

전신마취시 경막외 차단술 병용이 맥파전달시간에 미치는 영향

Effect of Epidural Block under General Anesthesia on Pulse Transit Time

최병철*†, 김성민**, 정동근***, 김기련***, 이희정****, 전계록*****

Byeong Cheol Choi*†, Seong Min Kim**, Dong Keun Jung***, Gi Ryon Kim***,
 Hee Jeong Lee**** and Gey Rock Jeon*****

초 록 전신마취시 경막외차단술은 수술 후 통증을 조절하는데 널리 이용되고 있다. 마취상태에서는 여러 가지 혈류역학적 파라미터의 변화가 있으며, 맥파전달시간은 이러한 혈류역학적 파라미터들에 의해 많은 영향을 받고 있다. 맥파전달시간은 경막외차단술을 병행한 전신마취와 일반적인 전신마취 후에 동맥혈관벽의 이완으로 인해 손가락과 발가락에서의 PTT가 변화한다. 본 연구에서는 경막외차단술을 병행한 전신마취와 일반적인 전신마취에서 손가락과 발가락 PTT의 변화를 각각 측정하였다. 더불어, 일반적인 전신마취와 경막외 차단술을 병행한 전신마취에서의 손가락과 발가락사이의 PTT 변화를 비교하였다.

주요용어: 경막외마취, 맥파전달시간, 전신마취

Abstract Epidural block under general anesthesia has been widely used to control postoperative pain. In this anesthetic state many hemodynamic parameters are changed. Moreover pulse transit time is influenced by this hemodynamic change. PTT change in the finger and the toe due to relaxation of arterial wall muscle after general anesthesia and epidural block under general anesthesia. This study, in the both general anesthesia and epidural block under general anesthesia, Δ PTT of the toe and of the finger are measured. In addition, Δ PTT(toe-finger) of the epidural block under general anesthesia and of the general anesthesia were compared.

Keywords: epidural block, pulse transit time, general anesthesia

1. 서 론

과학기술의 발전에 힘입어 마취과학 영역에서도 마취에 따른 생리적 변화들을 반영하는 생체신호를 계측 및 분석하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적인 생체신호로는 심전도, 혈중산소포화도

(SpO₂), 혈압, 호흡, 체온 등을 들 수 있다. 그리고 마취에 따른 심장기능 즉, 심장의 미주신경과 교감신경의 상호작용에 의해 조절되는 심박동수, 심방수축 및 방실결절의 전도속도의 변화 등은 심전도의 심박동변이율을 통해 관찰할 수 있다[1,2]. 또한 심장의 운동에 의해 발생하는 맥파는 맥동성 압력과

(접수일: 2005. 6. 22, 심사완료일: 2005. 7. 19) * 춘해대학 의료공학과, ** 건국대학교 의료생명대학 의공학부, *** 동아대학교 의과대학 의공학교실, **** 부산대학교 대학원 의공학협동과정, ***** 부산대학교 의과대학 의공학교실, † Corresponding author: Dept. of Medical Engineering, Choonhae College, Ulsan 689-784 (E-mail: bcchoi@choonhae.ac.kr)

