

식도 운동 질환에 있어서 동위원소 식도 통과 검사의 의의

고려대학교 의과대학 진단방사선과학교실, 내과학교실*

최 재 곁·이 민 재·송 치 욱*

= Abstract =

Radionuclide Esophageal Transit Study in the Esophageal Motility Disorders

Jae Gol Choe, M.D., Min Jae Lee, M.D. and Chi Wook Song, M.D.*

Department of Diagnostic Radiology and Internal Medicine,* College of Medicine,
Korea University, Seoul, Korea

Esophageal motility was evaluated from the analysis of 10 consecutive swallows using liquid bolus containing 0.5 mCi of ^{99m}Tc tin colloid. We have reviewed our experience of esophageal transit study in the 20 normal volunteers and 55 patients with dysphagia that was not related to mechanical obstruction. The purpose of this study is to measure the esophageal transit in normal subjects and in patients with various esophageal motility disorders. The overall sensitivity and specificity of radionuclide esophageal transit study in detecting esophageal motor abnormality were compared with manometric results as a gold standard, which were 80% and 100% respectively. Radionuclide transit study is a safe, rapid, noninvasive test and suitable as a screening test for esophageal motor disorders.

Key Words: Esophagus, Esophageal motility disorders, Radionuclide transit study

서 론

연하곤란을 초래할 수 있는 식도 운동 장애에는 식도 이완 불능증(Achalasia), 미만성 식도 경련증(Diffuse esophageal spasm, DES), 호두까기 식도증(Nutcracker esophagus), 비특이성 식도운동 장애증(Non-specific esophageal motility disorder) 등이 있으며, 당뇨병성 신경증, 공피증(Scleroderma), 신경근 질환(Neuromuscular disorder)과 같은 전신 질환도 식도의 운동 장애를 초래할 수 있다.

동위원소 식도 통과 검사(Radionuclide Esophageal Transit Study, RETS)는 비관혈적이며, 적은 양의 방사선의 조사로 음식물의 운동 양태를 정량적으로 분석할 수 있는 객관적인 방법으로 알려져 있다^{1,2)}. 그러나 보고자에 따라서 여러가지 다양한 스캔 방법 및 분석 방법의 차이로 표준화가 힘든 실정이다. 이에 저자들은 적은 양

의 유동식을 이용하여 짧은 시간내에 간편하게 검사가 가능한 동위원소 식도 통과 검사를 시행하여 정상 자원자에서 정상치를 구하고, 식도운동 질환을 가진 환자에서 식도운동 장애에 대한 진단율을 관찰하여 이 검사의 임상적 가치를 검토하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 대 상

연하곤란 및 비심인성(非心因性) 흉통등 식도 운동 질환을 의심할 만한 증상이 없거나 과거에 식도의 이상 병력이 없었던 건강한 성인 20명을 자원자로 선택하였다. 남녀비는 22 : 1이었고, 평균 연령은 25±2.9세이었다. 이들 중 4명은 가까운 시일 내에 2회 반복 검사를 하여 총 24회 검사를 하였다.

연하곤란 및 비심인성 흉통을 호소하여 식도 운동 질환을 의심했던 55명의 환자에서 식도 통과 검사를 시행

하였다. 남녀비는 23 : 32이었고, 나이는 17세에서 73세 (평균 44.7±14.9세)이었다. 식도 내압 검사를 전례에서 실시하였으며, 이의 소견과 환자의 증상, 임상양상을 종합하여 식도운동 질환의 유무와 각 운동 질환의 감별진단을 하였다. 임상 양상 및 식도 내압검사를 기준으로 삼아 진단한 각 질환의 분포를 보면, 비특이성 식도 운동 장애증 18예, 식도 이완 불능증 9예, 신경근 질환 7예, 미만성 식도 경련증 6예, 고압성 하부 식도 괄약근 (lower esophageal sphincter, LES)증이 3예이었으며, 호두까기 식도증, 공피증 및 당뇨병이 각각 2예씩이었고, 저압성 LES증이 1예이었다. 식도 내압 검사상 정상 소견을 보인 5예도 식도 통과 검사의 분석에 포함시켰다 (Table 1).

