

# 확산 텐서 자기공명영상의 임상적 응용

이 승 구

연세대학교 의과대학 진단방사선과

확산 텐서 영상은 기존의 x, y, z 세 방향으로 가해지는 확산 경사자장 외에 추가 자장을 걸어준 뒤 계산을 통하여 얻어지는데 기존의 세 방향 경사 자장을 이용한 확산 강조 영상만으로는 스피어의 방향성을 표현하는데 한계가 있고 이를 극복하기 위해 도입된 개념이다 (1-3). 최근 그 임상적 응용이 증가되고 있으며 그 분야는 허혈성 뇌질환에서부터 퇴행성 질환 및 선천성 이상에 이르기까지 광범위하게 적용되고 있으나 그 임상적 의미는 아직 불분명하며 활발한 연구가 이루어지고 있는 단계이다.

## 1. 허혈성 뇌질환

급성기 뇌허혈에서는 ADC가 감소하고, 초기에 FA가 일시적으로 증가한다 (4). 증가된 FA는 급성, 아급성기로 접어들면서 다시 감소하고 만성기로 접어들면서 ADC는 증가, FA는 감소한다 (5-7). 그러나 FA는 ADC에 영향을 받기 때문에 ADC가 매우 높아질 경우 조직의 anisotropy와는 관계없이 FA가 낮게 측정될 수 있으며 해석에 주의를 요한다 (8). 백질 자체의 FA가 높으므로 이 부위에 생긴 경색부는 쉽게 진단되지만 회백질은 자체의 낮은 FA 특성으로 인해 그다지 진단에 도움이 안되는 경우가 많다.

만성 뇌경색의 경우 뇌연화증과 함께 isotropic ADC가 증가되고 FA가 감소하게 되며 원심성 신경 섬유질의 퇴행에 의한 피질 척수로의 Wallerian 퇴행 변화가 확산 텐서 영상 및 3차원 신경 섬유로 영상에서 분명하게 보이게 된다.

## 2. 선천성 뇌신경계 질환

확산텐서영상이 기본적으로 뇌백질의 주행이나 이상 소견을 보여줄 수 있는 강력한 도구이기에 선천성 기형과 이에 따른 백질의 이형성, 비정상적인 뇌신경로 연결 상태를 생체에서 보여줄 수 있는 유일한 수단이기도 하다.

Callosal agenesis의 경우 양측hemispheric fiber들이 midline crossing하지 못하고 앞뒤로 연결된 Probst bundle을 직접적으로 보여주며 partial agenesis가 있을 경우 일부 형성된 corpus callosum을 통해 원격부에서 주행해온 fiber들이 반대측 hemisphere로 connection되는 것을 확인할 수 있다 (9).

Cortical dysplasia의 dysplastic white matter는 낮은 FA를 보이며 인접한white matter는 그 분화도에 따라 다양한 신호를 보일 수 있다 (10). heterotopic gray matter를 통해 deep white matter fiber들이 일부 연결되는 양상을 눈으로 확인할 수 있으며 (11), nodular 또는 band heterotopia등 white matter내에 위치한 gray matter들은 상대적으로 높은 FA 수치를 보여 developing neuron의 radial growth를 간접적으로 보여준다 (10).

## 3. 뇌백질 질환

Multiple sclerosis의 경우 MS plaque는 확산텐서영상에서 mean diffusivity의 증가, 그리고 FA의 감소로 나타나나 고식적 T2, FLAIR 또는 DWI에서도 진단이 가능하므로 큰 의미가 없다. 그러나 정상으로 보이는 백질(NAWM; normal appearing white matter)의 경우에서도 mean diffusivity가 증가하고 FA가 감소한다고 하며 (12), 특히 뇌실 주변부 백질과 plaque 주변부 백질에서 T2 강조 영상에 비해 훨씬 예민하게 검출해낼 수 있어 NAWM에서의 병변 검출은 다른 고식적인 영상법보다 탁월하다고 할 수 있다 (13).

