

논문 2005-42SC-3-6

맥파전달시간과 신체특징 파라미터를 이용한 수축기 혈압측정

(An estimating method for systolic blood pressure by using pulse transit time and physical characteristic parameters)

이 상 민*, 박 은 경**, 김 인 영***, 김 선 일***

(Sangmin Lee, Eun Kyung Park, In Young Kim, and Sun I. Kim)

요 약

본 논문에서 맥파전달시간과 신체 특징 파라미터들을 이용하여 비침습적이고 연속적으로 혈압을 측정할 수 있는 방법을 제시하고 임상실험을 통하여 검증하였다. 맥파전달시간은 심전도와 광전용적맥파로부터 구한다. 맥파전달시간만 이용하여 개개인의 혈압을 측정하는 방법이 연구되었지만 이 방법은 모든 사람에게 적용 가능한 범용 회귀식을 도출하기 부족한 면이 있다. 이 연구에서 혈압과 관련되는 신체 특징 파라미터들과 맥파전달시간을 이용하여 모든 사람에게 적용 가능한 범용 회귀식을 도출하여 여러 사람들의 혈압을 측정하였다. 맥파전달시간만 이용하여 만든 회귀방법과 맥파전달시간과 신체 특징 파라미터들을 같이 이용하여 만든 회귀방법을 서로 비교 하였다. 실험 결과, 맥파전달시간과 신체 특징 파라미터를 이용하는 회귀방법이 여러 사람들의 혈압을 더 정확히 측정할 수 있다는 것을 알 수 있었고, American National Standards Institute of the Association of the Advancement of Medical Instrument(ANSI/AAMI)에 더 근접함을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we proposed noninvasive and continous measurement of blood pressure using pulse transit time(PTT) and physical characteristic parameters and verified its clinical effectiveness. PTT can be obtained by electrocardiogram and phtoplethysmogram. There are many researches for estimating blood pressure using PTT which can be used for individual. However, it is not enough for extracting general regression equation which can estimate blood pressure for unspecified people. In this study, we suggested the regression equatin using PTT and physical characteristic parameters related to blood pressure and did measure blood pressure of many people. we compared the performance between two methods. As the results, we knew that the regressin model using PTT combined with physical characteristic parameters can estimate blood pressure more acurately and is closer to American National Standards Institute of the Association of the Advancement of Medical Instrument(ANSI/AAMI).

Keywords : blood pressure, pulse transit time, physical characteristic parameters, electrocardiogram, phtoplethysmogram

I. 서 론

혈압(blood pressure, BP)은 중요한 생리적 지표로서 심박출량, 혈관의 탄성도, 환자의 생리적인 변화에 관한

많은 정보를 가지고 있으므로 의사들이 환자의 심혈관계의 상태를 이해하고 진단하는데 중요하다^[1]. 혈압측정 방법은 침습적인 방법과 비침습적인 방법으로 나눌 수 있다. 침습적인 방법은 연속적으로 정확한 혈압 측정이 가능하다는 장점을 가지고 있지만 카테터(catheter)를 혈관내에 삽입하는 것에 따른 기술적인 문제와 감염과 같은 부작용의 위험이 따르는 단점이 있다. 비침습적인 방법으로는 코르트코프 소리(Korotkoff sound)를 이용하여 혈압을 측정하는 청진법(auscultatory method)과 혈류의 흐름에 의해 발생하는 진동을 이용하여 혈압을 측정하는 오실로메트리 방법(oscillometry method)이 있다. 이러한 비침습적인 측정방법은 간편하게 혈압을

* 정회원, 전북대학교 생체정보공학부
(Division of Bionics and Bioinformatics, Chonbuk National University)

** 학생회원, *** 정회원, 한양대학교 의공학교실
(Dept. of Biomedical Engineering, Hanyang University)

※ 본 연구는 한국과학재단 생체계측 신기술 연구센터의 지원에 의하여 이루어졌음.

(과제고유번호 : R11-2001-094-01001-0).

접수일자: 2004년11월4일, 수정완료일: 2005년3월18일

측정할 수 있는 장점이 있지만, 커프(cuff)를 사용해야 하는 불편함이 있으며 연속적으로 혈압을 측정하기에 적합하지 않다^{[2][3]}. 비침습적인 혈압 측정 방법의 단점을 보완하기 위하여 커프를 사용하지 않고 혈류가 심장의 대동맥관에서 우리 몸의 말단까지 도달하는데 걸리는 맥파전달시간(pulse transit time, PTT)을 이용하여 혈압을 측정하기 위한 방법이 연구되고 있다^{[4][5]}.

