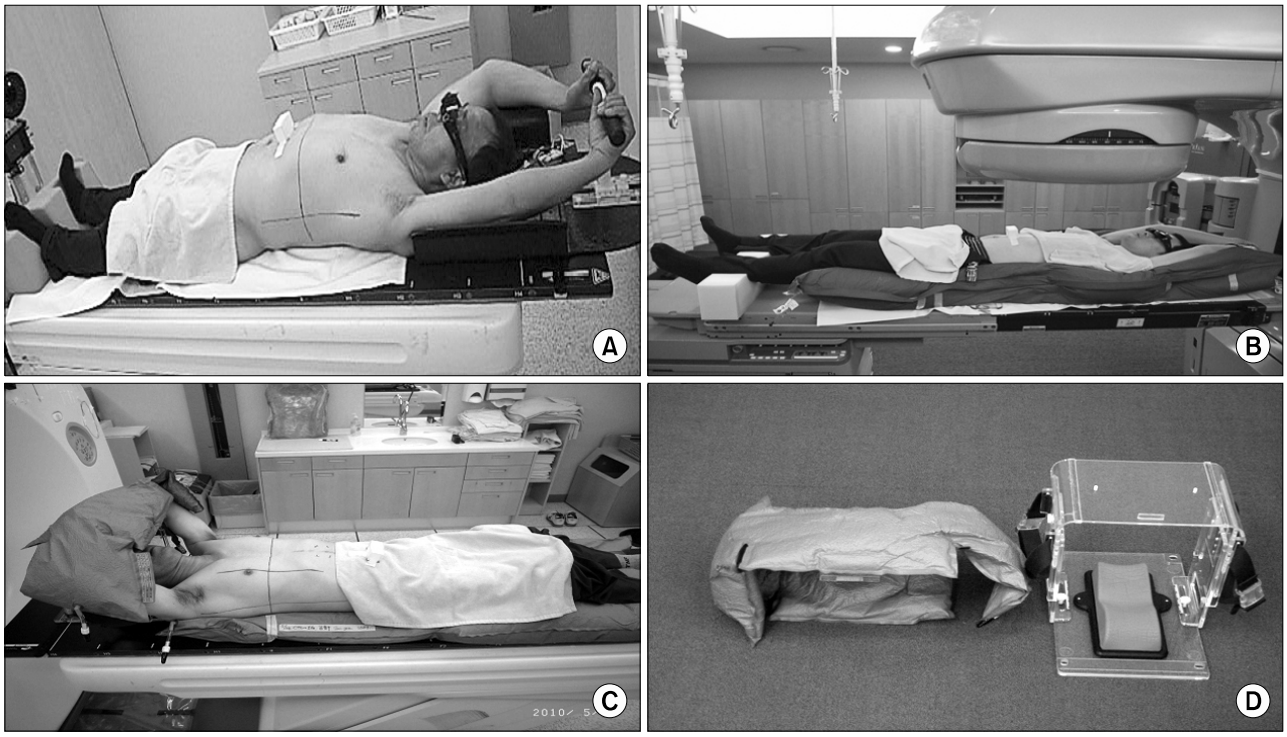

Fig. 1. Photos of immobilizations. Extended Wingboard (A), BodyFix systems (B), AUHV (C, D).

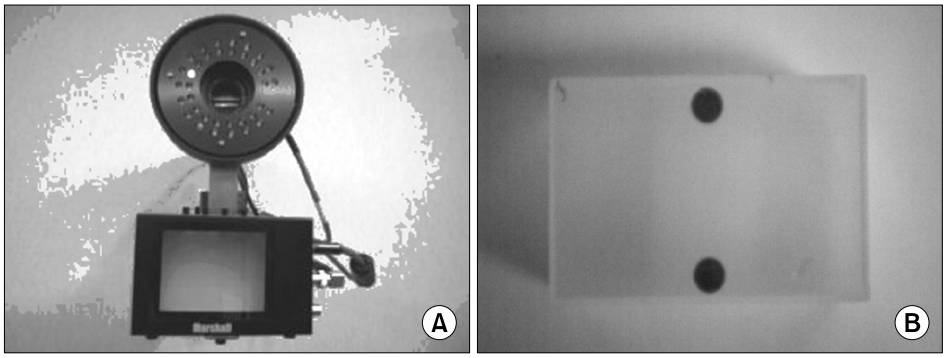

Fig. 2. Respiration observation system. CCD camera and IR illuminator (A), Surrogating marker block (B).

