

## 공기도관을 사용하는 경막외강 자동탐지기구

강재환 · 김현식 · 김경아 · 김상태\* · 배진호\* · 임승운\* · 차은중

충북대학교 의과대학 의공학교실, 마취과학교실\*

(2002년 4월 8일 접수, 2003년 2월 28일 채택)

## Epidural Space Identification Device Using Air-filled Catheter

J.H. Kang, H.S. Kim, K.A. Kim, S.T. Kim\*, J.H. Bae\*, S.W. Lim\*, E.J. Cha

Departments of Biomedical Engineering and Anesthesiology\* College of Medicine, Chungbuk National University

(Received April 8, 2002. Accepted February 28, 2003)

**요약**: 경막외마취는 전신마취가 불필요하므로 널리 활용되는 마취술이다. 그러나 경막외마취 시술시 천자침이 경막외강 내에 정확하게 위치하지 않으면 각종 부작용이 발생하므로 시술자의 세심한 주의뿐만 아니라 상당한 수준의 숙달이 필요하다. 본 연구에서는 천자침이 연결된 도관 내의 압력 변화를 범용 압력센서로 연속 계측함으로써 침이 경막외강 내로 진입하는 순간을 자동탐지하는 자동화된 저항소실법을 개발하였다. 17G Tuohy 침을 황인대까지 전진시킨 후 침에 공기도관을 연결하고 공기도관에 연결된 압력센서로 압력신호를 추출하여 적절히 증폭·필터링한 후 역치감지회로가 경막외강의 진입순간을 감지하도록 전자회로를 설계·제작함으로써 저항소실법을 자동화할 수 있었다. 소량의 공기 주입으로 도관 내의 압력을 50~100mmHg까지 높인 후 침을 천천히 전진시키며 압력변화신호를 10개의 녹색 발광다이오드로 연속 표시하였고 압력이 20mmHg 이하로 하강하는 순간을 경막외강 진입시점으로 인식하여 시술자를 위해 경보를 울리는 보조기기의 형태로 구현하였다. 자체 시뮬레이션을 거친 후, 경막외마취 시술이 예정된 환자 30명을 대상으로 자동화된 보조기기를 사용하여 시술하였고 수동적인 저항소실법을 병행하는 임상실험을 통하여 경막외 마취시술의 성공여부를 판정하였다. 본 기기의 도움으로 첫 번째 시도에서의 마취성공률은 83%이었고 두 번째 시도에서는 모두(100%) 성공하였으며 시술 중 주입된 공기의 용적은 1ml 이내로써 별다른 부작용이나 합병증은 없었으므로 본 연구의 유용성이 입증되었다. 본 연구의 자동화된 저항소실법은 공기도관을 사용하였으므로 감염의 가능성도 최소화된다고 볼 수 있었으며, 따라서 편리하고 안전한 경막외마취 시술이 가능할 것으로 판단된다.

**Abstract**: An assist device was developed to identify the epidural space by continuously monitoring the air-filled catheter pressure. The pressure signal appropriately amplified and filtered enabled to alarm the needle introduction into the epidural space by thresholding detection. Ten LEDs provided a visual change of catheter pressure before alarming for user convenience. Clinical trials were performed in 30 patients with 83% success rate at the first trial. When failed, the second trial was enough for successful anesthesia. The air volume introduced during each anesthesia was less than 1ml, causing side effects. Air filling of the catheter could also minimize infection possibility. Therefore, the present device guarantees safe anesthesia with user convenience.

**Key words**: Epidural anesthesia, Automatic detection, Pressure monitoring.

### 서 론

경막외마취는 국소마취제를 경막외강에 주입하여 신경전달을 차단하는 마취술로 전신마취가 불필요하므로 널리 활용된

다. 그러나 천자침을 경막외강 내에 정확하게 위치시키지 못하는 경우 각종 부작용이 발생한다[1]. 정확한 위치에 천자침을 거치시키기 위하여 저항소실법, hanging drop법, Macintosh 풍선법 등의 여러 가지 방법들이 사용되지만[2,3] 이들은 각각 장·단점을 가지고 있어서 부작용이 최소화되고 효율적으로 경막외강을 찾는 것은 경막외 마취술 성공 여부의 관건이다.