형으로서 혈관계를 따라 전파되며, 속도는 혈압 및 혈관의 수축 정도의 영향을 받으며 혈관긴장도 (vascular tone)에 비례하는 특성을 가지고 있다 [3-5]. 이러한 맥파전달속도(pulse wave velocity: PWV)를 측정하기 위하여 동맥경로에서 거리를 알고 있는 두 지점의 맥파 발생시간 차이를 측정하는 방법이며, 맥파전달시간(pulse transit time: PTT)은 심전도(electrocardiogram: ECG) R파의 정점과 인체의 말초부위에서 측정된 맥파의 기준점 사이의 시간을 의미한다[6]. 즉 PTT는 맥동성 압력파가 대동맥 판막으로부터 말초 부위까지 전달되는 시간으로 정의하며, PWV와는 반비례 관계를 나타낸다. 따라서 PTT의 증가 또는 감소는 PWV의 감소 또는 증가를 반영하고 있으며 심장에서 말초 동맥에 이르는 전 구간의 특성을 나타낸다고 할 수 있다. 또한 PTT는 혈관 탄성도의 반대 개념인 유순도에 비례하며 혈관의 거리, 혈관의 구경, 혈관 벽의 구조적 성질에 의존적인 특성을 나타낸다. 일례로 혈관계의 질환, 당뇨병, 그리고 노령화가 진행되면 동맥의 유순도가 감소되어 PTT는 감소하게 되고 PWV는 증가하게 된다. 따라서 PWV를 반영할 수 있는 PTT를 말초에서 검출하여 동맥의 긴장도 및 유순도 변화를 비 침습적인 방법으로 손쉽게 측정할 수 있다. 즉 순환시스템에서 혈관의 긴장도 또는 유순도를 측정하는 PWV와 비교하여 국소적 혈관부위가 아닌 심장에서 특정부위까지 혈관의 물리적 특성을 대변하며 비교적 간편한 방법으로 측정이 가능한 PTT는 임상적으로 활용이 점차 증가되고 있다.

특히, 흡입 마취제와 경막의 마취에 있어서 PTT에 대한 연구들이 이루어지고 있는데, 흡입마취제는 전신혈관저항을 감소시키고 말초혈관의 확장을 유발시킴으로써 혈관의 유순도 또는 탄성도에 의존적인 혈관의 특성을 나타낼 수 있는 PTT의 증가를 보였다[7]. 2000년 Babchenko 등은[8] 경막의 마취를 시행하는 피검자를 대상으로 마취 주입량과 농도에 따라 마취 후 교감신경계 차단으로 인한 동맥의 근육이 이완됨에 따라 PTT가 증가하는 현상을 발표하였다.

최근 수술 후 통증의 조절을 위해 자가 조절 진통법에 의한 지속적 약물 투여 방법이 많이 이용되고 있으며 효과적인 방법으로 여겨지고 있다[9,10]. 이 중 효과에 있어서 지속적 약물 정주에 의한 자가 조절 진통법과 아직 논란이 되고 있으나 복부 수술에 있어 경막의 아편양제제와 국소마취제를 이용한 자

가 조절 진통법이 많이 이용되고 있다[11,12].

이 연구에서는 sevoflurane을 이용한 전신마취가 손가락과 발가락의 PTT에 어떠한 영향을 미치는지 그리고, 경막의 차단을 병행하는 전신마취에서는 이와 비교하여 어떤 영향을 미치는지 이들이 마취에 있어서 어떠한 의미를 가질 수 있는지에 대하여 알아보고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 시스템의 구현

본 연구에서 전신마취시 PTT의 변화를 관찰하기 위한 시스템을 구현하였으며, 구현한 PTT 시스템은 크게 하드웨어부와 소프트웨어부로 구분할 수 있다. 먼저 하드웨어부는 심전도와 용적맥파의 측정을 위한 Ag/AgCl 표면전극과 두개의 반사형 광전용적맥파센서 (photoplethysmograph: PPG)센서로 구성된 센서부, 그리고 심전도 및 맥파 신호의 검출과 증폭, 그리고 필터링을 위한 아날로그 신호처리부, 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위한 신호 변환부, 변환된 디지털 신호를 PC로 전송하기 위한 직렬통신부 등으로 구성하였다. 그리고 소프트웨어부는 Visual C++ (Microsoft ver. 6.0, MS Co., USA)를 사용하여 개발하였으며, 하드웨어부로부터 전송된 심전도 신호와 용적맥파 신호를 수신하기 위한 데이터 수신부, 수신된 데이터로부터 특징점을 검출하여 PTT를 계산하기 위한 신호처리부, 데이터의 화면출력 및 저장과 재생을 위한 데이터 처리부 등으로 구성하였다.

