

Differences in Target Volume Delineation Using Typical Radiosurgery Planning System

Su Chul Han^{*†}, Dong Joon Lee[†]

^{*}Radiological Cancer Medicine, University of Science and Technology, Daejeon,

[†]Research Center for Radiotherapy, Korea Institute of Radiological and Medical Sciences, Seoul,

[‡]Department of Neurosurgery, Ilsan Paik Hospital, College of Medicine, Inje University, Goyang, Korea

Correct target volume delineation is an important part of radiosurgery treatment planning process. We designed head phantom and performed target delineation to evaluate the volume differences due to radiosurgery treatment planning systems and image acquisition system, CT/MR. Delineated mean target volume from CT scan images was $2.23 \pm 0.08 \text{ cm}^3$ on BrainSCAN (NOVALS), $2.13 \pm 0.07 \text{ cm}^3$ on Leksell gamma plan (Gamma Knife) and $2.24 \pm 0.10 \text{ cm}^3$ on Multi plan (Cyber Knife). For MR images, $2.08 \pm 0.06 \text{ cm}^3$ on BrainSCAN, $1.94 \pm 0.05 \text{ cm}^3$ on Leksell gamma plan and $2.15 \pm 0.06 \text{ cm}^3$ on Multi plan. As a result, Differences of delineated mean target volume due to radiotherapy planning system was 3% to 6%. And overall mean target volume from CT scan images was 6.36% larger than those of MR scan images.

Key Words: Target volume delineation, Radiosurgery planning system

서 론

뇌 병변을 중심으로 고 선량을 단일 조사하는 방사선 수술은 방사선 치료에 비해 더 높은 정밀성을 요구하게 된다. 미국의학물리학회(AAPM)에서 발표한 Task Group 142 보고서¹⁾는 과거에 발표된 Task Group 40 보고서²⁾에 비해 정위적 방사선 치료(SRS) 및 체부 정위적 방사선 치료(SBRT)에 관한 QA 항목에 추가가 되어 있는 것을 확인 할 수 있으며, 장비의 허용 오차 값 또한 더 정밀하게 제시됨을 확인 할 수 있다. 방사선 수술은 방사선 치료에 비해 방사선 장비의 정밀함이 요구되며, 방사선 치료 전 발생하는 공간적인 오차를 검증하기 위한 연구 또한 진행이 되었다. 예를 들어 필름을 이용한 2차원적 검증 방법³⁾과 겔(Gel)을 이용한 3차원적 검증 방법⁴⁾을 통하여 방사선 장비의 기계적 오차를 검증하는 연구를 하였으며, 또한 방사선 치료 전 동일한 종양에 대하여 경계 면의 윤곽 그리기가 그리는 수행자

에 따라 체적의 차이가 있음을 확인 하는 연구결과도 있었다.⁵⁻⁹⁾ 본 연구는 방사선치료계획을 위해 획득한 전산화단층촬영 영상과 자기공명영상으로부터 방사선 수술 대상으로 설정한 원기둥 캡슐 모양의 작은 목표체적에 대하여 임상에서 사용되는 방사선치료계획시스템에서 경계면 윤곽 그리기 및 체적을 측정하여 비교분석 하였다.

재료 및 방법

1. 팬텀 디자인

방사선 치료의 주요 부위인 두 경부를 고려하여, 두 경부 팬텀을 지름 16.0 cm, 높이 20.0 cm으로 제작 하였다. 내부에는 25개의 rod (지름 1.5 cm, 높이 20.0 cm)를 밖에서 안쪽 방향으로 동심원을 이루면서 위치 시켰다. 동일한 팬텀으로 영상획득 장비(CT, MRI)에서 대조도 차이를 획득하기 위하여 CT 영상에 조영 되는 Iodine용액과 MR영상에 조영 되는 CuSO₄용액을 혼합액(10%+90%)으로 목표체적(1.80 cm³, 지름 1.0 cm, 높이 2.3 cm)의 캡슐에 채워 각 rod에 Fig. 1과 같이 27군데 위치 시켰다. 이때 rod 내 포함되는 작은 목표체적은 동심원 모양으로 서로 다른 높이에 위치시켰으며, 공간적인 위치 구분 또한 가능하게 하여 전체적으로 두 경부 팬텀 내 작은 목표체적을 모든 위치에서 가능하게 하였다.