소뇌 및 뇌간의 interconnecting fiber들의 이상을 쉽게 눈으로 확인할 수 있으며 특히 소뇌의 위축이 초래되는 질환에 있어서 diffusion tensor imaging은 isolated cerebellar atrophy인지 OPCA와 같은 afferent system의 이상인지 감별할 수 있게 해준다 (14).

백질이영양증 (leukodystrophy), 급성 파종성 뇌척수염 (ADEM), 가역성 뇌증 증후군(posterior reversible encephalopathy syndrome) 및 알츠하이머병 등에서 병변이 있는 부위에 FA의 감소가 관찰된다는 보고가 되어 있으나 (15), 이와 같은 질환들은 실제적으로는 일반 확산 강조 영상이나 FLAIR 영상 등에서도 잘 표현되기 때문에 보조적 진단으로 이용되고 있다.

뇌성마비 증후군의 다수를 차지하고 있는 뇌실주변부 백질연화증(periventricular leukomalacia)의 경우 감각 신경 섬유로의 감소와 시상에서 나오는 후시상 방사신경로(posterior thalamic radiation)의 의미 있는 감소가 관찰되며, 이와 같은 뇌실 주변부 백질의 이상에 의한 대뇌피질과 시상의 연결성에 문제가 있어 경직성 운동 장애가 오게 된다고 한다 (16).

#### 4. 뇌종양 및 기타 질환 뇌 백질 질환

뇌종양 자체의 진단에는 큰 의미는 없으나 종양에 의해 주요 신경로의 침범 유무를 판단하고 수술 계획을 세우거나 생검 방향을 설정하는 데에는 fiber tractography가 매우 중요한 역할을 한다 (17). 종양의 종류에 따라 FA의 변화를 보일 수 있으나 (18), 아직 종양 자체의 등급을 정하는데 있어서 확산텐서 영상의 역할은 미지수이며 앞으로 더 많은 임상적 응용과 연구가 기대되고 있다.

고식적 MR 영상, T2 이완 시간 측정 또는 해마 용적 측정 등이 지금까지 간질 환자에서 간질 유발 병소를 국소화 하는데 이용되어 왔다. 확산 텐서 영상을 사용하여 간질 환자를 분석한 결과 정상적으로 보이던 백질과 회백질 부위의 확산 텐서 변수들의 변화, 즉 diffusivity가 증가되고 anisotropy가 감소된다는 보고가 최근 제시되고 있다 (18).

#### 5. 향후 임상적 응용 및 결론

앞서 기술한 바와 같이 확산 텐서 영상은 이제 겨우 임상적 응용이 시작된 단계이며 그 유용성이 일부에서 확립되어 가고 있는 상태이다. 그러나 생체 내 뇌백질신경로를 그려낸다는 것 만으로도 현대 영상 의학에서 중요한 자리 매김을 하고 있으며 많은 임상적 연구가 진행되고 있다.

확산텐서영상과 신경로 영상이 임상적으로 적용이 될 수 있는 것은 고속 촬영이 가능하게 되면서 임상 응용이 가능한 펄스열, 즉 적절한 짧은 시간 내에 충분한 품질의 영상을 얻을 수 있게 되었고 여기에는 sensitivity encoding (SENSE) technology와 phase-track motion correction의 실용화가 중요한 역할을 하고 있다. 미세한 움직임에도 자칫 영상의 결과가 판이할 수 있기 때문에 이와 같은 기법들이 필수적이며 이와 함께 확산 텐서 영상은 뇌신경계 질환의 병태 생리학적 근원에 접근하는데 있어서 중요한 역할을 할 것으로 생각되고 실제 임상에 활발한 적용이 요구된다. 또한 뇌신경계 뿐만 아니라 일정한 배열을 가지고 있는 연부 조직, 예를 들면 근섬유, 심근 등의 질환에 응용이 가능할 것으로 기

대된다.