경막외강의 위치를 찾는 방법들 중 저항소실법은 비교적 간편하고 손쉽게 사용할 수 있기 때문에 가장 널리 사용되지만 [4], 특히 생리식염수로 채워진 도관을 사용하는 경우 경막 천자시 척수액의 누출을 확인하기 어렵다. 공기 도관을 사용하게

이 논문은 한국과학재단 생체계측신기술 연구센터(R11-2001-005) 연구비에 의해 지원되었음.

통신저자: 차은중, (361-736) 충북대학교 의과대학 의공학교실

충북 청주시 흥덕구 개신동 산 48번지

Tel. (043)276-1495, Fax. (043)273-0848

E-mail. ejcha@med.chungbuk.ac.kr

되면 공기가 과다주입되는 경우 척수나 신경근의 압박, 불안정한 마취, 공기 색전증 등의 여러 가지 합병증이 발생할 수 있다[1]. 공기도관을 사용하면 도관을 통한 감염을 최소화할 수 있는 장점이 있으므로 공기과다주입을 방지할 수 있는 기술을 개발한다면 안전한 경막외마취가 가능해진다.

이에 본 연구에서는 공기도관을 사용하는 저항소실법에서 삽입되는 침내의 압력신호를 연속측정하면서 침이 경막외강 내로 진입하는 순간의 압력변화를 자동탐지하였다. 경막외마취를 보조하는 간편한 기구의 형태로 개발하였으며 임상실험을 수행하여 그 효용성을 확인하였다.

### 재료 및 방법

#### 경막외마취시 도관 내압의 변화특성

천자침을 삽입하여 조직 내로 전진시키면 침과 조직 간의 마찰 저항을 손으로 느낄 수 있으며, 외부로부터 양압(positive pressure)을 연결하면 점진적으로 침의 내압이 증가하는 현상을 볼 수 있다[5]. 침이 경막외강 내로 진입하는 순간 손에 느껴지는 마찰저항이 사라지면서(저항소실) 동시에 침의 내압이 급격히 강해진다. 그림 1에 생리식염수 도관을 사용하는 저항소실법에서 측정된 압력의 변화를 심전도 신호와 함께 도시하였다[5]. 그림 1에서 보는 바와 같이 도관내로 주입하는 생리식염수에 의해 압력은 200mmHg 이상으로 상승하다가 침이 경막외강 내로 진입하는 순간 거의 0으로 급강하하는 것을 볼 수 있으며 이는 타 연구 결과와도 일치한다[6]. 이러한 현상은 상대적으로 큰 공간으로 간주되는 경막외강의 내압이 낮기 때문인데 음압(negative pressure)~최대 25mmHg 범위의 값을 보인다.

#### 경막외강 진입시점의 자동탐지

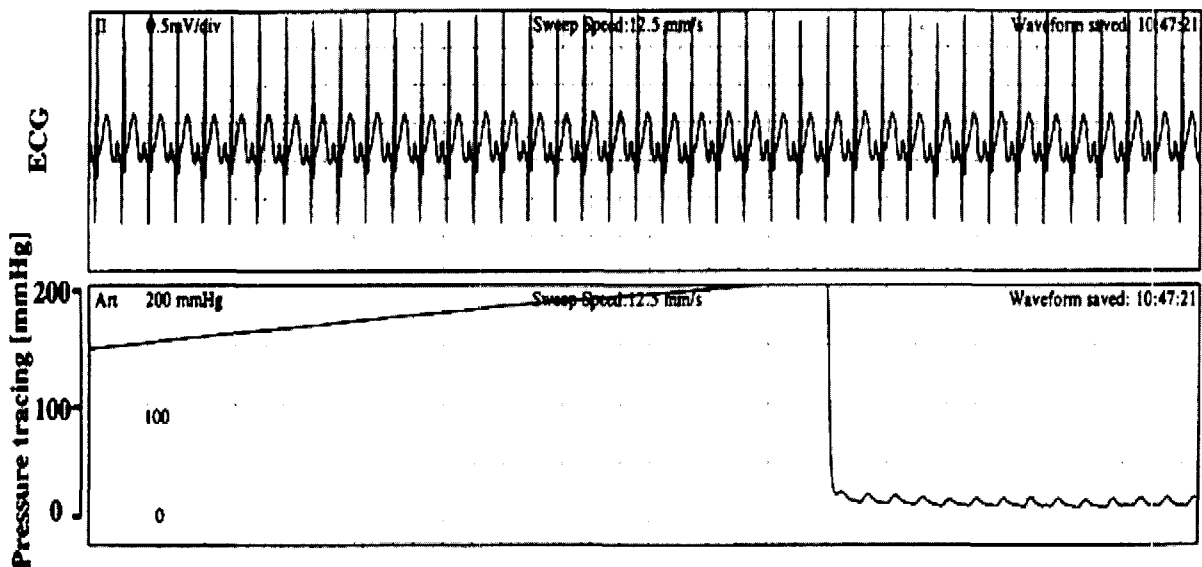


그림 1. 경막외마취 시술시 천자침 내부의 압력변화 및 심전도 신호의 기록 예  
 Fig. 1. Catheter pressure tracing example with ECG during epidural anesthesia

