

## 일회용 압력 측정 장치의 길이와 사용시간에 따른 자연진동수와 감쇠특성 변화

서울대학교 의과대학 마취통증의학교실, \*성균관대학교 통계학과

임경지 · 김동욱\* · 안원식 · 이난주

### The Changes of Natural Frequency and Damping Coefficient of Disposable Pressure Transducer according to the Catheter Length and Time Assigned

Kyoung Ji Lim, M.D., Donguk Kim, Ph.D.\*, Wonsik Ahn, M.D., and Nan-Ju Lee, M.D.

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Seoul National University College of Medicine; \*Department of Statistics, Sungkyunkwan University, Seoul, Korea

**Background:** The accuracy of a disposable blood pressure transducer (DBPT) is determined by its physical properties: natural frequency (NF) and damping coefficient (DC). We planned this study to investigate whether the NF and DC of a DBPT are altered by attaching extended catheters and evaluated changes of these physical properties over time.

**Methods:** Fifteen DBPT sets were connected to a monitor and recorder set. These sets were divided into three groups; five sets had catheters of normal length (Group 1), five sets had 50 cm extended catheters (Group 2), and five sets had 100 cm extended catheters (Group 3). The NF and DC of each system were measured using the fast flush (FF) test. After the DBPT sets were installed, the FF test was performed for each group at five time intervals: 4, 24, 48, 72, and 96 hours.

**Results:** The NF of Groups 2 and 3 decreased and their DC increased compared to those of Group 1. Whereas the NF of Group 3 increased over time, those of Groups 1 and 2 did not. The DC of Groups 2 and 3 decreased over time, but remained unchanged over time for Group 1. When the FF test was done at intervals longer than 24 hours, it was found that the NF, but not the DC, increased for all groups.

**Conclusions:** Attention should be paid to interpret blood pressure using DBPTs measured by extended catheters and using DBPTs for long periods of time without FFs. (Korean J Anesthesiol 2007; 53: 759~66)

**Key Words:** blood pressure, damping coefficient, natural frequency, pressure transducers.

## 서 론

혈압 측정은 매우 중요한 환자감시 수단으로 병원에 입원한 모든 환자에서 혈압을 측정하고 있으며, 환자의 상태가 좋지 않을 경우 실시간으로 모든 맥박의 혈압을 측정하는 침습적 방법에 지속적 동맥압 측정기를 사용하고 있다. 지속적 동맥압 측정기는 두 가지가 있는데, 하나는 혈관 내에 압력 측정용 변환기(transducer)를 직접 넣는 방식(manometer-tipped transducer, MTT)이고, 다른 하나는 transducer를

외부에 설치하는 방식(catheter-tipped transducer, CTT)이다. 전자는 정확하기는 하지만 고가이고, 후자는 약간 부정확하지만 가격이 저렴하여 현재 임상에서 많이 사용하고 있다. 대부분의 임상의들은 전자의 방식을 경험해 보지 않았기 때문에 압력 측정 장치라는 용어를 사용하였을 때 후자인 CTT 일회용 압력 측정 장치를 생각할 수 있다.<sup>1)</sup> 하지만 CTT에서는 압력신호를 전기신호로 변환시켜 주는 transducer가 실제 값이 있는 지점으로부터 떨어져 있음으로 인해 오차가 필연적으로 발생하게 된다. 이러한 오차가 어느 정도 이내인지, 임상에서 사용할 때 유용한지 알기 위해 측정오차와 밀접한 관련이 있는 자연진동수(natural frequency, NF)와 감쇠특성(damping coefficient, DC)을 제품 설명에 포함시켜 기재하고 있다. 또한 지속적 동맥압 측정을 이용한 연구 논문에는 NF와 DC를 명시하도록 추천하고 있다.<sup>2)</sup> 그 밖에 정확한 혈압을 알기 위한 변환 공식을 사용하기 위해서도 NF와 DC는 필요하다.<sup>3,4)</sup> 그래서 각종 상황에서 NF와

논문접수일 : 2007년 7월 2일  
책임저자 : 안원식, 서울시 종로구 연건동 28  
서울대학교병원 마취통증의학과, 우편번호: 110-744  
Tel: 02-2072-3087, Fax: 02-747-5639  
E-mail: aws@snu.ac.kr

이 연구는 서울대학교병원 위탁연구과제(06-2007-026)로 이루어졌음.  
한국 생체신호은행(Korea BioSignal Bank)의 자료 저장 지원을 받음.

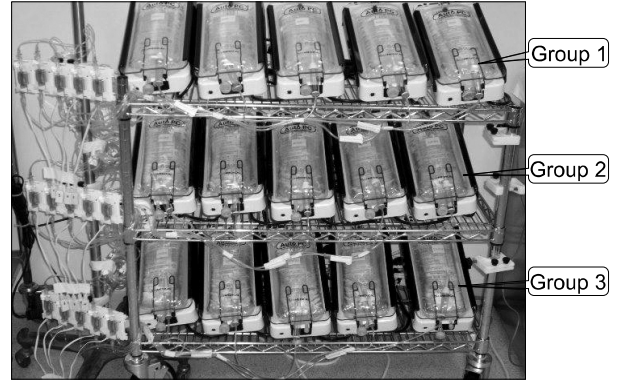
DC가 적절한지에 대한 연구가 다양하게 수행되고 있다.<sup>5)</sup>

