대한영상의학회지 2006;55:321 - 326

3.0T 자기공명영상기기에서 PROPELLER와 에코평면 확산강조영상: 접형동의 함기화의 정도에 따른 뇌교부위의 자기화률인공음영[1]

손 철 호[1,3] · 김 인 수[2]

목적: 공기화(pneumatization)가 잘 발달되어 있는 접형동의 경우 에코평면영상 확산강조영상에서 뇌간, 특히 뇌교부위에 자기화율 인공음영을 관찰할 수 있다. 급성스핀에코 periodically rotated overlapping parallel lines with enhanced reconstruction(PROPELLER)기법을 이용한 확산강조영상은 이들 인공음영을 감소시킬 수 있는 새롭고 기법으로 소개되고 있다. 3.0T 자기공명기기에서 먼저 접형동의 발달 정도와 뇌교부위의 자기화률인공음영 발생과의 관계를 알아보고 에코평면영상 확산강조영상에서 자기화률인공음영이 발생한 군에서 PROPELLER 확산강조영상을 시행하여 이들 인공음영이 제거되는지를 관찰하였다.

대상과 방법: 에코평면영상 확산강조영상을 시행하여 접형동의 함기화의 정도에 따라 분류된 60명(평균연령 58세, 남녀 각각 30명)의 환자를 대상으로 하였다. 접형동의 함기화의 정도는 터어키안 바닥을 이루는 접형골이 50% 미만으로 함기화된 경우를 type - 1, 50% 이상으로 함기화된 경우를 type - 2로 분류하였다. 먼저 각 형태에서 뇌교부위에 자기화률인공음영의 발생유무를 확인하였고, type - 1, 2에서 각각 10명(평균연령 53세)에서는 PROPELLER 확산강조영상을 함께 시행하여 서로 비교하여 보았다. 사용한 기기는 3.0 tesla 자기공명영상기기에 뇌전용 표면코일을 사용하였고, 한 명의 신경영상전문의가 모든 영상을 평가하였다.

결과: Type - 1에서는 2명에서만(6.7%) 뇌교부위에 자기화률인공음영이 발생하였고, 28명에서는 인공음영이 발생하지 않았다. Type - 2에서는 27명에서(90%) 뇌교부위에 자기화률인공음영이 발생하였고, 3명에서는 발생하지 않았다. 통계학적으로 카이제곱검정(chi - square test)에서, 에코평면영상 확산강조영상에서 접형동의 함기화의 정도가 인공음영(artifact) 발생에 유의하게 관련이 있었다(p=0.000). 동시에 두 영상기법을 사용한 대상에서 PROPELLER 확산강조영상에서는 type - 1,2 모두(n=20) 뇌교부위에 자기화률인공음영은 발견되지 않았고, 에코평면영상 확산강조영상을 시행한 경우는 type - 1(n=10)에서는 모두 인공음영이 나타나지 않았지만, type - 2(n=10)에서는 모두 인공음영이 발견되었다.

결론: Type - 2의 함기화를 가진 접형동이 에코평면영상 확산강조영상에서 뇌교부위의 자기화률인공음영 발생과 관련이 있으며, 임상적으로 뇌졸중 진단을 위해 이들을 잘 인지하고 있어야 한다. 이들 인공음영의 제거를 위한 한가지 방법으로 PROPELLER 고속스핀에코 영상기법이 새로운 방법이 될 수 있을 것으로 생각된다.

확산강조영상(diffusion - weighted imaging: DWI)은 허혈성 뇌경색의 진단뿐만 아니라 일반적인 영상기법으로 사용될 정도로 널리 이용되고 있다. 기존의 DWI는 에코평면영상(echo planar imaging: EPI)을 이용하여 만들어지기 때문에 부비동 주위에서 심한 자기화율인공물(magnetic susceptibi - lity artifact: MSA)을 형성하여 영상 진단에 어려움을 일으킨다. 에코평면영상 확산강조영상(EPI - DWI) 에서 전두동과 유양동에 의한 MSA은 잘 알려졌고 이들 부위와 인접한 전두엽과 측두엽에 작은 병변이 있는 경우 진단에 어려움이 많다. 이들 부위에는 신경학적으로 중요 관련 부위가 아니라 임상적으로 큰 의미가 있는 것은 아니다. 그러나 뇌교, 뇌 연수부위에도 이러한 MSA가 자주 발생하게 되는데 이러한 경우는 임상적으로 정확한 진단을 요하게 되고 이를 극복하기 위해 횡단면뿐만 아니라 관상면 영상을 이용하여 다시 확인 것이 필요할

[1]계명대학교 의과대학 영상의학과교실
[2]계명대학교 의과대학 신경외과학교실
[3]계명대학교 의과대학 뇌연구소
이 논문은 2006년 5월 28일 접수하여 2006년 7월 8일에 채택되었음.

