

Constructive Interference in Steady State(CISS)-3DFT 기법을 이용한 요추 자기공명척수조영술¹

박재영 · 김학진 · 이성갑 · 임성엽 · 정두영 · 조병만² · 김병수

목 적 : 신경과 뇌척수액간의 구별을 뚜렷하게 해주는 3DFT CISS기법을 요추의 자기공명 척수조영술(MRM)에 응용하고, 3DFT FISP기법과 비교하여 이 영상 기법의 의의를 알고자 하였다.

대상 및 방법 : 정상 자원자와 요통을 주소로 하여 요추의 MRI를 촬영한 34명을 대상으로 요추의 MRM을 1.5-T MR을 이용하여 3DFT FISP기법과 3DFT CISS기법으로 3차원 데이터를 얻고, 이를 MIP 알고리즘방식으로 재구성하여 각각 시상면, 관상면, 양사경면의 영상을 얻었다. 이 두 기법의 MRM을 척수강의 선예도, 신경근 소매가 보이는 정도, 신경근과 척수액의 대조도, 척수강과 신경근의 압박 정도의 4가지 항목에 대해서 서로 비교하였고, 영상획득시간도 비교하였다.

결 과 : 영상획득시간은 CISS기법의 MRM이 FISP기법의 MRM보다 반정도 짧았고, 또한 CISS기법의 MRM이 FISP기법의 MRM보다 네가지 비교 항목중 척수강의 선예도(86%, p=0.004), 신경근과 뇌척수액의 대조도(74%, p=0.0168), 척수강과 신경근의 압박 정도(90%, p=0.0016)의 세 항목에서 유의하게 우수하였고, 신경근 소매가 보이는 정도를 비교한 항목에서는 우수하였으나, 통계학적 유의성은 없었다(68%, p=0.0872).

결 론 : CISS기법의 MRM은 FISP기법의 MRM에 비해, 영상획득시간이 짧으면서, 더 우수한 영상을 제공하는 새로운 기법의 MRM으로 판단된다.

척추 질환의 진단방법으로서 CT와 함께 조영제를 이용하는 고식적 척수조영술(conventional myelography)이 널리 사용되었으나, 이런 고식적 척수조영술은 조영제를 사용해야 하고, 합병증도 발생할 수 있는 침습적인 진단방법으로써, 이를 대체하기 위해서 최근 자기공명영상(magnetic resonance image, 이하 MRI)을 이용한 다양한 기법의 자기공명 척수조영술(MR myelography, 이하 MRM)이 보고되고 있다. 현재까지 보고된 MRM의 기법들로는 RARE(rapid acquisition with relaxation enhancement)(1), true FISP(fast imaging with steady-state precession)(2), heavily T2-weighted fast spin echo(FSE)기법(3)등이 있다.

저자들은 최근 두경부에서 뇌척수액의 박동에 의한 움직임을 보상하여, 이로 인한 신호소실이 없어 연조직과 뇌척수액간의 대조도가 좋고, 높은 해상도의 영상을 얻을 수 있다고 알려진 3DFT CISS기법(4)을 응용하여 MRM영상을 얻어 보았고, 이를 3DFT FISP기법의 MRM과 비교하여 3DFT CISS기법의 MRM의 진단적 의의를 알아보았다.

대상 및 방법

검사 대상자는 정상 자원자 8명과 요통을 주소로 내원하여 요추의 MRI를 촬영한 환자 26명으로 총 34명 이었고, 이들의 연령 분포는 17세에서 76세까지로 평균 35.6세였고 남자 23명, 여자 11명이었다. 이들은 MRI영상으로 정상 11례, 추간판 탈출증 19례, 척수강 협착증 3례, 척추분리증 1례로 진단되었다.

