

전산화 단층 모의치료기(Computed Tomography Simulator)의 영상을 이용한 TBI (Total Body Irradiation) 자세 잡이 및 보상체 제작의 유용성에 관한 고찰

울산대학교 의과대학 서울아산병원 방사선종양학과

이우석, 김대섭, 박성호, 윤인하, 백금문, 김정만

목적 : TBI의 자세 잡이 과정에서 실시하는 신체 계측과 보상체 제작 과정을 전산화 단층 모의치료기를 이용하고 그 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법 : 환자는 누운 자세를 취하고, 전산화 단층 모의치료기를 통해 영상을 얻었다. 이 영상을 Somavision으로 전송하고 영상을 통하여 신체 계측 점에 대해 계측을 하였다. 계측은 피부를 기준으로 계측을 하고, 폐에 대해서 영상을 이용하여 계측을 하였다. 영상으로 계측된 값을 통해 보상체 두께를 결정하였다. 또한 영상을 통한 보상체 위치를 결정하고 확인하였다. 선량은 치료실에서 열형광소자를 이용하여 측정하였다.

결과 : 신체 계측점에서 두께에 대하여 1~2 cm의 일반 계측과 영상 계측의 차이를 보였다. 신체 길이는 일반 계측과 영상 계측이 3~4 cm의 차이가 있었다. 또한, 영상을 통해 보상체의 밑그림을 그릴 수 있었다. 열형광소자를 이용한 선량 측정 결과 값은 머리, 목, 액와, 가슴(폐 포함), 무릎 부위는 92~98%로 측정되었고 배, 골반, 서혜부, 발 부위는 102~109%로 측정되었다.

결론 : TBI의 자세 잡이 과정에서 전산화 단층 모의치료기의 영상을 이용하는 것은 유용하였다. 신체 계측 점두께는 일반 계측과 영상계측의 차이가 적게 계측되었고, 길이에 대한 계측은 정확하게 이루어졌다. 영상을 이용한 계측은 신체 밑도까지 고려한 다양한 보상체 제작이 가능성을 보여주었다. 또한 보상체 위치 잡이를 정확하게 할 수 있고, 보상체의 모양도 제한 받지 않고 쉽게 제작할 수 있다. 전체적인 치료실 자세 잡이 시간을 15~20분 단축할 수 있었고, 보상체 제작 시간은 약 15분 감소시켰다.

핵심용어 : 전신방사선조사, 보상체

I. 서 론

전신에 분포하는 악성세포의 파괴나 면역억제의 목적으로 방사선 치료를 시행할 때 TBI (Total Body Irradiation)가 이용된다¹. TBI는 전신에 균일한 선량

분포가 이루어지게 하여야 한다².

환자의 시상면 축(sagittal axis)으로 10% 이내의 전신 선량 균일성은 치료에 적용할 수 있는 수준이며, 5%까지 전신 선량 균일성으로 치료에 적용할 수 있도록 하여야 한다.³

또한 각 신체 장기의 허용선량을 고려하여 부작용을 최소화 한다. 신체의 두께는 다양하고 내부 장기의 유효두께는 각각 다르기 때문에 전신 선량의 균일성을 유지 하기위해 보상체가 필요하다.

보상체(compensator)만의 선량 정확성은 5% 이내

이 논문은 2005년 2월 3일 접수하여 2005년 9월 8일 채택되었음.

책임저자 : 김대섭, 서울아산병원 방사선종양학과
Tel: 02)3010-4419, Fax: 02)486-7258
E-mail: kdsup@amc.seoul.kr

로 확보하는 것이 필요하다⁴.

TBI 환자의 전신 선량 보상은 환자 배꼽 부위의 두께로 기준화 한다.

환자의 자세는 선 자세와 누운 자세를 이용한다. 선 자세는 앞뒤방향으로 방사선을 조사하며, 누운 자세는 좌우 양방향으로 방사선을 조사한다. 처음 환자의 자세 잡이를 시행할 때 환자의 키가 방사선조사면을 벗어날 경우에는 허리나 무릎을 구부려 자세 잡이를 한다.