때도 있다. 특히 MSA의 발생 정도와 자지장의 세기는 비례하므로 3.0 tesla 자기공명영상기기에서는 MSA의 발생 정도가 더욱 심하게 나타난다(1, 2). 뇌교 부위의 MSA 발생 정도와 접형동의 함기화의 정도 사이에는 직접적인 관련이 있을 것으로 생각되는데 이것은 접형동이 사람마다 다르지만 함기화가 많이 발달하는 경우가 흔히 있기 때문이다(3). 3.0 tesla 자기공명영상기기에서 여기에 대한 보고는 없다. 이에 저자들은 먼저 이에 대한 관계를 확인하고자 하였다. 최근에 의식이 나쁜 환자들에 의해 발생하는 심한 움직임에 의한 인공음영을 해소 할 수 있는 방법으로 이용되고 있는 고속 스핀에코영상기법인 periodically rotated overlapping parallel lines with enhanced reconstruction (PROPELLER)기법 DWI가 MSA 발생을 감소시켜 뇌졸중의 진단에 유용하다는 보고가 있다(4, 5). 이에 저자들은 새로운 이 자기공명영상기법이 EPI - DWI에서 뇌교에 발생한 MSA를 제거 할 수 있는지를 함께 알아보고자 하였다.

대상과 방법

본원을 내원한 환자 중 두개기저와 후두와에 수술 경력이 있는 환자와, 치아 인공물에 의해 MSA가 발생한 환자는 제외하였고, 접형동에 부비동염 다른 낭종에 의해 접형동의 함기화를 평가하기가 어려운 경우의 환자도 본 연구에 포함하지 않았다. 접형동의 함기화 형태에 따라 분류된 60명(평균연령 58세, 남녀 각각 30명)을 대상으로 하였고, 접형동의 함기화 정도는 Jang 등(3)의 분류한 시상면에서의 함기화 정도를 변형하여 정중시상면 T2강조영상에서 터어키안의 바닥을 형성하는 접형골이 함기화가 전혀 되지 않은 경우와 말안장 결절(tuberculum sellae)과 안장등(dorsum sellae)을 이등분하는 가상선을 넘지 않는 앞쪽부위만 함기화된 경우를 type - 1, 이등분을 선을 넘거나, 안장등와 연하는 면까지 완전히 함기화된 경우를 type - 2로 정의하였다. Type - 1, 2군은 각각 30명으로 구성되었고, type - 1은 평균연령 57세, 남자 17명이었고, type - 2는 평균연령 58세, 여자가 17명이었다. 두군 모두에서 횡단면 EPI - DWI를 시행하여, 각 type에 따른 MSA의 발생 유무를 먼저 비교하였고, type - 1, 2 환자 중 10명에서 각각 EPI - DWI와 PROPELLER - DWI을 동시에 시행하여 서로 비교하였다. 뇌교부위에 발생한 MSA의 발생은 뇌교부위에 해부학적 구조의 변형이 있는 경우 또는 이와 동반된 고신호강도의 이상 신호가 발견될 때로 정의하였다. EPI - DWI에서 접

