

퍼지이론과 바이오피드백을 이용한 주정중독증 환자의 긴장도 평가

성흥모*·신재우*·윤영로*·윤형로*·박진한**·신정호**

연세대학교 보건과학대학 의용전자공학과*, 연세대학교 원주의과대학 정신과**
(1998년 11월 5일 접수, 1999년 3월 5일 채택)

Estimation of Tension Status for Alcohol Dependent Patients using Biofeedback Training and Fuzzy Theory

H.M. Seong*, J.W. Shin*, Y.R. Yoon*, H.R. Yoon*, J.H. Park**, J.H. Shin**

Department of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yonsei University,
Department of Psychophysiology, College of Won-ju Medicine
(Received November 5, 1999, Accepted March 5, 1999)

요 약 : 바이오피드백은 혈압, 심박율, 말초체온, 호흡, 근전도 등과 같이 자율신경에 의해 지배받는 신체 기능들을 훈련을 통해 스스로 조절할 수 있게 하여 자율신경의 이상으로 인한 여러 가지 질병들을 치료할 수 있게 하는 방법이다. 본 논문에서는 주정중독증 환자들을 대상으로 바이오피드백 훈련을 실시할 수 있도록 근전도, 호흡, 맥파, 말초체온, 피부전기전도도 등 다섯 가지 신호를 측정할 수 있는 바이오피드백 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템을 이용해 주정중독증 환자들을 대상으로 바이오피드백 훈련을 실시하였다. 이완 바이오피드백 훈련을 실행하였으며 생체신호변화에 대해 퍼지이론을 적용하여 긴장상태를 판단하였다. 8명의 주정중독증 환자들이 실험에 참가하였으며 측정된 데이터를 분석한 결과는 다음과 같다. 1) 환자 군은 일반인에 비해서 높은 긴장도 값을 보였다. 2) 환자들의 긴장도 값은 훈련 회수가 증가함에 따라 감소하는 추세를 보였다.

Abstract : Biofeedback training is one of physiological self control methods for patients who has psychological problems and rehabilitational problems. It has been used to control blood pressure, heart rate, peripheral temperature, respiration, electromyography(EMG), and other biological signals that are not controlled by autonomic nervous system. In this study, Biofeedback system which measures five different physiological signals-EMG, respiration, heart rate, peripheral temperature, skin conductance level-was developed in house. We applied this system to alcohol dependent patients to perform biofeedback training. In this experiment, the relaxation biofeedback training for alcohol dependent patient was carried out and the tension state for the change of biological signals were estimated using the fuzzy theory after relaxation biofeedback training. Eight alcohol dependent patients were agreed to participate in this experiment. Result showed that 1) the tension degree of patients were higher than the tension degree of normal subject. 2) The tension degree of patients were decreased as the training numbers were increased.

Key words : Biofeedback, Fuzzy theory, Alcohol dependency, Electromyography, Peripheral temperature, Heart rate, Skin conductance level, Respiration.

서 론

일상생활에서 지니게 되는 긴장의 정도가 보통사람에 비해 지나치게 많은 사람들에게는 자율신경계의 이상으로 인한 질병이

발생하게 된다. 이러한 긴장상태를 학습을 통해 스스로 해결하도록 하는 것이 바이오피드백을 통한 치료방법이다. 이러한 바이오피드백을 이용한 치료방법은 1950년대에 미국에서 시작되었으며 특히 정신생리학적 이상이 있는 환자들에게 적용할 경우 그 효과가 크다고 알려져 있다[1-4]. 본 논문에서는 주정중독증 환자들의 음주습관은 높은 긴장상태에서 기인한다는 가설을 바탕으로 정신과에 입원 치료중인 주정중독증 환자들을 대상으로 바이오피드백을 이용한 긴장완화 훈련을 실시하여 긴장상태의

통신저자 : 성흥모, (220-710) 강원도 원주시 흥업면 연세대학교 의용전자공학과,
Tel. (0371)760-2809, Fax. (0371)761-4050,
E-mail : vineyard@bsplab.yonsei.ac.kr

