

# Capsule Endoscopy: Where Are We?

연세대학교 의과대학 내과학교실

## 천 재 희

### 서 론

소화기 내과 의사들이 위장관 병변을 직접 관찰하고자 하는 노력은 오래 전부터 이루어져 왔다. 그 결과 1970년대 경성 내시경과 위장관 X-선 투시 촬영만을 이용하던 것을 획기적으로 발전시킨 연성 내시경이 개발되었고 이를 통해 식도, 위, 대장의 병변은 모두 관찰이 가능하게 되었으나, 최근까지도 소장을 직접 관찰하는 것은 매우 어려운 일이었다. 이런 역사적 배경 하에 2000년 캡슐 내시경은 이전부터 축적된 소화기 내과 의사의 상상력과 과학기술의 접목으로 탄생되었다.<sup>1</sup> 캡슐 내시경은 수면이나 내시경 조작이 불필요하며 환자에게 고통을 주지 않으면서 소장을 직접 육안으로 관찰할 수 있는 획기적인 검사법으로 국내에서도 원인 불명의 만성 위장관 출혈이나 복통, 크론병과 같은 염증성 장질환 등의 진단에 있어서 임상적 이용 빈도가 급격히 늘어나는 추세이다.<sup>2</sup> 또한 최근에는 식도와 대장 캡슐내시경도 개발되어 내시경 검사의 패러다임 자체가 바뀌고 있다고 해도 과언이 아니다.

이에 본고에서는 현재까지 개발된 캡슐 내시경의 기본 구조와 적응증을 살펴 보고 캡슐 잔류 예측을 위한 patency 캡슐, 식도와 대장 캡슐, 여러 회사의 캡슐 내시경 개발현황, 미래의 캡슐 내시경 발전 전망 등을 살펴 보기로 하겠다.

### 캡슐 내시경의 현재

#### 1. Given Imaging

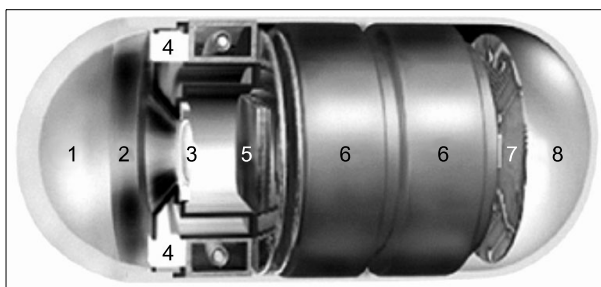
소장을 직접 관찰하고 사진을 찍으려는 노력은 1980년대부터 있어 왔다. 하지만 charged couple device (CCD) 영상 센서가 전력 소모가 매우 큰 것을 포함하는 몇 가지 한계 때문에 개발에 어려움을 겪고 있다가 1990년대 초 complementary metal oxide semiconductor

(CMOS) 기술이 application specific integrated circuit (ASIC) 통제 시스템, light emitting diode (LED) 광원 장치 개발과 결합하게 되어 캡슐 내시경 개발의 길을 열어 주었다. 2000년에 미국 소화기학회(Digestive Disease Week Conference)에서 영국의 내시경의사인 Swain과 이스라엘의 Given Imaging 회사에서 공동으로 첫 소장 영상을 제공하는 M2A™ 캡슐을 소개하게 된 것이다.<sup>1</sup>

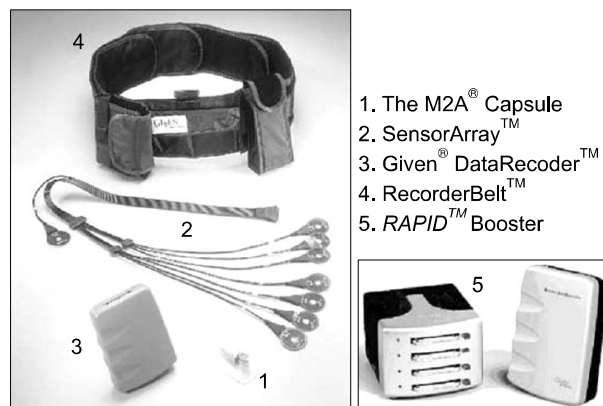
#### 1) M2A™와 PillCam™ SB

(1) 구조: Given Imaging사에서 개발한 첫 번째 캡슐 내시경은 M2A™으로서 전세계적으로 사용되고 있으며, 구성은 1) 캡슐내시경 및 전송부(M2A capsule)(Fig. 1), 2) 외부 수신 안테나 및 저장장치 (Fig. 2), 3) 워크스테이션(컴퓨터와 소프트웨어; RAPID application software and workstation)으로 구성되어 있다.

① 캡슐내시경 및 전송부: 캡슐내시경은 생체적합성 및 pH 저항성 플라스틱제 캡슐(M2A capsule)로서 구성 요소는 Fig. 1과 같고, 크기는 11 mm×26 mm, 무게는 3.7 g이다. M2A 캡슐은 캡슐 본체와 캡슐 홀더, 캡슐 블리스터로 구성되어 있으며, 캡슐 본체는 블리스터로부터 분리되는 순간 작동하기 시작한다. 광학 돔(Optical dome)은 캡슐 앞의 볼록한 반구형 플라스틱으로 장의 연동운동에 따라 장관 벽이 부딪히면서 스스로 광학 돔을 깨끗이 하면서 이동하며, 영상기에 도달하는 빛이 돔에서 산란되지 않도록 만들어져 영상의 질을 높이도록 고안되었다. 렌즈(Lens)의 관찰 시야는 140도이고 1 : 8로 확대 영상을 얻을 수 있으며 1 mm 깊이와 0.1 mm까지 구분이 가능하다. LED는 렌즈 외연의 4방향에 위치하여 1초에 2번씩 이미지를 얻을 때에만 발광한다. CMOS 영상기는 디지털 카메라나 전자 내시경에 사용하는 CCD (charged coupled device)의 1/100 정도의 적은 전력을 사용하고 낮은 조명에서도 작동하여 CCD 정도의 좋은 영상을 얻게 된다. 1초에 2장씩 8시간 동안 55,000장 이상의 영상이 이 곳에서 만들어진다. 전지(Battery)의 수명은 평균 8±1 시간이다. Appli-



**Figure 1.** Components of M2A capsule. (1) Optical dome, (2) Lens holder, (3) Lens, (4) Illuminating light emitting diode (LED), (5) Complimentary metal oxide silicone (CMOS) imager, (6) Battery, (7) Application specific integrated circuit (ASIC) transmitter, (8) Antenna.



**Figure 2.** Capsule examination equipment.

ation specific integrated circuit (ASIC) transmitter는 뒤 쪽 돔에 위치하여 CMOS 영상기에서 만들어진 영상을 1초에 2번씩 432 MHz의 극초단파를 이용하여 안테나를 통해 환자의 허리에 부착된 기록장치에 송신한다.<sup>3,4</sup>

② 외부 수신 안테나 및 저장 장치: 캡슐내시경에서 송신된 영상 전파를 몸 밖에서 수신하여 저장하는 장치로서 환자의 허리에 벨트로 고정되며 1) 감지 배열기 (sensor array) 2) 기록 저장장치(data recorder) 3) 벨트 (recorder belt) 4) 전지 묶음(battery pack)으로 이루어져 있다(Fig. 2). 감지 배열기는 8개의 전파 수신판으로 이루어져 있어 피검자 몸에 부착하게 되며 이미지 수신과 캡슐내시경 위치를 파악하는데 중요한 부분이다. 기록 저장장치는 검사하는 동안 모든 이미지를 저장한다.

