

Development of a Thermoplastic Oral Compensator for Improving Dose Uniformity in Radiation Therapy for Head and Neck Cancer

Joon-Yong Choi*[†], Young-Jin Won[§], Ji-Yeon Park*[†], Jong-Won Kim*[†] ||, Bong-Ki Moon[§],
Hyong-Geun Yoon[†], Soo-Ho Moon[†], Jong-Byeong Jeon[†], Tae-Suk Suh*[†]

*Department of Biomedical Engineering, [†]Research Institute of Biomedical Engineering,
The Catholic University of Korea College of Medicine, Seoul, Department Radiation Oncology,
[‡]Dongguk University Medical Center, [§]Inje University Isan Paik Hospital, ||Myongji Hospital, Goyang, Korea

Aquaplast Thermoplastic (AT) is a tissue-equivalent oral compensator that has been developed to improve dose uniformity at the common boundary and around the treated area during radiotherapy in patients with head and neck cancer. In order to assess the usefulness of AT, the degree of improvement in dose distribution and physical properties were compared to those of oral compensators made using paraffin, alginate, and putty, which are materials conventionally used in dental imprinting. To assess the physical properties, strength evaluations (compression and drop evaluations) and natural deformation evaluations (volume change over time) were performed; a Gafchromic EBT2 film and a glass dosimeter inserted into a developed phantom for dose verification were used to measure the common boundary dose and the beam profile to assess the dose delivery. When the natural deformation of the oral compensators was assessed over a two-month period, alginate exhibited a maximum of 80% change in volume from moisture evaporation, while the remaining tissue-equivalent properties, including those of AT, showed a change in volume that was less than 3%. In a free-fall test at a height of 1.5 m (repeated 5 times as a strength evaluation), paraffin was easily damaged by the impact, but AT exhibited no damage from the fall. In compressive strength testing, AT was not destroyed even at 8 times the force needed for paraffin. In dose verification using a glass dosimeter, the results showed that in a single test, the tissue-equivalent (about 80 Hounsfield Units [HU]) AT delivered about 4.9% lower surface dose in terms of delivery of an output coefficient (monitor unit), which was 4% lower than putty and exhibited a value of about 1,000 HU or higher during a dose delivery of the same formulation. In addition, when the incident direction of the beam was used as a reference, the uniformity of the dose, as assessed from the beam profile at the boundary after passing through the oral compensators, was 11.41, 3.98, and 4.30 for air, AT, and putty, respectively. The AT oral compensator had a higher strength and lower probability of material transformation than the oral compensators conventionally used as a tissue-equivalent material, and a uniform dose distribution was successfully formed at the boundary and surrounding area including the mouth. It was also possible to deliver a uniformly formulated dose and reduce the skin dose delivery.

Key Words: Aquaplast Thermoplastic, Oral compensator, Cavity-tissue Interface dose, Glass dosimeter, Gafchromic EBT2 film

서 론

본 연구는 2012년도 교육과학기술부 한국연구재단 해외우수연구기
관유치사업 및 지식경제부 기술혁신사업의 지원을 받아 수행된 연
구임(과제번호: 2009-00420, 10040427).

이 논문은 2012년 8월 18일 접수하여 2012년 12월 4일 채택되었음.
책임저자 : 서태석, (137-701) 서울시 서초구 반포 4동 505

가톨릭대학교 성의교정 의과학연구원 의공학교실

Tel: 02)2258-7232, Fax: 02)2258-7506

E-mail: suhsanta@catholic.ac.kr

2011년에 발표된 한국중앙암등록본부 통계에 의하면 우
리나라의 전체 암에서 갑상선암을 제외한 인두, 후두, 구강,
비강, 부비동 등에 발생하는 두경부암이 차지하는 비중은
3% 이하로 비교적 발생 빈도가 낮다. 그러나 술 담배를 많
이 하는 성인 남자에게는 상당히 호발 하는 것으로 알려져

있다. 최근 두경부암의 방사선치료는 침샘 손상에 의한 구강 건조증을 비롯하여 부작용의 발생 확률을 낮추고 치료 성적을 향상시키기 위해 세기조절방사선치료(intensity modulated radiation therapy, IMRT), 세기조절회전방사선치료(intensity-modulated arc radiation therapy, IMAT), 토모테라피(Tomotherapy)와 같은 고정밀 치료를 적극적으로 시행하고 있다.¹⁾ 이러한 최신기법들은 전통적 방사선치료와 달리 표적장기와 정상조직간의 선량 경사도(dose gradient)를 높여 표적 장기에 고선량을 집중시키면서 정상조직에는 전달 선량을 최소화하기 위하여 수많은 세그먼트(segment) 혹은 빔렛(beamlet)으로 구성된 빔을 조사하게 된다.²⁻⁶⁾

하지만 두경부암 치료 시 구강(oral cavity)의 존재는 정상 세포와 다른 비균질 물질의 영향으로 주변조직의 흡수선량

감소 및 선량 오차를 유발한다. 특히 두경부암은 혀, 입천장, 잇몸, 볼 점막, 입술 등에서 주로 발생하므로, 혀의 고정 및 치료 표적으로부터 주변 정상조직을 이격시키기 위해 구강 고정 기구(예: mouth piece, precise bite)를 종종 사용한다. 그러나 구강 고정 기구의 사용은 구강 내 공동(air cavity)을 더욱 크게 형성하게 되어 고정 재현성 감소 및 선량 전달 불확도 증가에 따른 치료 효과 저하 및 국소 재발을 일으킬 수 있다.⁷⁻¹²⁾ 따라서 소조사면 치료 및 고정밀 치료 시에는 구강 고정의 재현성 확보 및 인접 조직에 정확한 선량 전달을 위한 적합한 구강 보상체의 적용 및 선량 검증이 중요하다.