Fig. 3. Respiration acquisition system. Head-mounted display goggle (A), RPM respiratory gating system 1.7 software (B).

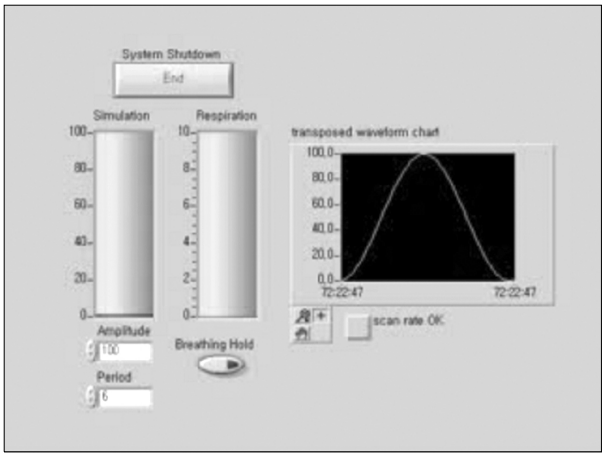

Fig. 4. Respiration signals indicates in head-mounted display goggle.

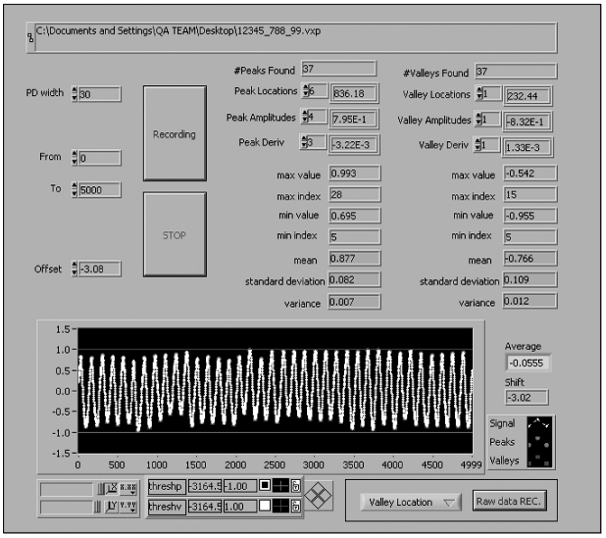

Fig. 5. RPM signal analysis program (Labview ver 7.0).

2. 호흡신호의 적용 및 데이터 획득

A, B, C 각 고정용구를 실험자에게 모두 적용하여 대상자를 셋업한 후 각 실험자의 안정적인 호흡주기(4.5초)를 선택한 후 Head-mounted display goggle에 표시되는 호흡신호를 따라하도록 하였다(Fig. 4). 호흡신호는 빨간색의 시뮬레이션 막대기가 움직이면서 호흡을 유도하게 하였으며 각 고정용구 별로 30분의 호흡신호를 획득하였다. 또한 반복되는 실험으로 발생하는 실험자의 피로감이 호흡신호에 영향을 주는 것을 방지하기 위해 각 고정용구의 적용은 실험자 모두 열흘의 간격을 두고 실험을 진행하였다.

3. 호흡신호 분석

각 고정용구별로 획득된 호흡신호는 본원에서 자체 개발한 real time position management (RPM) 신호분석프로그램(Labview ver 7.0, Fig. 5)을 통해 획득되었다. RPM 신호분석 항목은 호흡의 최저 및 최고치에서 최대값(peak value), 최저값(valley value), 평균(mean), 표준편차(standard deviation), 분산(variation value)이며 분석 값을 각 고정용구별로 실험자마다 0～30분의 전체 평균값과 0～10분, 10～20분, 20～30분의 값을 각각 분석하였다.