표 1. 바이오피드백 하드웨어부의 특성
Table 1. Specification of Biofeedback system

	항 목	특 징
생체신호 계측부	근전도 계측	<ul style="list-style-type: none"> 표면전극을 이용해 전두근의 근전도를 측정 필터링 주파수 : 20~400Hz AD536을 이용하여 실효치값으로 출력.
	피부전기 전도도 계측	<ul style="list-style-type: none"> 필터링 주파수 : 0~5Hz 측정범위 : 0~20μMho. 포토커플러를 이용한 전기적 절연.
	말초체온 계측	<ul style="list-style-type: none"> 센서의 발열로 인한 오차를 줄이기 위해 저전류정전류원 사용 측정범위 : 15~48$^{\circ}$C
	호흡 계측	<ul style="list-style-type: none"> 호흡시의 온도 변화를 이용하여 측정함. 의료용 전용센서(400 Series)를 사용함.
	심박율 계측	<ul style="list-style-type: none"> 비관혈적 방법인 광전도 방식을 이용. 혈류량의 변화를 측정하여 심박율을 계산함. 적외선 센서(ST-1CL3, EL-1CL3)를 사용함.
데이터 수집 전송부	Microprocessor	RISC형인 PIC16C73
	A/D converter	MAX 191
	Sampling rate	120
	Resolution	12 bit
	Data communication	RS232C를 이용한 직렬통신 (19,200bps)

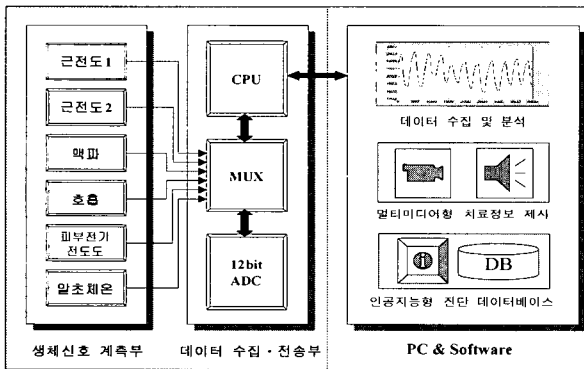


그림 1. 바이오피드백 시스템의 전체 구성
Fig. 1. Block diagram of biofeedback system

완화여부를 보고자 하였다. 환자의 긴장상태의 변화를 보기 위하여 신체의 긴장상태를 잘 나타내주는 다섯 종류의 생리신호 - 근전도, 호흡, 맥파, 말초체온, 피부전기전도도 - 를 측정하고 측정된 신호를 환자에게 피드백 할 수 있는 바이오피드백 시스템을 개발하였다. 지금까지의 바이오피드백에 관한 연구는 단순히 신호의 증가·감소만을 가지고 훈련의 성과를 판단하였으나 본 논문에서는 측정된 생체신호의 유기적인 관계를 분석하기 위해서 퍼지이론을 도입하여 다섯 가지 신호를 퍼지 입력으로 하고 긴장도 값을 출력으로 하는 퍼지 시스템을 구성하여 훈련 성과를 판단하였다.

바이오피드백 시스템

개발된 바이오피드백 시스템은 하드웨어부와 소프트웨어부로 구분된다. 하드웨어부는 생체신호를 측정하고 데이터를 수집·전송하는 기능을 하게 되며 소프트웨어부는 데이터를 저장하고 분석하는 기능을 한다. 본 연구에서 생체신호 계측을 위해 개발한 전체 시스템의 구성은 그림 1과 같으며 하드웨어부의 특징은 표 1과 같다.

1. 하드웨어부

각 신호의 측정을 위해 부착해야 하는 전극의 위치는 그림 2와 같다.

아날로그/디지털 변환기를 통한 데이터는 CPU에서 그림 3의 형태로 변환하여 PC로 전송하였는데 이는 PC에서 데이터를 수신할 때 각 생체신호를 구분하기 위해서 사용된 것이다. 각 생체신호의 데이터의 앞에는 C0~C5 값으로 신호의 채널을 표시하게 하여 데이터의 수신시 일어날 수 있는 오차를 최소화하였다.

2. 소프트웨어부

측정된 데이터는 RS-232를 통해서 PC로 전송되고 저장되며 그림 4의 화면으로 환자에게 보여지게 된다.

측정이 모두 끝난 환자의 생체신호 데이터는 각 생체신호별로 평균은 식(1)을 이용하였고 표준편차는 식(2)를 이용해 구하

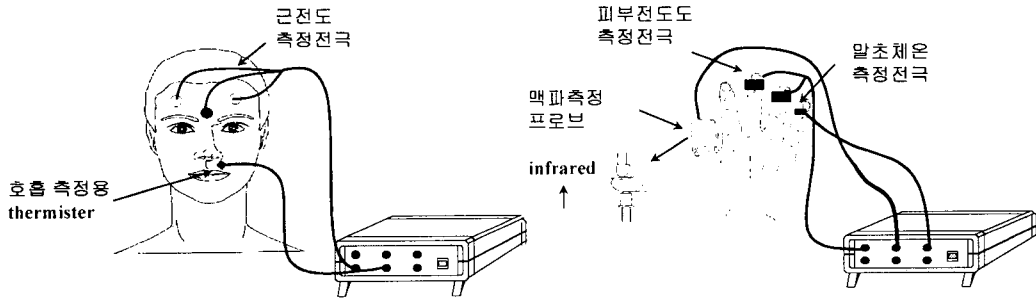


그림 2. 계측부의 신호측정을 위한 전극의 부착
Fig. 2. Electrode attachment for detection of biological signal

