대한방사선의학회지 2002;47:147 - 153

확산 텐서 영상을 이용한 정상 뇌백질과 뇌종양의 분할 비등방도 측정[1]

이승구 · 김동익 · 김시연 · 인연권 · 김상흠

목적: 정상 성인 뇌조직의 각 부위와 뇌종양조직의 등방성 겉보기 확산계수와 분할 비등방도를 측정하고 부위나 조직에 따라 차이가 있는지 알아본다.

대상과 방법: 정상 성인 8명과 뇌내 종양으로 확진된 환자 10명을 대상으로 하였다. 1.5T 자기공명영상장치를 이용, single shot spin echo EPI 펄스열을 사용하여(TR/TE=4024/94 msec, 128 acquisition/256 reconstruction, 23 cm FOV, 5 mm thickness, 2 mm interslice gap, 4 NSA), 6개의 다른 방향과(x, y, z, xy, yz, xz), 두개의 다른 b-value로 (0, 1000) 영상을 획득하였다. 얻어진 단면당 7개의 영상을 기초로 등방성 겉보기 확산계수를 (Isotropic ADC; D) 구하였고 이 값과 세 방향의 eigenvalue를 이용하여 분할 비등방도를 (fractional anisotropy; FA) 계산하였다. 정상군과 환자군 각각의 영상에서 전두엽 피질, 전두엽 백질, 뇌실주변백질, 뇌량, 내포 및 미상핵, 그리고 종양 내부에 각각 ROI를 그려 분할 비등방도를 알아보았다.

결과: 정상인에서의 측정치는 전두엽 피질(D=0.81±0.06, FA=0.32±0.03), 전두엽 백질(D=0.79±0.04, FA=0.56±0.09), 뇌실주변백질(D=0.77±0.02, FA=0.51±0.04), 뇌량(D=0.79±0.07, FA=0.82±0.07), 내포(D=0.73±0.04, FA=0.77±0.05), 미상핵 (D=0.76±0.05, FA=0.35±0.05) 등으로 측정되었다. 백질과 특히 뇌량 및 내포가 높은 비등방도를 보였으며 회백질과 심부회백질은 비슷한 분할 비등방도를 보였다. 뇌종양은 대부분 백질과 유사한 겉보기 확산계수와 낮은 분할 비등방도를 보였으며 저등급 성상세포종은 정상 백질에 비해 높은 겉보기 확산계수를, 수막종은 높은 분할 비등방도를 보였다.

결론: 임상적으로 이용되는 자기공명영상기기를 이용하여 정상 뇌조직의 등방성 겉보기 확산계수와 분할 비등방도를 쉽게 얻을 수 있었고 이들과 뇌종양의 텐서 값의 비교를 통해 뇌종양의 종류, 침범 정도를 가늠할 수 있을 것으로 사료된다.

확산강조영상은 고식적 스핀에코기법에 원하는 방향으로의 강력한 Stejskal-Tanner 경사자계를 가하여 자유로운 확산운동을 보이는 스핀들의 탈위상을 일으켜 신호강도의 감소를 초래하게 되고 세포독성부종에 의해 확산운동에 장애가 있는 스핀들은 재위상을 일으켜 신호가 증가되는 원리를 이용한 영상기법이며 초기 뇌허혈 진단에의 유용성이 입증되어 있다 (1-4). 이러한 확산강조영상이 제공하는 확산도는 세방향의 다른 확산경사자계를 가한 뒤 얻은 정보로 계산된 값으로써 실제로는 3차원적인 운동을 하는 스핀들의 성상을 나타내기에는 불충분하다.

비등방성 확산이란 3차원 공간 내에서 특정한 방향으로 높은 확산도를 갖는 확산을 의미하는 것으로 근섬유 및 뇌백질 등에서 존재한다는 실험적 증거가 제시되어 왔다 (5, 6). 뇌백질의 경우 수초에 싸인 축삭들이 한 방향으로 배열되어 경로를 이루기 때문에 세포내 또는 세포외 간질에 존재하는 물 분자들의 확산은 조직의 성상을 따라 한쪽 방향으로 주로 이루어지게 된다. 이러한 비등방성 확산을 영상화하는 기법이 확산텐서 영상이며 (7, 8), 최근 그 유용성에 대한 연구가 진행 중에 있다. 본 연구의 목적은 정상 성인의 뇌 조직 각 부위의 등방성 겉보기 확산계수와 비등방도를 측정하고 뇌종양 환자에서 종양 내부 평균확산도 및 비등방도를 알아보며 향후 임상적 적용의 가능성을 알아보는데 있다.

대상과 방법

정상 성인 8명과 (남:여=4:4, 평균 연령=34.5세), 뇌종양으로 수술 또는 방사선 치료를 받은 환자 10명을 (남:여=6:4, 평

[1]연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실
본 연구는 연세대학교 의과대학 2000년도 강사연구비 지원으로 이루어졌음.
이 논문은 2002년 1월 3일 접수하여 2002년 6월 10일에 채택되었음.