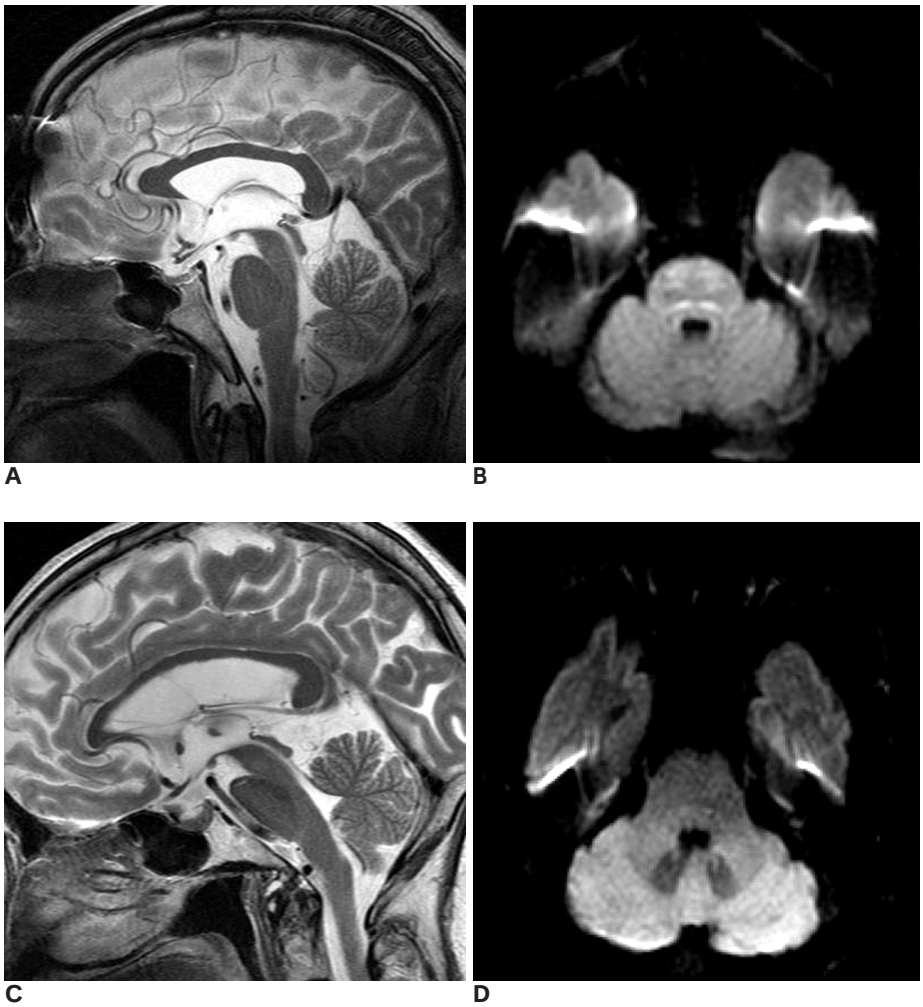

Fig. 1. Type-1 pneumatization of sphenoid sinus. Case 1; (**A**) midsagittal T2-weighted image shows less than 50% pneumatic sphenoid sinus, and (**B**) axial EPI diffusion-weighted image does not produce magnetic susceptibility artifact. Case 2; (**C**) midsagittal T2-weighted image also shows less than 50% pneumatic sphenoid sinus, but (**D**) axial EPI diffusion-weighted image appears mild anatomical distortion of basis pontis.

형동의 형태에 따른 MSA의 발생 유무와 PROPELLER - DWI에서 MSA의 소실 유무를 한 명의 신경 영상의학과 전문의가 평가하였다.

사용한 기기는 3.0 tesla 자기공명영상기기(Signa VHi, GE Medical system, MW, U.S.A.)와 뇌전용 표면코일을 사용하였다. 시상면 T2 강조영상은 TR 4000 msec, TE 106.2 msec, 절편두께 5 mm, 촬영시야 23 cm이었고, 횡단면 에코평면영상 확산강조영상과 PROPELLER 확산강조영상은 다음과 같은 조건으로 영상을 획득하였다: 에코평면영상 확산강조영상, TR 7000 msec, TE 74.5 msec, 절편두께 5 mm, 촬영시야 24 cm, NEX 2, 격자크기 144×144, 촬영시간 56초; PROPELLER 확산강조영상, TR 3000 msec, TE 80 msec, 절편두께 5 mm, 촬영시야 24 cm, NEX 4회, 격자크기 256×144. 촬영시간 2분53초.

통계적인 분석은 EPI - DWI를 실시한 type - 1, 2군에서 접형동의 함기화와 뇌교부위에서 발생하는 자기화률인공음영의 관련성을 보기 위해 Chi - square 검정을 하였고, SPSS 소프트웨어(version 11.0; SPSS Inc. Chicago, IL)를 이용하였다. PROPELLER 확산강조영상을 함께 실시한 각 군에서는 뇌교부위에 발생한 자기화률인공음영의 발생률을 비교하였다.