MR 기종은 1.5T MR system(Vision, Siemens, Erlangen, Germany)으로 전례에서 각각 3DFT FISP기법과 3DFT CISS기법으로 MRM영상을 얻었다. 3DFT FISP기법의 영상지표는 TR/TE/FA 71/21/7°, 지방억제기법을 사용하였고, 3DFT CISS기법의 영상지표는 TR/TE/FA 12.25/59/70°로 하였다. 저자들은 임의로 조절할 수 있는 영상지표인 slab thickness 50mm, effective thickness 1.56mm, matrix 크기 104×256, 관심역 250mm, 여기 회수(NEX) 1회로 두기법에서 동일하게 하였다. 이렇게 얻은 3차원 데이터를 MIP(maximum intensity projection) 알고리즘방식으로 재구성하여 MRM을 얻고, 두 기법의 영상을 맹검법을 이용하여 세명의 방사선과 의사에게 네가지 비교 항목에 대해 각각 어떤 기법의

¹부산대학교 의과대학 진단방사선과학교실

²부산대학교 의과대학 예방의학교실

이 논문은 1997년 5월 29일 접수하여 1997년 7월 16일에 채택되었음

MRM이 더 나은 영상인지를 결정하게 하였다. 비교 항목중 척수강의 선예도, 신경근 소매가 보이는 정도, 신경근과 척수액의 대조도의 세 항목에서는 34례 전례를 비교하였고, 척수강과 신경근의 압박 정도를 어느 기법의 MRM에서 더 잘 보여 주는지를 비교하는 항목에서는 압박 소견을 보이지 않은 11례를 제외한 23례를 대상으로 하였다. 또한, 두 기법의 영상획득시간(scanning time)도 비교하였다.

자료의 분석은 두 단계로 시행하였는데, 먼저 각 항목별로 판독자간의 변이성에 관한 유의성을 Cochran's Q test를 이용하여 검정하여 유의성이 없음을 확인하였고, 따라서 이후의 분석에는 방사선과 의사 3인의 판정 결과에 대한 평균치를 이용하였다. 다음 단계로 두 기법의 영상중 CISS기법이 더 낫다고 판정한 비율이 그렇지 않다고 판정한 비율에 대해 유의한 차이가 있는지를 t-분포를 이용하여 검정하였다. 동일한 영상을 대상으로 세가지 항목, 혹은 네가지 항목에 대하여 통계학적 유의성 검정을 반복 실시함으로써 α -오류가 증가하는 것을 보정하기 위하여 Bonferroni correction방법을 이용하였다.

결 과

각 레에서 각각 얻은 3DFT CISS기법의 MRM과 3DFT FISP기법의 MRM중 어느 영상이 더 우수한지를 각 항목별로 비교하였을 때, 척수강의 선예도에서 CISS기법이 우수하다고 판정한 비율이 86%, 신경근과 뇌척수액의 대조도에서는 74%로서 각각 p값이 0.0004(Table 1), 0.0168(Table 2)로서 통계적으로 유의한 차이를 보였고(Fig. 1), 척수강과 신경근의

Table 1. Comparison of Preference to 3DFT CISS MRM and 3DFT FISP MRM by Three Readers in Sharpness of the Dural Sac

Readers	Prefer to		Total
	CISS	FISP	
A	29 (85%)	7 (15%)	34
B	29 (85%)	5 (15%)	34
C	30 (88%)	4 (12%)	34
mean	29.3(86%)	4.7(14%)	34
p value	0.0004		

Table 2. Comparison of Preference to 3DFT CISS MRM and 3DFT FISP MRM by Three Readers in Differentiation of the Nerve Roots and CSF

Readers	Prefer to		Total
	CISS	FISP	
A	25(74%)	9(26%)	34
B	29(85%)	5(15%)	34
C	21(62%)	13(38%)	34
mean	25(74%)	9(26%)	34
p value	0.0168		

압박 정도를 비교한 항목에서도 CISS기법이 더 나은 영상이라고 판단한 비율이 90%로 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p=0.0016$)(Table 3)(Fig. 2, 3). 그러나, 신경근 소매가 보이는 정도를 비교한 항목에서는 CISS기법이 FISP기법보다 68%에서 우수하다고 판정하였으나(Fig. 1, 2), 통계학적 유의성은 없었다($p=0.0872$)(Table 4).