균 연령=46.2세) 대상으로 하였다. 뇌종양은 다형교모세포종 3예, 저등급 성상세포종 3예, 뇌교 교종 2예, 뇌수막종 2예였으며 뇌교 교종을 제외하고는 수술적으로 모두 확진된 환자들이었다. 임상적으로 이용되는 1.5 T MR 기기를 이용하여 (Gyroscan Intera T15, Philips Medical System, Best, Netherlands) 검사를 진행하였고 환자군의 경우 고식적 T1 및 T2 강조 영상에 추가로 확산텐서영상을 시행하였다.

Quadrature head coil과 single shot spin echo EPI 펄스열을 사용하였고 영상 변수는 다음과 같다; TR/TE= 4024/94 msec, 128 acquisition/256 reconstruction, 23 cm FOV, 5 mm thickness, 2 mm interslice gap, 20 slices, NSA=4. 6개의 다른 방향과(x, y, z, xy, yz, xz), 두개의 다른 b-value로(0, 1000) 확산경사자계를 가한 다음 영상을 획득하였다. 얻어진 단면당 7개의 영상을 기초로 다음 공식을 이용하여 등방성 겉보기확산계수(Isotropic ADC: mm^2/sec)를 구하였다.

또한 6방향의 경사 자계를 가해서 구해지는 각기 다른 세방향의 eigen value λ_x, λ_y, λ_z들을 구한 다음 다음 공식을 이용하

$$\text{Isotropic ADC}=\left\{ \sum_{all\_high\_b\text{-}value} \text{In}\left(\frac{S_{low\_b\text{-}value}}{S_{low\_b\text{-}value}}\right)/(b_{high} - b_{low}) \right\}$$
$$/\text{numbers of high b value}$$

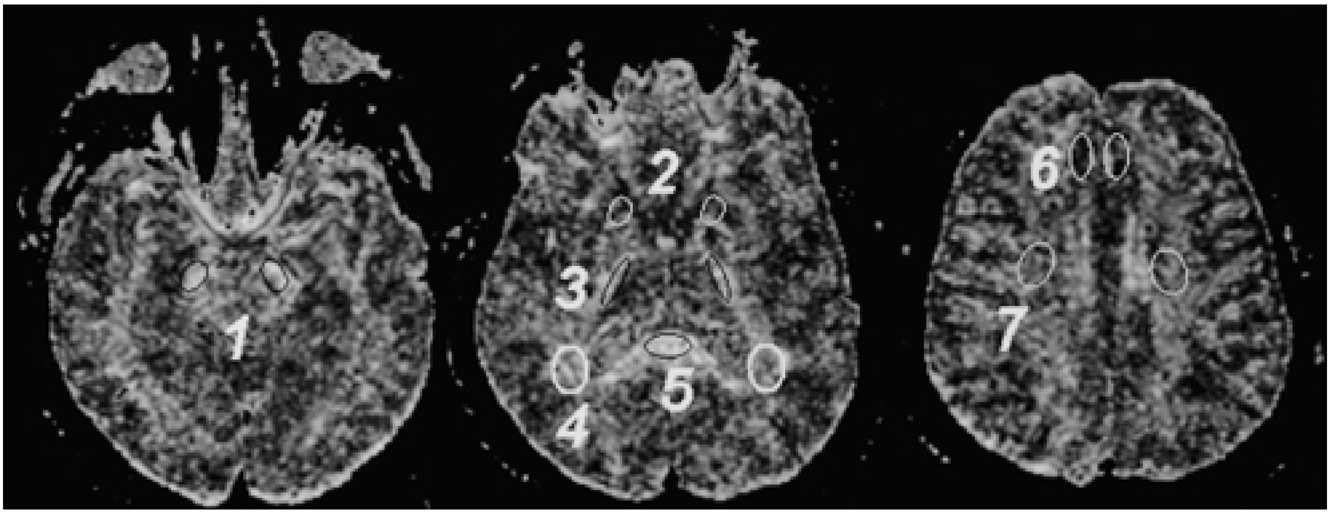


Fig. 1. Regions of interest (ROI) drawn on diffusion tensor maps. Symmetric ROI circles are drawn on the corticospinal tract in cerebral peduncle (1), caudate nucleus (2), internal capsule (3), periventricular white matter (4), corpus callosum (5), frontal gray matter (6) and frontal white matter (7).

