

경막외마취에 따른 생체신호 변화의 분석

전영주 · 임재중*

전북대학교 대학원 의용생체공학과, *전북대학교 공과대학 전자정보공학부
(2001년 2월 14일 접수, 2001년 5월 30일 채택)

Analysis of Biosignal Variations caused by Epidural Anesthesia

Y.J. Jeon, J.J. Im*

Dept. of Biomedical Eng., Graduate School, Chonbuk National University,
*Division of Electronics & Information Engineering, Chonbuk National University
(Received February 14, 2001. Accepted May 30, 2001)

요약: 본 연구는 다양한 마취종류 중에서 경막외마취시 마취가 진행됨에 따라 나타나는 생리현상의 변화들을 분석하여 마취정도와 생체신호간의 유의성을 분석하고자 하였다. 40대에서 70대 사이의 남자환자 7명과 여자환자 20명을 대상으로 실험하였으며, 마취시의 심전도, 맥파, 피부온도, 그리고 피부전도반응을 측정하였다. 실험결과 심박변이도의 HF/LF 비율은 마취제 투여 후 LF 성분이 감소함을 확인하였다. 피부온도의 경우, 손바닥에서 측정된 값은 감소함을 보였으며, 겨드랑이 선을 따라 붙인 4 채널의 온도는 증가함을 나타냈다. 피부전도반응은 마취제 투여 후 감소하는 추세를 나타내었다. 하지만 심박수와 맥파는 마취제 투여에 따른 별다른 변화를 보이지 않았다. 본 연구의 결과를 통하여 마취가 생체신호의 변화에 영향을 미치고 있으며, 이는 교감/부교감 신경의 활성화 정도로 설명될 수 있음을 확인하였다. 본 연구의 결과는 향후 척추마취 및 전신마취의 마취레벨 평가를 위한 자료로서 활용될 수 있을 것이며, 다양한 연령층의 환자들에 대해서 지속적인 연구를 진행함으로써 마취레벨을 정량화 할 수 있는 시스템의 구축으로 발전될 수 있을 것이다.

Abstract: This study was performed to extract and analyze the biosignals to find the relationship between the level of anesthesia and the variations of physiological parameters during epidural anesthesia. Seven male and twenty female patients(ages from 45 to 70 years old) were participated for the experiment, and ECGs, PPGs, SKTs, SCRs were obtained during anesthesia. As results, the HF/LF ratios of HRV were decreased after the injection anesthetics. For skin temperatures, values measured from the palm was reduced and the temperatures from four channels, measured from armpit through the right side of the body, were increased. SCRs were decreased for all channels after the injection of anesthetics. However the heart rate and PPGs showed no significant changes. It was concluded that the injection of anesthetics result the changes in biosignals, and it could be explained by the degree of the sympathetic and/or parasympathetic nerve activities. Results of this study could provide the valuable information for the estimation of level for the spinal and general anesthesia, and could be extended to the development of a system which could quantify the level of anesthesia.

Key words: Epidural anesthesia, ECG, Heart rate variability, Level of anesthesia, Pressure pulse, Skin temperature, Skin conductance response

서론

마취는 인류의 역사와 함께 존재했다고 해도 과언이 아닐 것이며, 구약성서나 여러 신화 등에서 그 유래를 찾아볼 수 있다. 병을 치유하거나 고통을 해결하기 위해 의식을 잃게 하

나 나뭇잎의 추출물이나 술을 마시게 했다는 기록들이 전해지고 있으며 이는 모두 현대 마취과학의 관점에서 전신마취나 국소마취의 행위로 간주할 수 있다. 그 후 16세기에 들어서면서 전신마취를 위해 에테르를 이용하면서부터 마취과학은 현재까지 눈부신 발전을 거듭해 왔다.

마취란 무의식, 무통, 혹은 수술에 방해가 되는 신체반응의 제어를 말하며, 일반적으로 이 세 가지 모두에 해당되는 마취를 전신마취라 하고, 신체의 일부분만을 마취하며 의식의 소실은 없는 것을 부위마취 또는 국소마취라 한다. 전신마취와 부위마취를 제외한 특수한 경우에 사용하는 마취를 특수마취라

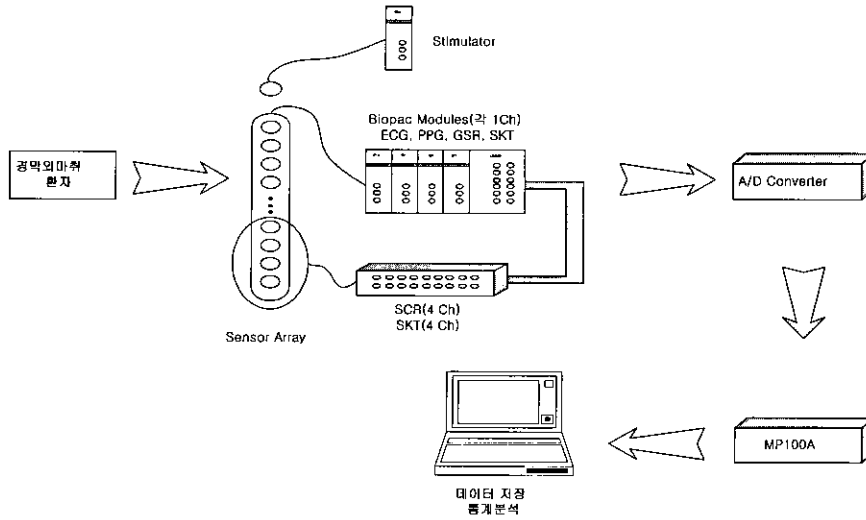
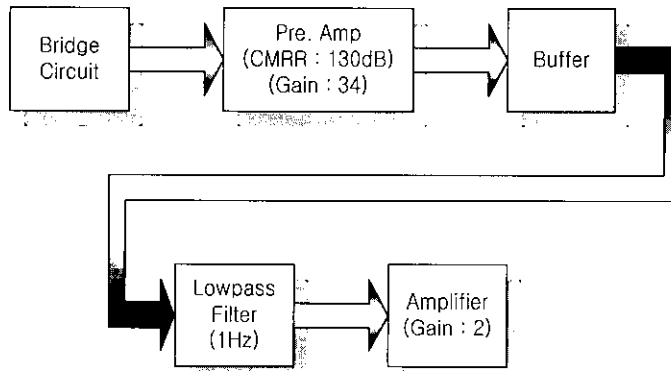