한편 임상 진료를 수행하다 보면, 완제품의 일회용 측정기에서 제공되는 관의 길이가 짧아 연결선(pressure line)을 추가하는 경우가 있으나, 이러한 경우 상기 두 특성치가 어떻게 달라지는지 구체적으로 연구되어 있지 않고, 폐동맥 카테터와 동맥압 카테터의 비교나 파형을 잘라서 분석하는 wavelet 분석법을 시도하고 있는 단계이다.<sup>6,7)</sup> 그리고 심혈관계 질환으로 중환자실에서 장기 입원하고 있으나 폐기능이 정상이고 전해질 농도의 변화가 없어 혈액 검사를 하지 않고 혈압 변화를 보는 경우에는 신속 증수(fast flush)를 하지 않게 된다. 이렇게 장시간 혈압 측정에 사용하면 특성치들이 변화한다고 보고 되어 있으나,<sup>7)</sup> 날짜가 경과함에 따라 특성치 변화가 어느 정도 생기는지 조사된 바가 없다. 이 제품은 인체에 삽입하여 측정하는 것이므로 이상적으로는 인체에 삽입하여 상기 특성치를 측정하여야 하지만, 인체에서 측정하는 것과 in vitro 연구에서 측정하는 특성치에 차이가 없다는 연구 결과가 있으므로,<sup>8)</sup> 이번 연구에서는 in vitro 연구에 국한하여 일회용 압력 측정 장치의 NF와 DC가 연결선을 추가하거나 장시간 사용할 때 변화를 연구하였다.

### 대상 및 방법

일회용 압력 측정 장치(Autotransducer<sup>®</sup>, 에이스 메디칼, 서울) 225개를 준비하여 1주일에 15개씩 실험하여 15주간 반복하여 자료를 구하였다. 실험은 실내의 공기가 1시간당 20회 치환되고 양압 환기되는 환경에서 수행되었고, 실내 온도는 21-23도로 항온 유지되는 공간에서 수행되었다. 1주일 동안 함께 측정된 15개의 설정은 다음과 같았다. 5개는 원래의 길이를 그대로 유지하고(Group 1), 5개는 50 cm pressure line (A422, pressure tubing, 에이스메디칼, 서울)을 연결하고(Group 2), 5개는 100 cm pressure line (A422, pressure tubing, 에이스메디칼, 서울)을 연결하였다(Group 3). 15개 모두 1 liter 생리 식염수(Techflex 2, 중외제약, 서울)에 연결하고 압력을 부여할 수 있는 장치(AutoPC<sup>®</sup>, 에이스메디칼, 서울)에 생리 식염수를 넣고, 300 mmHg까지 압력을 올려 놓은 후 96시간 동안 유지하였다. 압력 측정 장치의 transducer는 수액의 높이보다 약간 낮은 위치에 고정하고 중간에 공기가 없도록 수액을 잘 채운 후 중간 부분을 적절히 고정하였다(Fig. 1).

설치를 완료한 다음 수액 연결 밸브를 열어 관 안에 존재하는 공기를 모두 제거하고, 모니터(Solar 8000M<sup>™</sup>, GE Medical System, Milwaukee, WI, USA)에 연결한 후, 3-way를 돌려 대기압에 노출시킨 후 압력 '0'점을 맞추었다. 모니터의 자료(압력 파형)는 analog output port를 통해 해상도 12

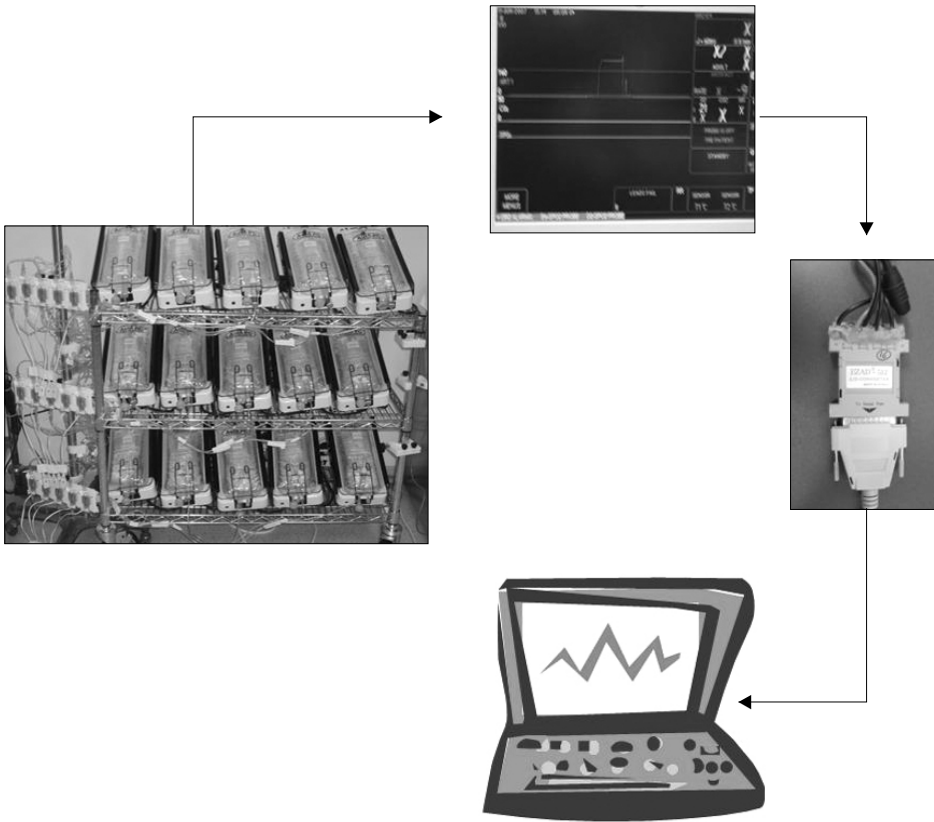


**Fig. 1.** Photograph of study setting showing 15 sets of pressure monitoring assembly. All sets have 300 mmHg, which is maintained by electric powered devices (Auto PCTM). Five of them (group 1) are original pressure transducer kits. Another five of them (group 2) are connected 50 cm pressure tubing lines. The other five of them (group 3) are connected 100 cm pressure tubing lines. The air in the tubing is cautiously removed. The tubes are adequately attached to the cart to prevent air intrusion. The pressure transducers are located at the slight below level of the insertion height of the normal saline.

