

뇌질환에 대한 방사선수술

Radiosurgery for Intracranial Disorders

양 승 엽 | 동국대의대 신경외과 | Seung-Yeob Yang, MD

Department of Neurosurgery, Dongguk University International Hospital

E-mail : soundofmusic@duih.org

김 동 규 · 정 현 태 | 서울의대 신경외과 | Dong Gyu Kim, MD · Hyun-Tai Chung, PhD

Department of Neurosurgery, Seoul National University College of Medicine

E-mail : gknife@plaza.snu.ac.kr · htchung@korea.com

J Korean Med Assoc 2008; 51(1): 27 - 37

Abstract

Stereotactic radiosurgery offers a broad spectrum armamentarium for the safe treatment of various lesions within the central nervous system. Radiosurgery uses stereotactic targeting methods to precisely deliver highly focused, large doses of radiation to small intracranial tumors and arteriovenous malformations (AVMs). It is widely used for the treatment of metastatic brain tumors, non-resectable tumors, residual or recurrent benign and malignant tumors as well as for the treatment of AVMs, functional diseases, and pain disorders. Although radiosurgery has the potential to produce complications, the majority of patients experience clinical improvement with less morbidity and mortality than those occur in surgical resection.

Keywords : Radiosurgery; Cerebral arteriovenous malformation; Meningioma; Vestibular schwannoma; Brain metastasis; Trigeminal neuralgia

핵심용어 : 방사선수술; 뇌동정맥기형; 뇌수막종; 청신경 초종; 전이성 뇌종양; 삼차신경통

서론

방사선수술은 1967년 스웨덴의 신경외과 의사인 Lars Leksell 교수가 감마나이프를 이용하여 최초로 두개 인두종 환자를 치료한 이후 지난 40년간 많은 발전을 거치면서 뇌질환의 치료에 있어서 없어서는 안되는 중요한 치료 방법 중에 하나가 되었다(1). 최근 뇌신경 관련 영상 분야 및 컴퓨터 관련 기술의 발달로 방사선수술의 목표가 되는 뇌병변의 3차원적인 형상을 더욱 정확히 파악할 수 있게 되어 정상 뇌조직에 조사되는 방사선량을 최소화하면서 뇌병

변에 대해서는 고용량의 방사선을 조사할 수 있게 되어 방사선수술의 임상적용 분야는 폭 넓게 확대되어가고 있다. 여기에서는 최근 임상에서 환자 치료에 있어 방사선수술이 중요한 역할을 차지하고 있는 대표적인 질환을 중심으로 최신 지견에 관하여 약술하고자 한다.

뇌동정맥기형

뇌동정맥기형에 대한 방사선수술은 1970년 Steiner와 Backlund가 최초로 시도한 이후 효과적이고 비침습적이며

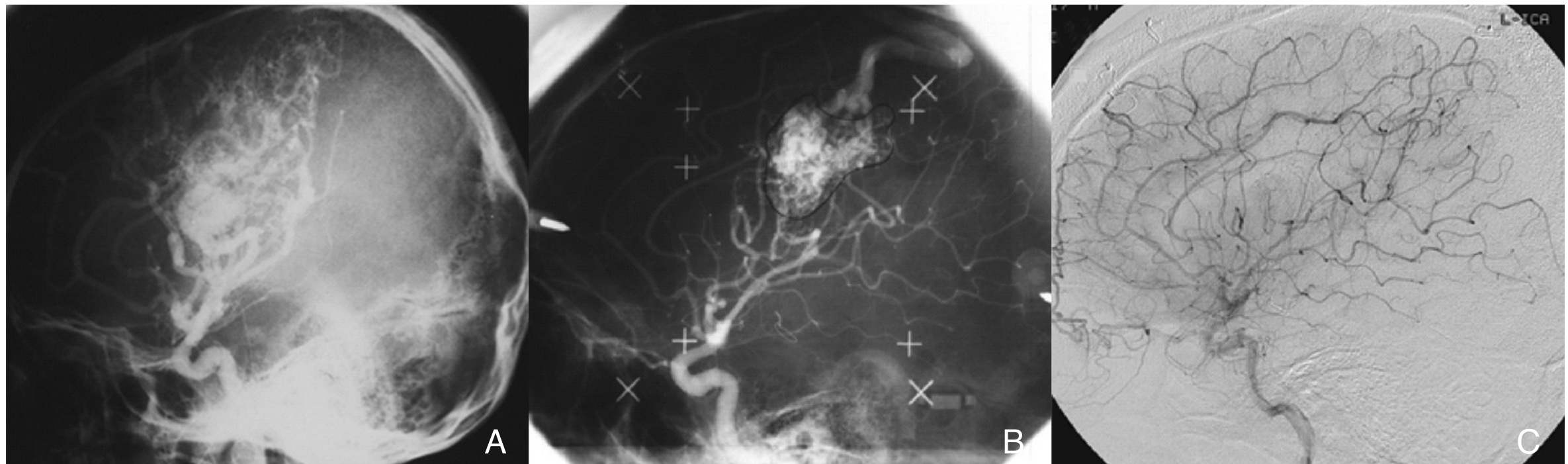
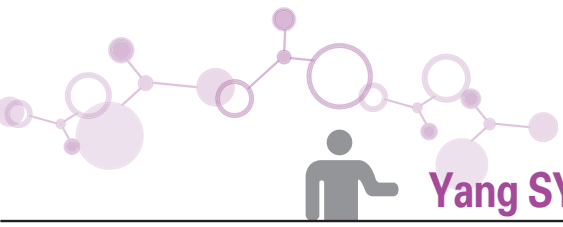


Figure 1. Cerebral arteriovenous malformation.

- A) Initial and follow-up angiograms of a 30-year-old man who presented with headache and right hemiparesis as a result of an intracerebral haemorrhage. Angiogram at the time of initial gamma knife radiosurgery (GKS). The nidus volume was 29ml, and the marginal dose to the AVM was 12Gy.
- B) Angiogram 37 months later at the second GKS (AVM volume, 9.8ml; marginal dose, 17Gy). Note partial obliteration in the AVM during the interval.
- C) Angiogram obtained 35 months after the second GKS revealing complete obliteration of the AVM.

안전한 방법으로 알려져 최근 널리 사용되고 있는 중요한 치료 방법이 되었다(2, 3). 뇌동정맥기형의 방사선수술의 목표는 출혈의 위험을 없애거나 감소시키면서 새로운 신경학적 장애 없이 뇌동정맥기형을 완전히 소실시키는 데 있다.