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(한국연구재단-기초공동연구소사업-No. 2009-0078392).

이 논문은 2013년 11월 26일 접수하여 2013년 12월 11일 채택되었음.

책임저자 : 이동준, (411-706) 경기도 고양시 일산서구 대화동 2240

인제대학교 일산백병원 신경외과학교실

Tel: 031)910-7732, Fax: 031)915-0885

E-mail: djlee@paik.ac.kr

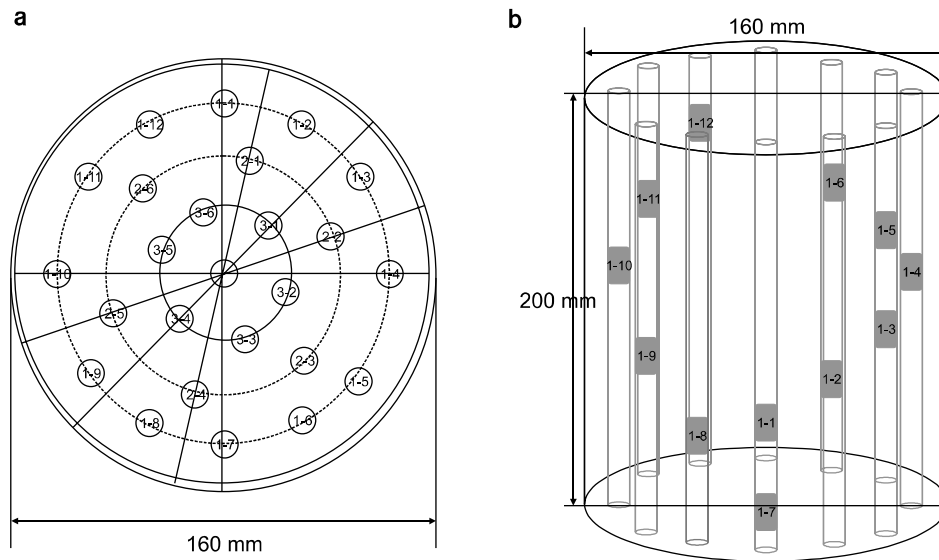


Fig. 1. Small target volume location in custom designed head phantom. (a) Axial view. (b) Oblique view.

Table 1. CT/MR image acquisition protocol for evaluate the delineated small target volume.

	CT	MRI
Slice thickness	2.0 mm	2.0 mm
Inter slice gap	Not gap	No gap
Field of View (FOV)	379 mm×379 mm	250 mm×250 mm
Matrix size	512×512	512×512
TR/TE		5,631 ms/105 ms
Coil		Head coil used

2. 영상획득 장비 및 프로토콜

Table 1은 치료계획에 사용된 영상 획득 조건이며 전산 화단층촬영 영상은 Aquilion™ (Toshiba, Otawara, Japan)을 통하여 획득하였고, 자기공명영상의 촬영은 1.5-T MAGNETOM® Avanto scanner (Siemens, Heidelberg, Germany)을 이용하여 획득하였다. 각각의 장비는 주기적으로 QA가 이루어지고 있었으며, 특히 자기공명영상 장치에서 자기장의 균질성(uniformity)은 이미지의 왜곡을 줄 수 있어 shimming 과정이 주기적으로 이루어지고 있는 상태에서 이미지를 획득하였다.

Fig. 2는 방사선치료계획을 위한 영상획득 장비(CT, MRI)에서 획득한 팬텀의 축 상면 이미지를 보여주고 있다. 팬텀 내 대조도가 다른 작은 목표체적을 확인 할 수 있으며, CT 영상의 경우, MRI 영상과의 융합에 필요한 좌표를 위한 장치를 사용하였다.

3. 방사선치료계획시스템

임상에서 방사선치료를 위해 사용하는 대표적인 장비로 선형가속기 기반의 방사선치료 장비인 노발리스와, ⁶⁰Co의 감마선을 이용한 감마나이프, 그리고 로봇 팔에 소형 선형가속기를 부착한 사이버 나이프가 있으며, 각 장비에 적합한 전용 치료계획시스템을 사용하고 있다. 선형가속기 기반의 일체형 방사선 치료장비인 노발리스는 BrainSCAN™ (version 5.4, BrainLAB, Heimstetten, Germany), 사이버나이프에서는 Multi Plan™ (version 4.5, Accuray Inc., Sunnyvale, CA, USA), 그리고 감마나이프는 Leksell Gamma plan® (version 9.0, Elekta, Stockholm, Sweden)을 사용하고 있다. 3개의 방사선치료계획시스템에서 특정 체적에 대한 체적 비교를 하기 위하여, CT와 MRI로부터 획득한 이미지를 윤곽 그리기 및 체적을 측정하여 비교분석 하였다.