식도 통과 검사는 내압 검사를 시행한 날로부터 하루 전 또는 후의 기간 내에 시행하였고, 이중 4명에서도 2회 반복 검사를 하여 재현성을 보았다.

2. 방 법

4시간 이상 금식 및 금연시킨 후 환자를 저에너지 범용 조준기가 부착된 감마 카메라 밑에 양와위로 눕힌 후 구강, 식도 및 위의 일부가 포함되도록 자세를 잡았다.

윤상연골 (cricoid cartilage) 옆에 방사능 표식자를 부착 하고 ^{99m}Tc 주석 교질 (tin colloid) 500 μCi (18.5 MBq)를 물 10 ml에 섞어서 주사기에 담아서 준비하였다. 환자에게 동위원소가 포함되지 않은 물 10 ml를 먼저 삼키게 하여 검사에 대하여 숙달되게 연습을 시켰다. 그 다음에 동위원소가 포함된 물을 입에 머금게 한 뒤 지시에 의해서 삼키도록 하였다. 처음 물을 삼키고 난 다음은 30초마다 마른침을 삼키게 하여 5분간 총 10회 이하를 하도록 하였다.

연하시작 직전부터 64×64 Matrix byte mode로 0.5초마다 자료의 수록을 시작하여 총 5분간 동적인 자료를 얻었다. 사용한 감마 카메라는 Elscint사 (이스라엘)의 Apex-SP6를 사용하였고, 여기에 연결된 computer를 이용하여 정량분석을 하였다.

자료의 수록이 끝난 후 영상을 보면서 전체 식도 및 식도를 3등분한 관심영역을 그리고, 각각의 관심 영역에 대한 시각 방사능 곡선을 얻었다. 식도통과시간 (Esophageal transit time, ETT)은 식도에 방사능이 출현하여 최고 계수치에 도달한 시간부터 최고 계수치의 1/10에 도달할 때까지의 시간으로 하였고³⁾, 검사가 종료되는 시간까지 식도에 남아있는 방사능 계수치의 최고

Table 1. Detailed Profile of Transit Time and Percent Retention According to the Esophageal Motility Disorders

Disease	Tot	Nor	Ab	Transit Time (sec)				Percent Retention (%)			
				Mean	SD	SER	P	Mean	SD	SER	P
Achalasia	9	0	9	274.4	84.9	25.6	<0.05	60.1	25.9	7.8	<0.05
DES	6	1	5	135.0	119.9	48.9	<0.05	10.9	8.9	3.67	<0.05
Nutcracker	2	0	2	11.8	0.35	0.25	NS	3.9	0.07	0.05	NS
NEMD	18	6	12	99.8	126.2	28.9	<0.05	10.6	11.9	2.75	<0.05
Hypotensive LES	1	1	0	5			NC	3			NC
Hypertensive LES	3	2	1	12.5	9.18	5.3	NS	4.6	1.97	1.14	NS
Scleroderma	2	0	2	214.5	120.9	85.5	<0.05	20.9	14.2	10.05	<0.05
DM	2	0	2	28.5	9.19	6.5	<0.05	11.0	8.49	6.0	<0.05
Neuromuscular disorders	7	0	7	152.9	139.4	52.7	<0.05	28.1	27.3	10.3	<0.05
Normal	5	5	0	6.2	1.75	0.78	NS	3.4	1.08	0.48	NS
Volunteer	20	20	0	8.51	6.48	0.43		3.7	1.7	0.35	

Nor : Normal ; Ab : Abnormal ; Tot : Total ; SD : standard deviation ; SER : standard error ; P : probability > T, values lower than 0.05 are considered significant ; NS : not significant ; NC : not comparable ; DES : diffuse esophageal spasm ; NEMD : nonspecific esophageal motility disorder ; LES : lower esophageal sphincter ; DM : diabetes mellitus.