③ 워크스테이션 및 소프트웨어: 워크스테이션은 PC, 모니터, 키보드, 마우스 및 커넥션 박스로 구성되어 있으며, RAPID application software가 설치되어 있어 수신기로부터 raw data를 다운로드하여 영상 신호로 전환하며, 편집 처리가 가능하다.

M2A<sup>TM</sup> 캡슐 내시경은 현재는 한층 더 기술이 향상되어 PillCam<sup>TM</sup> SB이라고 불리우고 있으며 그 이외에 부속 기기들도 업그레이드되어 Data Recorder 2, RAPID<sup>®</sup> 3 software가 일반적으로 사용 중에 있다. 가장 최근에 나온 RAPID<sup>®</sup> 4 software은 판독 효율을 높이기 위한 Automatic Mode v4, 빠르게 영상을 전체적으로 볼 수 있는 QuickView v4, 장과 내경의 침범 정도를 평가할 수 있는 Circumference Scale 기능이 추가되었다.<sup>5</sup> 또한 원격 캡슐 내시경(remote capsule endoscopy)도 새로 개발되었는데 중앙 Given station으로 데이터를 송신하여 병원에서 먼 곳에서도 캡슐 내시경을 시행한 후 병원으로 다시 data recorder를 가지고 오지 않아도 판독이 가능하도록 한 시스템이다. 캡슐 내시경은 미국 Food

and Drug Administration (FDA)에 2003년에 승인을 얻었고 같은 해 10월 10~18세의 소아나 청소년에게도 사용 허가를 받았다.

(2) 기본 술기; 캡슐 내시경의 기본 술기는 기본적으로 다음과 같은 3단계로 이루어져 있다. (1) 먼저, 환자가 내시경 캡슐을 삼키고, (2) 캡슐이 환자의 위장관을 통과하면서 사진 촬영을 하며, (3) 의사가 촬영된 동영상 사진을 관찰하고 기록지에 판독 결과를 입력한다.<sup>6</sup>

① 준비: 환자는 검사 5~7일 전부터 콩류, 씨가 있는 과일, 옥수수나 팝콘 등은 먹지 않도록 하고, 검사 시행 전 8시간 이상 금식한다. 꼭 필요한 약만 소량의 물과 함께 복용하고 모든 약의 복용을 피하도록 하는데 특히 제산제나 철분제, sucralfate (장벽 코팅의 문제), 그리고 장운동을 억제하는 진경제, 마약계 약은 꼭 피하고 빨간색 음식도 가급적 피한다. 복부에 체모가 많으면 배꼽 상, 하로 15 cm씩 면도를 한다. 환자의 전 처치에 대해서는 아직까지도 각 병원마다 준비 과정이 다소 다르며 크게 대장내시경 검사 때와 유사한 장 정결을 시행하는 경우와 시행하지 않는 경우로 나눌 수 있다.<sup>7</sup>

검사 당일에는 절대 금식한다. 환자에게 검사 동의를 받고, 인적사항, 체중, 키, 복부 둘레, 체형 등을 컴퓨터에 입력하고 휴대용 저장장치를 컴퓨터에 연결하여 초기화 한다. 환자는 휴대용 저장장치를 부착하고 활동하는데 불편함이 없도록 옷은 앞에 단추가 달린 헐렁한 셔츠와 바지가 좋고 특히 여자의 경우 드레스는 피하도록 한다.

② 술기: 먼저 환자에게 위장관의 거품을 방지하기 위하여 시메치콘(simethicone)이 섞인 물을 한 컵 마시도록 한다. 감지 배열기(sensor array)를 각 위치에 튼튼히 부착하고, 환자에게 벨트를 허리에 채운 다음 저장

장치와 전지 묶음을 벨트에 고정시킨다. 감지 배열기를 저장장치에 연결하고 전지를 기록장치에 연결한다. 이때 기록장치에 전원이 들어왔다는 신호로 불이 들어왔다가 꺼진다. 다음은 캡슐내시경을 삼킬 차례로 먼저 캡슐내시경을 자석이 붙어있는 보관함(magnetic holder)으로부터 꺼낸다. 그러면 캡슐내시경에 전원이 들어오면서 불빛이 1초에 2번씩 깜빡이며 작동을 시작하고, 이때 캡슐 불빛과 동시에 환자 저장장치 위쪽 불빛이 깜빡이는지를 확인한다.

캡슐내시경의 불이 깜빡이는 쪽이 목을 향하게 하고 물과 함께 삼킨 다음 삼킨 시간을 기록한다. 이 때부터 8시간 동안 검사가 진행되므로 환자는 15분 간격으로 저장장치의 불빛이 1초에 2번씩 깜빡이는지 확인한다.

환자는 이후부터 걷거나 눕거나 운전 등의 일상생활을 할 수 있지만 힘든 운동이나 구부리는 자세는 피한다. 저장장치는 갑자기 움직이거나 충격을 주지 않고 직사광선이나 열, 습기에 노출되지 않도록 주의한다. 검사 중에 컴퓨터, 라디오, 스테레오 기기, 핸드폰은 사용할 수가 있으나 자기공명영상 장치나 사용 주파수가 비슷한 HAM 라디오 근처는 가지 않도록 하고, 검사 중에 또 다른 캡슐내시경 피검자를 만나지 않도록 병원 문을 나서는 길과 머물 장소까지 확인하여 검사에 지장을 주지 않게 한다. 검사 도중에는 기록저장장치나 센서 그리고 전선을 만지지 않고, 검사용 벨트는 약간 느슨하게 하는 것은 허용되나 이를 제거하지 않도록 한다. 검사 2시간 후부터 물이나 사과 주스 같은 맑은 액체를 마실 수 있고, 4시간 후부터는 가벼운 식사와 약을 복용할 수 있다. 정상인에서 캡슐내시경의 위 통과 시간은 80분(17~280), 소장 통과 시간은 90분(45~140), 배설 시간은 24시간(10~48)이었다.<sup>1</sup>

검사 시작 후 8시간이 경과 하면 검사실로 돌아와 벨트, 저장장치, 감지 배열기를 모두 제거한다. 검사 도중 배변에서 캡슐내시경 배출을 확인하거나 저장장치의 불빛이 깜빡이지 않아도 검사실로 돌아와서 검사를 종료한다.

