Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.21, No.2, pp.59-70, July 2002

생체신호와 퍼지이론을 이용한 스트레스에 대한 반응과 회복의 평가*

Evaluation of Stress Response and Recovery using Biosignals and Fuzzy Theory

설아람**, 신재우**, 성홍모**, 이철규***, 윤영로**

ABSTRACT

This paper is about the evaluation of stress response and recovery using biosignals and fuzzy theory. We caused mental stress by means of a coin-stacking task. During the experiment, 4 kinds of biosignals, including frontalis EMG, ECG, peripheral skin temperature and skin conductance level, were acquired. Then, the degree of stress was assessed by synthetically analyzing those signals using fuzzy inference. From the fuzzy inference result, the parameters (amount of physiological change / amount of imposed stress) and (time to 25% recovery), which represent response and recovery respectively, were derived. We made a two-dimensional point graph using the response parameter as an abscissa and the recovery parameter as an ordinate for each subject.

Keyword: stress, response, recovery, biosignal, fuzzy

* 이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2000-003-E00196).
** 연세대학교 보건과학대학 의공학과
주 소 : 강원도 원주시 흥업면 매지리 234 연세대학교
백운관 109호 (우편번호 : 220-710)
전 화 : 033-760-2805
E-mail : yoon@dragon.yonsei.ac.kr
*** 연세대학교 첨단의료기기 기술혁신센터

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

1. 서 론

Hans Selye는 스트레스를 "생성된 어떤 요구에 따른 신체의 비특이성 반응"이라고 정의하였다(Selye, 1974). 과도한 스트레스가 지속적으로 가해지는 경우에는 건강이나 업무에 부정적인 영향을 끼친다. 삶의 질을 향상시키고 생산성을 증대시키기 위해서는 스트레스가 적게 유발되는 환경을 조성해야 하는데, 이를 위해서는 우선적으로 스트레스의 정량화가 가능해야 한다.

본 논문의 선행연구에서는 동전쌓기 작업으로 정신적인 스트레스를 유발하고, 피험자로부터 획득한 생체신호들을 분석하여 스트레스를 평가하였다(신재우 등, 1998, 1999 ; Shin, et al., 1998). 스트레스 평가방법에는 여러 가지가 있는데, 그 중에서 생체신호 분석을 통한 연구가 활발히 이루어져, 목소리의 음성, 피부전도도, 뇌파, 피부온도 등의 신호에 의한 분석법 등이 소개되어 있다. 하지만, 스트레스는 생체의 복잡한 기전에 의하여 형성되고, 개인에 따라 가장 뚜렷하게 반응을 보이는 생체신호가 매우 다르게 나타난다. 그러므로 스트레스 반응을 단일한 생체신호만을 가지고 평가하는 것은 오차가 크고 신뢰성이 적어서, 여러 개의 생체신호들을 종합적으로 분석하기 위해 퍼지이론을 도입하였다.

선행연구에서는 동전쌓기 작업을 통해 유발된 스트레스에 대한 인체의 반응만을 관찰하였다는 한계점이 있다. 이렇듯 스트레스에 대한 기존의 연구들은 대개 스트레스에 대한 인체의 반응에 관한 것이었고, 스트레스 요인이 사라진 후에 나타나는 회복에 대해서는 상대적으로 관심이 적었다. 하지만, 점점 스트레스 후의 회복에 대해서도 주목하는 연구가 증가하고 있다. 스트레스 요인이 사라진 후에 인체 내의 활동들이 안정상태로 돌아오는 능력, 즉 회복능력이 생체기능의 건강한 작용과 항상성을 위한 중요한 요소일 것으로 추측되고 있기 때문에, 회복은 유용한 생리학적 지표로서 여겨지고 있다(Gillin, et al., 1996).

본 연구의 목적은 선행연구를 보완하여 동전쌓기 작업으로 인한 스트레스의 변화를 반응과 회복단계 모두에서 관찰해보고, 생체신호를 이용한 스트레스의 정량화와 분석을 시도해보는 것이었다.

2. 본 론

2.1 실험 프로토콜

본 실험에서는 동전쌓기 작업에 의해 피험자에게 정신적인 스트레스를 부과하였다. 동전쌓기 작업은 다음과 같은 특징들을 지니고 있어서, 실험을 위한 인위적인 스트레스 유발 방법으로 적당하다(신재우 등, 1998, 1999 ; Shin, et al., 1998).

i) 비교적 짧은 시간 안에 스트레스 상태를 유발시킬 수 있다.
ii) 주관에 의해 스트레스 정도를 느끼는 개인차가 적다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

iii) 시간의 변화에 따른 스트레스의 변화상태를 구분 짓기가 용이하다.