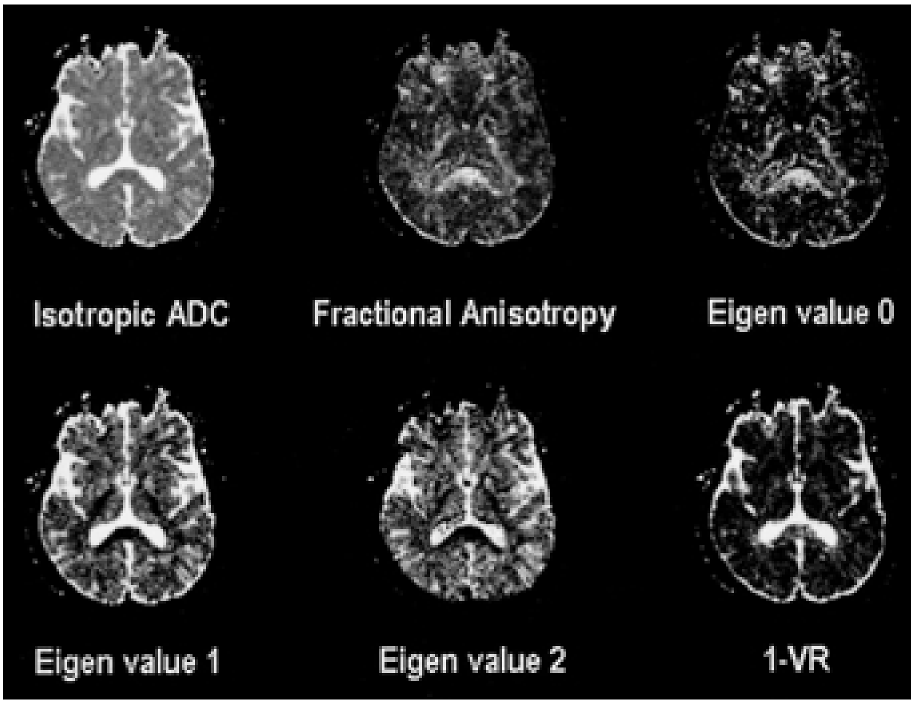


Fig. 2. Calculated diffusion tensor maps. Similar isotropic ADC is seen in each regions of brain on isotropic ADC map, while higher anisotropy is demonstrated in internal capsule and corpus callosum on FA map. FA is calculated from three eigen values and their maps are also shown. Volume ratio (VR) is also an indicator of anisotropy, which can be calculated from eigen value 0 and 2.

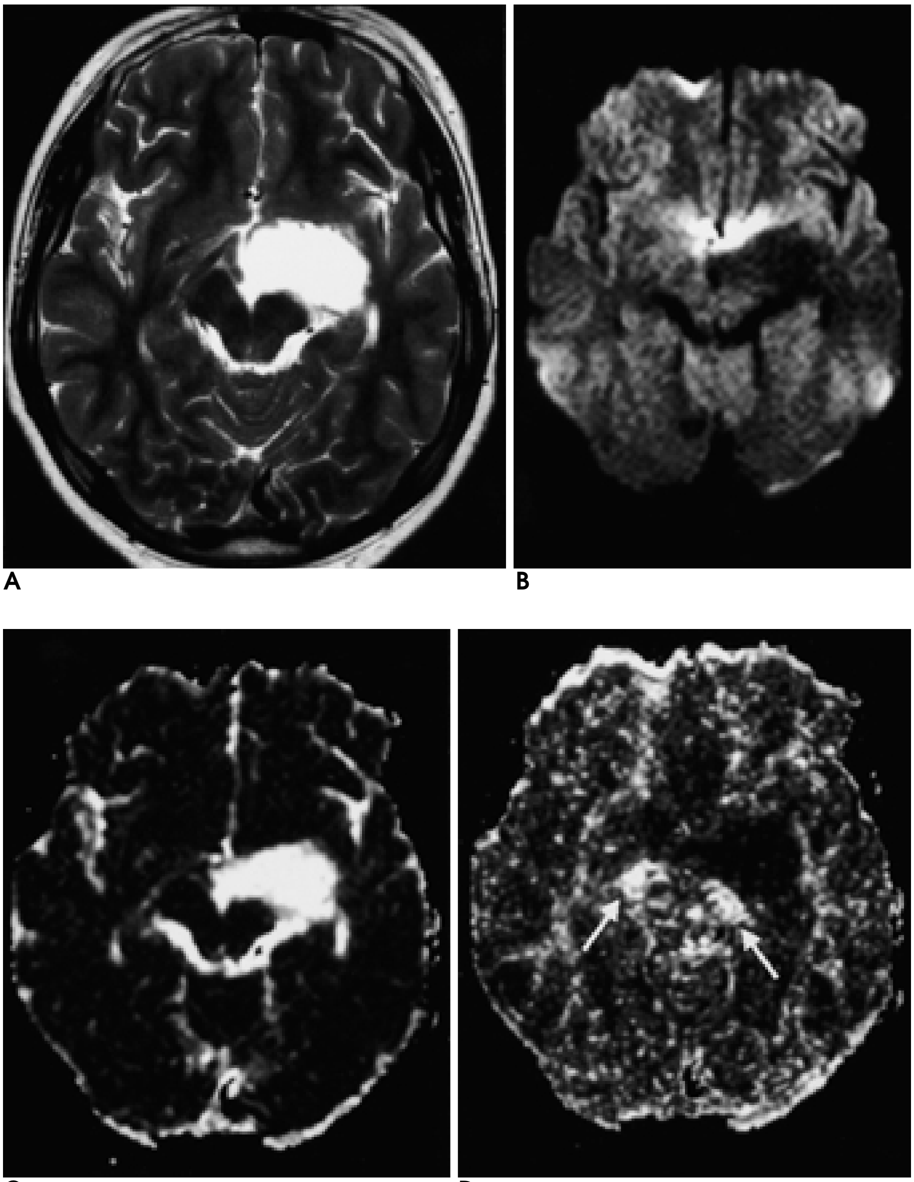
여 분할 비등방도(fractional anisotropy, FA)를 계산하였다.