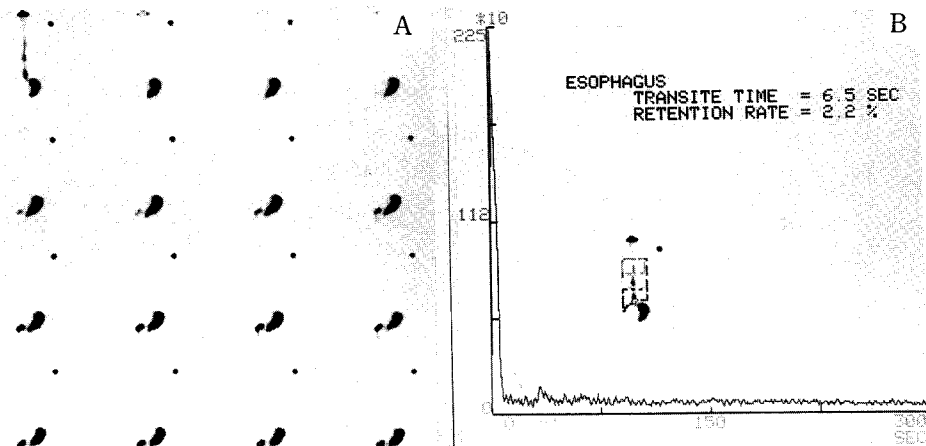


Fig. 1. A: Serial scintigraphy of esophagus upto 5 minutes (19 sec per frame). B: The time activity curve of the whole esophagus.

계수치에 대한 백분율을 잔류율 (Percent retention, PR)로 하였다. 정상 대조군과 질병군의 통과시간과 잔류율의 비교를 하기 위하여 t-test를 하였다.

결 과

건강한 자원자에서 동위원소 식도 통과검사의 시간 방사능 곡선은 연하후 즉시(1~2초이내) 최고 계수치에 도달하고 빠르게 감소하는 양상을 보였다(Fig. 1). 이들에게서 평균 통과시간은 8.51 ± 6.48 초 (Mean \pm SD, SE = 0.43) 이었고, 잔류율은 $3.7 \pm 1.7\%$ (SE = 0.35) 이었다. 거의 대부분의 방사능은 평균 통과시간 전후에 소실되고, 늦어도 10초 이후에는 계속적인 연하에도 불구하고 방사능의 계수치의 더 이상의 소실이 없는 양상을 보였다.

정상 자원자에서의 식도 통과검사의 결과를 판정기준으로 삼아 시간방사능 곡선의 모양이 앞에서 기술한 양상을 보이며, 통과시간이 10초 이내, 잔류율이 5% 이내인 것을 정상의 기준으로 하여, 환자군에서의 식도통과 검사를 분석하였다. 식도 운동성 질환의 유무의 판정과 각 질환의 감별진단은 임상 증상, 식도 바륨 조영 검사, 식도 내시경 및 식도내압 검사를 기초로 하여 구분하였는데, 각 식도 운동 질환의 분포와 식도 통과검사의 관계를 보면 식도 이완불능증, 호두까기 식도증, 공피증, 신경근질환에서는 모든 환자에서(100%) 이상 소견을 보였고, 미만성 식도경련증의 경우에는 6예중 5예(83%),

Table 2. Comparison of Esophageal Transit Study and Manometry in the Detection of Esophageal Motor Disorder

	Radionuclide Esophageal Transit Study		Total
	Normal	Abnormal	
Manometry			
Normal	5	0	5
Abnormal	10	40	50
Total	15	40	55

Sensitivity = 80% ; Specificity = 100% ; Diagnostic accuracy = 81.8% ; Positive predictive value = 100% ; Negative predictive value = 33.3%

비특이성 식도운동 장애증에는 18예중 12예(67%)에서 양성 소견을 보였다. 그의 고압성 LES에서는 3예중 2예에서 이상소견을 보였다. 각 질환에서의 통과시간과 잔류율은 대부분 정상과 통계학적으로 유의한 차이를 보였다. 그러나 호두까기 식도증, 고압성 LES에서의 통과시간과 잔류율은 정상 대조군과 차이가 없었다(Table 1).