결 과

Type - 1에서는 2명에서만(6.7%) 뇌교부위에 MSA가 발생하였고, 28명에서는 인공음영이 발생하지 않았다(Fig. 1). Type - 2에서는 27명에서(90%) 뇌교부위에 MSA가 발생하였고, 3명에서는 발생하지 않았다(Fig. 2). 즉, 접형동의 함기화가 발달 정도가 통계적으로 의미 있게 EPI - DWI에서 뇌교부위의 MSA의 발생과 관련이 있은 것으로 나타났다($p < 0.001$). 동시에 두 영상기법을 사용한 대상에서 PROPELLER - DWI에서는 type - 1,2 모두(n=20) 뇌교부위에 MSA는 발견되지 않았고, EPI - DWI를 시행한 경우는 type - 1(n=10)에서는 모두 인공음영이 나타나지 않았지만, type - 2(n=10)에서는 모두 인공음영이 발견되어(Fig. 3), PROPELER - DWI가 의미 있게 MSA 발생률이 EPI - DWI보다 낮게 나타났다($p <$ 0.001).

고 찰

높은 신호대잡음비의 장점 덕분에 고자장(> 1.5 tesla) 자기공명영상기기는 최근에 국내에 많이 도입이 되어 이용되고

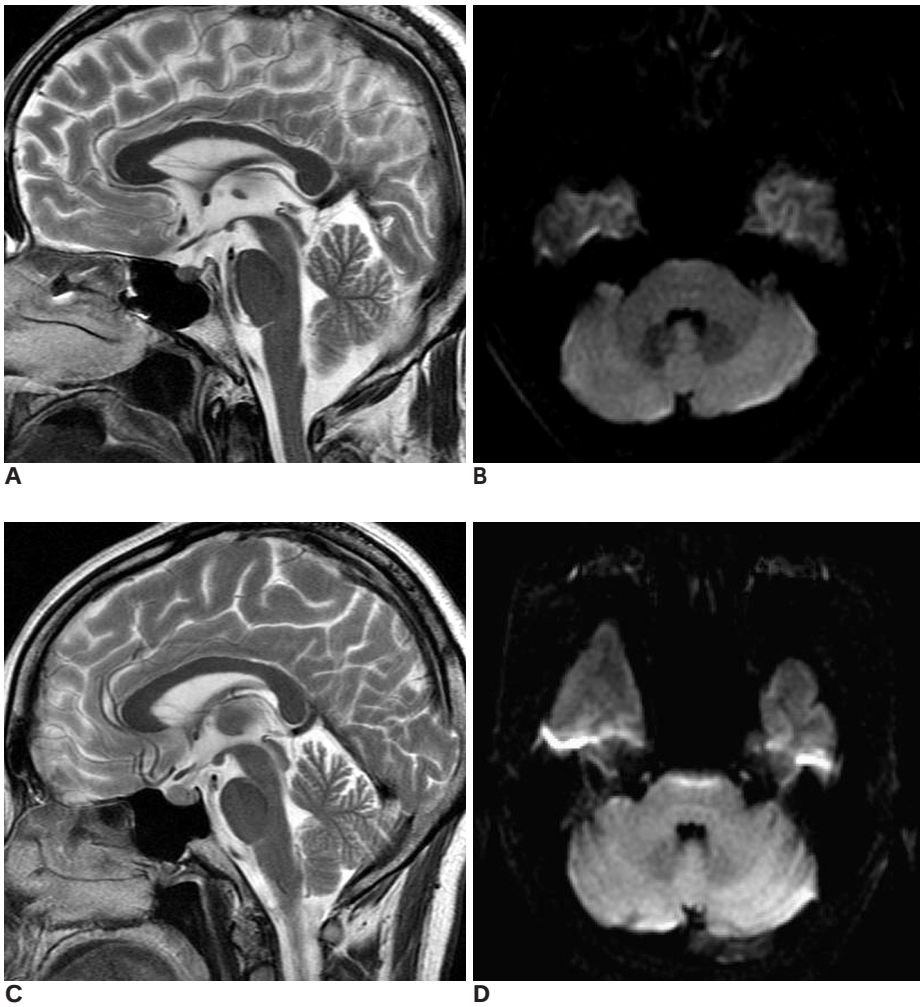

Fig. 2. Type-2 pneumatization of sphenoid sinus. Case 1; (**A**) midsagittal T2-weighted image shows more than 50% pneumatic sphenoid sinus, but (**B**) axial EPI diffusion-weighted image (DWI) does not make magnetic susceptibility artifact. Case 2; (**C**) midsagittal T2-weighted image shows fully pneumatization of sphenoid bone, and (**D**) axial EPI DWI shows high signal intensity susceptibility artifact at the anterior portion of basis pontis.