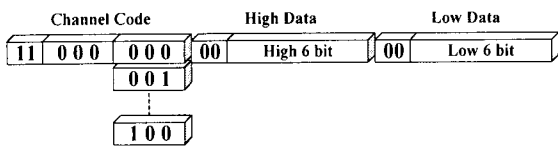


그림 3. 데이터 전송 형태
Fig. 3. Protocol of data transfer

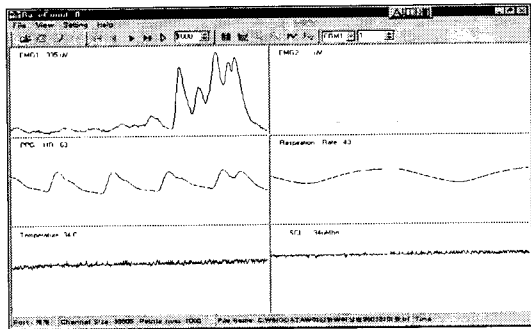


그림 4. 데이터 입력, 디스플레이 화면
Fig. 4. Screen of data input and real-time display

였다. 구해진 값은 그림5의 형태로 보여지게 된다. 신호별로 값의 변화를 나타내 줌으로 훈련에 따른 생체신호의 변화량을 차트를 통해 나타내게 하였다.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (2)$$

환자에 대한 정보는 그림 6의 환자정보 대화상자를 통해 입력하며 데이터화일과 함께 기억장치에 저장된다.

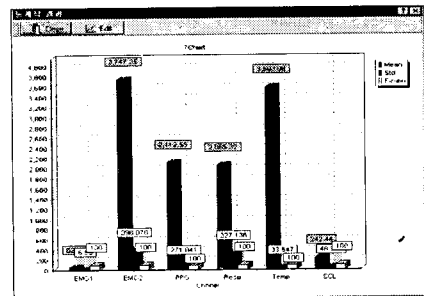


그림 5. 통계 데이터화면
Fig. 5. Screen of statistical data

그림 6. 환자정보 대화상자
Fig. 6. Patient information dialog box

퍼지시스템 구성

퍼지이론은 인간의 판단이나 감성과 같이 애매성을 포함한 판단 알고리즘을 IF-THEN 형식으로 표현하고 퍼지 추론을 이용하여 정량화 시키는 방법으로 추출된 파라미터의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나 얻어지는 정보가 부정확·불확실한 경우에 기존의 판단 알고리즘보다 우수한 평가 결과를 나타낸다[7-10]. 본 논문에서는 신체의 긴장상태를 나타내는 생리신호를 측정하여 생리학적 지식을 기반으로 하는 IF-THEN 규칙으로 퍼지 시스템을 구성하고 신체의 긴장정도를 추론하도록 그림 7과 같이 퍼지시스템을 구성하였다.