bit인 analog digital 변환기(EZAD<sup>®</sup>-512, 엘바이오, 서울)를 사용하여 500 Hz 디지털 신호로 변환하고, 이 후 컴퓨터로의 전송은 표준 RS232C cable을 이용하여 컴퓨터의 직렬포트로 연결하여 자료를 전송하였다. 컴퓨터 프로그램은 Labview 6.1 (Labview<sup>®</sup>, National Instrument, Austin, USA)을 사용하여 작성된 자료받기용 프로그램을 사용하여 실시간으로 저장하였다(Fig. 2).

설정이 모두 끝나면 수액 연결 밸브를 열어 일회용 압력 측정기 관내 압력을 300 mmHg까지 올린 후 밸브를 닫아 계단형 압력(step impulse)을 주었다. 15개 설정 모두에서 계단형 압력을 주는 것을 4회 반복 시행하였다. 첫 날 시행 후 Group 1, 2, 3 transducer 중 각 1개(총 3개)는 4시간마다 계단형 압력을 주어 압력 파형 변화 자료를 두 번 더 받았다. 즉 하루에 3회(오전 9시, 오후 1시, 오후 5시)의 계단형 압력을 주어 자료를 받았다. 이후 매일 3회씩 4일간 계단형 압력 반응 검사를 시행하였다. 다른 12개의 설정 중 3개(Group 1, 2, 3에서 각 1개씩)는 24시간이 경과한 후 계단형 압력 반응 검사를 시행하고, 그후 24시간마다 계단형 압력 반응 검사를 시행하고, 다른 3개는 48시간, 또다른 3개는 72시간, 나머지 3개는 96시간이 경과한 후에 계단형 압력 반응 검사를 시행하고, 총 96시간까지 검사를 지속하였다(Table 1).

이때 측정된 압력 파형을 상기에 기술한 방법으로 저장한 후 사후에 자료 분석을 시행하였다. 자료 분석은 Matlab 7.1 (MATLAB<sup>®</sup> MathWorks, Natick, USA)을 이용하였다. 자



**Fig. 2.** Schematic presentation of data acquisition method. Pressure monitoring assembly is connected to a patient monitor (Solar 8000M™). The displayed signal is transferred to an analog/digital converter via an analog output in the monitor. Five hundred Hertz digitized signal (12-bit resolution) is transferred to a personal computer and recorded by a software program.

료 분석은 matlab을 이용하여 각각의 점들을 수작업으로 마우스로 표시하였으며 마우스 좌표를 이용한 damped frequency (DF)와 damping ratio (DR)의 측정은 자체 작성한 프로그램을 사용하여 자동화 작업을 거쳐 취득하였다(Fig. 3). DF와 DR로부터 DC와 NF의 계산은 다음 식을 사용하였다.<sup>2)</sup>

$$DC = [-\ln (DR)] / [\pi^2 + \{\ln (DR)\}^2]^{1/2}$$

단, ln는 자연로그

$$NF = DF / (1 - DC^2)^{1/2}$$

$$DR = A2 / A1$$

$$DF \text{ (Hz)} = (\text{wave travel velocity, sample/sec}) / (\text{peak to peak distance, sample})$$

각각의 시점에서 4회의 반복 중 4개의 평균치와 표준편차 이상 차이가 나는 결과는 측정 오류로 간주하여 제외하고, 나머지를 가지고 평균을 구한 후 각 시점의 NF, DC로 하였다. NF, DC에 대한 평균, 표준편차를 구하고 표준편차 이상 차이가 나는 측정치를 제외하는 과정은 Excel 2003 (Microsoft™ Office Excel 2003, Microsoft, Seattle, USA)의 macro와 visual basic 프로그램을 이용하였다.

측정 오차를 제외한 자료의 15주 반복한 것들을 산술 평균하여 각각의 시점과 길이에서 NF, DC를 구하였다. 길이와 시간대별 NF와 DC 값의 항목간 비교는 반복측정 분산 분석 모델과 Duncan의 다중비교를 사용하였다. 모형에서 길이 효과, 시간 효과의 유의성 검정에는 Wilks' Lambda 통계량을 사용하였다. 15주 반복 자료 처리와 길이 효과, 시간 효과의 항목간 비교를 위해서는 SAS 9.1 (SAS Korea, 서울)을 이용하여 통계 분석 프로그램을 작성하여 분석하였다. 시험 횟수를 구하기 위한 power analysis는 제1종 오류 0.05, 검정력 80%를 기준으로 계산하여 15주가 나왔다.<sup>5,9)</sup>