③ **검사 후:** 환자가 내시경실로 돌아오면 먼저 저장장치를 제거하고, 전지 묶음과 감지 배열기 전선을 제거한다. 다음으로 환자의 기록저장장치에 기록된 데이터를 컴퓨터에 연결하여 기록을 컴퓨터에 저장한다. 이때 컴퓨터 화면에는 다운로드 되는 장관 내 영상이 동시에 나타나므로 응급을 요하는 출혈 환자는 이 때 관찰할 수 있다. 다운로드는 직렬 포트(serial port)를 이용하는 경우 약 2시간 30분이 소요되나 새로운 저장장치는 분리성 하드 디스크(removable hard disk)를 채택하

고 있어 이를 간단히 제거한 다음 컴퓨터의 USB 포트에 연결된 부스터 시스템(booster system)에 삽입하여 다운로드 하도록 되어 있다(Fig. 2).

환자는 검사가 끝나면 모든 음식을 먹을 수 있으며, 운동을 포함한 정상 활동이 가능하다. 검사가 끝난 후 환자에게 대변을 볼 때마다 캡슐내시경 배출을 확인하도록 교육시키고 3일이 지나도 배출이 확인되지 않으면 복부 방사선 촬영을 하여 위치를 확인한다. 배출이 확인되기 전까지 자기공명영상 검사는 피해야 한다.

④ **판독:** 환자의 캡슐내시경 영상이 컴퓨터에 저장되어 완료되면 CD-R에 복사 본을 만들어 보관한다. 캡슐내시경 영상의 판독은 1초에 2장씩 기록된 장관의 영상을 연속적으로 보면서 하게 되는데 Rapid™ 프로그램이 사용되고 현재 4.0 버전까지 개발되어 있다. 여기에는 캡슐내시경의 장관 내 위치 추적(localization) 기능, 연속되는 두 영상을 동시에 보는 다면(multiview) 기능, 영상을 800%까지 확대가 가능한 줌(zoom) 기능과 출혈과 혈관 의심 병소를 자동으로 찾아주는 suspected blood indicator (SBI) 기능이 있다. SBI 프로그램은 2003년 2월에 FDA 승인을 받았으며 민감도 75%, 특이도 50%, 양성예측치 76%, 음성예측치 90%였다.<sup>8</sup> 판독 시에는 가운데 스크롤바를 이용하여 영상의 속도를 임의로 정하고 변경할 수 있으며 의심되는 병변이 있으면 화면을 정지시키고 한 프레임 씩 전후로 자세히 관찰하게 된다. 병변이 관찰되면 영상을 화면 우측에 축소화상(thumbnail)으로 시간, 소견과 함께 저장하면 결과지에 같이 출력된다. 판독 시간은 의사의 경험, 집중력, 병변 수에 따라 다른데 45분부터 2시간 반까지 다양하게 소요된다.<sup>9,10</sup>

(3) **캡슐 내시경의 특성;** 캡슐 내시경은 이전의 내시경과는 근본적으로 다른 점들이 많다. 검사를 시행할 때 의사가 필요하지 않으며 공기 주입을 하지 않기 때문에 좀더 생리적인 상태의 위장관을 관찰할 수 있다. 또한 수면 유도를 위한 진정제를 사용하지 않아도 되고 환자는 검사 기간 동안 일상 생활을 그대로 할 수 있다. 비침습적인 검사이기 때문에 환자에게 신체적인 고통이나 부담이 전혀 없는 검사이다. 또한 내시경 검사 후 발생할 수 있는 감염의 가능성도 없다. 하지만 캡슐 내시경을 원하는 부위를 자유롭게 관찰할 수 없고 같은 부위를 반복적으로 관찰할 수도 없다. 또한 조직 검사를 시행할 수 없으며 내시경 치료가 불가능하다는 약점이 있다.<sup>11</sup>

(4) **적응증 및 진단율;** 캡슐 내시경의 가장 흔한 적응증은 상부 위장관 내시경이나 대장내시경, 소장조영술

검사에서 원인을 찾을 수 없는 위장관 출혈과 소장 크론병이다.<sup>12,13</sup> 그 이외에 만성 복통 및 설사, 다른 소장 검사상 불확실한 이상소견, 종양, 폴립증 증후군의 추적검사 등이 포함된다. 다른 일반적인 기존의 검사로 충분한 정보를 얻기 어려운 경우에 캡슐내시경을 시행하게 되고, 점차 임상에서 적용 범위가 확대될 것으로 생각된다.

① **원인 불명의 위장관 출혈:** 가장 흔한 캡슐 내시경의 적응증은 위내시경, 대장내시경, 소장 X-선 투시 촬영 검사에서 병소를 찾지 못한 원인 불명의 위장관 출혈(obscure gastrointestinal bleeding)이다.<sup>14</sup> 여러 연구에서 캡슐 내시경의 원인 불명 소장 출혈에 대한 진단에 임상적 효용성이 높다고 보고하였다.<sup>12,14,15</sup> 다른 소장 검사법과의 진단을 비교를 시도하였던 14개의 보고들을 종합하여 보면 캡슐 내시경의 평균 진단율은 66%였고, push enteroscopy는 34%였고, 캡슐 내시경과 소장 투시 촬영 검사의 진단율을 비교한 3개의 논문을 종합한 비교에서는 각각 진단율이 68%와 8%여서 캡슐 내시경이 원인 불명의 소장 출혈 진단에 다른 검사들에 비해 진단율이 높다.<sup>16</sup> 최근 두 개의 이중풍선 소장 내시경 검사와의 비교 연구에서도 진단율 자체는 캡슐 내시경이 다소 우월한 것으로 보고되었다.<sup>17,18</sup> 다만 내시경 치료를 염두에 둔 경우 이중풍선 소장 내시경이 더 유용할 것으로 제시되었다. 캡슐 내시경의 결과가 평균 약 40% 정도의 환자에서 치료방침 결정에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.<sup>19</sup>

② **염증성 장질환:** 여러 연구에서 염증성 장질환 진단에 있어 기존의 소장조영술, push enteroscopy, 전산화 단층 고위관장법(CT enteroclysis) 등과 비교하여 캡슐 내시경이 보다 우수한 진단율을 보이고 있다.<sup>20</sup> 한 연구에서는 캡슐 내시경이 소장 크론병 환자에서 소장 X-선 투시 촬영과 복부전산화단층 촬영을 병행하여 검사하여 확인한 병변을 모두 찾을 수 있었으나, 반대로 캡슐 내시경으로 확인한 병변의 47%를 다른 검사로 찾을 수 없었다. 이 연구에서 캡슐 내시경을 통해 이전에 진단된 크론병 환자 중 17%에서 치료에 영향을 주었으며 크론병을 의심했던 환자에서는 100%에서 진료에 영향을 주었다.<sup>21</sup> 따라서 소장 크론병에서 캡슐내시경에 의한 크론병 진단은 임상결과에 중요한 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각되며 이를 증명하기 위해 추가 연구가 진행되고 있다. 또 다른 연구에서는 캡슐 내시경의 소장 크론병 진단에 대한 예민도와 특이도가 각각 89.6%, 100%이었으나, 소장 조영술은 각각 27.6%, 100%였다.<sup>13</sup> 원인 불명 소장 출혈의 환자를 대상으로

한 연구에서는 약 6~9% 정도가 소장 크론병이 있음을 확인하였고, 크론병이 처음부터 임상적으로 의심되었던 환자들의 진단률은 40~70%였다.<sup>22</sup>

현재까지의 연구 결과로는 소장 크론병이 의심되는 경우 캡슐 내시경이 소장 크론병의 병변 범위와 활동도를 판단하고 치료 방침을 결정하는데 유용성이 있을 것으로 보고 있다. 그러나 조직검사 없이 육안적 소견만으로 진단해야 한다는 점과 협착부위에서의 캡슐 잔류에 대한 문제점이 있을 수 있다.