저자들이 조절 가능한 영상지표를 동일하게 한 후 측정된 영상획득시간의 비교에서도 3DFT CISS기법의 MRM에서 평균 3분정도가 소요되었는데 비하여 3DFT FISP기법의 MRM에서는 평균 8분정도가 걸려 3DFT CISS기법이 영상획득시간이 반이하로 적게 소요되었다.

고 찰

척수의 경막의 질환의 진단에 CT와 MR이 널리 쓰이고 있으나, 척수강이나 신경근 소매를 전반적으로 분석하고, 평면적인 해부학을 종합적으로 이해하게 하는 척수조영술이 수술 계획을 수립하는데 필요한 검사로 임상 의사들에게서 아직도 요구되고 있으나(5), 최근 MRM의 출현으로 고식적 척수조영술이 많이 대체되고 있다.

1986년 Henning등(1)이 처음으로 MRM을 소개하였는데, 이들은 RARE를 부분적으로 변형한 기법을 이용해서 MRM을 얻었고, 많은 경우에서 MRM이 고식적 척수조영술을 대체할 수 있는 비침습적이고, 빠르며, 경제적인 방법이라고 하였다. 이후 1991년에 Ross등(2)은 뇌척수액의 흐름으로 인해서 인공음영이 나타나는 것을 극복하기 위해서 움직이는 스핀을

Table 3. Comparison of Preference to 3DFT CISS MRM and 3DFT FISP MRM by Three Readers in Visualization of Compression of the Dural Sac

Readers	Prefer to		Total
	CISS	FISP	
A	21 (91%)	2 (9%)	23
B	20 (87%)	3 (13%)	23
C	21 (91%)	2 (9%)	23
mean	20.7(90%)	2.3(10%)	23
p value	0.0016		

Table 4. Comparison of Preference to 3DFT CISS MRM and 3DFT FISP MRM by Three Readers in Visualization of the Nerve Root Sleeves

Readers	Prefer to		Total
	CISS	FISP	
A	25(74%)	9(26%)	34
B	24(71%)	10(29%)	34
C	20(59%)	14(41%)	34
mean	23(68%)	11(32%)	34
p value	0.0872		