본 연구에서는 두경부암 방사선치료 시 고정의 재현성과 인접 조직의 균일한 선량 분포 형성을 위하여 조직등가 물

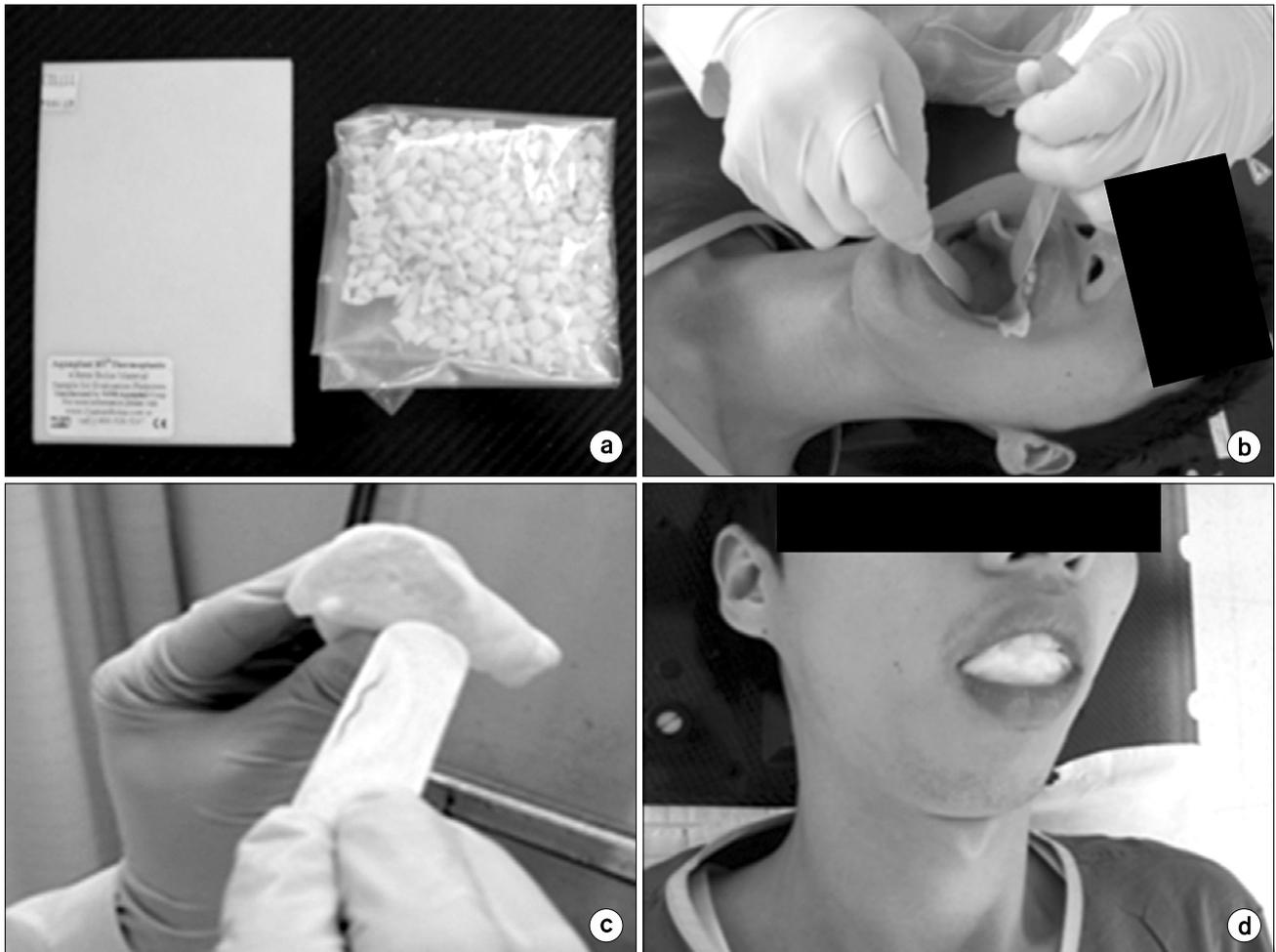


Fig. 1. Procedure to complete an oral compensator made of Acuaplast Thermoplastic. (a) Thermoplastic slice and grain. (b) Thermoplastic Frame patterned according to patient's oral cavity. (c) Filling the frame with Thermoplastic grain. (d) Completed oral compensator.

질인 thermoplastic을 이용한 새로운 구강 보상체(oral compensator)를 개발하였다. 새로운 구강 보상체의 유용성 평가를 위하여 기존에 사용되었던 구강 충전물과 비교하여 물성 평가를 시행하였으며, 선량 보정 효과를 검증하기 위하여 유리선량계와 필름 삽입이 가능한 팬텀을 제작하였다. 또한 표면선량 및 구강 인접조직의 선량을 측정하고 치료 계획시스템의 계산 선량과 비교하여 개발한 구강 보상체의 유용성 평가를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 구강 보상체

1) Thermoplastic을 이용한 구강 보상체: Thermoplastic (CIVCO Medical Instruments, CO, INC., Kalona, IA, USA)는 두경부는 물론 복부, 골반부위 등 전신의 체위고정물질로 자주 이용되어 왔다. 또한 약 80 Hounsfield Unit (HU)을 갖는 조직등가물질로 인상이 용이하고 성형 후 변형이 거의 없어 기존의 치과용 인상재보다 구강 보상체로서 적합한 특성을 가지고 있다. Thermoplastic을 이용한 구강 보상체는 Fig. 1의 과정에 따라 제작할 수 있다. Fig. 1a의 thermoplastic은 50~60°C 이상의 온도에서 형태 변형이 가능해지기 시작하므로, 환자의 구강 모양 및 구조에 맞는 보상체 제작을 용이하게 하기 위해서 약 70°C 정도의 따뜻한 물에 thermoplastic을 가열한다. 가열된 thermoplastic은 공기 중에서 10초 간 충분히 식힌 후 구강 내에 삽입하고 Fig. 1b와 같이 설압자를 이용하여 구강 윤곽을 따라 Fig. 1c의 보상체 외형을 획득한다. 이후, Fig. 1d와 같이 획득한 보상체 외형 구조 내에 가열된 thermoplastic을 삽입하여 빈 공간을

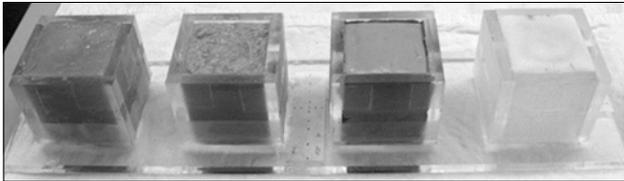


Fig. 2. Production of various compensators equal in volume for performing natural strain test (The compensator materials from left are paraffin, alginate, putty, and Thermoplastic).