③ **기타 병변:** 또 다른 캡슐 내시경의 적응증으로는 원인을 찾을 수 없는 만성 설사나 복통, 소장 종양, 림프종, 궤양성 공장염 등이 있다. 한 연구에서는 만성 복통 환자 6%에서 캡슐 내시경으로 원인 질환의 진단이 가능하였으며, 만성 설사에서는 14%, 두 가지 증상이 같이 있을 경우 13%의 진단율을 보였다.<sup>5</sup> 유전성 용종 증후군(familial adenomatous syndrome)에서 캡슐 내시경은 push enteroscopy가 도달하지 못하는 부위에서 더 많은 용종을 발견하였고, 소장 조영술에서 발견되지 않은 용종을 찾는데 우월하였다.<sup>23,24</sup> AIDS나 카시노이드 증후군(carcinoid syndrome)의 소장 침범을 진단하는데도 사용할 수 있다.

(5) **안전성 및 금기증:** 캡슐 내시경은 안정성이 매우 높은 것으로 알려져 있다. 5% 미만의 환자들만이 캡슐이 대장을 통해 배출되지 않는다. 캡슐 내시경이 배출되지 않는 것이 임상적으로 문제를 일으키는 것에 대해 대개는 큰 문제는 없는 것으로 보인다. 하지만 캡슐 내시경 검사의 약 1%에서는 캡슐의 잔류로 인해 수술적 제거가 필요했다는 보고도 있으므로 주의할 필요가 있다. 인공 심박동기나 제세동기의 기능에 영향을 받을지 모른다는 우려가 있었으나 지금까지의 보고들에서는 문제가 없는 것으로 알려졌다.<sup>25</sup>

캡슐내시경의 절대적 금기증은 소화관 폐쇄, 협착, 누공 등이 진단되었거나 의심되는 경우와 연하곤란으로 캡슐을 삼키지 못하는 경우이다. 그 외의 금기증은 임신, Zenker 게실, 장 가성폐쇄 등이 있으며, 심박동기, 제세동기, 기타 의학적 전자장치를 몸속에 삽입한 경우, 오랜 비스테로이드성 소염진통제 복용, 복부나 골반부 수술력, 그리고 다발성 게실이 확인된 경우 등에서는 주의를 요한다. 또한 캡슐이 장에 잔류되면 외과적 제거가 필요한 경우가 있으므로 수술이 불가능한 환자는 캡슐 내시경 검사를 시행하지 않는 것이 좋다. 캡슐이 협착부위에서 걸려도 증상이 없는 경우가 많고, 일부는 자연된 시간에 통과하게 된다. 아칼라지아, Zenker 게실, 식도 또는 위의 협착이 있는 경우에는 내

시경으로 캡슐을 직접 위나 십이지장에 직접 넣어주거나, 협착을 치료한 후 캡슐내시경 검사를 시행해야 한다.<sup>9</sup>

소아에서도 6세 이상이면 비교적 안전하게 검사가 가능하였다는 보고가 있으나 더 낮은 연령에서도 시행할 수 있는지에 대해서는 연구가 더 필요하다.<sup>26</sup> 11~17세에서는 비교적 안전하게 캡슐 내시경을 시행할 수 있다.

**2) Pillcam™ ESO**

(1) 구조 및 사용 방법; 최근 개발된 식도 캡슐 내시경 (Pillcam™ ESO)은 크기는 소장용 캡슐과 같이 11×27 mm이나, 소장용 캡슐내시경이 1초에 2장의 영상을 얻을 수 있는데 비해 식도캡슐내시경은 1초에 7장의 영상을 캡슐양쪽에서 얻을 수 있으므로 1초에 총 14장의 영상을 얻을 수 있다(Fig. 3).<sup>25</sup> 다른 영상의 질이나 시야 등은 소장 캡슐과 동일하다. 검사를 위해서 환자는 검사 4시간 전부터 금식하여야 하고, 세 개의 센서(sensor array)를 상부흉골, 검상돌기, 그리고 좌측 7번째 늑간과 좌측 중간쇄골선의 교차지점에 붙인 후 저장장치(data recorder)가 부착된 벨트를 허리에 착용한다. 식도 내 타액을 씻어내기 위해 물 100 mL를 마신 후 누운 자세에서 검사를 시작한다. 캡슐과 함께 10 mL의 물을 삼킨 후 1~2분 동안 가만히 누워 있는 후 보조자의 도움으로 상체를 30° 올린 자세에서 2분, 60° 자세에서 1~2분, 서있는 자세에서 1~2분 동안 있다. 위 내로 캡슐이 내려갔는지 환자에게 확인 후 일상적인 활동을 20분간 하고 나면 캡슐내시경은 작동을 멈추게 된다.

**(2) 식도캡슐내시경을 이용한 연구**

① 위식도역류질환(식도염, Barrett식도): 흉부작열감,

산 역류와 같은 식도 연관 증상을 가진 17명의 환자를 대상으로 식도캡슐내시경을 시행하고 기존 내시경과 비교하였다.<sup>27</sup> 이 연구에서 식도 캡슐 내시경 검사는 민감도 100%, 특이도 80%, 양성예측도 92%, 음성예측도 100%였다. 위식도역류질환 93명과 Barrett식도 13명 환자를 대상으로 한 다기관 연구 결과를 보면 식도염에 대해서 민감도 89%, 특이도 99%였고, Barrett식도에 대한 민감도 97%, 특이도 99%로 전체 식도질환에 대해 민감도 92%, 특이도 95%였다.<sup>28</sup> Koslowsky 등<sup>29</sup>은 35명을 대상으로 25명은 초당 4장 촬영이 가능한 캡슐 내시경으로, 16명은 초당 14장 촬영이 가능한 캡슐내시경을 시행하여 서로 비교하였다. 초당 4장 캡슐내시경에서 민감도는 Barrett식도 75%, 식도염 84%인데 반하여, 초당 14장 캡슐내시경에서 민감도는 Barrett식도 100%, 식도염 100%였다. 전체 식도를 관찰할 수 있었던 경우 초당 4장 캡슐내시경에서는 12%, 초당 14장 캡슐내시경에서는 75%였고, 진단을 놓친 경우 초당 4장 캡슐내시경에서는 18%였으나, 초당 14장 캡슐내시경에서는 0%였다.

식도 캡슐 내시경은 만성 위식도역류를 가진 환자의 식도염과 Barrett식도 진단에 높은 정확성을 가져 기존 내시경 결과와 비교할 때 견줄만하다고 하겠으나, Barrett식도에 대해서는 식도캡슐내시경으로 진단되어도 기존 내시경을 이용한 조직검사로 확인이 필요하다는 제한점이 있다.<sup>30</sup>

② 식도정맥류: Eisen 등의 연구에서 만성 간질환 환자 중에서 식도정맥류가 있거나 의심되는 32명을 대상으로 기존 내시경과 비교하였을 때 민감도 100%, 특이도 89%였다.<sup>31</sup> 18명 중 11명에서 식도정맥류 등급(grading)에 대해 완전 일치율을 보였고, 관찰자 사이에서 식도정맥류 유무, 크기, 적색조건 등에 대해 0.6의 일치도를 보여주었다.