2.1.1. 센서부의 구성

본 연구에서는 심전도와 PPG의 계측을 위하여 센서부를 구성하였다. 먼저 심전도의 계측을 위하여 Ag/AgCl 표면전극을 사용하였으며, PPG의 계측을 위하여 반사형 PPG 센서를 설계 및 구현하였다. 구현된 PPG센서는 근적외선 LED와 포토트랜지스터(Photo Tr)로 구성하였으며, 집게손가락과 엄지 발가락의 모세혈관에서 용적변화에 따른 산화 헤모글로빈 양에 대응한 투과광을 검출할 수 있도록 구성하였다.

본 연구에서 적용한 적외선 광원은 혈액에 쉽게 흡수되어 혈액량이 증가함에 따라 적외선을 많이

흡수하며 반사형 광학경로를 구성하여 혈액의 양과 반사되는 광량은 반비례 관계에 있도록 센서를 구성하였으며, 구현된 센서의 구성도와 측정방법을 Fig. 1에 나타내었다.

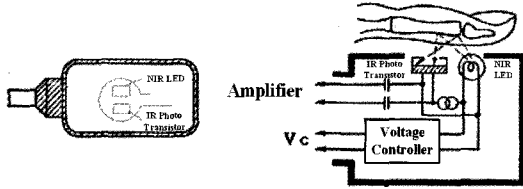


Fig. 1 Configuration and measuring method of reflective PPG sensor

2.1.2. 검출 및 증폭부의 구현

심전도 및 PPG 신호의 검출과 증폭 및 필터링을 위한 전자회로부를 구성하였다. 먼저 심전도 신호의 검출을 위하여 고입력 임피던스를 갖는 차동증폭기를 구성하였으며, 리드선을 따라 유입되는 전류량을 감소시켜 전극과 피부사이의 접촉면에서 발생하는 피부 접촉 전압과 동상신호를 최소화 하도록 하였다. 또한 신호에 포함된 전원잡음의 제거를 위하여 60 Hz 노치필터(notch filter, NF)와 기저선 변동의 감쇠를 위한 0.3 Hz 고역통과필터(high pass filter, HPF), 그리고 관심 주파수 이외의 노이즈 제거를 위한 35 Hz의 차단주파수를 갖는 저역통과필터(low pass filter, LPF)를 설계하였다. 그리고 심전도 신호의 개인차 효과를 감안하여 증폭율을 1000, 2000, 5000 배로 가변 할 수 있는 회로를 설계하였다.

그리고 PPG 센서로부터 출력되는 신호는 전원 에 의한 잡음과 광원 자체가 지니고 있는 광 특성의 변동에 따른 잡음이 존재할 수 있다. 따라서 이들 잡음의 제거를 위하여 차단 주파수가 10 Hz인 LPF를 설계하였다. 그리고 포토트랜지스터에 의해 검출되는 광신호는 미약한 신호이므로 신호의 증폭을 위하여 연산증폭기를 사용하였다. 또한 PPG 센서가 포함하고 있는 직류 성분의 오프셋(offset) 전압을 제거하여 교류신호의 증폭도를 높이기 위하여 HPF를 설계하였다.

2.2. 데이터 처리 및 분석

수집된 심전도 및 맥파 신호로부터 정확한 피크

의 검출을 위하여 전처리과정을 수행하였다. 먼저 1분간 측정된 신호에는 여러 가지 아티팩트(artifact) 성분이 존재할 가능성이 있어 분석의 대상에서 제외하였으며, 21 차의 이동평균필터를 2 회 적용하여 잡음을 최소화하는 전처리과정을 수행하였다. 전처리과정을 수행 후 PTT를 계산하기 위하여 적용한 방법은 다음과 같다.

먼저 심전도의 경우 기저선의 변동이 심하기 때문에 특징점 검출 알고리즘의 적용이 어려우므로 미분을 수행하여 기저선의 영향을 최소화하였다. 그리고 미분된 심전도 신호로부터 제로 교차점을 추출하여 최대치 다음의 제로 교차점 즉, 심전도 신호의 R 피크에 해당하는 시점을 추출하여 특징점으로 사용하였다.