이 논문에서는 심전도(electrocardiogram, ECG)의 R파와 광전용적맥파(photoplethysmogram, PPG)의 최대값(peak) 사이의 지연시간을 이용한 맥파전달시간과 혈압에 영향을 주는 인자인 키, 몸무게, 체지방등과 같은 신체의 특징을 나타내는 신체특징 파라미터(physical characteristic parameter)를 이용하여 쉽고, 연속적으로 수축기 혈압(systolic blood pressure, SBP)을 측정할 수 있는 방법을 제시하였다.

II. 맥파전달시간(pulse transit time, PTT)

맥파전달시간은 심장에서 출발한 맥동성 압력파가 대동맥 판막으로부터 몸의 말초 부위까지 전달되는데 걸리는 시간을 말한다. 맥파전달시간은 PWV (pulse wave velocity)와 반대의 개념으로써, 혈관의 유순도(compliance)에 비례하며 혈관의 길이, 단면적, 혈관벽의 특성에 영향을 받는다^[6]. 맥파전달시간은 그림 1과 같이 ECG의 R파와 PPG의 최대값 혹은 최저값 사이의 시간을 측정하여 구할 수 있다.

최근에는 맥파전달시간과 자율신경계 (automatic nervous system, ANS), 호흡노력, 체질량지수(body mass index, BMI) 등과의 관계에 대한 연구가 진행되고 있다^{[7]-[9]}.

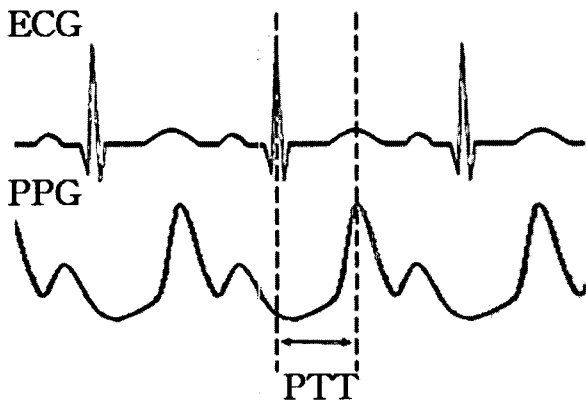


그림 1. ECG와 PPG로부터의 맥파전달시간
Fig. 1. Pulse transit time from ECG and PPG.

III. 실험 및 결과

맥파전달시간과 초기 보정(initial calibration)을 이용하여 개개인의 SBP를 예측한 연구^[5]에서 보듯이 맥파전달시간과 SBP는 서로 반비례 관계를 가지고 있어서 SBP가 높아지면 맥파전달시간이 짧아지고 SBP가 낮아지면 맥파전달시간이 길어진다. 따라서 맥파전달시간을 이용하여 개인별 SBP를 측정할 수 있다. 맥파전달시간을 이용하여 모든 사람에게 적용 가능한 SBP 측정법을 연구하기 위해 2가지 실험을 진행하였다. 첫 번째 실험은 맥파전달시간만 이용하여 모든 사람에게 적용 가능한 범용 회귀식을 만들었고, 두 번째 실험은 맥파전달시간과 신체 특징 파라미터를 이용하여 모든 사람에게 적용 가능한 범용 회귀식을 만들었다. 그리고 두 범용 회귀식 결과를 비교하였다.

1. 실험 1: 맥파전달시간을 이용한 회귀 모델

이전에 심장 질환이 없고 나이가 22세에서 32세 사이인 45명의 건강한 남자가 실험에 참가하였다. 45명의 피검자 중 35명의 데이터를 이용하여 회귀식을 만들었고, 나머지 10명을 이용하여 회귀식을 검증하였다. 회귀 분석을 위해 통계분석 프로그램 SPSS 10.0을 사용하였다. ECG와 PPG를 측정을 위하여 BIOPAC system사의 측정모듈(ECG100C, PPG100B)을 사용하였고 절대혈압으로서 혈압측정을 위하여 한국식약청 (Korea Food & Drug Administration, KFDA) 승인을 받은 Bionet사의 BM3 Patient Monitoring 기기를 사용하였다. 이 기기는 오실로메트리 방법으로 상완에서 혈압을 측정하도록 되어 있다. 실험 구성의 개념은 그림 2와 같다. 실험 절차는 다음과 같은 단계로 진행하였다.

