

가상 위내시경(Virtual Gastroscopy)

서울대병원 진단방사선과

김 세 형

서 론

방사선과에서 얻어지는 단층영상은 기본적으로 하나의 정해진 평면에 대해 일정한 두께를 갖는 이차원적 영상이다. 따라서 CT, US, MR과 같은 단층촬영영상을 관독할 때는 병변을 포함하고 있는 여러 개의 영상을 하나씩 관찰한 뒤, 이를 뇌의 삼차원적 재구성 기능을 통하여 그 전체적인 모양을 상상하여 그려내곤 하였다. 진단방사선과를 전공하는 모든 분들은 이 상상력을 키우는데 많은 수련을 받아왔기 때문에 큰 어려움 없이 관독을 해내지만, 내과나 일반외과 등 타과의 의사들은 그 관독을 듣고도 충분히 이해하지 못하는 경우가 종종 발생한다. 뿐만 아니라, 방사선 치료나 수술을 계획하는데 있어서 3차원적 영상에 대한 욕구가 점점 증하고 있다.

과거의 CT는 불연속적인 스캔이어서 환자의 움직임 또는 불규칙한 호흡으로 인하여 설득력 있는 삼차원 영상을 얻기가 매우 어려웠다. 그러나 최근 연속적 스캔이 가능한 나선식 CT의 발달에 따라 1회 호흡정지기간 중 우리 몸의 일정 부분에 대한 체적자료(volumetric data)를 얻을 수 있게 됨에 따라 호흡운동에 의한 검사부위의 변동이 생기지 않고, 또 임의의 단면에서 영상을 재구성할 수 있게 됨에 따라 한번 얻어진 체적 데이터를 바탕으로 훨씬 더 촘촘한 재구성간격으로 영상을 다시 만들어 낼 수 있어 보다 정교한 삼차원 구성이 가능하게 되었으며 병변의 위치와 형태 및 주위장기와의 관계를 누구나 객관적으로 쉽게 이해할 수 있도록 나타내는 것이 실제로 가능해졌다.

최근에는 multidetector CT의 도입으로 인해 더 짧은 시간 안에 좀더 촘촘한 영상을 획득할 수 있게 되어 기존의 나선식 CT에서 문제가 되어왔던 환자의 종축 방향으로의 해상도를 획기적으로 향상시킬 수 있게 되어 우수한 3차원 영상을 얻을 수 있게 되었다. 진단방사선과의 다양한 영역에서 삼차원 영상이 도입되었는데, 그 중 가상 내시경 분야는 최근에 각광받고 있는 새로운 topic이라 하겠다.

본 강의에서는 가상 내시경의 원리, 방법 및 장단점을 다양한 임상적용의 예와 함께 소개하고자 한다.

가상 내시경 기법의 원리

가상 내시경 기법은 3차원영상 재구성의 하나로 크게 3단계로 나뉘어지는데, 첫째, 3차원영상의 자원이 되는 체적 데이터를 얻어야 하고(data acquisition), 둘째, 얻어진 데이터를 다양한 3차원 영상을 위한 소프트웨어에 적용시키는 후처리 과정을 거쳐야 하며(image postprocessing), 마지막으로

이를 컴퓨터 모니터나 필름 등의 2차원적 표면에 어떤 식으로 보여줄지를 결정하는 단계로 되어 있다(image display). 따라서 얼마나 고해상도의 체적데이터를 얻느냐와 어떤 3차원 재구성 소프트웨어와 rendering technique을 쓰느냐가 최종적으로 재구성되는 3차원 영상의 질을 결정한다고 할 수 있겠다.

1) 데이터 획득(data acquisition)

재구성된 3차원 영상의 질은 모 데이터의 해상도와 밀접한 관련이 있으므로 최근의 3차원 영상의 급속한 발전은 좀 더 촘촘한 영상, 적절하게 조영증강된 영상 획득을 가능케 하는 나선식 CT 이나 Multidetector CT 등의 장비의 도입에 힘입은 결과라고 생각할 수 있겠다.

2) 재구성 기법(rendering technique)

Rendering technique이란 2차원적 영상을 모의 3차원 영상으로 변환시키는 방법으로 Surface shaded display (SSD) 방식과 Maximum intensity projection (MIP) 방식, Multiplanar reformation (MPR) 방식 그리고 Volume rendering (VR) 방식이 사용된다. 가상 내시경 기법은 SSD방식과 volume rendering 방식을 적용하여 만들어질 수 있다.