식도 내압 검사를 기준으로 하였을 때, 식도 통과검사에서의 이들 질환에 대한 진단율을 검토한 결과 예민도는 80%이고, 특이도는 100%이었다. 식도 통과검사와 내압 검사간의 관계에서 5예에서는 모두 정상으로 40예에서는 모두 비정상적으로 일치하여서 81.8%의 일치율을

보였다. 양성 검사 예측치는 100%, 음성 검사 예측치는 33.3%이었다(Table 2).

식도 내압검사에서는 이상소견이 발견되었지만 식도 통과검사에서 정상의 소견을 보인 예는 모두 10예(18.2%)가 있었는데, 비특이성 식도 운동 장애증 6예, 미만성 식도 경련증 1예, 저압성 LES 1예, 고압성 LES 2예이었다(Table 3).

검사자 및 개체간 변이를 알기 위해 몇일 간격으로 시행한 2회 반복 검사에서 시간 방사능 곡선의 모양은 거의 같은 양상을 보였고, 통과시간과 잔류율의 재현성을 보기 위해 paired t-test를 하였는데 두번 행한 검사의 통과 시간과 잔류율의 유의한 차이가 없는 높은 재현성을 보였다(Table 4).

고 찰

식도 운동 질환이 의심되는 경우 확인할 수 있는 검사 방법으로는 식도 바륨조영 방사선 검사(Contrast radiographic study), 내시경 검사, 식도 내압 검사

(Manometry), 산 관류검사(Acid perfusion test), 방사성 동위원소 식도 통과 검사(Radionuclide esophageal transit study) 등이 있다. 이중 식도 바륨 조영검사 및 내시경 검사는 식도내의 기질적인 병변이나 폐쇄를 분명하게 보여줄 수 있다. 그러나 기질적인 병변이 없이 연하곤란, 식도와 관련된 흉통 및 신경근육질환에서의 식도 운동 이상을 관찰하기 위해서는 운동 기능을 반영할 수 있는 특별한 검사가 필요하다⁴⁾. 식도의 바륨 통과와 양태를 보기 위해 식도 영화투시검사(Cinefluoroscopy)를 할 수 있다. 그러나 이 방법은 숙련된 의사에 의해 시행될 경우에는 유용한 정보를 제공할 수 있으나, 보통은 주관적인 판단에 의하므로 식도운동 이상을 정확하게 인지해 내기 어렵고, 방사능 피폭량이 상대적으로 많아서 검사를 충분한 시간 계속할 수 없다. 또한 바륨의 점도와 밀도에 따라서 운동 기능이 달라질 수 있는 단점이 있다^{2,5)}. 산 관류 검사(Acid perfusion test)는 삼관하여 전극을 넣어야 하고, 또한 산용액에 의하여 식도의 운동 기능이 달라질 가능성도 있으므로 완전히 생리적인 검사라고는 하기 힘들다^{2,5,6)}.

식도의 운동 기능을 보기 위한 정확한 방법으로 식도 내압 검사가 있다. 이 검사는 식도 연동 운동의 진폭(Amplitude), 기간(Duration), 속도(Velocity)와 하부식도 괄약근(LES) 및 상부식도 괄약근(UES)의 압력과 이완 정도를 평가할 수 있으며, 이들을 통해서 식도 운동장애를 판단하는 특정한 진단 기준이 있고, 식도 운동 질환의 진단에 있어서 gold standard로 간주되고 있다⁷⁾.

Kazem¹⁾이 1972년 여러가지 식도의 이상에서 식도의

Table 3. Abnormal Manometry in 10 Patients with Normal Esophageal Transit Study

NEMD	6/18
DES	1/6
Hypotensive LES	1/1
Hypertensive LES	2/3
Concordance of RETS and Manometry (Diagnostic accuracy) is 81.8%.	