방사선수술을 위한 동정맥기형의 이상적인 형태는 직경 3cm 이하면서 compact한 경우로, 특히 수술로 제거가 어려운 뇌심부나 중요기능 구역 eloquent area에 위치한 경우 방사선수술의 좋은 적응증이 될 수 있다. 방사선수술은 동정맥기형의 nidus를 구성하고 있는 작은 혈관들의 벽에 손상을 주어 intimal hyperplasia가 발생하게 하여 smooth muscle-cell의 증식과 extracellular collagen의 합성을 유도하여 궁극적으로 동정맥기형을 구성하고 있는 이상 혈관의 con-centric narrowing을 일으켜서 폐색시킨다(4). 이러한 과정은 보통 1~3년이 걸리며 동정맥기형이 폐색되어 감에 따라 점차적으로 feeding artery와 draining vein도 퇴화되는 것으로 알려져 있으며, 지금까지 보고된 바에 의하면 MRI와 뇌혈관 조영술을 통하여 확인된 방사선수술 2~3년 경과 후 소실률은 65~87%로 알려져 있으나 완전 소실될 때까지는 어느 정도 출혈 위험이 존재한다는 제한점이 있다(5). 그러나 최근 연구 결과에 의하면 방사선수술을 받은 경우 그렇지 않은 경우보다 출혈 위험성이 감소될 수 있다는 보고도 있다(6).

동정맥기형의 크기는 치료 방법의 선택 및 결과에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 3cm 이하의 작은 동정맥기형 치료에 있어서 방사선수술은 매우 효과적이며 안전하여 미세수술의 대체치료로써 이미 확립된 방법으로 알려져 왔다. 그러나 일반적으로 크기가 3cm 이상이거나 부피가 14cc 이상인 경우에는 미세수술이나 방사선수술 모두 부피가 작은 경우보다 낮은 치료 성적을 가져왔으며 적절치 않은 대상에서의 불완전한 치료는 오히려 자연 경과보다도 나쁜 결과를 가져올 수 있어 치료에 어려움이 있었다. 방사선수술의 결과에 영향을 주는 중요한 두 가지 요인으로 부피와 주변부 방사선 선량을 들 수 있다(7). 이 두 가지 요인은 상호 의존적인 관계를 가지고 있어 부피가 클 경우 만족할 만한 치료 효과를 얻기 위해 주변부 방사선 선량을 결정할 경우 그에 상응하여 방사선 괴사 등의 합병증도 증가되므로 낮은 선량으로 치료할 수 밖에 없었다. 그러나 최근 큰 동정맥기형에 대하여 시도되고 있는 방법 중에 먼저 합병증을 줄이기 위하여 낮은 방사선량을 이용하여 치료를 하고 일정 기간(보통 3년)이 경과된 후 남은 동정맥기형에 대하여 보다 높은 방사선량으로 반복 치료를 함으로써 만족할 만한 치료 결과를 얻었다는 보고가 나오고 있으며 본 교실의 연구 결과에서도 비슷한 결과를 얻을 수 있었다 (Figure 1)(8, 9).

아직까지 동정맥기형의 방사선수술에 있어서 해결되지

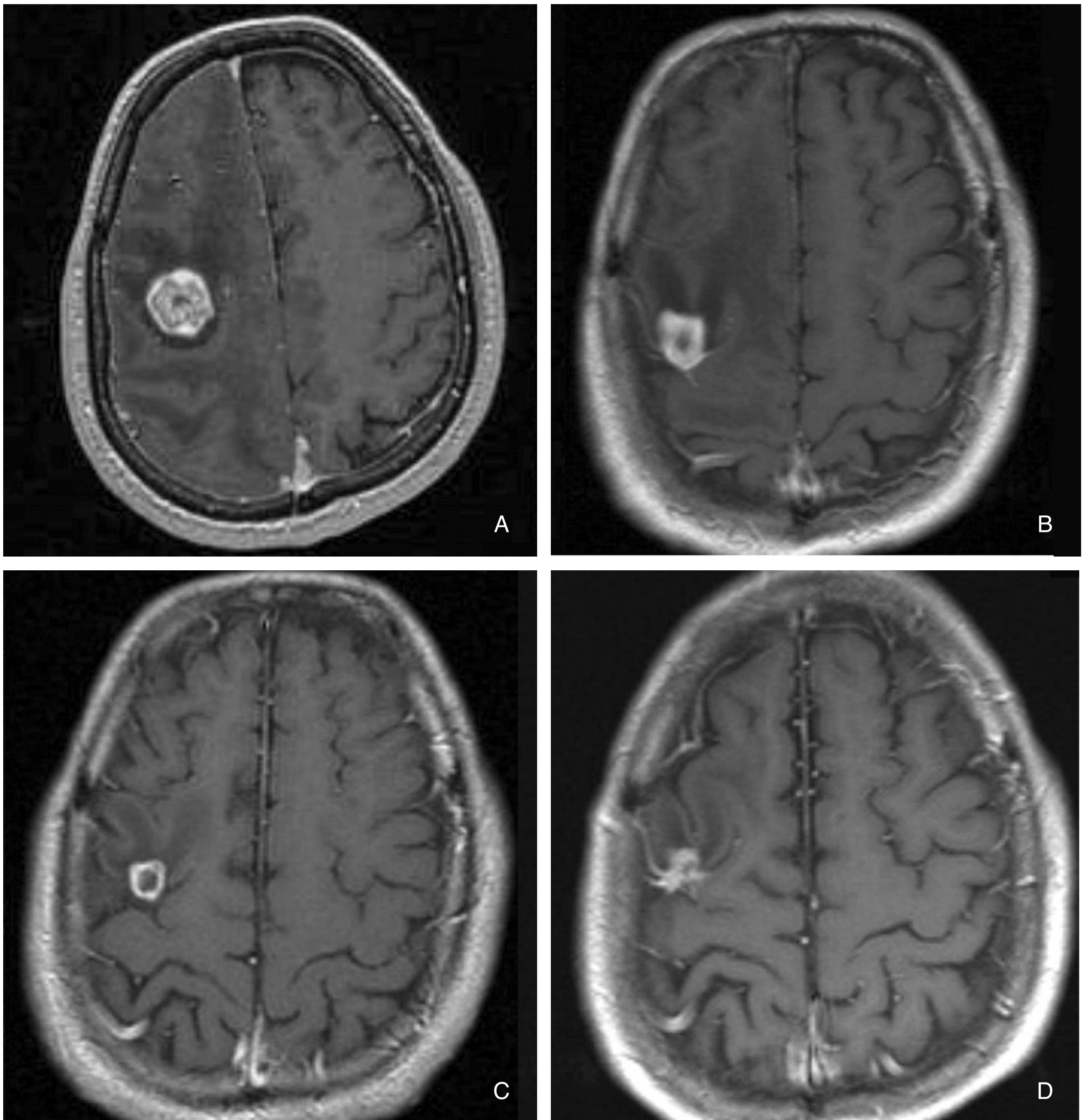


Figure 2. Brain metastasis.