- 단계 1: 피검자는 누운자세로 약 10분정도 휴식을 취함.
- 단계 2: BM3 Patient Monitoring을 사용하여 피검자의 SBP를 측정.
- 단계 3: BIOPAC system의 장비를 사용하여 50초 동안 ECG와 PPG를 측정하여 맥파전달시간을 계산.
- 단계 4: 단계 2를 반복.

각 피검자에 대하여 단계 1에서 단계 4까지의 과정을 1일 1회씩 4일간 총 4회 반복하였다. 혈압 계산 값이 각 비트마다 변할 수 있기 혈압 평균값을 사용하였는데 PTT의 경우 50초 동안의 PTT 값의 평균을 취하였고,

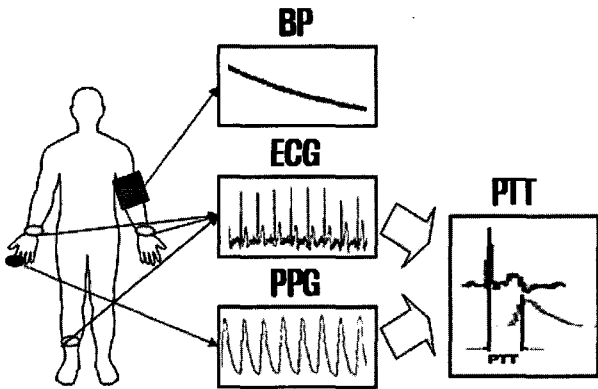


그림 2. 실험 구성의 개념도
Fig. 2. Concept of Experimental Setup

표 1. 피검자들의 SBP와 맥파전달시간 데이터 분포
Table 1. Subjects' SBP and PTT data distribution.

	Mean	SD
SBP [mmHg]	113.371	8.024
PTT [ms]	214.771	18.664

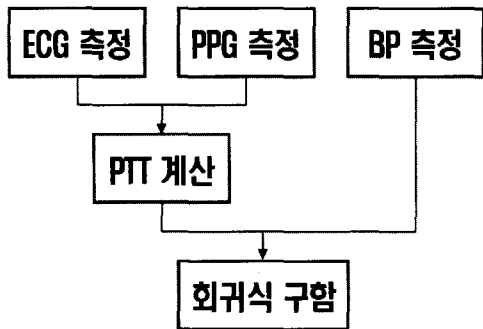


그림 3. 맥파전달시간을 이용한 회귀분석 과정
Fig. 3. Procedure of regression analysis with PTT.

SBP의 경우는 단계 2와 단계 4에서 측정된 2번에 대한 평균을 취하였다^{[5][10]}. 실험에 참가한 피검자의 SBP와 PTT의 데이터 분포는 표 1과 같다. 회귀분석을 그림 3과 같은 과정으로 진행하였다.

표 2에서는 맥파전달시간의 편회귀계수 분석을 보여주고 있다. t값을 test value라 하며, t²의 값을 F값(F-value)라 한다. 보통 F값이 1이상이면 유효한 파라미터, 1미만이면 불필요한 파라미터라 볼 수 있다. 이 분석으로부터 맥파전달시간은 F값이 약 5.4이고 Sig가 0.05보다 낮기에 때문에 유의성이 있고 유효한 파라미터라는 것을 알 수 있다^[11].

맥파전달시간을 이용하여 모든 사람에게 적용하도록 구한 범용 회귀식은 식 (1)과 같다.

표 2. 맥파전달시간의 편회귀계수 분석

Table 2. The partial regression coefficient analysis of PTT.

	t	F-value	Sig.
PTT	-2.325	5.406	0.022

표 3. 맥파전달시간을 이용한 회귀식의 기여율, 자유도조정된 기여율, ANOVA 분석

Table 3. The R square, adjusted R square, ANOVA analysis of the regression equation, using PTT.

	R ²	Adjusted R ²	ANOVA Sig.
Model	0.038	0.031	0.022

표 4. 피검자의 신체 특징 파라미터 데이터의 분포

Table 4. Subjects' data distribution of physical characteristic parameters.