SSD방식은 일정 체적 데이터내에 미리 지정한 역치값 이상의 CT값(HU)을 가진 pixel만을 취해 연결하여 표면을 구성한 후 가상의 인공광원을 비취 관찰자로 반사되어 들어오는 광량에 비례해 표면에 그림자를 입힘으로써 입체감을 부여하는 방식이다. 이는 일정 역치값 이상의 pixel은 1로 그 이하의 값은 0으로 계산하는 이진법적 구성을 따르고 있어 후처리속도가 빠르고 깊이 정보를 가지는 반면, 얻어진 체적 데이터의 약 10%만이 최종이미지에 기여됨으로 인해 손실되는 정보가 많고 역치값을 얼마로 지정하느냐에 따라 병변이 과대 혹은 과소평가 될 수 있어 덜 객관적이며 재구성자에 따라 다른 영상이 만들어질 수 있다(not reproducible). 또한 데이터가 갖는 본래의 CT 값이 소실되는 단점도 있다. 예를 들면 석회화와 조영증강된 혈관을 구별할 수 없게 되어 석회화에 의한 혈관의 협착정도가 과소평가 될 수 있다.

Volume rendering방식은 SSD기법이 갖는 단점인 정보소실 문제를 극복하기 위해 등장하였다. 원래는 컴퓨터 그래픽이나 영화산업에 주로 사용되던 기법으로 그 발전에 힘입어 의료영상에 도입되었으며 최근에 가장 각광 받는 3차원 영상 재구성 기법이다. 먼저 전체 데이터의 histogram을 얻은 후 각 조직 타입별로 세분화하여 불투명도(opacity), 광도(brightness), 색감(color) 등의 여러 매개변수(parameter)를 달리 적용하고 그 적용된 값의 합을 전시하는 방식으로 체적내에 거의 모든 데이터가 최종적으로 재구성된 영상에 서로 다른 가중치로 기여하게 된다. 따라서, 처리해야 하는 데이터가 많아지므로 데이터처리능력 및 저장능력이 좋은 사양의 컴퓨터가 필요하고 데이터 처리에 시간이 많이 소모되는 단점이 있으며 재구성자 마다 다른 매개변수를 적용하게 되면 다른 영상이 얻어지므로 재생력이 부족하고(not reproducible) 길이, 부피, 면적 측정 등 정량화에 있어 부정확하다. Volume rendering 기법에서는 partial volume averaging이 중요한 역할을 하는데, 위장내를 공기나 조영제로 채워 위장벽을 사이에 두고 CT값의 차이를 극대화한 다음 서로 다른 CT값을 갖는 두 조직의 CT값의 평균을 알아내 이것만을 보여주도록 함으로써 위장벽을 보여주는 방법이다. 예를 들면, 공기로 채워진 위장관내의 CT값은 0으로 위장벽의 연부조직의 CT 값은 1이라 한다면, 그 평균인 0.5를 나타내는 voxel을 짝 연결하여 위장관벽의 영상을 얻는 방법이다.

3) 영상 전시(image display)

영상 전시는 여러 rendering 기법을 통해 얻어진 3차원 정보를 최종적으로 판독자나 임상외과가 보게 되는 이차원 공간(컴퓨터 모니터, 필름)에 뿌려주는 과정으로 그 방법은 ray-casting, fly-through/fly-around, 입체 영상(stereo display), 다중 영상 등 다양한데, 가상내시경 기법에서는 주로 fly-through

방식이 사용된다. fly-through 방식은 카메라 기법 중 extended camera shot과 유사하게 미리 지정해 둔 가상의 진로를 따라 전진하면서 원근감을 부여된 영상을 볼 수 있게 해주는데 카메라가 빠져 나오듯이 play back할 때를 대비하여 이미 본 영상을 저장해 둔다. 다중 영상은 MPR, SSD, Volume rendering 등 다양한 rendering 기법에 의해 창출된 영상을 한 화면의 여러 창에 동시에 띄움으로써 해석(interactive display) 각 기법의 장·단점을 상호 보완할 수 있게 함으로써 진단적 정확도를 극대화 시키는 방법이라 할 수 있다.