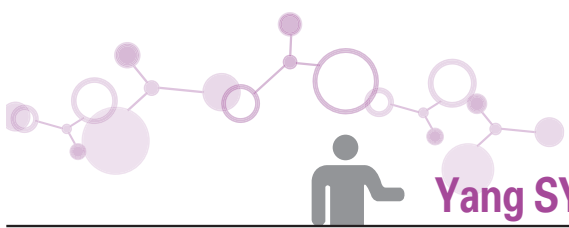
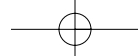
Magnetic resonance images of brain metastasis of renal cell carcinoma before (A) and after gamma knife radiosurgery (GKS) (B~D).

A) The axial contrast-enhanced image depicts a renal cell carcinoma brain metastasis prior to GKS (tumor volume, 7.3ml; marginal dose, 15Gy).

B) Similar axial contrast-enhanced view of this region obtained 3 months following GKS is illustrated. A marked decrease in tumor size is observed (tumor volume, 2.6ml).

C) 18-month post-GKS MR image (tumor volume, 0.6ml).

D) 30-month post-GKS MR image (tumor volume, 0.5ml).



많은 문제점인 출혈 위험에 제거되기까지는 상당한 시간이 필요하다는 것과 크기가 큰 경우 치료에 제한이 따른다는 점이 있지만 작은 크기의 중요 기능 구역 eloquent area, 심부에 위치한 경우 등에 있어서는 방사선수술은 안전하고 효과적인 치료법이다.

전이성 뇌종양

과거 전이성 뇌종양에 대한 표준 치료는 whole brain radiation therapy (WBRT)였으나 1989년 Lindquist가 최초로 hypernephroma에 의한 전이성 뇌종양 환자를 치료한 이후 현재는 방사선수술이 1차 치료 혹은 WBRT 후 booster 치료로 사용되고 있다(10). 방사선수술이 전이성 뇌종양에 대한 1차 치료로 적합한 이유는 전이성 뇌종양 자체가 방사선수술에 매우 적합한 형태이기 때문이다. 즉 전이성 뇌종양은 보통 구 형태이며 크기가 작고 주변 뇌를 침윤하지 않으며 뇌영상 검사 등에서 뚜렷한 경계를 보여 방사선수술의 방사선량 분포를 설명하는 steep dose fall-off 현상에 매우 적합한 형태이다(11). 또한 한번에 높은 방사선량을 이용하여 치료를 하므로 종양 조절률이 WBRT보다 높아 높은 생존율을 기대할 수 있으며 WBRT에 잘 반응하지 않는다고 알려진 melanoma, renal cell carcinoma나 colorectal cancer에 대해서도 높은 치료율을 보고하고 있다(Figure 2)(11).

한 연구 결과를 예로 들면 Recursive Partitioning Analysis class I의 경우 WBRT를 받은 그룹과 방사선수술을 받은 그룹을 비교하였을 때, 5개월 대 25개월로 방사선수술을 받은 그룹의 생존 기간이 월등하게 좋았으며 class II의 경우도 4개월 대 6개월로 높은 생존 기간을 보였다(12). 그러나 그동안의 보고를 종합해보면 85% 이상의 높은 종양 조절률을 보이고 있으나 이러한 성적이 생존율 향상으로 이어지지는 못했다(11, 13). 방사선수술이 생존 기간을 연장시키지는 않지만 quality of life를 좋게한다는 보고가 많다. 한 연구 결과에 의하면 전이성 뇌종양 환자의 80%가 원발 부위나 다른 부위의 전신 전이 때문에 사망하는 것으로 보고되었다(14). 과거 폐암 환자에서 전이성 뇌종양이 있을 때 폐암 및 전이성 뇌종양을 모두 수술할 경우 생존 기간을

증가시킨다는 보고가 있었다(15, 16). 최근 본 교실의 연구 결과에 의하면 동시에 발견된 폐암에 의한 전이성 뇌종양 환자에서 일부 제한된 경우이기는 하지만 폐암을 수술로 제거하고 전이성 뇌종양에 대해서는 감마나이프 방사선수술로 치료를 할 경우 폐암 수술은 받지 않고 방사선수술만 받은 군에 비하여 높은 생존 기간(평균 64.9 개월 대 18.1 개월)을 보였다(17).

전이성 뇌종양은 그 특성상 방사선수술에 적합하여 방사선수술로 안전하며 효과적으로 치료를 할 수가 있어 방사선수술이 전이성 뇌종양 환자에 대한 초기 치료로 반드시 고려되어야 한다.

청신경 초종

비교적 흔한 양성 종양으로 원발성 두개강내 종양의 약 6~9%를 차지하며 소뇌교각부 종양의 85~92%를 이루고 있다. 환자가 호소하는 초기 증상으로는 서서히 진행되는 청력 감소, 이명, 현훈 등인데 반 수 이상의 환자가 이러한 증상을 단순 노화 현상으로 생각하여 병원을 늦게 찾는 경우가 많다. 종양이 커지면서 얼굴이나 혀의 감각 저하, 두통, 복시, 보행 장애, 연하 곤란 등의 증상을 보이게 된다.

청신경 초종의 치료 방법의 선택에 있어서는 아직까지 논란의 여지가 있으나 가능한 치료 방법으로는 관찰, 방사선수술, 미세수술, 방사선수술과 미세수술의 병합요법 등이 있다.

관찰의 경우, 그동안의 연구를 보면 진단 당시 크기가 평균 9.8~12.2mm인 종양에 있어서 연평균 성장률은 0.72~1.6mm/year였으며 궁극적으로 미세수술이나 방사선수술이 필요했던 경우는 15~24%였다(18~20). 그러나 65세 이상의 환자 70명에 대하여 평균 4.8년간 관찰한 결과 치료가 필요했던 환자는 4명이었다(21). 이렇듯 관찰은 일부 고령이나 전신 상태가 매우 좋지 않은 환자의 경우 고려해 볼 수 있는 선택 중에 한가지이다.