3) Pillcam™ Colon: 위와 대장은 소장이나 식도에 비해 장관의 직경이 넓은 해부학적인 문제와 여러 가지 기술적인 문제들로 인해 캡슐 내시경의 미개척 분야로 남아있었다. 하지만 2006년 DDW와 UEGW에서 대장 캡슐내시경이 소개되어 관심을 끌고 있으며, 이스라엘과 벨기에에서 2개의 임상 연구 결과가 문헌 보고되어 국내에서도 조만간 임상에서 사용될 예정이다.<sup>32</sup>

(1) 구조; 대장 캡슐 내시경은 기존의 소장용 캡슐내시경과 외관상 비슷하지만 많은 차이가 있다. 먼저 대장 캡슐내시경은 캡슐내시경의 양끝에 렌즈가 장착되어 동시에 두 방향의 영상을 얻을 수 있고 소장용 캡슐내시경에 비하여 2배 이상의 시야각과 깊은 심도를 가



Figure 3. The PillCam ESO capsule endoscope.

지고 있으며, 자동광원조절(automatic light control)기능이 있고, 1초에 4장의 영상을 얻을 수 있기 때문에 소장보다 직경이 넓고 굴곡이 많은 대장에서도 충분한 영상을 얻을 수 있는 장점이 있다. 또 대장 캡슐내시경은 정해진 시간 내에 전체 대장을 통과할 수 있도록 계산된 특정한 무게-부피 비율을 맞추기 위해서 직경은 11 mm로 기존의 소장 캡슐내시경과 같으나 길이는 31 mm로 6 mm 길어졌다. 그리고 대장 캡슐 내시경은 10 시간의 배터리 용량을 가지고 있으며, 대장까지 도달할 동안의 전력소모를 막기 위하여 캡슐 섭취 수분 후 작동이 중지되었다가 2시간 후부터 다시 작동하기 시작하는 지연 모드를 사용한다.<sup>32</sup>

(2) 적응증: 현재 예상되는 대장 캡슐내시경의 적응증으로는 대장암 검진, 기존의 대장내시경이 금기인 경우 또는 기존 대장내시경으로 전대장 검사에 실패한 경우, 환자가 기존 대장내시경 검사를 꺼리는 경우, 염증성 장질환의 경과 관찰 등이 있으며, 금기증은 기존의 소장용 캡슐내시경과 같다.

(3) 임상 연구 결과: 미국에서 25명을 대상으로 시행한 연구에서는 대장 캡슐내시경의 민감도는 64%로 가상 대장내시경(virtual colonoscopy), 기존 대장내시경검사와 큰 차이가 없었으며, 다른 연구에서는 대장 캡슐내시경의 민감도는 77%, 특이도 70%, 양성예측도는 59%, 음성예측도는 84%로 높은 정확도를 보였으며, 일부에서는 기존의 대장내시경 검사에서 발견하지 못한 병변을 발견하는 경우도 있었다.<sup>33</sup> 91명을 대상으로 한 다기관 연구에서는 6 mm 이상의 용종 또는 3개 이상의 용종과 같은 임상적으로 의미있는 병변이 있는 경우가 20명이었으며, 캡슐 내시경은 이중 14명(70%)에서, 기존 대장내시경은 16명(80%)에서 병변을 발견하였고, 용종은 45명에서 관찰되었는데 이중 캡슐내시경은 34명(76%)에서, 기존 대장내시경은 36명(80%)에서

병변을 발견하여 기존 대장내시경과 비교하여 의미 있는 차이가 없는 진단율을 보였다.<sup>34</sup> 대장 캡슐내시경과 관련된 특이한 부작용은 현재까지 보고되지 않았다.

현재까지 대장 캡슐내시경은 매우 고무적인 임상결과를 보이고 있으며 부가적으로 식도와 소장의 일부도 함께 관찰이 가능하기 때문에 향후 위장관 전체에 대한 진단적 검사에 유용할 것으로 기대하고 있다. 또한 대장내시경의 침습적인 면 때문에 대장 캡슐내시경은 수요가 폭발적으로 증가할 것으로 예상된다. 그러나 현재 기술 수준에서의 대장 캡슐내시경검사는 아직까지 보고된 임상결과가 부족하고, 전산화 단층촬영술 또는 자기공명영상장치를 이용한 가상 대장내시경이나 바륨조영술과 같은 다른 검사 방법들과의 비교 결과가 없으며, 용종이나 게실이외의 병변에 대한 연구결과가 없는 한계가 있다.<sup>32</sup>

4) Patency capsule: Patency 캡슐은 잔류를 미리 예측하고자 하는 방법의 일환으로 개발되었다. Given Imaging사의 patency 캡슐 시스템은 유럽에서는 2003년 11월 시판을 허가 받고 판매되어 왔고 이를 약간 변형시킨 형태인 Agile™ patency 시스템이 2006년 5월에 미국 FDA 승인을 받아 공식적으로 시판되었다. 아직 우리나라에서는 이 시스템이 임상에서는 사용하고 있지 않으나 곧 도입되어 사용 가능할 것으로 전망된다.

Patency 캡슐은 캡슐내시경과 같은 크기(11×26 mm)로 만들어져 있고 장내에서 일정 시간 이상이 지나면 저절로 캡슐이 분해되어(삼킨지 40~80 시간이 지난 후) 협착 부위를 통과하게 되어 있어 잔류를 예측하여 캡슐내시경을 안전하게 시행할 수 있을 것으로 기대하고 개발되었다.<sup>35,36</sup> Agile patency 시스템은 두 가지 주요 구성 요소로 이루어져 있다. 즉, Agile patency 캡슐과 Handheld Agile patency 스캐너이다(Fig. 4). 이를 다시 자세히 살펴보면 Agile patency 캡슐은 Given 캡슐



Figure 4. Components of patency capsule.

내시경과 크기와 직경이 같고 생체적합성 물질로 구성되어 있어 일정 시간이 지나면 체내에서 흡수가 가능하도록 되어 있다. 캡슐의 몸체는 장내에서 빠르게 분해될 수 있는 락토오스와 x-ray에서 관찰될 수 있도록 10% 바륨으로 구성되어 있어서 캡슐이 x-ray에서 온전한 모습을 하고 있으면 분해되지 않았다는 것을 뜻한다. 캡슐의 몸체는 다시 timer plug와 비흡수성 막으로 싸여 있는데 양쪽 끝은(double headed) 예외로 되어 있어 위액이 서서히 timer plug을 부식시켜 결국 장액이 몸체로 들어가게 되어 추가로 몸체를 녹이도록 구성되어 있다. 기존의 patency 캡슐은 한쪽 끝만이 이런 창이나 있었는데 이럴 경우 협착에 의해 캡슐의 한쪽 끝이 파묻히게 되면 분해가 용이하지 않을 수 있어 양쪽 끝으로 창이 나도록 바꾼 것이다. 몸체 속에는 작은 RFID (radiofrequency identification) 태그가 들어 있다. RFID 태그는 Handheld Agile patency 스캐너를 이용하여 적당한 주파수의 전자기장파(128 KHz)를 보내면 64 KHz의 파장으로 재전송하게 되어 있어 몸 속에서 캡슐이 분해되더라도 위치를 파악할 수 있도록 고안되어 있다. Handheld Agile patency 스캐너는 휴대용으로 배터리 충전으로 사용 가능하며 RFID 태그로 고주파 신호를 보내고 RFID 태그로부터 되돌아오는 신호를 감지하여 소리로 나타낸다.