$$FA=\left(\sqrt{\sum_{i=1,2,3}\left(E_i-\overline{ADC}\right)^2}\right)/\left(\sqrt{\left(\sum_{i=1,2,3}E_i^2\right)/3}\right)$$

위와 같은 수식을 기초로 하여 짜여진 PacMan Tool® (Philips Medical Systems, Best, Netherlands)을 MR 작동 패널 온라인 상에서 가동시킨뒤 단면당 7개의 확산강조영상 데이터를 입력한 다음 ADC와 FA 영상을 자동으로 계산하였고 이들 데이터를 Easyvision®(Philips Medical Systems, Best, Netherlands) 워크스테이션 프로그램으로 전송하여 전두엽 피질, 전두엽 백질, 뇌실주변백질, 뇌량, 내포 및 미상핵에 각각 ROI를 그려 (Fig. 1) 대상자의 평균확산도와 분할 비등방도를 계산한 다음 평균치를 구하여 정상인의 뇌실질 비등방도를 알아보았고, 종양의 중심부 또는 고형부에 ROI를 위치 시켜 평균확산도와 분할 비등방도를 알아보았다.

Table 1. Isotropic ADC and Fractional Anisotropy of Normal Brain

	Isotropic ADC (mm²/sec)	Fractional Anisotropy
Frontal Gray Matter	0.81±0.06	0.32±0.03
Frontal White Matter	0.79±0.04	0.56±0.09
Corpus Callosum	0.79±0.07	0.82±0.07
Internal Capsule	0.73±0.04	0.77±0.05
Caudate Nucleus	0.76±0.05	0.36±0.05
Pyramidal Tract	0.79±0.11	0.78±0.06
CSF	3.83±0.35	0.19±0.07



A B C D

Fig. 3. A 13-year-old boy with the complaint of frequent seizure attack. There is a high signal intensity mass in the left medial temporal lobe on T2 weighted image (**A**). Low signal intensty on DWI (**B**), high isotropic ADC (**C**) and low fractional anisotropy are clearly demonstrated. Note high anisotropy of cerebral peduncle around the lesion (**D**, white arrows). Low grade glioma was confirmed after operation.

결 과

평균 확산도가 가장 작은 곳은 내포로서 0.73±0.04 mm^2/sec, 가장 높은 곳은 전두엽 회백질로서 0.81±0.06 mm^2/sec를 보였다. 뇌척수액의 경우 3.55±0.34 mm^2/sec의 높은 확산도를 보였다 (Table 1). 분할 비등방도는 백질의 경우 회백질보다 월등히 높게 나타났으며 특히 뇌량과 내포에서 높게 측정되었다. 상대적으로 전두엽이나 두정부 백질은 비교적 낮은 수치를 나타내었다 (Table 1). 등방성 확산도 영상은 뇌조직 부위별로 육안적으로 분간할 수 있는 신호강도의 차이는 보이지 않았으며 분할 비등방도 영상에서는 뇌 각 부위 중 방향성을 갖는 섬유로가 존재하는 부위는 높은 신호 강도로, 다른 백질은 중등도의 신호 강도로, 그리고 뇌피질은 비교적 낮은 신호 강도로 표현되었다 (Fig. 2).

뇌교종은 종류에 관계없이 뇌백질보다 다소 높은 평균확산도와, 수막종을 제외하면 낮은 분할비등방도를 보였다 (Table 2). 교모세포종과 저등급 성상세포종 사이에 종양의 등급에 따른 확산도, 비등방도의 차이는 통계적으로 유의하지 않았으나 저등급 성상세포종은 정상 백질이나 다른 뇌종양에 비해 비교

Table 2. Isotropic ADC and Fractional Anisotropy of Brain Tumors

	Isotropic ADC (mm^2/sec)	Fractional Anisotropy
GM (n = 3)	1.05±0.16	0.23±0.08
Low grade astrocytoma (*n* = 2)	2.07±0.17	0.24±0.10
Gliomatosis cerebri (*n* = 1)	1.15±0.27	0.25±0.09
Pontine glioma (*n* = 2)	0.99±0.13	0.27±0.12
Meningioma (*n* = 2)	0.79±0.08	0.56±0.15
Normal gray matter	0.81±0.06	0.32±0.03
Normal white matter	0.79±0.04	0.56±0.09