	Mean	SD
Weight [kg]	75.1057	11.8621
Mass of body fat[kg]	17.4626	6.5500
Percent of body fat[%]	22.2046	5.4496
Arm circumference [cm]	27.5057	2.5727
Arm length [cm]	76.1314	2.6743
Height [cm]	175.5343	5.0291

$$SBP = 131.297 - 83.462PTT \quad (1)$$

표 3에 회귀식 (1)에 대한 model summary와 ANOVA 분석을 나타내었다. 기여율(R²)는 0.038, 자유도조정된 기여율(adjusted R²)은 0.031, ANOVA Sig.는 0.022로 분석되었다. 즉, 도출한 회귀식이 의미가 있는 하지만 기여율이 매우 낮으므로 회귀식이 혈압을 충분히 대표하지는 못하고 있음을 알 수 있었다.

2. 실험 2 : 맥파전달시간과 신체 특징 파라미터를 이용한 회귀 모델

많은 연구자들은 키, 다리 길이, 나이, 성별 등이 혈압과 관계가 있다고 주장하였다^{[12][13]}. 본 연구에서는 혈압에 영향을 주는 신체 특징 파라미터로 키(height), 몸무게(weight), 체지방율(percent of body fat), 체지방(mass of body fat), 상완둘레(arm circumference), 팔길이(arm length)로 정하였고 실험 1에 참석하였던 동일한 피검자로부터 신체특징 파라미터를 측정하였다.

표 5. 각 신체 특징 파라미터간의 상관 분석

Table 5. The correlation analysis of each physical characteristic parameters.

	Weight	Mass of body fat	Percent of body fat	Arm circumference	Arm length	Height	PTT
Weight	1	0.955	0.813	0.879	0.254	0.280	0.110
Mass of body fat	0.955	1	0.903	0.832	0.247	0.263	0.094
Percent of body fat	0.813	0.903	1	0.707	0.100	0.120	-0.220
Arm circumference	0.879	0.832	0.707	1	0.104	0.030	0.133
Arm length	0.254	0.247	0.100	0.104	1	0.741	0.265
Height	0.280	0.263	0.120	0.030	0.741	1	0.278
PTT	0.110	0.094	-0.220	0.133	0.265	0.278	1

표 6. 각 신체 특징 파라미터간의 편회귀계수의 t값

Table 6. The test value of partial regression coefficient of each physical characteristic parameters.

	t
Weight	1.136
Mass of body fat	0.505
Percent of body fat	-0.597
Arm circulation	0.763
Arm length	1.239
Height	0.382
PTT	-3.419

표 7. 유효한 신체 특징 파라미터간의 편회귀계수 분석과 공차한계 분석

Table 7. The partial regression coefficient and tolerance analysis of valid physical characteristic parameters.

	t	Sig.	Tolerance
PTT	-3.518	0.001	0.928
Weight	4.915	0.000	0.933
Arm length	1.821	0.071	0.879

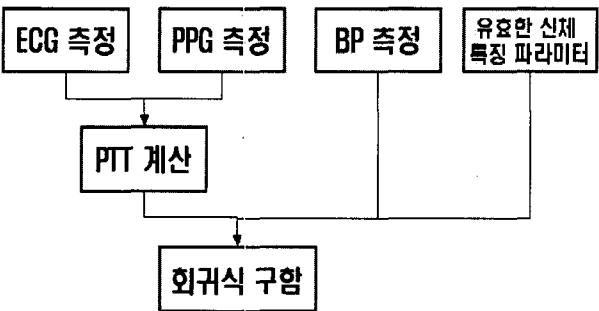


그림 3. 맥파전달시간과 유효한 신체 특징 파라미터의 회귀분석 과정

Fig. 3. Procedure of regression analysis with PTT and valid physical characteristic parameters.

각 신체 특징 파라미터의 분포는 표 4와 같다. 각 신체 특징 파라미터간의 상관(correlation) 분석을 표 5에 나타내었고 편회귀계수(partial regression coefficient)의 t값 분석을 표 6에 나타내었다. 표 5에 의하면 몸무게, 체지방, 체지방율, 상완둘레가 서로의 상관계수 값이 큰 것으로 나왔으며 팔길이와 키의 상관계수 값이 크게 나왔다. 이것은 파라미터의 갯수를 줄일 수 있음을 의미한다. 표 6

을 통해서 F값이 1보다 큰 몸무게, 팔 길이, 맥파전달시간을 유효한 파라미터로 선택하였고 나머지 체지방율, 체지방, 상완둘레, 키는 부수적인 파라미터로 간주하였다. 따라서 몸무게, 팔길이, 맥파전달시간 파라미터를 이용하여 회귀분석을 하였다. 회귀 분석 과정은 그림 3과 같다.