다음으로 맥파 신호로부터 특징점을 검출하기 위해서는 맥파 신호를 1차 미분한 후 다시 한번 미분을 수행하여 2차 미분된 맥파 파형의 정점을 검출하여 특징점으로 하였다. 2차 미분 맥파 파형으로부터 정점의 검출을 위하여 지수함수적으로 감소하는 비교 파형을 발생시켰으며, 2차 미분 맥파 신호가 비교 파형보다 큰 경우는 2차 미분 맥파 신호를 따라서 비교 파형이 증가하도록 하고, 작은 경우는 비교 파형이 지수함수적으로 감소하게 하였다. 따라서 비교 파형이 2차 미분 맥파 신호 보다 크기 시작하는 시점에서 임의의 펄스를 발생 시켰으며, 이 펄스가 발생한 시점이 2차 미분 맥파 신호의 정점 즉, 맥파 신호의 특징점이 된다.

그리고 심전도 신호의 특징점과 맥파 신호의 특징점 사이의 시간차를 검출하여 PTT라 정의하였으며, PTT 측정의 개념을 Fig. 2에 나타내었다. PTT의 계산에 있어 심전도나 맥파의 특징점 검출 시 잡음에 의한 오류가 발생할 때는 자동으로 한 주기를 생략하도록 하였으며, PTT 데이터의 표시에 있어서는 스플라인보간법을 적용하여 그래프로 표시할 수 있도록 하였다.

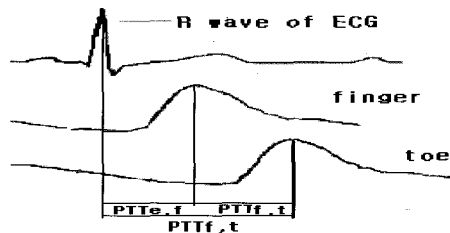


Fig. 2 A measuring of PTT

2.3. 데이터 수집

본 연구에서의 데이터 계측 및 분석 대상은 부산 대학병원 산부인과에 내원하여 전자궁 적출술, 근치적 전자궁 적출술, 또는 난소절제술 등의 하복부 수술을 받는 환자 중 미국 마취과 학회에서 정한 신체 등급이 1 또는 2에 해당하는 환자들을 대상으로 부정맥을 가진 환자, 수술 전 아편양제제, 비스테로이드성 항소염제를 복용한 환자를 제외한 12세에서 63세 환자 28명을 실험 대상으로 하였으며 피검자 그룹에서의 임상정보를 Table 1에 나타내었다. 그리고 실험대상군은 경막의 마취를 시행한 군과 시행하지 않은 군으로 구분하였으며, 수술 전날 환자를 방문하여 연구의 목적과 방법을 설명하고 동의를 구하였다. 수술 및 PTT 데이터 계측에 앞서 심전도, 비 침습적 혈압측정기, 산소포화측정기(pulse oxymetry)를 달고 환자의 활력징후를 측정 후 환자를 앙와위로 바로 눕힌 후 PTT 측정 시스템을 이용하여 1 채널의 ECG와 2 채널의 용적맥파 센서를 손가락과 발가락에 부착하였다. 이때 심전도는 Lead 1 방법으로 계측하였으며, 용적맥파는 집게손가락과 엄지발가락에서 측정하였다.

그리고 전신마취 유도 및 기관내 삽관, 기관내 삽관 5분 후 활력 징후가 안정된 시점, 수술 중, 수술 종료직전에 손가락과 발가락의 맥파전달시간과 이때의 혈압과 심박수를 측정하였다. 그리고 수술이 끝난 후 시각척도(visual analogue scale: VAS)를 이용하여 통증이 전혀 없는 것을 0으로 참을 수 없는 가장 아픈 통증을 10으로 하여 수술 후 6시간 후에 병실에 방문하여 통증의 정도를 관찰하였다. 이때 모든 수치는 평균 ± 표준편차로 표시하였으며, 군간 비교는 unpaired t-test로 하였다. p값이 0.05 미만인 경우 통계학적으로 유의 있다고 판정하였다.