Note: GM = Glioblastoma multiforme

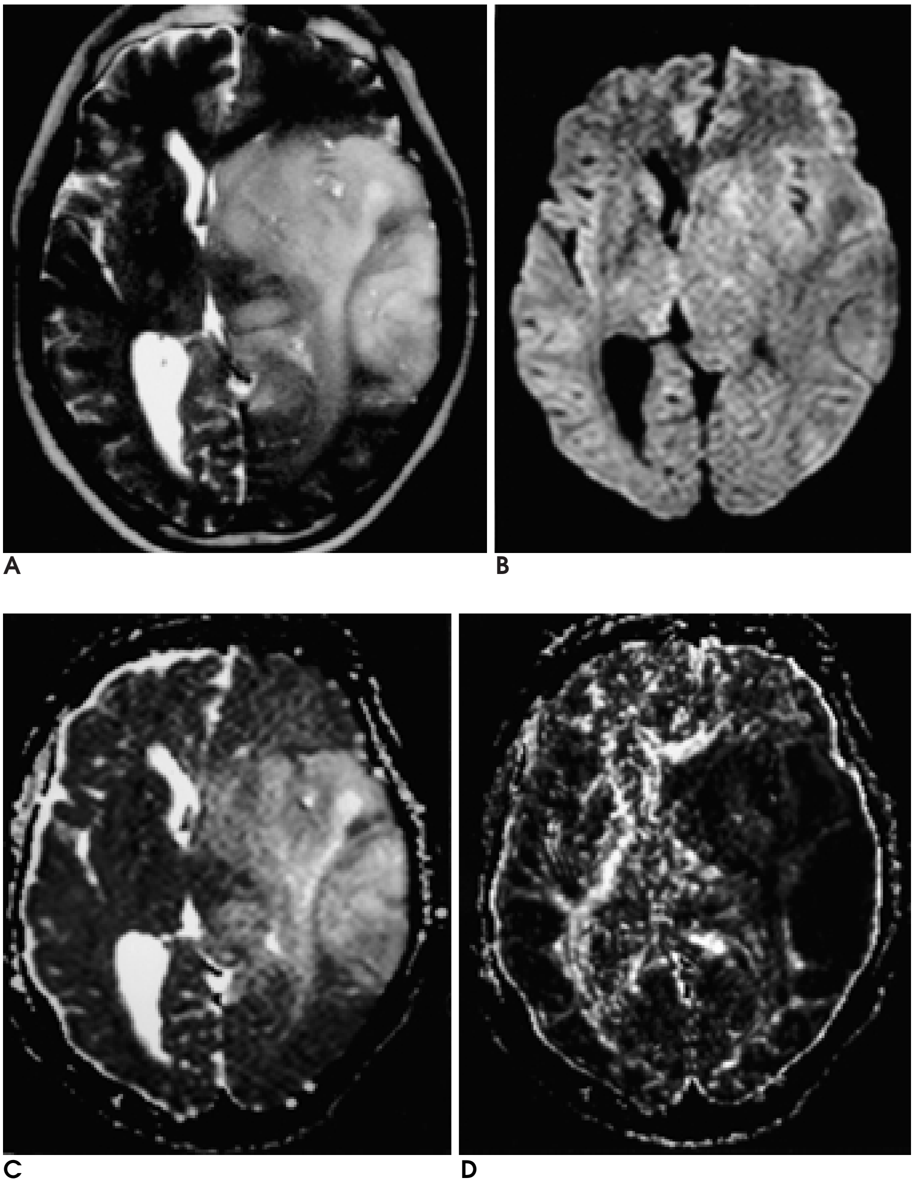


Fig. 4. 62-year-old male with gliomatosis cerebri. Diffusely infiltrating mass is seen in left temporal and frontal lobes on T2WI (**A**). The mass shows similar signal intensity as normal parenchyma on DWI (**B**). High degree isotropic ADC (**C**) and low fractional anisotropy (**D**) are demonstrated on diffusion tensor maps.

적 높은 평균확산도를 보였다 (Fig. 3, 4).

뇌수막종은 다른 종양에 비해 비교적 낮은 평균 확산도와 높은 분할비등방도를 보였으며 수막종으로 인한 주변부 백질 부종 영역과는 확산텐서 영상에서 뚜렷이 구별되었다 (Fig. 5).

고 찰

확산강조영상이 급성기 뇌허혈의 진단에 적용된 이래 (2), 그 임상적 유용성은 다양한 보고들과 함께 정립이 되어있다 (9, 10). 뇌허혈 이외에도, 뇌종양과 뇌농양의 감별에 이용되기도 하며 (11, 12), 그 이론적 근거는 뇌농양 내의 분자운동이 종양 낭성부위 내의 분자운동에 비해 더 확산에 장애가 오고, 겉보기 확산계수가 감소되는 데서 기인한다. 자유로운 확산의 경우 브라운 운동에 의해 움직이는 스핀들의 탈위상화가 초래되어 강한 대칭 확산 경사자계에 의해 신호강도의 소실이 초래된다 (13). 이처럼 확산강조영상은 뇌조직의 상태에 따라 일어나는 분자 확산 운동의 정도를 수치화 및 영상화하는 기법으로 각종 뇌질환에 대한 초기 진단수기의 필수적 요소로 이용되고 있다.

