

Utility of Two Types of MR Cisternography for Patency Evaluation of Aqueduct and Third Ventriculostomy Site: Three Dimensional Sagittal Fast Spin Echo Sequence and Steady-State Coherent Fast Gradient Echo Sequence

수도관 및 3뇌실조루술 개통성 평가에 대한 두 종류 자기공명 뇌수조
검사의 유용성: 3차원 시상면 고속스핀에코 기법과 항정 상태 결집 고속
경사에코 기법

Jung Hyun Park, MD¹, Eunhee Kim, MD¹, Jong Bin Park, BS¹, Jae Hyoung Kim, MD¹,
Byung Se Choi, MD¹, Cheolkyu Jung, MD¹, Yun Jung Bae, MD¹, Kyung Mi Lee, MD^{1,2}

¹Department of Radiology, Seoul National University College of Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, Seongnam, Korea

²Department of Radiology, Kyung Hee University College of Medicine, Kyung Hee University Hospital, Seoul, Korea

Purpose: We aimed to evaluate the utility of two types of MR cisternography [fast spin echo sequence and steady-state coherent gradient echo (GRE) sequence] in addition to phase contrast-cine imaging (PC-cine), for assessing patency at the aqueduct and third ventriculostomy site.

Materials and Methods: 43 patients (35 patients with suspected aqueductal stenosis and 8 patients with third ventriculostomy) were retrospectively analyzed. PC-cine, 3 dimensional sagittal fast spin echo sequence [driven-equilibrium imaging (DRIVE) or volumetric isotropic T2-weighted acquisition (T2 VISTA)] and steady-state coherent fast GRE sequence (balanced turbo field echo; bTFE) imaging were performed in all patients. The patency of the aqueduct or third ventriculostomy site was scored. Some pitfalls of each sequence were also analyzed in individual cases.

Results: 93% of all cases showed consistent scores in PC-cine, DRIVE/T2 VISTA, and bTFE imaging. DRIVE/T2 VISTA imaging provided functional information of cerebrospinal fluid flow with flow-related artifacts, while bTFE imaging allowed direct visualization of the aqueduct or ventriculostomy site. However, evaluation of anatomical structures was difficult in three cases with strong flow-related artifacts on DRIVE/T2 VISTA and in 2 cases with susceptibility artifacts on bTFE.

Conclusion: Both DRIVE/T2 VISTA and bTFE imaging have complementary roles in evaluating the patency of the aqueduct and 3rd ventriculostomy site.

Index terms

Aqueductal Stenosis
Third Ventriculostomy
Volumetric Isotropic T2-Weighted Acquisition
Driven-Equilibrium Imaging
Balanced Turbo Field Echo

Received January 12, 2015

Accepted March 22, 2015

Corresponding author: Eunhee Kim, MD
Department of Radiology, Seoul National University
College of Medicine, Seoul National University
Bundang Hospital, 82 Gumi-ro 173beon-gil,
Bundang-gu, Seongnam 463-707, Korea.
Tel. 82-31-787-7629 Fax. 82-31-787-4011
E-mail: xmida@hanmail.net

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This work was supported by grant number 02-2013-061 from the SNUBH Research Fund.

서론

수도관 협착증(aqueductal stenosis)은 비교적 흔한 수두증의 중요한 원인 중 하나로 수두증을 가진 성인 환자의 약 10%를 차지한다(1). 일차성 수도관 협착의 경우 뇌실복강전트(ventricular

peritoneal shunt)보다 내시경적 3뇌실조루술(endoscopic third ventriculostomy)이 훨씬 선호되는데, 3뇌실조루술의 경우 수술 성공률이 약 90%로 높으며 부작용 발생 비율이나 교정술 시

행 비율이 현저히 적기 때문이다(1, 2). 따라서 수도관 협착에 의한 수도증 환자의 경우 수술 전 수도관협착의 진단이 중요하며, 수도관 협착으로 진단된 후 3뇌실조루술을 시행한 경우에는 수술 부위의 기능 평가가 중요하게 된다.

기존의 논문에서 수도관 개통성이나 3뇌실조루술 후 개통성 평가에 있어서 phase contrast cine imaging (이하 PC-cine 영상)과 3차원 constructive interference in the steady state (이하 CISS)(2-5), 또는 sampling perfection with application-optimized contrasts using different flip angle evolution (이하 SP-ACE)(6, 7) 영상을 각각 비교하여 MR cisternography의 유용성을 보여주었다. 하지만, 서로 다른 특징을 보이는 gradient echo (이하 GRE) 기법과 fast spin echo (이하 FSE) 기법 두 종류의 MR cisternography를 함께 촬영하여 수도관 개통성이나 3뇌실조루술 후 개통성을 평가한 논문은 현재까지 없었다. 따라서 본 연구에서는 PC-cine 영상 촬영 시 GRE 기법의 MR cisternography인 balanced turbo field echo (이하 bTFE 영상), FSE 기법인 driven-equilibrium imaging (이하 DRIVE) 또는 volumetric isotropic T2-weighted acquisition (이하 T2 VISTA)을 함께 촬영하여 수도관 개통성이나 3뇌실조루술 후 개통성 평가에 두 영상 기법이 어떠한 장단점이 있는지 알아보고 이의 임상적 효용성에 대해 알아보하고자 하였다.

대상과 방법

환자 선택 및 환자군 분류

본 연구는 본 기관의 임상시험심사위원회의 심의를 통과하였다. 2012년 11월부터 2014년 12월까지 시행한 연속된 89예의 cine MRI 중에서 PC-cine 영상, 3차원 시상면 DRIVE 혹은 T2 VISTA 영상 중 하나, 3차원 시상면 bTFE 기법을 모두 시행한 경우는 53예였다. 이 중 수도증 평가를 위해 수술 전 MRI 검사를 시행한 경우는 35예이고, 수도증 완화를 위한 수술 후 검사를 시행한 경우는 18예였다. 3뇌실조루술 이외의 수술을 시행한 8예는 분석에서 제외하였으며, 3뇌실조루술 후 한 환자에서 두 번 이상 검사한 중복 검사 2예를 제외하고, 최종적으로 43예가 연구 분석에 포함되었다. 이 중, 3뇌실조루술 시행 전 MRI를 시행한 35명은 수도관 협착 여부를 평가하기 위한 수술 전 집단으로 분류하였으며, 3뇌실조루술을 시행한 후 MRI를 시행한 8명은 천공 부위(ventriculostomy site)의 개통성을 평가하기 위한 수술 후 집단으로 분류하였다.

수술 전 집단으로 분류된 35명의 환자는 남자 16명, 여자 19명이었으며, 평균 연령은 28.7세, 연령 범위는 3개월~76세였다. 수술 후 집단으로 분류된 8명은 모두 수도관 협착으로 진단 받

은 후 3뇌실조루술을 시행한 환자들이며, 남자 6명, 여자 2명이었고, 평균 연령은 16.3세, 연령 범위는 6개월~69세였다.