그림 1의 압력변화특성에 따라 천자침의 내압이 경막외강압과 같아져 급강하하는 시점을 포착하면 그 진입순간을 탐지할 수 있다. 본 연구에서는 천자침이 연결되는 공기도관에 기압측정용 압력센서(PSGD 00.5KCAA, 대성전기)를 연결하여 상승한 압력변화를 연속 계측하며 경막외강 진입시점을 순간적으로 자동탐지하여 경보를 울리는 전자회로를 설계·제작하였다.

압력계측의 범위가 최대 300mmHg가 되도록 압력신호 추출회로를 설계, 제작하여 압력에 비례하는 적절한 범위(0~10V)의 압력신호를 얻은 후, 2차 저역필터를 통과시켜 잡음을 제거하였다(차단주파수 16Hz). 사용자의 편의를 위하여 압력변화신호를 10개의 녹색 발광다이오드로 디스플레이 하였고 Schmitt trigger 회로를 통과시켜 미리 정해진 역치를 넘어서거나 내려올 때 구형파가 발생하도록 하였다. 경막외강의 탐지를 자동화하기 위하여 역치를 20mmHg로 설정하였다. 경막외강압은 10~25mmHg 범위로 알려진 바[6], 상승시의 역치를 35mmHg로 하였고 하강시의 역치를 20mmHg로 설정하였다. 이와같이 얻어지는 구형파를 고역필터(16Hz)로 통과시켜 모서리 부분만 탐지한 후, 모서리 부분에 의해 일정시간 간격을 가지는(1~5초) 새로운 구형파를 생성하였다. 이 구형파로 전자경보 소자를 구동하여 경보음을 울리는 동시에 적색 발광다이오드로 디스플레이 하였다. 즉, 침이 연결된 카테터에 압력센서를 연결하고 그 출력신호를 상승한 대로 신호 처리하는 전자회로를 설계, 제작하였다. 그림 2에 전자회로의 블록도를 제시하였다.

사용자가 침을 서서히 진행시킬 때 발광다이오드로 디스플레이되는 압력을 시각적으로 관찰하게 되며 침의 끝이 경막외강 내로 진입하는 순간 경보음이 울리므로 바늘의 진행을 정확하게 멈출 수 있다. 경보음은 압력신호가 역치 이상으로 올라갈 때(35mmHg) 짧게(1sec) 울리고 역치 이하로 내려올 때