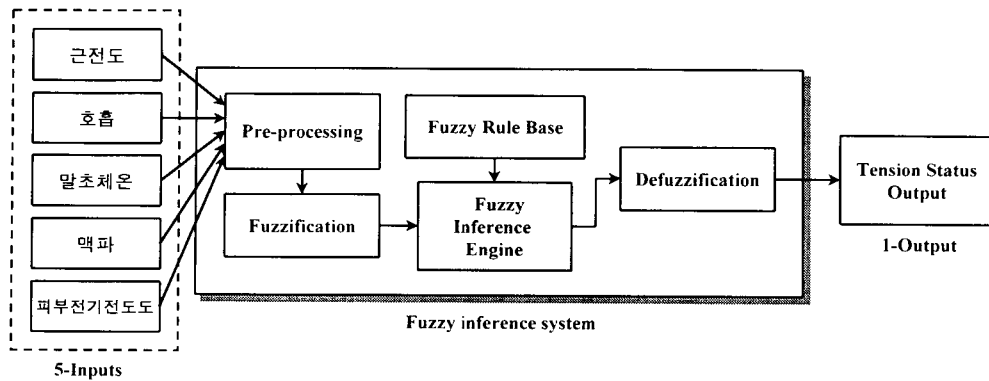


그림 7. 긴장상태 평가를 위한 퍼지시스템의 구조
 Fig. 7. Fuzzy system for estimate tension state

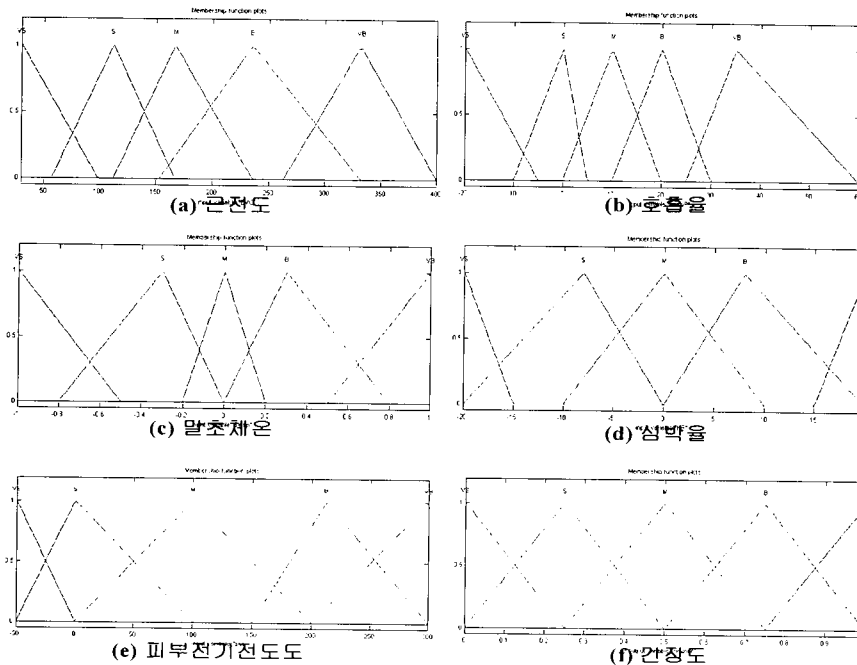


그림 8. 입·출력 데이터의 소속함수
 Fig. 8. Membership function of each data

저장된 데이터의 분석에는 Matlab Fuzzy Toolbox를 이용하였다. 퍼지이론을 적용하기 전에 저장된 생체데이터는 우선 전처리 과정을 거친 후 퍼지화 과정에 입력되는데 전처리 과정에서는 다음과 같은 과정을 수행한다.

- 고주파 노이즈를 제거.
- 호흡 파형에서 호흡율을 계산.
- 맥파에서 심박을 계산.

1) 퍼지화(fuzzifier)

퍼지화 과정에 사용되는 멤버함수(membership function)에는 사다리꼴 함수, 가우시안 함수, 종모양 함수, 삼각형 함수 등이

있다. 이 중에서 삼각함수가 계산속도가 빠르고 데이터 변수의 공간을 보다 작고 잘 정의된 퍼지 영역으로 변환하는 장점을 가지고 있기 때문에 가장 널리 이용된다[8,9]. 따라서 본 논문에서도 삼각형 멤버함수를 이용하여 퍼지화를 실행하였다. 이 때 각 생체신호와 최종출력인 긴장도에 사용된 소속함수는 그림 8과 같다. 여기서 언어변수의 값은 VS(very small), S(small), M(medium), B(big), VB(very big)의 다섯 단계로 구분하였으며 삼각형 소속함수를 사용하였다.

2) 퍼지추론엔진(fuzzy inference engine)

그림 9의 퍼지추론 엔진에서는 Min-Max 방법을 사용하는

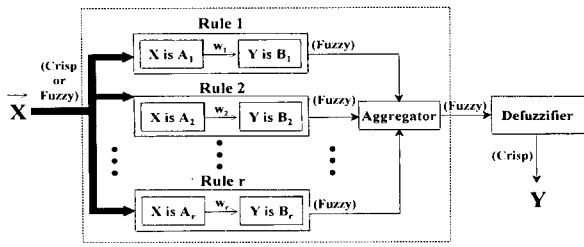


그림 9. 퍼지 추론 엔진의 구성도
Fig. 9. Structure of fuzzy inference engine

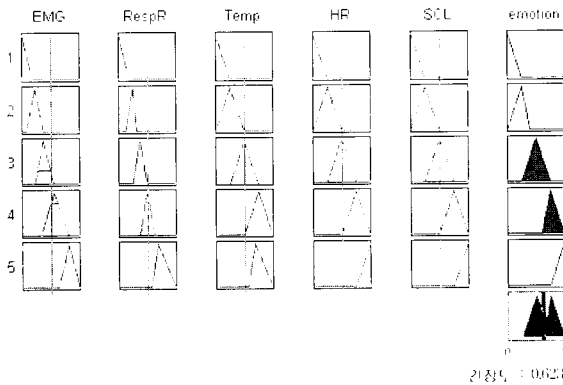


그림 10. Mamdani 규칙을 이용한 퍼지추론의 예
Fig. 10. An Example of fuzzy estimation using Mamdani rule