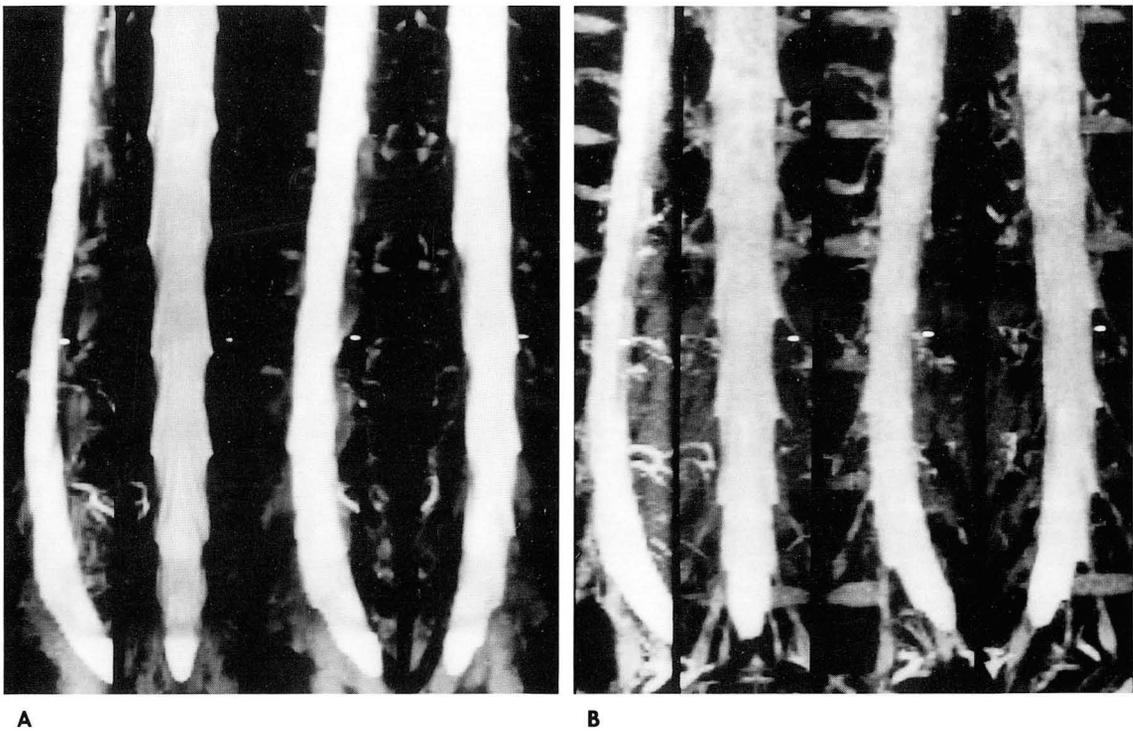


Fig. 1. Normal ; 3DFT CISS MR myelograms (A) show more homogeneously high signal intensity and better delineated margin of dural sac, and better differentiation of nerve roots and CSF than 3DFT FISP MR myelograms (B) do.