4. 호흡신호 안정성 평가

1) 표준편차 및 분산 평가의 절대 값 평가

0～30분까지 얻어진 데이터의 평균 값

2) 분산값의 상대적 비교지수 평가

각 시간대별 0～10분, 10～20분, 20～30분의 호흡변동 추이를 알아보기 위한 것으로 시간이 경과함에 따라 안정된 호흡의 지속성 여부를 평가하는 지수이다. 이는 기술통계에 근거한 상대적비교식을 적용하여 평가하였다

$$\text{Relative Index} = \sqrt{(P_{10}V_{10})(P_{20}V_{20})(P_{30}V_{30})} * F$$

P: average peak value variance

V: average valley value variance

Table 1. 0～30 minute SD & variance

Device	Experimenter														
	I			II			III			IV			V		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Valley SD	0.42	0.35	0.33	0.53	0.50	0.46	0.40	0.31	0.27	0.42	0.32	0.23	0.97	0.63	0.56
Valley variance	0.18	0.12	0.11	0.28	0.26	0.21	0.16	0.10	0.07	0.17	0.10	0.05	0.95	0.40	0.31
Peak SD	0.52	0.51	0.29	0.19	0.11	0.07	0.27	0.15	0.10	0.12	0.20	0.03	0.72	0.20	0.16
Peak variance	0.17	0.16	0.09	0.04	0.01	0.01	0.07	0.02	0.01	0.02	0.04	0.00	0.52	0.04	0.03

A: Wing-board, B: Bodyfix system, C: Arm up holder with vac-lock.

Table 2. Valley & peak variance per ten minute

Device	Experimenter														
	I			II			III			IV			V		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Valley variance															
0～10	0.11	0.03	0.06	0.16	0.21	0.13	0.20	0.15	0.04	0.08	0.00	0.03	0.43	0.19	0.27
10～20	0.13	0.10	0.04	0.30	0.27	0.25	0.11	0.04	0.05	0.18	0.09	0.04	0.60	0.25	0.29
20～30	0.20	0.18	0.06	0.33	0.22	0.22	0.09	0.05	0.04	0.04	0.07	0.05	0.25	0.10	0.05
Peak variance															
0～10	0.09	0.04	0.09	0.03	0.01	0.00	0.09	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.18	0.06	0.02
10～20	0.17	0.10	0.09	0.03	0.01	0.00	0.08	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.17	0.03	0.01
20～30	0.09	0.32	0.07	0.03	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.08	0.03	0.00	0.10	0.01	0.02

A: Wing-board, B: Bodyfix system, C: Arm up holder with vac-lock.

10: 0～10 minute

20: 10～20 minute

30: 20～30 minute

F: magnitude factor

결 과

5명의 실험자를 대상으로 각 고정용구에 따라 나타난 호흡의 최저점의 표준편차 및 분산, 최고점의 표준편차 및 분산 값은 모두 다양하게 나타났다(Table 1). 이는 호흡을 시작한 시점부터 끝나는 시점의 데이터 값을 모두 평균해서 나타낸 것이다. 각 실험군의 최저값은 고정용구 A를 사용했을 시 다섯 명의 실험군 모두에게서 표준편차가 가장 크게 나타났으며 분산값 역시 동일한 결과로 나타났다. 또한 고정용구 C를 사용했을 시 다섯 명의 실험군 모두에게서 표준편차가 가장 작게 나타난 것을 알 수 있었다. 각 실험군의 최고값은 고정용구 A를 사용했을 시 4명의 실험군에서 표준편차가 가장 크게 나타났으며 1명의 실험군에서는 고정용구 B가 가장 큰 값을 나타냈다. 또한 고정용구 C를 사용했을 시 5명의 실험군 모두에게서 가장 낮은 표준편차를 나타낸 것을 알 수 있었으며 이는 분산 값 역시 동일한 결과로 나타났다. 이것은 30분간의 실험에 있어서 호흡의 안정성은 고정용구 A에서 가장 불안정하게 나타났으며 고정용구 C에서 가장 안정된 호흡을 유지했음을 알 수 있었다.