(1) 임상 연구 결과; 초기 연구에서 소장 협착이 의심되었던 34명의 환자 중 30명에서 캡슐이 배출되었는데 이 중 20명에서 캡슐이 분해되지 않고 나왔다. 이들 20명 중 10명에게 캡슐내시경을 시행하였을 때 모두 잔류되지 않고 캡슐이 배출되었다. 또한 전체 환자 중 6명에서 복통이 발생하였으나 저절로 24시간 내에 호전되었고 RFID 스캐너는 체내 캡슐의 위치를 94%에서 정확히 알 수 있었다. 따라서 patency 캡슐 시스템은 비교적 안전하고 정확하게 소장의 기능적 협착을 예측하였다고 보고하였다.<sup>36</sup> 반면 또 다른 연구에서는 22명의 소장 협착 환자 중 6명에서 소장에 patency 캡슐이 정체되었는데 이 중 3명에서 복통이 발생하였고 이 가운데 2명에서 응급 수술이 필요하였다. 따라서 이 연구에서는 초기 patency 캡슐 시스템이 안전성에 문제가 있다고 보았고 방사선학적인 방법으로 협착을 예측한 것 이외에 추가로 patency 캡슐이 소장 협착을 진단할 수는 없었다고 보았다.<sup>37</sup> Patency 캡슐을 통한 방사선학적 소장 협착의 임상적 영향에 대해 알아보기 위해 진행된 한 연구에서는 소장 협착이 방사선 검사에서 있었던 22명의 환자 중 13명에서 복통없이 patency 캡슐이 분해되지 않고 배출되었고 이어서 시행한 캡슐 내시경

을 무사히 마칠 수 있었다. 복통이 있었거나 캡슐이 분해되어 나온 9명의 환자 중 1명은 장 폐쇄 증상이 발생하여 응급 수술이 필요하였다. 이 연구에서의 결론은 복통없이 patency 캡슐이 분해되지 않고 배출되는 것이 캡슐 내시경 시행의 안전성을 반영하며 폐쇄 증상이 발생하거나 캡슐이 분해되어 나오는 것은 의미있는 소장 협착이 있으며 수술이 필요할 가능성이 높다고 하였다.<sup>38</sup>

(2) 사용법; 먼저 시행 전날 환자에게 유동식을 섭취하게 한 후 8시간 이상 금식을 시킨다. 다음날 오전 patency 캡슐을 삼키고 정상적인 일상 생활을 하게 한다. 보통 24시간 정도 지난 후 스캐너를 통해 체내 정체 또는 체외 배출을 확인한다. 스캐너 사용은 심박동기 환자에서는 금기이며 이 때는 단순복부방사선 촬영으로 대신하여야 한다. 또한 휴대폰, 컴퓨터 같은 전자용품 사용을 주의해야 한다. Patency 캡슐이 정상적으로 배출되거나 스캐너에서 체내에 있지 않은 것이 확인되면 수 시간 내에 캡슐 내시경을 시행할 수 있으며 30시간 이후에 분해되어 배출되거나 복통이 발생하면 캡슐내시경은 시행하지 않는 것이 좋다.

## 2. 새로운 캡슐내시경

1) Olympus: 2005년 올림푸스 회사에서 새로운 캡슐 내시경을 개발하였다.<sup>39</sup> 이 캡슐 내시경(EndoCapsule-1)은 크기는 26 mm, 지름은 11 mm이고, CCD 센서 카메라가 있으며 6 LED, 작동 시간은 8시간이다. 1초에 두 번 이미지가 저장된다. 배터리 충전 시간은 2시간 정도로 시간을 50%로 감소시켰다. 기존의 소장 캡슐과 가장 큰 차이점은 실시간 영상 확인이 가능하다는 점이다(real time viewer)(Fig. 5). 이는 실시간으로 영상을 볼 수 있는 Olympus VE-1(550 g, 90×175×43 mm)을 통해 가능하다. 즉, 의사는 환자가 검사하는 동안 영상을 관찰할 수 있어 빠른 치료 결정을 내릴 수 있는 장점이 있다. 2006년 DDW에서 처음으로 발표되었다.



Figure 5. Olympus capsule endoscopy and real time viewer.<sup>5</sup>

2004년부터 올림푸스에서는 캡슐 이동을 조절할 수 있는 자가회전 캡슐(self propelled capsule)을 개발 중에 있다(Fig. 6). 3 방향의 전자장(electromagnetics) 조절을 통한 외부 자기장(external magnetic field) 발생기를 통해 캡슐 움직임을 조절할 수 있는 것이다. 또 다른 개발 중인 신기술은 외부에서 전력을 공급하는 장치인데 이의 장점은 초당 찍을 수 있는 사진을 5장까지 만들 수 있고 8시간 이상의 장 시간 캡슐 영상을 얻을 수 있다는 것이다. 그 이외에도 deflatable balloon, 약물 전달(drug delivery), body fluid sampling 등에 대해서도 연구 중이다. 또한 캡슐 내시경 초음파 개발도 진행 중이다.

2) **Norika:** 1998년부터 Norika 회사의 RFSYSTEM에서는 외부 전력 장치를 이용한 캡슐 내시경 개발에 참여하고 있다. Norika V3 캡슐내시경은 직경 9 mm, 길이 23 mm로 CCD image sensor, 4 LEDs, 외부 조절기, transmitter vest와 workstation으로 구성되어 있다.<sup>40</sup> 일반 비디오 카메라에서 사용하는 CCD를 사용하여 초당 30장의 영상을 얻을 수 있어 화질이 우수하다. 94%의 사용 전력을 외부에서 무선으로 전력을 공급하므로(multiplexing radio wave) 전지가 필요없고 검사하는 동안 캡슐의 위치와 방향을 추적할 수 있으며 회전이 가능하다. 3개의 코일이 캡슐 내에서 위치 변경을 위한 회전기 역할을 한다(Fig. 7). 역시 검사 도중 실시간으로 영상을 관찰할 수 있고 캡슐 내에 40%의 빈 공간이 있어 병소가 관찰되면 조직 채취 및 약제 주입을 위한 탱크가 있다. 산도 측정 센서와 조직 채취를 위한 기구도 갖추고 있다. 또한 위 점막 관찰을 위한 적외선 근처의

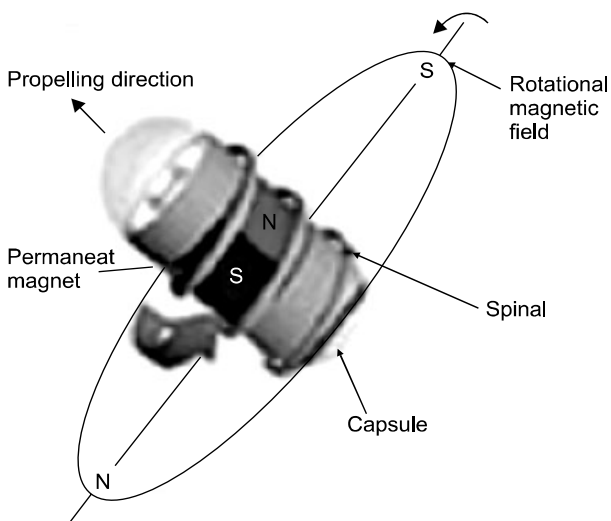


Figure 6. Working principles of Olympus capsule active locomotion.<sup>5</sup>

파장(800~1200 nm)을 이용하는 방법도 개발 중에 있다.