영상 검사 방법

모든 MRI는 1.5 T 또는 3 T 장비(Achieva or Ingenia, Philips Medical System, Best, the Netherlands)의 8채널 또는 32채널 sensitivity-encoding 코일을 이용하여 시행하였다. 6세 이하의 모든 소아 환자는 500 mg/kg의 chloral hydrate를 구강을 통해 투여한 후 진정된 상태에서 검사하였다. 수도관 개통성 또는 3뇌실조루술 이후 개통성을 평가하기 위한 MRI 검사를 시행 시 2차원 시상면 PC-cine, FSE 계열의 MR cisternography 중 한 가지, 3차원 시상면 bTFE 기법을 포함하였다. FSE 계열의 MR cisternography는 1.5 T 장비에서는 3차원 시상면 DRIVE, 3 T 장비에서는 3차원 시상면 T2 VISTA 영상을 시행하였다.

2차원 시상면 PC-cine 영상 기법은 말초 맥박과 동기화(peripheral gating)하여, 정중면을 중심으로 시상면으로 모든 뇌실과 4뇌실 출구가 포함되는 범위를 설정한 후 촬영하였다. 유속 방향은 머리쪽에서 발쪽으로 설정하였다. R-R 창(window)은 심박수 60회를 기준으로 90%에서 120% 내에 심박수가 해당하는 경우로 정하여 162 위상 부호화 단계(phase encoding step)의 펄스 신호를 얻어 한 틀(frame)을 획득하였다. 총 20틀(frame)을 획득한 후 강도 영상(magnitude image)과 위상 영상(phase image)으로 재구성하였다. Cine 영상 획득 시간은 심박수에 따라 약간 변동성이 있지만 대략 4~5분 정도 걸렸다. 획득한 MR 영상 변수는 다음과 같았다: 반복시간(repetition time; 이하 TR), 21 ms; 반향시간(echo time; 이하 TE), 10 ms; 숙임각(flip angle), 10°; 여기수(number of excitation), 2; 영상 범위(field of view), 220 × 220 mm; 획득 행렬크기(acquired matrix), 236 × 234; 재구성 행렬크기(reconstructed matrix), 240 × 240; 절편 두께(section thickness), 10 mm; 수도관의 뇌척수액 흐름의 평가를 잘 보기 위해 속도 부호화 민감도(velocity encoding sensitization)는 3 cm/s로 정하였다.

3차원 시상면 DRIVE 영상의 영상 변수는 다음과 같다: TR/TE, 1500/250 ms; 숙임각, 90°; 에코열 길이(echo train length), 77; 여기수, 2; 영상 범위, 150 × 150 mm; 획득 행렬크기, 352 × 319; 재구성 행렬크기, 512 × 512; 절편 두께, 1.4 mm; 절편 간격(slice spacing), 0.7 mm; 절편수 70; 획득 시간, 2분 43초.

3차원 시상면 T2 VISTA 영상의 영상 변수는 다음과 같다: TR/TE, 2000/256 ms; 숙임각, 90°; 에코열 길이, 74; 여기수, 1; 영상 범위, 150 × 150 mm; 획득 행렬크기, 216 × 214; 재구성 행렬크기, 528 × 528; 절편 두께, 1.4 mm; 절편 간격,

0.7 mm; 절편수 70; 획득시간, 1분 58초.

3차원 시상면 bTFE 영상의 영상 변수는 다음과 같다: TR/TE, 7/3.5 ms; 숙임각, 60°; 에코열 길이, 256; 여기수, 1; 영상 범위, 150 × 150 mm; 획득 행렬크기, 332 × 334; 재구성 행렬크기, 512 × 512; 절편 두께, 1.4 mm; 절편 간격, 0.7 mm; 절편수, 70; 획득시간 1분 40초.

영상분석

영상의학과 신경 영상 전문의 한 명과 영상의학과 전공의 한 명이 함께 영상을 보면서, 의견 일치를 통해 각 기법의 영상을 분석하였다. T2 VISTA 또는 DRIVE 영상에서는 수도관의 개통성이 정상인 경우에 뇌척수액의 흐름에 의한 유동성 인공물(flow-related artifact)이 잘 보이나, bTFE 영상에서는 내재된 유동 보상 기전에 의해 유동성 인공물이 거의 보이지 않았다(Fig. 1). 따라서 본 연구에서는 수술 전 영상에서 수도관의 개통성을 좀 더 객관적으로 평가하기 위해 각 영상 기법에서 개통성의 정도를 따라 다음의 기준에 따라 분류하였다.

PC-Cine 영상

0등급: 수도관에 뇌척수액의 흐름이 수축기와 이완기에 모두 잘 보인다.

1등급: 수도관내 뇌척수액의 흐름이 가늘게 보인다.

2등급: 수축기와 이완기 모두에서 수도관내 흐름이 거의 혹은 전혀 보이지 않는다.

T2 VISTA/DRIVE 영상

0등급: 수도관의 내강에 협착이나 종괴의 소견이 없으며, 수도관내에 뇌척수액의 박동성 흐름에 의한 저신호강도의 유동성 인공물(flow-related artifact)이 잘 보인다.

1등급: 수도관의 개통성은 있으나 내강이 좁아져 있으며, 수도관내에 유동성 인공물이 작게 보인다.

2등급: 수도관의 내강에 협착 또는 갈퀴막이나 종괴 등에 의한 폐쇄 소견이 보이거나, 수도관내에 뇌척수액의 흐름에 의한 유동성 인공물이 거의 혹은 전혀 보이지 않는다.

bTFE 영상

0등급: 수도관의 개통성이 확인되며 내강에 협착이나 종괴의 소견이 없다.

1등급: 수도관의 개통성은 있으나, 협착에 의해 내강이 정상 부위에 비해 1/2 이상 좁아져 있다.

2등급: 수도관의 내강에 협착 또는 갈퀴막이나 종괴 등에 의해 거의 혹은 완전한 폐쇄 소견을 보인다.

