



# 척추 질환에 대한 방사선수술

## Radiosurgery for Spinal Lesions

손 문 준 · 이 동 준 | 인제의대 신경외과 | Moon-Jun Sohn, MD · Dong Joon Lee, PhD

Department of Neurosurgery, Inje University College of Medicine

E-mail : mjsohn@ilsanpaik.ac.kr

J Korean Med Assoc 2008; 51(1): 38 - 44

### Abstract

Spinal Stereotactic Radiosurgery (SRS) has become an important treatment modality for a broad range of spinal tumors and spinal vascular lesions. Recent clinical acceptance and awareness of the usefulness of spinal radiosurgery has escalated with the development of modern radiosurgical technology. Image-guided navigation systems incorporating non-invasive fiducial tracking and virtual simulation planning systems have made spinal radiosurgery increasingly effective and expanded the range of clinical applications for which it can be effectively used. Additional improvements such as Intensity Modulation and Micro-Multileaf Collimation that allow the accurate modulating and shaping of the radiation beam have also contributed greatly to the ability of clinicians to treat irregular and critically located lesions with greatly reduced collateral risk. Spinal Radiosurgery for spinal tumors can achieve similar clinical results to cranial stereotactic radiosurgery for brain tumors in terms of achieving local tumor control and improving quality of life and survival rates. Stereotactic radiosurgery, which has long been used for the treatment of intracranial lesions, is now recognized to be a viable option for treating spinal tumors and spinal vascular lesions.

**Keywords :** Spinal radiosurgery; Spinal tumors; Spinal vascular malformation; Novalis radiosurgery; Stereotactic radiosurgery

**핵심 용어 :** 척추 방사선수술; 척추 종양; 척추 혈관기형; 노발리스 방사선수술; 정위 방사선수술

### 서론

의학 기술의 발달로 도입된 척추 방사선수술은 척추 종양의 치료에 매우 효과적인 치료 방법으로 각광받고 있다(1). 척추 방사선수술이란 뇌 질환 치료에 국한적으로 사용되어 오던 정위 방사선수술 방법과 경험을 바탕으로 척추종양 및 척추 혈관기형과 같은 척추 질환을 치료하는 비관혈적(noninvasive) 정위 방사선수술(Stereotactic Radiosurgery)을 말한다. 이는 실제 메스를 이용한 수술적 치료

와는 달리 고선량의 방사선을 이용하여 외과적 수술로 종양을 직접 절개한 것과 동일한 효과를 나타낼 수 있다. 반면에 외과적 수술에 따른 합병증이나 척추종양의 제거에 따른 척추의 후속 기기 고정술과 같은 관혈적인 수술의 필요성을 지양할 수 있는 안전한 치료 방법이다(1~4). 1951년 Leksell에 의해서 뇌 정위 방사선수술법이 소개된 이래로 정위 방사선수술은 1980년대 선형가속기를 이용한 방사선수술에서 1990년대 감마나이프(Elekta AB, Stockholm, Sweden) 방사선수술이 국내외적으로 널리 보급되면서 임



상적인 적용이 급격하게 증가하고 있는 추세이다. 정위적 방사선수술은 뇌종양을 포함한 뇌혈관 기형 등의 두개내 병소에 적용되어 뛰어난 치료 성적을 보이고 있다. 일정한 크기 이하의 국소적인 다양한 뇌병변에 대한 정위적 방사선수술의 효과에 대해서는 일반적으로 널리 알려져 있다. 특히, 전이성 뇌종양의 경우 고식적인 방사선치료에 비해 반복적인 재치료가 가능하며 신장암과 같이 방사선에 저항성이 높은 전이성 병소에 대해서도 높은 국소 완치율을 나타내어 그 효과 및 역할이 더욱 강조되고 있다(5, 6).