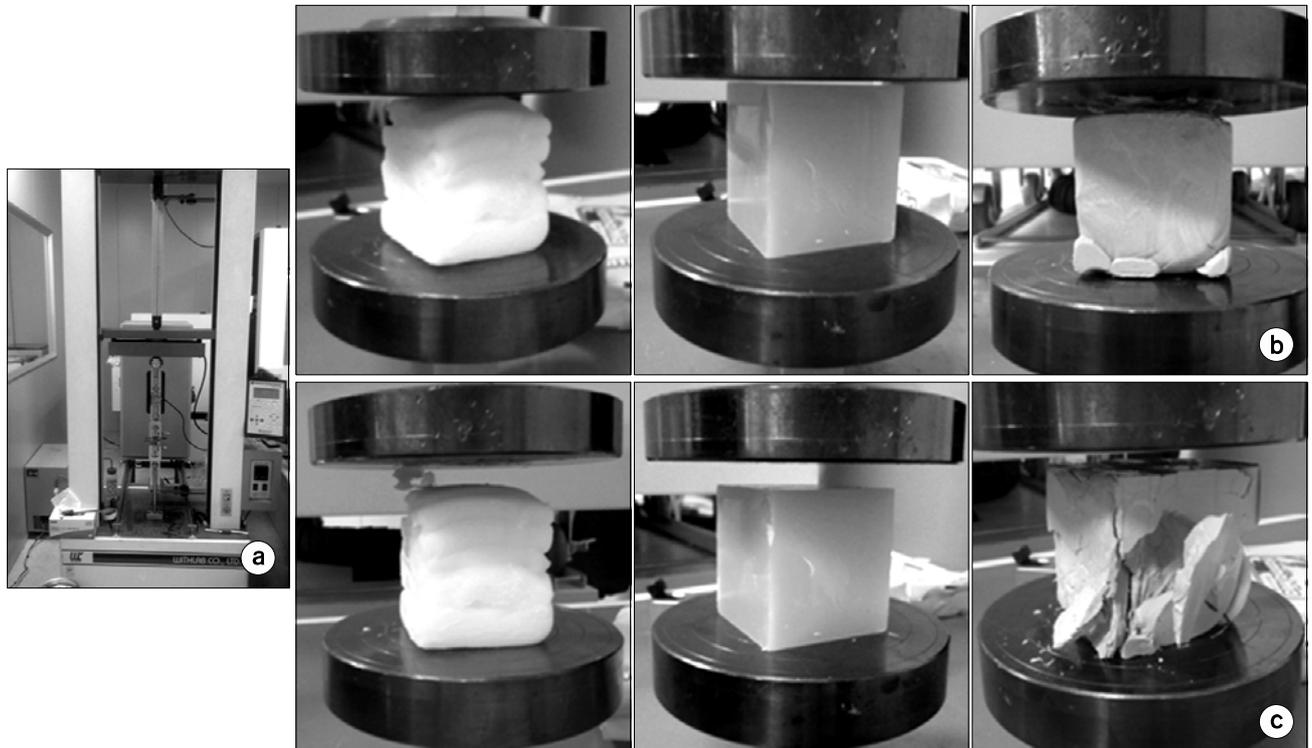


Fig. 3. Test of compression strength using universal testing machine. (a) Photograph of universal testing machine and oral compensators, (b) before and (c) after compression test (from left Thermoplastic, paraffin, and putty).

채워 보상체를 완성한다.

2) 구강 보상체의 물성 평가: 구강 보상체는 thermoplastic 이외에도 3가지의 치과용 인상재, paraffin (Modeling Wax[®], Kim's International, Inc., Korea), alginate (AROMA FINE PLUS normal set, GC Corporation, Japan), putty (CharmFlex[®] putty Green, DENTKIST, Korea)를 이용하여 보상체를 제작하였다.^{13,14)} 분할 치료 중 보상체의 변형 및 파손은 선량 전달의 왜곡을 유발할 수 있으므로 보상체의 자연변형과 외부 충격에 의한 물리적 변형도를 평가하였다. 먼저, 제작된 보상체를 2개월간 방사선 치료실에 보관하였을 때 시간의 경과에 따라 체적의 변화를 정량적으로 평가하였다. 이를 위해 Fig. 2와 같이 가로 세로 높이 각 6×6×7 cm의 틀을 이용하여 각 보상체를 제작하였으며, 1일 경과 후 틀을 제거하고 일정 시간마다 CT영상을 획득하여 치료계획시스템에서 절대 체적의 변형 정도를 평가하였다. 그리고 환자의 치아력이나 낙상 등의 외부충격에 의한 보상체의 변형 및 파손 여부를 정량적으로 평가하기 위하여 가로 세로 높이 각 5

cm인 정육면체의 시편을 제작하여 Fig. 3과 같이 재료시험기(Universal Testing Machine WL2100A, With Lab Corporation, Ltd., Korea)를 이용하여 1 mm/min의 속도로 압축 실험과 치료실 바닥에서 1.5 m 높이에서 자유낙하 실험을 각 5회 시행하였다.

2. 치료 계획 및 선량 검증

1) 선량 검증용 팬텀 개발: 필름 및 유리선량계를 이용한 선량 측정을 위하여 팬텀의 중앙에 가로 세로 높이 각 5 cm의 공동을 갖는 정육면체의 poly methyl methacrylate (PMMA) 팬텀을 개발하였다. Fig. 4와 같이 Gafchromic EBT2 필름(ISP Corporation, Wayne, NJ, USA)의 삽입이 가능하도록 하였으며 표면 선량(surface dose)과 공동 경계면 선량(air cavity interface dose)을 측정하기 위해 3 mm 직경의 구멍을 뚫어 유리선량계 소자의 삽입이 가능하도록 하였다.

2) 치료 계획: 팬텀 내 전달된 선량은 치료계획시스템 (Eclipse, version 8.6, Varian Medical System, Palo Alto, CA,