가상 위내시경(Virtual gastroscopy)

기존의 내시경(이하 내시경)은 광학기술을 이용하여 위나 대장 등의 내면을 직접 들여다 봄으로써 점막 병변을 찾고 진단하는데 이상적인 검사 기법으로 여겨져 왔다. 그러나 내시경 기술은 환자에게 불편감을 줄 수 있고 시술 중 진정(sedation) 및 마취를 요하며 보고자 하는 기관의 내면만을 들여다 볼 수 있어 병변이 발견된 경우 주위 조직과의 관계를 보기 위해서는 따로 CT, MR, US 등 횡단면 영상을 시행해야 하는 단점이 있다.

진단 방사선과 영역에서 영상 획득 및 처리 기술의 획기적인 발전에 힘입어 고해상도의 CT 영상을 획득하고 이를 일정한 3차원 기법을 통하여 재구성함으로써 마치 실제 내시경을 보는 것과 같은 영상을 얻을 수 있게 되었다. 초기에는 처리속도가 늦고 해상도가 떨어지는 단점이 있었으나 급속한 기술적 진보를 토대로 발전되어 최근에는 가상 대장내시경의 경우 대규모의 집단 검진 프로그램을 통해 가상 내시경이 직장 대장암의 screening tool로서 기존의 내시경을 대체할 수도 있을 것이란 전망까지 조심스럽게 대두되고 있는 실정이다.

본 강의에서는 가상 위 내시경의 기법, 기존의 영상과 비교한 장단점, 성적 및 결과, 향후 전망 등을 소개하고자 한다.

1) 기법

검사 방법에 대해 여러 연구가 있어왔으며 저자에 따라 약간씩 다를 수 있으나 서울대병원에서 사용하는 방법을 소개하면 CT를 시행하기 전에 5 mg의 부스코판을 주사하여 위의 긴장을 감소시키고 연동운동을 억제시키며 소장으로의 이른 공기 통과를 방지한다. 발포제 2포를 약 5~10 cc의 물로 먹게 하고 검사가 끝날 때까지 트림을 참도록 안내하고 환자를 조심스럽게 눕힌다.

이 등에 의하면 3차원 위 CT영상에서 점막하 종양을 포함한 위 병변 대부분은 위내시경에서 보이는 소견에 필적한 결과를 보였으나 Borrmann type 4 병변과 prepyloric antrum 병변의 경우 위 팽창이 불충분하여 진단에 어려움이 있었다고 보고하였으며 필자의 경우 위 유문부의 충분한 팽창을 확보하기 위해 환자의 오른쪽 등 밑에 베개 등을 이용하여 30도 정도의 왼쪽 후사위 상태에서 CT를 시행하였다. 또한 위 본문부와 위후벽의 병변이 남아있는 분비물 등에 의해 가려지는 것을 막기 위해 우향좌 위치로 돌려세워 한번 더 CT를 시행하였다. 3 mm collimation, pitch 1.7, 1 mm reconstruction의 parameter를 이용한 나선식 CT를 시행하였으며 얻어진 데이터는 서울대학교와 공동 개발한 PC-based 3D software인 Rapidia[®]가 비치된 PC로 download되어 3차원 영상으로 재구성되었다.

위장관의 3차원 영상은 위내강의 공기와 위벽 자체에서 발생한 극대화된 대조를 이용하게 되는데 먼저 500HU의 역치값을 지정하고 자동적 혹은 수동적인 방법으로 내강과 벽의 interface를 제외한 나머지 정보를 삭제한 후 불투명도를 다양하게 조절하여 마치 single contrast barium study와 이종 바륨 조영술과 유사한 view model을 만들어 놓고 미리 semiautomatic하게 지정해놓은 flight path를 따라 위 본문에서 유문부로(또는 그 반대 방향으로) cine mode를 이용하여 들여다 볼 수 있

고 병변이 발견될 경우 가상 카메라를 수동 조작하여 병변부위를 확대해보거나 다양한 각도에서 병변을 관찰해 볼 수도 있다.

2) 장점

가상 위내시경이 기존의 내시경에 비해 갖는 최대 장점은 비침습성이다. 특히 위조영술이나 위내시경을 시행하기에 부적합할 정도로 전신상태가 악화된 환자에서는 그 유용성이 강조될 것이다. 또한 기존의 위내시경에 비해 field of view의 제한이 비교적 덜하며 다중 영상기능을 통해 MPR영상 및 2차원 횡단면 영상과의 interactive display를 이용한다면 실시간으로 위내강에서의 병변의 모양뿐 아니라 주위장기로의 침윤이나 심지어 먼장기로의 전이 등 내강 밖의 정보를 단 한번의 CT 촬영으로 얻을 수 있다. 2차원 영상 CT만을 이용한 진단과 비교했을 경우 Borrmann 분류에 기초한 위암 병변의 형태를 정확히 분석할 수 있고 병변 발견율을 증가시키며 점막하 병변의 경우 bridging fold 등 2차원 영상만으로는 얻을 수 없는 정보를 획득할 수 있는 장점도 있다.