Table 4. Reproducibility of Radionuclide Esophageal Transit Study

Patients	Age	Sex	ETT ₁	ETT ₂	PR ₁	PR ₂
KSO	34	m	300	300	32.0	54.3
PJC	41	m	300	300	15.0	19.0
WJH	24	m	6.25	5.0	2.3	1.4
YKM	23	m	7.0	7.0	5.7	2.0
LSJ	23	f	10.25	8.0	6.6	3.0
JJS	26	m	38	37	3	3
JHJ	25	m	8	7	3.5	2.1
JCW	19	f	300	300	86.2	92.0

ETT : Esophageal transit time (sec) ; PR : Percent retention (%) ; 1, 2 means initial and second test ; P value of paired t-test of difference of ETT and PR is over 0.05 respectively.

이동을 관찰하기 위해 동위원소 식도 통과 검사를 처음 기술하였다. 그는 앉아 있는 자세에서 동위원소가 포함된 유동식을 계속 삼키게 하고 영상 및 시간 방사능 히스토그램을 얻어서 분석하였다. Tolin 등²⁾은 정량분석을 시도하였는데, 이들의 연구에서는 표준양의 유동식을 연하한 후 여러번의 dry swallow를 10분간 한 후 식도로부터 방사능의 제거율을 구한 결과 식도 내압 검사에서 비정상 소견을 보인 경우에 모두 정상 대조군보다 유의하게 통과시간이 증가되어 있는 등 식도 운동장애의 진단에 유용한 검사라고 보고하였다.

식도 스캔의 방법은 보고자에 따라서 유동식, 반고형식, 또는 고형식 등 음식물의 종류에서 다양하고, 검사 자세와 연하의 방법 및 횡수에 있어서도 여러 방법이 있는 등 표준화가 곤란하다. 정량적 분석 방법에서도 시간 방사능 곡선의 분석 방법에 따라 크게 2가지의 경향이 있다. 하나는 1회 또는 2회 이상 연하 후 식도에서 제거되는 방사능의 비율을 구하는 방법이 있고, 다른 하나는 특정한 수준 이하로 방사능 계수치가 떨어질 때까지의 시간, 즉 통과시간을 구하는 방법이 그것이다^{1~3,8~12)}. 그러나 이러한 방법들은 대체로 동일한 의미를 가진다. 즉 방사능의 제거율이 낮으면 낮을수록 통과시간도 길어지게 된다. 최근에는 세련되고 복잡한 program을 이용하여 축적된 영상을 분석하는 방법까지 소개되었다^{7,11,13)}. 가능하면 여러가지 인자(parameter)를 얻을 수 있는 복잡하고 세련된 program을 쓰는 것이 좋겠으나, 현실적으로는 그러한 장비를 다 갖출 수는 없다. 또한 병원간 기종의 차이와 검사 방법의 차이 때문에 표준화가 힘든 실정이다. 이에 저자들은 간편하게 보편적으로 이용할 수 있는 방법을 사용하여 식도 통과검사를 시행함으로써 표준화의 가능성과 임상적인 가치를 알아보 고자 하였다.

식도 통과시간의 정상치는 보고자마다 약간의 차이는 있으나, 이중에서도 가장 보편적인 것은 10분의 1 감기로서 식도통과 시간을 보는 것인데, 대체로 통과 시간이 10~15초 이내에 들면, 즉 1회 연하시 90% 이상의 방사능이 제거되는 경우 정상이라고 하였다^{2,3,12,14)}. 저자들은 시간별 또는 연하 횟수별 제거율은 구하지 않고, 마지막 5분에 식도에 남아있는 계수치로 잔류율만을 구하였다. 정상 자원자에서 구한 통과시간과 잔류율은 표준 오차가 각각 6%와 9%로 아주 좁은 범위에 있었다. 또한 병력, 증상 및 식도 내압 검사상 이상을 보이는 경우

대부분의 경우에서 정상 대조군보다 유의하게 증가된 통과시간과 잔류율을 보였다. 이 결과에서 보듯이 식도 운동 질환을 간단한 정량적인 분석으로 예민하게 발견할 수 있었다.

