

REVIEW ARTICLE

전산화단층촬영술/자기공명영상 장운동기록법의 준비와 기법

김민주

고려대학교 의과대학 고려대학교 안암병원 영상의학과

Preparation, Technique, and Imaging of Computed Tomography/Magnetic Resonance Enterography

Min Ju Kim

Department of Radiology, Korea University Anam Hospital, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

CT enterography and magnetic resonance (MR) enterography are widely used imaging modalities used to examine the small bowel. These radiologic tests are distinguished from routine abdominopelvic CT and MRI by the oral ingestion of a large amount of neutral contrast to distend the small bowel before scanning. For achievement of high quality, diagnostic images and proper technique are required. Conducted protocols still vary in patient preparation, enteric contrast, and CT and MRI acquisition sequences, resulting in heterogeneous diagnostic accuracy. The purpose of this article is to review the processes and techniques that optimize CT/MR enterography for patients with suspected Crohn's disease or other small bowel diseases. (*Korean J Gastroenterol* 2020;75:86-93)

Key Words: Diagnostic imaging; Multidetector computed tomography; Magnetic resonance imaging; Intestine, small

서 론

전산화단층촬영술(CT) 장운동기록법(enterography)/자기공명영상(magnetic resonance, MR) 장운동기록법은 소장을 검사하는 데 쓰이는 가장 좋은 영상 기법이다. 이러한 장운동기록법은 기존에 사용하던 기본 복부 전산화단층촬영술이나 복부 자기공명영상과는 구분되는데, 많은 양의 중화(neutral)액을 마시으로써 장을 적절하게 확장시키는 것이 다른 점이다. 이러한 장운동기록법을 위해서는 적절한 준비와 기법이 요구되는데, 경구를 통한 조영제의 주입으로 소장을 확장시키면서 알맞은 장 준비와 영상의 습득 지표(acquisition parameter)를 사용해야 한다. 기관마다 다양한 프로토콜을 사용하게 되면 각기 다른 진단적 능력을 보이는 영상 기법을 얻게

될 수 있으므로 표준화된 조건이 필요하다. 최근 북미와 유럽을 비롯한 여러 나라에서는 증거 중심의 적절한 장운동기록법에 대한 일치된 가이드라인을 내놓고 있다.^{1,2} 전산화단층촬영술/자기공명영상 장운동기록법은 임상적으로 크론병과 소장출혈이 의심될 때 가장 많이 시행되고 있으며, 본고에서는 이중 크론병을 중심으로 한 내용을 살펴보고자 한다. 이러한 지침은 대한영상의학회와 대한소화기학회가 같이 연구하여 서로 의견 일치를 본 내용으로, 적절한 전산화단층촬영술/자기공명영상 장운동기록법을 시행할 때 필요한 준비와 기법에 대하여 알아보하고자 한다.¹⁻³

Received January 31, 2020. Revised February 17, 2020. Accepted February 19, 2020.

© This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © 2020. Korean Society of Gastroenterology.

교신저자: 김민주, 02841, 서울시 성북구 고려대로 73, 고려대학교 의과대학 고려대학교 안암병원 영상의학과

Correspondence to: Min Ju Kim, Department of Radiology, Korea University Anam Hospital, Korea University College of Medicine, 73 Goryeodae-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Korea. Tel: +82-2-920-5657, Fax: +82-2-920-3796, E-mail: mjkim7@korea.ac.kr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0979-9835>

Financial support: None. Conflict of interest: None.

본 론

야 한다.^{1,2,7}

1. 일반적인 환자 준비와 테크닉(Table 1)

검사 전 준비의 목적은 진경제(spasmolysis) 사용과 금식을 통하여 장의 연동 운동이나 과대한 장내 공기로 인한 인공물을 줄이고, 장조영제(enteric contrast)를 주입하여 소장을 적절한 정도로 확장시키는 것이다.²⁻⁶

1) 장조영제 주입(enteric contrast administration)

(1) 검사 전 환자 준비(pretest patient preparation)

환자 준비는 전산화단층촬영술 장운동기록법과 자기공명영상 장운동기록법 둘 다 유사하다. 조영제를 먹이지 않으면 장이 충분히 확장되지 않으므로, 경구용 장조영제를 먹여 장을 확장시켜야 더 좋은 결과를 기대할 수 있다. 전산화단층촬영술 장운동기록법이나 자기공명영상 장운동기록법 모두 검사 4-6시간 전 고형 음식에 대한 금식을 해야 하며, 액체 음식에 대해서도 금식을 하는 것이 좋으나 물의 경우 허용할 수도 있다. 그러나 탄산수는 인공물을 생기게 할 수 있으므로 피해

(2) 장조영제(enteric contrast medium)

경구 조영제에 의하여 전산화단층촬영술/자기공명영상 장운동기록법의 진단 정확도가 좋아진다는 증거가 많이 있으며, 장이 확장되지 않은 경우 소장 병변이 보이지 않거나 정상 부분이 병변처럼 오인될 수 있다.^{1,4,8-12}