3뇌실조루술을 시행한 수술 후 영상은 3뇌실 바닥에 위치한

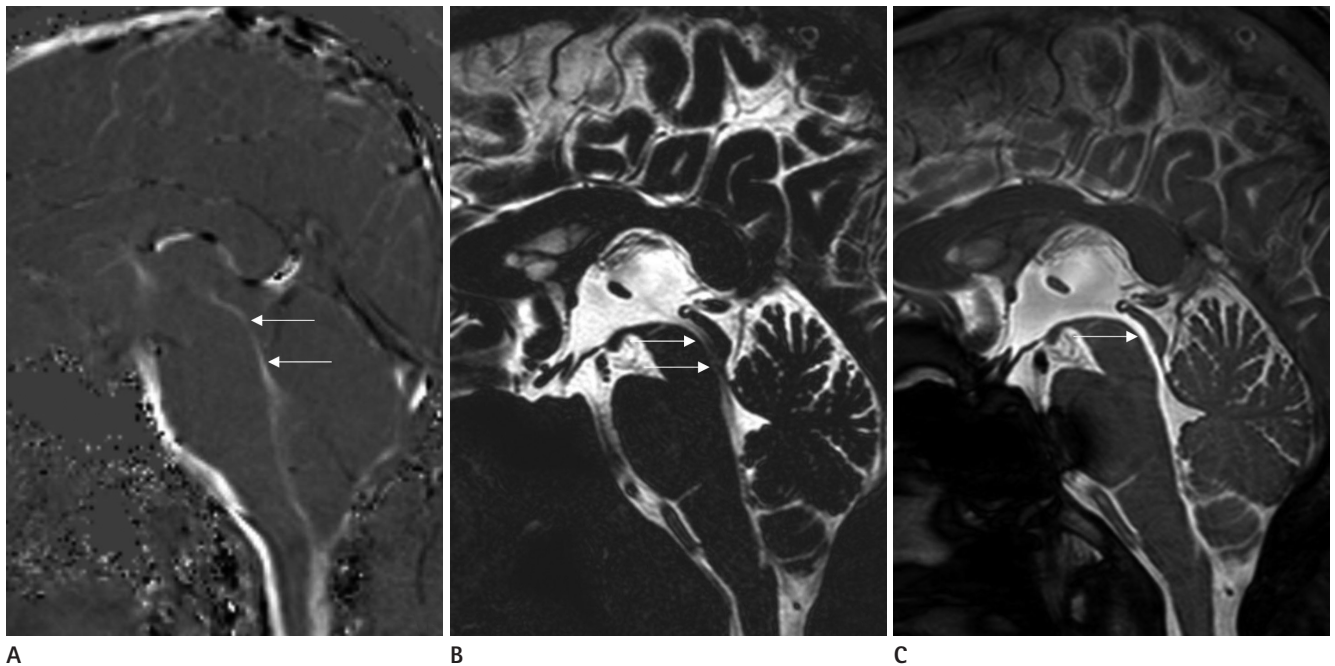


Fig. 1. A 47-year-old man with Chiari malformation.

A. Phase-contrast cine image shows active cerebrospinal fluid pulsation through the aqueduct (arrows).

B. Volumetric isotropic T2-weighted acquisition image shows patent aqueduct and flow-related artifact within the patent aqueduct (arrows).

C. Balanced turbo field echo image shows patent aqueduct without flow-related artifact (arrow).

천공부위를 평가하였으며, 다음과 같은 기준으로 평가하였다.

PC-Cine 영상

0등급: 천공부위에 뇌척수액의 흐름이 수축기와 이완기에 모두 잘 보인다.

1등급: 천공부위에 뇌척수액의 흐름이 가늘게 보인다.

2등급: 천공부위에 수축기와 이완기 모두에서 수도관내 뇌척수액의 흐름이 거의 혹은 전혀 보이지 않는다.

T2 VISTA/DRIVE 영상

0등급: 천공 부위에 결손이 1~2 mm 이상 보이고, 이 부위에 뇌척수액의 박동성 흐름에 의한 저신호강도의 유동성 인공물이 잘 보인다.

1등급: 천공 부위에 작은 결손이 의심되거나, 3뇌실 바닥 부위에 유동성 인공물에 의한 저신호강도가 작게 보인다.

2등급: 천공 부위에 결손이 전혀 보이지 않고, 3뇌실 바닥 부위에 유동성 인공물이 전혀 보이지 않는다.

bTFE 영상

0등급: 천공 부위에 결손이 1~2 mm 이상 보인다.

1등급: 천공 부위에 작은 결손이 의심된다.

2등급: 천공 부위에 결손이 전혀 보이지 않는다.

각각의 영상 기법에서 수도관의 개통성 또는 3뇌실조루술 후 천공부위의 개통성을 등급표에 의해 평가하였고, 각각의 증례에서 영상 기법들의 장단점을 기록하였다.

결과

수술 전 집단에서 수도관 협착증의 평가

수술 전 집단으로 분류된 35명 중 15명에서 수도관 협착이 있었다. 수도관 협착이 있는 환자군은 남자 8명, 여자 7명이며, 이들의 평균 연령은 35.2세, 연령 범위는 3개월~76세였다. 이들 15명 중 7명은 DRIVE 영상을, 나머지 8명은 T2 VISTA 영상을 시행하였다.

수도관 협착이 있는 15명 환자에서 수도관 협착의 원인, 각 영상 기법에서의 수도관 개통성에 대한 영상 점수 및 추후 경과에 대해 Table 1에 요약하였다. 15명의 수도관 협착 환자 중 12명에서 PC-cine, T2 VISTA/DRIVE, bTFE 기법 모두에서 영상 점수의 일치를 보였다(1 또는 2등급). 세 영상 기법에서 점수의 일치를 보이지 않았던 세 명 중 두 명(증례 3, 증례 15)은 PC-cine 영상에서 수도관 부위에 적은 양의 뇌척수액 흐름 또는 뇌척수액의 와류(turbulent flow)에 의해 약한 뇌척수액 박동이 있는 것으로 보였지만(1등급), T2 VISTA와 bTFE 영상에서는 갈퀴막이 발견되어 2등급으로 평가되었다(Fig. 2). 나머지 한 증례는 뇌저동맥 폭대기(basilar top)의 거대 뇌동맥류에 대해 코일 색전술을 시행한 환자로, 코일로 인한 인공물로 인해 bTFE 영상에서 수도관 개통성의 평가가 어려웠다(Fig. 3).

수도관 협착이 없는 20명은 남자 8명, 여자 12명이었으며, 평균나이가 23.8세, 연령 범위는 6개월~75세였다. 이들은 영상의학적 또는 임상적으로 키아리 기형(Chiari malformation) 7명, 정상 압력 수두증(normal pressure hydrocephalus) 4명, 교통성

Table 1. Comparison of PC-Cine, T2 VISTA/DRIVE and bTFE Imaging Scores for Evaluation of Aqueductal Patency

No	Sex	Age*	PC-Cine	T2 VISTA/DRIVE	bTFE	Cause of Stenosis	Progress
1	M	14 Y	2	2	2	Tectal glioma	ETV
2	F	54 Y	2	2	2	Web	Follow-up
3	M	54 Y	1	2	2	Web	Follow-up
4	M	3 M	2	2	2	Web	VPS
5	M	55 Y	1	1	1	Idiopathic	Follow-up
6	F	15 Y	2	2	2	Idiopathic	VPS
7	F	65 Y	2	2	NA due to artifact	Basilar top aneurysm	VPS
8	F	52 Y	2	2	2	Tectal glioma	Follow-up
9	F	76 Y	1	1	1	Idiopathic	Follow-up
10	F	42 Y	2	2	2	Web	Follow-up
11	M	30 Y	2	2	2	Web	Follow-up
12	F	4 M	2	2	2	Idiopathic	ETV
13	M	6 M	2	2	2	Large posterior fossa AC	ETV, AC decompression
14	M	23 Y	2	2	2	Idiopathic	ETV
15	M	47 Y	1	2	2	Web	Follow-up

*Y = years, M = months.