선 자세는 누운 자세보다 신체 두께의 차이가 적기 때문에 균일한 선량을 주기에 용이하다³. 하지만, 장시간 서 있어야 하기 때문에 자세 잡이가 힘든 단점이 있다. 누운 자세는 편안한 자세로 치료를 하기 때문에 자세 잡이에는 특별히 어려운 점이 없다. 그러나 기준점 두께(배꼽부위)에 대하여 신체 다른 부위와 두께 차이가 크기 때문에 정확한 보상체의 제작이 중요하다.

일반적으로 신체 두께에 대한 보상은 자를 이용하여 각 계측 점에서 두께를 계측한다. 그리고 기준점에 대하여 보상할 두께를 계산 후 그 두께만큼 보상체를 제작한다. 특히, 밀도가 매우 다른 폐와 같은 장기는 밀도를 고려한 계측을 해야 한다⁵⁻⁸. 보상체의 물질은 납이나 알루미늄 등을 이용하며, 각 물질의 선량률은 미리 측정한다. 보상체의 제작은 신체의 계측을 기준으로 만들기 때문에 정확한 신체 두께의 계측은 매우 중요하다. 자를 이용한 계측은 어렵기로 계측될 수 있고, 계측자의 주관적 계측이 이루어 질 수 있다. 어렵기로 계측이 되거나 주관적인 계측이 이루어지면 보상체의 제작에 영향을 미칠 수 있고, 환자의 전신 선량 균일성을 떨어뜨릴 수 있다. 또한 일반적인 계측은 환자가 계측이 끝날 때까지 움직이지 말고 계측에 임해야 하는 불편함이 있다.

일반적인 자를 이용한 계측은 신체 두께의 직선거리만 계측하기 때문에 방사선이 접치는 부위에 대한 영향을 고려하기 어렵다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 환자를 누운 자세로 취하고, 전산화 단층 모의치료기(Computed Tomography-Simulator)의 영상을 이용한 계측 및 보상체 제작의 유용성을 평가 하였다. 또한, 치료실에서 이루어지는 보상체 위치를 확인하는

과정을 영상을 통한 방법으로 대체하여 그 시간 단축을 평가하였다.

II. 대상 및 방법

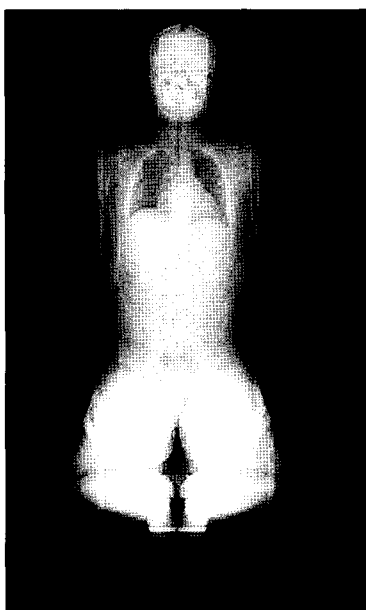
본 연구에 장비는 방사선 치료기로 CL-2100C/D (Varian, USA)를 사용하였다. 전산화 단층모의 치료기는 Lightspeed (GE, USA)를 사용하였다. 영상계측 과정은 SomaVision (Varian, USA)을 이용하였다. 환자 자세잡이 도구로 진공쿠션을 이용하여 자세를 고정하였고, 열형광계측소자(Lithium fluoride (LiF) thermoluminescent dosimeter: TLD)를 이용하여 선량을 평가하였다. 환자의 치료 준비 과정 및 보상체 제작 과정은 다음과 같다. 환자의 자세 잡이 및 자세 고정을 모형실(Molding Room)에서 실시한다. 환자는 편안한 누운 자세를 취하고 치료실 자세 잡이 조건에 따라 전신의 길이를 130 cm로 기준을 잡는다.

이때 키가 130 cm보다 길 경우는 허리나 다리를 구부려 기준에 적합하게 한다. 환자는 자세가 취해지면 진공 쿠션을 이용하여 자세를 고정하고, 편안하게 만들어 준다. 전산화 단층 모의 치료실에서 환자는 누운 자세를 유지하거나 재현하여 영상획득에 임한다. 일반적인 경우는 이때 자를 이용하여 선량 계측점에 대하여 신체를 계측하고, 가슴앞뒤방향 방사선 일반 사진을(Chest AP projection) 얻은 후 자세 잡이를 종료한다.