조영제 선택: 고장성(hyperosmolar) 용액은 장내 흡수를 감소시키고 점성액(viscous fluid)은 장의 확장을 용이하게 한다. 만니톨(mannitol), polyethylene glycol, sorbitol과 같은 용액의 혼합액이 대표적이다. 이 중 어떤 종류의 용액이 가장 나은지에 대한 증거는 뚜렷하지 않으며, 북미의 경우 0.1% 저농도 바륨 혼합액(0.1% low-density barium sulfate suspension)이 상업적으로 출시되어 있어 많이 사용하고 있다. 우리나라에서도 최근까지 이러한 상품액을 사용하였으나 더 이상 보급되지 않는 관계로 여러 병원에서 쿨프렙(TAEJOON PHARM, Seoul, Korea)과 같은 장완화제를 대용으로 쓰기도 한다. 이러한 고장성 용액은 환자에게 복부 팽만감, 설사 등의 증상을 일으킬 수 있으므로 환자가 검사를

Table 1. Summary of International Consensus Guidance^{1,2,8,17}

Patient preparation and technique	
Patient preparation	<ul style="list-style-type: none"> • Fasting for 4-6 hours • Should not drink for 4-6 hours except nonsparkling water
Technique	<ul style="list-style-type: none"> • Hyperosmolar agent: mannitol, PEG, sorbitol and lactulose • Optimal volume of oral contrast: 1,000-1,500 mL • During 45-60 minutes • Laxative bowel preparation is not recommended
MR enterography technical considerations and sequence selection	
Hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Both 1.5 and 3 T • Phased-array coil is mandatory
Spasmolysis	<ul style="list-style-type: none"> • Spasmolytic agent is recommended • 20 mg IV hyoscine butylbromide or 1 mg IV glucagon
Positioning	<ul style="list-style-type: none"> • Prone or supine
Recommended sequences	<ul style="list-style-type: none"> • Axial and coronal T2 FSE without FS • Axial and coronal SSFPGE without FS • Axial or coronal T2 FSE with FS • 3D T1-weighted GRE sequence with FS before and after IV contrast
IV contrast	<ul style="list-style-type: none"> • For suspected IBD, enteric (45 s) or portal venous phase (70 s) • For chronic GI bleeding, arterial (30 s), enteric (45 s) or portal venous phase (70 s)
Optional sequences	<ul style="list-style-type: none"> • DWI are suggested not mandatory • DWI with free-breathing technique and maximal slice thickness ≤5 mm
Parameters	<ul style="list-style-type: none"> • FSE T2W and SSFPGE slice thickness ≤5 mm • FSE T2W performed 2D or 3D • T1W slice thickness ≤3 mm with 3D
Scan coverage and scan time	<ul style="list-style-type: none"> • Include small bowel, colon and perineum • Total acquisition time should be 30 minutes or less

PEG, polyethylene glycol; MR, magnetic resonance; IV, intravenous; FSE, fast-spin echo; FS, fat saturation; SSFPGE, steady-state free precession gradient-echo; 3D, three-dimensional; GRE, gradient-echo; IBD, inflammatory bowel disease; s, seconds; GI, gastrointestinal; DWI, diffusion-weighted image; T2W, T2-weighted image; 2D, two-dimensional; T1W, T1-weighted image.

기피하게 하는 요인으로 작용할 수 있다.^{4,12-14}

(3) 조영제 양과 시간(contrast volume and timing)

경구 조영제는 검사 45분 전부터 먹기 시작하고, 용량은 1,000 mL를 넘게 마시는 것이 좋다. 기관별로 다른 프로토콜을 사용할 수 있으나 대략 1,200-1,500 mL 사이의 조영제를 45분에서 1시간 전에 10분 내외 간격으로 적절히 나누어 섭취하고 검사 5분 전에 200 mL 내외를 섭취하게 한다. 환자가 복부 팽만감이나 설사 등의 증상을 호소하며 섭취를 어려워하는 경우라도 적어도 450 mL 이상은 섭취하는 것이 좋다.^{2,6} 다량의 장관 조영제를 경구 투여하게 되면 위의 유문부 통과에 많은 시간이 소요되며 이로 인하여 전체 장내 통과 시간이 길어져 검사 시간이 늘어난다. 이와 더불어 전체 소장 of 적절한 내강 확장을 얻기가 어려운 경우가 발생하는데, 조영제를 마시는 경우 공장(jejenum)은 덜 확장되고 회장(ileum)은 상대적으로 확장이 더 잘 되는 경우가 흔하다. 소장 영상을 위해서는 적절한 내강 확장이 확보되어야 하며 적어도 소장 내강의 직경이 2.5-3 cm 이상일 때 소장벽의 변화를 잘 볼 수 있다. 장관 조영제는 전산화단층촬영술에서는 중성(neutral)액을 주로 사용하며 물과 비슷한 음영(density)을 보이고, 양성(positive)액은 고밀도로 보인다. 자기공명영상의 경우에는 음성(negative)액은 T1과 T2 강조영상에서 모두 저신호 강도를 보이고, 양성액은 고신호 강도를, 이중성(biphasic)일 경우는 T1 강조영상에서는 저신호 강도, T2 강조영상에서는 고신호 강도를 보이는 경우를 말한다.⁷ 자기공명영상 장운동기록법에서는 주로 이중성액을 사용한다.

대장의 염증성 병변에 대한 진단 정확도는 경구용 조영제 주입을 늦춤으로써 대장을 확장시키면 좋아질 수 있다. 그러나 전산화단층촬영술/자기공명영상 장운동기록법 검사 시 이러한 대장 준비를 기본적으로 포함하지는 않는다.

