

# 풍선 확장술에서 식도파열의 진단을 위한 압력분석 시스템의 구성

신동익, 송호영\*, 허수진

울산대학교 의과대학 서울중앙병원 의공학과, 진단방사선과\*

## A Development of the Balloon Pressure Analysis System for the Diagnosis of Esophageal Ruptures

D. I. Shin, H. Y. Song\*, S. J. Huh

Dept. of Biomedical Engineering, Diagnostic Radiology\*, Asan Medical Center,  
University of Ulsan College of Medicine

### ABSTRACT

This study is the basic research on esophageal balloon dialation with automatic detection of the pressure change in the balloon and analysis using personal computer. In conventional method, the esophageal stricture is cured by surgically. Recently, balloon dialation method has been porposed and is popularized.

In balloon dialation, detecting esophageal rupture is very important. When using radiological investigation, the leak of contrast medium is very dangerous.

In proposed method, the detection of esophageal rupture can be performed by detecting and analyze the pressure change of dialation balloon. Experimental system is composed of balloon catheter, pressure pump, pressure sensor, A/D converter and PC.

### 서론

암과 같은 질환이나 독극물 음복 등으로 식도가 협착된 환자를 치료하기 위한 기존의 방법은 수술을 행하여 협착된 부위를 넓혀 주는 것이다. 최근에는 비침습적 방법으로서 중재적 방사선 시술을 통하여 식도 확장술을 적용하는 추세이다. 이 방법은 수술을 행하지 않고 카테타 끝에 확장 가능한 풍선을 장착하고 협착 부위에 삽입한 후 공기나 액체를 불어넣어 확장시키는 방법이다.

본 연구는 식도 협착증 환자에 풍선 확장술을 적용함에 있어서 풍선내의 압력을 검출하고 분석함으로써 식도 파열의 여부를 진단해 내는데 그 목적이 있다.

식도 확장술에서 식도의 파열 여부는 보통 환자의 통증호소에 따라 방사선 조영술로서 판정하게 되나, 파열로 인한 조영제 누출의 경우 종격동염에 감염되어 심하면 사망에까지 이를 수 있다.

본 연구에서 제안하는 방법은 풍선 내의 압력 변화로서 풍선 혹은 식도의 파열 여부를 간접적으로 측정할 수 있어서 환자에 부작용을 초래하지 않으며, 파열시의 압력을 분석함으로써 파열을 일으키지 않는 범위에서 최대한의 확장술을 적용할 수 있다는 장점이 있다.

### 실험 방법

#### 1. 시스템의 구성

실험을 위한 시스템은 가압펌프, 압력센서, 풍선 연결부, A/D변환장치, PC 등으로 구성하였다. (그림 1)

가압펌프는 고출력의 실린지 펌프를 사용하였으며 가압능력은  $9\text{kg}/\text{cm}^2$ 이다. 여기에 내경 14.7mm (10cc)의 실린지에 물을 넣어서 사용할 경우 최대 250psi까지 가압이 가능하다. 가압용 실린지의 용량이 작아서 풍선을 충분히 부풀릴 수 없으므로 50cc의 실린지를 3way 밸브를 통해 병렬로 연결 사용하였다. 50cc의 실린지를 통해 물을 적당량 주입한 다음 통로를 차단하고 펌프를 구동하여 5cc의 실린지로 가압하였다.

압력 센서는 Data Instrument사의 XCA-5를 사용하였으며 측정압력 범위는 0-150psi이다. 출력은 0psi에서 1V, 150psi에서 6V이다. 이 센서의 출력을 디지털 변환하기 위하여 A/D converter로서 ADC0804-5를 이용하였고 기준전압으로 1V를 가하여 A/D converter의 다이내믹 레인지를 모두 이용하였다. 변환된 데이터는 PC의 parallel port의 고속 모드인 EPP로 인터페이스하여 전송할 수 있도록 설계하였다. 샘플링은 초당 10Kbyte로 행하고 소프트웨어상에서 실시간 메디안 필터링을 하여 잡음을 최대한 억제하였다.

소프트웨어는 측정된 압력값을 실시간으로 디스플레이하고 저장하며 분석할 수 있도록 작성하였다.