미세수술은 오랜 치료 경험과 완전 제거 후 보이는 낮은 재발률 등으로 그동안 gold standard로 자리잡아 왔으나 완전 제거가 어려우며 미세수술과 관련된 morbidity나 mortality 및 learning curve가 비교적 길다는 점에서 최근

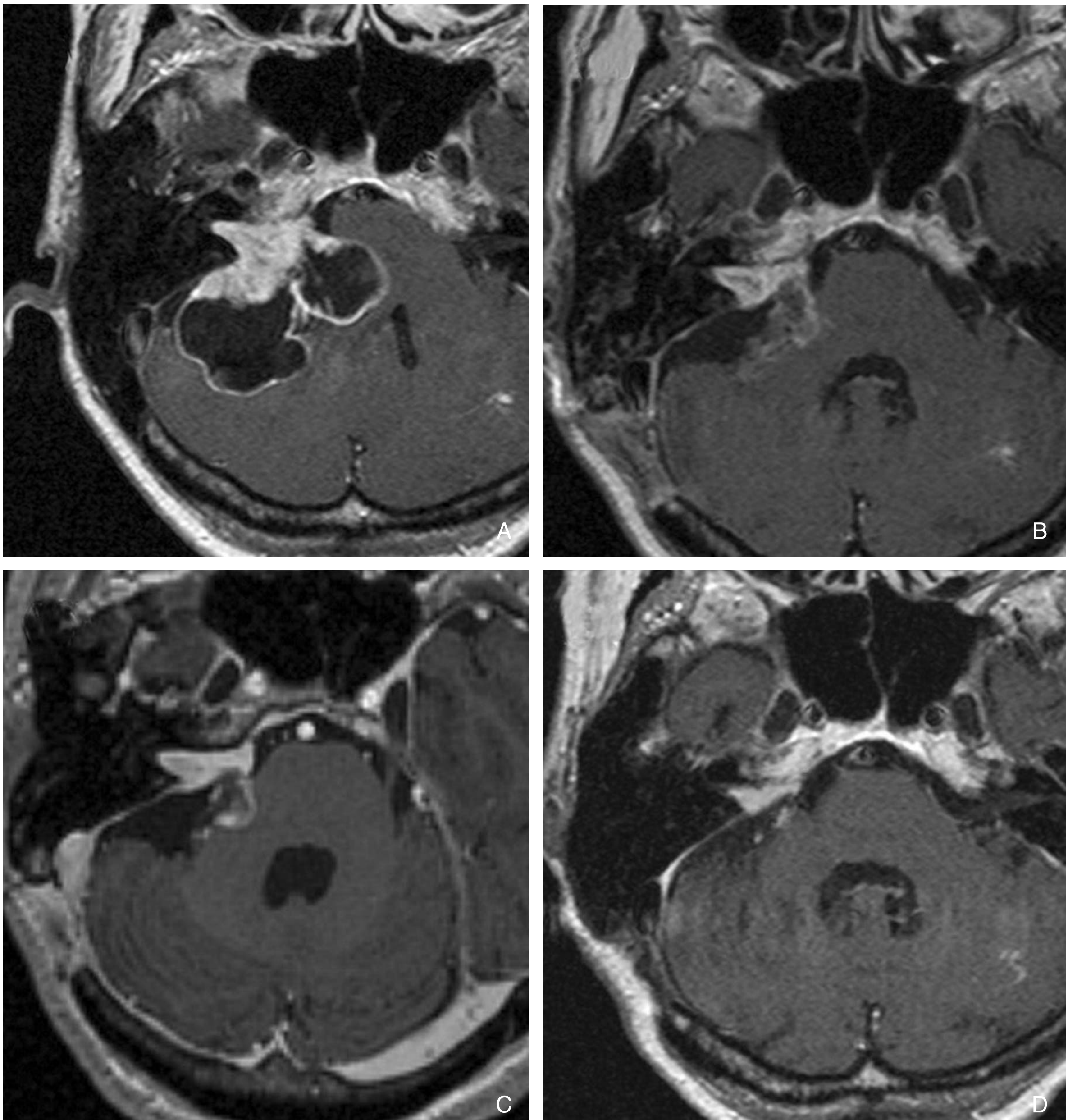
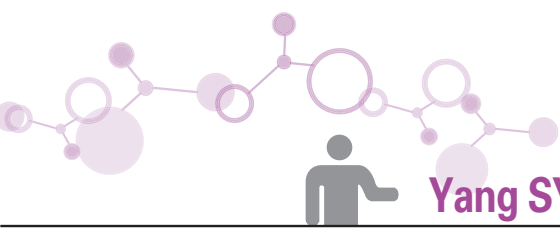


Figure 3. Vestibular schwannoma.

- A) Axial T1-weighted contrast-enhanced MR-images of a 48-year-old-female with right-sided large cystic vestibular schwannoma (VS).
- B) The residual tumor after subtotal removal via the retrosigmoid approach without any neurological deterioration.
- C) Three months after operation, the tumor shape became suitable for GKS. Imaging revealed a VS with a 1.8-ml volume in right cerebellopontine angle. The tumor was treated with a marginal dose of 13Gy at 50% isodose level.
- D) Five years after GKS, MR images showing decrease of tumor in size and the patient in good health with no new neurologic deficits.



종양의 크기가 크거나 (>3cm) 다른 치료 방법이 실패한 경우로 그 적응증이 점차 줄어들고 있는 추세다(22, 23).

방사선수술은 크기가 3cm 이상 혹은 낭종형이거나 수술에 의한 응급 감압술이 필요한 경우를 제외하고는 높은 국소 종양 조절률 및 기능 보존을 보이고 있다. 국소 종양 조절률의 경우 92~98%, 안면 신경 기능의 보존(House Brackmann Grade I 혹은 II facial function)은 95% 이상, 청력 보존(Gardner Class I 혹은 II)은 24~83%로 보고하고 있다(24~31). 또한 본 교실의 연구 결과에 의하면 치료 전 청력을 가지고 있던 25명의 환자가 감마나이프 방사선수술을 받은 후 일부 청력 저하가 있었지만 52%에서 청력 보존(Gardner Robertson Class I 혹은 II)을 보였으며 이전 청력을 그대로 유지하는 경우도 36%를 보였다(24). 크기가 큰 종양은 완전 제거를 시도할 경우 안면 마비 및 섭식 장애 등의 morbidity가 증가되어 완전 제거가 어려워 최근 미세수술과 방사선수술의 장점을 동시에 살릴 수 있는 병합 요법이 시도되고 있다. 이는 미세수술로 기능 보존을 하면서 방사선수술에 적합한 크기까지 종양을 제거한 후 남은 종양에 대하여 방사선수술을 추가로 함으로써 종양 조절 및 기능 보존 모두를 얻을 수 있는 치료법이다(32, 33). 낭종(cystic) 형태의 청신경 초종의 경우 미세수술로 완전 제거가 고형(solid)인 경우보다 어려워 미세수술시 morbidity가 더 높은 것으로 알려져 왔다. 더욱이 청신경초종에 동반된 낭종은 방사선수술 후 오히려 낭종이 커지는 경향이 있어 방사선수술의 적응증으로는 어려움이 있었다. 그러나 최근 본 교실의 연구 결과에 의하면 미세수술로 낭종 부위를 제거하고 남은 고형 부위에 대하여 감마나이프 방사선수술을 했을 때 고형 종양보다 낭종형 종양이 치료 성적이 좋았음을 알 수 있어 낭종 형태의 청신경 초종의 경우도 완전 제거를 선택하는 것보다는 미세수술과 방사선수술의 병합 요법으로 치료 하는 것도 고려해 볼만한 치료 방법이라고 본다(Figure 3)(34).