(4) 고위관장법(enteroclysis)

소장바륨조영술이나 고위관장법 같은 투시 검사가 점막의 미세한 변화를 찾아내는 데에는 탁월하나 장벽 자체 및 소장 외 해부학적 구조에 대한 정보를 얻을 수 없고 확장된 장이 겹치면서 판독에 어려움을 주게 된다. 반면 전산화단층촬영술/자기공명영상과 같은 횡단면 영상(cross-sectional image)은 투시 검사의 단점을 보완할 수 있다는 장점이 있으나 불완전 장폐색 같은 기능적 평가를 할 수 없으며 적절한 소장 내강 확장을 지속적으로 유지할 수 없다는 단점이 있다. 이들의 단점을 보완한 검사법이 전산화단층촬영술/자기공명영상 고위관장술(enteroclysis)로, 기존의 고위관장법과 동일한 방법으로 카테터를 투시 검사(fluoroscopic) 하에 십이지장이나 십이지장공장 연결 부위(duodenojejunal junction)까지 삽입한

후 전기 펌프(electronic pump)를 이용하여 100-120 mL/min의 속도로 1,500 mL 정도의 경구 조영제를 투여한 후 전산화단층촬영술을 시행한다. 전산화단층촬영술 시행 전 진경제(spasmolysis)를 주사하고 다시 경구 조영제를 좀 더 주입한다. 이 검사법은 다중 측정 전산화단층촬영술(multidetector CT)의 도입과 함께 짧은 시간 내에 고해상 영상을 획득할 수 있게 되면서 새롭게 주목 받았으나 카테터 삽관과 부가적 방사선 조사라는 환자의 부담이 있고, 장점막의 미세 변화나 작은 궤양, 궤양의 형태들을 평가하는 데는 제한적이다. 다만, 작은 소장 종양을 발견하는 데에 있어서 96.6%의 높은 진단 정확도를 보이며 관찰자 간 일치도도 높게 보고되고 있다.¹²

2. 검사 기법과 영상 연쇄(imaging sequence) 선택

1) 환자 자세(patient positioning)

상부 소장 확장을 위해서는 환자를 복와위(prone position)로 하는 것이 낫다는 보고가 있으나 진단 정확도의 차이가 없고 일부 환자에서는 이런 자세를 하기 어려우므로 일반적으로는 양와위(supine position) 자세를 취하게 한다.^{1,6,8,15} 검사 직전까지 경구용 조영제를 섭취하나 흡인(aspiration)에 의한 부작용 등은 보고가 많지 않으며 실제로 검사 시에도 거의 발생하지 않는다.

2) 진경제(spasmolysis)

적절한 자기공명영상 장운동기록법 영상을 얻기 위해서는 진경제를 사용하는 것이 좋다고 되어 있으며, 연동 운동과 관련한 인공물을 줄임으로써 영상의 질을 향상시킬 수 있다. 국제 가이드는 자기공명영상 장운동기록법을 얻기 전에 진경제를 사용하는 것을 권고하고 있다. 대표적으로 glucagon (복미)과 hyoscine butylbromide (유럽)를 사용하며 정맥 내로 주입하는 것이 가장 효과적이다.^{1-3,6,8,16-18} 진경제의 작용 시간이 짧으므로, 움직임에 민감한 순서(sequence)인 T2 강조영상과 삼차원 조영증강 T1 강조영상(T2-weighted imaging and three-dimensional T1-weighted postcontrast series)을 찍기 직전에 주입해야 한다. 근육 내 주사는 더 오래 작용할 수 있으나 작용 시간을 정확히 예측하기가 어려우므로 경우에 따라 고려해볼 수 있다. 이러한 진경제는 환자에게 복내장이나 전립선 비대증의 과거력이 있는 경우 사용하지 않는 것이 좋다. 전산화단층촬영술 장운동기록법의 경우에는 검사 시간이 짧고 자기공명영상과 비교하여 장운동에 의한 인공물도 거의 생기지 않아 보통 진경제를 사용하지 않는다.^{6,19}

3) 전산화단층촬영술/자기공명영상 영상 획득(CT/MR acquisition)

(1) 장비(hardware)

자기공명영상 장운동기록법은 1.5 T 이상의 장비에서는 모두 가능하며, 기본적으로 위상배열 코일(phased-array coil)을 사용하여야 한다. 항문 주위 누공(perianal fistula)을 보기 위해서도 환자가 편하고 더 넓은 뷰를 볼 수 있는 위상배열 코일을 사용해야 한다.^{1,2,8,9,17} 전산화단층촬영술의 경우 장의 고해상도 영상을 얻기 위해서는 빠른 영상 획득이 가능해야 한다. 정확한 비교 연구는 없으나 전산화단층촬영술 장운동기록법은 일반적으로 적어도 64 slices 이상의 기기를 사용하는 것이 좋다.^{1,6,19}

(2) 전산화단층촬영술 기법과 영상 변수(CT technique and parameter)

정맥 조영제 주입 후 영상은 장이 가장 잘 조영되는 시기(enteric phase; 조영제 주입 후 40-45초 후) 혹은 문맥기(portal phase; 65-70초 후)에 얻어야 한다. 정맥 조영제를 주입하면 장벽 조영증강 패턴과 장간막(mesenteric) 혈관 분포 상태(vascularity)를 잘 볼 수 있다. 전산화단층촬영술 분석에는 다평면(multiplanar) 영상 구현(reformat)이 필수적이며

절편 두께는 3 mm 이하로 하여야 한다(Fig. 1).