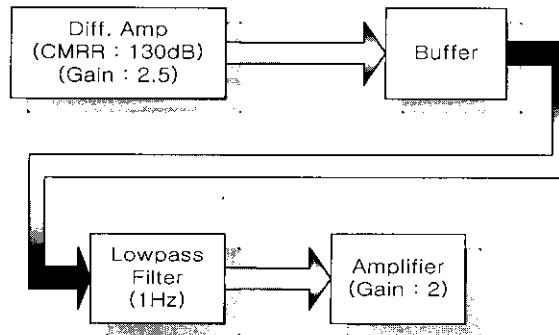
그림 1. 실험을 위한 전체적인 시스템의 구성
 Fig. 1. Blockdiagram for the overall system setup

한다. 그 중에서 경막외마취는 경막외강내에 국소마취제를 주입하여 척수를 둘러싸는 경막외층에 가는 관을 넣어 그곳에 마취약을 주입하여 선택적으로 척수신경을 차단하는 방법으로

경막외강에 주입된 국소마취제는 경막을 통하여 직접 확산되기도 하며 경막소켓부리(dural cuff)에서 신경주위강(perineural space)과 입파관 및 지주막과립(arachnoid granulation)을 따



(a) 피부온도



(b) 피부전도도반응

그림 2. 피부온도 및 피부전도도반응 측정 시스템 블록 다이어그램
 Fig. 2. Blockdiagram for the skin temperature and skin conductance response measurement system

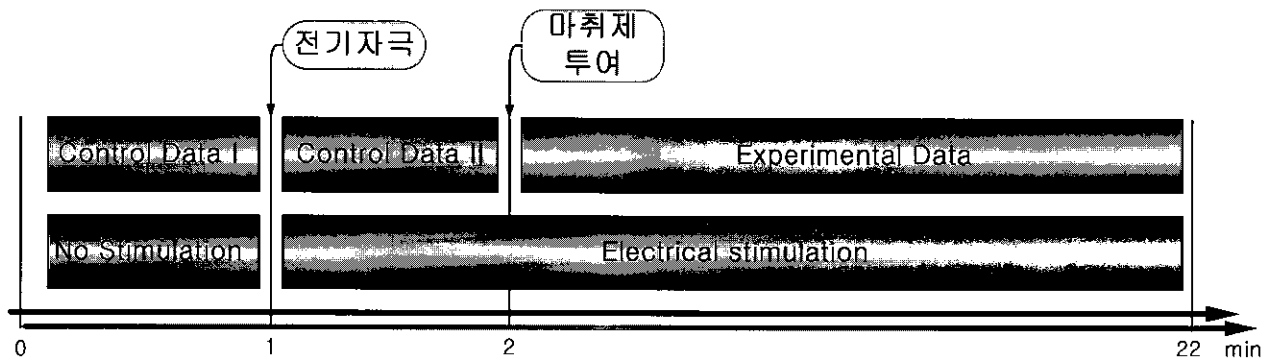


그림 3. 데이터 수집 시간
Fig. 3. Data acquisition time

라 지주막하강의 척수액으로 수송된다[1][2].

마취제에 의한 생리적 변화들을 생체신호의 분석을 통해 관찰하고자 하는 연구들이 진행되고 있으며, 이러한 생체신호들로는 심전도, 피부전도반응, 피부온도, 혈압 등을 들 수 있다. 심장의 기능은 미주신경과 교감신경의 작용에 의해서 조절되는데 미주신경이 자극을 받으면 심박동수, 심방수축 및 방실결절의 전도속도가 감소하며, 교감신경이 자극을 받으면 심박동수와 방실결절의 전도속도가 빨라지게 된다[3][4]. 심장의 자율신경계의 변화에 대한 생체신호는 심전도의 심박변이도를 통해 관찰할 수 있다. 심박변이도는 자율신경계 기능을 연구하는 유용한 지표로 이용되며, 가장 대표적인 분석법이 스펙트럼 분석법이다. 심박수를 스펙트럼 분석을 하면 고주파(HF, high frequency)와 저주파(LF, low frequency) 전력을 얻을 수 있다. 고주파 대역은 0.2-0.4Hz이며 호흡활동과 미주신경에 의해 영향을 받고, 저주파 대역은 0.05-0.2Hz이며 주로 교감신경의 영향을 받으며 혈압 조절과 압수용체 반사에 대한 정보를 갖고 있다[5][6]. 피부전도반응, 피부온도, 혈압 또한 자율신경계의 변화를 나타낼 수 있는 지표로서 시간영역에서 일평균값을 구함으로써 구간별 자율신경의 변화 추이를 관찰할 수 있다. 피부전도반응은 교감신경의 지배를 받는 한선(sweat gland)의 변화와 관계가 있으며, 척추마취시 일반적으로 감소하는 추세를 나타내며[7][8], 피부온도는 옆구리부위인 경우 감소하고, 손이나 발일 경우는 증가하는 추세를 나타낸다[9]. 혈압은 교감신경의 차단 범위가 넓어짐에 따라 해당 부위의 혈관이 확장되고 말초혈관의 저항이 감소하여 심장으로 돌아오는 정맥 혈액의 양이 감소하기 때문에 하강한다[10][11].

Bengtsson[12] 등은 척추마취 전과 후에 쇄골에 전기자극을 주고 피부전도반응을 측정하였는데, 측정결과 피부전도반응의 뚜렷한 감소가 나타났다. Yang[13] 등은 척추마취를 하는 동안 저혈압에 대한 반응과 실시간 동맥 혈압 파워 스펙트럼 분석간의 관계를 조사하였는데, 실험결과 척추마취를 시작하고서 15분 후에 저주파 대역(0.09-0.15Hz)과 초저주파 대역(0.01-0.8Hz)의 파워 스펙트럼 분석 값은 감소하였고, 고주파 대역(0.16-0.25Hz) 값은 증가 추세를 나타내었다. 이러한 결과들은 척추마취의 높이가 올라갈수록 자율신경계의 교감신경을

차폐시킨다는 것을 입증하는 것이다. Backlund[14] 등은 허혈성 심장 질환을 갖고 있는 환자에 대해 심박변이도 변화를 연구하였는데, 실험결과 전신마취를 하였을 때 초저주파와 저주파 대역에서 파워 스펙트럼 분석 값과 저주파/고주파 대역 값이 뚜렷한 감소가 발생하였다. 또한 마취의 종류에 관계없이 모든 심박변이도 주파수 대역 값의 감소한다는 결과를 얻어냈다.