4. 통계적 분석

두 경부 팬텀 내 위치한 27개의 작은 목표체적에 대하여 영상획득 장비에 따라 영상을 획득하였으며, 획득한 영상을 방사선 치료를 위해 임상에서 사용되고 있는 3개의 치료계획시스템에서 체적을 측정 하였다.

측정한 결과의 통계적 분석을 위하여 SPSS (version 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하였으며, CT와 MRI로부터 획득한 이미지를 각각의 치료계획시스템에서 측정한 체적크기의 평균값은 Student's t-test를 사용하여 비교하였고, 동일한 영상획득 장비에서 획득한 이

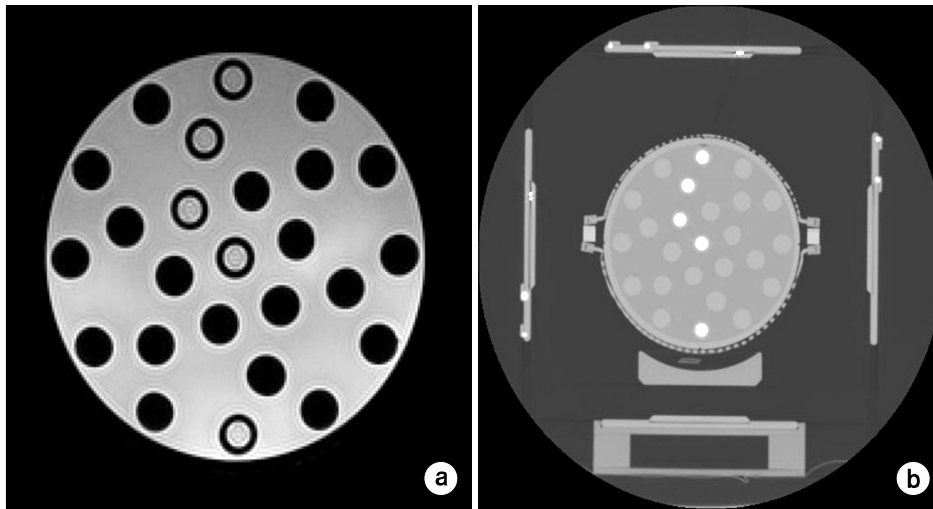


Fig. 2. The axial phantom image from acquired MRI (a) and CT (b).

Table 2. Delineated mean target volume from CT/MR scan images in radiosurgery planning system. (Mean±S.D) cm³

	CT	Diff. (%) [*]	MRI	Diff. (%) [*]
BrainSCAN (Novalis)	2.23±0.08		2.08±0.06	
Leksell gamma plan (Gamma knife)	2.13±0.07	4.48%	1.94±0.05	6.73%
Multi plan (Cyber knife)	2.24±0.10	-0.45%	2.15±0.06	-3.36%
Mean	2.20±0.08		2.06±0.06	
Diff. (%) (CT _{mean} /MR _{mean})		6.36%		

^{*}Difference (%) is mean difference of delineated target volume between BrainSCAN and Leksell gamma plan (or Multi plan).