염증성 소장 질환에서 여러 번의 검사를 해야 하는 경우에 증가하는 누적 유효량(cumulative effective dose)은 매우 중요한 문제이다. 지난 15년 동안의 연구에서 염증성 소장 질환을 가지는 환자의 경우, 처음 5년 동안은 누적 유효량이 46.5% 증가하였으며 마지막 5년 동안은 84.7%가 증가하였다.^{1,3,20,21} 그러나 최근 전산화단층촬영술 기기가 발달하면서 유효량이 건당 6 mS 이하로 가능하게 되었다. 저선량(low-dose) 전산화단층촬영술의 경우 영상 잡음(image noise)이 증가하게 되나 영상의 질이나 진단능에 있어서는 큰 차이가 나지 않는다고 한다. 또한 방사선량(radiation dose)은 tube current (mA)나 tube kilovoltage (kV)를 줄이거나 최근에 발전된 방사선량을 줄이는 영상 기법(iterative image reconstruction)을 사용하면 더 많은 방사선 피폭을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.^{1,14,20,21}

(3) 자기공명영상 기법과 영상 변수(MR technique and parameter)

기본 영상 순서(essential sequences): 기본 영상 순서는 T2 강조영상이 가장 중요하며, 이 영상이 병의 활성도(disease activity)를 결정하는 급성 염증(active inflammation)과 벽내 부종(mural edema) 확인에 가장 기본이 된다.

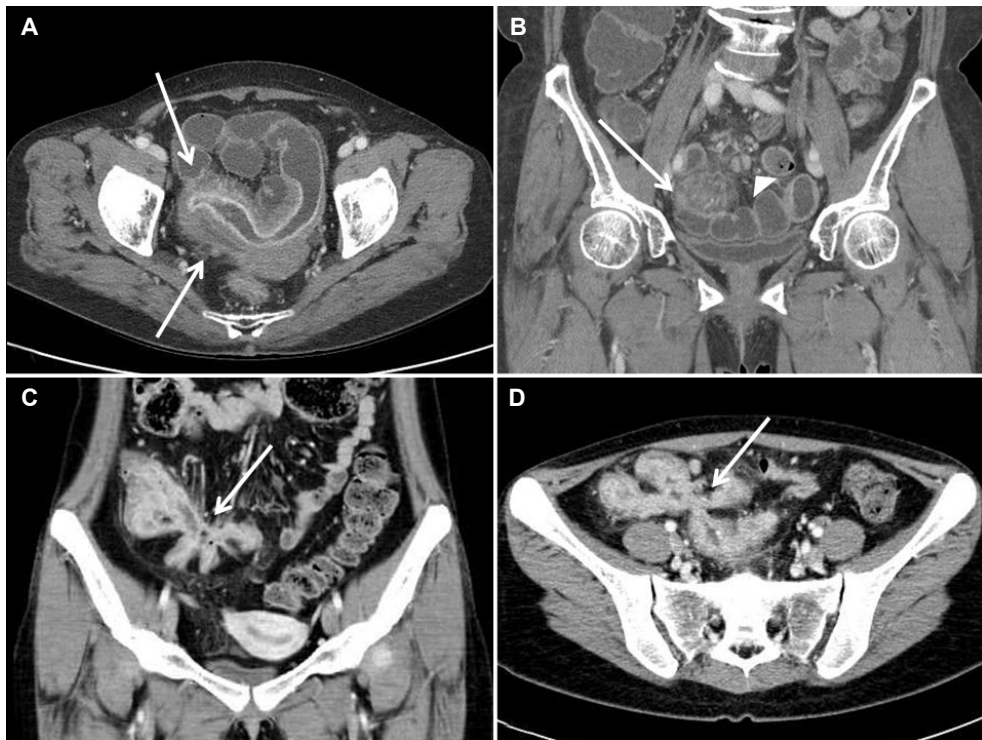


Fig. 1. Computed tomography enterography of active Crohn's disease. Axial image (A) showed bowel wall thickening, mucosal enhancement and edema (arrows). (B) Coronal image demonstrated mesenteric vessel engorgement (comb sign, arrow) with lymph node enlargement (arrowhead). (C, D) Coronal image (C) and axial image (D) noted star-shaped entero-enteric fistula (arrows).