AC = arachnoid cyst, bTFE = balanced turbo field echo, DRIVE = driven-equilibrium imaging, ETV = endoscopic third ventriculostomy, NA = not assessed, PC-cine = phase contrast-cine imaging, T2 VISTA = volumetric isotropic T2-weighted acquisition, VPS = ventriculoperitoneal shunt

수두증(communicating hydrocephalus) 4명, 거대 수조(megacistern) 1명, 뇌백질 연화증(periventricular leukomalacia) 1명, 해면성 혈관종(cavernous hemangioma) 1명, 만성 경막하 출혈

(chronic subdural hematoma) 1명, 댄디-워커 변이(Dandy-Walker variant) 1명이었다. 이들 중 14명은 T2 VISTA 영상, 6명은 DRIVE 영상을 촬영하였다. 수도관 협착이 없는 모든 환자는

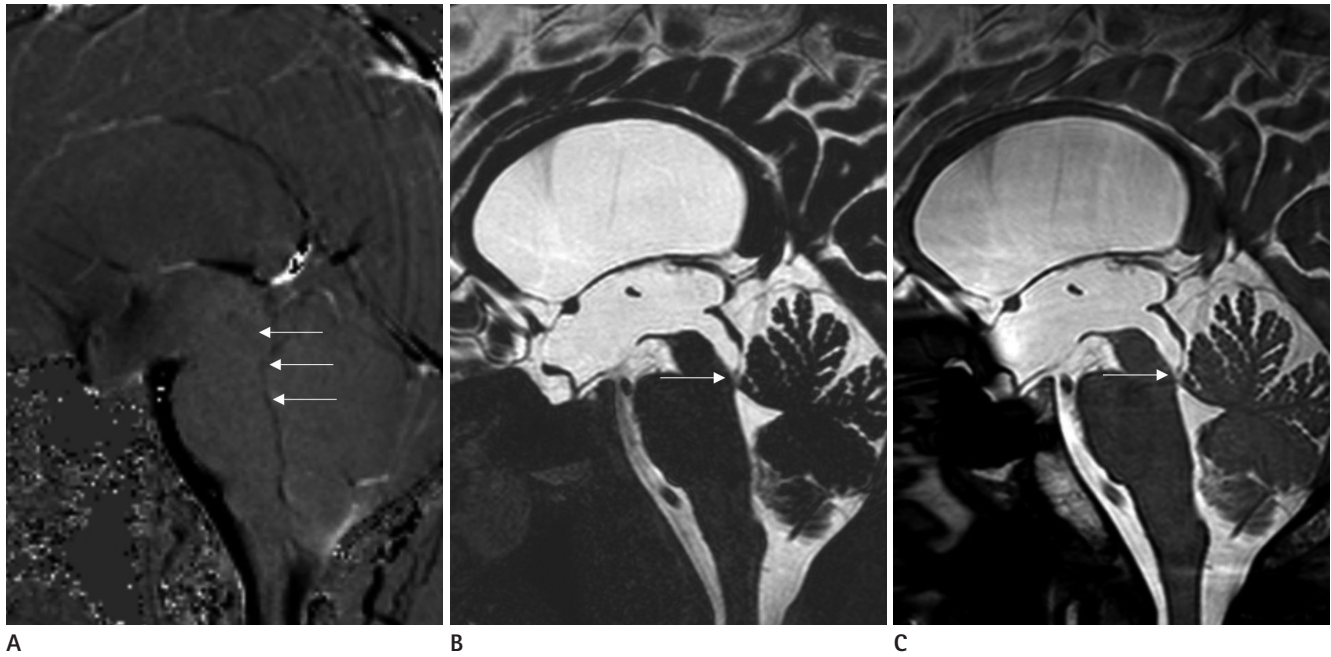


Fig. 2. A 54-year-old man with aqueductal stenosis.

A. Phase-contrast cine image shows faint cerebrospinal fluid pulsation through the aqueduct (arrows).

B, C. Both volumetric isotropic T2-weighted acquisition (T2 VISTA) (**B**) and balanced turbo field echo (**C**) images show web-like lesion at the superior medullary velum of the 4th ventricle causing aqueductal stenosis (arrow). Also there is no flow-related artifact through the aqueduct on T2 VISTA image (**B**).