Table 1 Clinical history information of the experimental group

	Group E	Group NE
Number of patients	18	10
Age (yrs)	48.3 ± 9.4	33.0 ± 18.3
Height (cm)	157.9 ± 6.1	154.7 ± 1.5
Weight (kg)	56.1 ± 8.9	48.7±3.1
*Post-operative VAS	1.7 ± 1.4	5.5 ± 0.7

Values are expressed as mean ± SD.

* means P < 0.01 compared with group NE.

3. 실험결과

마취단계에 따라 3단계로 구분하여 PTT를 계산하였다. 이때 발가락에서의 맥파의 특징점이 잘 검출 되지 않는 경우는 수동적으로 계산하는 방법을 적용하였다. 경막외 마취를 시행한 군과 시행하지 않은 군 모두에서 마취가 깊어짐에 따라 손가락과 발가락의 PTT가 모두 증가함을 보였으며 그 결과를 Table 2와 Fig. 3에 각각 나타내었다.

경막외 차단술을 병행하여 시행한 군에서는 마취 전후에 발가락까지의 PTT 변화가 80.2±61.4 ms이고, 손가락까지는 53.8±5.4 ms로 발가락까지의 PTT 변화가 더 크게 나타났다. 손가락과 발가락의 PTT 차를 나타낸 ΔPTT(toe-finger)가 경막외 차단술을 시행한 군에서는 26.32±38.9 ms이고, 경막외 차단 없이 전신마취만 시행한 군에서는 14.4±8.8 ms로서 경막외 차단술을 시행한 군에서 더 큰 폭의 증가를 보였으며 그 결과를 Table 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다. 이상의 결과에서 마취단계에 따라 PTT에 미치는 영향을 관찰한 결과 경막외마취 여부가 크게 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

또한 경막외 차단술을 시행한 군과 시행하지 않은 군에서 수술 후 진통의 차이는 각각 VAS 1.7 ± 1.4 와 5.5 ± 0.7로 유의 있는 차이를 보이고 있었으며 Table 1에 나타내었다(P < 0.01).

Table 2 Blood pressure and PTT followed by anesthetic stage in each groups

Parameter	Group	Preinduction	Int5	LD30
SBP	Group E	141.7 ± 28.0	121.1 ± 19.5	108.6 ± 12.7
	Group NE	113.0 ± 3.4	113.0 ± 12.7	123.0 ± 21.6
DBP	Group E	90.3 ± 18.4	79.5 ± 14.6	73.6 ± 9.8
	Group NE	70.6 ± 6.6	77.6 ± 1.1	80.3 ± 17.9
PTT-finger	Group E	244.7 ± 8.9	258.0 ± 14.9	298.6 ± 13.6
	Group NE	193.4 ± 23.8	201.3 ± 43.7	205.7 ± 29.3
PTT-toe	Group E	321.6 ± 17.7	377.0 ± 23.9	401.9 ± 61.6
	Group NE	317.0 ± 28.1	314.9 ± 43.0	384.0 ± 18.3

Valued are expressed as mean ± SD.

Int5: Data was measured at 5 minutes after intubation. LD30: Data was measured at 30 minutes after injection of loading dose, in the epidural group (E) and the non-epidural group (NE).