뇌수막종

뇌수막종은 성인 두개강내 종양의 15% 정도를 차지하는

흔한 종양으로 미세수술에 의한 완전 제거가 가장 좋은 치료 방법으로 알려져 왔다. 그러나 종양의 발생 부위가 두개저(skullbase) 혹은 정맥동(venous sinus)에 생긴 경우 제거 자체가 쉽거나 안전하지 않은 않았다. 그동안의 치료 경험을 통해서 방사선수술이 직경 3cm 이하의 뇌수막종에 매우 효과적이며 안전한 치료 방법이라는 것을 알 수 있었다. 이 외에도 방사선수술은 뇌수막종이 해면정맥동(cavernous sinus)이나 추체경사대(petroclivus)처럼 수술적 접근이 어려운 부위에 생겼거나 수술로 완전 제거가 어려운 부위인 시상동 주위(Parasagittal), 헤로필루스동(torcular herophili), 천막주위(tentorial) 등에 생겨 수술 후 잔여 종양이 생긴 경우 및 재발된 경우 등에 좋은 치료 방법일 수 있으며 방사선수술 후 주요 동맥이나 정맥이 막히는 경우가 매우 드물어 주요 혈관이 종양에 파묻혀 있어 미세수술시 합병증이 높을 것으로 예견되는 환자 및 내과적 질환 등으로 수술 고위험군에 해당되는 경우에도 좋은 치료 방법으로 이용될 수 있다(35~37). 지금까지 발표된 보고를 종합해 볼 때 5년 종양 조절률은 89~93%였으며 방사선수술과 연관된 morbidity나 mortality도 매우 낮다(35~37). 최근 뇌수막종을 양성, 비정형, 악성으로 나누어 964명의 뇌수막종 환자를 대상으로 진행된 연구를 보면 양성 수막종의 경우 10년 종양 조절률이 93%, 비정형 및 악성의 경우 5년 조절률이 각각 83% 및 72%로 보고하고 있다(35). 이러한 결과는 Simpson grade I(종양 및 dural attachment까지 완전 제거된 경우)으로 제거했을 경우 보이는 9%의 재발률과 비교했을 때 거의 차이가 없음을 알 수 있다(38).

두개저에서 발생한 뇌수막종의 경우 특히 주요 혈관이나 뇌신경이 종양내 파묻혀 있는 경우가 많아 수술이 매우 까다롭다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 대표적인 경우가 해면정맥동에서 생긴 뇌수막종(cavernous sinus meningioma)으로 수술로 완전 제거도 어려우며 완전 제거를 시도할 경우 수술 후 뇌신경 손상 등이 높은 것으로 알려져 왔다(39, 40). 방사선수술의 경우 감마나이프를 이용하여 159명의 환자를 치료한 결과를 보면 만족할 만한 종양 억제율을 보이면서도 단지 5명의 환자가 삼차신경에 이상 증상을 호소하였을 뿐 동안신경, 활차신경, 외전신경에 이상은 관