Steady-state free precession gradient-echo sequence의 경우, 움직임에 의한 인공물에 덜 예민하며 장벽과 장간막 구조물을 더 선명하게 보여주므로 보통 기본 프로토콜에 포함이 된다. T1 강조영상은 gradient-echo (GRE) and fast spin echo technique을 사용하게 되며, 한 번 숨을 참는 동안 빠르게 영상을 획득할 수 있는 장점을 보여준다. 이러한 기법을 사용하여 호흡에 의한 움직임으로 인한 인공물을 줄여서 좋은 조영증강 영상을 얻을 수 있다.^{13,22-25}

정맥내 조영증강(intravenous contrast enhancement): 정맥내 가돌리늄 조영 증강(intravenous gadolinium contrast enhancement)은 복부 자기공명영상을 얻는 데에 매우 중요하다. 이를 이용하여 농양, 저류액, 누공 등을 잘 찾을 수 있기 때문이다. 또한, 조영증강 영상은 벽내 염증(mural inflammation), 섬유화(fibrosis), loop tethering을 가장 잘 보여주는 유용한 기법이다(Fig. 2). 조영증강 영상이 질환 활성도(disease activity)를 나타내는 장벽 조영증강을 잘 보여줌으로써 진단 정확도를 높여주게 되고, 정맥내 조영제는 유럽과 미국 양쪽 모두 가이드라인으로 권고하고 있다. 영상을 얻는 적절한 시간은 강조영기 혹은 문맥기로 조영제 주입 후 45-70초 후이다.^{4,11-13,22-25} 그러나 최근 연구에서 가돌리늄 조영제를 오랜 기간 동안 쓰는 경우에 뇌에 축적되는 사례들이

보고되어 있어, 여러 차례 영상을 시행해야 하는 젊은 염증성 장질환 환자의 경우 주의가 요구된다.²⁶ 확산강조영상(diffusion-weighted imaging)이나 영화 운동(cine motility) 순서가 조영증강 영상의 대체 방법으로 떠오르고 있으나¹ 아직은 환자 케이스에 따라서 그 때마다 적절한 영상 기법을 사용하라고 권고되는 수준이다.

항문 주위 농양 영상(perianal fistula imaging): 항문 주위를 보기 위해서는 고해상 T2 강조영상을 얻어야 하며 항문관 방향에 맞게 각도를 맞추어야 한다. 조영증강 T1 강조영상은 육아 조직(granulation tissue)과 액체의 구분, 누공 활성 여부(fistula activity)를 진단하는 데 도움을 주어 병기를 정확하게 알 수 있게 한다.

확산강조영상: 확산강조영상은 아직 가이드라인에서 선택적인 영상 기법으로 되어 있으나 이 영상을 장운동기록법 프로토콜에 포함시키는 기관들이 늘어나고 있으며, 염증의 정도를 파악하고 정맥내 조영증강 기법을 대체할 수 있다는 가능성을 보여주고 있다(Fig. 2). 확산강조영상은 보통 관상면(axial plane)으로 숨을 자유롭게 쉬면서 촬영하도록 하고 최대 절편 두께는 5 mm 이내로 해야 한다.

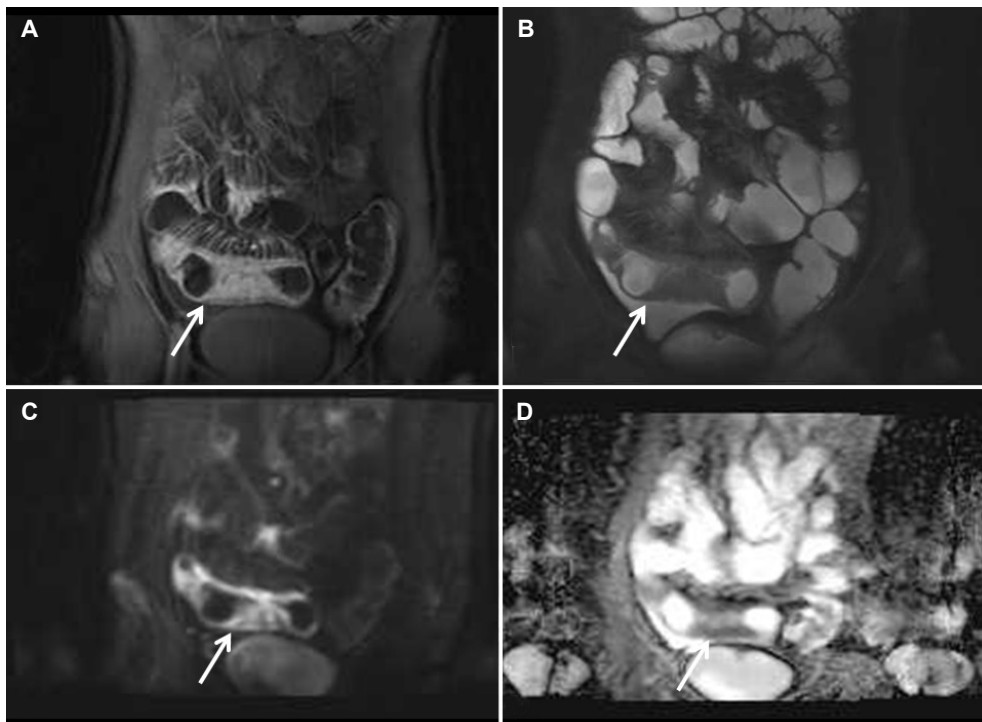


Fig. 2. Magnetic resonance enterography of active Crohn's disease. (A) Coronal scan of postcontrast T1-weighted image showed mucosal enhancement, wall thickening (arrow), and mesenteric vessel engorgement. (B) Coronal scan of true fast imaging with steady-state precession (FISP) noted intermediate signal intensity of involved ileal segment (arrow). (C, D) Diffusion-weighted image (C, high b-value=1,000) and apparent diffusion coefficient (ADC) (D) images demonstrated diffusion restriction presenting active inflammation (arrows).