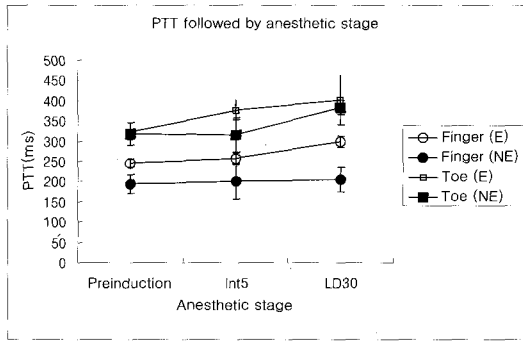


Fig. 3 PTT followed by anesthetic stage in both groups

Table 3 Blood pressure, heart rate and PTT followed by anesthetic stage in each groups

Parameter	Group	In-P	LD-P
SBP	Group E	-20.6 ± 16.5	-33.1 ± 31.0
	Group NE	10.0 ± 9.5	0.0 ± 18.3
DBP	Group E	-10.8 ± 9.7	-16.7 ± 20.2
	Group NE	9.6 ± 14	7 ± 22.5
HR	Group E	4.0 ± 17.2	-1.3 ± 15.5
	Group NE	8.3 ± 16.9	5.0 ± 8.0
+PTT-finger	Group E	13.3 ± 9.9	53.8 ± 5.4
	Group NE	29.0 ± 19.9	54.6 ± 5.4
+PTT-toe	Group E	55.3 ± 36.7	80.2 ± 61.4
	Group NE	19.2 ± 29.9	68.7 ± 50.3
diff (toe-finger)	Group E	42.0 ± 32.3	26.3 ± 38.9
	Group NE	-9.8 ± 13.7	14.4 ± 8.8

Values are expressed as mean ± SD

* means P < 0.05 compared with group NE.

In-P: Data was measured at 5 minutes after intubation

- data measured at preinduction

LD-P: Data was measured at 30 minutes after injection of loading dose - data measured at preinduction

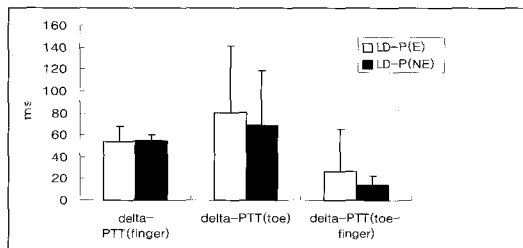


Fig. 4 ΔPTT difference between epidural group and non-epidural group

4. 결 론

본 연구에서는 경막의 차단과 전신마취를 병행하여 마취를 시행한 군과 전신마취만으로 마취를 시행한 군으로 나누어 PTT의 변화양상을 관찰하였다. 그 결과 두 군 모두에서 sevoflurane을 이용한 전신마취 후 손가락과 발가락에서 모두 PTT가 증가함을 보였으며, 이는 흡입마취체에 의한 말초 혈관의 확장과 전신혈관 저항의 감소로 인해 혈관의 유순도가 증가되어 나타나는 것으로 판단된다. 이는 심장에서 말초 소동맥에 이르는 전 구간의 특성을 나타냄으로서 마취상태의 평가의 지표로서의 이용 가능성을 보이고 있다. 또한 두 군 모두 마취 후에 손가락보다 발가락의 PTT변화가 더 큰 것을 볼 수 있는데 이는 발가락까지의 경로가 손가락까지의 경로에 비해 길어서 전체적인 혈관의 유순도 영향을 더 받은 것으로 보여 진다.

두 군 간의 비교에서 경막의 차단을 병행한 군에서 마취전후의 손가락과 발가락의 PTT차가 전신마취만을 시행한 군보다 더욱 크게 나타남을 볼 수 있다. 이는 Nitzan 등[13]이 경막의 마취가 발가락으로 가는 PTT를 증가시킨다는 결과와 같으며 이는 경막의 차단이 PTT에 직접적인 관련이 있는 혈관의 유순도에 영향을 미친 것으로서 이러한 영향은 교감 신경을 차단함으로써 나타나는 것으로 생각된다. 교감 신경은 동맥 혈관 벽의 smooth muscle에 분포하여 작용을 나타내며 경막의 차단에 의해 이런 교감 신경을 차단하게 되면 대동맥, 작은 하지 동맥과 소동맥의 혈관 확장성을 증가시키게 된다. 따라서, 결과적으로 발가락까지의 PTT가 길어지게 되고 결국 손가락과 발가락의 PTT차이 또한 증가하게 된다.