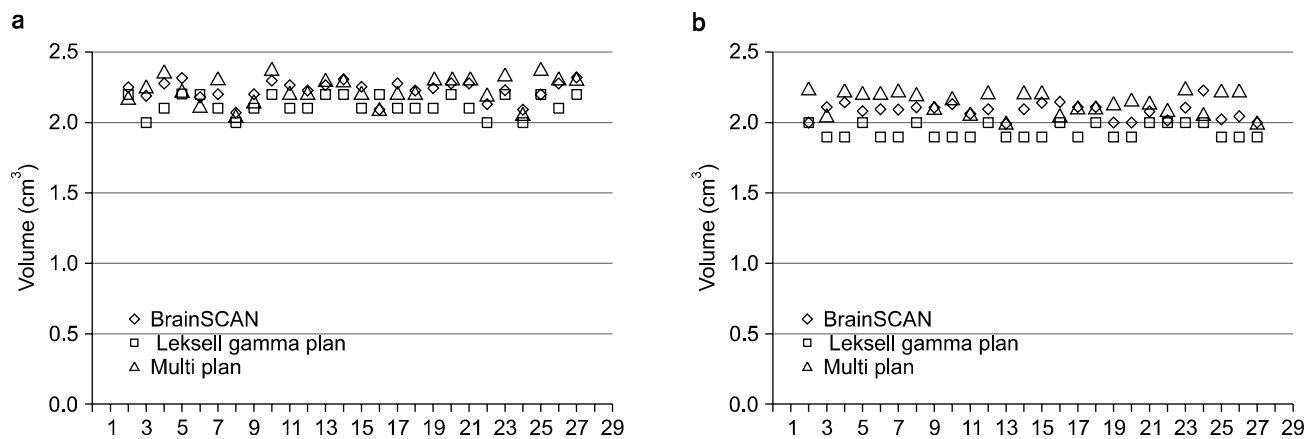


Fig. 3. Comparison of small target volume acquired from (a) CT image (b) MRI Image depends on radiotherapy planning system.

미지를 3개의 치료 계획시스템에서 측정한 체적크기의 평균값 비교는ANOVA test를 사용하였다.

결 과

1. 방사선치료계획시스템 및 영상획득 장비에 따른 작은 목표체적의 비교

Table 2는 두 가지 영상획득 장비를 통해서 얻은 팬텀의

이미지를 이용하여 각각의 방사선치료계획시스템 장비에서 측정된 체적의 크기를 비교한 표이다.

Table 2는 영상획득 장비(CT, MRI)에서 획득한 이미지를 각각의 방사선치료계획시스템에서 측정된 체적을 비교한 표이다. CT에서 획득하여 측정된 체적의 크기가 MRI에서 획득하여 측정된 체적의 크기보다 평균적으로 6.36%가 큰 것을 확인 하였다. 그리고 CT 및 MRI 에서 획득한 이미지를 각각의 방사선치료계획시스템에서 측정된 경우, Leksell gamma plan < BrainSCAN < Multiplan 순이었다. BrainSCAN를 기준으로 두 개의 방사선치료계획시스템과 비교 하였을 때, CT의 경우, Leksell gamma plan와 4.48%의 차이를 보였으며, Multi plan의 경우, 0.5% 이내의 차이를 보였다. 그리고 MRI의 경우, Leksell gamma plan와 6.73%의 차이를 보였으며, Multi plane와 3.36%의 차이를 보였다. Fig. 3은 두경부 팬텀 내 위치한 27개의 작은 목표체적을 방사선치료계획시스템에 따라 비교한 그림이다.

Fig. 4는 방사선치료계획시스템에서 영상획득 장비(CT,

MRI)에 따라 비교한 그림이다.

2. 통계적 분석결과

Table 3은 CT와 MRI에서 획득한 체적을 각각의 방사선 치료계획시스템에서 측정된 결과를 student's t-test를 이용하여 95% 신뢰 구간에서 검증한 결과이며, 각각의 방사선 치료계획시스템에서 이미지 획득 장비에 따라 유의한 차이가 있음을 확인하였다.

Table 4는 각각의 영상획득 장비를 통해 얻은 이미지를 3개의 방사선치료시스템에서 측정된 결과를 AONOVA test를 이용하여 95% 신뢰 구간에서 검증한 결과이다. CT를 통해 얻은 이미지를 3개의 방사선치료계획시스템에서 측정 하였을 때, BrainSCAN과 Multi plan 사이의 체적비교는 95% 신뢰 구간에서 유의한 차이를 볼 수 없었으며(p-value, 0.940), 그 외 비교에서는 유의한 차이가 발생하였다. 또한 MRI를 통하여 얻은 이미지 경우, 모든 비교에서 유의한 차이가 발생 하였다.