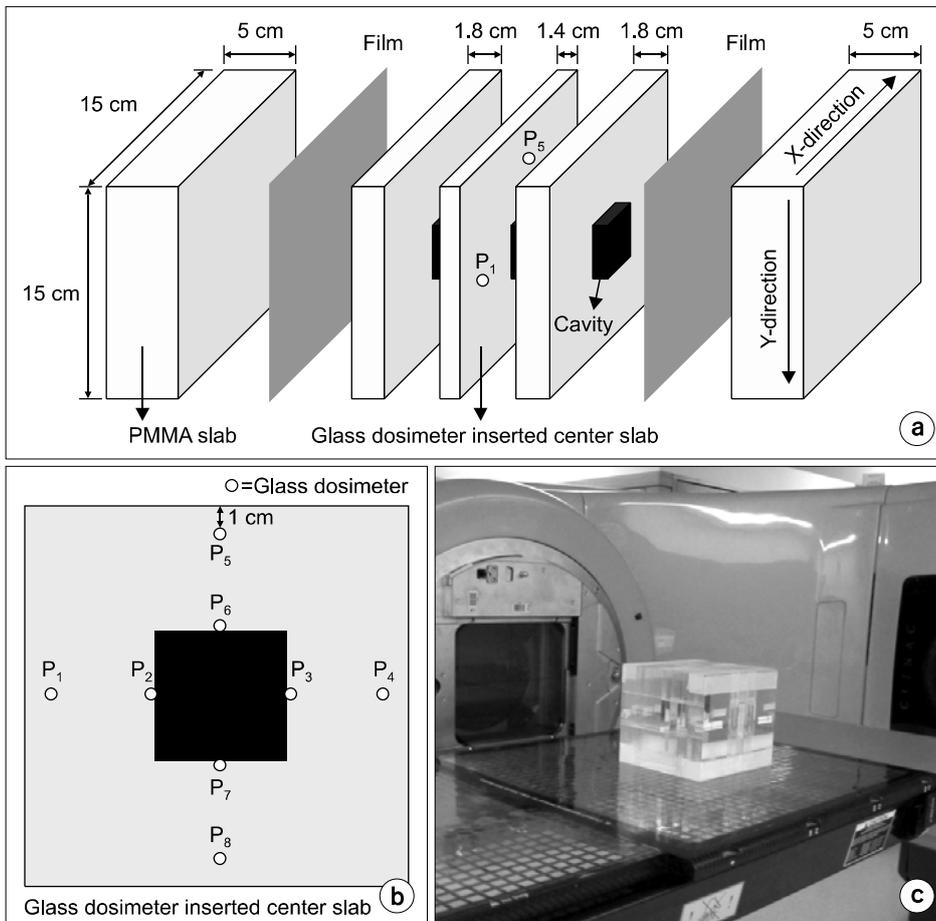


Fig. 4. In-house phantom developed for dose verification using glass dosimeters and Gafchromic EBT2 films. (a) Schematic diagram of the PMMA Phantom allowing the insertion of glass dosimeters and films. (b) Schematic diagram of the PMMA holder of the glass dosimeters. (c) Experimental setup of phantom and dosimeters.

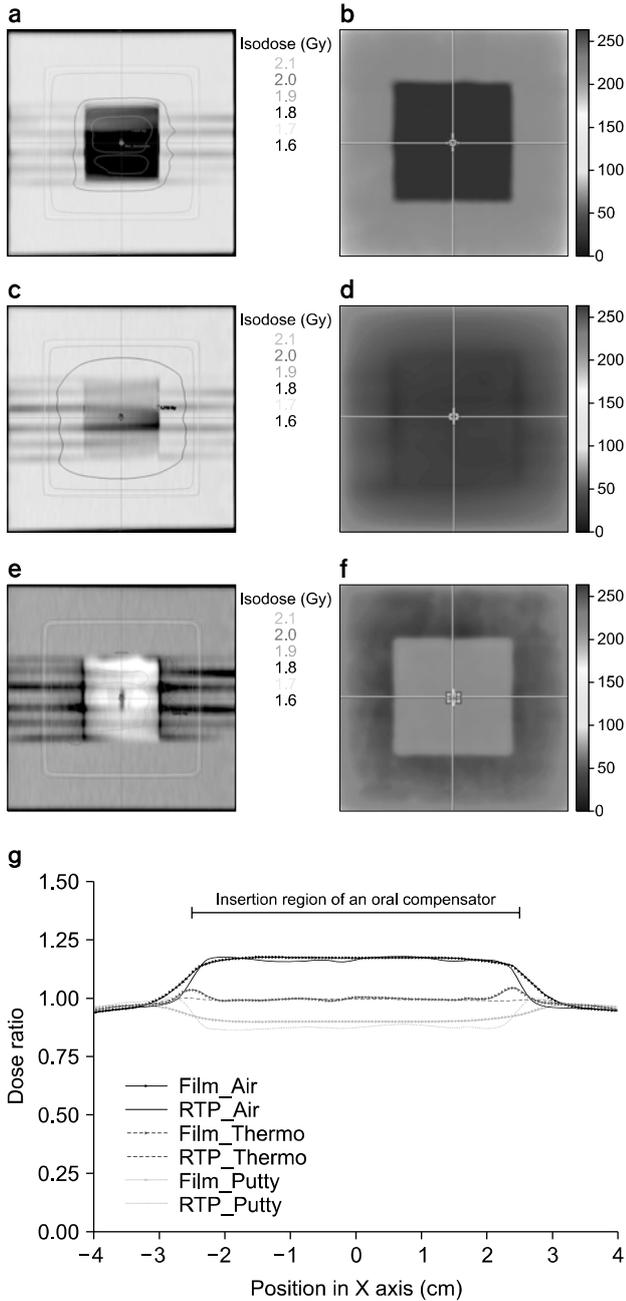


Fig. 5. Dose verification at the interface between oral compensators and normal tissues with measured dose distributions and transverse profiles using Gafchromic EBT2 films. Predicted (left column) and measured (right column) dose distributions at the oral cavity interface when various oral compensators (a, b) air, (c, d) thermoplastic, and (e, f) putty-were used. (g) Comparison of transverse dose profiles at center level to evaluate dose flatness.

USA)과 선량 계산 알고리즘 Anisotropic Analytical Algorithm (AAA, version 8.6, Varian Medical System)을 사용하여 계산하였다. Fig. 4와 같이 각 보상체가 삽입된 팬텀의 정중앙을 중심점(isocenter)으로하여 P₁에서 P₄ 방향으로 1문 조사 치료계획을 수립하였고, P₄에서 P₁ 방향으로 1문 조사를 추가한 대향 2문 조사 치료계획을 수립하였다. 6 MV 광자선, 선원축간거리(source-axis distance, SAD)는 100 cm, 10×10 cm² 조사야를 사용하여 중심점에 2 Gy의 선량이 전달되도록 수립하였다.

3) 선량 검증: 제작된 팬텀에 각 보상체와 유리선량계 및 필름을 삽입하여 유리선량계로 표면 선량 및 구강 경계면 선량을 측정하였고 필름으로 빔 측면도(beam profile)를 측정하여 계획 선량과 비교하였다.

유리선량계(GD-302M, Asahi Techno Glass Corporation, Shizuoka, Japan)는 선형가속기(Clinac iX, Varian Medical System)의 6 MV 광자선에서 고체 팬텀(SP34, Scanditronix Wellhöfer, Schwarzenbruck, Germany)의 5 cm 길이에서 10×10 cm² 크기의 조사면으로 200 cGy를 조사한 후 유리선량계 교정정수를 구하였으며, 불확도가 ±3% 미만의 유리선량계를 선택하여 사용하였다. 유리선량계의 표면 선량 및 공동경계면 선량은 3회 반복하여 측정 후 FGD-1000 관독기(Asahi Technology Glass Corporation)에서 5회 반복하여 평가하였다. 필름 측정에서는 팬텀 내 필름 삽입의 제한에 따라 팬텀을 시계방향으로 90° 돌려 공동투과 후 경계면(P₃에서의 횡단면)에서의 빔측면도를 측정하였고, 측정의 정확성 향상을 위해 전달 선량을 3 Gy 높여 측정 후 계획 선량에 맞게 보상하였다. 조사된 필름은 1일 경과 후 충분히 self-developing 되었을 때 평판형 스캐너(Perfection V700 PHOTO, Seiko Epson Corporation, Tokyo, Japan)에서 필름을 스캔하여 측정 선량 분포를 획득하였다.¹⁵⁾ 조사되지 않은 필름을 이용하여 스캐너 위에 필름이 놓인 위치의 각 voxel 별 불균일한 반응도를 보정하였으며, 자체 개발한 필름 전용 선량 분석 소프트웨어를 이용하여 측정 선량을 관독하였다. 측정 선량 분포는 계획 선량 분포와 각 선량 행렬의 해상도 및 기하학적 구조의 일치시키고, Fig. 5에서와 같이 중심점 높이에서의 빔측면도를 측정하여 X축 -4~4 cm 영역에서의 선량 편평도를 다음과 같이 계산하였다.