마취에 따른 생체신호들의 변화에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔으며, 마취에 따른 유용한 정보를 갖는 생체신호 파라미터를 찾는 연구는 현재까지 활발하게 진행되고 있다. 그러나 환자개인의 특이성, 마취의 종류, 마취 약제의 종류 등 많은 변수들 때문에 산발적으로 수행된 연구결과들에 대한 표준화된 지표는 없는 실정이다. 또한 현재 임상에서 행해지고 있는 마취레벨 측정 방법은 pinprick, touch, cold 자극 제시 등에 의한 임상인들의 주관적 판단에 의존함으로써 과학적이고 정량적인 정보를 제공할 수 있는 시스템의 활용이 미흡한 실정이다. 따라서 마취 정도에 대한 객관화된 정보를 제공할 필요가 있으며, 이러한 문제점들을 극복하기 위해서는 마취에 의한 생체신호 변화를 정량화 할 수 있는 더욱 구체화된 연구를 통해 마취레벨측정이 가능한 시스템의 개발이 이루어져야 할 것이다.

본 연구의 목적은 경막외마취중에 나타나는 생리현상의 변화들을 검출하여 분석함으로써 마취레벨의 정량화를 위한 시스템의 개발에 활용하고자 하는데 있다. 마취제 주입시 교감신경과 부교감신경의 활성도를 반영하는 생체신호의 변화를 파악하기 위해 심전도를 이용한 심박변이도(heart rate variability)를 측정하고, 피부전도반응과 피부온도를 검출, 분석하였다. 이를 위해 생체신호를 검출할 수 있는 하드웨어를 개발하고, 데이터 베이스 구축과 신호처리 등을 위한 프로그램을 개발하였다. 이를 바탕으로 마취에 따른 마취 정도와 생체신호간의 상관성을 분석하고자 하였다. 마취 레벨의 정량화는 현재 경험적이고 정성적인 마취제 투여에 따른 부작용의 감소뿐만 아니라, 마취 행정적, 통계적 및 분석 연구 자료로 교육적 가치를 얻을 수 있고, 마취의에게 필요한 법의학적 증거 자료로서도 사용될 수 있을 것이다.

표 1. 수집된 생체신호의 종류와 전극부착위치
Table 1. Types of biosignals and electrode sites

생체신호	채널수	센서	센서부착위치
ECG	1	Electrode (Ag/AgCl)	Lead I
PPG	1	Infrared Sensor (TSD100B)	왼손 엄지손가락
SKT	5	Thermistor (TSD102A)	오른 손바닥(1Ch) 옆구리(4Ch)
SCR	5	TSD103A(1Ch) Ag/AgCl(4Ch)	오른손 검지와 중지(1Ch), 옆구리(4Ch)

실험 방법

실험설계

본 연구는 성빈센트 병원 통증 치료실에서 경막외마취를 통해 통증 치료를 받기 위한 미국 마취과학회 신체등급 분류 1, 2급에 속하는 허리 통증 환자 27명(남자 7명, 여자 20명)을 대상으로 실험을 실시하였다. 피검자로는 경막외마취의 천자 부위가 T4이하 S5이상인 환자들을 선정하였으며, 실험을 위한 전체적인 시스템의 구성이 그림 1에 나타나 있다.

생체신호로는 심전도, 피부전도반응, 피부온도, 맥파 파형을 검출하는데, 심전도와 맥파는 각각 1채널씩 측정하였으며, 피부전도반응과 피부온도는 여러 부위의 반응을 관찰하기 위해 각각 5 채널씩 측정하였다. 심전도, 맥파, 피부전도반응, 그리고 피부온도의 각각 1 채널은 ECG100B, PPG100B, GSR100B, SKT100B(Biopac Inc.)를 사용하였으며, 피부전도반응의 검출을 위한 전기자극기(STM100, Biopac Inc.)와 전압 증폭을 위

한 분리 자극기(STMISOA, Biopac Inc.)를 사용하였다. 4 채널의 피부전도반응과 피부온도는 직접 제작한 하드웨어를 통해 측정하였다.

검출된 데이터는 Labview 5.1 프로그램을 이용하여 분류하고, 각 신호들로부터 의미있는 변수들을 추출하였다. 그 후 통계분석을 통해 추출된 변수들과 마취정도와와의 유의성을 판단하여 경막외마취 정도에 따른 생체신호 변화를 분석하고자 하였다.

시스템 개발

본 연구를 위해 피부전도 반응과 피부온도 측정 시스템을 구축하였으며, 개발된 하드웨어의 전체적인 블록 다이어그램이 그림 2에 나타나 있다. 피부온도 측정 시스템은 써미스터를 이용한 온도 측정을 위해 브리지 회로를 거친 후 전치 증폭기로 입력 신호가 인가된다. 전치증폭기로는 아날로그 디바이스사의 AD620 연산증폭기를 사용하였는데, 이 연산증폭기는 이득 조정이 쉽게 되어 있으며, 동상제거비(common mode rejection ratio, CMRR)가 130dB이고 입력 임피던스가 10GΩ으로 우수한 특성을 가지고 있다. 전치 증폭기에서의 이득은 34로 설정하였으며 버퍼와 필터는 TL084CN을 사용하였다. 피부온도의 경우 매우 낮은 주파수의 변화를 나타내므로 필터는 차단주파수가 1Hz인 2차 저역통과필터를 사용하였으며, 필터를 거친 신호는 증폭기를 통해 2배 증폭하였다.