Mamdani 추론방법을 사용하였다. Mamdani 추론 방법은 가장 널리 사용되는 추론 방법으로 계산속도가 빠르고 정확하다는 장점을 가지고 있다[7-9]. 식(3)과 같은 IF-THEN 규칙을 사용해 추론엔진을 구성하게 된다.

$$IF x_1 \text{ is } A_1^i \text{ and(or)... and(or) } x_r \text{ is } A_r^i \text{ THEN } y \text{ is } B^i \quad (3)$$

퍼지추론에 이용되는 지식기반(knowledge base)은 식(3)의 형태를 이용하여 식(4)의 형태로 작성한다. 식(4)는 지식기반에 사용되는 퍼지 규칙의 예로 본 논문에서는 총 10개의 퍼지 규칙을 설정하여 퍼지추론엔진을 구성하였다.

1. If ((EMG is VS) or (RespR is VS) or (HR is VS) or (SCL is VS)) then (Tension is VS)
2. If ((EMG is S) or (RespR is S) or (HR is S) or (SCL is S)) then (Tension is S)
3. If ((EMG is M) or (RespR is M) or (HR is M) or (SCL is M)) then (Tension is M) (4)

그림 10은 그림 8에서의 소속함수를 각생체신호에 적용하여 그림 9와 같이 구성한 퍼지 추론 엔진을 사용한 한 예이다. 이러한 과정을 모든 데이터에 적용하여 긴장도 값을 구하게 되며 구해진 긴장도 값의 변화는 신체의 전반적인 긴장상태의 변화를

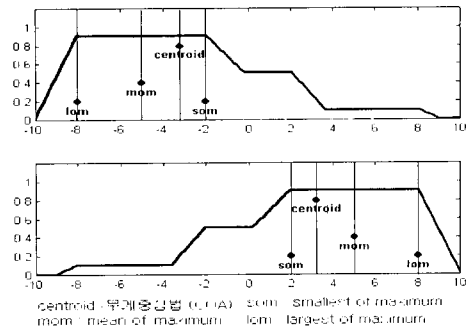


그림 11. 비퍼지화 방법
Fig. 11. Type of defuzzification method

나타내게 된다. 또한 각 실험별로 전체 긴장도의 평균을 나타내게 하여 실험별로 전체적인 긴장도의 변화가 어떠한지를 알 수 있도록 하였다.

4) 비퍼지화(defuzzifier)

비퍼지화 방법에는 그림 11과 같은 여러 방법들이 있으나 이 중에 무게중심법(center of gravity)을 사용하였다. 무게중심법은 식(5)로 계산할 수 있다[7-9]. 최종 출력된 긴장도 값은 0~1 사이의 값으로 출력되게 하였으며 0은 완전하게 이완된 상태, 1은 완전하게 긴장된 상태를 나타내게 된다.

$$x = \frac{\int x \times \mu(x) dx}{\int \mu(x) dx} \quad (5)$$

실험내용

개발된 바이오피드백 시스템을 이용한 긴장완화 실험은 주정중독증 환자들을 대상으로 하였다. 사람이 지속적으로 음주를 하게 되는 이유는 여러 가지가 있으나 그 중 가장 설득력 있는 이론이 긴장완화가설이다. 긴장완화가설은 음주를 지속적으로 하게되는 사람은 보통사람보다 높은 긴장상태를 유지하고 있으며 이러한 긴장상태를 완화시키기 위해서 음주를 하게 되며 음주로 인해 긴장이 완화되는 보상을 얻게 된다는 것이다. 음주로 인한 보상과정이 반복되면 점차적으로 음주량이 증가하고 지속적인 음주를 하게 되어 일상적인 생활이 어렵게 된다는 이론이다[12,13]. 따라서 본 논문에서는 주정중독증 환자의 긴장도를 완화시키는 방법으로 바이오피드백을 이용한 긴장 완화 훈련을 실시하였으며 측정된 생리신호는 퍼지 이론을 이용하여 분석하여 훈련효과를 분석하고자 하였다.