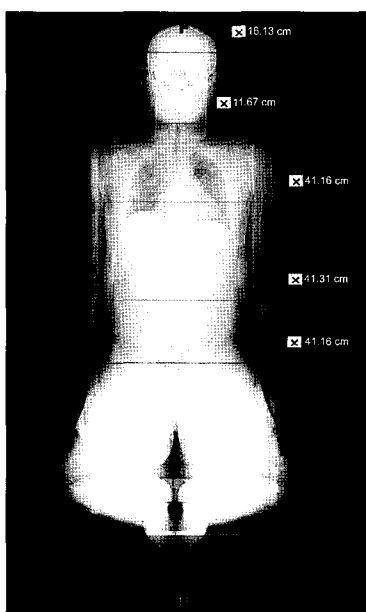
본 연구는 환자의 누운 자세에서 전산화 단층 모의 치료기를 이용하여 앞뒤방향(AP projection)과 측면방향(lateral projection)의 영상(scout view)을 얻고 환자의 자세 잡이를 종료한다 [Fig. 1]. 조영제(contrast media)는 필요 없으며, 단층 영상(transvers image) 또한 얻을 필요없다.

전산화 단층 모의치료기의 영상은 머리에서 발끝까지의 머리 쪽이나 발쪽의 영상의 손실이 없게 한다. 환자의 영상을 얻은 후 모의치료기 조정실에서 앞뒤방향과 좌우 방향의 두 영상을 somavision으로 보내어 계측을 실시한다 [Fig. 2, 3].

신체 계측 시, 계측 점에 대한 두께뿐 아니라, 폐나 뼈

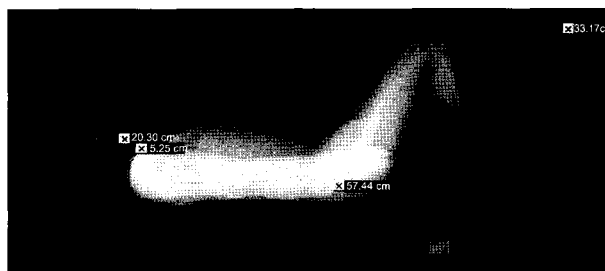


[Fig. 1] Total body image from Somavision (Supine position)

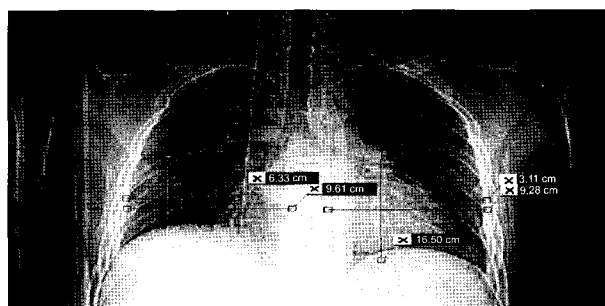


[Fig. 2] Measurement of anteroposterior projection image using Somavision. It is necessary to make a compensator.

에 대한 보정 까지 고려하여 계측을 실시한다 [Fig. 4]. 또한 정형화된 계측 점뿐 아니라, 측정하고자 하는 임의의 점에 대하여도 계측을 실시한다. 계측은 머리,



[Fig. 3] Measurement of lateral projection image. This measurement is able to decide to position of compensator.



[Fig. 4] Measurement of lungs

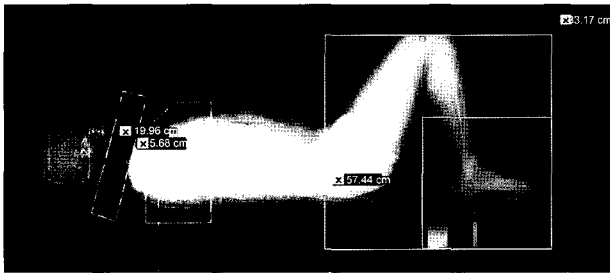
목, 가슴(폐 포함, 팔 포함), 배꼽, 골반, 무릎, 발목에 대하여 실시하며 피부(체표면)를 기준으로 계측한다. 무릎 부위는 영상의 거리에 따른 왜곡이 발생하기 때문에 앞뒤방향영상과 측면방향 영상의 확대율을 고려하여 계측한다.

계측이 끝난 후 선량계산실에서 보상체 제작을 위한 설계도를 그린다. 보상이 필요한 곳의 두께를 계산하여 보상체의 두께를 정하고, 밀도 보정이 필요한 경우(폐 보정) 이에 대한 두께를 보상한다. 보상체의 두께가 정해지면 이를 토대로 각각 보상 부위의 보상체를 제작한다.