## 참 고 문 헌

1. Le Bihan D, Mangin JF, Poupon C, et al. Diffusion tensor imaging: concepts and applications. *J Magn Reson Imaging* 2001; 13:534-546.
2. Basser PJ, Mattiello J, LeBihan D. MR diffusion tensor spectroscopy and imaging. *Biophys J* 1994; 66:259-267.
3. Basser PJ, Mattiello J, LeBihan D. Estimation of the effective self-diffusion tensor from the NMR spin echo. *J Magn Reson B* 1994; 103:247-254.
4. Yang Q, Tress BM, Barber PA, et al. Serial study of apparent diffusion coefficient and anisotropy in patients with acute stroke. *Stroke* 1999; 30:2382-2390.
5. Sorensen AG, Wu O, Copen WA, et al. Human acute cerebral ischemia: detection of changes in water diffusion anisotropy by using MR imaging. *Radiology* 1999; 212:785-792.
6. Carano RA, Li F, Irie K, et al. Multispectral analysis of the temporal evolution of cerebral ischemia in the rat brain. *J Magn Reson Imaging* 2000; 12:842-858.
7. Green HA, Pena A, Price CJ, et al. Increased anisotropy in acute stroke: a possible explanation. *Stroke* 2002; 33:1517-1521.
8. Yoshikawa T, Aoki S, Masutani Y, Abe O, Mori H, Ohtomo K. Diffusion tensor imaging of cerebral infarctions: analysis of aDC and DTI scalar metric (fractional anisotropy and eigenvalues). In:RSNA. Chicago, 2002; 278.
9. Lee SK, Mori S, Kim SY, Kim DJ, Kim DI. Diffusion tensor MRI and fiber tractography visualizes altered hemispheric fiber connections in callosal dysgenesis. *Am J of Neuroradiol* 2003:(In press).
10. Lee SK, Mori S, Kim DI, Kim DJ. Diffusion tensor MRI and fiber tractography in developmental CNS anomalies: new method describing aberrant fiber connections. In:RSNA. Chicago, 2003.
11. Eriksson SH, Rugg-Gunn FJ, Symms MR, Barker GJ, Duncan JS. Diffusion tensor imaging in patients with epilepsy and malformations of cortical development. *Brain* 2001; 124:617-626.
12. Filippi M, Cercignani M, Inglese M, Horsfield MA, Comi G. Diffusion tensor magnetic resonance imaging in multiple sclerosis. *Neurology* 2001; 56:304-311.
13. Guo AC, MacFall JR, Provenzale JM. Multiple sclerosis: diffusion tensor MR imaging for evaluation of normal-appearing white matter. *Radiology* 2002; 222:729-736.
14. Lee SK, Mori S, Kim DJ, et al. Diffusion tensor MRI and fiber tractography of cerebellar atrophy in phenytoin users. *Epilepsia* 2003:(In press).
15. Inglese M, Salvi F, Iannucci G, Mancardi GL, Mascalchi M, Filippi M. Magnetization transfer and diffusion tensor MR imaging of acute disseminated encephalomyelitis. *AJNR Am J Neuroradiol* 2002; 23:267-272.
16. Hoon AH, Jr., Lawrie WT, Jr., Melhem ER, et al. Diffusion tensor imaging of periventricular leukomalacia shows affected sensory cortex white matter pathways. *Neurology* 2002; 59:752-756.
17. Yamada K, Kizu O, Mori S, et al. Brain fiber tracking with clinically feasible

- diffusion-tensor MR imaging: initial experience. *Radiology* 2003; 227:295-301.
18. Lee SK, Kim DI, Kim SY, In YK, Kim SH. Measurement of fractional anisotropy in normal cerebral white matter and brain tumors with diffusion tensor imaging. *J Korean Radiol Sci* 2002; 47:147-153.
  19. Rugg-Gunn FJ, Eriksson SH, Symms MR, Barker GJ, Duncan JS. Diffusion tensor imaging of cryptogenic and acquired partial epilepsies. *Brain* 2001; 124:627-636.