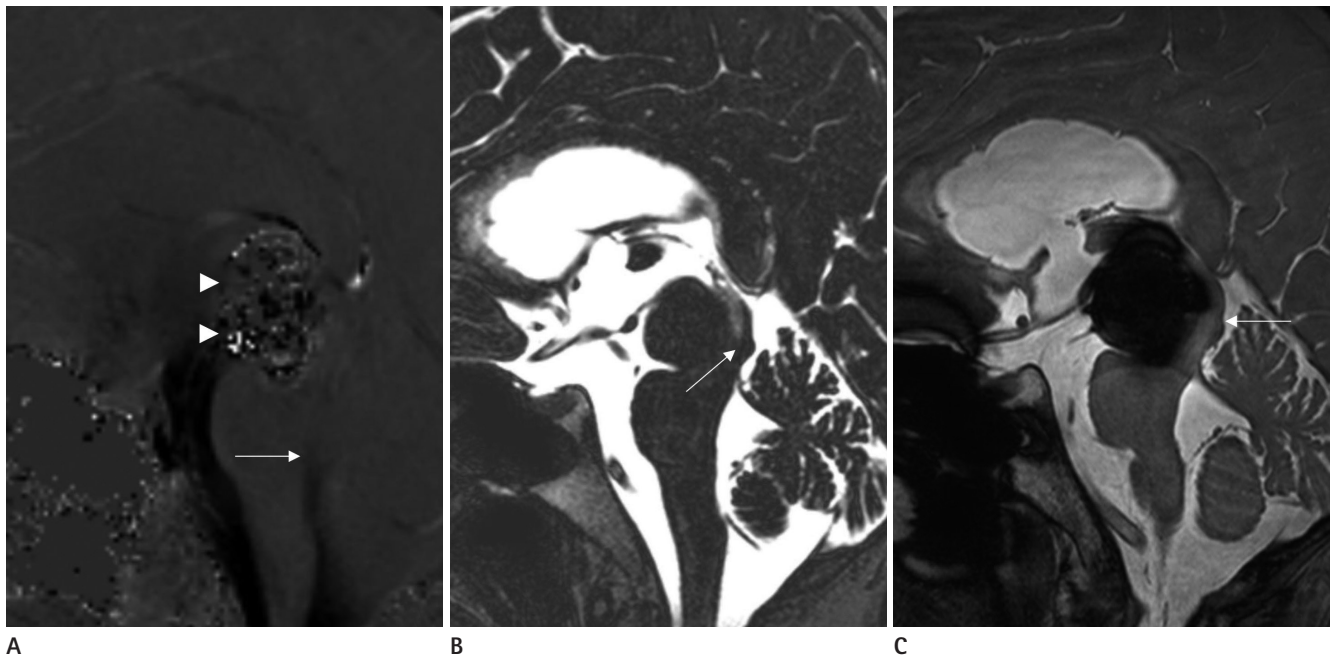


Fig. 3. A 65-year-old woman with a coil-embolized aneurysm at the top of the basilar artery. Phase-contrast cine image (**A**) shows coil-embolized giant aneurysm at the basilar tip (arrowheads) and no active cerebrospinal fluid pulsation through the aqueduct (arrow). Volumetric isotropic T2-weighted acquisition image (**B**) also shows coil-embolized aneurysm causing aqueductal stenosis (arrow). However, the lumen of the aqueduct is obscured by coil-induced susceptibility artifact on balanced turbo field echo image (**C**).

PC-cine, T2 VISTA/DRIVE, bTFE 영상에서 수도관내 협착이나 종괴가 보이지 않았으며, 뇌척수액의 원활한 흐름을 보였다. 하지만 T2 VISTA 영상에서 수도관내 뇌척수액의 빠른 이동에 의해 나타나는 유동성 인공물로 인해 수도관의 윤곽이 가려진 경우가 두 예에서 있었다(Fig. 4).

3뇌실조루술 후 천공부위의 개통성 평가

3뇌실조루술 후 MRI를 시행한 환자군의 역학적 정보, 협착의 원인, 천공부위 개통성에 대한 영상 평가 점수는 Table 2에 요약하였다. 8예 중 6예에서는 세 영상 기법에서 모두 천공부위의 개통성이 확인되거나, 천공부위를 통한 뇌척수액의 원활한 흐름이 보여 0등급으로 평가되었다(Fig. 5). 세 영상 기법의

평가가 일치하지 않는 두 예 중 한 예(증례 2)는 PC-cine, T2 VISTA 영상에서는 천공부위의 개통성 및 뇌척수액 흐름이 잘 확인되어 두 영상에서 모두 grade 0으로 평가되었으나, bTFE 영상에서는 부비동의 과통기성에 의한 자화 감수성 인공물(susceptibility artifact)로 인해 천공부위를 평가할 수 없었다. 나머지 한 예(증례 5)는 PC-cine 영상에서는 천공부위를 통한 뇌척수액의 흐름이 비교적 잘 보였지만(0등급), DRIVE 영상과 bTFE 영상에서 천공부위가 매우 작게 관찰되어 1등급으로 평가되었고, 천공부위의 개통성에 대해 추후 경과 관찰이 요망되었다. 한편, DRIVE 영상에서 뇌척수액의 빠른 이동에 의한 유동성 인공물이 심하게 나타나 천공부위가 가려진 경우가 1예 있었다(Fig. 6).

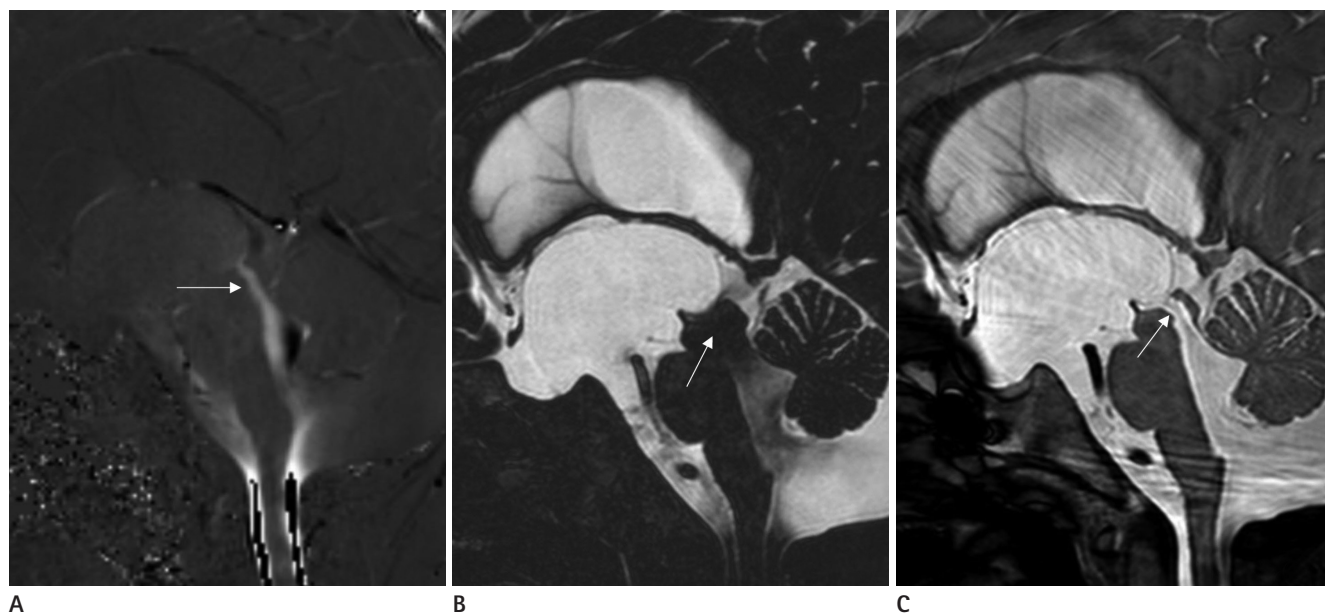


Fig. 4. A 3-year-old boy with Dandy-Walker variant. Phase-contrast cine image (A) shows active cerebrospinal fluid (CSF) pulsation through the aqueduct (arrow). Volumetric isotropic T2-weighted acquisition image (B) shows severe flow-related artifact through the aqueduct due to large amount of CSF flow, which obscures the normal contour of the aqueduct (arrow). Balanced turbo field echo image (C) shows slightly widened aqueduct and minimal flow-related artifact within the aqueduct (arrow).