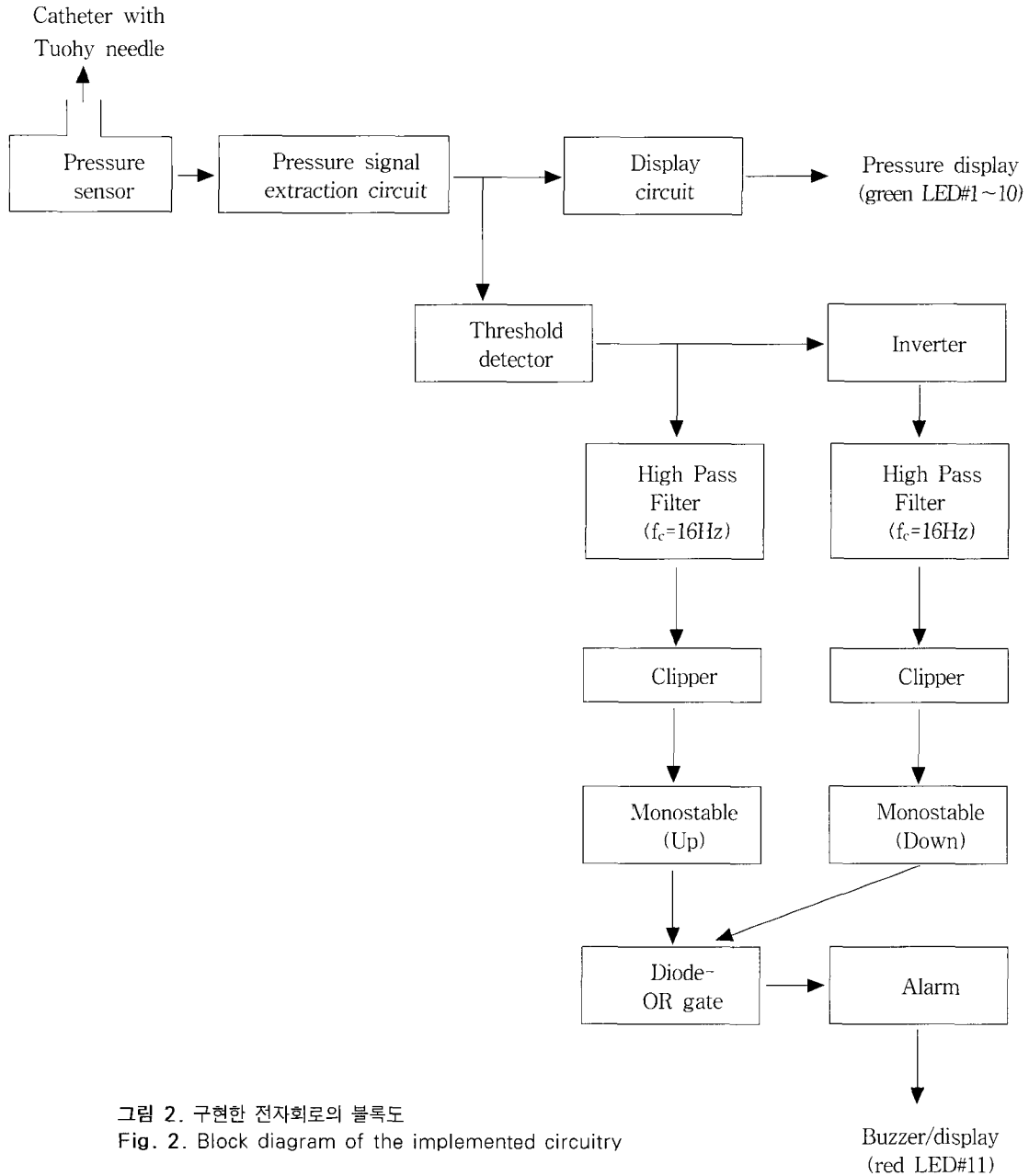


그림 2. 구현한 전자회로의 블록도  
Fig. 2. Block diagram of the implemented circuitry

(20mmHg) 주 경보음을 길게(3sec) 울리도록 하였다. 첫 번째 짧은 경보음은 시술을 시작하기 위하여 도관 내 압력이 충분히 높아졌음을 의미하고 두 번째 긴 경보음은 경막외강 내로의 진입을 알려줌으로써 사용자 편의를 최대한 도모하였다.

**임상실험**

경막외마취 하에서 수술이 예정된 30명의 환자를 대상으로 임상실험을 수행하였다. 제왕절개수술을 요하는 임신부는 대상에서 제외하였고 모두 요추 부위의 질병이나 수술을 받은 병력은 없었다(표 1). 수은주 압력계를 도관에 연결하여 회로 출력전압의 감도가 0.03V/mmHg가 되도록 이득을 조정하였다.

수은주를 0에서부터 서서히 상승시켜 첫 번째 경보음이 35mmHg에서 울리고 수은주가 다시 내려올 때 20mmHg에서

표 1. 임상실험에 참여한 환자들의 신체정보  
Table 1. Demographic data of the patients participated in clinical trials

	Group 50mmHg	Group 100mmHg
Age(year)	44.2±13.4	47.6±14.8
Weight(kg)	55.7±18.5	63.2±14.6
Height(cm)	164±8.2	168.4±9.6
Gender(M/F)	10/5	8/7

두 번째 경보음이 울리는지 확인하였다. 이 값들은 Schmitt trigger 회로의 상·하 역치값으로 회로 설계시 미리 설정한 것으로 오차없이 회로가 동작하는지를 확인하였다. 즉, 회로이득 조정 후 역치값 및 경보음이 정상적으로 동작하는지를 확인하는 calibration 과정을 수행하였다.