뇌 정위 방사선수술의 임상적 성공으로 방사선수술의 두개외 병소에의 적용(Extra-cranial application)에 대한 필요성이 제기되었다(7). 이러한 요구에서 최근 일련의 방사선수술 방법의 발전과 정위 기술의 지속적인 발달로 방사선수술의 새로운 적응증(new indications)으로 척추종양을 포함한 신체 각 부위의 두개외 병소를 치료하는 중요한 치료법으로 그 영역이 확대, 발전되고 있다.

그러나 척추 병변에 대한 정위적 방사선수술을 적용하기 위해서는 극복해야 할 몇 가지 문제점들이 있다(8~11). 척추 정위 방사선수술을 위해서는 머리와 같이 견고하게 고정할 만한 정위틀을 적용할 수 없으며, 또한 종양이 호흡이나 자세 등에 의해서 병소의 위치가 변화될 수 있다는 점 등이다. 이에 따른 병소의 표적화(targeting) 및 국재화(localization)의 어려움이 척추와 같은 두개외 병소에 대한 정위적 방사선수술의 문제점으로 제기되어 왔다. 또한 병소에 인접한 척추 및 주위 주요 장기의 방사선 조사에 대한 취약한 감수성 등도 고려해야 할 문제이다. 최근 비관혈적 정위틀(non-invasive reference systems)의 도입과 적외선 카메라를 이용한 영상 추적 장치 등의 발달로 수 mm 이내의 정확성을 구현할 수 있게 되었다. 이렇듯 영상 유도하 정위 방사선수술(image-guided stereotactic radiosurgery)의 임상 적용이 실현됨에 따라서 이를 이용한 척추 방사선수술이 최근에 활발하게 시행되고 있다. 또한 척추로 가는 방사선 피해를 최소화하기 위한 방법으로 정확한 병소의 국재화 외에도 방사선의 세기 조절(intensity modulation)과 분할 방사선수술(fractionated radiosurgery)의 개념이 적용되고 있다. 그리하여 방사선수술의 새로운 임상적 적용과 수술 방

법의 새로운 패러다임이 제공되고 있다(12, 13). 이에 척추 방사선수술 위한 척추 정위 방법과 임상 적용에 대해서 문헌 고찰과 함께 정리해 보고자 한다.

## 척추 방사선수술을 위한 척추 정위 방법(Spinal Stereotaxis)의 발달

척추 병소에 대한 정위적 치료법(Stereotactic therapy)은 1920년 Clarke에 의해서 처음 Cartesian coordinate system을 이용한 정위틀을 사용하여 척추 안에 전극을 삽입하는 데서 시작하였다. 1965년 Rand는 척추 정위틀을 임상에 적용하여 경추부 척수에 동결수술(cryosurgery)를 시행하였으며 1967년 Crue는 이 방법을 이용하여 두개골에 정위틀을 고정한 후 경추부로 연장한 고정기구를 통해서 trigeminal tractotomy를 시행하였다(9, 14). 같은 해 Hitchcock 등은 변형된 Leksell frame을 이용하여 spinothalamic tractotomy를 시행하였고, 1972년 Nadvornik은 요추 후궁에 고정하는 장치를 이용하여 척추 정위 수술을 시행하였다. 1980년대에 이르러서 Cosman 등이 척추 후궁에 정위 장치를 부착하여 myelotomy를 시행하는 데 사용하였다(9, 14). 최근 CT, MR 등의 방사선학적 영상의 발달로 환자 신체에 대한 high spatial resolution의 영상 지원이 가능해짐에 따라서 1993년 Koutrouvelis 등은 컴퓨터 단층촬영하에서 경피적 요추간판 제거술을 시행하였으며 이후 Nolte 등에 의해서 frameless stereotactic method를 이용한 척추경 나사못 삽입이 경피적으로 시행되게 되었다(9, 14, 15). 이러한 척추 정위법의 발달 과정을 통해서 척추에 정밀하게 고선량의 방사선을 조사하려는 노력이 기울여졌다. 1994년 Lax 등은 비관혈적 정위틀(Lax frame)을 이용하여 분할 방사선치료에 이용하였고(9), 1995년에 이르러서야 Hamilton 등(16)은 전신마취 하에서 척추 후궁에 고정하는 척추 정위틀(bone screw method)을 고안하여 척추 방사선수술을 시도하였다. 이들은 기존의 방사선 치료에 실패한 전이성 척추종양 환자 5명의 치료 결과를 보고하였으며, 1996년(17)에는 4명을 추가하여 총 9명의 치료 결과가 보고되었다. 그러나 이 방법은 전신 마취 하에서 관혈



적 방법으로 척추에 고정 장치를 부착해야 하고 호흡에 의한 척추 움직임 등의 제한점으로 현재에는 더 이상 사용되고 있지 않다.