본 실험은 오른손잡이인 20대의 건강한 남자 대학(원)생 17명을 대상으로 하였다. 실험은 전자파 차폐실에서 수행하였고, 실험 당시 차폐실 내의 온도는 18℃였다. 실험 전에 피험자에게 생체신호 획득에 필요한 전극들을 부착하였고, 탁자 위에 5개씩을 한 무더기로 하여 쌓은 10원 짜리 동전 25무더기를 준비하였다. 피험자에게 동전쌓기 작업에서 동전을 한번에 한 무더기씩만 이동시키도록 하였고, 쌓은 동전 무더기를 손으로 붙잡고 있지 못하도록 하였다. 또, 전극을 부착한 손(왼손)과 전두근을 인위적으로 움직이지 않도록 하였다. 그리고 실험 중에는 말을 하지 못하도록 하였으며, 생체신호 데이터가 나타나는 컴퓨터 화면을 보지 않도록 하였다.

그림 1은 본 연구의 실험 프로토콜에 대한 설명이다. 피험자들은 실험의 초기 30초 동안에는 휴식을 취했고, 그 이후부터 동전을 이동시켜 쌓아 올라갔다. 90초의 제한시간 내에 준비된 모든 동전들을 한 지점에 무너뜨리지 않고 쌓아올리도록 요구되었고, 실험자는 10초마다 남은 시간을 육성으로 알려주었다.

실험이 끝난 후에 피험자들과 면담을 해본 결과, 남은 시간을 알려주는 것이 피험자들의 불안감과 긴장정도를 고조시켜서 스트레스를 높이는 데에 상당히 효과적이었다고 한다. 제한시간이 얼마 남지 않은 상황에서도 피험자가 동전을 느리게 쌓을 경우에는 실험자가 피험자에게 동전을 빨리 쌓도록 재촉했다. 동전이 무너지면, 피험자는 동전쌓기 작업을 중지하고 다시 휴식에 들어갔다.

2.2 생체신호 획득

실험을 하는 동안 피험자로부터 총4가지의 생체신호(전두근의 근전도, 심전도, 말초의 피부온도, 피부전도도) 데이터를 획득하였다. 생체신호 데이터를 획득하는데 사용한 실험장비는 Biopac Systems사의 MP100 systems hardware와 AcqKnowledge software Version 3.5.3이다. 샘플링률은 1000Hz이었다. 전극을 부착할 때에는 체온과 센서의 온도가 열평형 상태에 도달하는데 소요되는 시간을 고려하여, 온도측정용 센서를 가장 먼저 부착하였다.

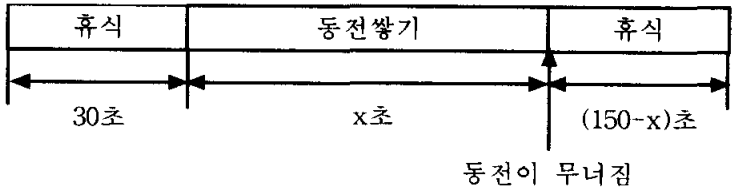

그림 1. 실험 프로토콜

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

2.2.1 전두근의 근전도

스트레스를 받으면 전두근의 수축력이 증가되어 근전도의 레벨이 증가된다. 피부의 임피던스를 5KΩ 이하로 낮추기 위해서, 이마를 알코올로 소독한 후에 bipolar 표면전극을 부착했다. 단일 근육 상에 있는 두 지점의 근전도를 측정해야 하므로, 두 전극은 전두근의 근섬유 방향과 일치하게 수직방향으로 부착했다. 두 전극간의 거리는 1cm로 하였으며, 접지는 왼쪽 목에 위치시켰다.

2.2.2 심전도

스트레스를 받으면 심박률이 증가된다. 왼쪽 가슴과 오른쪽 가슴 부분에 bipolar 표면전극을 부착하고, 오른쪽 배 부분에 접지를 위치시켰다.