3. 전산화단층촬영술과 자기공명영상 장운동기록법의 비교 (comparison of CT enterography and MR enterography)

전산화단층촬영술은 소장 질환을 검사할 때 정확한 검사 기법으로 소장 벽과 벽 외 구조물에 대한 자세한 정보를 제공할 수 있다. 그러나 표면적인 병변은 보기가 어려우므로 경미한 질환에서는 첫 번째 검사로 이용되지 않는다. 또한, 방사선 피폭의 위험으로 인하여 반복적 검사가 필요한 소장 염증 질환 환자나 임산부에서는 사용하기 어렵다. 전산화단층촬영술에서는 방사선 피폭을 줄이기 위하여 소장 연동을 보기 위한 검사를 시행할 수 없으므로 부정기적인 연축이나 연동 수축을 일으키는 병변을 놓치기가 쉽다. 그러나 최근에 업데이트된 다중 측정 전산화단층촬영술(multidetector CT)를 사용하면 방사선량을 감소시키는 것이 가능하여 진단 가능한 범위 내에서 저선량 전산화단층촬영술을 시행할 수 있다.^{1,20,21,27}

자기공명영상은 전산화단층촬영술과는 달리 우수한 연부 조직의 대조도를 얻을 수 있으며, 방사선 노출에 따른 위험이 없어 전산화단층촬영술 검사의 한계점을 보완하는 영상 진단 기법으로 알려져 있다. 전산화단층촬영술과 비교하여 자기공명영상 장운동기록법의 장점은 위에 언급한 것 이외에 여러

개의 면으로 일차 영상을 얻을 수 있으며, 순차적으로 영상을 얻고 여러 시기의 영상을 얻을 수 있으며, 정맥 조영제가 전산화단층촬영술에 비하여 훨씬 안전하다는 점 등이다. 그 외에도 다양한 시간차를 두고 소장의 연동 운동과 확장 정도에 따라서 달라지는 정도를 역동적으로 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 소장 질환의 평가에 있어서는 그 활용도가 제한적이었는데, 이는 호흡과 장관 운동에 따른 동작 인공물(motion artifact)로 인하여 진단적인 영상을 얻는데 제한이 있었기 때문이다. 다른 단점으로는 전산화단층촬영술에 비하여 비용이 많이 들며, 시간이 많이 걸리는 점이 있다.^{1,3,21,28} 그러나 최근 새로운 장비와 영상 기법의 발달로 그 활용도가 늘어나고 있다.

노령 환자에서는 첫 검사로 전산화단층촬영술을 사용하는 것이 선호되는데, 촬영 시간이 짧고 자기공명영상은 영상의 질이 다양할 수 있기 때문이다. 특히, 숨 참기가 어려운 환자에서는 전산화단층촬영술이 더 효율적이다. 증상이 급성인 환자에게는 전산화단층촬영술이 더 적절한 검사이므로 응급 상황에서 장천공 등의 급성 복통을 일으킬 수 있는 장외 병변을 발견하는 데에도 도움이 된다.³ 신장 기능이 좋지 않은 환자에서는 요오드성 조영제를 이용한 전산화단층촬영술 장운동

Table 2. CT and MR Techniques in Common Clinical Settings that Require Examination of Small Bowel^{3,29}

Indication	Preferred techniques	Comment
Suspected small bowel bleeding		
Hemodynamic instability	Nonenterographic abdominopelvic CT	• Unenhanced+dynamic multiphasic contrast-enhanced scans
Hemodynamic stability	CTE (MRE in limited cases)	• Unenhanced+dynamic multiphasic contrast-enhanced scans • MRE may be used mainly in pediatric patients
Crohn's disease		
Initial evaluation	CTE	• Single enteric-phase contrast-enhanced scan • MRE if a history of multiple prior CT scans
Acutely severely ill	CTE or nonenterographic abdominopelvic CT	• In patients who may not be able to hold still for the long acquisition time for MRE • Nonenterographic AP CT if unable to tolerate oral contrast
Young age	MRE	• Perhaps, <35 years old
Pregnancy	MRE	• Unenhanced scans only, because MRI contrast agents are contraindicated
Therapeutic monitoring	MRE	• As repeated imaging F/U are required
Suspicion of perianal disease	MRE	• A separate anal scan can be added to MRE
Suspected bowel obstruction or ischemia	Nonenterographic AP CT	• Unenhanced+dynamic multiphasic contrast-enhanced scans if ischemia/strangulation is suspected • Otherwise, single-phase contrast-enhanced scan
Unexplained diarrhea	CTE or MRE	• Evaluate small bowel and pancreas
Malabsorption or celiac sprue	CTE or MRE	• Rule out lymphoma or refractory celiac disease
Polyposis	CTE or MRE	• Define polyp sizes and locations • May consider positive oral contrast at CT, because polyps are intraluminal filling defects

CT, computed tomography; MR, magnetic resonance; CTE, computed tomography enterography; MRE, magnetic resonance enterography; AP, abdomen and pelvis; MRI, magnetic resonance imaging; F/U, follow-up.

기록법을 찍는 경우 신장 기능을 더욱 악화시킬 수 있다. 이러한 경우에는 조영증강 전 자기공명영상으로 급성 염증을 시사하는 소견 등을 진단할 수 있다. 최근 연구 결과에서 조영제를 사용하지 않은 자기공명영상으로 작은 크기의 소장 종양을 발견하는 정확도가 조영제를 사용하였을 경우와 거의 유사하다고 보고하고 있다.