최근 일련의 정위기술의 발달로 영상 유도 하에서 frameless Radiosurgery가 가능해졌으며 이를 통해서 수 mm의 정밀도 및 정확성의 구현이 가능해졌다(10, 11). 노발리스 방사선수술(Novalis, BrainLab, GmbH, Munich, Germany) 장비나 사이버 나이프(Cyberknife, Accuracy Inc, Sunnyvale, CA)와 같은 방사선수술 전용 선형가속기의 발달로 영상 추적 장치(optic tracking system)를 이용하여 실시간 영상 유도(real time image guidance)가 가능해졌으며 호흡에 의한 신체의 변화를 추적할 수 있는 gate system 등의 도입으로 척추 뿐 아니라 두개의 병소(extracranial lesion), 즉 폐(lung), 간(liver) 등의 신체의 고형 기관(solid organ)에 대한 체부 정위 방사선수술(body Radiosurgery)이 실현 가능해졌다(9, 10, 18).

## 척추 방사선수술 방법

앞서 언급한 척추 정위 방법의 발달로 척추에 정확하게 방사선을 조사할 수 있게 됨에 따라서 척추 방사선수술이 가능해졌다. 척추 방사선수술을 통해서 종양 조직에 치사량의 고선량 방사선을 효과적으로 조사함으로써 종양의 국소 완치를 이루게 된다. 척추 종양의 경우 종양의 진행(local progression)이 예후에 가장 큰 영향을 미치는 요인이므로 종양의 국소 완치를 위해서는 효과적인 고선량의 방사선을 종양에만 국한하여 조사하는 것이 척추 종양의 치료에 매우 중요하다(4, 8, 18).

척추 방사선수술은 비침습적 수술이므로 MRI와 CT 영상 등 방사선 영상과 병소위치 추적 장치의 도움으로 수술하기 때문에 수술하는 동안 외부적 요인 혹은 환자의 내부 장기 운동 등 병소 위치 변이는 수술 결과에 직접적인 영향을 끼치게 된다. 그러므로 척추 방사선수술에서 병소에 대한 국제 정확도(localization accuracy)는 수술의 성공 여부에 결정적인 역할을 하는 요소이다. 일반적으로 방사선수술에 요구되는 장비의 정확도를 포함한 병소의 국제 정확도는

1mm 이내이다(8, 10, 11). 척추 방사선수술에서 병소 좌표 국제시에는 적외선을 이용한 광학적 목표점 추적 장치(optic guided localizer)를 사용한다. 척추 방사선수술은 영상정보만을 가지고 수술 계획을 구성하므로 획득한 영상의 촬영장비로부터 발생하는 왜곡 현상을 감소시키고 해부학적 정보를 얻기 위해 CT 영상과 MR 영상을 융합(image fusion)하여 수술 계획을 작성한다.

수술 계획시 병소가 방사선에 민감한 구조인 척수신경 등에 근접 혹은 밀착되어 있는 경우 병소에만 선택적으로 방사선을 집중 조사하고 척수신경은 방사선 조사를 인위적으로 차단시키는 세기 조절 방사선수술(Intensity modulated Radiosurgery, IMRS) 방법과 저분할 방사선수술(Hypofractionated stereotactic radiosurgery)이 병용하여 선택한다(4, 8, 9, 13).

수술 계획에 의한 방사선수술 중에는 병소 중심 좌표의 실시간 모니터링에 의한 추적 관찰과 필요시 환자 위치를 보정하면서 시술하며 이는 임상 결과를 향상시키는 매우 중요한 인자이다(8).