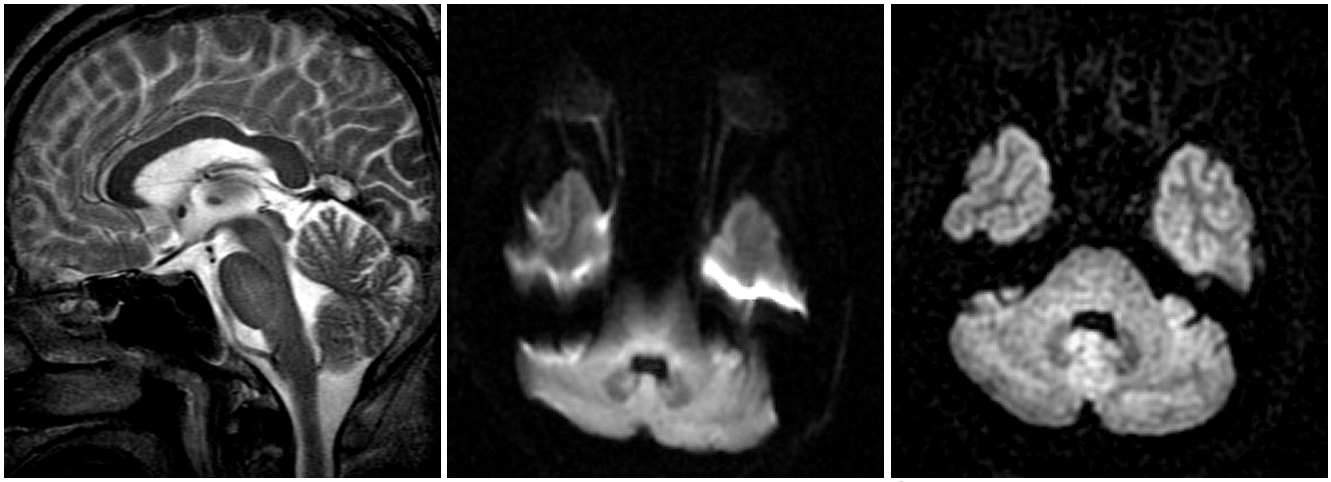

Fig. 3. Midsagittal T2-weighted image (**A**) shows type-2 pneumatic sphenoid sinus. Echo planar imaging diffusion weighted image (**B**) shows severe anatomical distortion of pons due to magnetic susceptibility artifact, but fast spin-echo periodically rotated overlapping parallel lines with enhanced reconstruction (PROPELLER) image clearly cancels the artifact.

있다. 장점으로 출혈성 병변을 찾아내는데 용이한 증가한 자기화률이 하나의 단점으로 작용하여 MSA를 강하게 발생하게 되며, 이러한 인공음영으로 인해 오진을 하거나 정확한 병변을 찾지 못하는 경우가 있다. 특히 뇌간부위에 횡단면 확산강조영상에서 MSA가 발생하여 진단에 어려움이 있는 경우는 관상면 확산강조영상을 필요로 할 수도 있다. MSA를 제거하거나 감소시키기 위한 노력의 하나로 고속 스핀에코영상을 이용한 PROPELLER기법이 이용되고 있다(4-6). PROPELLER 영상 기법은 각각의 영사획득 동안 케이 공간(k-space)의 중심을 통과하는 띠 또는 칼날로 불리는 크기로 공간부호화(spatial encoding)를 측정하고 이 띠를 360도 회전하면서 영상에 필요한 모든 공간부호화를 측정하게 된다. 즉, 각각의 모든 띠 속으로 k-space의 중심부위와 제한된 주변부의 k-space의 정보가 담겨 있는데 이들 각각 띠의 정보를 모아 영상을 이루게 된다. 각각의 띠에 담겨 있는 중심부 k-space의 저 주파수 부위의 반복된 표본추출이 PROPELLER기법의 가장 중요한 구성요소이다. 이러한 형태로 표본 추출된 테이터로 만들어진 영상은 비슷한 형태를 보이게 되는데 만약 영상획득 여기(excitation)와 다음 여기 사이에 차이가 발생하게 되면 정보를 수정할 수 있게 된다. 이러한 PROPELLER기법을 사용하게 되면 환자의 움직임에 의한 인공음영을 다시 재건하여 영상의 질을 향상시킬 수 있다. 따라서 이 기법은 임상적으로 먼저 협조가 되지 않은 의식이 나쁜 환자에서 많은 움직임에 의한 심한 인공음영의 발생을 제거할 목적으로 먼저 이용되었다(7, 8). 그 뿐만 아니라 급성 스핀 에코영상기법을 사용함으로써 여러 개의 재초점화 180도 펄스들이 조밀하게 연속적으로 배치되어 있어서 스핀들이 자장 비균질성이 높은 영역을 지나더라도 연속적으로 재위상 되므로 자장의 비균질성에 의한 탈위상 효과가 작기 때문에 심각한 MSA을 줄일 수가 있다.