바이오피드백 훈련은 환자 자신의 의지가 가장 중요한 요인이기 때문에 실험대상에는 정신과에 입원 치료중인 주정중독증 환자 중에서 실험에 참가할 것을 동의한 8명(남자 7명, 여자 1명) 대상으로 하였다. 기기나 실험에 대한 거부감이 긴장도에

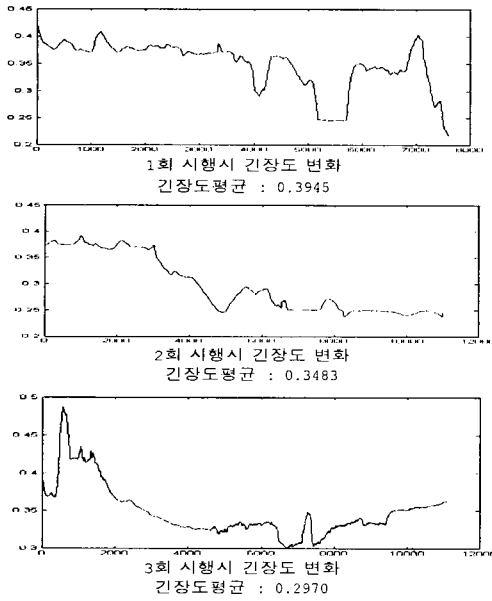


그림 12. 이완훈련에 따른 긴장도 변화
Fig. 12. Change of tension status from relaxation training

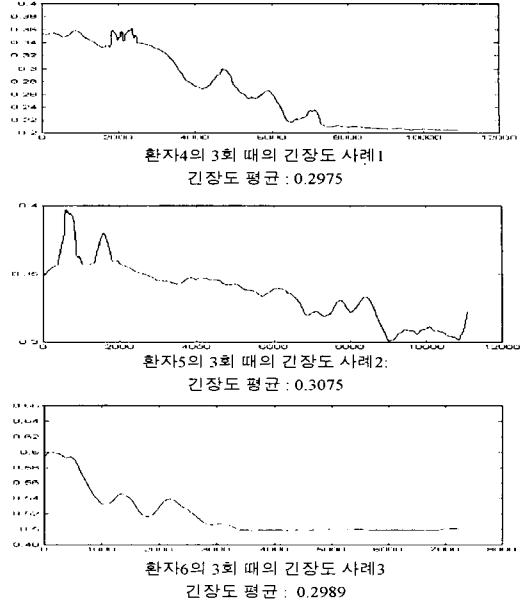


그림 13. 이완훈련 3회시의 긴장도 변화
Fig. 13. Change of tension at 3rd relaxation training

표 2. 주정중독증 환자의 이완훈련 후 긴장도 변화
Table 2. Tension Status Change of Alcohol dependent patient after Relaxation Training

환자	1회	2회	3회
환자1	0.3954	0.3483	0.2970
환자2	0.5850	0.3034	0.3224
환자3	0.5937	0.2522	0.4000
환자4	0.4223	0.3364	0.2975
환자5	0.2136	0.3858	0.3075
환자6	0.5695	0.3688	0.2989
환자7	0.4125	0.4025	0.4196
환자8	0.2947	0.3640	0.2366
평균	0.4358	0.3451	0.3224

영향을 미칠 수 있으므로 실험 전에 정신과 전문의를 통해 사전에 실험에 대한 설명을 충분히 하여 편안한 상태에서 실험할 수 있도록 하였다. 실험은 정신과 전문의에 의해 각 환자마다 긴장완화 훈련을 이틀 간격으로 3번씩 시행하였다.

각 훈련은 모두 10분으로 이루어졌으며 전극부착에 대한 거부감을 없애기 위해 실험 전에 실험에 대한 설명을 충분히 한 후 전극을 부착하였다. 처음 5분은 초기상태로 전문의와 대화상태를 유지하면서 신호를 측정하였고 나중 5분은 불을 소등한 상태에서 전신이완을 하도록 한 후 모니터에 나오는 생체신호를 보며 신체의 전신 이완을 유도하였다.

실험 결과 및 고찰

표2에서는 이완훈련을 실시한 각 환자들의 이완시의 긴장도 변화값을 나타내었다. 표2에 나타난 긴장도 값은 이완훈련 5분 동안의 값의 평균값을 구해서 나타내었다. 대부분의 환자들의 긴장도 값은 훈련회수의 증가에 따라 감소함을 볼 수 있다.