분자의 확산 운동은 3차원적인 현상이기 때문에 전방향으로 자유로이 움직이는 등방성 확산과 일정한 방향을 가지고 움직이는 비등방성 확산으로 나뉜다. 뇌백질은 축삭을 따라서 일정한 방향으로 배열되어있기 때문에 이를 따라서 물분자의 확산이 일어나며 인체 내에서 비등방성 확산을 가장 뚜렷하게 보여주는 조직이다. 백질 경로를 따라 일어나는 비등방성 확산을 확산강조영상을 이용하여 생체 내에서 측정할 수 있게 됨에 따라 (6, 14), 뇌백질의 보전도를 가늠할 수 있는 방법으로서 확산텐서영상을 임상적으로 적용해보고자 하는 시도가 계속되어 왔다 (15).

확산텐서영상은 임상적으로 이용되는 1.5T 자기공명영상장치에서 충분히 수행가능하며 6개의 다른 방향으로 경사자계를 걸어준 뒤 얻어진 b-value = 0 를 포함한 7개의 영상으로 수

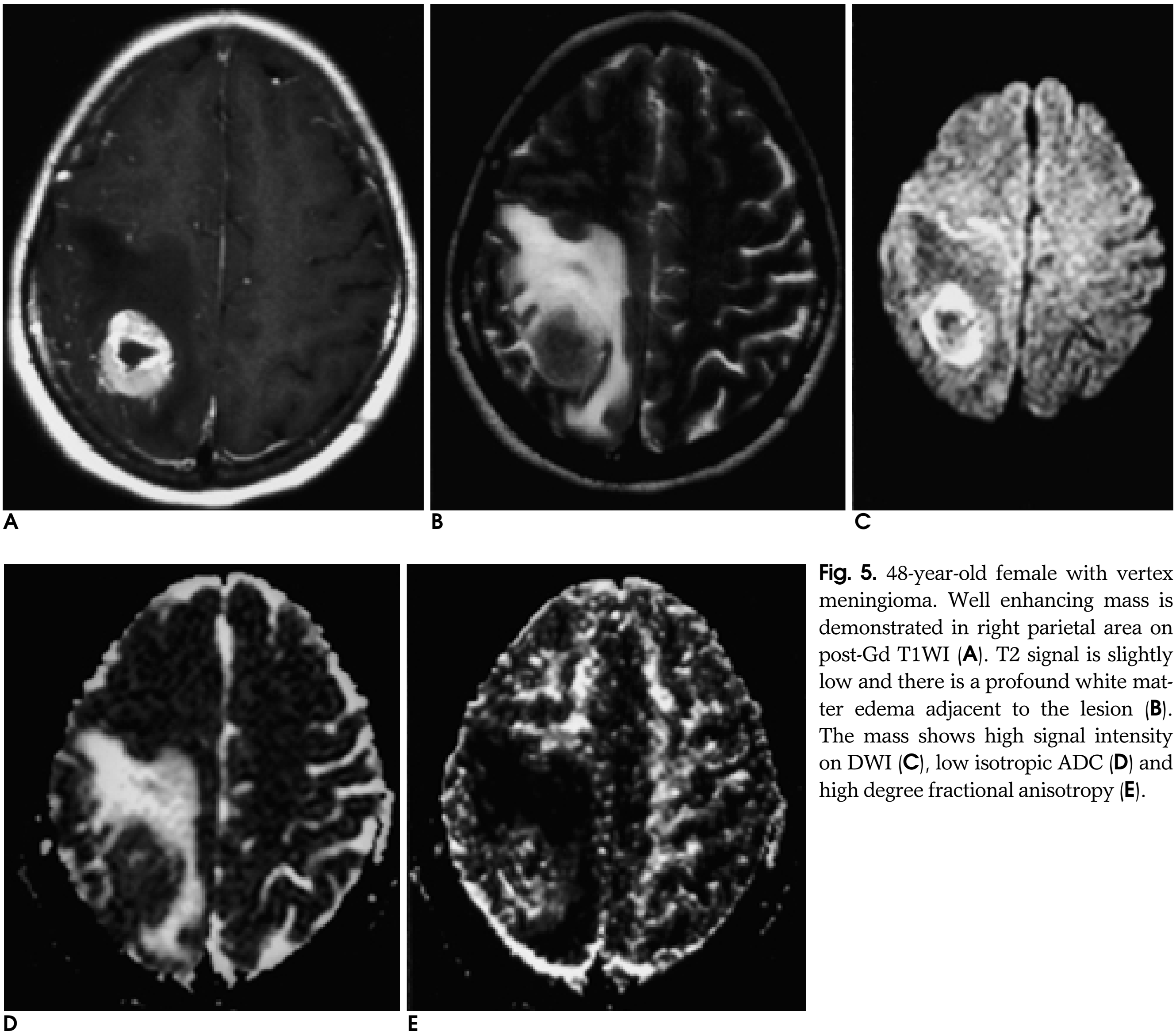


Fig. 5. 48-year-old female with vertex meningioma. Well enhancing mass is demonstrated in right parietal area on post-Gd T1WI (**A**). T2 signal is slightly low and there is a profound white matter edema adjacent to the lesion (**B**). The mass shows high signal intensity on DWI (**C**), low isotropic ADC (**D**) and high degree fractional anisotropy (**E**).