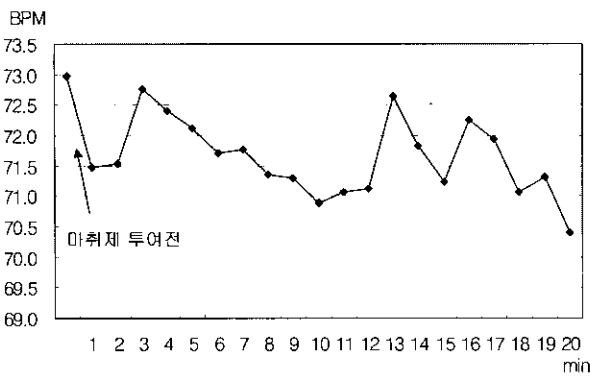
피부전도반응 측정 회로는 정전압 방식을 이용해 피부의 컨덕턴스 성분을 측정하였다. 입력 신호는 동상제거비가 높고 특성이 우수한 AD620 차동 증폭기를 이용하였으며 이득은 2.5로 설정하였다. 버퍼와 필터는 피부온도 측정 시스템과 동일하게 제작하였고 최종 출력을 2배로 증폭하였다.

데이터 수집

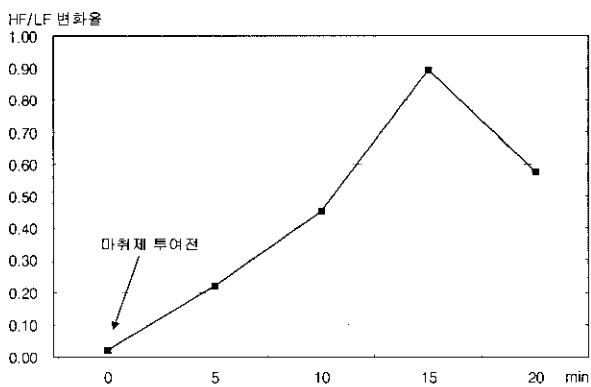
표 2. 각 생체신호의 마취제 투여 전과 투여 후 3분 간격 변수들 사이의 t-test 결과

Table 2. Results of t-test between parameters for each biosignal 3 minutes before and after the injection of anesthetics

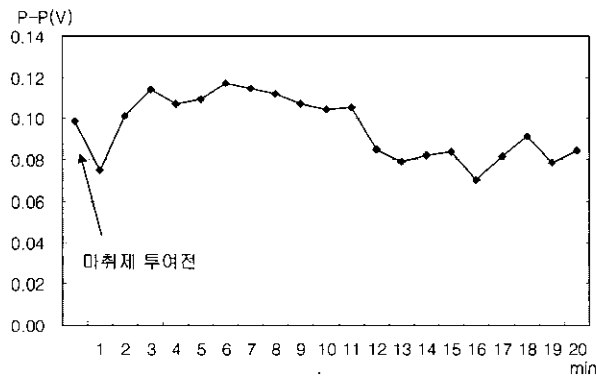
생리 신호	측정 부위	실험 조건						
		3분	6분	9분	12분	15분	18분	20분
HR	Lead I	0.193	0.214	0.092	0.073	0.294	0.144	0.036
HRV	Lead I	0.027*	0.026*	0.030*	0.022*	0.063	0.069	0.050
PPG	Hand	0.437	0.175	0.215	0.482	0.174	0.174	0.135
SKT	Hand	0.431	0.448	0.414	0.231	0.078*	0.021*	0.012*
	A	3E-04**	1E-06**	6E-08**	4E-09**	8E-10**	4E-10**	3E-10**
	B	1E-06**	2E-04**	0.141	6E-08**	2E-08**	5E-08**	6E-08**
	C	2E-07**	9E-06**	0.351	1E-06**	4E-08**	6E-09**	4E-09**
	D	0.011*	1E-04**	1E-06**	6E-08**	6E-09**	2E-09**	1E-09**
SCR	Hand	0.018*	0.233	0.360	0.415	0.440	0.403	0.365
	A	0.025*	0.083	0.204	0.238	0.311	0.465	0.316
	B	0.010*	0.013*	0.047*	0.062	0.078	0.099	0.111
	C	0.012*	0.007**	0.036*	0.033*	0.037*	0.041*	0.057
	D	0.002**	0.001**	0.005**	0.004**	0.007**	0.008**	0.009**



(a) 심박수



(b) HF/LF



(c) 맥파

그림 4. 마취제 투여 후 시간 경과에 따른 심박수, HF/LF, 맥파의 변화

Fig. 4. The variations of heart rate, the ratio of HF/LF, and PPG according to time after injection anesthetic

데이터 수집은 환자가 통증치료를 위해 치료실로 들어오면 센서들을 부착하고 교정작업을 거친 후 마취제 투여 전후의 데이터를 수집하였다.

심전도는 Ag/AgCl 전극을 이용하여 Lead I로 검출하였고, 맥파는 infrared emitter와 photodiode를 이용한 TSD 100B(Biopac Inc.)를 통해 왼손 엄지손가락에서 측정하였다.

피부온도 측정을 위해서는 빠른 반응 특성을 갖는 써미스터로써 신체 국소 부위의 온도를 측정하기에 적합하게 제작되어있는 TSD102A(Biopac Inc.)를 사용하였다. 피부전도반응 측정을 위한 전극은 TSD103A(Biopac Inc.)으로 손가락에 부착하였으며, 옆구리를 따라 붙인 전극은 피부의 신축성에 따른 피부전도반응의 변화를 고려하여 일회용 Ag/AgCl 전극을 사용하였다. 피부온도 1 채널은 오른손 손바닥에서 측정하였으며, 피부전도반응 1 채널은 오른손가락 검지와 중지에서 측정하였다. 피부온도와 피부전도반응 각각 4 채널은 오른쪽 옆구리를 따라 부착하였는데 이 때 천자 부위를 중심으로 5cm 간격으로 위·아래 3 segments 부위를 커버할 수 있게 부착하였다. 표 1에 본 연구를 위해 검출된 생체신호들과 각 센서들의 부착 위치를 나타내었다.

피부전도반응은 전기자극시 피부를 따라 전도되는 전류의 흐름을 검출하는 것으로써 적정 전기자극의 제시가 필요하다. 전기자극은 50Hz, 50V의 펄스파를 사용했으며, 자극간 간격은 20msec로 설정하였다. 전기자극시 사용한 bar lead electrode(EL300S, Biopac Inc.)는 전극을 부착한 오른쪽 옆구리와 대칭되는 왼쪽 옆구리에 부착하였다. 데이터 수집은 마취제 투여 전과 투여 후로 구분하였으며, 마취제 투여 전은 전기자극 인가 전(Control I)과 후(Control II)로 나누어 실시하였다. 그림 3에 데이터 수집에 관한 블록 다이어그램이 나타나 있으며, 전기자극 전 1분, 전기자극 후 1분, 마취제 투여 후 20분간 수집하였다. 모든 신호에 대한 샘플링 주파수는 200Hz로 설정하였다.