표 1에서 대상 환자들의 신체정보 편차가 상당히 넓으나, 저항소실법은 경막외강 진입순간의 저항소실 혹은 압력강하를 탐지하는 것이므로 신체크기와는 무관하다. 환자에게 Midazolam 2~3mg을 근육주사하여 마취전 투약을 하였으며, 심전도를 부착하고 요추를 굴곡한 상태에서 측와위로 자세를 잡고 제 3-4요추 간에 1% Lidocaine으로 국소마취하였다. 17G Tuohy 침을 황인대(ligamentum flavum)까지 전진시킨 후 침에 도관을 연결하고 이를 전술한 자동탐지기기와 3ml 주사기로 연결하였다. 부착된 주사기를 통해 소량의 공기를 주입하여 압력을 상승시키되, 15명은 50mmHg까지(50mmHg 군), 그리고 나머지 15명은 100mmHg까지(100mmHg 군) 상승시켰다. 50 및 100mmHg로 구분한 것은 압력이 높을수록 주입되는 공기의 양이 증가하므로 이에 따른 부작용의 발생을 확인하기 위함이다. 침을 다시 서서히 전진시키다 경보음이 울리면 전진을 멈추고 침이 경막외강 내에 실제로 위치하였는지를 저항소실법을 수작업으로 행하여 확인하였다. 저항소실법은 침을 전진시키는데 드는 손의 힘을 시술자가 감각적으로 의식하며 힘이 급격히 감소하는 시점을 진입순간으로 포착하는 기법으로 본 연구에서 제작한 기기의 경보음이 울리는 순간과 손에 드는 힘의 감소현상을 시술자가 비교한 후, 약간 전진·후진시켜 경막외강 진입을 재차 확인하였다. 마취중 필요한 약제는 도관에 연결된 Tuohy 침을 통하여 주입하였으며, 각각에 대해 마취의 만족성 여부, 그리고 경막의 천자나 다른 합병증이 발생하였는지를 기록하였다[7].

**결 과**

기기의 정상동작을 확인하기 위하여 자동탐지 전자회로에 그림 3에 보인 바와 같이 삼각파를 입력시키고 경보소자 구동파를 계측하였다. 미리 설정한 역치를 상회하는 순간과 하강하는 순간 각각에서 정확한 구형파를 얻을 수 있었으므로 전자회로가 정상적으로 동작함이 검증되었다. 그림 3에 보인 바대로 두 역치(35, 20mmHg)와 경보음 기간(1sec, 3sec)을 설정하여 반복 확인하였다. 압력센서에 압력계를 연결하고 공기를 주입하며 눈으로 압력변화를 관찰한 결과 미리 설정한 역치에서 정확한 경보음이 울리는 것을 재차 확인할 수 있었다. 그림 4에 최종적으로 구현된 기기의 실물사진을 보였다.

임상실험시 압력상승을 위하여 주입된 공기의 양은 50 및 100mmHg 군에서 각각  $0.64 \pm 0.1ml$ ,  $0.95 \pm 0.2ml$ 로 100mmHg 군에서 유의하게 증가하였다( $P < 0.05$ , unpaired student's t-test). 50mmHg 군에서는 2명에게 2번 시도하여 성공하였고 100mmHg 군에서는 3명에게 2번 시도하여 성공하였다. 30명의 환자 모두에서 만족할 만한 마취가 이루어졌고 경막외 천자나 다른 합병증 및 부작용은 발생하지 않았다. 따라서 일회 시도의 성공률은 약 83%이었으며 모두 만족할 만한 마취가 이루어졌다[7].

**고찰 및 결론**

본 연구에서는 경막외마취 시술시 천자침이 경막외강을 관통함에 따른 부작용을 최소화하기 위하여 침이 경막외강에 진입하는 순간 경보음을 울림으로써 경막외강을 자동탐지하는 기기를 구현하였다. 이는 특히 미숙달자가 경막외강을 관통하는 것을 방지해 줄 수 있으므로 유용한 보조기기로 활용될 수 있