표 7.에서 맥파전달시간, 몸무게, 팔길이는 유의성이 높으며 유효한 파라미터임을 알 수 있다. 또한 각 파라미터간의 상관관계를 나타내는 다중공선성(multicollinearity)은 공차한계(tolerance)를 통해서 알 수 있는데 보통 공차한계의 최대값은 1이고, 공차한계값이 높게 나타날수록 다중공선성이 낮게 나타난다. 따라서 맥파전달시간, 몸무게, 팔길이 파라미터간의 다중공선성은 낮다고 볼 수 있다. 몸무게, 팔길이, 맥파전달시간 파라미터를 이용하여 만들어진 모든 사람에게 적용 가능한 범용 회귀식은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 SBP = & 85.862 - 119.27PTT \\
 & + 0.259 Weight \\
 & + 0.439 Armlength
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

표 8. 맥파전달시간과 유효한 신체 특징 파라미터를 이용한 회귀식의 기여율, 자유도조정필 기여율, 분산분석

Table 8. The R square, adjusted R square, ANOVA analysis of the regression equation, using PTT and valid physical characteristic parameters.

	R ²	Adjusted R ²	ANOVA Sig.
Model	0.228	0.221	0.000

표 8에 위 식(2)의 범용 회귀식의 model summary와 ANOVA 분석을 나타내었다. 기여율(R²)는 0.228, 자유도조정필 기여율(adjusted R²)은 0.221, ANOVA Sig.는 0.000으로 위 범용 회귀식은 의미가 있다고 볼 수 있다.

IV. 실험 1과 실험 2 결과의 비교

SBP를 측정하기 위한 실험 1과 실험 2 방법을 비교해 보기 위해 회귀분석에 포함되지 않은 10명의 데이터를 이용하여 비교해 보았다. 표 9에 정리한 바와 같이 실험 1을 통하여 SBP를 측정한 경우에는 오차평균이 7.637mmHg이고 표준편차가 ±5.603mmHg를 가지며, 실험 2를 통하여 SBP를 측정한 경우에는 오차평균 5.813 mmHg, 표준편차 ±4.164mmHg를 가짐을 알 수 있다. 이는 혈압계가 오차평균이 5mmHg이하이어야 하며 표준편차가 ±8mmHg 이하 이어야 한다는 ANSI the Association of the Advancement of Medical Instrument (ANSI/AAMI)의 규정과 비교해 볼 때 맥파 전달시간과 유효한 신체 파라미터를 이용하여 SBP를 측정하는 방법이 참값에 더욱 근접하며 ANSI/AAMI 기준에 더 적합함을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 연구를 통해 불특정한 많은 사람의 수축기 혈압을 측정하기 위해서는 맥파전달시간만을 이용하여 혈압을 추정하기보다 몸무게, 팔 길이의 신체 특징 파라미터들을 추가하여 추정하는 것이 보다 정확한 혈압측정에 도움을 주는 것을 알았다. 그러나 이 경우도 통계분석 결과 기여율이 낮게 나온 것을 볼 수 있는데 이것은 여전히 본 실험에서 사용한 파라미터만으로는 혈압을 충분히 대표하지 못함을 의미한다. 향후 맥파전달시간과 혈압에 영향을 줄 수 있는 다양한 신체 특징 파라미터를 조사하고, 이를 이용하여 좀 더 정확한 혈압을 측정 할

표 9. 실험 1과 실험 2 결과 비교, A : 실험 1, B : 실험 2, P* : PTT와 SBP의 Correlation Sig., P** : 실험 1과 실험 2의 쌍체표본 T-검정의 Sig.

Table 9. The comparison between the result of the experiment 1 and the result of the experiment 2, A: experiment 1, B: experiment 2, P*: the sig. between SBP and PTT, P**: the sig. of Paired T-test between the experiment 1 and the experiment 2.