$$Flatness = \left(\frac{|D_{max} - D_{min}|}{D_{max} + D_{min}} \right) \times 100$$

결 과

1. 구강 보상체의 물성 평가

자연변형도를 평가한 결과 Table 1과 같이 다량의 물과 혼합하여 제작되는 alginate 보상체는 다량의 수분 증발로 인해 체적의 감소가 현격히 발생하였고, 나머지 paraffin, putty 및 thermoplastic보상체의 경우 초기 성형이 완성된 이후 체적 변화는 거의 발생하지 않았다. 또한 자연변형이 뚜렷한 alginate를 제외한 3가지 시편을 재료시험기의 압축모드에서 1 mm/min의 속도로 각 5회씩 반복하여 압축강도를 평가하였을 때, 응력(stress)과 변형율(strain)은 상관관계는 Fig. 6과와 같이 나타났다. Thermoplastic의 경우 제한 하중 24,000 N을 가하였을 때까지 파괴가 발생하지 않았으나 paraffin과 putty의 경우 시편의 손상이 발생하였고, 파괴가 일어나는 평균 압축강도는 각각 2.61 N/mm², 12.96 N/mm²로 나타났다. 자유낙하 실험에서 thermoplastic과 putty의 경

우 표면 균형을 제외하면 거의 변화를 보이지 않았으나 paraffin의 경우에는 충돌부위의 찌그러짐과 부분파손 등이 발생하였다.

2. 선량 검증

팬텀의 공동에 각 보상체를 삽입하여 중심점에 200 cGy의 균일한 처방 선량을 전달되도록 하였을 때 표면선량 및 구강 경계면 선량의 계산값과 유리선량계를 이용한 측정값은 Table 2와 같았다. 1문 조사에서 측정된 표면 선량(P₁)은 보상체를 사용함에 따라 paraffin, thermoplastic, putty에서 약 4.8%, 5.7%, 11%의 선량이 증가되었으며, 공동을 투과하기 전후의 P₂와 P₃에서의 측정된 선량감쇠는 약 39%, 68%, 140% 가량 증가하였다. 한편 Y축 경계면 P₆과 P₇에서 측정된 경계면 선량은 보상체를 사용함에 따라 처방선량과 2% 이내의 선량 편차를 보였고, 대향 2문 조사에서는 4% 이내의 선량 편차를 보였다.

구강 통과 후 각 물질 별 보상체의 경계면에서 치료계획

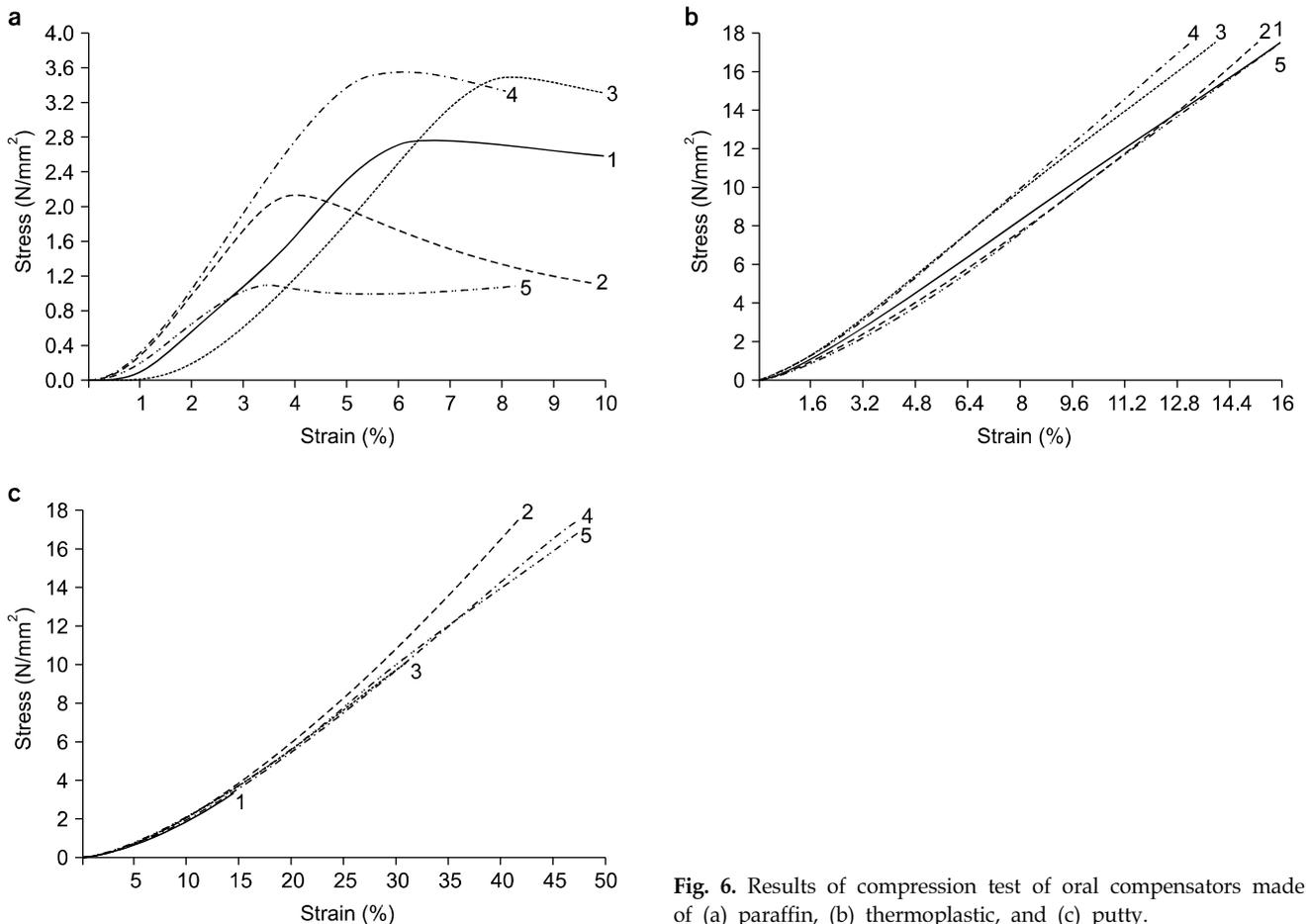


Fig. 6. Results of compression test of oral compensators made of (a) paraffin, (b) thermoplastic, and (c) putty.