고찰 및 결론

기존의 임상적인 논문과는 다르게 두 경부의 크기와 유사한 팬텀을 제작하여 그 내부에 종양이 생길 수 있는 위치를 고려하여 임의적으로 작은 목표체적을 위치 시켰다. 그리고 영상획득 장비(CT, MRI)에서 팬텀의 이미지를 획득

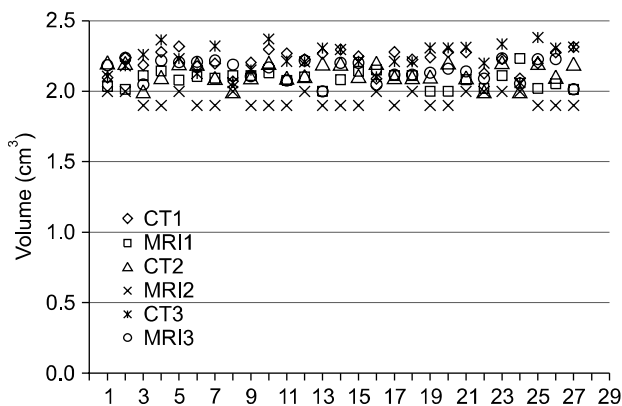


Fig. 4. Comparison of small target volume in radiotherapy planning system depends on image acquisition system (CT1, MRI1: BrainSCAN, CT2, MRI2: Leksell gamma plan, CT3, MRI3: Multi plan).

Table 3. Target volume differences between CT/MR delineation depend on radiotherapy planning system.

	Mean diff. (cm ³)	p-value (both)	95% CI of the difference	
			Lower	Upper
BrainSCAN (Novalis)	0.15	0.000	0.12	0.19
Leksell gamma plan (Gamma knife)	0.19	0.000	0.16	0.22
Multi plan (Cyber knife)	0.09	0.000	0.04	0.13

Table 4. Target volume differences depend on acquired CT/MRI.

		Mean diff. (cm ³)	p-value (both)	95% CI of the difference	
				Lower	Upper
CT ₁ (vs.)	CT ₂	0.10	0.000	0.05	0.015
	CT ₃	-0.01	0.940	-0.06	-0.047
CT ₂ (vs.)	CT ₁	-0.10	0.000	-0.16	-0.046
	CT ₃	0.11	0.000	-0.16	-0.05
CT ₃ (vs.)	CT ₁	0.01	0.940	-0.05	0.06
	CT ₂	0.11	0.000	0.05	0.16
MRI ₁ (vs.)	MRI ₂	0.01	0.000	0.10	0.18
	MRI ₃	-0.07	0.000	-0.11	-0.03
MRI ₂ (vs.)	MRI ₁	-0.14	0.000	-0.18	0.10
	MRI ₃	-0.21	0.000	-0.25	-0.17
MRI ₃ (vs.)	MRI ₁	0.07	0.000	0.03	0.11
	MRI ₂	0.21	0.000	0.17	0.25

CT₁, MRI₁: BrainSCAN, CT₂, MRI₂: Leksell gamma plan, CT₃, MRI₃: Multi plan.

하여 각각의 방사선치료계획시스템에서 체적을 측정 후 비교 분석하였다. 윤곽 그리기 수행자에서 생기는 변화를 최소화 하고 방사선치료계획시스템, 영상획득 장비에 의한 체적의 변화를 상호간 비교 분석하기 위하여 여러 명의 윤곽 그리기 수행자에 의한 윤곽 그리기가 아닌 한 명의 수행자로 국한하여 CT 및 MRI로부터 얻은 팬텀 이미지를 각각의 방사선치료계획시스템에서 작은 목표체적 윤곽 그리기를 하고 체적을 측정 비교 하였다.

영상획득 장비에 따른 체적의 비교에 관한 선행 연구로는 Weltens⁹⁾가 뇌종양 환자를 대상으로 CT와 MRI를 같이 이용하여 획득한 체적을 측정한 결과와 CT에서만 획득한 이미지에서 측정한 결과를 비교하였으며, CT와 MRI를 같이 이용하여 획득한 이미지의 평균 체적이(69.6 cm^3) CT의 평균 체적(59.5 cm^3)보다 상대적으로 10% 크게 측정된 것 보고하였다. 또한 Breen¹⁰⁾은 두 경부 암환자를 대상으로 PET-CT와 CT에서 획득 이미지를 이용하여 체적을 측정 비교하였으며, CT에서 측정한 체적이 PET-CT에서 측정한 값보다 높은 것으로 보고하였다. Geets¹¹⁾은 Pharyngo-laryngeal squamous cell carcinoma인 환자를 대상으로 하였으며, CT에서 획득한 이미지를 측정한 체적($28.5 \pm 6.2 \text{ ml}$)이 PET-CT($17.5 \pm 4.6 \text{ ml}$)에서 측정한 값보다 높게 나오는 것을 확인할 수 있었다. 위의 논문들은 여러 명의 윤곽 그리기 수행자 차이를 고려한 후 임상 환자를 대상으로 영상 획득 장비에 따라 종양의 크기를 비교한 결과이다.