## 척추 방사선수술의 임상 적용

### 1. 전이성 척추 종양에 대한 방사선수술

전이성 척추종양은 전체 암 환자의 70%에서 나타나며 가장 흔한 형태의 골 전이 질환이다. 척추 전이가 있는 환자의 20% 정도에서는 척수 압박에 의한 신경학적 마비 증상을 나타내며 심한 암성 통증을 호소한다. 최근 전신암의 치료 방법의 발달로 암 환자의 생존율 및 생존 기간이 연장됨에 따라서 전이성 병소의 발생 빈도가 점차 높아지고 있는 추세이다. 이에 따라서 말기 암 환자에 있어서도 전신 상태가 양호한 경우 전이성 병변의 효과적인 치료에 대한 필요성이 더욱 절실히 요구되고 있다(4, 19).

전이성 척추 종양의 치료의 목표는 다음과 같다.

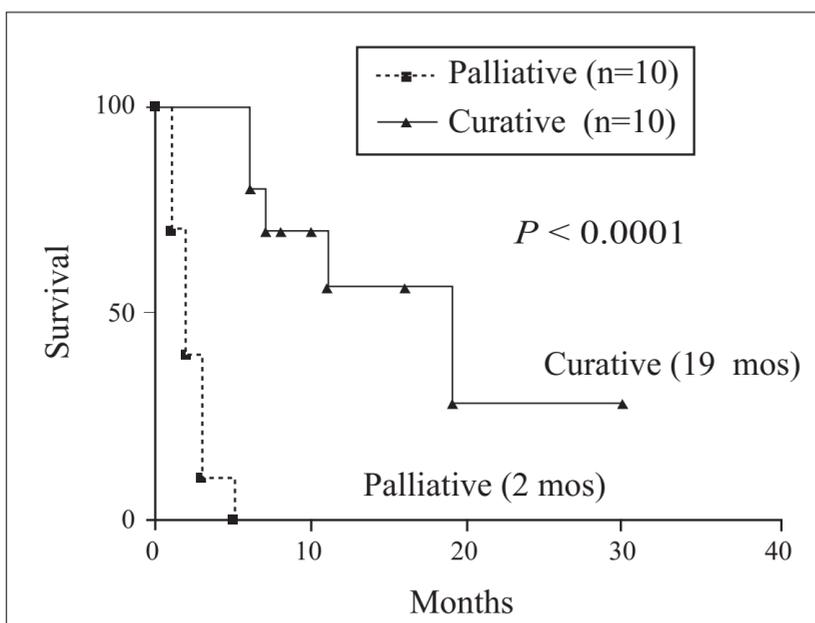
- 1) 척추 전이로 인한 통증 완화
- 2) 신경학적 마비의 회복, 안정화 및 예방
- 3) 국소 종양의 진행에 대한 국소완치



**Table 1.** Summary of KPS and VAS score before radiosurgery vs. after radiosurgery

	Pre-SRS	Post-SRS	p-value
Overall VAS (n=20)	8.4 ± 1.09	2.0 ± 0.73	< 0.0001*
Palliative (n=10)	8.2 ± 1.23	2.5 ± 0.53	< 0.0001*
Curative (n=10)	8.5 ± 0.97	1.5 ± 0.53	< 0.0001*
Overall KAS (N=20)	59.0 ± 15.9	70.5 ± 20.1	< 0.001*
Palliative (n=10)	49.0 ± 15.2	56.0 ± 17.8	0.066
Curative (n=10)	69.0 ± 8.8	85.0 ± 8.5	< 0.001*

SRS : stereotactic radiosurgery, \*: statistically significant



( ) : median survival (months)