## 결 과

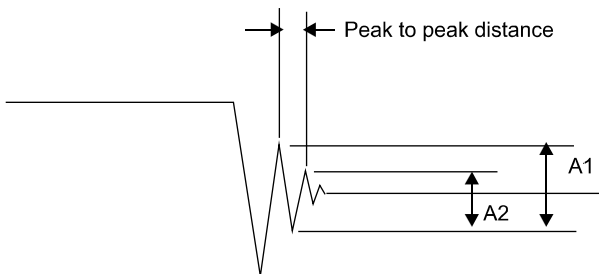
총 15주 동안 반복 측정하면서, 자료 저장 과정에서 오류가 있어, 몇 개의 자료(3일째 1시, 5시, 4일째 9시, 1시 자료 각각 1개씩)가 결측치가 되었다. 이에 연구 분석에서 해당 부분을 결측치로 분류하고 분석을 진행하였다. 반복측정 분산분석 모형에서 측정 시간과 길이의 교호작용 검정 결과 유의성이 없는 것으로 분석되어 각 항목별 분석을 시행하였다.

**Table 1.** Data Collection Sheet

15 - ( ) week ( Mon__ Day__ - Mon__ Day__ )													
Category	Mon			Tue			Wed			Thu			Fri
1 (0)*													
2 (0)													
3 (0)													
4 (0)													
5 (0)													
6 (50)													
7 (50)													
8 (50)													
9 (50)													
10 (50)													
11 (100)													
12 (100)													
13 (100)													
14 (100)													
15 (100)													

Group 1 consists of categories 1 to 5. They have original transducers. Group 2 consists of categories 6 to 10, which have a 50 cm extended pressure lines. Group 3 consists of categories 11 to 15, which have a 100 cm extended pressure lines. White boxes mean that natural frequency (NF) and damping coefficient (DC) are measured at the time. Black boxes mean that no NF or DC is measured at the time. NF and DC are measured at three times (9, 13, 17 o'clock) in a day from Monday to Tuesday. They are measured at 9 o'clock on Friday. \*Extended length in parenthesis.

길이별 차이를 반영하는 group 간 차이는 정상 길이를 기준으로 50 cm, 100 cm의 NF가 모두 작았다( $P < 0.05$ ). Group 1과 2의 NF는 시간이 경과하여도 거의 일정하게 유지되었으나, group 3의 NF는 첫 1-2일에는 group 1의 NF보다 작았다가 4-5일에는 group 1보다 더 컸다( $P < 0.05$ ). Group 1의 NF의 5일간 평균과 표준편차는  $7.67 \pm 2.08$ , group 2의 NF는  $6.35 \pm 1.29$ , group 3의 NF는  $7.14 \pm 2.47$ 이었다(Fig. 4A). 길이가 증가함에 따라 DC는 정상 길이의 DC보다 커졌다( $P < 0.05$ ). Group 1의 DC의 평균과 표준편차는  $0.22 \pm 0.03$ , group 2, 3의 DC의 평균과 표준편차는



**Fig. 3.** The method for obtaining damping coefficient and natural frequency using the fast flush test.

$$DF \text{ (Hz)} = (\text{speed, sample/sec}) / (\text{peak to peak distance, sample})$$

$$DR = A2/A1$$

$$DC = [-\ln(DR)] / [\pi^2 + \{\ln(DR)\}^2]^{1/2}$$

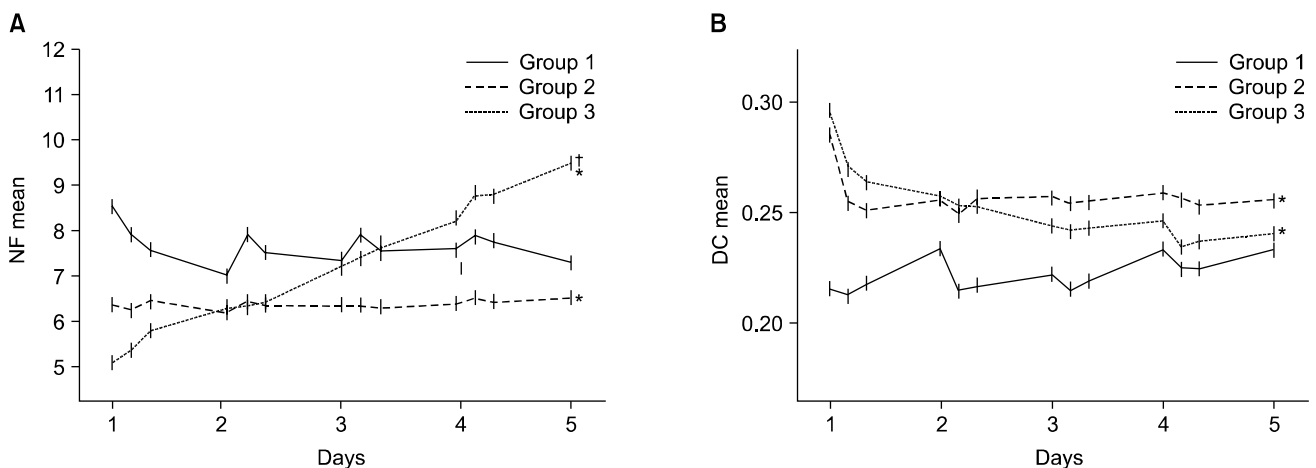
$$NF \text{ (Hz)} = DF / (1 - DC^2)^{1/2}$$

DF: damped frequency, DR: damping ratio, DC: damping coefficient, ln: natural logarithm, NF: natural frequency. (Adopted and modified from reference number 5 with permission<sup>5)</sup>)