학적 계산을 통해 등방성 확산도와 분할 비등방도를 구하게 된다. 앞서 기술한 뇌허혈 외에도 다발성 경화증과 같은 뇌백질 질환 (16), 선천성 탈수초성 질환 (17), 또는 알츠하이머병의 평가에 응용되고 있으며 (18), 뚜렷한 정설이 정립되었다기 보다는 현재 활발한 연구가 진행중인 과제이다. 뇌종양에 대한 연구는 최근 Weishmann 등이(19) 뇌종양에 인접한 뇌백질의 비등방도가 떨어지는 것에 대한 보고를 하였으며, 뇌종양의 등급과 세포밀집도에 따라 등방성 확산도가 역비례 관계로 감소한다는 보고도 있었다 (20). 본 연구결과 역시 이들의 연구결과와 비교적 잘 일치하는 것으로, 정상 성인의 경우 외국의 자료와 유사한 뇌백질의 확산도 및 분할 비등방도를 보였고, 뇌종양에 있어서도 정상 조직에 비해 2배 이상 높은 확산도와 유의하게 낮은 분할 비등방도를 보였다. 그러나 Gauvain등이(20) 기술한 종양의 등급에 따른 확산도의 변화는 관찰할 수 없었으며 본 연구에 추가적으로 증례가 더해진다면 두 변수 사이에 유의한 관계를 찾을 수 있을 것으로 사료된다. 다만 축외종양인 뇌수막종의 경우 높은 비등방도를 보였는데, 이는 비교적 밀도가 높은 세포충실도와 배열에 의한 결과로 생각된다.

정상조직과 종양간의 수치 비율은 일정하나, 각각의 절대치는 Gauvain의 연구와 상당한 차이를 보이는데 이는 확산 경사자계를 걸어주는 방법과 b value의 크기에 따른 차이로 사료된다. b value는 0을 포함한 하나 이상의 수치를 이용할 수 있으며 등방성 확산도는 b value의 개수와 크기에 따라 영향을 받는다 (21). 따라서 본 연구와 같이 b value를 비교적 큰 1000으로 하여 얻은 등방성 확산도와 다른 b value 값을 이용하여 얻은 조직의 등방성 확산도는 약간의 차이가 있게 된다. 반면 분할 비등방도는 b value의 개수나 크기에 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다 (21).

본 연구의 제한점은 뇌종양 그룹의 다양성과 숫적 부족을 들 수 있으며 계속적으로 자료가 모아진다면 좋은 결과가 있을 것으로 생각된다. 뇌종양이 백질을 따라 침습한 경우와 백질의 부종을 초래한 경우가 구별되지 않는다는 것이 확산텐서 영상의 제한점이며 또한 본 연구는 뇌조직의 비등방도, 즉 텐서의 양만을 측정한 것으로서 좀더 복잡한 계산을 통해 텐서의 방향, 즉 벡터를 측정하여 일정 뇌조직의 방향성을 알아보고 이를 통해 뇌백질 섬유 추적 기법을 사용한다면 더욱 광범위한 연구가 진행될 것으로 기대된다. 확산텐서영상의 향후 임상적 적용은 뇌종양뿐만 아니라 퇴행성 백질 질환, 치매, 허혈성 뇌질환 및 외상성 뇌질환등에 이용될 것으로 사료된다.