**Figure 1.** Comparison of Kaplan-Meier Survival curve between palliative group vs. locally curative group.

내과적 치료법으로는 암성 통증 경감을 위한 진통제 복용이나 스테로이드 투여가 증상 완화 목적(palliative purpose)으로 사용되고 있으며 항암화학요법이 선택되고 있다. 외과적 수술은 종양이 진행되어 척추 불안정증(spinal instability)을 유발하거나 신경 압박에 의한 급성 또는 진행성 신경학적 장애 및 심한 통증이 있을 때 적응이 된다. 그러나 외과적 수술 역시 근치적 절제가 가능한 경우는 극히 제한적이고 대부분의 경우 불안정증에 대한 척추 안정화를 위한 고정술이나 신경학적 마비 등의 증상 완화를 치료법(palliative treatment)으로 선택되고 있다. 그러나 전신 상태가 불량한 환자나 남은 여명이 짧은 환자 또는 전체 척추로 다발성 전이가 있는 환자에서는 외과적 수술에 따른 치료의 장점보다는 합병증 발생 등의 위험성이 높아서 임상적으로 수술의 적응에 해당되지 않는 경우가 대부분이다. 한

편, 고식적인 방사선 치료법(conventional radiotherapy)은 단독 또는 수술과 병행하여 사용될 수 있으나 척수 신경과 같은 방사선 감수성이 약한 정상 조직의 손상을 피하기 위해서 종양의 국소 완치를 위한 효과적인 고선량의 방사선을 조사할 수 없으므로 그 치료 효과가 매우 제한적이다. 고식적인 방사선 치료의 경우 방사선량의 목표가 정상 조직, 즉 척수의 방사선 내성을 고려하여 저선량 방사선을 고분할 조사하거나 300rad의 방사선을 10회 조사하는 방식으로 치료가 행해져 왔다(19, 20, 21).

그러나 저선량 고분할 방식의 방사선치료로는 효과적인 치료 용량까지의 방사선 조사가 제한되어 치료 효과의 한계가 있으며 여명이 짧은 전이성 암 환자에 있어서 장기간의 방사선 치료로 인한 삶의 질 저하 등이 문제점으로 지적되고 있다(4). 특히 신장암과 같은 비교적 방사선에 저항이 있는 종양의 경우 그 치료의 한계가 더욱 뚜렷하였다(4, 19~21). 그러므로 정위 방사선수술의 적용은 비관혈적인 수술법으로 종양에 치사량의 방사선을 국한하여 조사할 수 있어 전이성 종양의 국소완치를 이룰 수 있고 암성 통증을 신속하고 효과적으로 경감시키고 환자의 신경학적 마비 증상을 방지함으로써 삶의 질과 생존율을 향상시킬 수 있다(Table 1).

그러나 동시에 전신 암의 적절한 치료를 병행하기 위해서는 영역의 다양한 항암치료 방법들이 반드시 병행되어야 한다고 사료된다. 또한 종양의 조직학적 진단 결과와 척수 압박상태 및 신경학적 증세 등에 따라서 항암 화학요법의 치료 및 외과적 수술의 병행 여부 등의 다각적인 치료 전략이 반드시 고려되어야 한다(3, 4). 이를 통하여 전이성 척추 종양의 환자의 삶의 질을 향상시키고 생존율을 높이는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다(Figure 1). 환자의 임상 상태 및 종양의 조직형, 방사선학적-임상진행 상태를 고려하여 응급 수술의 필요성과 수술에 따른 잔여 종양의 치료, 항암치료, 방사선치료의 병행 등에 대해서는 multi-disciplinary, multi-modal treatment가 요구되며, 전신 암의 치료와 함께 해당 전문 분야의 전문의들과의 긴밀한 협진을 통해서 치료 효과와 환자의 삶의 질 등을 고려하여 치료 전략을 결정해야 한다(4).



**Figure 2.** Three dimensional CT scan (left) and Novalis treatment planning (right) for Spinal arteriovenous malformation at T10-L1 levels (arrow).