현재까지는 대부분의 확산강조영상은 에코평면영상기법을 통해 획득되는데 이 기법은 전두동, 측두골, 두개기저 부위에 심한 MSA를 발생시켜서, 특히 1.5 tesla 이상의 자기장을 가진 자기공명영상기기에서는 더욱 심한 인공음영의 발생을 유도하게 된다. 확산강조영상은 급성 뇌졸중의 진단에 매우 유용하게 사용되고 있고, 특히 작은 열공성 뇌졸중의 진단에서는 다른 영상기법의 추종을 허락하지 않고 있다. 뇌간부위등에 작은 급성 뇌졸중이 의심이 될 때 시행한 확산강조영상에서 뇌교부위에 접형동의 함기화에 의한 MSA가 발생하여 진단에 어려움이 있을 때가 자주 발생하고 횡단면 이외의 관상면 확산강조영상을 필요로 할 때가 있다. 그러나 이러한 관상면 확산강조영상도 인공음영에 완전히 자유로울 수가 없는 것이 또한 사실이다. 이러하면 MSA가 발생하지 않는 PROPELLER기법은 매우 유용하다 할 수 있다. 본 연구에서는 함기화가 잘 된 접형동이 뇌교부위의 MSA 발생과 관련이 있다는 것을 알 수 있었고, 아직까지 촬영시간이 길다는 단점은 있지만 PROPEL-LER기법을 이용하는 것이 정확한 진단에 도움이 될 것으로 생각된다.

본 연구 결과에서 type 1형태 2명에서 자기화률인공음영이 발생하였고, type 2 형태 3명에서 인공음영이 발생하지 않은 것은 함기화의 형태를 중앙 시상면으로 결정 한데서 기인한 것으로 생각된다. 이것은 접형동의 함기화가 다양한 형태로 일어나는 것을 부연하는 것이며 시상면 중간부위 접형골의 함기화의 정도가 대부분의 접형동 함기화의 정도와 잘 일치는 하는 양상을 보였지만 일부에서 측면부위 접형골 함기화의 정도와 일치하지 않는 경우로 생각된다. 본 연구의 제한점은 모두 증례에서 PROPELLER 확산강조영상을 시행하지 않아 에코평면영상 확산강조영상과 제한적으로 발생률만을 비교할 수 밖에 없었다는 것이다. 그리고 다른 한 가지 큰 제한점은 유양동 함기화가 뇌교부위에 발생하는 MSA에 전혀 영향을 주지 않는다는 것을 증명하지 않았다는 방법론적인 문제점이 있다.

결론적으로 뇌졸중 등의 진단에 확산강조영상을 이용함에,

특히 1.5 tesla 이상의 고자장 자기공명영상기기를 사용하는 경우, 접형동의 함기화가 잘 되어 있는 환자에서 뇌교를 중심으로 해부학적 구조의 변형 또는 고신호강도가 관찰될 때 자기화률인공음영과의 감별에 유의해야 하며, 임상적 소견과 잘 부합되지 않으면, PROPELLER기법을 이용한 확산강조영상으로 확인하는 것이 도움이 될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Frayne R, Goodyear BG, Dickhoff P, Lauzon ML, Sevick RJ. Magnetic resonance imaging at 3.0 Tesla: challenges and advantages in clinical neurological imaging. *Invest Radiol* 2003;38:385-402
2. Lin W, An H, Chen Y, Nicholas P, Zhai G, Gerig G, et al. Practical consideration for 3T imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2003;11:615-639, vi
3. Jang YJ, Kim SC. Pneumatization of the sphenoid sinus in children evaluated by magnetic resonance imaging. *Am J Rhinol* 2000;14:181-185
4. Forbes KP, Pipe JG, Karis JP, Heiserman JE. Improved image quality and detection of acute cerebral infarction with PROPELLER diffusion-weighted MR imaging. *Radiology* 2002;225:551-555
5. Wang FN, Huang TY, Lin FH, Chuang TC, Chen NK, Chung HW, et al. PROPELLER EPI: an MRI technique suitable for diffusion tensor imaging at high field strength with reduced geometric distortions. *Magn Reson Med* 2005;54:1232-1240
6. Pipe JG, Farthing VG, Forbes KP. Multishot diffusion-weighted FSE using PROPELLER MRI. *Magn Reson Med* 2002;47:42-52
7. Forbes KP, Pipe JG, Bird CR, Heiserman JE. PROPELLER MRI: clinical testing of a novel technique for quantification and compensation of head motion. *J Magn Reson Imaging* 2001;14:215-222
8. Pipe JG. Motion correction with PROPELLER MRI: application to head motion and free-breathing cardiac imaging. *Magn Reson Med* 1999;42:963-969