방사선치료계획시스템에 따라서 체적 계산을 비교 분석한 선행 연구결과를 보면, Ackerly¹²⁾는 비세포성 폐암 환자를 대상으로 하였으며, CT를 이용하여 이미지를 획득하였다. 획득한 이미지를 4개의 방사선치료계획시스템에서 계산하여 체적을 비교하였을 때 6~12% 이내의 차이가 나는 것을 확인 하였다. 선행 연구결과를 통하여 보면 영상획득 장비 및 방사선치료계획시스템에 차이에서 오는 체적의 차이는 CT영상과 MR영상의 비교에서 CT 측정값이 약 10% 정도 큰 것으로 확인된다. 본 연구에서 윤곽 그리기는 영상 종류 및 치료계획시스템을 고려하였을 때 통계적으로 유의한 차이를 보였으나 모두 6% 이내의 오차가 발생하였음을 확인하였다. CT에서 획득한 이미지와 MRI에서 획득한 이미지에서 측정한 체적을 비교하였을 때 평균적으로 6%의 차이를 확인 할 수 있었으며, 동일한 영상획득 장비에서 방사선치료시스템에 따른 차이는 3~6% 내외를 확인 할 수 있었다. 그러나 선행 연구결과들과 비교해 볼 때 상대적으로 작은 목표체적에 대한 윤곽 그리기이었으며 이는 임상에서 수용할 수 있는 계통오차범위 이내에 속 하는 것으로

판단된다.

방사선 수술의 목표체적은 대부분이 소 조사 면이며, 윤곽 그리기를 하는 수행자는 육안적으로만 판단하여 작은 목표체적의 윤곽을 그리게 되는데 이때 생기는 차이는 체적이 클 때보다 적을 때 더 많은 차이가 발생 할 것이며 또한 윤곽 그리기를 시행하는 수행자의 판단, 영상촬영조건 및 조영제에 따른 영상의 조영증강폭 등에서 발생할 수 있는 차이로 생각된다.

임상에서 오차발생 최소화를 위한 노력의 일환으로 각각의 영상획득 장비의 장단점을 고려한 영상 융합과 병변의 위치 및 병리학적 상황을 고려한 최적화된 이미지 획득 프로토콜 및 최소한의 가이드라인이 제시된다면 좀 더 정확한 목표체적에 대한 윤곽 그리기가 이루어 질 수 있다고 생각된다.

결론적으로 본 연구에서는 방사선 치료 전 획득한 영상을 각각의 방사선치료계획 시스템에 사용하여 방사선 수술 대상인 작은 목표체적을 윤곽 그리기 하고 체적을 비교하였다. 방사선치료계획시스템에서 영상획득 장비에 따른 작은 체적의 차이는 6%이내였으며, 동일한 영상획득 장비에서 방사선치료계획시스템에 따른 차이는 3~6% 내외를 확인 하였다. 윤곽 그리기에 영향을 주는 요인을 고려할 때 임상에서 수용할 수 있음을 확인 하였다.

참 고 문 헌

1. Klein EE, Hanley J, Bayouth J, et al: Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. Med Phys 36(9):4197-4212 (2009)
2. Kutcher GJ, Coia L, Gillin M, Hanson WF, et al: Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. Med Phys 21(4): 581-618 (1994)
3. Robar JL, Clark BG: The use of radiographic film for linear accelerator stereotactic radiosurgical dosimetry. Med Phys 26(10): 2144-2150 (1999)
4. 이경남, 이동준, 서태석: 자기공명영상기반 겔 선량측정법을 이용한 3차원적 목표 중심점 점검기술. 의학물리 22(1):35-41 (2011)
5. Mazzara GP, Velthuizen RP, Pearlman JL, et al: Brain tumor target volume determination for radiation treatment planning through automated MRI segmentation. Int J Radia Oncol Biol Phys 59(1):300-312 (2004)
6. Rasch C, Keus R, Pameijer FA, et al: The potential impact of CT-MRI matching on tumor volume delineation in advanced head and neck cancer. Int J Radia Oncol Biol Phys 39(4): 841-848 (1997)
7. Caldwell CB, Mah K, Ung YC, et al: Observer variation in