이상의 실험결과에서 sevoflurane을 이용한 전신마취가 손가락과 발가락의 PTT에 미치는 영향과 경막의 차단을 같이 시행하였을 때 PTT에 미치는 영향을 살펴보았다. 즉, sevoflurane에 의한 전신마취는 혈관 확장과 혈관의 저항 감소로 PTT에 직접적인 영향을 미치며, 경막의 차단 또한 동맥유순도의 증가로 PTT에 직접적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 이를 통해 PTT를 이용한 마취심도와 차단 정도의 계측을 위한 비 침습적 지표로서의 활용가능성을 확인하였다.

하지만 향후의 연구에서는 말초저항, 맥파 속도가 증가되어 있고 동맥 유순도가 감소되어진 고혈

압군에 대한 별도의 검토가 있어야 할 것이다. 그리고 본 연구는 부인과 환자에만 제한하여 연구를 수행 하였으므로 성별에 따른 변화 양상도 고려되어야 할 것이다. 그리고 PTT의 계측 시 흔들림이나 전기소작기 사용에 의한 잡음의 최소화를 위한 측정방법의 개선도 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임. (02-PJ3-PC6-EV05-0001)

참고문헌

- [1] JK Cheun, "Cardio-pulmonary physiology for the clinicians," Koon Ja Publishing Inc., pp. 57-68, (1996)
- [2] JJ Carr and JM Brown, "Introduction to Biomedical Equipment Technology," pp. 13-32, Kyung Moon, Seoul, (2000)
- [3] N. Elaine, "Human anatomy and physiology," The Benjamin/Cummings Publishing Company, pp. 594-662, (1989)
- [4] KB Chandran, "Cardiovascular Biomechanics," pp. 179-237, New York University Press, New York and London, (1992)
- [5] DJ Hughes, SF Babbs and LA Geddes, "Measurements of Young's modulus of elasticity of the canine aorta with ultrasound," Ultrason. Imaging, Vol. 1, pp. 356-367, (1979)
- [6] 최병철, 정동근, 정도운, 노정훈, 전계록, "광전 용적맥파 센서를 이용한 맥파전달시간의 측정", 센서학회지, Vol. 13, No. 5, (2003)
- [7] 백승완, 박영서, 예수영, 전계록, 최병철, 정동근, "Enflurane 마취가 맥파전달시간에 미치는 영향", 대한 마취과학회지, Vol. 47, pp. 17-22, (2004)
- [8] A. Babchenko and M. Nitzan, "Increase in pulse transit time to the foot after epidural anasesthesia treatment," Medical Biological Engineering & Computing, Vol. 38, pp. 674-679, (2004)
- [9] FM Ferrante, EJ Orav, AG Rocco and J. Gallo, "A stastical model for pain in patient controlled analgesia and conventional intramuscular opioid regimens," Anesthesia and Analgesia, Vol. 67, pp. 457-461, (1988)
- [10] BR Hecker and L. Albert, "Patient controlled analgesia: A randomized prospective comparison between two commercially available PCA pumps and conventional analgesic therapy for postoperative pain," Vol. 35, pp. 115-20, Pain, (1998)
- [11] D. Ellis, W. Miller and L. Reisner, "A randomized double-blind comparison of epidural versus intravenous fentanyl infusion for analgesia after cesarean section," Anesthesiology, Vol. 72, pp. 981-986, (1990)
- [12] P. Glass, P. Estok, B. Ginsberg and J. Goldberg, "Use of patient controlled analgesia to compare efficacy of epidural to intravenous fentanyl administration," Anesthesia and Analgesia, Vol. 74, pp. 345-351, (1992)
- [13] M. Nitzan, B. Khanokh and Y. Slovik, "The difference in pulse transit time to the toe and finger measured by photoplethysmography," Physiological Measurement, Vol. 23, pp. 85-93, (2002)