실험이 진행되는 동안 시간의 경과에 따른(0～10분, 10～20분, 20～30분) 호흡의 안정성은 다음에서 볼 수가 있다(Table 2). 이것은 최소값 및 최대값의 분산을 10분 단위로 얻은 것이다. 각 실험군의 특성에 따라 최초의 호흡(0～10분)이 불안정한 실험군이 있는 반면 중간호흡(10～20) 및 최종호흡(20～30분)에서 불안정한 실험군 역시 있었다. 또한 고정용구별로 시간의 변화에 따른 안정성 역시 매우 다양한 패턴으로 분산 값이 나타난 것을 알 수 있었다. 따라서 시간의 변화에 따른 호흡에 안정성을 객관화된 데이터 값으로 평가하기 위한 상대적비교지수식을 적용하였으며 그 결과는 다음과 같다(Fig. 6, Table 3).

0을 기준 값으로 했으며 고정용구 A가 시간이 경과함에 따라 가장 불안정한 호흡 상태를 지속한 것을 알 수 있었고 고정용구 C가 가장 안정된 호흡을 각 시간대별로 지속된 것

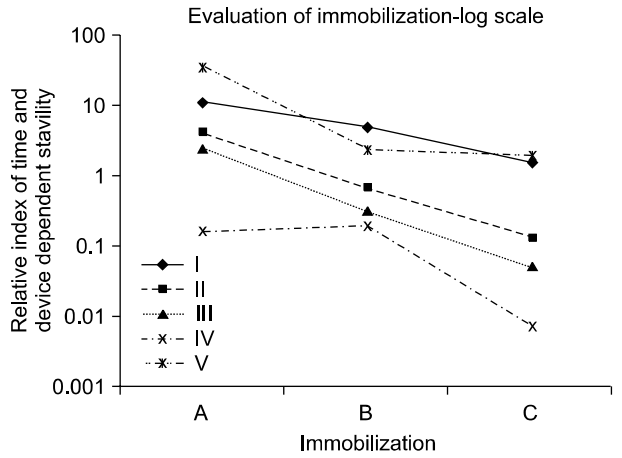

Fig. 6. Correlation of relative index and immobilization (log scale).

Table 3. Relative Index Value

Device	Experimenter				
	I	Ii	Iii	Iv	V
A	11.207	3.943	2.411	0.161	35.705
B	4.871	0.672	0.291	0.193	2.373
C	1.631	0.131	0.044	0.007	1.868

A: Wing-board, B: Bodyfix system, C: Arm up holder with vac-lock.

을 알 수 있었다.

고안 및 결론

본 연구에서 자체 제작한 정위적체부방사선치료전용 고정용구인 AUHV는 실험대상자에 대해 호흡의 안정성을 일정하게 유지시키는데 있어서 기존에 사용되던 정위적체부방사선치료 고정용구에 비해 효용성이 있는 것으로 나타났다. 호흡을 일정하게 유지한다는 것은 전반적인 종양의 움직임을 줄일 수 있으며 환자가 편안한 상태에서 치료를 받을 수 있다는 것을 의미하며 그로 인하여 더욱 효율적인 정위적체부방사선치료가 가능해짐은 자명한 사실이다.