3) **MiRo:** 국내에서도 산업자원부 21세기 프론티어 개발 사업의 하나로 지능형 마이크로시스템 개발사업단에서 개발한 MiRo 캡슐내시경은 직경 10.8 mm, 길이 22 mm이고 무게 3.3 g으로 전원이 10시간 지속되는 장점을 갖고 있다. 시야각은 150도 CMOS 카메라 센서를 사용하며 10만 화소로 초당 2장의 영상을 저장한다. 최종 제품의 목표는 조직 채취, 생체 정보, 약제 투여 등의 진단 및 치료 기능 뿐만 아니라 장내에서 자체 이동 및 clamping이 가능할 것으로 보고 있다. 최근 대장 캡슐내시경도 개발 중이다.

4) **Autonomous robotic capsule:** 한국의 Intelligent Microsystem Center와 이탈리아의 Scuola Superiore Sant'Anna (SSSA)는 로봇 캡슐 내시경을 개발 중에 있다. 이 마이크로로봇 캡슐은 장내에서 자유롭게 이동하여 진단 및 치료에 있어 획기적으로 발전을 가져올 것으로 기대된다.<sup>41</sup> 직경은 12 mm, 길이는 30 mm이며 여섯 개의 다리와 superelastic shape memory alloy (SMA)가 있는 것이 특징이다(Fig. 8). 각각의 다리는 동근 텀에 200 μm 크기의 후크(hook)를 갖고 있어 이동할 때 마찰력을 제공한다. 하지만 이 후크는 장 점막의 손상을 주지는 않는다. 카메라는 320×320 픽셀의 해상력을 갖고 있다. 또 다른 특징은 inflatable balloon을 통해 장점막을 펴서 자세한 관찰이 가능하게 하는 등의 장점을 갖고 있다.

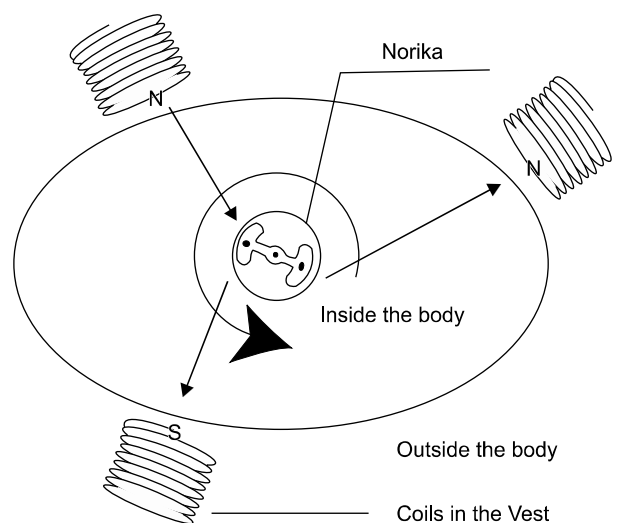


Figure 7. Working principles of Norika capsule endoscopy.<sup>5</sup>

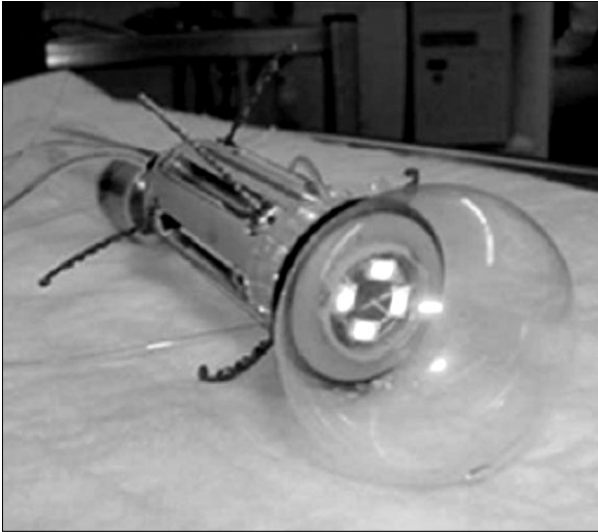


Figure 8. Robotic capsule developed at Scuola Superiore Sant'Anna.<sup>5</sup>

## 결 론

캡슐 내시경은 세상에 나온 지 7년 만에 소장 질환 진단에 있어 획기적인 진단 방법으로 자리매김을 하였다. 최근에는 식도와 대장 내시경을 캡슐 내시경으로 대체하려는 시도가 이루어졌고 이미 임상에서도 곧 시판될 예정이다. 멀지 않은 미래에 한꺼번에 위점막을 포함하는 전 위장관 점막의 관찰에 있어서도 이용할 수 있을 날이 멀지 않을 것이다. 이를 위해서 소장 캡슐 내시경의 한계점인 잔류의 극복, 배터리 사용 시간 연장, 원격 조정, 조직 채취 및 치료에 대해서도 현재 활발히 연구 중에 있으므로 이런 문제들이 해결되면 침습적인 내시경이 점차 임상에서 사라지고 모든 내시경을 캡슐 내시경으로 대신하는 시대가 멀지 않은 미래에 올지도 모른다.

## 감사의 글

원고 자료를 제공해 주신 연세의대 송시영, 순천향의대 김진오, 한림의대 박철희, 고려의대 김용식 선생님께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Iddan G, Meron G, Glukhovskiy A, Swain P. Wireless capsule endoscopy. *Nature* 2000;405:417.

2. 이상호, 김현정, 김봉룡 등. 캡슐 내시경 검사의 적용과 진단적 의미-96예의 결과. *대한내과학회지* 2003;65S:A77.

3. 문정섭. 캡슐 내시경: Principles and performance. *Korean J Gastrointest Endosc* 2004;28(suppl 1):197S-204S.

4. 김태일. 캡슐내시경. 2005 연세대학교 의과대학 소화기학 연수 강좌 84-88.

5. Cave DR. Technology insight: current status of video capsule endoscopy. *Nat Clin Pract Gastroenterol Hepatol* 2006;3:158-164.