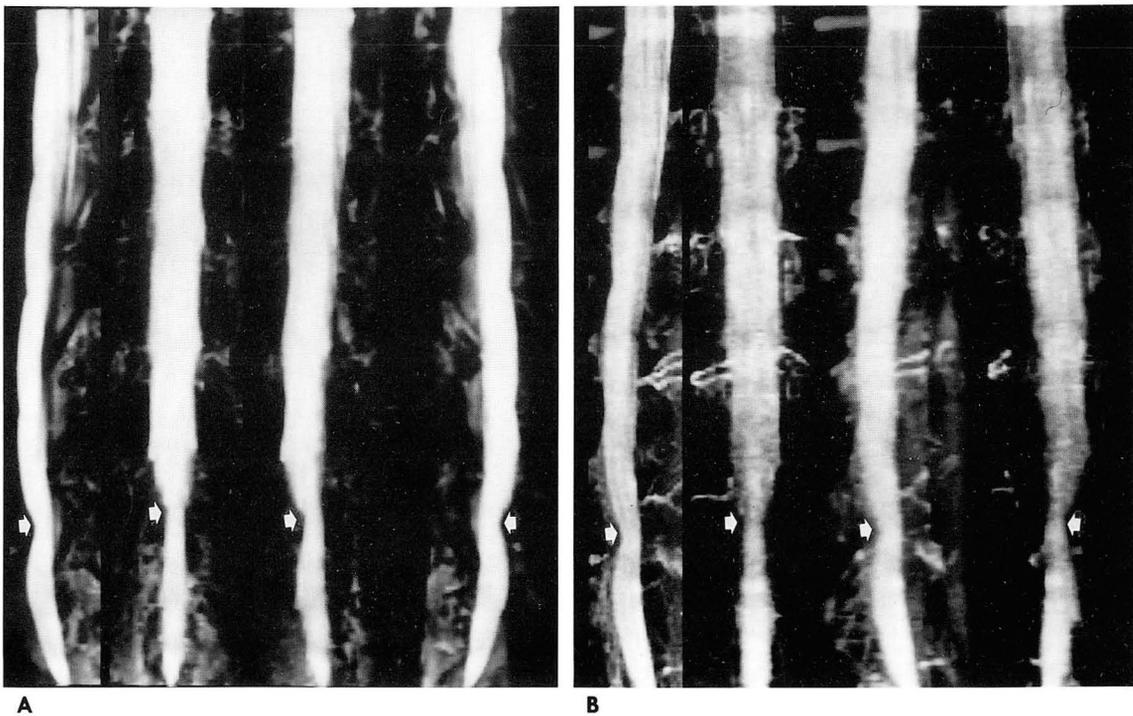


Fig. 2. L4-5 HNP; 3DFT CISS MR myelograms (A) are superior to 3DFT FISP MR myelograms (B) in sharpness of dural sac, in differentiation of nerve roots and CSF, in visualization of dural sac compression at L4-5 level (arrows), and in visualization of nerve root sleeves.

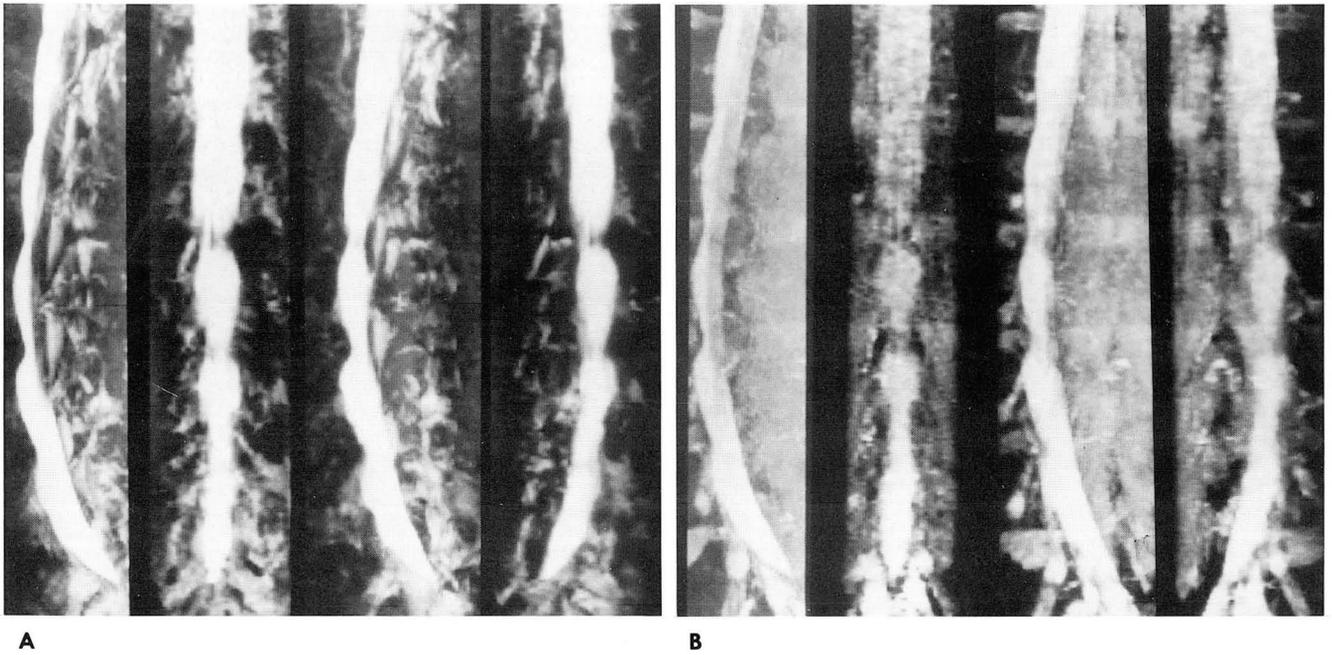


Fig. 3. Degenerative spinal stenosis; 3DFT CISS MR myelograms (A) show better delineation of multiple levels of dural sac compression than 3DFT FISP MR myelograms (B) do.