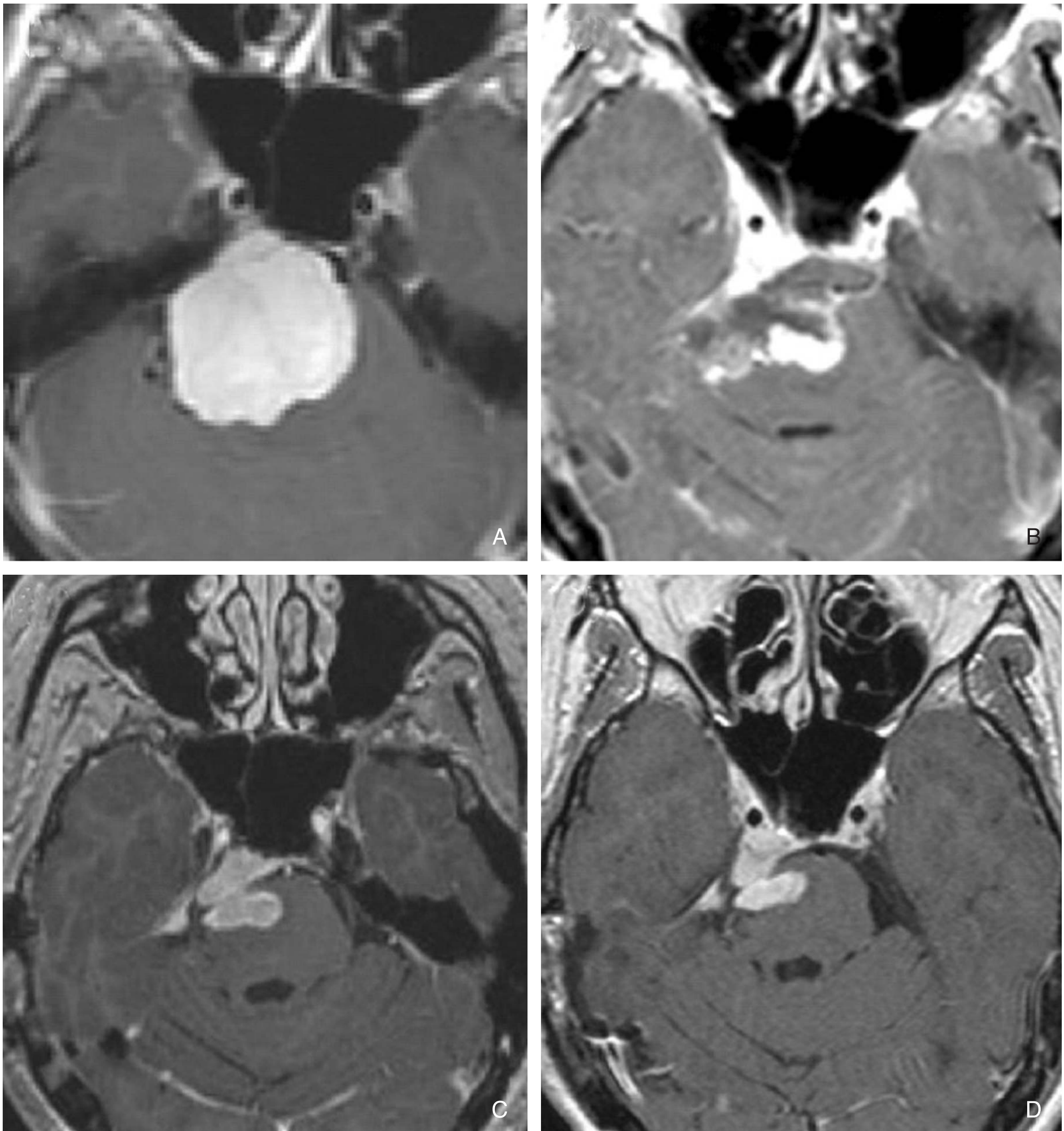


Figure 4. Petroclival meningioma.

- A) Serial contrast-enhanced T1-weighted MR images obtained in a 53-year-old woman with petroclival meningioma. The tumor has wide dural attachment at the clivus and compresses the ventral brainstem.
- B) MR images after subtotal resection.
- C, D) Five months after operation, the tumor shape became suitable for GKS. GKS was performed on the residual tumor (tumor volume, 4.8ml; marginal dose, 15Gy), resulting in a reduction in size 40 months post-GKS (tumor volume, 3.6ml) and the patient in good health with no new neurologic deficits.

Table 1. Summary of radiosurgery results for trigeminal neuralgia

Author	No. of pts	Dose (Gy)	Initial pain relief(%)	Recurrence(%)	Numbness(%)	Follow-up (mo)
Kondziolka (46)	50	60~90	94	6	6	18
Young (47)	110	70~80	95.5	34	2.7	19.8
Rogers (48)	54	70~80	96	21	14	12
Nicol (49)	42	90	95.2	4.8	16.7	14
Pollock (50)	68	70	86	26	15	14.4
		90	93	15	54	
Maesawa (51)	220	60~90	82.3	13.6	10.2	24
Petit (52)	112	70~80	77	29	7.3	30

찰되지 않았다(41). 또한 해면정맥동 뇌수막종의 크기가 커서 방사선수술 단독 요법으로 치료가 어려울 경우 미세수술과 방사선수술의 병합 요법으로 매우 효과적인 치료를 하였다고 보고된 바 있다(42). 최근 본 교실에서 보고한 연구 결과에 의하면 추체경사대 뇌수막종(petroclival meningioma)의 경우도 종양의 크기가 큰 경우 완전 제거시 높은 합병증이 예상되지만 방사선수술 단독 요법으로는 치료가 어려웠던 경우 미세수술과 방사선수술을 병합하여 치료함으로써 만족할 만한 치료 성과를 얻을 수 있었다(Figure 4)(43).

이렇듯 방사선수술은 뇌수막종에 있어 매력적이며 안전하고 효과적인 치료 방법으로 단독으로 사용하거나 필요시 다른 치료와 병합 사용함으로써 환자를 매우 효과적으로 치료할 수 있는 방법임을 알 수 있다.

삼차신경통

삼차신경통은 그리스 신화에도 기술되어 있을 만큼 오랜 세월 동안 인류를 괴롭혀온 질환이지만 아직까지 완벽한 치료법은 알려져 있지 않다. 항경련제가 삼차신경통에 대한 일차 치료로 알려져 있지만 약 25%의 환자는 치료에 효과가 없는 것으로 알려져 있으며 효과가 있는 상당수 환자들도 시간이 지남에 따라 약제 부작용 등으로 복용이 어려운 것으로 알려져 있다(44, 45). 약물 치료에 반응을 보이지 않는 환자의 경우 미세 신경 감압술(microvascular decompression)이 가장 좋은 치료로 알려져 있지만 방사선수술은 Lars Leksell에 의해 처음 시도된 이후, 과거 다른 치료에 실패했거나 전신 상태가 좋지 못하여 마취에 어려움이 있는

환자를 대상으로 치료에 이용되어 만족할 만한 효과를 보이고 있다(Table 1).

최근의 치료 흐름이 최소 침습 방법을 추구하고 있어 비 침습적인 방사선수술은 매우 매력적인 치료법으로 각광을 받고 있다. 또한 최근 방사선수술을 1차 치료로 선택한 환자가 다른 치료 실패 후 방사선수술을 받은 경우보다 좋은 치료 성적을 보였다는 보고도 있다(53). 이러한 결과를 종합해 볼 때 다른 치료에 반응하지 않는 삼차신경통에 있어서 방사선수술이란 치료 방법은 효과적이며 안전한 방법이라 할 수 있다.

참고문헌

1. Hassan ZU, Fahy BG. Anesthetic choices in surgery. Surg Clin North Am 2005; 85: 1075-1089.

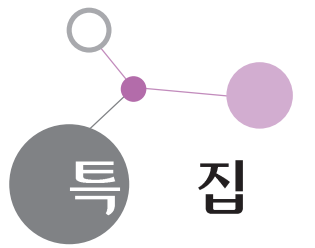
2. Steiner L, Leksell L, Forster DM, Greitz T, Backlund EO. Stereotactic radiosurgery in intracranial arterio-venous malformations. Acta Neurochir (Wien) 1974; 21(S): 195-209.

3. Marhofer P, Chan VW. Ultrasound-guided regional anesthesia: current concepts and future trends. Anesth Analg 2007; 104: 1265-1269.

4. Szeifert GT, Timperley WR, Forster DM, Kemeny AA. Histopathological changes in cerebral arteriovenous malformations following Gamma Knife radiosurgery. Progress in neurological surgery 2007; 20: 212-219.

5. Szeifert GT, Major O, Fazekas I, Nagy Z. Effects of radiation on cerebral vasculature: a review. Neurosurgery 2001; 48: 452-453.