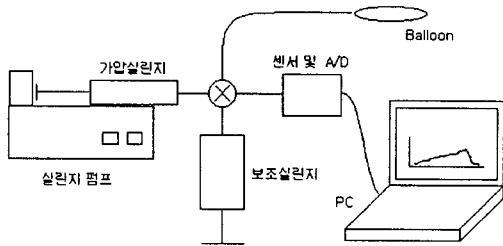


그림 1. 압력검출 시스템의 구성

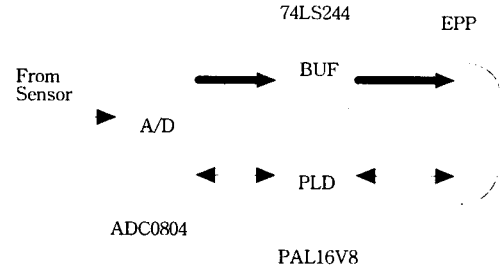


그림 2. A/D 변환 및 인터페이스 블록도

## 2. 모의 식도의 제작

구성한 시스템의 동작을 실험하고 파열시의 압력 변화를 분석하기 위하여 모의 식도를 제작하였다. 모의 식도는 에폴렌 왁스를 사용하여 두께 1.5mm, 내경 13mm, 길이 140mm의 원통형으로 제작하였다. 이 재료는 신축성과 인장 강도가 낮아서 쉽게 파열되며 따라서 시스템의 성능을 실험하기에 적당하였다.

실제 동물실험에 적용하기 위해서는 식도와 비슷한 신축성과 인장 강도를 갖는 재료를 개발해야 하며 다음 연구단계로 실리콘을 이용한 모의 식도 제작을 계획하고 있다. 모의 식도는 실제 식도의 협착상태와 비슷한 내부구조를 갖도록 제작할 계획이다.

## 3. A/D 변환 및 PC 인터페이스

압력센서로부터 검출된 풍선내 압력은 A/D Converter를 거쳐 디지털 값으로 변환된다. PC에서 이 값을 읽어들이기 위해 병렬포트의 고속 입출력 모드인 EPP(Enhanced Parallel Port)의 인터페이스 회로를 내장하였다. EPP는 현재 사용중인 대부분의 PC에 장착되어 있어 사용이 편리할 뿐 아니라 속도가 빠르기 때문에 기존의 복잡한 ISA 방식의 인터페이스를 대체할 수 있다. 실험에 적용된 A/D 변환 속도는 10Ksample/sec로서 기존의 병렬포트를 사용할 수 있으나, 차후에 전개될 파열시의 정밀 분석을 위해 변환속도를 빠르게(1Msample/sec) 할 경우를 대비하여 EPP 인터페이스 기능을 갖도록 하였다.

그림 2에 A/D 변환 및 PC 인터페이스 블록도를 보였다. 전원은 5V의 단일전원을 소형 스위칭모드 파워서플라이로부터 인가하고 센서에 공급하는 12V는 DC-DC converter를 이용하여 안정된 전원이 인가되도록 하였다. EPP 인터페이스 및 데이터 입출력 제어 등 회로의 모든 부분을 PLD로 집적시켜 전체적으로 회로를 간결하게 하고 안정성을 확보하였다.

## 4. 시스템 소프트웨어

소프트웨어는 EPP를 통해서 A/D 변환기를 제어하는 부분과 데이터를 받아서 처리하는 부분으로 나뉘어 있다. A/D 변환기의 제어는 신호를 샘플링하기 위한 Write신호, 샘플링된 데이터를 읽어오기 위한 Read신호를 EPP를 통해 PLD에 인가함으로써 이루어진다.

데이터를 받아서 처리하는 부분은 실시간 메디안 필터링, 실시간 디스플레이 및 저장으로 구성되어 있다. 초당 10Ksample의 속도로 입력되는 데이터를 50 sample씩 묶어서 메디안 필터링을 하였다.

디스플레이는 화면의 오른쪽으로부터 표시를 시작하여 데이터의 입력에 따라 전체 그래프가 왼쪽으로 이동하면서 표시되도록 함으로써 마치 ECG 모니터의 표시방식과 유사하게 하였다. 이렇게 하면 압력의 변동상황을 전체적으로 수월하게 관찰할 수 있다.

버퍼의 크기를 1Mbyte로 하여 필터링된 데이터를 저장할 경우 약 1시간 20분 가량의 내용을 수록할 수 있다. 정밀 분석을 위하여 샘플링 속도를 올리더라도 풍선에 압력을 가하여 파열될 때까지의 압력 데이터를 충분히 저장할 수 있었다.

## 5. 파열 실험 및 데이터 분석

그림 1과 같이 실험 시스템을 구축한 다음 식도 확장술에 사용되는 최대직경 20mm의 풍선을 앞에서 제작한 에폴렌 왁스 재질의 모의 식도에 삽입하여 파열 실험을 행하였다. 실험의 순서는 다음과 같다.