데이터 처리 및 분석

통증치료를 위해 내원한 총 27명의 환자들로부터 수집된 생체신호의 분석을 통하여 마취제 투여에 의한 생리적 변화를 관찰하고자 하였다. 이를 위해 의미 있는 변수를 추출하고 마취정도와 상관성을 파악하고자 하였으며, 총 12채널, 22분 동안의 데이터를 각각 1분 간격으로 분리하여 분석하였다.

심전도 신호는 신호대잡음비(S/N ratio)를 높이고, 심전도의 QRS 주파수 성분만을 검출하기 위해 주파수 대역이 7-15Hz 인 $h(n) = [2\cos(n\theta_0)] \cdot (k/n\pi)\sin(n\theta_c)$ 에서 $n = 50$ 을 갖는 필터계수 101의 FIR(finite impulse response) 디지털 필터를 사용하였으며, 필터된 신호에서 R-peak와 인접한 다음 R-peak간의 시간간격을 계산하여 R-R interval series를 등시간 간격으로 재배열하였다. 검출된 R-peak를 통해 분당 평균 심박수를 구하였고, 심박변이도(HRV, heart rate variability)의 관찰을 위한 전력스펙트럼을 구하기 위해 짧은 데이터의 스펙트럼 추정에 이용되는 공분산법을 이용한 10차 자기 회귀 모델(AR, autoregressive model)을 사용하였다. 이렇게 얻어진 전력 스펙트럼으로부터 0.05Hz - 0.2Hz 대역을 갖는 LF 구간과, 0.2Hz - 0.4Hz 대역을 갖는 HF 구간의 면적을 구하였고, 마취제 투여 전을 기준으로 투여 후의 HF/LF 값의 비(ratio)를 계산하여 마취의 진행에 따른 영향을 보고자 하였다. 심박 변이도는 마취제 투여 전의 값과 투여 후 값을 5분 간격으로

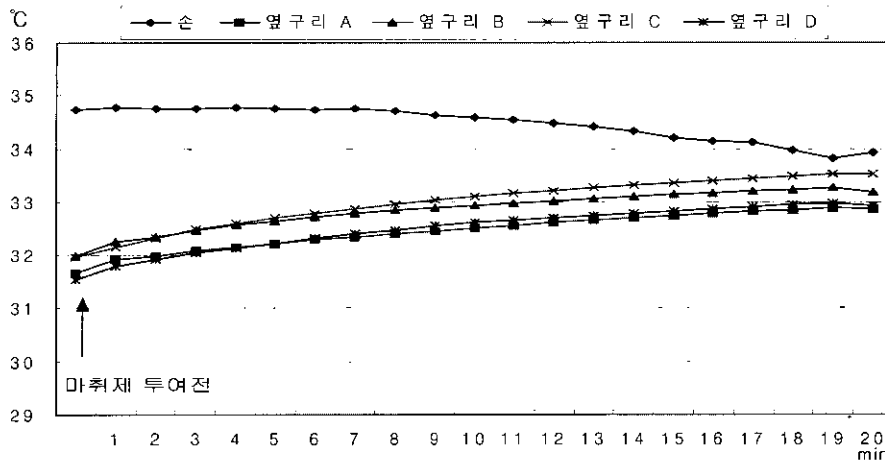


그림 5. 마취제 투여 후 측정부위별 피부온도 변화
 Fig. 5. The variations of skin temperature as each electrode site after injection anesthetic

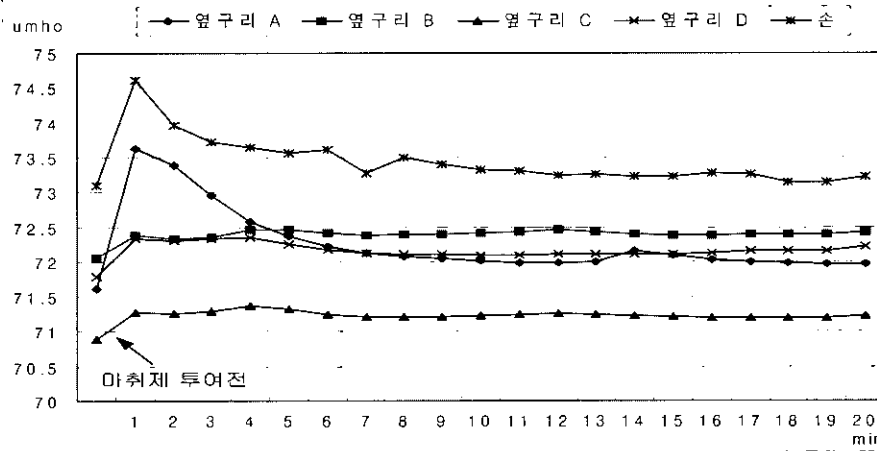


그림 6. 마취제 투여 후 측정부위별 피부전도반응 변화
 Fig. 6. The variation of skin conductance response as each electrode site after injection anesthetic

비교하였다.

피부온도는 오른손 손바닥에서의 1 채널과 겨드랑이 선을 따라 부착된 4 채널에서 검출하였으며, 1분 간격으로 데이터들의 평균을 구하여 시간에 따른 마취진행 상태와 피부온도와의 상관성을 비교하였다. 맥파 신호는 저주파 성분에 의한 기저선 잡음을 제거하기 위해 0.5Hz - 20Hz IIR(infinite impulse response) 필터를 사용했으며, peak 검출을 용이하게 하기 위해 4Hz 저역통과필터로 처리하였다. 데이터는 1분 간격으로 구분하였으며, 데이터들로부터 최고와 최저 peak를 검출하여 각 펄스마다의 최대, 최소 진폭 간격을 구하였고, 마취제 투여 전을 기준으로 투여 후 진폭 변화 비율의 비교를 통하여 마취의 진행에 따른 맥파의 영향을 보고자 하였다. 그리고, 피부전도반응은 오른손에서 1 채널, 그리고 겨드랑이 선을 따라 부착된 전극으로부터 4 채널을 검출하였다. 수집된 데이터는 1Hz 저역통과필터를 거친 후 1분 간격으로 진폭 값들의 평균을 구

하여 마취와 피부전도 반응과의 상관성을 분석하고자 하였다.