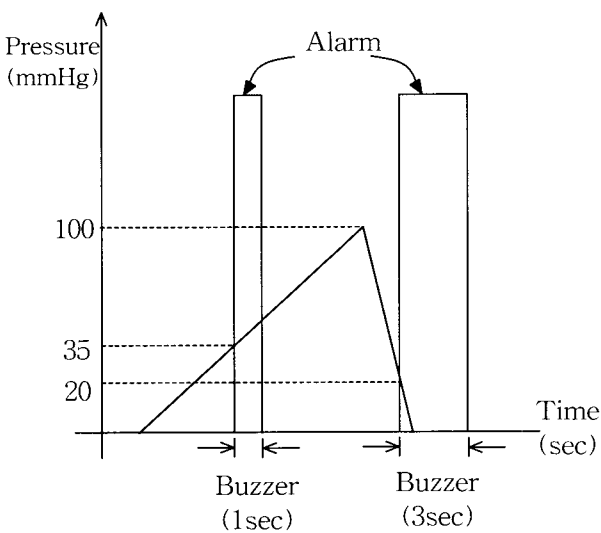


그림 3. 삼각파 입력에 대한 경보음 확인 모식도  
Fig. 3. Alarm signal outputs of the circuitry to a triangular input signal

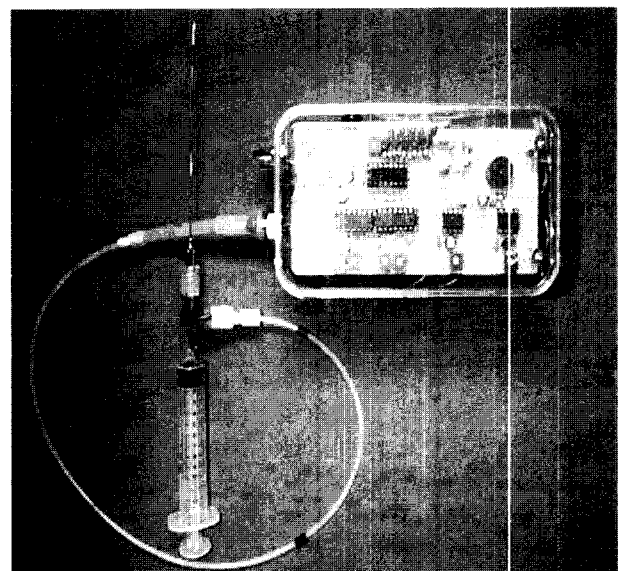


그림 4. 설계·제작한 기기의 실물사진  
Fig. 4. Picture of the implemented device

우리라 사료된다. 또한 공기를 매체로 압력이 전달되므로 마취제 주입용 도관을 통한 감염의 위험도 최소화된다고 볼 수 있을 것이다. 경막외마취는 인체 내부와 도관이 상호 연결된 상태에서 행하는 상당히 침습적인 시술이므로 도관을 통한 병원균의 감염과 전기쇼크가 문제될 수 있다. 기존의 방법은 도관 내를 생리식염수로 채우므로 감염가능성이 커지는 것에 더해 전기저항이 매우 작은 전기적 경로를 제공한다. 본 연구에서는 도관을 공기로 채우므로 감염의 가능성이나 전기쇼크가 거의 방지된다고 볼 수 있다. Suwa 등[5]이 본 연구와 유사하게 도관 내의 압력이 경막외강 진입시 급격히 하강하는 것을 관찰하였으나 도관 내를 액체로 채웠고 시술자가 압력파형을 관찰함으로써 진입시점을 인식하도록 하였으므로 기존 방법에서의 위험성을 방지할 수 없었다. 본 연구에서는 공기도관을 사용하였으므로 감염가능성이 대폭 감소하였고 전기쇼크의 가능성도 거의 없다고 판단된다. IEC601-1과 같은 국제적 전기안전기준 시험을 행하지는 않았으나 압력센서만이 환자와 연결되므로 전극과 같은 실질적인 전기적 연결은 없다. 또한 신호처리회로가 저전압, 저주파수에서 동작하므로 유해 전자파의 발생 가능성도 없을 것으로 여겨진다. 향 후 제품화가 시도된다면 전기적 안전검사가 필요할 것이다. 현 시점에서는 연구결과를 특허화하여(대한민국 출원번호 10-2001-0024667) 산업재산권을 확보한 상황으로 제품화 추진시 전기안전검사를 수행할 계획이다.