Table 2. Comparison of PC-Cine, T2 VISTA/DRIVE and bTFE Imaging Scores for Evaluation of Patency at Ventriculostomy Site after Endoscopic Third Ventriculostomy

No	Sex	Age*	PC-Cine	T2 VISTA/DRIVE	bTFE	Cause of Stenosis
1	M	14 Y	0	0	0	Tectal glioma
2	M	20 Y	0	0	NA due to artifact	Pineal germ cell tumor
3	M	23 Y	0	0	0	Idiopathic
4	M	69 Y	0	0	0	Pineal germ cell tumor
5	F	18 M	0	1	1	Old IVH and SAH
6	M	20 M	0	0	0	Post infection
7	M	6 M	0	0	0	Old IVH
8	F	10 M	0	0	0	Idiopathic

*Y = years, M = months.

bTFE = balanced turbo field echo, DRIVE = driven-equilibrium imaging, IVH = intraventricular hemorrhage, NA = not assessed, PC-cine = phase contrast-cine imaging, SAH = subarachnoid hemorrhage, T2 VISTA = volumetric isotropic T2-weighted acquisition

고찰

일반적인 자기공명영상에서 수도관 협착의 진단 기준으로는

측뇌실과 3뇌실의 확장(triventricular dilatation), 정상이거나 작은 4뇌실, 3뇌실 바닥의 하방 돌출, 시상면 T2 강조영상에서 수도관 협착의 직접 확인이나 공간 점유성 병변 등이 있다(8).

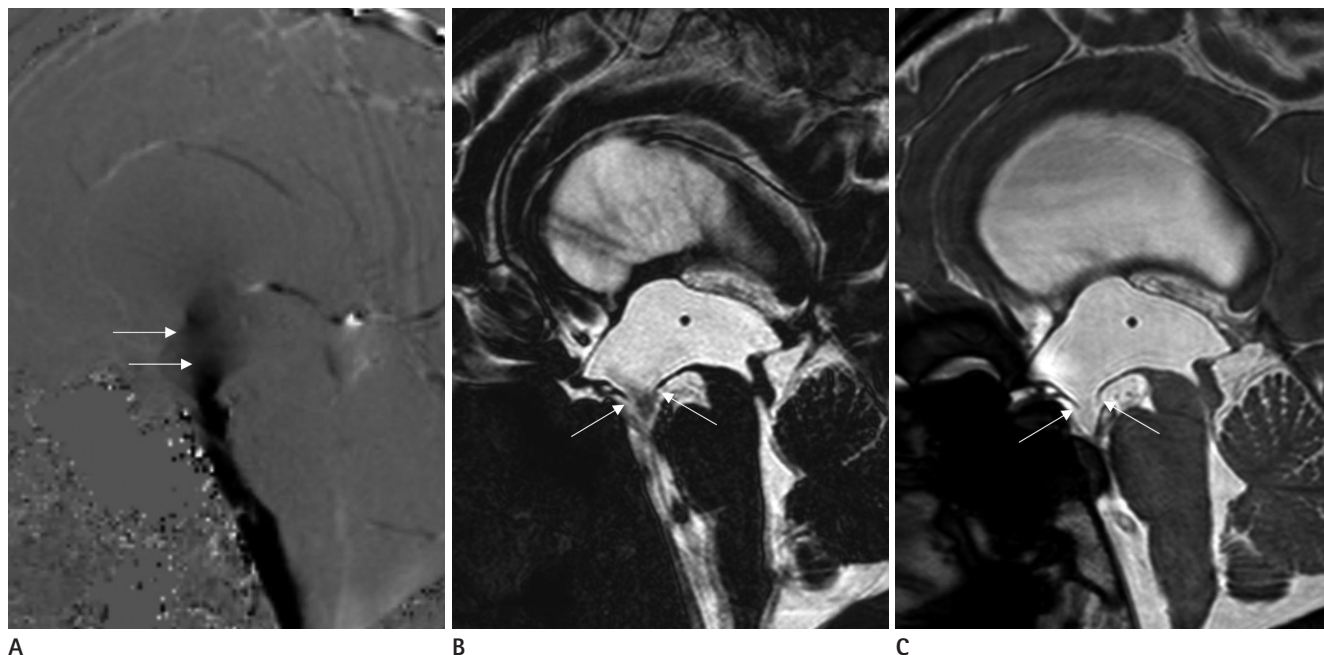


Fig. 5. A 23-year-old man underwent the endoscopic third ventriculostomy for the aqueductal stenosis. Phase-contrast cine image **(A)** shows active cerebrospinal fluid pulsation through the ventriculostomy site in the 3rd ventricle floor (arrows). Volumetric isotropic T2-weighted acquisition image **(B)** directly demonstrates the ventriculostomy site (arrows) and flow-related artifact through the ventriculostomy site. The ventriculostomy site is directly identified without flow-related artifact on balanced turbo field echo image (arrows) **(C)**.