6. Fleischer D. Capsule imaging. *Clin Gastroenterol Hepatol* 2005;3(suppl 1):30S-32S.

7. 정록선, 전훈재, 조남영 등. Capsule 내시경 검사시 전처치에 대한 연구 -단순 금식군과 PEG 투여군의 비교-. *대한소화기학회지* 2002;40(suppl 2):182S.

8. Rosch T. United European gastroenterology week 2003: perspectives in gastrointestinal endoscopy. *Endoscopy* 2004;36:59-67.

9. 문정섭. 캡슐 내시경 판독. *대한소화기내시경학회지* 2004;28(suppl 1):205S-209S.

10. 김경조. Complication and limitation of capsule endoscopy. *대한소화기내시경학회지* 2004;28(suppl 1):210S-213S.

11. van Tuyl SA, Stolk MF, Timmer R. Clinical application of video capsule endoscopy. *Scand J Gastroenterol* 2003;239(suppl):24S-28S.

12. Lewis BS, Swain P. Capsule endoscopy in the evaluation of patients with suspected small intestinal bleeding: Results of a pilot study. *Gastrointest Endosc* 2002;56:349-353.

13. Dubcenco E, Jeejeebhoy KN, Petroniene R, et al. Capsule endoscopy findings in patients with established and suspected small-bowel Crohn's disease: correlation with radiologic, endoscopic, and histologic findings. *Gastrointest Endosc* 2005;62:538-44.

14. Swain P, Adler D, Enns R. Capsule endoscopy in obscure intestinal bleeding. *Endoscopy* 2005;37:655-659.

15. Ell C, Remke S, May A, Helou L, Henrich R, Mayer G. The first prospective controlled trial comparing wireless capsule endoscopy with push enteroscopy in chronic gastrointestinal bleeding. *Endoscopy* 2002;34:685-689.

16. Triester SL, Leighton JA, Fleischer DE, et al. Yield of capsule endoscopy compared to other modalities in patients with obscure GI bleeding: a meta-analysis (abstract 941). *Am J Gastroenterol*. 2004;99(suppl):308S.

17. Nakamura M, Niwa Y, Ohmiya N, et al. Preliminary comparison of capsule endoscopy and double-balloon enteroscopy in patients with suspected small-bowel bleeding. *Endoscopy* 2006;38:59-66.

18. Hadithi M, Heine GD, Jacobs MA, V Bodegraven AA, Mulder CJ. A prospective study comparing video capsule endoscopy with double-balloon enteroscopy in patients with obscure gastrointestinal bleeding. *Am J Gastroenterol* 2006;101:52-57.

19. Sidhu R, Sanders DS, McAlindon ME. Gastrointestinal capsule endoscopy: from tertiary centres to primary care. *BMJ* 2006;

- 332:528-531.
20. Eliakim R, Adler SN. Capsule video endoscopy in Crohn's disease-the European experience. *Gastrointest Endosc Clin N Am* 2004;14:129-137.
  21. Voderholzer WA, Ortner M, Rogalla P, Beinholzl J, Lochs H. Diagnostic yield of wireless capsule enteroscopy in comparison with computed tomography enteroclysis. *Endoscopy* 2003;35:1009-1014.
  22. Eliakim R, Fischer D, Suissa A, et al. Wireless capsule video endoscopy is a superior diagnostic tool in comparison to barium follow-through and computerized tomography in patients with suspected Crohn's disease. *Eur J Gastroenterol Hepatol* 2003;15:363-367.
  23. Schulmann K, Hollerbach S, Kraus K, et al. Feasibility and diagnostic utility of video capsule endoscopy for the detection of small bowel polyps in patients with hereditary polyposis syndromes. *Am J Gastroenterol* 2005;100:27-37.
  24. Mata A, Llach J, Castells A, et al. A prospective trial comparing wireless capsule endoscopy and barium contrast series for small-bowel surveillance in hereditary GI polyposis syndromes. *Gastrointest Endosc* 2005;61:721-725.
  25. Leighton JA, Sharma VK, Srivathsan K, et al. Safety of capsule endoscopy in patients with pacemakers. *Gastrointest Endosc* 2004;59:567-569.
  26. 전훈재. 캡슐내시경. 추계 소화기연관학회 합동세미나. 2003. pp127-133.
  27. Eliakim R, Yassin K, Shlomi I, et al. A novel diagnostic tool for detecting esophageal pathology: the PillCam esophageal video capsule. *Aliment Pharmacol Ther* 2004;20:1083-1089.
  28. Eliakim R, Sharma VK, Yassin K, et al. A prospective study of the diagnostic accuracy of Given<sup>®</sup> esophageal capsule endoscopy versus conventional upper endoscopy in patients with chronic gastroesophageal reflux diseases. *J Clin Gastroenterol* 2005;39:572-578.
  29. Koslowsky B, Jacob H, Eliakim R, Adler SN. PillCam ESO in esophageal studies: improved diagnostic yield of 14 frames per second (fps) compared with 4 fps. *Endoscopy* 2006;38:27-30.
  30. Eisen G, de Franchis R, Eliakim R. Evaluation of esophageal varices by PillCam<sup>™</sup> Eso as compared to upper endoscopy. in: *Proceedings of the 4th International Conference on Capsule Endoscopy*, Miami, Florida, 2005. Yoqneam, Israel: Given Imaging, 2005(abstr):129A.
  31. 박철희. 식도캡슐내시경. *대한소화기내시경학회지* 2007; 30 (suppl 1):244S-247S.
  32. 김용식. 대장캡슐내시경. *대한소화기내시경학회지* 2007;30 (suppl 1):248S-249S.
  33. Schoofs N, Deviere J, Van Gossum A. PillCam colon capsule endoscopy compared with colonoscopy for colorectal tumor diagnosis: a prospective pilot study. *Endoscopy* 2006;38:971-977.
  34. Eliakim R, Fireman Z, Gralnek IM, et al. Evaluation of the PillCam Colon capsule in the detection of colonic pathology: results of the first multicenter, prospective, comparative study. *Endoscopy* 2006;38:963-970.
  35. Voderholzer WA, Beinholzl J, Rogalla P, et al. Small bowel involvement in Crohn's disease: a prospective comparison of wireless capsule endoscopy and computed tomography enteroclysis. *Gut* 2005;54:369-373.
  36. Spada C, Spera G, Riccioni M, et al. A novel diagnostic tool for detecting functional patency of the small bowel: the Given patency capsule. *Endoscopy* 2005;37:793-800.
  37. Delvaux M, Ben Soussan E, Laurent V, Lerebours E, Gay G. Clinical evaluation of the use of the M2A patency capsule system before a capsule endoscopy procedure, in patients with known or suspected intestinal stenosis. *Endoscopy* 2005;37:801-807.
  38. Boivin ML, Lochs H, Voderholzer WA. Does passage of a patency capsule indicate small-bowel patency? A prospective clinical trial? *Endoscopy* 2005;37:808-815.
  39. Fuyuno I. Olympus finds market rival hard to swallow. *Nature* 2005;438:913.
  40. Uehara , Hoshina. Capsule endoscope NORIKA system. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2003;12:227-234.
  41. Mencias A, Quirini M, Dario P. Microrobotics for future gastrointestinal endoscopy. *Minim Invasive Ther Allied Technol* 2007;16:91-100.