보상할 수 있는 true FISP영상을 얻어 MIP로 재구성한 MRM을 소개하고, 이 영상이 2차원 영상에서 부족한 척수강의 전반적인 분석을 가능하게 하여 퇴행성 추간판 질환의 진단에 조영제를 이용한 척수조영술을 대치할 수 있다고 했다. 1992년에는 Krudy(3)가 지방신호억제 heavily T2-weighted FSE 기법을 이용한 MRM을 발표하였다. 이는 반복시간(repetition time, TR)을 길게 하여 배경신호를 억제하고, 지방신호억제기법(fat saturation)으로 지방신호를 없애으로써 뇌척수액만을 높은 신호강도를 가지도록 하여 MRM을 얻는 방법으로 요추부에서는 좋은 영상의 MRM을 제공하였으나, 뇌척수액의 흐름이 빠른 경추나 흉추에서는 뇌척수액의 흐름으로 인한 인공음영으로 유용성이 떨어진다고 보고하였다. 이상과 같이 현재까지 발표된 MRM은 FSE기법과 GRE (gradient-recalled echo)기법으로 대별할 수 있고, 이중 heavily T2-weighted FSE기법의 MRM이 최근 많이 보고되고 있다(3, 6, 7).

그러나 FSE기법에서는 스핀에코기법(conventional spin echo sequence)에서 보다 긴 echo train을 사용하므로 움직임에 의한 신호소실은 여전히 커서 뇌척수액의 박동이 있는 경우 인공음영이 생길 수 있다. 이에 비해서 GRE기법은 뇌척수액의 박동과 같은 흐름에 의한 인공음영의 발생 빈도가 더 적어서 척수조영술의 효과를 얻는 영상에서는 유리하다(8). 이에 저자들은 GRE기법이 MRM영상을 얻는 데 더 유리하다고 판단하였다. 따라서 GRE기법중 최근 보고되어 발표되고 있는 3DFT CISS기법의 MRM을 얻고, 이 영상의 우수성을 알아보기 위한 대조군도 GRE기법에 속하는 3DFT FISP기법으로 하였다.

FISP기법은 조직의 신호강도를 증가시키기 위해서 남아 있는 횡축자기화를 재활용하는 방법이기 때문에, 움직임이 있는

경우 남아 있는 횡축자기화를 사라지게 하고, 결과적으로 뇌척수액과 같이 흐름이 있는 액체에서는 움직임에 의한 신호소실로 영상의 질이 저하된다. 특히 큰 flip angle이 사용되면, 남아 있는 횡축자기화가 커지므로 흐름으로 인한 인공음영이 현저하고, 작은 flip angle에서는 흐름에 의한 인공음영도 적다. 하지만 FISP기법에서 뇌척수액을 고신호강도로 보이게 하는 T2효과는 큰 flip angle, 짧은 TR에서 크다(9). 움직임에 의한 신호소실은 적절한 경사자계의 구조화(structuring)로 어느 정도 극복할 수 있으나(5), FISP기법은 기본적으로 움직임에 민감한 영상이기 때문에 MRM을 얻을 때 뇌척수액의 박동이 영상의 질을 저하시킬 수 있다. 이에 비해서 true FISP기법을 이용하는 급속 T2강조 GRE영상인 3DFT CISS기법은 움직임에 의한 위상 이동(phase shift)을 제거하기 때문에 뇌척수액의 박동에 의한 인공음영이 없다. true FISP기법이란 FISP와 달리 위상(phase), 주파수(frequency)와 단면 선택 경사자계(slice selection gradient)가 세방향 모두에서 평행이 되도록 하여(8), 일정한 속도로 움직이는 스핀들은 경사자계 (gradient) 펄스의 적용후에 같은 위상을 가지게 하는 방법으로, 박동이 있는 뇌척수액도 고신호강도를 나타내게 된다(10). 이 기법의 단점은 자장이 불균질할 때 어두운 선 모양의 인공음영(band artifact)이 발생하는 것이다. 이런 어두운 선을 제거하는 방법으로는 TR을 매우 짧게 하거나, 교대하는(alternating) 라디오 주파수 펄스와 교대하지 않는(nonalternating) 라디오 주파수 펄스를 가한 두번의 true FISP의 데이터를 얻고, 이들 2쌍의 3차원 데이터를 합하여 한 영상의 어두운 선은 다른 영상의 밝은 선과 합해지도록 하여 균질한 밝은 신호강도의 영상을 얻도록 하는 방법이 있다(8). 이 후자의 방법이 CISS기법이다.