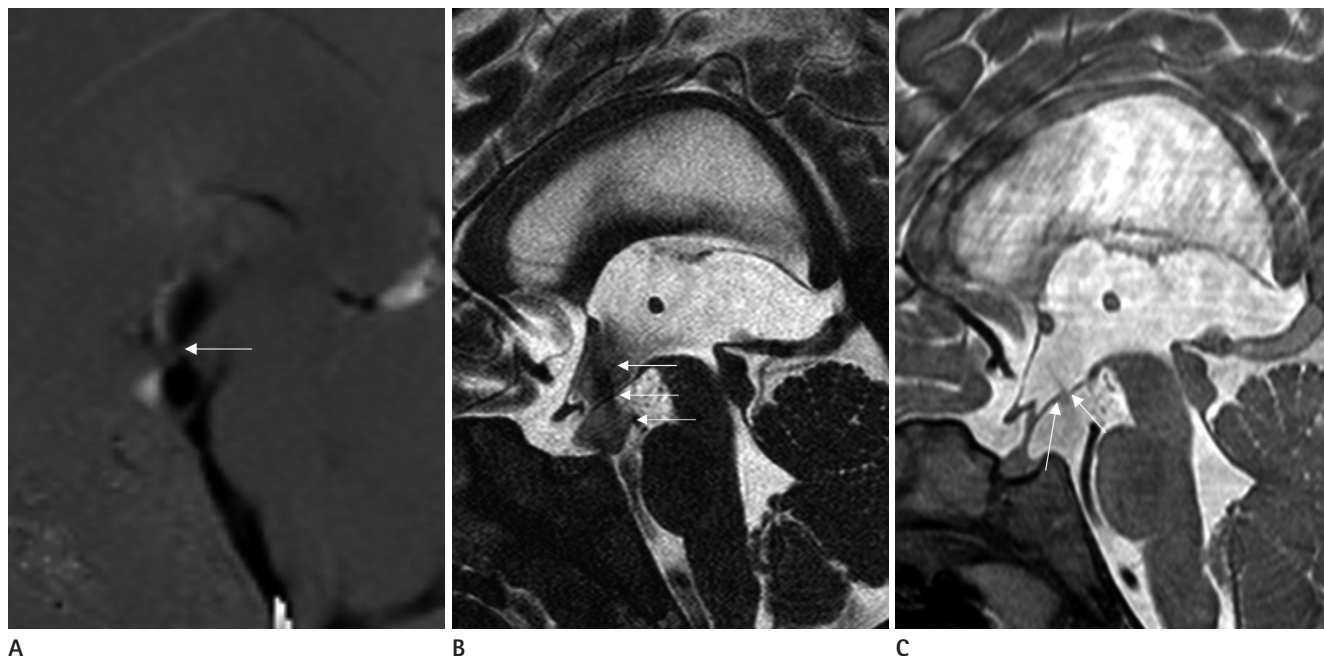


Fig. 6. A 10-month-old girl with endoscopic third ventriculostomy for the aqueductal stenosis. Phase-contrast cine image **(A)** shows active cerebrospinal fluid pulsation through the ventriculostomy site (arrow). Driven-equilibrium image **(B)** shows severe flow-related artifact in the 3rd ventricle and prepontine cistern area (arrows), which obscures the exact ventriculostomy site at the 3rd ventricle floor, whereas 3rd ventriculostomy site is localized with minimal linear flow-related artifact on balanced turbo field echo image (arrows) **(C)**.

하지만, 이러한 소견들로 수도관 협착을 진단할 시 정확한 평가 기준이 없고 주관적인 경향을 보이게 되어, 영상의학과 의사들 사이에서 진단의 재현성이 떨어진다는 단점이 있다(8). 따라서 수도증 환자나 수도관 협착이 의심되는 환자의 수도관 개통성을 보는 데 있어, 뇌척수액의 흐름을 직접 평가하고 정량적으로 측정할 수 있는 PC-cine 영상이 수술 전 평가에 많이 이용되어 왔다(8). 또한, PC-cine 영상은 3뇌실조루술 후 3뇌실내 뇌척수액의 흐름을 평가하는 데에도 매우 유용한 것으로 알려져 있다(2). 하지만, PC-cine 영상은 해부학적 해상도가 낮고, 뇌척수액의 흐름만을 구현하기 때문에 수도관 협착의 수술 전과 후 기능 평가에는 유리하지만, 수도관내 갈퀴막이나, 3뇌실조루술 후 3뇌실 바닥의 천공부위 같은 작은 구조물에 대한 해부학적 정보를 직접 제공하기는 어렵다. 따라서 이러한 PC-cine 영상의 단점을 보강하기 위해 PC-cine 영상과 더불어 MR cisternography를 같이 시행하는 것이 수도관 협착 환자의 수술 전후 영상 진단에 도움이 되었다는 최근의 보고들이 있었다(2, 4-7).

조직과 물의 대조를 극대화 시키는 MR cisternography에는 크게 FSE 기법과 항정 상태 응집 고속 GRE (steady-state coherent fast GRE) 기법의 두 종류가 있다. FSE 기법 중 DRIVE는 echo열의 끝에 추가 회복펄스를 가해 남은 횡축 자기화를 종축으로 역전시킨다. 이로 인해 짧아진 TR은 뇌척수액의 고신호 강도를 유지시킴으로써 뇌척수액으로 둘러싸인 해부학적 구조물이 분명하게 보일 수 있게 한다(9). 최근 널리 사용되는 3 T MRI에서는 새로운 3차원 FSE 기법이 많이 이용되는데 Fast Spin-Echo eXtended Echo-Train Acquisition (FSE-XE-TA, GE), T2 SPACE (Siemens), T2 VISTA (Philips)가 포함된다. 이 기법은 병렬 영상 기법(parallel imaging technique)을 사용함으로써 최소의 에코 간격으로 긴 에코열을 얻을 수 있어 빠른 영상 획득이 가능하며, 숙임각의 변화를 통해 실패 에코 시간 동안 영상 흐림(blurring)을 피해 적절한 신호강도를 획득하고, 특이흡수율을 줄일 수 있다(6, 7, 10).

Steady-state coherent fast GRE 기법에는 bTFE (Philips), Fast Imaging Employing Steady-State Acquisition (FIESTA, GE), CISS (Siemens) 등이 포함된다. 이 기법은 매우 짧은 TR과 큰 숙임각의 고주파 펄스(radiofrequency pulse)를 이용하며, 세 방향 모두 경사 강도가 균형을 이루어 항정 상태를 유지하여 초고속 영상을 획득할 수 있다. 이 기법은 고주파 펄스를 반복적으로 적용한 후, 자유 유도 붕괴(free induction decay), 스핀 에코, 여기된 에코 등에서 발생한 모든 신호를 획득하여 영상을 만들기 때문에 높은 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)를 가질 수 있다. 또한, TE를 TR의 절반으로 설정하게 되면, 영상면내에서 위상차를 재초점화하여 항정 상태를 유지하고, 큰 대역폭

(bandwidth)을 사용하기 때문에 박동성 또는 유동성 인공물에 거의 영향을 받지 않게 된다(11). 유동성 인공물은 뇌실 내에 있는 작은 구조물과 혼동되거나 혹은 작은 구조물을 가릴 수 있기 때문에, 이 기법에 내재된 유동 보상(flow compensation)은 이 기법의 큰 장점이 될 수 있다. 이에 비해 3D FSE 기법은 T2 이완(relaxation)에 의해 영향을 받아 서로 다른 자기화 상태에 있는 에코가 수집되기 때문에 영상 흐림이나 유동성 인공물이 발생할 수 있다(11).

본 연구에서 시행한 bTFE 영상은 GRE 기법으로 DRIVE나 T2 VISTA와 같은 FSE 영상에 비해 영상 획득시간이 짧은 반면 자화 감수성 인공물이 발생하기 쉽다. 접형동 과통기성이나 코일과 같이 자화 감수성에 영향을 미치는 주변 구조물이 있는 경우, bTFE 영상에서는 자화 감수성 인공물로 인해 진단이 어려운 경우가 있었다. 이에 반해 T2 VISTA나 DRIVE 영상은 자화 감수성 인공물의 영향을 거의 받지 않는 장점이 있다. 또한, FSE 기법은 TR과 TE가 모두 길어서 유동 공백(flow void)이 나타나게 되고, 이를 평가함으로써 PC-cine 영상에서의 뇌척수액 박동성 평가와 유사한 결과를 얻을 수 있다. 하지만, 뇌척수액 흐름에 의한 과도한 유동 공백은 오히려 수도관이나 천공 부위의 해부학적 윤곽을 가려 MR 영상 기법에 익숙하지 않은 임상 의사나 영상의학과 의사들에게 혼란을 초래할 수 있다. 이에 반해 bTFE 영상에서는 TE가 짧아 유동 공백이 거의 없기 때문에 수도관 개통성이나 3뇌실조루술 후 3뇌실 바닥의 작은 천공부위를 좀 더 직관적으로 평가할 수 있는 장점이 있다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 3뇌실조루술 후 MRI를 시행한 환자의 숫자가 적었다. 둘째, 1.5 T 및 3 T MR 기종을 다 포함함으로써, FSE 기법이 통일되지 못했다. 하지만, 본 연구에서 분석하지는 않았지만, 1.5 T의 DRIVE 기법과 3 T의 T2 VISTA 영상은 FSE 기법으로 거의 같은 영상 특성을 가지고 있었다. 이는 소아 환자나 각 병원의 상황에 따라 DRIVE 또는 T2 VISTA 기법 중 선택이 가능한 기법을 사용할 수 있음을 시사한다. 셋째, 수도관 및 천공 부위의 개통성의 평가 시 협착으로 인해 뇌척수액의 흐름이 적은 경우에는 grade 1과 grade 2 분류가 어려운 경우가 가끔 있었다.