전산화 모의치료기 조정실에서 보상이 필요한 부위(머리, 목, 가슴, 무릎, 발목 등)에 대하여 보상체를 부착할 부위를 측면 영상에 그려준다. 이것이 보상체의 설계밀그림이 된다. 이 밀그림을 치료실에서 보상체 위치 확인을 위해 확대율을 고려하여 출력한다. 이때의 출력은 DRR film이나 OHP용 film를 이용하였다 [Fig. 5]. 이렇게 만들어진 보상체를 밀그림을 보고 아

크릴 판에 부착하여 치료실로 보낸다. 치료실에선 보상체의 위치가 환자의 위치와 일치하도록 하였다. 영상을 이용하여 얻어진 밑그림을 보고 보상체의 위치를 정하기 때문에 보상체위치의 확인 과정을 간단히 하였다.

치료는 15 MV를 측면 양방향으로 조사하였고, Source to Axis Distance (SAD)는 370 cm로 하였다.



[Fig. 5] Diagram of compensators. This picture shows the position of compensators.

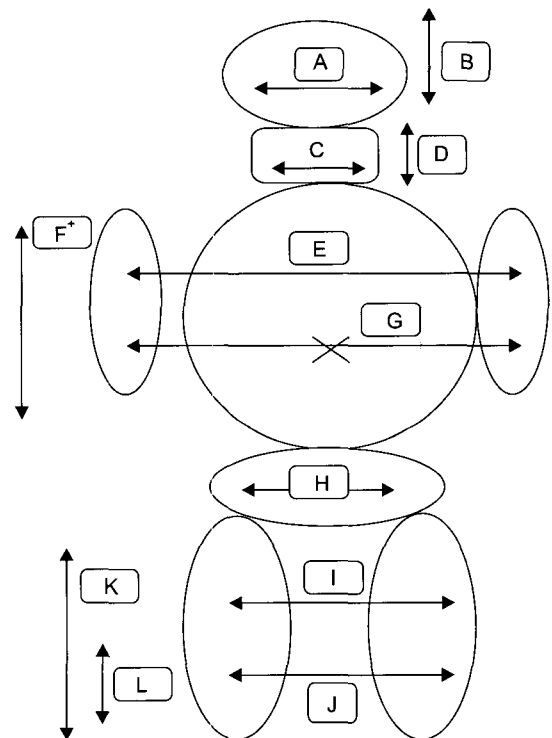
[Table 1] Result of measurement (unit: cm)

Measurement region	Conventional measurement	Image measurement	Difference
A. Head thickness	15	16	1
B. Head length	18	22	4
C. Neck thickness	11	12	1
D. Neck length	8	5	3
E. Chest thickness (include arm)	43	41	2
F. Lung length (from film)	15	16.5	1.5
G. Abdomen (include arm, umbilicus)	42	41	1
H. Pelvis	42	41	1
I. Knee	25	27	2
J. Foot	20	21	1
K. Pelvis-foot length	55	57	2
L. Knee-foot length	30	33	3

치료 조사면 크기(40 × 40 cm²)에 대하여 투영되는 치료거리에 대한 환자의 자세 잡이 최대 길이는 130 cm 였다. 치료 시에 각각의 계측점에 대하여 TLD를 부착하여 선량을 평가하였다.

III. 결 과

자를 이용한 일반계측과 전산화 단층 모의 치료기 영상을 이용한 계측 값은 [Table 1]에 나타내었다. 신체부위 계측 점은 [Fig. 6]에 나타내었다. 각 부위별 계측 점에서 머리, 목, 가슴, 배, 골반, 무릎, 발의 두께의 계측 차이는 1~2 cm였다. 머리 길이, 목 길이, 폐 길이 및 발길이는 3~4 cm였다. 일반 계측과 영상 계측에서 두께에 대한 차이보다 길이에 대한 차이가 1~2 cm 더 컸다. 열형광소자를 이용한 선량의 측정값은 머리, 목, 액와, 가슴(폐 포함), 무릎 부위는 92~98%로 낮은 선량이 나타났고, 배, 골반, 서혜부, 발 부위는 102~109%로 높은 선량이 나타났다 [Table 2].