Table 1. Time-dependent volume change in various oral compensators made of paraffin, alginate, thermoplastic, and putty. The volume was delineated and measured using computed tomography images in the treatment planning system.

Materials	Time										
	0 hr	1 hr	3 hr	6 hr	12 hr	1 day	3 day	1 wk	2 wk	1 mo	2 mo
Paraffin											
Absolute volume [cm ³]	251.0	248.0	245.0	243.7	244.2	243.7	243.3	243.3	243.2	243.1	243.0
Transformed volume [cm ³]	0.0	3.0	6.0	7.3	6.8	7.3	7.7	7.7	7.8	7.9	8.0
Difference [%]	0.00	1.20	2.39	2.91	2.71	2.91	3.07	3.07	3.11	3.15	3.19
Alginate											
Absolute volume [cm ³]	246.0	237.6	228.4	214.9	195.3	165.4	112.6	80.8	68.4	59.3	49.1
Transformed volume [cm ³]	0.0	8.4	17.6	31.1	50.7	80.6	133.4	165.2	177.6	186.7	196.9
Difference [%]	0.00	3.41	7.15	12.64	20.61	32.76	54.23	67.15	72.20	75.89	80.04
Thermoplastic											
Absolute volume [cm ³]	240.5	240.0	239.0	238.5	238.2	238.0	237.9	237.8	237.8	237.7	237.6
Transformed volume [cm ³]	0.0	0.5	1.5	2.0	2.3	2.5	2.6	2.7	2.7	2.8	2.9
Difference [%]	0.00	0.21	0.62	0.83	0.96	1.04	1.08	1.12	1.12	1.16	1.21
Putty											
Absolute volume [cm ³]	255.7	255.2	254.7	254.3	254.2	254.1	254.1	254.1	254.0	254.0	254.0
Transformed volume [cm ³]	0.0	0.5	1.0	1.4	1.5	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7
Difference [%]	0.00	0.20	0.39	0.55	0.59	0.63	0.63	0.63	0.66	0.66	0.66

의 선량 분포(Fig. 5a, c, e)와 필름의 측정 선량 분포(Fig. 5b, d, f)를 비교하였다. 정량적 선량 오차 분석을 위하여 각 선량 분포에서 Fig. 4a의 x축 방향을 따라 조사면 중앙의 빔 측면도를 분석하였을 때 Fig. 5g와 같이 나타났다. 빔 측면도에서 획득한 조사 영역 내 최대흡수선량(D_{max}), 최소흡수선량(D_{min}), 조사면 중앙점을 기준으로 좌·우 2.5 cm 거리만큼 떨어진 지점의 경계면 선량(D_{interface})은 Table 3과 같이 나타났다. 선량 편평도 평가 결과 Thermoplastic이 3.98의 가장 좋은 선량 편평도를 보였으며, air와 putty에서는 각각 11.41, 4.30으로 나타났다.

고 찰

구강암을 비롯한 두경부암의 방사선치료에서는 혀의 고정이나 정상 조직의 보호를 위해 필요에 따라 구강 고정기구를 삽입하여 시행한다. 그러나 구강 내 공동의 존재는 측방 전자 평형(lateral equilibrium)을 이루지 못하여 경계면에서 재선량상승영역(rebuild-up region)의 형성에 따른 선량저하 및 인접 조직 간 선량 불균형을 가져온다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위하여 의료기구로 허가된 putty, paraffin 등의 치과용 인상재로 보상체를 제작하여 치료에 적용하고자 하는 연구들이 보고되고 있다. 그러나, 실리콘 재질의 putty 보상체는 약 1,000 HU 이상의 높은 값을 나타내므로 관심 체적에 동일한 처방선량을 전달하고자 할 때 상대

적으로 높은 MU를 사용하게 되므로 피부선량을 증가의 원인이 될 수 있다. 또한 제작 시 빠른 시간 안에 충분히 혼합한 후 성형하여야 하는 어려움이 있다. Paraffin 보상체의 경우 약 -100 HU 값을 갖는 조직등가물질로 비교적 인체와 유사한 선량특성을 나타낼 수 있으나 강도가 약해 제작 후 환자의 치악력이나 낙상 등의 외부충격에 의한 파손의 위험이 있다. 그에 반해 본 연구에서 고안한 thermoplastic 보상체는 결과에서 확인한 바와 같이 성형이 용이하며 외부충격 등에 의한 변형의 우려가 없는 조직등가물질로 고정 재현성 향상 및 선량 편평도 향상을 가져올 수 있으며, 현재 임상에 적용할 수 있는 최적의 구강 보상체로 고려할 수 있다.

Fig. 5의 빔 측면도에서 확인 할 수 있듯이 thermoplastic 보상체의 적용은 구강 주변에 더 균일한 선량 분포를 전달할 수 있었다. 그러나 공동과 조직사이의 또 다른 경계영역에서는 보상체와 팬텀사이의 공기층에 의해 왜곡된 선량 분포를 유발하였으며, 보상체를 충분히 채워 공기층을 제거하였다면 thermoplastic 보상체를 사용하였을 경우의 선량 편평도는 더욱 낮게 측정되어 보다 우수한 결과를 가져올 수 있었을 것으로 생각된다. 보상체와 팬텀사이의 공기층은 유리선량계를 이용한 선량 검증에서도 불확도 증가에 영향을 주었을 것으로 보이는데, 유리선량계를 통한 선량 측정 그 밖에도 팬텀의 셋업(setup)오차, 선량계 고유의 오차 및 측정방법 등에 의해서 오차가 발생할 수 있다. 이

Table 2. Comparison of predicted doses in treatment planning system with measured doses using glass dosimeters. Point doses at eight different positions (four surface points and four interface points) were compared under two plans—using one port and two ports—when four different types (air, paraffin, thermoplastic, and putty) of oral compensators were inserted into the in-house phantom.