	Mean [mmHg]	SD [mmHg]	P*	P**
A	7.637	5.603	P<0.05	P<0.05
B	5.813	4.164	P<0.05	
Difference	1.824	1.439		

수 있는 회귀식의 도출이 필요할 것이다. 또한 우리가 진행하였던 실험의 피검자가 22~32세 정도의 건강한 남자를 대상으로 하였기 때문에 앞으로는 여자, 심장질환을 가졌던 환자, 그리고 다양한 연령층을 대상으로 더 많은 실험이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] J. G. Webster, "MEDICAL INSTRUMENTATION : Application and design, third edition," WILEY, New York, pp. 287-331, 1998.
- [2] D. A. Paulus, "Noninvasive blood pressure measurement," Medical Instrumentation, Vol. 15(2), pp. 91-94, 1981.
- [3] J. M. R. Bruner, "Automated indirect blood pressure measurement a point of view," Medica Instrumentation, Vol. 18(2), pp 143-145, 1984.
- [4] L. A. Geddes and M. H. Voelz, "Pulse Transit Time as an Indicator of Arterial Blood Pressure," Psychophysiology, Vol. 18, No 1, pp. 71-74, 1981.
- [5] K. W. Chan and Y. T. Zhang, "NONINVASIVE AND CUFFLESS MEASUREMENTS OF BLOOD PRESSURE FOR TELEMEDICINE", 2001 Proceedings of the 23rd Annual EMBS Conference, pp. 3592-3593, Istanbul, Turkey. 2001.
- [6] 최병철, "광전용적맥파를 이용한 맥파전달시간 시스템 구현 및 평가", 공학박사학위 논문, 부산대학교, 2004.
- [7] J. E. Naschitz, I. Rosner, N. Shaviv, I Khorshidi, S. Sundick, "Assessment of cardiovascular

reactivity by fractal and recurrence quantification analysis of heart rate and pulse transit time", J Hum Hypertens. Feb;17(2): 111-8, 2003.

[8] D. Pitson, A. Sandell, Van de Hoot, J. R. Stradling, "Pulse transit time as a measure of respiratory effort in patients with obstructive sleep apnea," Eur Respir J, 8:1669-1674, 1995.

[9] 이희정, 정도운, "손가락에서의 맥파전달시간 특성과 체질량지수와의 관계," 대한의용생체공학회 춘계학술대회 p21, 대구 컨벤션 센터, 한국, 2004.

[10] James D. Lane, Lisa Greenstadt, David Shapiro, "Pulse Transit Time and Blood Pressure : An Intensive Analysis," Psychophysiology, Vol. 20, No. 1, pp. 45-49, 1983.

[11] 노형진 "한글 SPSS 10.0에 의한 조사방법 및 통계 분석," 형설출판사, p317-358 2001.

[12] Claudia Langenberg and Rebecca Hardy, "Influence of height, leg and trunk length on pulse pressure, systolic and diastolic blood pressure," Journal of Hypertension, No21 : 527-543, 2003.

[13] Steve Anderson and Germaine Cornelissen, "Age effects upon the harmonic structure of human blood pressure in clinical health," Proceeding, Second Annual IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems, Minneapolis, MN USA, 26-27, pp. 238-243, June 1989.

저 자 소 개



이 상 민(정회원)
 1987년 인하대학교 전자공학과 공학사
 1989년 인하대학교 전자공학과 공학석사
 2000년 인하대학교 전자공학과 공학박사
 1989년~1994년 LG이노텍 중앙연구소 선임연구원
 1995년~2002년 삼성전자 종합기술원 책임연구원
 2002년~2004년 한양대학교 의공학교실 연구교수
 2005년~전북대학교 생체정보공학부 조교수
 <주관심분야: 생체신호처리, 청각 및 보청기>



김 인 영(정회원)
 1989년 서울대학교 의과대학 졸업
 1991년 서울대학교 의공학교실 석사 졸업
 1994년 서울대학교 의공학교실 박사 졸업
 1995년~2000년 삼성종합기술원 책임연구원
 2000년~한양대학교 의공학교실 부교수
 <주관심분야: 생체신호처리, 무구속계측>



박 은 경(학생회원)
 2003년 연세대학교 의용전자공학과 공학사
 2005년 한양대학교 의공학교실 석사과정
 <주관심분야: 생체신호처리, 임베디드 시스템>



김 선 일(정회원)
 1976년 서울대학교 전기공학과 공학사
 1978년 서울대학교 전기공학과 공학석사
 1987년 DREXEL 대학교 의공학과 공학박사
 1988년~한양대학교 의공학교실 교수
 <주관심분야 : 생체신호처리, 가상현실, 의료영상>