결론적으로 임상적으로 이용되는 1.5T 자기공명영상장치에서 적절한 펄스열과 후영상처리과정으로 뇌조직의 확산텐서 값을 성공적으로 구할 수 있었으며 뇌종양의 텐서 값과 비교를 통해 뇌종양의 종류, 침범 정도를 가늠할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Le Bihan D, Breton E, Lallermand D, et al. MR imaging of intravoxel incogerent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology* 1986;161:401-407
2. Moseley ME, Cohen Y, Kucharczyk J, et al. Diffusion-weighted MR imaging of anisotropic water diffusion in cat central nervous system. *Radiology* 1990;176:439-445
3. Warach S, Chien D, Li W, Ronthal MM, Delman RR. Fast magnetic resonance diffusion-weighted imaging of acute human stroke. *Neurology* 1992;42:1717-1723
4. 오영택, 김동익, 정은기 등. Single shot EPI 기법을 이용한 뇌경색 환자의 확산강조영상. *대한방사선의학회지* 1998;39:7-13
5. Cleveland GG, Chang DC, Hazelwood CF. Nuclear magnetic resonance measurements of skeletal muscle. Anisotropy of the diffusion coefficient of the inatracellular water. *Biophys J* 1976;16:1043-1053
6. Chenevert TL, Brunberg JA, Pipe JG. Anisotropic diffusion within human white matter: demonstration with NMR techniques in vivo. *Radiology* 1990;177:401-405
7. Basser PJ, Mattiello J, Le Bihan D. Estimation of the effective self-diffusion tensor from the NMR spin echo. *J Magn Reson Imaging* 1994;103: 247-254
8. Basser PJ, Mattiello J, Le Bihan D. MR diffusion tensor spectroscopy and imaging. *Biophys J* 1994;66:259-267
9. Beauchamp NJ, Ulug AM, Passe TJ, van Zijl PC. MR diffusion imaging in stroke: review and controversies. *RadioGraphics* 1998;18:1269-1283
10. Gray L, MacFall J. Overview of diffusion imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 1998;6:125-128
11. Kim YJ, Chang KH, Song IC, et al. Brain abscess and necrotic or cystic brain tumor: discrimination with signal intensity on diffusion-weighted MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 1998;171:1487-1490
12. Ebisu T, Tanaka C, Umeda M, et al. Discrimination of brain abscess from necrotic or cystic tumors by diffusion-weighted echo planar imaging. *Magn Reson Imaging* 1996;14:1113-1116
13. Shimony JS, McKinstry RC, akbudak E, et al. Quantitative diffusion-tensor anisotropy brain MR imaging: normative human data and anatomic analysis. *Radiology* 1999;212:770-784
14. Chenevert TL, Brunberg JA, Pipe JG. Anisotropic diffusion within human white matter: demonstration with NMR techniques in vivo. *Radiology* 1990;177:401-405
15. Turner R, Le Bihan D, Maler J, et al. Echo-planar imaging of intravoxel incoherent motions. *Radiology* 1990;177:407-414
16. Horsfield MA, Larsson HB, Jones DK, Gass A. Diffusion magnetic resonance imaging in multiple sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1998;64(S1):S80-84
17. Ono J, Harada K, Mano T, Sakurai K, Okada S. Differentiation of dys- and demyelination using diffusional anisotropy. *Pediatr Neurol* 1997;16-63-66
18. Hanyu H, Shindo H, Kakizaki D, et al. Increased water diffusion in cerebral white matter in Alzheimer's disease. *Gerontology* 1997;43: 343-351
19. Wieshmann UC, Symms MR, Parker GJ, et al. Diffusion tensor imaging demonstrates deviation of fibers in normal appearing white matter adjacent to a brain tumor. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2000;68:501-503
20. Gauvain KM, McKinstry RC, Mukherjee P, et al. Evaluating pediatric brain tumor cellularity with diffusion-tensor imaging. *AJR Am J Roentgenol* 2001;177:449-454
21. Melhem ER, Itoh R, Jones L, Barker PB. Diffusion tensor MR imaging of the brain: effect of diffusion weighting on trace and anisotropy measurements. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000;21:1813-1820

J Korean Radiol Soc 2002;47:147 - 153

Measurement of Fractional Anisotropy in Normal Cerebral White Matter and Brain Tumors with Diffusion Tensor Imaging[1]

Seung-Koo Lee, M.D., Dong Ik Kim, M.D., Si-Yeon Kim, M.D.
Yon Kwon Ihn, M.D., Sang Heum Kim, M.D.

[1]*Department of Diagnostic Radiology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea*

Purpose: The purpose of this study was to measure the apparent diffusion coefficient (ADC) and fractional anisotropy (FA) of normal adult brain tissue and tumors, and to compare the differences.

Materials and Methods: Eight normal adults and ten patients in whom intracranial tumors had been diagnosed were included. Imaging was performed using a 1.5 T MR unit and a single-shot spin-echo EPI pulse sequence (TR/TE = 4024/94 msec, 128 acquisition/256 reconstruction, 23 cm FOV, 5 mm thickness, 2 mm interslice gap, 4 NSA), six different direction gradients (x, y, z, xy, yz, xz), and 2 b-values (0, 1000). Isotropic ADC (D) was obtained from seven images per slice, and fractional anisotropy (FA) was calculated from the isotropic ADC and eigenvalues of three directions. A region of interest was drawn at frontal gray and white matter, periventricular white matter, the corpus callosum, internal capsule, caudate nucleus and center of the tumor mass, and for each region, fractional anisotropy readings were obtained.

Results: In normal adults, the findings were as follows: frontal gray matter: D = 0.81±0.06, FA = 0.32±0.03; frontal white matter: D = 0.79±0.04, FA = 0.56±0.09, periventricular white matter: D = 0.77±0.02, FA = 0.51 ±0.04; corpus callosum: D = 0.79±0.07, FA = 0.82±0.07; internal capsule: D = 0.73±0.04, FA = 0.77±0.05; caudate nucleus: D = 0.76±0.05, FA = 0.35±0.05. High anisotropy was demonstrated in white matter, especially in the corpus callosum and internal capsule, and the degree of anisotropy was similar in gray and deep gray matter. For most brain tumors, isotropic ADC was similar to that of white matter, but fractional anisotropy was lower. A low-grade astrocytoma showed higher isotropic ADC and lower fractional anisotropy than normal white matter, and at the center of a meningioma, fractional anisotropy was high.

Conclusion: For the classification of brain tumors and determination of the extent of disease, comparison between the apparent diffusion coefficient and fractional anisotropy is useful.

Index words : Brain, MR
Brain, diffusion
Brain, neoplasms

Address reprint requests to : Seung-Koo Lee, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Yonsei University College of Medicine, 134 Shinchon-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea.
Tel. 82-2-361-6374 Fax. 82-2-393-3035 E-mail: slee@yumc.yonsei.ac.kr