6. Maruyama K, Kawahara N, Shin M, Tago M, Kishimoto J, Kurita H, Kawamoto S, Morita A, Kirino T. The risk of hemorrhage after radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations. The New England journal of medicine 2005; 352:



- 146-153.
7. Kemeny AA, Radatz MW, Rowe JG, Walton L, Vaughan P. Gamma Knife treatment for cerebral arteriovenous malformations. *Progress in neurological surgery* 2007; 20: 206-211.
8. Karlsson B, Jokura H, Yamamoto M, Soderman M, Lax I. Is repeated radiosurgery an alternative to staged radiosurgery for very large brain arteriovenous malformations? *Journal of neurosurgery* 2007; 107: 740-744.
9. Yang SY, Kim DG, Chung HT, Paek SH, Park JH, Han DH. Radiosurgery for Large Cerebral Arteriovenous Malformations. *Acta Neurochir* 2007 (in press).
10. Lindquist C. Gamma knife surgery for recurrent solitary metastasis of a cerebral hypernephroma: case report. *Neurosurgery* 1989; 25: 802-804.
11. McDermott MW, Sneed PK. Radiosurgery in metastatic brain cancer. *Neurosurgery* 2005; 57(S): S45-S53; discussion S1-4.
12. Kocher M, Maarouf M, Bendel M, Voges J, Muller RP, Sturm V. Linac radiosurgery versus whole brain radiotherapy for brain metastases. A survival comparison based on the RTOG recursive partitioning analysis. *Strahlenther Onkol* 2004; 180: 263-267.
13. Kaal EC, Niel CG, Vecht CJ. Therapeutic management of brain metastasis. *Lancet neurology* 2005; 4: 289-298.
14. Yamamoto M. Radiosurgery for metastatic brain tumors. *Progress in neurological surgery* 2007; 20: 106-128.
15. Billing PS, Miller DL, Allen MS, Deschamps C, Trastek VF, Pairorero PC. Surgical treatment of primary lung cancer with synchronous brain metastases. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery* 2001; 122: 548-553.
16. Daniels M, Wright GM. Complete resection of non-small-cell lung cancer and oligo-metastatic brain disease. *ANZ journal of surgery* 2005; 75: 963-966.
17. Yang SY, Kim DG, Lee SH, Chung HT, Paek SH, Kim JH, Jung HW, Han DH. Pulmonary resection in patients with non-small-cell lung cancer treated with gamma knife radiosurgery for synchronous brain metastases. *Cancer* 2007 (in press).
18. Deen HG, Ebersold MJ, Harner SG, Beatty CW, Marion MS, Wharen RE, Green JD, Quast L. Conservative management of acoustic neuroma: an outcome study. *Neurosurgery* 1996; 39: 260-264; discussion 4-6.
19. Strasnick B, Glasscock ME, 3rd, Haynes D, McMenomey SO, Minor LB. The natural history of untreated acoustic neuromas. *The Laryngoscope* 1994; 104: 1115-1119.
20. Wiet RJ, Zappia JJ, Hecht CS, O'Connor CA. Conservative management of patients with small acoustic tumors. *The Laryngoscope* 1995; 105(8 Pt 1): 795-800.
21. Rosenberg SI. Natural history of acoustic neuromas. *The Laryngoscope* 2000; 110: 497-508.
22. Mendenhall WM, Friedman WA, Amdur RJ, Antonelli PJ. Management of acoustic schwannoma. *American journal of otolaryngology* 2004; 25: 38-47.
23. Rutherford SA, King AT. Vestibular schwannoma management: What is the 'best' option? *British journal of neurosurgery* 2005; 19: 309-316.
24. Paek SH, Chung HT, Jeong SS, Park CK, Kim CY, Kim JE, Kim DG, Jung HW. Hearing preservation after gamma knife stereotactic radiosurgery of vestibular schwannoma. *Cancer* 2005; 104: 580-590.
25. Lunsford LD, Niranjan A, Flickinger JC, Maitz A, Kondziolka D. Radiosurgery of vestibular schwannomas: summary of experience in 829 cases. *Journal of neurosurgery* 2005; 102(S): 195-199.
26. Hasegawa T, Kida Y, Kobayashi T, Yoshimoto M, Mori Y, Yoshida J. Long-term outcomes in patients with vestibular schwannomas treated using gamma knife surgery: 10-year follow up. *Journal of neurosurgery* 2005; 102: 10-16.
27. Rowe JG, Radatz MW, Walton L, Hampshire A, Seaman S, Kemeny AA. Gamma knife stereotactic radiosurgery for unilateral acoustic neuromas. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry* 2003; 74: 1536-1542.
28. Foote KD, Friedman WA, Buatti JM, Meeks SL, Bova FJ, Kubilis PS. Analysis of risk factors associated with radiosurgery for vestibular schwannoma. *Journal of neurosurgery* 2001; 95: 440-449.
29. Flickinger JC, Kondziolka D, Niranjan A, Lunsford LD. Results of acoustic neuroma radiosurgery: an analysis of 5 years' experience using current methods. *Journal of neurosurgery* 2001; 94: 1-6.
30. Prasad D, Steiner M, Steiner L. Gamma surgery for vestibular schwannoma. *Journal of neurosurgery* 2000; 92: 745-759.
31. Kondziolka D, Lunsford LD, McLaughlin MR, Flickinger JC. Long-term outcomes after radiosurgery for acoustic neuromas. *The New England journal of medicine* 1998; 339: 1426-1433.
32. Park CK, Jung HW, Kim JE, Son YJ, Paek SH, Kim DG. Therapeutic strategy for large vestibular schwannomas. *Journal of neurooncology* 2006; 77: 167-171.
33. Iwai Y, Yamanaka K, Ishiguro T. Surgery combined with radiosurgery of large acoustic neuromas. *Surgical neurology* 2003; 59: 283-289; discussion 9-91.
34. Yang SY, Kim DG, Chung HT, Park SH, Paek SH, Jung HW. Evaluation of tumor response after gamma knife radiosurgery for residual vestibular schwannomas based on MRI morphological features. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry* 2007 Aug 2 [Epub ahead of print].
35. Lee JY, Kondziolka D, Flickinger JC, Lunsford LD. Radiosurgery for intracranial meningiomas. *Progress in neurological surgery* 2007; 20: 142-149.
36. Kondziolka D, Levy EI, Niranjan A, Flickinger JC, Lunsford LD. Long-term outcomes after meningioma radiosurgery: physi-