- contouring gross tumor volume in patients with poorly defined Non-small-cell lung tumors on CT: The impact of 18FDG-hybrid pet fusion. *Int J Radia Oncol Biol Phys* 51(4):923-931 (2001)
8. Kouwenhoven E, Giezen M, Struikmans H: Measuring the similarity of target volume delineations independent of the number of observers. *Phys Med Bio* 54(9):2863-2873 (2009)
 9. Weltens C, Menten J, Feron M, et al: Interobserver variation in gross tumor volume delineation of brain tumor on computed tomography and impact of magnetic resonance imaging. *Radiotherapy & Oncology* 60(1):49-59 (2001)
 10. Breen SL, Publicover J, De Silva S, et al: Intraobserver and Interobserver variability in GTV Delineation on FDG-PET-CT images of Head and Neck Cancers. *Int J Radia Oncol-BiolPhys* 68(3):763-770 (2007)
 11. Geets X, Daisne JF, Tomsej M, et al: Impact of the type of imaging modality on target volumes delineation and dose distribution in Pharyngo-laryngeal squamous cell carcinoma: comparison between pre- and per treatment studies. *Radiotherapy & Oncology* 78(3):291-297 (2006)
 12. Ackerly T, Andrews J, Ball D, et al: Discrepancies in volume calculations between different radiotherapy treatment planning systems: *Australas Phys Eng Sci Med* 26(2):91-93 (2003)

각각의 방사선수술 치료계획시스템에 따른 동일 병변의 체적 차이 비교

*과학기술연합대학원대학교 원자력암의학, †한국원자력의학원 방사선치료연구센터,

‡인제대학교 의과대학 일산백병원 신경외과학교실

한수철*[†] · 이동준[‡]

방사선수술 치료계획 시 목표체적 윤곽 그리기 과정에서 발생하는 오차를 확인 하기 위하여 작은 목표체적을 고르게 분포시킨 두 경부 팬텀을 제작하였으며, 동일한 팬텀을 사용하여 CT영상 및 MR영상을 획득하고 이를 대표적인 3개의 방사선수술 치료계획시스템에서 작은 목표체적에 대하여 윤곽 그리기 한 후 체적을 측정하여 비교 분석하였다. CT로부터 획득한 이미지를 이용하여 BrainSCAN (노발리스)에서 윤곽 그리기를 하여 체적을 측정한 경우, 체적 평균값은 $2.23 \pm 0.08 \text{ cm}^3$ 이며, Leksell gamma plan (감마 나이프)은 $2.13 \pm 0.07 \text{ cm}^3$, Multi plan (사이버 나이프)에서 측정한 값은 $2.24 \pm 0.10 \text{ cm}^3$ 이었다. 또한 MRI로부터 획득한 이미지를 이용하여 BrainSCAN에서 윤곽 그리기를 하여 체적을 측정한 경우, 체적크기의 평균값은 $2.08 \pm 0.06 \text{ cm}^3$ 이며, Leksell gamma plan은 $1.94 \pm 0.05 \text{ cm}^3$ 이고 Multi plan에서 측정한 값은 $2.15 \pm 0.06 \text{ cm}^3$ 이었다. 각 방사선치료계획 시스템에서 CT영상과 MR영상으로부터 측정한 목표체적의 차이는 CT에서 획득한 이미지를 측정한 체적이 MRI보다 평균적으로 6.4% 정도 크게 나타나는 것을 확인하였다. 동일한 영상획득 장비에서 획득한 이미지를 3개의 서로 다른 방사선치료시스템에서 측정한 결과의 차이는 3~6%이었다. 이 결과는 영상을 획득하는 방식과 윤곽을 그릴 때 생기는 오차를 고려하였을 때 임상적으로 수용할 수 있는 범위 내에 들어간다고 판단이 된다.

중심단어: 목표체적 윤곽 그리기, 방사선수술 치료계획시스템