J Korean Radiol Soc 2006;55:321 - 326

PROPELLER (periodically rotated overlapping parallel lines with enhanced reconstruction) and EPI Diffusion-weighted MR Imaging at 3.0 T: Pontine Magnetic Susceptibility Artifacts Depend on Pneumatization of the Sphenoid Sinus[1]

Chul-Ho Sohn, M.D.[1,3], In-Soo Kim, M.D.[2]

[1]Department of Radiology, [2]Neurosurgery, and [3]Brain Research Institution, College of Medicine, Keimyung University, Daegu, Korea

Purpose: In the case of well pneumatized sphenoid sinus, magnetic susceptibility artifact can be visualized at the brainstem and especially at the pons on echo-planar imaging (EPI) diffusion-weighted imaging. Fast spin-echo periodically rotated overlapping parallel lines with enhanced reconstruction (PROPELLER) is a novel imaging method that can reduce these artifacts. In 3.0T MR, we first evaluate the degree of the relationship of pneumatization of the sphenoid sinus with the occurrence of magnetic susceptibility artifacts (MSA) on the echo planar imaging (EPI) diffusion-weighted imaging (DWI), and we evaluated using PROPELLER-DWI for cancellation of MSAs of the pons in the patients who had MSAs on the EPI-DWI.

Materials and Methods: Sixty subjects (mean age: 58 years old and there were 30 men) who were classified according to the two types of sphenoid sinus underwent EPI-DWI. The two types of sphenoid sinus were classified by the degree of pneumatization on the sagittal T2-weighted image. The type-1 sphenoid sinus was 0% to less than 50% aeration of the bony sellar floor, and type-2 was 50% or more aeration of the boney sellar floor. Each of 10 subjects (n=20/60, mean age: 53) of the two types had PROPELLER and EPI-DWI performed simultaneously. We first evaluated the absence or presence of MSAs at the pons in the two types, and we compared EPI and PROPELLER-DWI in the subjects who underwent the two MR sequences simultaneously. We used 3.0T MR (Signa VHi, GE, MW, U.S.A.) with a standard head coil. All the MR images were interpreted by one neuroradiologiest.

Results: For the type-1, two (6.7%) cases had MSAs and 28 (93.7%) cases did not have MSAs on the EPI-DWI. For the type-2, twenty-seven (90%) cases had MSAs and 3 (10%) cases did not have MSAs on the EPI-DWI. The degree of pneumatization of the sphenoid sinus was related with the occurrence of MSAs of the pons, according to the chi-square test ($p=0.000$). All twenty cases who had PROPELLER-DWI performed had no MASs at the pons regardless of the type of sphenoid sinus. But all ten cases of type-2 produced MASs on the EPI-DWIs

Conclusion: For EPI-DWI, a well aerated sphenoid sinus can induce MASs at the pons, and we should recognize this phenomenon to differentiate it from true infarcted lesion. PROPELLER DWI can be an optional tool to use for canceling this artifact.

Index words : Brain, MR
Magnetic resonance (MR), artifact
Magnetic resonance (MR), diffusion study

Address reprint requests to : Chul-Ho Sohn, M.D., Department of Radiology, Dongsan Medical Center, Keimyung University School of Medicine, 194 DongSan-dong, Jung-gu, Daegu 700-712, Korea
Tel. 82-53-250-7767 Fax. 82-53-250-7766 E-mail: chsohn@dsmc.or.kr