2.2.3 말초의 피부온도

피부온도는 뇌에서 일어나는 정보처리 과정을 반영하는 교감신경의 활동에 영향을 받기 때문에, 스트레스를 객관적으로 평가하는 데에 효과적으로 사용될 수 있는 지표이다. 스트레스를 받으면 말초부위인 피부로 공급되는 열의 양이 감소하고, 혈관의 수축으로 인하여 혈류량이 감소하므로, 피부의 온도가 낮아진다. 이러한 현상은 특히 손가락의 끝이나 코처럼 신체의 말단에서 가장 두드러지게 나타난다(Barnea and Shusterman, 1995 ; Kataoka, et al., 1998). 본 연구에서는 왼손 검지 말단에 온도측정 센서를 반창고로 감아서 피부온도를 측정하였다.

2.2.4 피부전도도

스트레스를 받으면 땀의 분비가 증가되어, 피부전도도가 증가된다. 왼손의 중지와 약지에 전극을 부착하였다.

2.3 생체신호 처리

획득한 생체신호 데이터를 전처리하여, 퍼지추론시스템의 입력으로 사용하였다. 퍼지추론시스템에 의해 스트레스를 평가하였고, 출력으로 스트레스 정도를 얻었다(신재우 등, 1998, 1999 ; Shin, et al., 1998). 그리고 스트레스 추론결과를 후처리하였다(그림 2 참조).

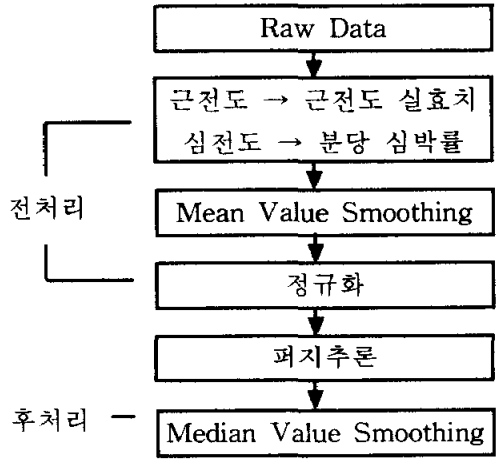

그림 2. 생체신호 처리과정 순서도

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

2.3.1 전처리

근전도 신호로부터 근전도 실효치를, 심전도 신호로부터 분당 심박률을 검출하였다. 그리고 moving average filter를 이용해서 mean value smoothing을 하여, 고주파 잡음을 제거하였다. 본 연구에서 관심 있는 변수는 생체신호의 절대적인 값이 아니라, 스트레스로 인한 생체신호의 변화량이다. 따라서 각 신호값에서 휴식기에서의 신호값을 빼주어서, 신호의 초기값을 0으로 맞추어 주었다. 이렇게 함으로써 모든 피험자에 대한 초기 상태를 같게 하여, 퍼지추론시스템에는 스트레스로 인한 생체신호의 변화량만이 입력되도록 하였다.

2.3.2 퍼지를 이용한 스트레스 추론

퍼지이론은 시스템이 복잡하고 애매하여 기존의 수학적 도구들로는 개발과 분석이 어려운 경우를 해결하기 위하여 만들어졌다. 퍼지이론은 기존의 방법들로는 해석이 불가능하거나 얻어지는 정보가 부정확, 불확실한 경우에 우수한 성능을 보인다(Cox, 1999 ; Yen and Langari, 1998).

퍼지추론시스템은 퍼지규칙의 구성이 직관적이어서 인간의 지각이나 감성의 추론에 적합한 Mamdani 모델을 기반으로 하여 구축하였다. 시스템의 입력으로는 근전도 실효치[EMG(RMS)], 분당 심박률[HR], 말초의 피부온도[SKT], 피부전도도[SCL]의 4가지 생체신호들을 넣었고, 출력으로는 스트레스 정도[Stress]를 얻었다(그림 3 참조). 스트레스 정도의 평가결과는 0부터 1까지의 값을 갖는데, 값이 클수록 스트레스 정도가 큼을 의미한다.

퍼지 if-then 규칙은 스트레스 자극에 대한 반응으로 나타나는 생체신호의 변화를 바탕으로 설정하였다. 즉, 스트레스를 받으면 전두근의 근전도가 상승하고, 말초의 피부온도가 감소하고, 심박률이 증가하고, 피부전도도가 상승한다는 사실에 근거하여 다음과 같은 if-then 추론규칙을 도출해냈다.