## 2. 양성 척추 종양에 대한 방사선수술

양성 척추 종양은 대부분의 경우에서 비침윤성 종괴(non-infiltrative mass)를 형성하므로 경험 있는 외과 의사의 경우 비교적 낮은 합병증이나 유병률 내에서 외과적 절제를 통한 국소 완치가 가능하다. 또한 완전 절제의 경우 재발의 빈도가 매우 낮으므로 외과적 절제 수술이 양성 척추 종양 치료에 중요한 치료 원칙으로 선택되고 있다. 그럼에도 불구하고 방사선수술의 발달은 양성 척추 종양에 대하여 비관혈적 수술법인 척추 방사선수술의 적용이 가능해짐에 따라서 중요한 대체 치료 방법으로 선택될 수 있다. 특히 수술적 접근이 어려운 부위에 위치한 종양이나 종양의 절제에 따른 광범위한 절제나 후속적인 척추 기기 고정술과 같은 관혈적 수술을 배제할 수 있는 효과적이고 중요한 치료법이다. 신경외과 분야에서 흔히 접하는 양성 척추종양으로는 신경초종(schwannoma), 수막종(meningioma), 신경섬유종(neurofibroma) 등이며 기타 척색종(chordoma), 상의 세포종(ependymoma), 혈관모세포종(hemangioblastoma) 등이 포함된다.

앞서 언급한 종양과 병리조직학적으로 동일한 뇌종양에

대한 정위 방사선수술에서의 적응은 다음과 같다. 수술적으로 접근이 어려운 두개저에 위치하거나 재발성 종양 또는 수술 후 잔여 종양에 대해서, 또한 전신 상태가 불량한 내과적인 질환이 동반되어 있는 경우에 정위 방사선수술은 안전하고 효과적으로 선택될 수 있는 중요한 치료법으로 제시되고 있다. Kondziloka 등(22, 23)은 정위 방사선수술로 치료한 양성 뇌종양의 약 93~98%에서 성공적인 치료 결과를 얻었다고 보고하고 있다. 그러므로 병리조직학적으로 양성 뇌종양과 동일한 척추 종양에서도 뇌종양과 동일한 치료 성적을 얻을 수 있다고 보고되고 있다(2, 3, 8, 24).

## 3. 척추 혈관 질환(동정맥기형)에 대한 방사선수술

척추 동정맥기형과 같은 혈관 질환에 대해서 미세현미경 수술과 혈관내 색전술 이외로 선택할 수 있는 중요한 치료법으로 정위 방사선수술이 대두되고 있다. Sinclair 등(25)은 척추 내에 위치한 척추 동정맥기형에 대한 15명 환자의 치료 경험을 보고하였다. 총 방사선량이 20~25Gy로 2회에서 5회의 저분할 방사선 조사를 시행하였는데, 대부분의 병소 크기가 감소하였으나 동정맥 기형 혈관의 폐색을 유도하

기 위한 효과적인 방사선량의 조사에 미치지 못하여 보다 장기적인 추적 관찰과 치료가 필요할 것으로 사료된다. 필자들은 제4형 척수 동정맥 기형 환자에 대해서 비교적 효과적인 단일 방사선 조사(20Gy)를 통해서 환자의 방사선수술 전에 호소하던 동정맥 선트로 인한 혈관성 허혈에 따른 증상을 호전시킬 수 있었으며 장기추적 관찰중이다(Figure 2). 효과적인 치료용량의 방사선이 선택되어지기 위해서는 환자의 선택과 방사선 조사에 있어서 효과적인 방사선량 및 분할 정도(dose-fraction size) 방법 결정이 치료 결과에 매우 중요하며 이에 대해서는 보다 많은 연구가 요구된다.