- cian and patient perspectives. *Journal of neurosurgery* 1999; 91: 44-50.
37. Hakim R, Alexander E, 3rd, Loeffler JS, Shrieve DC, Wen P, Fallon MP, Stieg PE, Black PM. Results of linear accelerator-based radiosurgery for intracranial meningiomas. *Neurosurgery* 1998; 42: 446-453; discussion 53-54.
 38. Simpson D. The recurrence of intracranial meningiomas after surgical treatment. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry* 1957; 20: 22-39.
 39. Sen C, Hague K. Meningiomas involving the cavernous sinus: histological factors affecting the degree of resection. *Journal of neurosurgery* 1997; 87: 535-543.
 40. DeMonte F, Smith HK, al-Mefty O. Outcome of aggressive removal of cavernous sinus meningiomas. *Journal of neurosurgery* 1994; 81: 245-251.
 41. Lee JY, Niranjan A, McInerney J, Kondziolka D, Flickinger JC, Lunsford LD. Stereotactic radiosurgery providing long-term tumor control of cavernous sinus meningiomas. *Journal of neurosurgery* 2002; 97: 65-72.
 42. Maruyama K, Shin M, Kurita H, Kawahara N, Morita A, Kirino T. Proposed treatment strategy for cavernous sinus meningiomas: a prospective study. *Neurosurgery* 2004; 55: 1068-1075.
 43. Park CK, Jung HW, Kim JE, Paek SH, Kim DG. The selection of the optimal therapeutic strategy for petroclival meningiomas. *Surgical neurology* 2006; 66: 160-165; discussion 5-6.
 44. Taha JM, Tew JM, Jr. Treatment of trigeminal neuralgia by percutaneous radiofrequency rhizotomy. *Neurosurgery clinics of North America* 1997; 8: 31-39.
 45. Fields HL. Treatment of trigeminal neuralgia. *The New England journal of medicine* 1996; 334: 1125-1126.
 46. Kondziolka D, Lunsford LD, Flickinger JC, Young RF, Vermeulen S, Duma CM, Jacques DB, Rand RW, Regis J, Peragut JC, Manera L, Epstein MH, Lindquist C. Stereotactic radiosurgery for trigeminal neuralgia: a multiinstitutional study using the gamma unit. *Journal of neurosurgery* 1996; 84: 940-945.
 47. Young RF, Vermulen S, Posewitz A. Gamma knife radiosurgery for the treatment of trigeminal neuralgia. *Stereotactic and functional neurosurgery* 1998; 70(S): 192-199.
 48. Rogers CL, Shetter AG, Fiedler JA, Smith KA, Han PP, Speiser BL. Gamma knife radiosurgery for trigeminal neuralgia: the initial experience of The Barrow Neurological Institute. *International journal of radiation oncology, biology, physics* 2000; 47: 1013-1019.
 49. Nicol B, Regine WF, Courtney C, Meigooni A, Sanders M, Young B. Gamma knife radiosurgery using 90 Gy for trigeminal neuralgia. *Journal of neurosurgery* 2000; 93(S): 152-154.
 50. Pollock BE, Phuong LK, Foote RL, Stafford SL, Gorman DA. High-dose trigeminal neuralgia radiosurgery associated with increased risk of trigeminal nerve dysfunction. *Neurosurgery* 2001; 49: 58-62; discussion -4.
 51. Maesawa S, Salame C, Flickinger JC, Pirris S, Kondziolka D, Lunsford LD. Clinical outcomes after stereotactic radiosurgery for idiopathic trigeminal neuralgia. *Journal of neurosurgery* 2001; 94: 14-20.
 52. Petit JH, Herman JM, Nagda S, DiBiase SJ, Chin LS. Radiosurgical treatment of trigeminal neuralgia: evaluating quality of life and treatment outcomes. *International journal of radiation oncology, biology, physics* 2003; 56: 1147-1153.
 53. Gorgulho AA, De Salles AA. Impact of radiosurgery on the surgical treatment of trigeminal neuralgia. *Surgical neurology* 2006; 66: 350-356.



Peer Reviewer Commentary

임 영 진 (경희의대 신경외과)

최근 뇌 질환의 치료 영역에서 널리 적용되고 있는 방사선수술에 대한 최신지견을 요약하여 이해하기 쉽도록 기술한 좋은 논문이다. 논문에 다음과 같은 몇 가지 내용이 보완되었으면 하는 의견을 제시하고자 한다. 뇌동정맥 기형의 방사선수술에서 방사선수술 후에 출혈률이 오히려 높아진다는 보고가 있는데, 이는 병소가 폐색이 되면서 병소 내의 압력이 올라가는 기전으로 설명하고 있다. 또한 거대뇌동정맥 기형에 대한 방사선수술의 치료방법은 staged volumetric radiosurgery가 더 효과적인 것으로 받아들여지고 있다. 또한 양성 뇌종양에 대한 방사선수술 후 종양 억제효과에 대한 end point는 약 5년 정도로 알려져 있으나 청력 보존율 등 기능적 예후(functional outcome)는 보다 장기추적이 필요할 것으로 생각된다.

이 정 일 (성균관의대 신경외과)

신경외과 영역에서 뇌질환의 치료 기법으로 현대 의학이 성취한 가장 중요한 두가지 업적이라면 수술현미경을 이용하는 미세신경외과수술과 감마나이프를 대표되는 방사선수술의 확립이라고 할 수 있다. 방사선수술은 그 도입 초기에는 매우 제한된 적응증에만 이용되었으나, 최근에는 본 논문에서 기술하고 있듯이 미세신경외과수술의 상당 부분을 대체하고 있으며, 동시에 전통적인 수술이나 방사선치료와 상보적인 역할을 하는 병합요법의 일부로 적용 범위가 넓어지고 있다. 필자들은 기존의 임상 경험에 기초하여 객관적으로 인정할 수 있는 적응증과 치료 성적을 소개하였다. 경험적, 과학적 근거가 아직 다소 불충분하기 때문에 본 논문에서 언급되지는 않았으나 통증, 간질, 정신장애 등의 질환에서도 앞으로 연구자료의 축적에 따라 방사선수술의 적용범위가 넓어질 가능성이 있다. 방사선수술은 여러 가지 뇌질환에서 대단히 효과적인 치료임이 경험적으로 알려져 있으나, 현재까지 보고된 임상결과의 대부분이 근거중심의학(evidence-based medicine)의 관점에서는 신뢰도가 높지 않은 자료라는 점이 문제점으로 지적된다. 보다 합리적인 선택이 가능하기 위하여는 현실적으로 어렵기는 하지만 보다 객관적인 방법론에 의한 임상 및 기초 연구자료의 축적이 지속적으로 요구된다.