결과 및 고찰

본 연구는 경막외마취의 진행에 따른 생체신호 변화의 관찰을 위해 기존 장비와 개발한 하드웨어를 통해 데이터를 수집하고 마취와 생체신호간의 상관성을 분석하고자 수행하였다.

그림 4는 마취제 투여에 따른 분당 평균 심박수, 심박변이도, 맥파의 변화로써 마취제 투여 전 2분간의 평균 심박수와 투여 후 20분간의 심박수의 변화를 나타낸 것이다. 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이 평균 심박수는 마취제 투여 후에 그 값들이 감소는 하지만 시간 경과에 따라서 일정한 추세를 보이고 있는 양을 알 수 있다. 이러한 결과는 그림에서 볼 수 있듯이 그 변화가 ±1 bpm 정도로 큰 폭의 변화는 아니므로 심박수의 변화에는 큰 의미를 들 수 없다고 할 수 있다. 즉 마취

표 3. 마취제 투여 후 시간 경과에 따른 각 생체신호 변수들 사이의 t-test 결과

Table 3. Results of t-test between parameters for each biosignal as time passes after the injection of anesthetics

생리 신호	측정 부위	실험 조건		
		3-9분	9-15분	15-20분
HR	Lead I	0.299	0.367	0.070
HRV	Lead I	0.174	0.349	0.334
PPG	Hand	0.109	0.008**	0.488
SKT	Hand	0.326	0.017*	0.0005**
	A	1.3E-06**	3.3E-09**	2.3E-07**
	B	2.2E-06**	9.4E-06**	2.7E-06**
	C	18E-06**	6.8E-07**	8.9E-08**
	D	1.1E-06**	3.6E-06**	9.3E-07**
SCR	Hand	0.060	0.160	0.360
	A	0.480	0.062	0.123
	B	0.416	0.444	0.161
	C	0.329	0.403	0.140
	D	0.071	0.471	0.452

제 투여에 의해 투여 전과 비교하여 심박수의 변화를 통하여 교감/부교감신경의 활동을 설명하기에는 부족하다고 할 수 있으며, 환자별 개인차가 심해 표준편차 값이 ±6.52를 나타내었다. 심박변이도의 변화는 마취제 투여 전의 HF/LF의 값과 마취제 투여 후의 HF/LF 값의 변화율을 5분 간격으로 나타내었다. 그림 4(b)에서 볼 수 있듯이 마취제 투여 후 시간 경과에 따라 HF/LF 값이 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 마취 주사 후 15분 후부터는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 하지만 표준편차는 ±1.82의 값을 나타냈는데, 이는 심박수의 변화에서도 나타났듯이 환자별 개인차에 의한 영향으로 판단된다. 하지만 HF/LF의 변화율은 마취제 투여 후 최소 22%~최대 89% 증가하는 경향을 나타내었으며, 이러한 결과는 교감신경계의 활성도를 나타내는 LF 성분의 값이 마취제 투여 후에 감소하고 있다는 것을 보여주고 있다. 심박수와 심박변이도는 주로 교감신경계와 미주신경에 의해 지배를 받는 것으로 알려져 있으며, 경막외마취를 통해서 미주신경이 영향을 받았다고 볼 수는 없고 역시 교감신경계가 마취의 영향에 의해 비활성화되었다고 판단된다. 맥파의 변화는 그림 4(c)에서 볼 수 있듯이 마취제 투여 전 보다 다소 감소하는 경향은 있으나, 일정한 감소 추세를 갖는다고 보기는 어려운 것으로 판단된다. 일반적으로 맥파는 혈압의 변화를 반영하는 것으로 척추마취시 교감신경계의 차단으로 인해 감소하는 경향을 나타내지만, 본 실험에서는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았으며, ±0.03 정도의 표준편차를 나타내었다.

그림 5는 마취제 투여 후 동일한 피부온도 데이터의 변화를 측정부위별로 비교한 것이다. 옆구리 A는 옆구리를 따라 부착한 온도센서 중 가장 상위에 부착한 것이고, B, C, 그리고 D는 아래쪽으로 내려가면서 5cm 간격으로 부착된 센서로부터

검출된 신호를 나타내고 있다. 즉, A가 가장 상위에 부착되었고, 그 다음순서로 B, C, D 센서를 부착하였다. 손은 오른손 손바닥에서 검출된 피부온도의 변화를 나타낸 것이다. 그림에 나타나 있듯이 옆구리를 따라 측정된 온도 데이터들은 마취가 진행됨에 따라 모두 증가하고 있으며, 손바닥에서 측정된 온도 데이터는 감소하고 있음을 볼 수 있다. 즉, 마취제 투여 후 20분까지 옆구리 A는 3.85%, 옆구리 B는 3.74%, 옆구리 C는 4.94%, 옆구리 D는 4.44% 증가하였고, 손바닥에서 측정된 온도는 2.32% 감소하였다. 또한 손바닥에서 측정된 온도는 다른 부위에서의 피부온도들 보다는 높게 나타났으며, 옆구리 A와 옆구리 D의 온도가 유사하게 나타났고, 옆구리 B와 옆구리 C의 온도가 유사하게 나타났다. 하지만 옆구리 A와 D 그리고 옆구리 B와 C의 온도차가 약 0.5℃로 그 차이가 유의하게 크지는 않음을 알 수 있다.

피부온도는 혈류의 흐름에 큰 영향을 받으며, 혈류의 흐름은 교감신경계의 영향을 받기 때문에 피부온도는 교감신경계의 지배하에 있다고 알려져 있다. 전척추마취인 경우에 완전히 마취가 되면 교감신경계가 차단되어 혈관이 확장되는데 그 정도가 몸통보다는 손이나 발에서 혈관 확장이 더 많이 일어난다[26]. 결국 혈액의 분포는 혈관이 더 확장되어 있는 쪽에서 더 높기 때문에 손이나 발에서의 피부온도는 몸통 부근 보다 더 높게 나타난다. 즉, 마취가 진행됨에 따라 손이나 발에서 피부온도는 상승을 하고 몸통 부근의 온도는 떨어지게 된다. 그러나, 그림 5의 결과에서 손에서 측정된 온도는 반대의 결과로 나타났는데, 우선 실험자체가 척추마취중에서도 가장 레벨이 높은 전척추마취하에서 실험을 한 것이 아니기 때문에 교감신경의 전체가 차단되었다고 볼 수 없으므로 기존 연구들과 동일한 결과를 나타내지 않을 수 있다고 판단된다. 또한 경막외마취인 경우 천자 부위를 중심으로 위·아래 3 segments가 주로 영향을 받는 것으로 보아 본 실험의 천자 부위를 고려해 봤을 때 마취의 효과가 손까지 미친다고 보기가 어렵다고 판단된다.