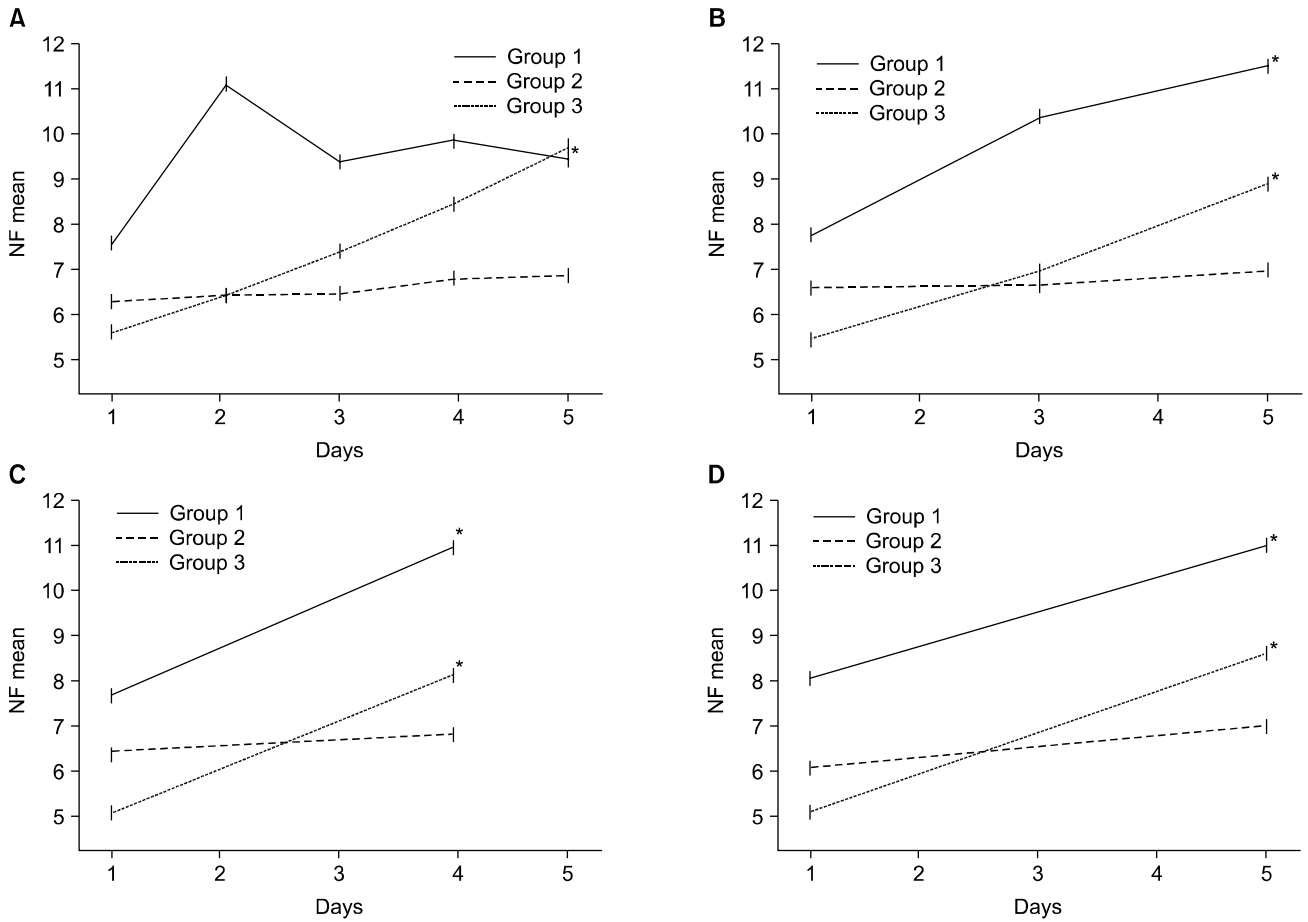
$0.25 \pm 0.03$ 으로 측정되었다. Group 1보다 group 2, 3에서 DC가 커지는 경향은 96시간까지 시간이 경과하는 동안 비슷하게 유지되었다(Fig. 4B).

사용 시간 경과에 따른 특성치의 차이를 살펴보면, group 1에서는 날짜가 경과함에 따라 48, 72, 96시간 간격으로 측정된 NF가 증가하였고( $P < 0.05$ ), group 2에서는 측정 시간 간격과 상관 없이 큰 차이가 없었으며, group 3의 NF에서는 측정 간격과 상관 없이 모두 증가하였다( $P < 0.05$ )(Fig 4A, 5A-D). DC 특성에서 group 1의 4시간마다 측정된 군에서는 별 변화 없었으나(Fig. 4B), group 2, 3과 group 1에서 24시간 이상 간격을 두고 측정된 군들의 DC에서는 첫 날 측정된 것과 비교하여 시간이 경과함에 따라 측정값이 모두 감소하였다( $P < 0.05$ )(Fig. 4B, 5E-H).