### 참고문헌

1. Rock JP, Ryu S, Yin FF, Schreiber F, Abdulhak M. The evolving role of stereotactic radiosurgery and stereotactic radiation therapy for patients with spine tumors. *J Neurooncol* 2004; 69: 319-334.
2. Benzil DL, Saboori M, Mogilner AY, Rochhio R, Moorthy CR. Safety and efficacy of stereotactic radiosurgery for tumors of the spine. *J Neurosurg* 2004; 101: 413-418.
3. De Salles AA, Pedroso AG, Medin P, Agazaryan N, Solberg T, Cabatan-Awang C, Espinosa DM, Ford J, Selch MT. Spinal lesions treated with Novalis shaped beam intensity-modulated radiosurgery and stereotactic radiotherapy. *J Neurosurg* 2004; 101: 435-440.
4. Sohn MJ, Lee DJ, Lee HR, Whang CJ. Strategy of spinal Radiosurgery for metastatic spine tumors: curative vs. palliative treatment. *J of the Kor Soc of Ster and Func Neurosurg* 2007; 3: 1-8.
5. Sheehan J, Kondziolka D, Flickinger J, Lunsford LD. Radiosurgery for patients with recurrent small cell lung carcinoma metastatic to the brain: outcomes and prognostic factors. *J Neurosurg* 2005; 102(S): 247-254.
6. Sheehan JP, Sun MH, Kondziolka D, Flickinger J, Lunsford LD. Radiosurgery in patients with renal cell carcinoma metastasis to the brain: long-term outcomes and prognostic factors influencing survival and local tumor control. *J Neurosurg* 2003; 98: 342-349.
7. Singh K, Samartzis D, Vaccaro AR, Andersson GBJ, An HS, Heller JG. Current concepts in the management of metastatic spinal disease: The role of minimally-invasive approaches. *J Bone Joint Surg Br* 2006; 88: 434-442.
8. Sohn MJ, Lee DJ, Lee HR, Hwang YJ, Ryoo JY, Jeon SR, Lee HY, Lee SH, Whang CJ. The application of stereotactic spinal radiosurgery for spinal tumors using Novalis shaped beam radiosurgical unit. *J of the Kor Soc of Ster and Func Neurosurg* 2006; 2: 68-74.
9. Takacs I, Hamilton AJ. Spinal stereotactic radiosurgery. In: Dickman CA, Fehlings MG, Gokaslan ZL, ed. *Spinal cord and spinal column tumors: principles and practice*. New York: Thieme, 2006: 230-242.
10. Murphy MJ, Cox RS. The accuracy of dose localization for an image-guided frameless Radiosurgery system. *Med Phys* 1996; 23: 2043-2049.
11. Yu C, Main W, Taylor D, Kuduvalli G, Apuzzo MLJ, Adler JR, Wang MY. An anthropomorphic phantom study of the accuracy of Cyberknife spinal radiosurgery. *Neurosurgery* 2004; 55: 1138-1149.
12. Yin FF, Ryu S, Ajlouni M, Yan H, Jin JY, Lee SW, Kim JK, Rock J, Rosenblum M, Kim JH. Image-guided procedures for intensity-modulated spinal radiosurgery. *J Neurosurg* 2004; 101: 419-424.
13. Adler JR, Colombo F, Heiblum MP, Winston K. Toward an expanded view of radisurgey. *Neurosurgery* 2004; 55: 1374-1376.
14. Gabriel EM, Nashold BS. History of spinal cord stereotaxy. *J Neurosurg* 1996; 85: 725-731.
15. Nolte LP, Zmorano LJ, Jian Z, Whang Q, Lanqlotz F, Berlemann U. Image-guided insertion of transpedicular screws. *Spine* 1995; 20: 497-500.
16. Hamilton AJ, Lulu BA, Fosmir H, Stea B, Cassady JR. Preliminary clinical experience with linear accelerator-based spinal stereotactic Radiosurgery Technique and application. *Neurosurgery* 1995; 36: 311-319.
17. Hamilton AJ, Lulu BA, Fosmir H, Stea B, Cassady JR. LINAC-based spinal stereotactic Radiosurgery. *Stereotactic Funct Neurosurg* 1996; 66: 1-9.
18. Finn MA, Vrionis FD, Schmidt MH. Spinal Radiosurgery for metastatic disease of the spine. *Cancer control* 2007; 14: 405-411.
19. Rock JP, Ryu S, Yin FF. Novalis rdiosurgery for metastatic spine tumors. *Neurosurg Clin N Am* 2004; 15: 503-509.
20. Gerszten PC, Germanwala A, Burton SA, Welch WC, Ozhasoglu C, Vogel WJ. Stereotactic radiosurgery for spinal metastases from renal cell carcinoma. *J Neurosurg Spine* 2005; 3: 288-295.
21. Gerszten PC, Burton SA, Ozhasoglu C, Welch WC. Radiosurgery for spinal metastases. *Spine* 2007; 32: 193-199.
22. Lunsford LD, Kondziolka D, Flickinger JC. Acoustic neuroma management: Evolution and revolution, In Kondziolka D, ed. *Radiosurgery*. vol 2. Basel: Karger, 1998: 1-7.
23. Konziolka D, Levy EI, Niranjan A, Flickinger JC, Lunsford LD. Long-term outcomes after meningioma Radiosurgery: Physician and patient perspectives. *J Neurosurg* 1999; 91: 44-50.
24. Dodd RL, Ryu MR, Kamnerdsupaphon P, Gibbs, IC, Chang SD, Adler JR. Cyberknife Radiosurgery for benign intradural extramedullary spinal tumors. *Neurosurgery* 2006; 58: 674-685.
25. Sinclair J, Chang SD, Gibbs IC, Adler JR. Multisession Cyberknife Radiosurgery for intramedullary spinal cord arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 2006; 58: 1081-1089.