그림 6은 마취제 투여 후 시간 경과에 따른 동일한 피부전도반응 변화를 측정 부위별로 비교한 것이다. 옆구리 A, B, C, 그리고 D는 피부온도와 동일한 곳에 전극을 부착하였고, 손은 오른 손가락 검지와 중지에서 측정하였다. 피부전도반응은 그림에서 볼 수 있듯이 모두 감소하는 추세를 나타내고 있다. 특히 마취제 투여 직후 값이 마취제 투여 전에 비해 상승하였는데, 이러한 결과는 의식이 있는 환자에게 주사기를 통해 마취제를 투여했기 때문에 환자의 긴장도가 증가해서 나타난 결과로 판단된다. 또한 마취제 투여 후 시간 경과에 따라 평균 0.85%의 미소한 비율로 감소하는 추세를 나타내는 이유는 교감신경의 활동이 억제되어 한선(sweat gland)의 활동이 위축됨으로 인해서 피부전도반응 또한 감소한 것으로 판단된다. 손에서 측정된 피부전도반응은 옆구리에서 측정된 값보다 높은 반응을 나타내었으며, 옆구리 B와 C, C와 D는 유의한 차이를 보였다.

본 연구를 통해 추출된 변수들에 대한 각 실험조건에서의 t-test 통계 분석결과가 표 2, 3, 4에 나타나 있다. 표 2는 각

표 4. 피부온도와 피부전도반응 변수들의 측정 부위 사이의 t-test 결과
Table 4. Results of t-test between measurement sites for SCR and SKT

생리 신호	측정부위	실험 조건						
		3분	6분	9분	12분	15분	18분	20분
SKT	옆구리A - 옆구리B	1.6E-13**	4.9E-14**	1.8E-14**	1.1E-14**	6.7E-15**	4.9E-15**	3.9E-15**
	옆구리A - 옆구리C	1.9E-13**	9.8E-14**	8.1E-14**	7.4E-14**	7.2E-14**	5.1E-14**	3.5E-14**
	옆구리A - 옆구리D	5.5E-11**	2.9E-11**	1.6E-11**	9.4E-12**	7.2E-12**	5.3E-12**	4.4E-12**
	옆구리B - 옆구리C	0.447	0.474	0.409	0.348	0.324	0.296	0.272
	옆구리B - 옆구리D	0.06	0.1	0.127	0.151	0.155	0.16	0.17
	옆구리C - 옆구리D	0.107	0.124	0.137	0.149	0.15	0.142	0.134
SCR	옆구리A - 옆구리B	0.003**	0.018*	0.099	0.132	0.129	0.150	0.170
	옆구리A - 옆구리C	0.001**	0.004**	0.039*	0.061	0.034*	0.013*	0.007**
	옆구리A - 옆구리D	0.004**	0.018*	0.084	0.111	0.091	0.074	0.063
	옆구리B - 옆구리C	1.3E-07**	3.4E-07**	8.9E-07**	1.8E-06**	3.0E-06**	6.6E-06**	5.9E-06**
	옆구리B - 옆구리D	0.426	0.187	0.146	0.135	0.168	0.223	0.250
	옆구리C - 옆구리D	1.2E-07**	7.4E-07**	9.9E-06**	4.4E-05**	3.8E-05**	3.0E-05**	1.6E-05**

생체신호 별로 마취제 투여 전과 투여 후 3분 간격으로 변수들간의 t-test를 수행한 결과에 대한 p-value를 요약해 놓은 것이다. 표에서 볼 수 있듯이 피부온도에서는 손을 제외한 옆구리 모든 부위와 피부전도반응 중 옆구리 D에서 측정된 신호는 마취제 투여 전과 비교할 때 $p < 0.01$ 에서 유의미한 차이를 나타내고 있으며, 피부전도반응 중 옆구리 C에서 측정된 신호는 $p < 0.05$ 에서 유의미한 차이를 나타내고 있다. 또한 심박변이도와 피부전도반응 중 옆구리 B에서 측정된 신호는 초기 변화는 $p < 0.05$ 에서 유의미한 차이를 나타내지만 시간이 경과할수록 차이가 없어짐을 알 수 있다.

표 3은 마취제 투여 후 3분까지의 데이터와 6분에서 9분까지의 데이터, 6분에서 9분까지 데이터와 12분에서 15분까지의 데이터, 그리고 12분에서 15분까지 데이터와 18분에서 20분까지의 각 생체신호 변수들이 변화하는가를 분석하기 위한 t-test 결과를 요약한 것이다. 표에 나타나 있듯이 마취제 투여 후에는 피부온도에서만 $p < 0.01$ 에서 유의미한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

현재의 실험단계에서는 경막외마취의 영향이 미약하여 시간 경과에 따른 각 생체신호 변수들의 변화를 관찰하기에는 부족한 점이 있는데, 전신마취나 전척추마취와 같이 높은 수준의 마취를 행하는 경우에는 시간 경과에 따른 생체신호 변화를 보다 잘 관찰할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고, 표 4는 각 옆구리 측정 부위 사이에 대한 피부온도와 피부전도반응 데이터 변수들의 t-test 결과를 나타낸 것으로서 피부온도인 경우, 옆구리 A와 B, C, D 간에 $p < 0.01$ 에서 유의미한 차이를 보이고 있다. 피부전도반응인 경우에는 옆구리 C와 B, D 간에 $p < 0.01$ 에서 유의미한 차이를 보이고 있으며, 옆구리 A와 C 간에 $p < 0.05$ 에서 유의미한 차이를 보이고 있다.