Plan	Materials	X - Direction				Y - Direction			
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈
1 port									
Air									
	Calculate value [cGy]	250.8	214.0	191.2	159.2	12.8	189.0	189.0	12.8
	Measurement value±S.D [cGy]	259.1±3.4	212.1±1.3	181.3±1.2	150.7±1.0	13.5±0.3	193.3±1.0	185.2±3.3	14.5±0.2
	Difference [%]	3.3	-0.9	-5.2	-5.3	5.3	2.3	-2.0	13.5
Paraffin									
	Calculate value [cGy]	264.0	226.2	175.6	142.0	14.0	197.6	197.6	14.4
	Measurement value±S.D [cGy]	271.5±4.0	219.1±1.8	174.9±1.0	135.1±1.3	14.3±0.4	200.2±3.2	197.7±3.8	14.9±0.3
	Difference [%]	2.8	-3.2	-0.4	-4.9	2.0	1.3	0.0	3.4
Thermo plastic									
	Calculate value [cGy]	266.4	228.6	173.0	138.2	14.2	198.8	199.4	14.6
	Measurement value±S.D [cGy]	273.8±0.8	230.5±2.9	174.4±4.4	133.9±2.1	14.4±0.7	197.7±2.4	199.7±4.0	16.1±0.3
	Difference [%]	2.8	0.8	0.8	-3.1	1.5	-0.5	0.1	10.6
Putty									
	Calculate value [cGy]	277.6	238.2	162.8	128.6	15.6	204.2	202.4	15.6
	Measurement value±S.D [cGy]	287.1±5.9	241.6±1.6	157.5±5.6	123.0±1.2	15.2±0.2	197.3±0.6	202.7±2.4	16.5±0.1
	Difference [%]	3.4	1.4	-3.2	-4.4	-2.3	-3.4	0.2	5.8
2 port									
Air									
	Calculate value [cGy]	204.6	202.8	202.8	204.8	12.2	189.2	188.4	12.6
	Measurement value±S.D [cGy]	200.9±2.6	191.7±2.1	196.0±2.4	199.5±1.3	12.8±0.3	181.8±0.9	180.3±2.1	13.7±0.1
	Difference [%]	-1.8	-5.5	-3.3	-2.6	4.8	-3.9	-4.3	8.6
Paraffin									
	Calculate value [cGy]	201.2	200.4	199.8	201.6	14.0	197.0	196.8	14.4
	Measurement value±S.D [cGy]	199.2±4.1	199.0±1.4	194.3±3.5	197.0±3.4	13.6±0.0	192.6±1.0	193.8±1.7	14.5±0.6
	Difference [%]	-1.0	-0.7	-2.8	-2.3	-2.7	-2.3	-1.5	0.8
Thermo plastic									
	Calculate value [cGy]	201.2	201.0	200.8	202.2	14.6	198.8	199.2	14.6
	Measurement value±S.D [cGy]	198.9±2.1	201.2±3.8	196.5±2.1	198.3±4.3	14.4±0.3	201.0±1.8	197.4±2.2	14.8±0.4
	Difference [%]	-1.2	0.1	-2.2	-1.9	-1.7	1.1	-0.9	1.6
Putty									
	Calculate value [cGy]	203.4	200.6	201.0	203.4	15.6	203.6	203.8	15.6
	Measurement value±S.D [cGy]	200.0±3.2	192.5±2.8	199.6±3.4	199.2±2.4	14.1±0.3	196.7±5.9	201.0±6.4	15.3±0.1
	Difference [%]	-1.7	-4.0	-0.7	-2.1	-9.7	-3.4	-1.4	-2.0

것은 팬텀과 보상체의 설계 및 제작 단계에서부터 보다 개선된 방법으로 측정을 시행한다면 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.¹⁶⁻²²⁾

물성평가 및 선량 특성 분석 결과로 볼 때 thermoplastic 구강 보상체의 적용은 기존의 방사선치료에서는 물론 최신 고정밀 치료에 적용하여 임상에서 더욱 정확하고 균일한 우수한 선량분포를 구현해 낼 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서는 thermoplastic 구강 보상체를 개발하여 두경부암 환자의 방사선치료의 유용성을 평가한 선행적 연구로, 자체 제작한 팬텀을 이용하여 표면 선량과 구강 경계면을 포함한 구강 주변선량을 유리선량계와 radiochromic 필름으로 검증하였다. 그 결과 두경부암 방사선치료 시 조직 등가 구강 보상체의 적용은 구강 주변에 균일한 선량을 안

Table 3. Dose verification using Gafchromic EBT2 films at three different positions in transverse dose profiles and evaluation of dose flatness. The measured doses were compared with predicted doses in the treatment planning system, when three different types (air, thermoplastic, and putty) of compensators were inserted into the in-house phantom. The flatness was defined using maximum dose (D_{max}), minimum dose (D_{min}), and interface dose ($D_{interface}$).

Materials		D_{max}	D_{min}	$D_{interface}$	Flatness ^{a)}
Air	TPS	191.31	153.39	181.70	11.00
	Film	191.47	152.25	175.35	11.41
Thermoplastic	TPS	163.32	154.59	161.20	2.75
	Film	168.37	155.47	168.69	3.98
Putty	TPS	162.78	141.97	155.10	6.83
	Film	159.57	146.42	151.19	4.30

^{a)}Flatness=[| $D_{max} - D_{min}$ | / ($D_{max} + D_{min}$)] × 100.