이 연구에서 저자들은 3DFT CISS기법과 3DFT FISP기법으로 MRM을 얻고, 어느 기법의 MRM이 더 우수한 지를 알기 위해서 4가지 항목을 서로 비교하였고, 이중 3가지 항목에서 CISS기법이 통계학적으로 유의하게 우수하다는 결과를 얻었다. 이 항목중 뇌척수액과 주위 조직과의 대조도, 척수강과 신경근의 압박 정도를 비교하는 항목은 뇌척수액으로 차 있는 척수강과 주위 연조직, 골조직과의 대조도와 해상도에 의해서 영상의 질이 결정되는 항목으로, CISS기법이 FISP기법에 비해서 더 큰 flip angle과 더 짧은 TR을 이용하기 때문에 T2효과가 더 크고, 뇌척수액의 박동에 의한 신호소실이 없어서 척수강내의 뇌척수액이 균질한 고신호강도를 나타내므로 더 우수한 대조도의 영상을 제공하는 것은 당연하다고 판단된다. 신경근과 뇌척수액의 대조도도 뇌척수강내의 뇌척수액과 연조직인 신경근과의 대조도이므로, 앞서 비교한 두 항목과 기본적으로 같은 이유로 더 우수한 대조도의 영상을 나타낼 수 있다. 신경근 소매가 주위 조직에 대해 보이는 정도를 비교한 항목에서는 68%에서 우수하였으나, 통계학적 유의성(p=0.0872)은 없었다. 그 이유는 다른 비교 항목과는 달리 신경근 소매내에는 뇌척수액의 박동이 없으므로, CISS기법이 FISP기법보다 나은 대조도의 영상을 제공하는 이유중 움직임에 의한 신호소실이 없다는 잇점없이, 신경근 소매내의 소량의 뇌척수액에 의한 T2효과에서만 유리하였기 때문으로 분석된다.

영상획득시간에서도 CISS기법이 2번의 true FISP영상을 얻음에도 TR이 매우 짧아서(2), FISP기법보다 빠르게 영상을 얻을 수 있었다. 이와 같이 CISS기법의 MRM은 흐름에 민감한 FISP기법의 MRM보다 영상획득시간이 짧으면서 흐름에 의한 인공음영이 없어서, 더 우수하고, 정확한 영상정보를 제공하였다.

저자들은 이 연구에서는 최근 널리 쓰이는 heavily T2-weighted FSE기법의 MRM과 CISS기법의 MRM의 비교 분석에 주안점을 두지는 않았다. 그러나 연구 초기에 12례에서 heavily T2-weighted FSE기법의 MRM을 같이 얻었고, 이를 CISS기법의 MRM과 비교하였는데, heavily T2-weighted FSE기법이 CISS기법보다 영상의 질에서 우수하다

고 판단되지는 않았다. 하지만 이에 대해서는 객관적 비교 연구가 필요하리라 판단된다.