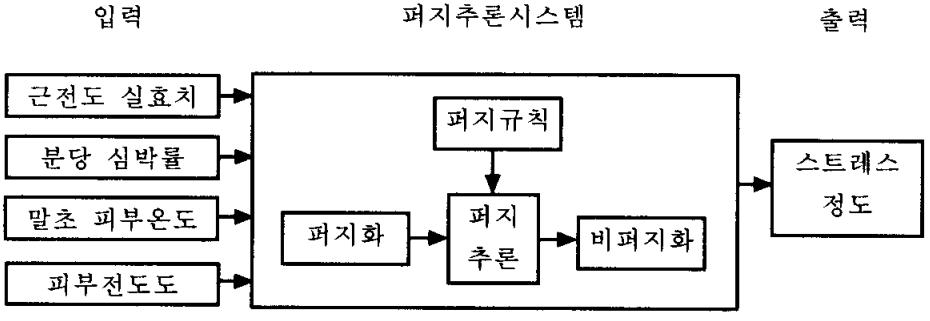

그림 3. 스트레스 평가에 사용된 퍼지추론시스템

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

1. If (EMG(RMS) is VS) or (HR is VS) or (SCL is VS) then (Stress is VS).
2. If (EMG(RMS) is S) or (HR is S) or (SCL is S) then (Stress is S).
3. If (EMG(RMS) is M) or (HR is M) or (SCL is M) then (Stress is M).
4. If (EMG(RMS) is B) or (HR is B) or (SCL is B) then (Stress is B).
5. If (EMG(RMS) is VB) or (HR is VB) or (SCL is VB) then (Stress is VB).
6. If (SKT is VS) then (Stress is VB).
7. If (SKT is S) then (Stress is B).
8. If (SKT is M) then (Stress is M).
9. If (SKT is B) then (Stress is S).
10. If (SKT is VB) then (Stress is VS).

언어변수의 값은 VS(Very Small), S(Small), M(Medium), B(Big), VB (Very Big)의 5가지로 구분하였고, 입력변수들과 출력변수에 대해 그림 4와 같이 삼각형 형태의 소속함수를 사용하였다.

비퍼지화에는 centroid 방법을 사용하였다. Centroid 방법은 모든 규칙들로부터 얻은 지식을 결합하고, 적절한 가중치를 주어 결과를 도출해 내기 때문에 오차가 적다. 또, 계산도 용이하여 가장 많이 쓰이는 비퍼지화 기법이다. Centroid 방법은 출력 소속함수에 대해 가중치를 주어 계산한 평균, 즉 무게중심을 찾아내는 방법이다. 계산과정은 식 (1)로 나타난다.

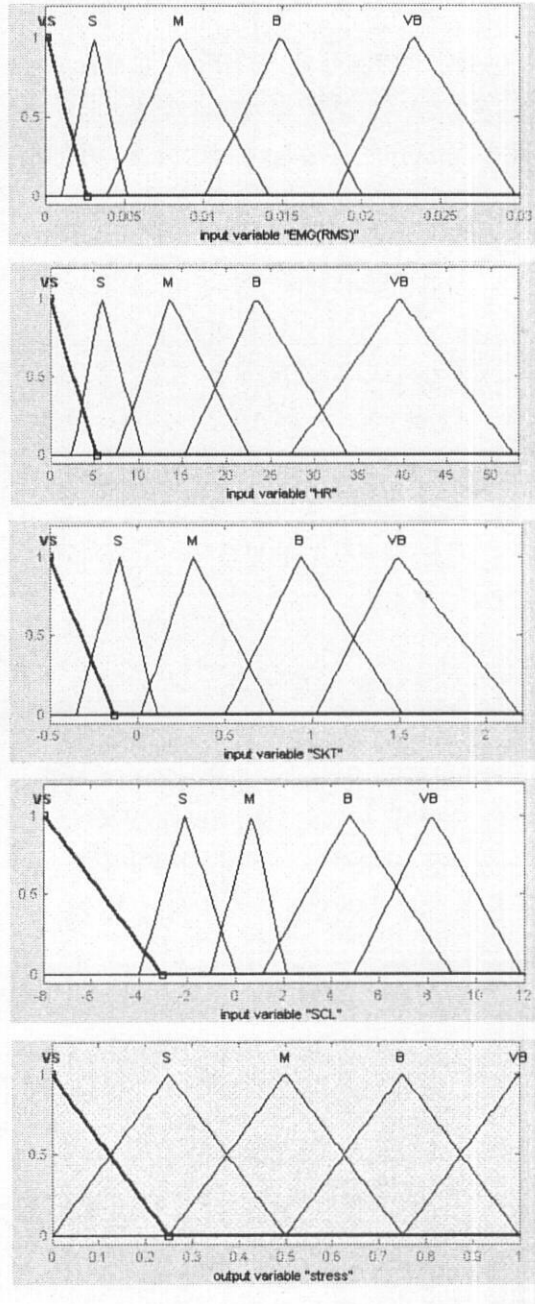

그림 4. 입, 출력 소속함수

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

$$\Re = \frac{\sum_{i=0}^{n} d_i \mu_A(d_i)}{\sum_{i=0}^{n} \mu_A(d_i)} \quad (1)$$