측정 간격별 차이로는 group 1에서 4시간마다 96시간 동안 측정된 NF와 DC의 평균과 표준편차는 각각  $7.67 \pm 20.8$ 과  $0.22 \pm 0.03$ 이었고(Fig. 4), 24, 48, 72, 96시간마다 측정된 NF의 시간대별 변화 평균과 표준편차는 각각  $9.50 \pm 2.67$ ,  $9.86 \pm 2.44$ ,  $9.34 \pm 2.62$ ,  $9.50 \pm 2.36$ 이었고, DC의 시간대별 변화의 평균은 각각  $0.21 \pm 0.03$ ,  $0.21 \pm 0.03$ ,  $0.22 \pm 0.03$ ,  $0.21 \pm 0.02$ 이었다(Fig. 5). 4시간 간격으로 하루에 3번 측정된 군과 다른 수치를 보인 것은 24, 48, 72, 96시간의 NF였고( $P < 0.05$ ), 24, 48, 72, 96시간의 DC는 차이가 없었다. Group 2에서 4시간마다 96시간 동안 측정된 NF와 DC의 평균과 표준편차는 각각  $6.35 \pm 1.29$ 와  $0.25 \pm 0.03$ 이었고, group 2에서 24, 48, 72, 96시간마다 측정된 NF, DC 시간대별 변화의 평균은 각각  $6.58 \pm 1.17$ ,  $0.25 \pm 0.03$ ,  $6.73 \pm 1.26$ ,  $0.25 \pm 0.04$ ,  $6.62 \pm 1.06$ ,  $0.25 \pm 0.03$ ,  $6.55 \pm 1.58$ ,



**Fig. 4.** Trend of (A) natural frequency (NF) and (B) damping coefficient (DC) of variable length pressure transducer in 4 hour interval checking (mean  $\pm$  0.1SD). NF decreases as length increases. In contrast, DC increases as length increases. NF of 100 cm extended transducer increases according to the duration. The SD bars represent 10% of the original value to depict clearly. \*: NF, DC are different from the original length characteristic ( $P < 0.05$ ) †: different from the earlier day NF ( $P < 0.05$ ).



**Fig. 5.** Trend of (A–D) natural frequency (NF) and (E–H) damping coefficient (DC) of variable length pressure transducer in (A, E) 24, (B, F) 48, (C, G) 72, and (D, H) 96 hour interval checking (mean  $\pm$  0.1SD). NFs of normal length transducer (group 1) in 48, 72, 96 hour interval checking group are different from the other day measurement (B–D) ( $P < 0.05$ ). NF of 50 cm extended transducer (group 2) has the same value as the NF of the first day (A–D). NF of 100 cm extended transducer (group 3) increases according to the duration (A–D) ( $P < 0.05$ ). The first day DC is different from the other day DC in groups 1, 2, and 3 ( $P < 0.05$ ) except DC of group 2 in 48 and 72 hour interval checking (E–H). Compare with the consistency of DC in group 1 in 4 hour checking group in Fig 4B. The SD bars represent 10% of the original value to depict clearly. \*: increasing tendency compared to the previous day measurement ( $P < 0.05$ ), †: different from the other day measurement ( $P < 0.05$ ).

0.26  $\pm$  0.04이었다. 4시간 간격으로 하루에 3번 측정 한 군과 시간 간격에 따라 다른 수치를 보이는가를 알아보는 것에서는 정상 길이의 결과와 달리 모든 시간 간격에서 NF, DC의 차이가 없었다. Group 3에서 NF와 DC의 평균과 표준편차는 각각 7.14  $\pm$  2.47와 0.25  $\pm$  0.03이었고, group 3에서 24, 48, 72, 96시간마다 측정 한 NF, DC 시간대별 변화의 평균과 표준편차는 각각 7.53  $\pm$  2.67, 0.25  $\pm$  0.04, 7.11  $\pm$  2.37, 0.26  $\pm$  0.05, 6.62  $\pm$  2.36, 0.27  $\pm$  0.05, 6.87  $\pm$  2.65, 0.27  $\pm$  0.06이었다. 4시간 간격으로 하루에 3번 측정 한 군과 시간 간격에 따라 다른 수치를 보이는가를 알아보는 것에서는 24시간의 NF만 차이가 있었고( $P < 0.05$ ), 다른 시간대는 원래 길이의 측정값과 차이가 없었다.

## 고찰

연구 결과 일회용 압력 측정기에 50 cm, 100 cm 연결선을 추가로 연결한 group 2, 3에서 NF는 감소하였으나 DC는 증가하였다. 2개의 특성 수치 변경은 정확한 압력 반영에 서로 상반되는 방향이다. 즉, NF의 감소는 과도 감쇠(over-damped)의 특성이 생길 가능성이 높아지지만, DC의 증가는 적정 감쇠(adequate damped)의 방향으로 반영될 가능성이 높다.<sup>2)</sup> 이번 연구에서 DC가 감소하고 NF도 감소하는 변화가 나왔으면 과도 감쇠(over damped)로 변환되어 연결선 추가로 측정된 혈압이 실제 값보다 감소하고, 반대로 DC가 증가하고 NF도 증가하였으면 연결선 추가가 실제값