결론

본 연구에서는 경막외마취에 따른 생체신호들의 변화를 분석함으로써 마취와 생체신호간의 상관성을 분석하고자 하였으며 본 연구를 통한 실험 결과들을 요약하면 다음과 같다.

1. 심박수는 마취가 진행됨에 따라 유의미한 변화를 보이지 않았으나, 심박변이도는 마취가 진행됨에 따라 마취제 투여 전과 비교하여 투여 후의 HF/LF의 변화율이 최소 22% ~ 최대 89% 증가하는 경향을 나타내었는데, 이러한 결과는 교감신경계 활성화의 저하로 인한 LF성분의 감소를 의미한다.
2. 피부온도의 경우 손바닥에서 측정된 온도는 마취가 진행됨에 따라 2.32% 감소하였고, 옆구리를 따라 검출된 4 채널의 피부온도는 최대 4.94% 증가함을 나타내었다. 거드랑이 선을 따라 부착한 4 채널의 신호들에서 옆구리 A와 B, C, D 사이에는 유의미한 차이를 나타내었지만, 다른 부위들 간에는 유의미한 차이를 보이지 않았다.
3. 피부전도반응은 손에서 측정된 신호와 거드랑이 선을 따라 측정된 4 채널의 피부전도 반응이 0.85% 비율로 감소하는 추세를 나타내었으며, 옆구리 B와 C 그리고 C와 D 사이에서 유의미한 차이를 보였다.
4. 맥파는 마취제 투여 전과 비교하여 마취제 투여 후에 감소하는 추세를 나타내었지만 일정한 감소 유형을 갖지는 못하였다. 일반적으로 마취에 의해 교감신경이 비활성화 되면 맥파는 감소하는 추세를 가지지만, 본 실험에서는 뚜렷한 감소 추세는 나타나지 않았다.

마취에 따른 생체신호의 변화들을 분석하기 위해 피부온도와 피부전도반응 하드웨어를 개발하였고 기존의 장비들과 함께

사용하여 동일한 결과를 얻어낼 수 있었다. 또한 본 연구를 통해 추출된 변수들의 변화에 대한 분석 결과들을 기반으로 마취레벨을 평가 할 수 있는 알고리즘을 구축하는데 기여할 수 있을 것이다. 본 연구를 수행하면서 마취에 의한 생리신호 변화에 환자별 개인차가 많이 발생하였는데 이를 해결하기 위해서는 많은 실험을 통한 다양한 생체신호 데이터들 검출하는 것과 검출된 신호에 대한 데이터베이스화가 필요 할 것이며, 마취과 임상 의들에 의해 결정되는 마취레벨에 대한 주관적 판단과의 상관성 분석이 필요할 것이다.

향후 개발하고자 하는 시스템은 생체신호 측정 하드웨어와 추출된 변수들을 기반으로 하는 분석알고리즘을 추가한 마이크로프로세서를 기반으로 하는 실시간 마취레벨 평가 시스템으로 구축될 수 있을 것이다. 또한, 본 연구는 경막외마취에 한하여 마취에 따른 생체신호의 변화들을 관찰하는데 국한되었지만 척추마취나 전신마취시에도 생체신호의 변화들을 관찰 및 분석함으로써 마취레벨을 정량화 할 수 있는 시스템 구축으로 발전할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. FK. Orkin, LH. Cooperman, Complications in anesthesia, Lippincott, pp. 52-69, 1983
2. NM. Greene, "Distribution of local anesthetic solutions within the subarachnoid space", Anesth. Analg., Vol. 64, pp. 715-730, 1985
3. RJ. Ward, WF. Kennedy, JJ. Bonica, WE. Martin, AG. Tolas, T. Akamatsu, "Experimental evaluation of atropine and vaso pressors for the treatment of hypotension of high subarachnoid anesthesia", Anesth. Analg., Vol. 45, pp. 621-629, 1966
4. RJ. Ward, JJ. Bonica, FG Freund, T. Akamatsu, F. Danziger S. Erglesson, "Epidural and subarachnoid anesthesia: Cardiovascular and respiratory effects", J.A.M.A., Vol. 191, pp. 275-278, 1965
5. A. Glenn, G. Myers, J. Martin, "Power spectral analysis of heart rate variability in sudden cardiac death - comparison to other methods", IEEE Transactions on biomedical engineering, Vol. BME-33, pp. 1149-1156, 1986
6. VK. Yeragani, R. Pohl, R. Berger, "Decreased HRV in panic disorder patients : a study of power spectral analysis of heart rate", Psychiat Res., Vol. 46, pp. 89-103, 1993
7. TK. Beene, GW Eggers, "Use of the pulse monitor for determining sympathetic block of the arm", Anesthesiology, Vol. 40, pp. 412-414, 1974
8. M. Bengtsson, GE, Nilsson, JB, Lofstrom, "The effect of spinal analgesia on skin blood flow, evaluated by laser Doppler flowmetry", Acta Anaesthesiol. Scand., Vol. 27, pp. 206-210, 1983
9. DP. Chamberlain, BD. Chamberlain, "Changes in the skin temperature of the trunk and their relationship to sympathetic blockade during spinal anaesthesia", Anesthesiology, Vol. 65, pp. 139-143, 1986
10. T. Kimura, O. Kemmotsu, Y. Shimada, "Regional differences in skin blood flow and temperature during total spinal anaesthesia", Can. J. Anaesth., Vol. 39, pp. 123-127, 1992
11. PR. Cook, LA. Malmqvist, M. Bengtsson, B. Tryggvason, JB. Lofstorm, "Vagal and sympathetic activity during spinal analgesia", Acta Anaesthesiol. Scand., Vol. 34, pp. 271-275, 1990
12. M. Bengtsson, JB. Lofstorm, LA. Malmqvist, "Skin conductance responses during spinal analgesia", Acta Anaesthesiol. Scand., Vol. 29, pp. 67-71, 1985
13. MW. Yang, TB. Kuo, SM. Lin, SH. Chan, "Power spectral analysis of arterial blood pressure after spinal anaesthesia", Acta Anaesthesiol. Sin., Vol. 36, pp. 3-10, 1998
14. M. Backlund, L. Toivonen, M. Tuominen, P. Pere, L. Lindgren, "Changes in heart rate variability in elderly patients undergoing major noncardiac surgery under spinal or general anesthesia", Reg. Anesth. Pain Med., Vol. 24, pp. 386-392, 1999