3) 단점

첫째, 가상 내시경을 위한 3차원 재구성은 시간을 소모하고 대용량의 저장능력을 요구하는 작업이다. 그러나 재구성을 위한 hardware 및 software의 급속한 발전이 있고 방사선과 의사가 재구성 작업에 점점 익숙해져 감에 따라 시간소모의 단점은 상당히 극복되었으며 실제로 불과 3~4년 전에는 재구성작업에 10시간 이상이 소모되는데 비해 현재 필자의 경우 데이터획득 후 단 10분만에 가상 내시경 영상을 만들어 낼 수 있게 되었다. 둘째, 편평하거나 작은 병변의 경우 발견에 어려움이 있다. 내시경과 달리 점막의 과혈관성 등 색깔변화를 표현하지 못해 IIb 타입의 조기 위암의 경우 발견이 거의 불가능하다고 할 수 있다. 그러나 작은 병변의 경우는 multidetector CT 등 고해상도의 영상 획득기술 도입으로 극복될 수 있으리라 생각되며 이를 위한 임상 연구가 진행되어야 할 것이다. 셋째로 보다 촘촘한 영상을 얻기 위해 재구성 간격을 작게 할 경우 스캔시간이 길어져 위연동운동이나 환자의 호흡에 의한 인공물이 증가할 수 있겠으나 대장과 달리 위장은 길이가 길지 않으므로 위장을 다 cover하는데 저자의 나선식 CT영상의 경우 20~25초가 소요되어 그리 큰 문제는 없었으며 subsecond 단위의 스캔이 가능한 multidetector CT의 등장으로 이 문제는 해결되었다. 마지막으로 무엇보다도 조직검체를 얻을 수 없으며 내시경적 기술이 불가능하다는 게 가장 큰 단점이라 하겠다. 따라서 가상내시경검사는 기존의 내시경과 경쟁관계가 아닌 상호보완 관계가 되어야 하겠다.

4) 결과

가상 위내시경을 이용한 임상 결과를 보고한 논문은 많지 않은 실정이다.

Ogata 등에 의하면 37명의 위 병변을 가진 환자를 대상으로 가상 내시경과 위내시경 소견을 비교한 결과 병변 분석에서 조기 위암과 진행 위암의 경우 통계적으로 유의하게 가상 내시경이 열등한 결과를 보였으나 위병변 발견에 있어 가상 내시경의 민감도와 특이도는 각각 82%와 100%로 보고하였다. 또한 7개의 위선종 중 2개는 가상 내시경검사에서 발견되지 않았으나 통계적 유의성은 없었다. 이들은 그러나 가상 내시경이 위정맥류를 포함한 점막하 병변의 발견 및 특성화에 매우 뛰어나며 특히 MPR 영상과의 interactive display를 통해서 주위 장기로의 침습 및 림프절 전이 등을 알 수 있어 병기결정(staging)이 가능하며 이는 내시경에 비해 우월한 기능이라고 발표하였다. 또한 Wood 등은 위 내강내에서 가상카메라 조작을 자유자재로 할 수 있으므로 병변의 전장을 정확히 평가할 수 있게 되어 취약 가성낭종 환자에서 위자체 병변인지 외부 병변의 이차적 침습인지를 구별하는데 도움이 되었다고 하였다. 이들은 역시 양성 위궤양환자에서 기존의 횡단면 CT영상에서는 관찰하기 힘들었던 궤양 테두리와 주위 주름에 관한 정보를 바탕으로 확신을 갖고 진단

을 할 수 있었다고 하였다.