전산화단층촬영술은 소장 종괴를 발견하는 데 유용한 방법 이기는 하나 병변이 동일감쇠(isoattenuation)로 보이거나 소장 확장이 잘 안되었을 때, 양성 경구 조영제를 썼을 때는 작은 병변을 발견하기가 어렵다. 이에 비하여, 자기공명영상은 전산화단층촬영술에서 비특이적인 저감쇠(low attenuation)로 보일 수 있는 소장 벽의 병적인 변화를 구분할 수 있다. 예를 들어, 크론씨병(Crohn's disease)에서 활성도 인자로 생각할 수 있는 소장 벽의 부종에 의하여 나타나는 변화를 지방 억제 T2 강조영상 영상으로 감별해낼 수 있다. 자기공명영상에서 이러한 부종과 달리 만성기에 나타나는 섬유화의 경우 T2 강조영상에서 저신호 강도로 나타나게 된다.^{1,8,9,21} 전산화단층촬영술과 자기공명영상 장운동기록법의 크론씨병의 진단 정확도에 대한 메타분석 보고에 따르면 민감도가 각각 87% vs. 86%, 특이도는 91% vs. 93%로 두 영상 기법 모두 높은 진단 정확도를 보인다.¹⁴

4. 판독 훈련(training)

자기공명영상 장운동기록법을 적절히 판독하기 위한 학습 곡선(learning curve)이 있는데, 100개의 케이스를 판독해야 숙련된 영상의학과 의사와 비슷한 진단 정확도를 보일 수 있다. 그러나 일단 한 번 숙련된 후에는 판독 능력을 오랫동안 유지할 수 있다고 한다. 전산화단층촬영술/자기공명영상 장운동기록법의 판독자 간 일치 정도는 moderate-to-good 정도로 알려져 있으며, 판독자 간 일치 정도는 전산화단층촬영술 장운동기록법이 자기공명영상 장운동기록법보다 높게 나타난다는 연구 결과도 있다. 항문 주위 농양에 대한 판독 시에도 적절한 학습 곡선이 있어서 정해진 훈련이 필요하다.^{1-3,7}

5. 소장 질환에 적절한 영상 기법(common clinical setting preferred technique)

전산화단층촬영술 장운동기록법과 자기공명영상 장운동기록법은 소장 질환이 의심되는 경우에 항상 필요한 검사 방법은 아니다. 소장에 대한 영상 기법과 그에 맞는 테크닉이 Table 2에 요약되어 있다. 가장 중요한 적응증은 소량의 만성적 소장 출혈이 의심되는 경우와 크론씨병이다. 각 임상적 상황에 맞는 영상 기법을 알고 시행하는 것이 환자에게 적절한 도움을 주고 진단 정확도를 높이는 데에 매우 중요하다.^{2,3,16}

결론

전산화단층촬영술/자기공명영상 장운동기록법의 기법이 발달함에 따라 일상 검사에서 사용하는 영상 기법도 매우 다양해지고 있으며 계속적인 연구가 요구되고 있다. 전산화단층촬영술/자기공명영상을 사용한 장운동기록법은 경구용 장조영제를 섭취한 뒤 시행하여야 한다. 고장성의 점액성 액체를 사용한 중성 조영제를 가장 많이 사용하고 있으며, 적어도 1 L 이상의 양을 45분 이상 섭취하는 것이 기본적으로 필요하다. 진경제는 특별한 경우를 제외하고는 자기공명영상 장운동기록법 검사 직전에 사용하는 것이 도움이 되며, 적절한 장비를 사용하는 것이 중요하다. 전산화단층촬영술/자기공명영상 장운동기록법 모두 정맥 조영제를 사용한 조영증강 영상을 얻는 것이 바람직하다. 전산화단층촬영술의 경우 방사선 노출의 위험을 고려하여 각각의 질환에 맞는 적절한 영상 기법을 선택하는 것이 중요하며, 특히 어린 나이에서부터 반복적 검사가 필요한 염증성 장질환의 경우에는 검사 기법의 선택에 주의를 요한다. 좋은 결과를 얻기 위해서는 담당 임상 의사와 영상의학과 의사의 긴밀한 의견 교환이 필수적인 요소이다.

REFERENCES

1. Sturm A, Maaser C, Calabrese E, et al. ECCO-ESGAR guideline for diagnostic assessment in IBD part 2: IBD scores and general principles and technical aspects. *J Crohns Colitis* 2019;13: 273-284.
2. Boone D, Taylor SA. Magnetic resonance of the small bowel: how to do it. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2020;28:17-30.
3. Park SH, Ye BD, Lee TY, Fletcher JG. Computed tomography and magnetic resonance small bowel enterography: current status and future trends focusing on Crohn's disease. *Gastroenterol Clin North Am* 2018;47:475-499.
4. Masselli G, Gualdi G. MR imaging of the small bowel. *Radiology* 2012;264:333-348.
5. Choi IY, Park SH, Park SH, et al. CT enterography for surveillance of anastomotic recurrence within 12 months of bowel resection in patients with Crohn's disease: an observational study using an 8-year registry. *Korean J Radiol* 2017;18:906-914.
6. Baker ME, Hara AK, Platt JF, Maglinte DD, Fletcher JG. CT enterography for Crohn's disease: optimal technique and imaging issues. *Abdom Imaging* 2015;40:938-952.
7. Fidler JL, Goenka AH, Fleming CJ, Andrews JC. Small bowel imaging: computed tomography enterography, magnetic resonance enterography, angiography, and nuclear medicine. *Gastrointest Endosc Clin N Am* 2017;27:133-152.
8. Pola S, Santillan C, Levesque BG, Feagan BG, Sandborn WJ. An overview of magnetic resonance enterography for Crohn's disease. *Dig Dis Sci* 2014;59:2040-2049.
9. Naganuma M, Hisamatsu T, Kanai T, Ogata H. Magnetic resonance enterography of Crohn's disease. *Expert Rev Gastroenterol*