식도 통과검사는 정상이었지만 내압검사서 이상을 보인 경우는 모두 10예가 있었는데, 여기에는 비특이성 식도 운동장애 6예, 미만성 식도 경련증 1예, 저압성 LES 1예, 고압성 LES 2예 등 여러가지 다양한 질환이 포함되어 있었다. 이는 De Caestecker 등¹⁴⁾의 결과와도 유사한 것으로 이들 질환에서는 식도 통과 검사에는 영향을 미치지 않는 다른 식도운동 관련인자의 이상에 의한 질환이라는 것을 시사하며, 이러한 인자에 대한 연구가 더 필요하다고 사료된다. 식도 통과 검사와 내압 검사와의 일치율은(diagnostic accuracy) 81.8%이었는데, 이것은 이전의 보고와 비교하여 비슷하거나 약간 높은 결과를 보였다^{12,14,15)}.

비록 저자들의 연구에서는 내압 검사와 통과 검사를 동시에 시행하지는 않았지만 연속 검사에서 거의 유사한 결과를 보였으므로, 내압 검사와 통과 검사를 동시에 또는 같은 날 시행하지 않더라도 가까운 시일 내에만 하면 두 검사의 결과를 비교하는데 큰 문제는 없을 것으로 생각 된다.

검사의 유용성에 대한 논란이 많이 제기되었는데, 이는 주로 표준화의 곤란성과 몇가지 운동질환, 즉 호두까기 식도증이나 저압성 LES 등에서의 다양한 예민도와 식도 운동기능이 항상 일정하지 않을 가능성 때문이다. 그러나 Taillefer 등³⁾의 보고에 의하면 전체적인 예민도가 92.1%, 특이도가 87.9%이었다고 하였으며, Benjamin 등³⁾은 호두까기 식도증에서도 예민도가 90% 이상 되는 등 임상적인 선별검사로써 유용한 것으로 인정되고 있다. 이번 연구에서도 식도 통과검사로 일차적인 식도 운동질환(Achalasia, DES) 뿐만 아니라, 당뇨병성 신경증, 신경근질환 및 공피증(scleroderma) 등에 의한 속발성 식도 운동 장애도 잘 발견할 수 있었다.

저자들의 결과에서도 예민도 80%, 특이도 100%이었으며, 진단의 정확도(Diagnostic accuracy)는 81.8%이었는데, 특히 특이도가 100%로서 이 검사로 비정상인 경우에는 모든 환자에서 어떤 형태이던지 식도 운동기능의 장애가 발견되어 식도 운동 장애를 의심할 때 처음 단계에서 선별 검사로써 외래에서 간편하게 시행할 수 있는 좋은 검사로 생각된다. 뿐만 아니라 5분 동안의

시간 방사능 곡선의 형태의 분석까지 포함시키면 각각의 질병의 감별진단까지 어느 정도 예측이 가능하였다(출판되지 않은 자료).

이 검사의 장점은 신속하게 짧은 시간내에 할 수 있고, 컴퓨터를 이용하여 정량분석을 할 수 있으며, 비관혈적이고 비교적 적은 양의 전신 피폭을 받고(1회 검사 시 투여하는 0.5 mCi 정도의 양으로는 받을 수 있는 전신의 피폭은 20 mrad 정도이다), 생리적이며, 산용액 등 어떤 음식물과도 표지가 가능하다는 것이다^{11,14)}. 식도의 음식물의 통과에 관한 정량적인 분석은 임상 의사에서 유용한 정보를 제공해 주고, 내암 검사와의 비교를 통해서 식도 연하운동의 기전을 밝히는 데도 유용한 수단일 수 있다.