A : 출력으로 나온 퍼지 영역
d : i번째 영역값
μ(d) : 해당 범위의 실제 영역값

2.3.3 후처리

퍼지추론 결과에 median filter를 이용한 median value smoothing을 하여 고주파 잡음을 제거하였다.

2.4 추론결과 분석

퍼지추론의 결과로 얻어진 스트레스 상태 진행 템플릿을 분석하였다.

2.4.1 스트레스에 대한 반응 분석

동전쌓기 작업의 경우에는 동전을 쌓을수록 쌓인 동전의 높이가 높아지므로 동전을 쌓기가 점점 어려워진다. 즉, 부과되는 스트레스의 정도가 동전을 쌓아갈수록 증가한다. 따라서 정확한 스트레스 부과량을 계산해 내려면 동전의 높이에 따라 가중치를 주어야 한다. 본 연구에서는 스트레스가 부과된 시간, 즉 동전을 쌓은 시간에 쌓인 동전의 높이에 정비례하는 가중치를 주어서 스트레스 부과량을 계산하였다. 그리고 반응기 동안에 증가한 스트레스 정도인 생리변수의 변화량을 계산하였다. (생리변수의 변화량 / 스트레스 부과량)을 반응기의 특성을 나타내는 지표로서 사용하였다.

2.4.2 스트레스로부터의 회복 분석

휴식기에서 얻어진 스트레스 평가값의 최저치를 최소값으로, 동전이 무너진 시점을 전후하여 얻어진 스트레스 평가값의 최고치를 최대값으로 정하였다. 그리고 스트레스 평가값이 최대값에서 최소값으로 25%, 50%, 100%만큼 회복되는 데에 소요되는 시간을 구했다. 생체신호를 측정하는 시간을 충분히 할당하지 않아서, 실험이 끝날 때까지 대부분의 피험자가 50% 또는 100%의 회복을 하지 않았다. 따라서 (25%의 회복에 걸리는 시간)을 회복기의 특성을 나타내는 지표로서 사용하였다.

2.4.3 스트레스에 대한 반응과 회복 평가

스트레스에 대한 반응과 관련된 파라미터인 (생리변수의 변화량 / 스트레스 부과량)을 가로축의 좌표로 하고, 스트레스로부터의 회복과 관련된 파라미터인 (25%의 회복에 걸리는 시간)을 세로축의 좌표로 하여, 각 피험자들에 대한 순서쌍을 점들로 표시하여 그래프를 만들었다. 가로축의 좌표는 스트레스에 대한 민감도와 관련이 있는데, 값이 클수록 스트레스에 민감하게 반응하는 경우이고 값이 작을수록 스트레스에 대해 둔감하게 반응하는 경우이다. 세로축의 좌표는 스트레스로부터의

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

회복속도와 관련이 있는데, 값이 클수록 회복이 느린 경우이고 값이 작을수록 회복이 빠른 경우이다. 스트레스에 대해 둔감하게 반응하고 빠르게 회복하는 것이 스트레스에 잘 대처하는 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생체신호 획득

그림 5는 9번째 피험자에 대한 생체신호 raw data이다. 스트레스가 부과되면서, 전두근의 긴장으로 인해 근전도가 상승하였고, 심박률의 증가로 인해 심전도에서 R파간의 간격이 조밀해졌다. 또, 말초로 가는 혈류의 감소로 인하여 말초의 피부온도가 감소하였고, 손바닥에 있는 땀샘의 활동이 증가되어 피부전도도가 상승하였다. 동전을 쌓아갈수록 부과되는 스트레스의 정도가 증가하므로, 스트레스로 인한 생체신호의 변화도 증가한다. 9번째 피험자의 경우에는 실험 후 116초가 되는 시점에 동전이 무너졌다. 동전이 무너진