- Hepatol 2015;9:37-45.
10. Greenup AJ, Bressler B, Rosenfeld G. Medical imaging in small bowel Crohn's disease-computer tomography enterography, magnetic resonance enterography, and ultrasound: "which one is the best for what?". *Inflamm Bowel Dis* 2016;22:1246-1261.
 11. Tolan DJ, Greenhalgh R, Zealley IA, Halligan S, Taylor SA. MR enterographic manifestations of small bowel Crohn disease. *Radiographics* 2010;30:367-384.
 12. Masselli G, Guida M, Laghi F, Poletti E, Gualdi G. Magnetic resonance of small bowel tumors. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2020;28:75-88.
 13. Mantarro A, Scalise P, Guidi E, Neri E. Magnetic resonance enterography in Crohn's disease: how we do it and common imaging findings. *World J Radiol* 2017;9:46-54.
 14. Liu W, Liu J, Xiao W, Luo G. A diagnostic accuracy meta-analysis of CT and MRI for the evaluation of small bowel Crohn disease. *Acad Radiol* 2017;24:1216-1225.
 15. Anupindi SA, Grossman AB, Nimkin K, Mamula P, Gee MS. Imaging in the evaluation of the young patient with inflammatory bowel disease: what the gastroenterologist needs to know. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2014;59:429-439.
 16. Takenaka K, Ohtsuka K, Kitazume Y, et al. Utility of magnetic resonance enterography for small bowel endoscopic healing in patients with Crohn's disease. *Am J Gastroenterol* 2018;113:283-294.
 17. Manetta R, Capretti I, Belleggia N, et al. Magnetic resonance enterography (MRE) and ultrasonography (US) in the study of the small bowel in Crohn's disease: state of the art and review of the literature. *Acta Biomed* 2019;90(5-S):38-50.
 18. Deepak P, Park SH, Ehman EC, et al. Crohn's disease diagnosis, treatment approach, and management paradigm: what the radiologist needs to know. *Abdom Radiol (NY)* 2017;42:1068-1086.
 19. Guglielmo FF, Anupindi SA, Fletcher JG, et al. Small bowel Crohn disease at CT and MR enterography: imaging atlas and glossary of terms. *Radiographics* 2020 Jan 17. [Epub ahead of print]
 20. Grand DJ, Harris A, Loftus EV Jr. Imaging for luminal disease and complications: CT enterography, MR enterography, small-bowel follow-through, and ultrasound. *Gastroenterol Clin North Am* 2012;41:497-512.
 21. Gale HI, Sharatz SM, Taphey M, Bradley WF, Nimkin K, Gee MS. Comparison of CT enterography and MR enterography imaging features of active Crohn disease in children and adolescents. *Pediatr Radiol* 2017;47:1321-1328.
 22. Kim JS, Jang HY, Park SH, et al. MR enterography assessment of bowel inflammation severity in Crohn disease using the MR index of activity score: modifying roles of DWI and effects of contrast phases. *AJR Am J Roentgenol* 2017;208:1022-1029.
 23. Fidler JL, Guimaraes L, Einstein DM. MR imaging of the small bowel. *Radiographics* 2009;29:1811-1825.
 24. Anupindi SA, Terreblanche O, Courtier J. Magnetic resonance enterography: inflammatory bowel disease and beyond. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2013;21:731-750.
 25. Ahmed O, Rodrigues DM, Nguyen GC. Magnetic resonance imaging of the small bowel in Crohn's disease: a systematic review and meta-analysis. *Can J Gastroenterol Hepatol* 2016;2016:7857352.
 26. Kahn J, Posch H, Steffen IG, et al. Is there long-term signal intensity increase in the central nervous system on T1-weighted images after MR imaging with the hepatospecific contrast agent gadoxetic acid? A cross-sectional study in 91 patients. *Radiology* 2017;282:708-716.
 27. Fiorino G, Bonifacio C, Peyrin-Biroulet L, et al. Prospective comparison of computed tomography enterography and magnetic resonance enterography for assessment of disease activity and complications in ileocolonic Crohn's disease. *Inflamm Bowel Dis* 2011;17:1073-1080.
 28. Khater NH, Fahmy HS, Ali HI. Value of MR enterography in assessment of Crohn's disease: correlation with capsule endoscopy and colonoscopy. *Egypt J Radiol Nucl Med* 2017;48:51-60.
 29. Park SH. DWI at MR enterography for evaluating bowel inflammation in Crohn disease. *AJR Am J Roentgenol* 2016;207:40-48.