결론적으로 PC-cine 영상에 추가하여 촬영한 FSE 및 GRE 기법의 MR cisternography에서 두 기법이 서로 다른 장단점을 가지고 있어, 수도관이나 3뇌실조루술 후 천공부위 개통성 평가에 상호 보완적으로 도움이 되었다. 즉, 유동성 인공물이 거의 발생하지 않는 bTFE 영상에서 수도관이나 3뇌실조루술 후 천공부위의 개통성을 직접적으로 평가할 수 있었으며, FSE 기법에서는 유동 공백의 유무로 수도관내 혹은 3뇌실조루술 후 천공부위의 뇌척수액 박동성을 기능적 및 해부학적으로 평가할

수 있었다. 두 가지 MR cisternography를 함께 시행하는 것은 PC-cine 영상에서 다소 주관적으로 평가할 수 있는 영상 소견을 좀 더 정밀하게 판독하는 데 도움을 주며, 단독 PC-cine 영상 기법보다 더 많은 진단적 정보를 제공할 수 있다.

REFERENCES

1. Tisell M. How should primary aqueductal stenosis in adults be treated? A review. *Acta Neurol Scand* 2005;111:145-153
2. Kunz M, Schulte-Altdorneburg G, Uhl E, Schmid-Elsaesser R, Schöller K, Zausinger S. Three-dimensional constructive interference in steady-state magnetic resonance imaging in obstructive hydrocephalus: relevance for endoscopic third ventriculostomy and clinical results. *J Neurosurg* 2008;109: 931-938
3. Dinçer A, Yildiz E, Kohan S, Memet Özek M. Analysis of endoscopic third ventriculostomy patency by MRI: value of different pulse sequences, the sequence parameters, and the imaging planes for investigation of flow void. *Childs Nerv Syst* 2011;27:127-135
4. Algin O, Hakyemez B, Parlak M. Phase-contrast MRI and 3D-CISS versus contrast-enhanced MR cisternography on the evaluation of the aqueductal stenosis. *Neuroradiology* 2010;52:99-108
5. Kurihara N, Takahashi S, Tamura H, Higano S, Furuta S, Jokura H, et al. Investigation of hydrocephalus with three-dimensional constructive interference in steady state MRI. *Neuroradiology* 2000;42:634-638
6. Algin O, Turkbey B. Evaluation of aqueductal stenosis by 3D sampling perfection with application-optimized contrasts using different flip angle evolutions sequence: preliminary results with 3T MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2012;33:740-746
7. Algin O, Turkbey B, Ozmen E, Ocakoglu G, Karaoglanoglu M, Arslan H. Evaluation of spontaneous third ventriculostomy by three-dimensional sampling perfection with application-optimized contrasts using different flip-angle evolutions (3D-SPACE) sequence by 3T MR imaging: preliminary results with variant flip-angle mode. *J Neuroradiol* 2013;40: 11-18
8. Stoquart-El Sankari S, Lehmann P, Gondry-Jouet C, Fichten A, Godefroy O, Meyer ME, et al. Phase-contrast MR imaging support for the diagnosis of aqueductal stenosis. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:209-214
9. Jung NY, Moon WJ, Lee MH, Chung EC. Magnetic resonance cisternography: comparison between 3-dimensional driven equilibrium with sensitivity encoding and 3-dimensional balanced fast-field echo sequences with sensitivity encoding. *J Comput Assist Tomogr* 2007;31:588-591
10. Kwon JW, Yoon YC, Choi SH. Three-dimensional isotropic T2-weighted cervical MRI at 3T: comparison with two-dimensional T2-weighted sequences. *Clin Radiol* 2012;67: 106-113
11. Tsuchiya K, Aoki C, Hachiya J. Evaluation of MR cisternography of the cerebellopontine angle using a balanced fast-field-echo sequence: preliminary findings. *Eur Radiol* 2004; 14:239-242

수도관 및 3뇌실조루술 개통성 평가에 대한 두 종류 자기공명 뇌수조 검사의 유용성: 3차원 시상면 고속스핀에코 기법과 항정 상태 결집 고속 경사예코 기법

박정현¹ · 김은희¹ · 박종빈¹ · 김재형¹ · 최병세¹ · 정철규¹ · 배운정¹ · 이경미^{1,2}

목적: 수도관 및 3뇌실조루술 후 천공 부위의 개통성을 평가하는 데 phase-contrast cine (이하 PC-cine) 영상에 더해 fast spin echo 기법[driven-equilibrium imaging (이하 DRIVE) 또는 volumetric isotropic T2-weighted acquisition (이하 T2 VISTA)]과 gradient echo 기법(balanced turbo field echo; 이하 bTFE)을 촬영하여 이의 임상적 효용성을 알아보았다.

대상과 방법: PC-cine, 3차원 시상면 DRIVE/T2 VISTA 영상 중 하나, bTFE 영상을 모두 시행한 43예를 후향적으로 분석하였다. 수도관 협착증이 의심된 35명과 3뇌실조루술을 시행한 8명에서 수도관 및 천공부위 개통성을 점수화하여 비교하였으며, 각 영상의 장단점을 분석하였다.

결과: PC-cine, DRIVE/T2 VISTA, bTFE 영상 간 점수의 일치도는 93%였다. DRIVE/T2 VISTA는 유동 공백에 의한 뇌척수액 흐름 평가에 용이하였으며, bTFE 영상은 정교한 해부학적 정보를 얻는 데 도움이 되었다. 유동성 인공물이 심한 DRIVE/T2 VISTA 영상 3증례, 자화감수성 인공물이 심한 bTFE 영상 두 증례에서 개통성 평가가 어려웠다.

결론: DRIVE/T2 VISTA와 bTFE 영상은 수도관 및 천공부위 개통성 평가에 서로 보완적인 역할을 한다.

¹서울대학교 의과대학 분당서울대학교병원 영상의학과, ²경희대학교 의과대학 경희대학교병원 영상의학과