저자들이 시행한 방법은 환자에게 부담을 주지 않는 비관혈적인 검사이며, 5분간의 1회 검사로 끝나기 때문에 간편하고, 금식만 되어 있으면, 어느 때나 시행할 수 있는 신속한 검사이다. 분석 방법도 통과시간(10분의 1 감기)과 잔류율만 구하는 방법을 사용하였는데, 이 방법은 기본적인 감마 카메라와 컴퓨터 장치만 있으면 쉽게 시행할 수 있다.

이상의 결과로 볼 때 동위원소 식도 통과 검사는 어느 핵의학 검사실에서나 손쉽게 시행할 수 있고, 안전하며 선별 검사로 사용하기에 적당하고 진단적 가치도 높은 검사라고 사료된다.

REFERENCES

- 1) Kazem I: *A new scintigraphic technique for the study of the esophagus. Am J Roentgenol* 115:681-688, 1972
- 2) Tolin RD, Malmud LS, Reilley J, Fisher RS: *Esophageal scintigraphy to quantitate esophageal transit (Quantitation of esophageal transit). Gastroenterology* 76:1402-1408, 1979
- 3) Benjamin SB, O'Donnell JK, Hancock J, Nielsen P, Castell DO: *Prolonged radionuclide transit in "Nut-cracker esophagus". Dig Dis Sci* 28:775-779, 1983
- 4) Bartlett RJV: *Scintigraphy of the esophagus. In; Robinson PJA, eds. Nuclear Gastroenterology. pp 1-23. Edinburgh, London and New York, Churchill Livingstone, 1986*
- 5) Battle WS, Nyhus LM, Bombeck CT: *Gastroesophageal reflux: Diagnosis and treatment. Ann Surg* 177:560-565, 1973
- 6) Booth DJ, Kemmerer WT, Skinner DB: *Acid clearing from the distal esophagus. Arch Surg* 76:731-734, 1968
- 7) Klein HA: *Editorial: Improving esophageal transit scintigraphy. J Nucl Med* 32:1371-1374, 1991
- 8) Holloway RH, Krosin G, Lange RC, Baue AE, McCallum RW: *Radionuclide esophageal emptying of a solid meal to quantitate results of therapy in achalasia. Gastroenterology* 84:771-776, 1983
- 9) Kjellen G, Svedberg JB, Tibbling L: *Solid bolus transit by esophageal scintigraphy in patients with dysphagia and normal manometry and radiography. Dig Dis Sci* 29:1-5, 1984
- 10) O'Connor MK, Byrne PJ, Keeling P, Hennessy TP: *Esophageal scintigraphy: Applications and limitations in the study of esophageal disorders. Eur J Nucl Med* 14:131-136, 1988
- 11) Klein HA, Wald A: *Computer analysis of radionuclide esophageal transit studies. J Nucl Med* 25:957-964, 1984
- 12) Russell COH, Hill LD, Holmes ER, III, Hull DA, Gannon R, Pope CE, Jr: *Radionuclide transit: A sensitive screening test for esophageal dysfunction. Gastroenterology* 80:887-892, 1981
- 13) Tatsch K, Schroettle W, Kirsch K-M: *Multiple swallow test for the quantitative and qualitative evaluation of esophageal motility disorders. J Nucl Med* 32:1365-1370, 1991
- 14) De Caestecker JS, Blackwell JN, Adam RD, Hannan WJ, Brown J, Heading RC: *Clinical value of radionuclide esophageal transit measurement. Gut* 27:659-666, 1986
- 15) Blackwell JN, Hannan WJ, Adam RD, Heading RC: *Radionuclide transit studies in the detection of esophageal dysmotility. Gut* 24:421-426, 1983
- 16) Taillefer R, Jadiwalla M, Pellerin E, Lafontaine E, Duranceau A: *Radionuclide esophageal transit study in detection of esophageal motor dysfunction: comparison with motility studies (manometry). J Nucl Med* 31:1921-1926, 1990