[Fig. 6] Measurement point of body

[Table 2] Result of dose by TLD

Tag #	TLD position	TLD S/N	Reading (nC)	Calibration factor (nC/Gy)	Dose (cGy)	Average dose (cGy)	Normalized at prescribed dose (%)
1	Head (right)	1	7227.06	4775.38	151.34	154.03	93.35
		2	3251.45	2109.17	154.16		
		3	2276.08	1453.53	156.59		
2	Neck (right)	4	3187.88	2010.20	158.59	160.11	97.04
		5	6378.22	3916.26	162.86		
		6	3310.64	2083.55	158.89		
3	Axilla (right)	7	8191.74	5094.43	160.80	158.61	96.12
		8	3396.38	2215.08	153.33		
		9	7977.54	4933.87	161.69		
4	Lung (right)	10	7337.10	4875.37	150.49	151.80	92.00
		11	6361.78	4169.26	152.59		
		12	7549.23	4956.64	152.31		
5	Umbilicus (right)	13	3420.16	2001.00	170.92	168.75	102.27
		14	6872.44	4176.49	164.55		
		15	3397.13	1989.17	170.78		
6	Umbilicus (left)	16	8639.72	4851.17	178.10	180.89	109.63
		17	3858.89	2113.17	182.61		
		18	4251.62	2336.58	181.96		
7	Pelvis (right)	19	7467.76	4141.03	180.34	176.43	106.93
		20	2592.91	1487.62	174.30		
		21	3282.24	1879.21	174.66		
8	Inguinal	22	3867.61	2136.98	180.98	179.37	108.71
		23	3411.14	1890.76	180.41		
		24	8649.82	4895.20	176.70		
9	Knee	25	7279.37	4425.60	164.48	163.17	98.89
		26	7537.04	4715.73	159.83		
		27	8448.47	5114.12	165.20		
10	Ankle	28	8507.16	4777.14	178.08	178.72	108.31
		29	8418.59	4785.94	175.90		
		30	8980.83	4930.12	182.16		

IV. 결론 및 고찰

환자 신체 계측 부위에서 두께 보정을 위한 계측은 차이가 크지 않았다. 이러한 차이는 보상체 제작의 과정을 고려하면 선량의 균일성에 영향을 줄 만큼의 차

이는 아니다. 이것은 일반적인 방법이 크게 틀림이 없음을 의미한다. 하지만 영상을 이용할 경우는 좀 더 정확한 계측을 할 수 있고, 시간의 구애를 받지 않고 계측할 수 있으며 쉽게 임의의 다른 계측 점을 얻을 수 있는 장점이 있다.

폐에 대한 보정이 정확한 계측으로 이루어 질 수 있으며, 치료실 자세 잡이 과정에서 폐의 위치가 영상을 기반으로 정확히 정해질 수 있다.

보상체 위치 잡이를 위한 길이에 대한 계측 값은 영상계측이 더 정확하였다. 겹에서 보이는 피부와 체내의 뼈의 위치를 자세히 볼 수 있고 각 부위의 경계를 명확히 알 수 있었기 때문에 길이에 대한 영향은 영상으로 계측할 때가 정확하였다. 또한, 방사선이 겹칠 수 있는 부위는 실제로 치료실에서 위치 잡이 하기 전에 예상하고, 이를 고려한 보상체 위치 밑그림을 그릴 수 있다. 예를 들면 머리 전체의 길이와 하악골과의 위치 관계, 목과 어깨 부위의 겹치는 부위 및 하체의 길이는 영상에서 정확히 구분하여 계측하고 이를 감안하여 보상체 밑그림을 그렸다. 선량측정을 위한 열형광소자의 위치도 영상을 이용할 경우 미리 정할 수 있다.

보상체의 모양은 일반적으로 계단 모양의 경사가진 직사각형이 대부분이었으나 영상에 기반을 둔 보상체의 모양은 일률적일 필요 없이 두께를 달리하는 모양이 나올 수 있고, 폐 보정에 대하여도 여러 단계의 보상이 가능하며, 목과 하악골 부위는 좀 더 개선된 보상체의 모양이 제작될 수 있다. 이러한 다양한 모양의 보상체는 선량의 균일성을 높이는 데 크게 기여한다.