서울대병원에서 다양한 위장관 병변을 갖는 51례(진행위암 22례, 조기위암 14례, 위장관 간질성 종양(GIST) 7례, 위용종 3례, 위정맥류 2례, 림프종 1례)의 환자를 대상으로 한 연구에서 30도 왼쪽 후사위 자세와 우향좌 자세 두자세에서 얻은 CT영상은 2례(심한 위출구 폐쇄가 있어 위내용물이 다량 남아 병변을 내용물이 가린 경우 1례와 심한 연동운동으로 공기가 소장으로 빨리 빠져나가 위장이 찢부라진 1례)를 제외하고 만족할 만한 위팽창을 유도하였다. 이를 통해 가상 위내시경을 포함한 3가지(surface mode, transparent mode, endoscopic mode) 다른 3차원 전시기법을 적용하고 각각 기존의 바륨조영술 및 내시경의 결과와 비교하였을 때, 조기 위암의 경우 3가지 기법 모두에서 기존의 바륨조영술 및 내시경에 비해 열등한 결과를 보였으며 나머지 병변에서는 유의한 차이가 없이 기존 기법과 유사한 결과를 보였다. 또한 CT 횡단 영상 및 2D MPR 영상을 함께 보는 interactive display를 통해 거의 모든 병변군에서 추가 정보를 얻을 수 있어 정확한 진단에 도달하는데 도움을 줄 수 있었다. 영상 기법의 목적은 정확한 진단에도 있지만 술 전 병변의 정확한 위치결정에도 있다. 특히 최근에 복강경 수술 등 덜 침습적인 수술기법이 활발히 도입됨에 따라 술 전에 병변의 위치와 범위를 정확히 판단하는 것이 필수적인데 본원에서 위장관 간질성 종양이 의심되는 4례의 환자에서 술 전 CT와 이를 통한 3차원 영상 소견만으로 병변의 정확한 위치결정이 가능해 복강경 수술을 성공적으로 시행하였다.

IV. 미래 및 전망

가상 내시경을 포함한 3차원 영상의 향방은 컴퓨터 기술의 발전과 밀접한 관련이 있다. 컴퓨터 처리 속도의 진보, 항해(navigation) 기술의 향상, 정확한 공간 위치 지정 및 공간 해상도의 증가 등에 의해 가상 영상질의 급격한 향상이 기대된다. 그러나 위의 결과에서도 알 수 있듯이 조기 위암 등 영상소견이 매우 미비한 병변, color 변화로만 나타나는 표층병변에서는 아직도 많은 한계를 보이며 이는 병변 두께에 따라 다른 색으로 표현되는 color coding기법이나, texture차이를 보여주는 기법 등이 추가적으로 개발 되어야 할 것으로 보인다.

가상 위내시경은 앞서 언급한 여러 제한점에도 불구하고 비침습적으로 비교적 정확히 위병변을 평가할 수 있으며 2차원적 횡단면영상과 함께 관독할 경우 내시경에서는 불가능한 위장밖의 병변의 침습정도까지 알 수 있게 되며 술 전 병변의 정확한 위치결정이 가능하게 되고 여러 기술적 진보와 함께 상기 제한점이 해결된다면 내시경이나 위장관조영술이 부적합한 환자에서 이들을 대체할 새로운 기법으로 대두될 전망이다.

필자는 이미 multidetector CT의 도입으로 3차원 CT가 해상도면에서 괄목할 만한 성장이 되었다고 생각하며 이전에는 영상획득 장비 옆에 비치된 workstation에서 이루어지던 3D 작업이 진단방사선과 의사의 데스크탑 PC에서 가능하게 되어 앞으로는 누구나 손쉽게 가상 내시경검사를 시행하고, 누구나 최상의 3차원영상을 얻을 수 있게 되어 가상 내시경 검사가 좀더 보편화 되리라고 믿는다.

참 고 문 헌

1. Ogata I, Komohara Y, Yamashita Y, et al. CT evaluation of gastric lesions with three-dimensional display and interactive virtual endoscopy: comparison with conventional barium study and endoscopy. AJR 1999;172:1263-1270.

2. Wood BJ, O'Malley ME, Hahn PF, Mueller PR. Virtual endoscopy of the gastrointestinal system outside the colon. *AJR* 1998;171:1367-1372.
3. Lee DH, Ko YT. Gastric lesions: evaluation with three-dimensional images using helical CT. *AJR* 1997;169:787-789.
4. Lee DH. Three-dimensional imaging of the stomach by spiral CT. *J Comput Assist Tomogr* 1998;22:52-58.
5. Jolesz FA, Lorensen WE, Shinmoto H, et al. Interactive virtual endoscopy. *AJR* 1997;169:1229-1235
6. Rubin GD, Beaulieu CF, Argiro V, et al. Perspective volume rendering of CT and MR images: applications for endoscopic imaging. *Radiology* 1996;199:321-330.