그림 12는 환자1의 이완훈련이 증가함에 따라 변화한 긴장도 값을 나타낸 것이다. 이완훈련이 증가함에 따라 전체적인 긴장도가 낮아지고 긴장완화 상태에 이르는 시간도 빠르게 됨을 알 수 있었다. 그림 13은 환자4~6의 마지막 이완훈련이 끝난 후의 결과만을 나타낸 것이다. 처음 훈련을 시작했을 때 비해서 이완에 이르는 시간이 짧아지고 긴장도의 평균값도 낮아짐을 볼 수 있다.

5종류의 생체신호 중에서 긴장상태에 가장 민감하게 변화하는 것은 말초체온과 피부전기전도도의 반응이었다. 그림 14에서 보면 긴장도의 변화 모양은 피부전기전도도, 말초체온 등의 변화 모양과 유사한 형태로 변화함을 볼 수 있다.

그림 15는 같은 조건하에서 1회에 한해 측정된 정상인과 환자군의 긴장도를 비교한 것이다. 정상인의 경우 환자군에 비해서 약간 낮은 긴장도 값을 나타내었다.

그림 16은 모든 환자들의 이완시의 긴장도 값을 평균하여 그 변화를 본 것이다. 실행회수가 증가할 수록 긴장도의 수준이 점차로 낮아짐을 볼 수 있다. 각 실행회수별로 t-test를 해 본 결과 1회와 3회 사이에는 의미 있는 차이를($p < 0.05$) 보였으나 1회와 2회, 2회와 3회 사이에는 의미 있는 차이를 보이지 못했다($p > 0.05$).

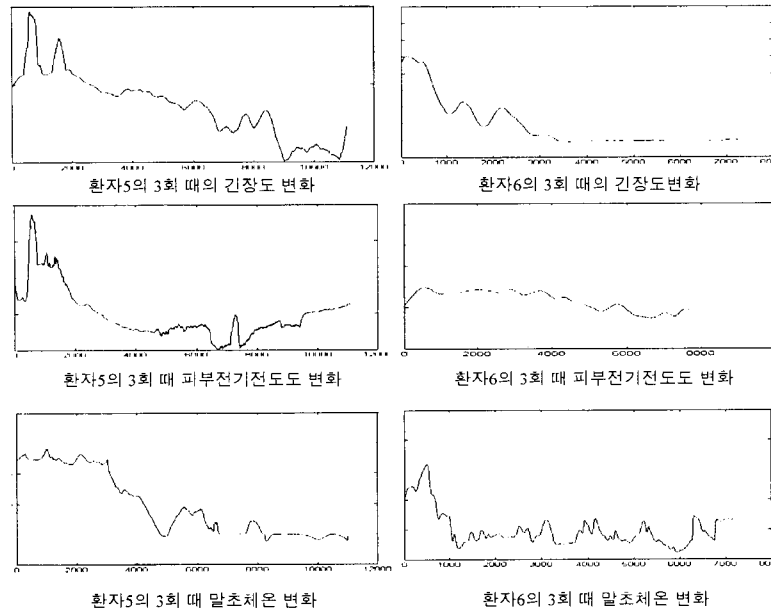


그림 14. 긴장도, 피부전도도, 말초체온의 변화
 Fig. 14. Change of tension status, skin conductance, temperature