- ① 모의 식도에 풍선을 삽입한다.
- ② 50cc의 보조실린지를 이용하여 풍선에 물을 적당량 주입한다. 주입과 배출을 반복하여 공기를 모두 빼낸다.
- ③ 10cc의 가압용 실린지에 물을 최대로 넣고 실린지 펌프에 장착한다.
- ④ 3way 밸브를 풍선-보조실린지가 통하도록 한 다음 보조실린지를 이용하여 풍선을 적당히 부풀린다.
- ⑤ 밸브를 조절하여 보조실린지를 차단한 다음 실린지 펌프를 가동하고 압력 센서 - A/D 변환기

- PC로 구성된 시스템을 이용하여 압력 변화를 관찰하고 데이터를 저장한다.

⑥ 가압중에 압력이 순간적으로 하강할 때 모의 식도가 파열된 것으로 간주하고 실험을 멈춘다.

결 과

1. 압력 데이터의 검출

풍선을 모의식도에 삽입하지 않은 상태에서 실린지 펌프를 이용하여 2.5ml/min의 속도로 가압하고 압력 변화를 기록하였다. 그림 3에 시간에 따른 풍선의 압력 변화를 보였다.

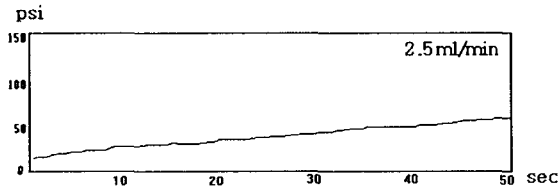
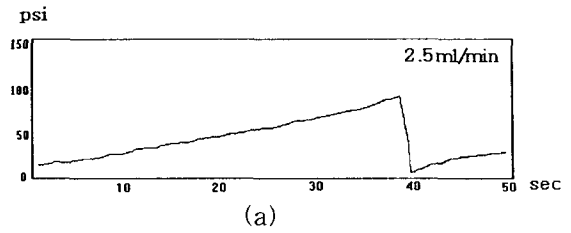
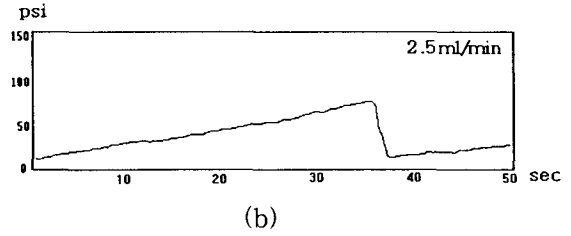


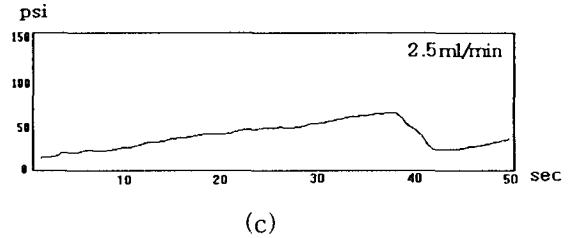
그림 3. 시간에 따른 풍선의 압력 변화



(a)



(b)



(c)

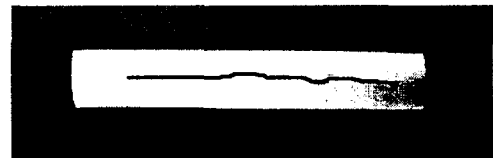
그림 4. 파열 전후의 압력 분포

2. 모의식도의 파열 실험 결과

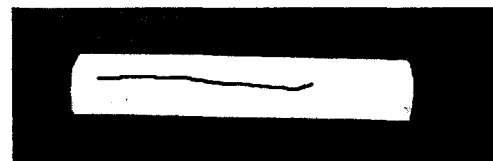
앞에서 제작한 에폴렌 왁스 재질의 모의식도에 풍선을 삽입하고 일차적으로 15psi의 압력을 가하여 풍선을 부풀렸다. 다음, 시스템에 연결된 PC로 압력 데이터를 기록하면서 2.5ml/min의 속도로 가압하였다. 그래프 및 육안으로 파열이 확인된 후 약 10초간 가압을 지속하여 데이터를 수집하였다. 그림 4에 파열 전후의 압력 분포를 보였으며, 그림 5에는 각 경우에 모의식도가 파열된 모습을 보였다. 파열이 일어난 부위의 식별을 용이하게 하기 위하여 그림에서 파열 부위에 선을 그려 넣었다.