## Peer Reviewer Commentary

### 권도훈 (울산의대 신경외과)

본 논문은 척추에 생긴 전이성 암, 양성 종양, 동맥기형 등의 치료에 방사선수술이 도입되는 데 대한 역사와 치료방법에 대해 기술하였으며, 그에 따른 문헌 고찰을 하였다. 필자들이 기술한 대로 척추종양에 대한 방사선수술의 제한점인 병변의 표적화와 국재화가 최근 기기의 발달로 해소되면서 향후 이들 질환에 대한 치료가 확대될 전망이며, 필자들의 초창기 경험이 앞으로 이를 시작하는 병원에 많은 도움을 줄 것으로 기대된다. 그러나 전이성 척추암에 대한 방사선수술이 삶의 질 향상에 도움을 주지만 여명을 늘이기 위해서는 전신암에 대한 치료가 선행되어야 하므로 다양한 항암제 및 외과적 수술 등의 병행치료가 필요한 바, 타 과와의 긴밀한 협진체제가 필요하다. 그리고 양성 종양이나 척추혈관기형 환자의 방사선수술은 합병증 발생을 최소화하는데 많은 노력이 필요하다. 합병증 발생을 줄이기 위해서는 병변의 표적화와 국재화에 따른 정확도가 향상되어야 하며, 치료시에 표적의 고정화가 지속되어야 하고 아직까지 임상경험이 많지 않지만 척수에 조사된 효과적이고 안전한 방사선량을 바탕으로 하여 더욱 장기간의 추적검사가 필요하다.

### 변박장 (순천향의대 신경외과)

본 논문은 최근 방사선수술 방법의 급속한 발전과 함께 최근에 빠르게 정립되어가고 있는 척추 질환에 대한 정위 방사선수술의 임상 적용과 최신 지견을 문헌 고찰과 함께 기술한 논문이다. 척추 방사선수술은 척추 종양 및 척추 혈관 질환의 치료에 중요한 비침습적 수술방법으로 자리매김하고 있다. 비록 아직도 척수로의 적절한 허용 방사선량의 결정과 최적의 방사선량-분할 방법의 선택 등에 대한 해결해야 할 과제가 남아있기는 하나 이 분야는 신경외과 영역과 외과 종양학 분야에서 놀라운 속도로 그 임상 영역이 확대, 발전되고 있다. 필자들은 최근 적용 가능한 척추 방사선수술의 임상적 적용범위와 결과에 대해서 잘 기술하고 있다. 신경계 전이성 종양에 대한 국소 완치를 성취하는 것이 전신 암 환자의 삶의 질과 생존율을 향상시키는 데 도움이 된다고 사료되며 보다 장기적인 임상 결과가 기대된다.