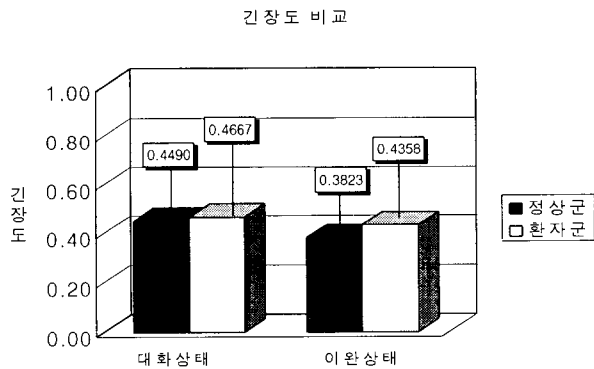


그림 15. 정상군과 환자군의 대조
 Fig. 15. Comparison with normal subject

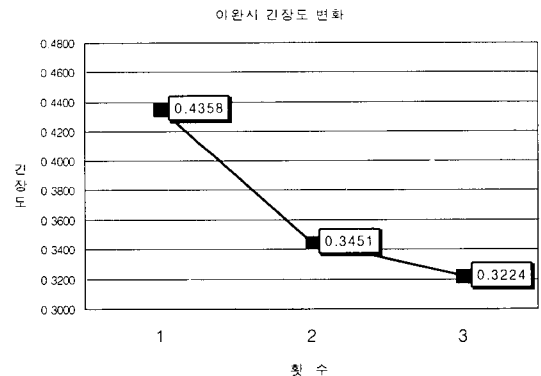


그림 16. 이완시의 긴장도 변화
 Fig. 16. Change of tension at relaxation time

그림 16의 결과는 주정중독증 환자에 대한 단기간의 훈련에 의한 결과만을 본 것으로 이러한 긴장도 감소효과에는 위약효과 (placebo effect)에 의한 영향도 있을 것으로 생각된다. 따라서 바이오피드백 훈련에 의한 성과를 보다 정확히 파악하기 위해서는 장기간의 훈련에 의한 효과를 관찰하여야 하며 바이오피드백의 본래 목적이 환자 스스로 자신의 신체상태를 조절할 수 있게 하는 것이므로 퇴원 후의 추적조사(follow-up test)도 필요할 것으로 생각된다.

결 론

본 연구에서는 주정중독증 환자의 긴장을 완화시키는 방법으로 바이오피드백을 이용한 이완훈련을 실시하였다. 이완훈련

에 의한 긴장도 완화 효과를 보기 위하여 신체의 긴장상태를 잘 나타내 주는 5종류의 생체신호를 측정할 수 있는 바이오피드백 측정장비 및 소프트웨어를 개발하였다.

개발된 바이오피드백 시스템을 이용하여 주정중독증 환자들을 대상으로 한 이완훈련을 실시한 결과 훈련 전에 비해서 이완에 이르는 시간이 단축되었으며 긴장도 값이 감소함을 볼 수 있었다. 본 논문에서는 환자들의 객관적 평가방법인 생체신호만을 이용하였으나 추후 연구에서는 설문조사와 같은 주관적 평가방법도 병행하여 퍼지 시스템에 추가한다면 더욱 정확한 긴장도의 평가가 이루어지리라 생각된다. 현재 바이오피드백은 다양한 분야에 응용되고 있으므로 다른 증세로 인해 불안장애를 겪는 환자들이나 기타 다른 증상들에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Mark S. Schwartz and Associates, "*Biofeedback a Practitioner's Guide*", The Guilford Press, 1995
2. John V. Basmajian, "*Biofeedback : Principle and practice for clinicians*", Williams&Wilkins, 1989
3. 기백식, 이재광, 박두병, 이길홍, "Biofeedback 임상응용에 관한 개요", *한국의과학*, 제21권, 제1호, pp34-37, 1989
4. 윤형로, 김광준, "휴대용 불안 측정기 개발에 관한 연구", *의공학회지*, Vol.12, No.4, pp235-241, 1991
5. 성홍모, 신재우, 윤영로, 윤형로, 강동주, "바이오피드백 시스템 개발에 관한 연구", *대한의용생체공학회 춘계학술대회*, 제19권, 제1호, pp453-456, 1997
6. 신재우, 윤영로, 박세진, "생체신호와 퍼지이론을 이용한 스트레스 평가에 관한 연구", *한국감성과학회 98년 춘계학술 발표논문집*, pp171-175, 1998
7. Li-Xin Wang, "*A course in Fuzzy Systems and Control*", Prentice-Hall, 1997
8. Fuzzy Logic Toolbox Manual, MathWorks, 1995
9. Earl Cox, "*Fuzzy System Handbook*", Academic Press, 1995
10. Donna L. Hudson, Maurice E. Cohen, "*Fuzzy Logic in Medical Expert Systems*", *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, Vol.13, No.5, pp693-698, 1994
11. Lucien Duckstein, Aleksandra Blinowska, "*Fuzzy Classification of Patient State with Application to Electrodiagnosis of Peripheral Polyneuropathy*", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol.42, No.8, pp786-792, 1995
12. 장덕환, 황상중, 김철규, "주정중독에서의 근전도 바이오 피드백의 치료적 적용에 관한 연구", *신경정신의학*, Vol.25, No.4, pp.565-571, 1986
13. Frank Schneider, Thomas Elbert, Hans Heiman, Andres Welker, Friedhelm Stetter, Regina Mattes, Niels Birbaumer and Karl Mann, "*Self-regulation of slow Cortical Potential in Psychiatric Patient : Alcohol Dependency*", *Biofeedback and Self-regulation*, Vol.18, No.1, pp23-33, 1993