압력변화특성을 이용하여 경막외강을 자동탐지 하려면 소량의 공기를 주입하여 일정 수준 이상의 압력을 유지해야 한다. 공기주입은 pneumocephalus, 척추 혹은 신경근의 압박, retroperitoneal air collection, subcutaneous emphysema, 정맥내 공기색전증, 불완전한 마취 등의 여러 합병증의 원인이 된다[8]. 그러나 주입된 공기의 양이 2ml 미만이면 대개 별다른 합병증이 없다고 여겨지고 있다[9]. 본 연구에서는 모두 약 1ml 미만의 공기량이 주입되었고 별다른 부작용이나 합병증을 관찰할 수 없었던 바[7], 본 자동탐지 방법이 비교적 안전하고 유용함을 뒷받침한다. 도관 내에 소량의 공기(0.2~0.3ml)를 주입하여 압력을 50mmHg 이상으로 상승시킨 후 시술자가 압력계이치를 관찰하며 침을 전진시켜 10mmHg 이하로 하강하는 진입 순간을 포착하는 수동적 연구가 수행된 바 있다[6]. 81명의 환자들에게 특별한 부작용이 없었던 바, 본 연구에서와 같이 약 1ml 이하의 공기가 주입되는 경우에는 부작용없이 시술할 수 있음을 반증한다. 본 연구에서는 과거의 수동적 방법[5, 6]을 개선하기 위하여 압력센서 신호를 자동적으로 역치 검출하여 경보음을 울림으로써 시술자의 편의성을 대폭 향상시켰다. 따라서 보다 안전하고 정확하며 일관성 있는 시술이 가능하리라 사료된다.

경막외강의 압력은 10~25mmHg 범위로 보고된 바 있으나 [6], 도관의 압력이 높아진 상태에서 경막외강으로 진입하는 순간에는 거의 0으로 하강하며 음압(negative pressure)으로까지 하강한 후[5] 시간이 지남에 따라 외부의 유체가 진입하여

다소 회복된다. 따라서 진입순간을 알리는 경보음이 20mmHg에서 울리도록 설정하였고 임상실험 결과 20mmHg 이상에서 침이 경막외강으로 진입한 예는 없었다. 초기의 도관 내 압력을 50 및 100mmHg 군으로 양분하여 임상실험을 수행한 결과 100mmHg 군에서 공기주입량이 약 50% 증가하였으나 모두 1ml 미만이었으며 상술한 대로 별다른 부작용이 없었다. 따라서 본 연구와 같이 자동화된 저항소실법을 시술하는 경우 도관 내 초기 압력을 50~100mmHg로 유지한다면 안전하고 성공률이 높은 시술이 가능하다.

일 회 시도로 자동탐지의 성공률은 약 83%로 상당히 높았으며 2회 시도시에는 모두 성공하였다. 바늘이 경막외강 내로 진입하는 순간 울리는 경고음은 시술자에게 확실한 자신감을 줄 수 있으며 양손을 이용하여 조금씩 지속적으로 전진시킬 수 있으므로 손끝에 오는 감각도 더 잘 느낄 수 있다는 장점도 있었다. 본 연구에서 구현한 자동탐지기구는 작고 단순하며(그림 4 참조), 경보음을 울리는 것이므로 훈련이나 시술시 모두 유용하리라 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. R.S. Loyd, K. Shanu, Y. Omowunmi, "Identification of the epidural space: Is loss of resistance to air a safe technique?", Reg Anesth, Vol. 22, pp. 3-15, 1997
2. G.E. Morgan, M.S. Michail, Clinical anesthesiology, 1st Ed., A Lange Medical Book, Connecticut, pp. 211-229, 1992
3. R.R. Macintosh, "Extradural space indicator", Anesthesia, Vol. 5, p. 98, 1950
4. T.K. Howell, D.P. Prosser, M. Harmer, "A change in resistance? A survey of epidural practice amongst obstetric anaesthetists", Anesthesia, Vol. 53, pp. 238-243, 1998
5. T. Suwa, S. Inomata, S. Saito, H. Toyooka, "Pressureregulated method for identification of the epidural space in children", Anesthesiology, Vol. 89, pp. 546-548, 1998
6. 김진경, 최윤, 고흥, "임산부와 비임산부의 경막외강압 비교", 대한마취과학회지, 제 30권, pp. 466-469, 1996.
7. 배진호, 이병달, 김상범, 김상태, 차은중, 임승운, "압력감지기계를 이용한 경막외강의 탐지", 대한마취과학회지, 제 40권, pp. 11-15, 2001
8. B. Dalens, J. Bazin, J. Haberer, "Epidural bubbles as cause of incomplete analgesia during epidural anesthesia", Anesth Analg, Vol. 66, pp. 678-683, 1987.
9. J.L. Shah, "Positive lumbar extradural space pressure", Br J Anesth, Vol. 73, pp. 309-314, 1994.