그림 4의 (a)는 그림 5의 (a)에서 보는 바와 같이 파열이 모의식도의 가운데로부터 급작스럽게 진행된 것을 알 수 있다. 이에 따라 풍선의 부피가 급팽창하면서 풍선 내 압력은 거의 0에 가깝게 떨어졌다. (b)의 경우도 (a)와 비슷한 양상을 보이며, 다만 파열 속도가 약간 둔화된 것을 알 수 있다. 그러나 (c)에서 보는 바와 같이 파열이 가장자리로부터 시작된 경우 파열은 서서히 일어나며 이에 따라 풍선내 압력저하도 서서히 일어난다.

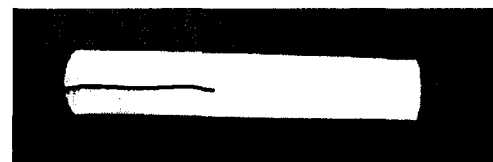
세 경우 모두 파열 직후 압력 변화는 눈에 띄는 정도로 급격히 나타남을 알 수 있다. 따라서 풍선 내의 압력 변화를 관찰함으로써 모의 식도의 파열 여부를 판정할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 그림 4의 각 경우의 파열된 모의식도

결론 및 고찰

식도 팽창술에서 가장 좋은 방법은 파열 직전까지 식도를 최대한 팽창시키는 것이다. 그러나 실제로 어느 시점에서 파열이 일어날 것인가를 알기는 어려우며, 더구나 파열 직전까지 가압하기는 더욱 어렵다. 기존의 방법에서는 환자의 통증 호소에 따라 가압을 중지하고 방사선 조영술을 행함으로써 팽창의 정도와 파열 여부를 진단하여 왔다. 그러나 이러한 방법의 치명적인 단점은 실제로 파열이 일어났을 경우, 흉선에 주입된 방사선 조영제가 파열 부위로 흘러나감으로써 심각한 종격동염을 일으킬 우려가 있다는 것이다.

본 연구에서 행한 흉선내의 압력 변화를 관찰함으로써 파열 여부를 식별하는 방법은 이러한 부작용을 원천적으로 없앨 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 임상 실험을 통하여 파열시의 압력치와 변화 양상을 분석함으로써 파열의 예후를 진단할 수 있다는 장점이 있다.

본 실험에서 사용한 모의 식도는 에플렌 왁스의 재질을 이용하였으나, 차후에는 실제 협착이 일어난 식도와 유사한 모양과 인장강도를 지니는 재료를 이용하여 제작하고 실험할 예정이다.

이와 함께 실험 시스템의 A/D 변환 분해능을 높이고 샘플링 속도를 증가시켜 더욱 정밀한 압력 변화의 분석을 행할 수 있도록 할 예정이다.

현재까지 개발된 소프트웨어는 압력값의 실시간 디스플레이, 실시간 매디안 필터링 및 저장 등의 기능을 갖고 있으나, 여기에 실시간으로 압력 변화를 추적하여 파열 예상 시점에 경보를 울려 주는 기능을 추가하고, 전체적인 실행 속도를 대폭 개선할 예정이다.

(6) William S. Ball, Janet L. Strife, Jens R. et al., 1984, *Esophageal strictures in children*, Radiology 150:263-264.

(7) Staric E., Paolucci V., Herzer M. et al., 1984, *Esophageal stenosis : Treatment with balloon catheters*, Radiology 153:637-640.

(8) S.A.M Nashef, K.M/Pagliero, 1987, *Instrumental perforation of the esophagus in benign disease*, Ann, Thorac Surg. 43:360-362.

참고문헌

(1) Mclean GK, Cooper GS, Hartz WH et al., 1987, *Radiologically guided balloon dialation of gastrointestinal strictures. Part I. Techque and Factors Influencing Procedural Success*, Radiology 165:35-40.

(2) Benedict EB, 1966, *Peptic stenosis of the esophaguo : A study of 233 patients treated with bougienage, sugery, or both*, Am J Dig Dis 11:761-770.

(3) Maynar M, Guerra C, Reyes R, et al., 1988, *Esophageal Strictures : Balloon dialation*, Radiology 167:703-706.

(4) Stevel L. Dawson, Peter R. Muelier, Joseph J. Ferrucci et al., 1984, *Severe esophageal stricture : Indications for balloon catheter dialation*, Radiology 153:631-635.

(5) Eduard E. de Lange, Hubert A. Shaffer, 1988, *Anastomatic stricture of the upper gastrointestinal tract : Result of balloon dialation*, Radiology 167:45-50.

※ 본 연구는 1997년 아산생명과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었음.