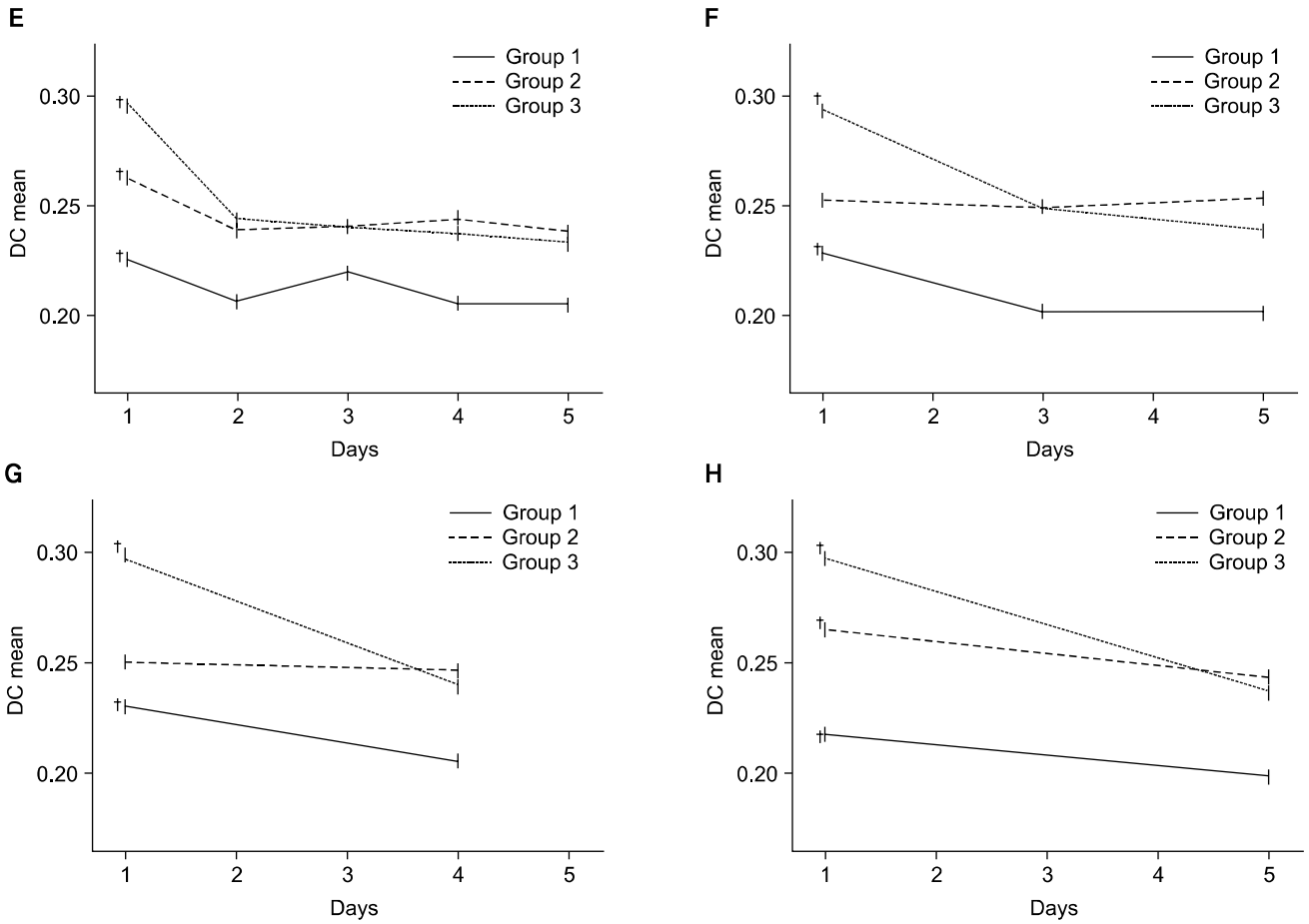


Fig. 5. Continued.

을 보다 적절하게 반영할 수 있는 방향으로 변한다고 할 수 있다. 하지만 NF는 감소하고 DC는 증가하였기 때문에 다음과 같은 2차 미분 방정식을 풀어야 정확한 혈압 반영 여부를 알 수 있다.<sup>3)</sup>

$$\frac{d^2Pc}{dt^2} + 2w\xi \frac{dPc}{dt} + w^2Pc = CP(t)$$

- Pc: 실제 혈압
- w: natural frequency
- ξ: damping coefficient
- C: 상수
- P(t): 측정된 혈압

따라서 연결선을 추가하였을 때 실제 압력 값을 측정 수치가 높게 반영할지 낮게 반영할지 알 수 없어서 임상적으로 사용하는데 받아들일 만한 수치인지는 추가 연구가 필요하겠다. 참고로 정확한 혈관내 압력을 알기 위해서는

MIT를 사용하여야 하지만, 임상에서 많이 사용하는 CTT에서 얻은 압력의 방정식이 주어져 있을 때 2차 미분방정식을 풀어서 구할 수도 있다.<sup>3)</sup> 한편 본 연구의 설정과 같이 임상적 필요에 의해 추가로 연결선을 연결하더라도 적절한 지침이 필요할 것으로 생각된다. 즉, 어떤 제품의 연결선이 어느 정도 길이로 추가하면 NF, DC가 어떻게 변화하는가를 제시하여야 하겠다. 또한 완제품으로서 보통 연결선이 포함된 제품이 있으면 진료에 도움이 될 것이다.

일회용 압력 측정기를 장기간 사용하였을 때 특성치의 변화에 대한 비슷한 연구에서 측정 시간을 1, 6, 24, 48시간으로 연속적으로 측정하여 얻은 결과 NF는 감소하고, DC는 증가한다고 보고하였다.<sup>7)</sup> 본 실험에서는 4시간 간격으로 측정된 군에서는 NF, DC 변화가 없었고, 24시간 간격 이상 측정된 군에서는 위의 보고와는 반대로 NF가 증가하고, DC는 감소하였다.

이러한 상반된 결과는 실험 설정의 차이, 측정상 수치의 차이, 제품간의 차이, 각 일회용 장치의 특성에 따른 성질

차이가 원인일 수 있으나 확실하지 않아 향후 보다 상세한 비교 연구가 필요하다고 생각된다. 특히 다른 연구에서는 싸인과 발생기(sine-wave generator)를 사용하였고, 이번 연구에서는 신속 증수(fast flush)를 이용하여 DC와 NF의 점검을 수행한 것이 실험 설정에서 중요한 차이로 생각된다. 또한 최대 측정 시간이 6시간과 96시간으로 차이가 있으며, 측정 대상인 일회용 압력 측정 장치가 서로 달랐던 것이 원인으로 생각된다.