결론적으로, CISS기법의 MRM은 FISP기법의 MRM에 비해, 뇌척수액의 박동에 의한 신호소실이 거의 없고 T2효과가 더 커서 뇌척수액과 연조직간의 높은 대조도를 나타내고, 영상 획득시간이 짧다는 장점 때문에 척추 질환의 진단에 유용한 MRM의 새로운 기법으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Henning J, Friedburg H, Strobel B. Rapid nontomographic approach to MR myelography without contrast agents. *J Comput Assist Tomogr* 1986; 10: 375-378
2. Ross JS, TKach J, VanDyke C, Modic MT. Clinical MR imaging of degenerative spinal disease: pulse sequence, gradient echo techniques, and contrast agents. *J Magn Reson Imaging* 1991; 1: 29-37
3. Krudy AG. MR myelography using heavily T2-weighted fast spin-echo pulse sequences with fat presaturation. *AJR* 1992; 159: 1315-1320
4. Casselman JW, Kuhweide R, Deimling M, Ampe W, Dehaene I, Meeus L. Constructive interference in steady state-3DFT MR imaging of the inner ear and cerebellopontine angle. *AJNR* 1993; 14: 47-57
5. VanDyke CW, Modic MT, Beale SM, Amartur S, Ross JS. 3D MR myelography. *J Comput Assist Tomogr* 1992; 16: 497-500
6. 정경재, 윤은영, 김중현, 이승희, 이영욱, 김동주. 요추 추간판 질환에서 자기공명 척수조영술과 고식적 척수조영술의 비교. *대한방사선의학회지* 1996; 34(2): 179-184
7. Gammal TE, Brooks BS, Freedy RM, Crews CE. MR myelography: imaging findings. *AJR* 1995; 164: 173-177
8. Edelman RR, Wielopolski PA. Fast MRI In Edelman RR, Hesselink JR, Zlatkin MB. *Clinical magnetic resonance imaging*. 2nd ed. Philadelphia: Saunders, 1996: 302-324
9. Price RR. Contrast mechanisms in gradient-echo imaging and introduction to fast imaging. *RadioGraphics* 1995; 15: 165-178
10. Casselman JW, Kuhweide R, Ampe W, Meeus L, Steyaert L. Pathology of the membranous labyrinth: comparison of T1- and T2-weighted and gadolinium-enhanced spin echo and 3DFT-CISS imaging. *AJNR* 1993; 14: 59-69

Lumbar MR Myelography with Constructive Interference in Steady State(CISS) — 3DFT¹

Jae Yeong Park, M.D., Hak Jin Kim, M.D., Sung Gab Lee, M.D., Seong Youb Lim, M.D.,
Doo Young Jung, M.D., Byung Mann Cho, M.D.², Byung Soo Kim, M.D.

¹Department of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Pusan National University

²Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Pusan National University

Purpose: To evaluate the usefulness of 3DFT CISS MR myelography(MRM) by comparing it with 3DFT FISP MRM

Materials and Methods: Thirty-four subjects consisting of normal volunteers and patients complaining of back pain underwent lumbar spine MRI, 3DFT CISS MRM, and 3DFT FISP MRM. The 3DFT FISP MRM and 3DFT CISS MRM images were analysed and in each case, the following were compared: sharpness of the dural sac; differentiation of nerve roots and CSF; visualization of the nerve root sleeve and of dural sac compression.

Results: Image acquisition time of 3DFT CISS MRM was shorter than that of 3DFT FISP MRM, and the former was significantly superior to the latter in sharpness of the dural sac(86%, $p=0.004$), differentiation of nerve roots and CSF(74%, $p=0.0168$), and visualization of dural sac compression (90%, $p=0.0016$). With regard to visualization of nerve root sleeves, 3DFT CISS MRM was superior to 3DFT FISP MRM, but not significantly (68%, $p=0.0872$).

Conclusion : 3DFT CISS MRM requires a shorter image acquisition time and gives a better image than 3DFT FISP MRM; we therefore consider it to be a useful MR method.

Index words: Myelography, comparative studies
Magnetic resonance(MR), technology

Address reprint requests to: Jae Yeong Park, M.D., Department of Diagnostic Radiology, Pusan National University Hospital.
1-10, Ami-dong, Seo-ku, Pusan 602-732 Korea. Tel. 82-51-240-7375 Fax. 82-52-244-7354