방사선치료의 목표를 달성하기 위해 PTV (Planning Target Volume)를 줄이는 것은 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 이를 위해 3차원입체조형방사선치료(3-Dimensional Conformal Radiation Therapy, 3DCRT), 세기조절방사선치료(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT), 영상유도방사선치료(Image Guided Radiation Therapy, IGRT), 호흡조절방사선치료(Respiration Gated Radiation Therapy, RGRT) 등 치료기술의 혁신적인 발전이 이루어지고 있고 앞으로도 더욱 기계적인 발달이 있으리라 생각된다. 따라서 기계적인 발달과 함께 치료에 실제 적용되는 고정용구의 개발에 있어서도 직접 치료를 시행하는 술자의 입장에서 더욱 많은 노력을 기울여야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Matsugi K, Narita Y, Sawada A, et al.: Measurement of inter-fraction variation in position and size of target volumes in stereotactic body radiotherapy for lung cancer. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2009;75:543-548
2. Han K, Cheung P, Basran PS, et al.: A comparison of two immobilization systems for stereotactic body radiation therapy of lung cancer. Radiother Oncol 2010;95:103-108
3. Mendez Romero A, Zinkstok RT, Wunderink W, et al.: Stereotactic body radiation therapy for liver tumors: Impact of daily setup corrections and day-to-day anatomic variations on dose in target and organs at risk. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2009;75:1201-1208
4. Wunderink W, Mendez Romero A, de Kruijf W, et al.: Reduction of respiratory tumor motion by abdominal compression in stereotactic body frame, analyzed by tracking fiducial markers implanted in liver. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2008;71:907-915
5. 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. Radiother Oncol 2009;91:288-295
6. Case RB, Sonke JJ, Moseley DJ, et al.: Inter- and intra-fraction variability in liver position in non-breath hold stereotactic body radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2009; 75:302-308
7. 신은혁, 박희철, 한영이 등: 호흡연습장치를 적용한 호흡교정법의 영향 평가. 대한방사선종양학회지 2008;26:181-188
8. 서동린, 홍동기, 권경태 등: 폐암 환자의 전신 정위적 방사선 수술시 정확한 SET UP에 관한 고찰. 대한방사선치료기술학회지 2004;162:1-8

대한방사선치료학회지 2011;23(1):1-6

Abstract

Utility Estimation of the Manufactured Stereotactic Body Radiotherapy Immobilization

Donghoon Lee, Jongho Ahn, Jeongmin Seo, Eunhyeok Shin, Byeonggi Choi, Giwon Song

Department of Radiation Oncology, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

Purpose: Immobilizations used in order to maintain the reproducibility of a patient set-up and the stable posture for a long period are important more than anything else for the accurate treatment when the stereotactic body radiotherapy is underway. So the purpose of this study is to adapt the optimum immobilizations for the stereotactic body radiotherapy by comparing two commercial immobilizations with the self-manufactured immobilizations.

Materials and Methods: Five people were selected for the experiment and three different immobilizations (A: Wing-board, B: BodyFix system, C: Arm up holder with vac-lock) were used to each target. After deciding on the target's most stable respiratory cycles, the targets were asked to wear a goggle monitor and maintain their respiration regularly for thirty minutes to obtain the respiratory signals. To analyze the respiratory signal, the standard deviation and the variation value of the peak value and the valley value of the respiratory signal were separated by time zone with the self-developed program at the hospital and each tie-downs were compared for the estimation by calculating a comparative index using the above.

Results: The stability of each immobilizations were measured in consideration of deviation changes studied in each respiratory time lapse. Comparative indexes of each immobilizations of each experimenter are shown to be A: 11.20, B: 4.87, C: 1.63 / A: 3.94, B: 0.67, C: 0.13 / A: 2.41, B: 0.29, C: 0.04 / A: 0.16, B: 0.19, C: 0.007 / A: 35.70, B: 2.37, C: 1.86. And when all five experimenters wore the immobilizations C, the test proved the most stable value while four people wearing A and one man wearing D expressed relatively the most unstable respiratory outcomes.

Conclusion: The self-developed immobilizations, so called the arm up holder vac-lock for the stereotactic body radiotherapy is expected to improve the effect of the treatment by decreasing the intra-fraction organ motions because it keeps the respiration more stable than other two immobilizations. Particularly in case of the stereotactic body therapy which requires the maintenance of set-up state for a long time, the self-developed immobilizations is thought to more useful for stereotactic body radiotherapy rather than the rest two immobilizations with instable respiratory cycle as time passes.

Key words: stereotactic body radiation therapy, immobilizations, respiratory signal