열형광소자 선량 측정결과 값에 따른 선량의 평가는 10% 이내이므로 적용할 만한 수준이지만, 개선의 필요는 있었다. 폐의 경우는 보상의 여러 단계가 있는 보상체의 필요성이 있으며, 골반이나 발목 부위등 뼈의 비중이 높은 부위는 계산된 보상 수치보다 뼈의 밀도를 감안하여 보상체의 두께를 조절할 필요가 있다. 영상을 이용할 경우는 밀도 값을 얻을 수 있기 때문에 밀도를 고려한 보상체 제작이 가능하다. 보상체 제작은 여러 차례 교정이 필요 없이 1회로 완성하였으며, 치료실의 자세 잡이 과정도 간소화 할 수 있었다. 치료실에서의 처음 자세 잡이 과정을 15~20분 단축할 수 있었고, 보상체 제작과정은 약 15분 정도 줄일 수 있었다.

영상을 이용한 TBI 환자의 자세 잡이 과정은 기존

의 방법에서 정확성을 증가시키고, 보상체 제작 과정 시간과 환자 setup 시간을 줄일 수 있었으며, 다양한 모양의 보상체 제작이 가능하기 때문에 선량의 균일성을 증가시킬 수 있다. 또한 폐의 밀도뿐 아니라 뼈의 길이 및 두께도 고려하여 전신 부위별 정확한 계측을 기반으로 만들어진 보상체의 제작 가능성을 확인하였다.

참고문헌

1. Lin JP, Chu TC, Liu MT : Dose compensation of total body irradiation therapy, *Appl Radiat Iso* 2001 ; 55 : 623-630
2. Galvin JM, D'Angio GJ, Walsh G : Use of tissue compensators to improve the uniformity for total body irradiation, *Int J Radiat Oncol Biol* 1980 ; 6 : 767-771
3. Khan FM : The physics of radiation therapy, 3rd ed, Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2003 ; 455-463
4. Khan FM, Williamson JF, Sewchand W, Kim TH : Basic data for dosage calculation and compensation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1980 ; 6 : 745-751
5. Dyk, VJ, Battista JJ, Rider WD : The use of computed tomography in lung dose calculations for upper half-body irradiation. *Br J Radiol* 1981 ; 15 : 90-97
6. El-Khatib EE, Valsourt S : Calculation of lung shielding for total body irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol* 1989 ; 17 : 1099-1102
7. Lee JY, Shank B, Bonfiglio P, Reid A : CT analysis of lung density changes in patients undergoing total body irradiation prior to bone marrow transplantation, *I Comp Assist Tomogr* 1984 ; 8 : 885-891
8. Ho A, Kishel S, Proulz G : Partial lung shield for TBI, *Med Dosimetry* 1998 ; 23 : 299-301

Abstract

A Study on the Effectiveness of the Manufacture of Compensator and Setup Position for Total Body Irradiation Using Computed Tomography-simulator's Images

Woo Suk Lee, Dae Sup Kim, Seong Ho Park, In Ha Yun, Geum Mun Back, Jeong Man Kim

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

Purpose : We should use a computed tomography-simulator for the body measure and compensator manufacture process was practiced with TBI's positioning in process and to estimate the availability.

Materials and Methods : Patient took position that lied down, and got picture through computed tomography-simulator. This picture transmitted to Somavision and measured about body measure point on the picture. Measurement was done with skin, and used the image to use measure the image about lungs. We decided thickness of compensator through value that was measured by the image. Also, We decided and confirmed position of compensator through image. Finally, We measured dosage with TLD in the treatment department.

Results : About thickness at body measure point, we could find difference of 1~2 cm relationship general measure and image measure. General measure and image measure of body length was seen difference of 3~4 cm. Also, we could paint first drawing of compensator through the image. The value of dose measurement used TLD on head, neck, axilla, chest (lungs inclusion), knee region were measured by 92~98% and abdomen, pelvis, inguinal region, feet region were measured by 102~109%.

Conclusion : It was useful for TBI's positioning to use an image of computed tomography-simulator in the process. There was not that is difference of body thickness measure point, but measure about length was achieved definitely. Like this, manufacture of various compensator that consider body density if use image is available. Positioning of compensator could be done exactly, and produce easily without shape of compensator is courted. Positioning in the treatment department could shortened overall 15~20 minute time, and reduce compensator manufacture time about 15 minutes.

Key words : total body Irradiation, compensator