정적으로 전달할 수 있으며, 입술 등의 표면 선량의 감소를 가져올 수 있음을 확인하였다. Thermoplastic 구강 보상체는 환자에게 유용하게 사용할 수 있는 구강 보상체로 제안할 수 있으며, 환자의 구강 고정 재현성 검증을 통해 개발한 구강 보상체의 보다 임상적인 유용성을 입증할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Lee SW, Back GM, Yi BY, et al: Preliminary results of a phase I-II study of simultaneous modulated accelerated radiotherapy for nondisseminated nasopharyngeal carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 65:152-160 (2006)
- An CS, Pei LL, Ji AL, Pei WS, Wei LC, Wei PK: Dosimetric verification of surface and superficial doses for head and neck IMRT with different PTV shrinkage margins. *Med Phys* 38:1435-1443 (2011)
- James CC, Amir MO: Dependences of mucosal dose on photon beams in head-and-neck intensity-modulated radiation therapy: A Monte Carlo study. *Med Dosim* 37:195-200 (2012)
- Gray A, Oliver LD, Johnston PN: The accuracy of the pencil beam convolution and anisotropic analytical algorithms in predicting the dose effects due to attenuation from immobilization devices and large air gaps. *Med Phys* 36:3181-3191 (2009)
- Van VM, Field C, Raaijmakers CP, et al: Comparing step-and-shoot IMRT with dynamic helical tomotherapy IMRT plans for head-and-neck cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 62:1535-1539 (2005)
- Jeraj R, Mackie TR, Balog J, et al: Radiation characteristics of helical tomotherapy. *Med Phys* 31:396-404 (2004)
- Kan MW, Cheung JY, Leung LH, Lau BM, Yu PK: The accuracy of dose calculations by anisotropic analytical algorithms for stereotactic radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma. *Phys Med Biol* 56:397-413 (2011)
- Cho MJ, Choi EK, Chung WK, Kang WS, Park CI: A study on buildup of 6MV X-ray by cavity. *J Korean Soc Ther Radiol Oncol* 7:113-122 (1989)
- Kanyz WK, Wu PM, Leung HT, et al: The effect of the nasopharyngeal air cavity on x-ray interface doses. *Phys Med Biol* 43:529-537 (1998)
- Shahine BH, Al-Ghazi MSAL, Khatib EE: Experimental evaluation of interface doses in the presence of air cavities compared with treatment planning algorithms. *Med Phys* 26:350-356 (1999)
- Li XA, Yu C, Holmes T: A systematic evaluation of air cavity dose perturbation in megavoltage x-ray beams. *Med Phys* 27:1011-1017 (2000)
- Niroomand RA, Razavi R, Thobejane S, Harter KW: Radiation dose perturbation at tissue-titanium dental interfaces in head and neck cancer patients. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 34:475-480 (1996)
- 나경수, 서석진, 이제희, 유숙현: 구강암 환자 치료시 치과용 왁스[paraffin Wax]의 유용성 평가. *대한방사선치료학회지* 23:41-49 (2011)
- 백종걸, 김주호, 이상규, 이원주, 윤종원, 조정희: 두 경부 암 환자의 방사선치료 시 자체 제작한 고정 기구 유용성의 고찰. *대한방사선치료학회지* 20:1-9 (2008)
- Harshad S, David S, John A, Geoffrey I, Mark O: Investigation of the feasibility of relative 3D dosimetry in the Radiologic Physics Center Head and Neck IMRT phantom using Presage/optical-CT. *Med Phys* 36:3371-3377 (2009)
- Qi ZY, Deng XW, Huang SM, et al: In vivo verification of superficial dose for head and neck treatments using intensity-modulated techniques. *Med Phys* 36:59-70 (2009)
- Kinhikar RA, Murthy V, Goel V, Tambe CM, Dhote DS, Deshpande DD: Skin dose measurements using MOSFET and TLD for head and neck patients treated with tomotherapy. *Appl Radiat Isot* 67:1683-1685 (2009)
- Roland TF, Stathakis S, Ramer R, Papanikolaou N: Measurement and comparison of skin dose for prostate and head-and-neck patients treated on various IMRT delivery systems. *Appl Radiat Isot* 66:1844-1849 (2008)
- Higgins PD, Han EY, Yuan JL, Hui S, Lee CK: Evaluation of surface and superficial dose for head and neck treatments using conventional or intensity-modulated techniques. *Phys Med Biol* 52:1135-1146 (2007)
- 신상훈, 이성현, 손기홍 등: 유리선량계를 이용한 Biobeam8000 감마선 조사장치의 선량평가. *의학물리* 22:198-205 (2011)

- 21. 고영은, 박성호, 최병준, 김희선, 노영주: 유리 선량계와 다이오드 측정기를 이용한 유방암 환자의 체표면 선량측정 비교. 의학물리 19:9-13 (2008)
- 22. 라정은, 서원섭, 신동오, 김희선, 서태석: 유리선량계를 이용한 감마나이프의 출력인자 결정. 의학물리 18:13-19 (2007)

두경부암 방사선치료 시 선량 균일도 향상을 위한 Thermoplastic 구강 보상체의 개발

가톨릭대학교 의과대학 *의공학교실, †생체의공학연구소, ‡동국대학교 의료원 방사선종양학과,
§인제대학교 일산백병원 방사선종양학과, ||관동대학교 명지병원 방사선종양학과

최준용*†‡ · 원영진§ · 박지연*† · 김종원*†|| · 문봉기§ · 윤형근‡ · 문수호‡ · 전종병‡ · 서태석*†

두경부암 방사선치료 시 공동 경계면 및 주변 치료 부위의 선량 균일도 향상을 위하여 조직 등가의 thermoplastic 구강 보상체를 개발하였다. Thermoplastic의 유용성 평가를 위해, 기존에 사용해 오던 치과용 인상재료인 paraffin, alginate, 그리고 putty로 제작한 각 구강 보상체의 물성 및 선량 분포 향상도를 비교하였다. 물성 평가에는 강도 평가(압축 실험, 낙하 실험)와 자연변형도(시간에 따른 체적 변화) 평가를 수행하였으며, 개발한 선량 검증용 팬텀에 삽입한 유리선량계와 Gafchromic EBT2 필름을 이용하여 표면선량, 공동 경계면 선량 및 빔 측면도를 측정하여 전달 선량을 평가하였다. 두 달간 각 구강 보상체의 자연변형도 평가하였을 때, alginate는 수분증발로 최대 80% 체적 변화를 보였으나, thermoplastic을 포함한 나머지 조직 등가 물질은 체적 변화가 3% 미만으로 나타났다. 강도 평가 중 5회 반복한 1.5 m 높이의 자유 낙하 실험에서 paraffin은 충격에 의하여 파손이 발생되었으나, thermoplastic은 낙하에 의한 파손이 발생되지 않았으며, 압축 강도 실험에서도 paraffin에 비하여 8배 이상의 높은 힘에서도 파손되지 않았다. 유리선량계를 이용한 선량 검증 결과, 1 문 조사 시 조직등가[약 80 HU (Hounsfield Unit)]의 thermoplastic은 동일한 처방 선량 전달 시 약 1,000 HU 이상의 값을 나타내는 putty에 비해 4% 낮은 출력계수(monitor unit) 전달로 약 4.9%의 낮은 표면 선량을 전달하였다. 또한 빔 입사 방향을 기준으로 할 때, 구강 통과 후 경계면의 빔 측면도에서 선량 균일도 평가를 위해 측정된 조사영역 편평도는 air, thermoplastic, putty에서 각각 11.41, 3.98, 4.30으로 나타났다. Thermoplastic 구강 보상체는 조직 등가 물질로 기존에 사용해 오던 구강 보상체에 비하여 강도가 높고 물질 변형 확률이 적으며, 구강을 포함을 경계면 및 주변 부위에 균일한 선량 분포를 형성할 수 있으므로 균일한 처방 선량 전달 및 피부 선량 감소가 가능하다.

중심단어: Thermoplastic, 구강 보상체, 공동 경계면 선량, 유리선량계, EBT2 필름