정상 길이를 가진 transducer를 사용하여 4시간 간격으로 측정하였을 때 NF, DC의 변화가 거의 없었으므로 중환자실 등 장기적인 측정에도 혈압 특성 반영이 일정하다고 생각된다. 하지만 24시간 이상 압력을 측정만 하고 빠른 신속 증수(fast flush)를 해주지 않을 경우에는 NF, DC의 특성치가 변화할 수 있다는 것을 알고 임상 진료에 임해야 하겠다.

한편 길이가 증가하였을 때 시간이 경과함에 따라 NF가 감소하고, DC가 증가하여 다른 보고의<sup>6,7)</sup> 시간 경과에 따른 변화와 비슷한 결과가 나온 것도 특이한 사항이다. 다른 보고에서는 길이의 변화에 대한 실험은 시행하지 않았다.<sup>7)</sup> 길이를 증가 시키면 길이 증가 자체로 인한 특성 변화도 있으나 설치 후 시간이 경과함에 따른 특성 변화가 추가되므로 중환자실에서 장시간 환자를 모니터 할 때는 이러한 특성을 참고하는 것이 필요하겠다.

이번 연구의 한계점으로는 사용한 제품의 NF, DC 특성치(NF 평균: 7.67, DC 평균: 0.22)가 적정 감쇠(adequate damped)에서 약간 떨어져 있어 과도 감쇠(over-damped) 특성을 반영할 가능성이 있다.<sup>2)</sup> 하지만 다른 연구에서도 이러한 과도 감쇠 결과 보고가 많이 있고, 본 연구의 목적상 시간 경과와 길이의 추가로 인한 NF, DC의 변화를 알아보는 것으로 NF, DC가 적정 감쇠 상태일 필요는 없을 것으로 생각된다. 이러한 특성이 타 연구와 다른 결과를 가져올 가능성이 있지만 이번 연구의 목적인 길이 연장이나 장기간 사용에 의한 특성치 변화는 물리적인 현상이므로 다른 일회용 압력 측정기를 사용하더라도 비슷한 결과를 가져올 것으로 생각된다.

결론적으로 50 cm, 100 cm 연결선을 추가함에 따라 NF는 감소하고, DC는 증가하였다. 사용 시간이 경과함에 따라 4시간 간격으로 측정한 군에서는 NF, DC 변화가 없었고, 24시간 이상 측정한 군에서는 NF가 증가하고, DC는 감소하였다. 그러므로 임상적 필요에 의해 연장된 압력 측정기를 사용하거나 장기간 중환자실에서 환자 감시를 시행하면서 혈액 채취를 통한 신속 증수(fast flush)를 24시간 이상 사용하

지 않고 단지 혈압을 측정하기만 할 때는 임상 자료를 해석할 때 각별한 주의가 필요하겠다.

### 감사의 글

이 연구의 자료 취득과 컴퓨터 작업을 해준 송남경, 정지연 연구원, 자료 받기 프로그램 제작과 하드웨어 제작에 도움을 준 최성욱, 김희찬 선생님, 자료 저장을 지원해준 한국 생체신호은행(Korea BioSignal Bank)에게 감사의 뜻을 전한다. 또한 연구를 위해 재정적, 물질적 지원을 해준 이상필, 이대열 선생님, 실험 기간 중 공간 협소를 인내심을 갖고 이해해준 이옥희 간호사에게 감사의 뜻을 전한다.

### 참 고 문 헌

1. Mark JB, Slaughter TF: Cardiovascular monitoring. In: Miller's Anesthesia. 6th ed. Edited by Miller RD: Philadelphia, Elsevier Churchill Livingstone. 2005, pp 1265-362.
2. Gardner RM: Direct blood pressure measurement--dynamic response requirements. *Anesthesiology* 1981; 54: 227-36.
3. Lambermont B, Gerard P, Detry O, Kolh P, Potty P, D'Orio V, et al: Correction of pressure waveforms recorded by fluid-filled catheter recording systems: a new method using a transfer equation. *Acta Anaesthesiol Scand* 1998; 42: 717-20.
4. Billiet E, Colardyn F: Pressure measurement evaluation and accuracy validation: the Gabarith test. *Intensive Care Med* 1998; 24: 1323-6.
5. Park KS, Kim JY, Ahn W, Kim JS: The damping coefficient and natural frequency consistency measured by fast flush test in invasive blood pressure measurement device. *Korean J Ped Anesth* 2003; 7: 43-6.
6. Ruzzene M, Fasana A, Garibaldi L, Piombo B: Natural frequencies and dampings identification using wavelet transform: application to real data. *Mechanical Systems and Signal Processing* 1997; 11: 207-18.
7. Promonet C, Anglade D, Menaouar A, Bayat S, Durand M, Eberhard A, et al: Time-dependent pressure distortion in a catheter-transducer system - Correction by fast flush. *Anesthesiology* 2000; 92: 208-18.
8. Kleinman B, Frey K, Stevens R: The fast flush test - Is the clinical comparison equivalent to its in vitro simulation? *J Clin Monit Comput* 1998; 14: 485-9.
9. Cohen J: Statistical power analysis for the behavioral sciences, 2nd. Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates. 1988, pp 19-74.