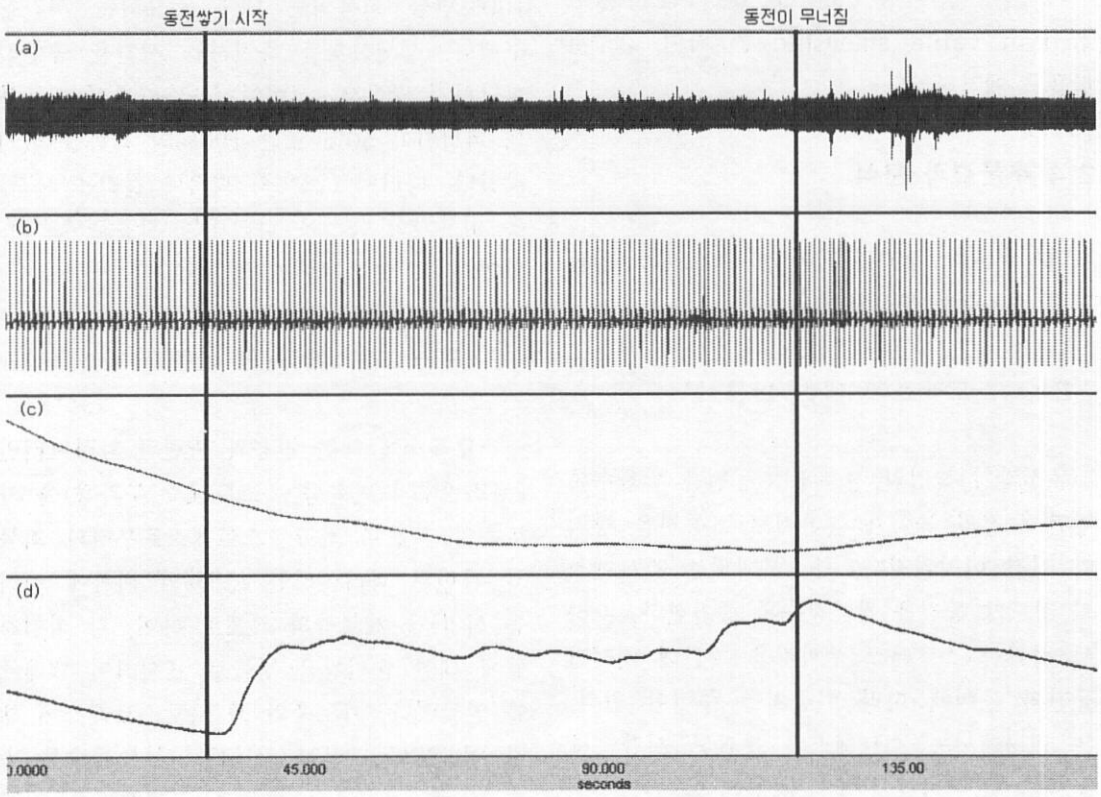

그림 5. Raw data.
(a) 전두근의 근전도 (b) 심전도 (c) 말초의 피부온도 (d) 피부전도도

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

시점을 전후하여 스트레스에 따른 생체신호의 반응이 가장 뚜렷하게 나타났다. 동전이 무너진 이후부터는 피험자가 휴식을 취했고, 스트레스로부터 회복되기 시작했다. 그러므로 생체신호들도 스트레스에 대한 반응에서와 반대의 경향으로 변화하였다.

피부전도도 및 다른 생체신호에서는 동전이 무너진 후에 비교적 즉각적으로 회복과 관련된 변화가 나타났지만, 말초의 피부온도는 약간의 시간지연을 두고 변화가 시작되었다. 스트레스를 받는 동안에 손가락에서의 피부온도를 측정한 다른 연구에서도 이러한 현상이 발견되었고, 손가락의 열용량으로 인하여 손가락에서 피부온도의 반응은 느리게 나타난다 (Reisman, 1997).

3.2 생체신호처리 및 퍼지추론

그림 6은 그림 5에 나타난 9번째 피험자의 데이터를 전처리 한 결과이다. 전처리 한 데이터를 퍼지추론시스템의 입력으로 넣었고, 출력으로 스트레스 정도에 대한 평가결과를 얻었다. 그림 7은 그림 6의 데이터를 퍼지추론 하여 얻은 스트레스 상태 진행 템플릿이다. 초기의 30초 동안은 휴식기간이므로 스트레스 정도가 0.35에서 0.4 사이의 값으로 낮았다. 30초 되는 시점부터 동전을 쌓기 시작하면서 스트레스 정도가 증가하였고, 동전이 무너지고 나서 4초 후인 120초 되는 시점에서 스트레스 평가값의 최고치인 0.6정도까지 상승하였다. 그 이후의 회복기는 스트레스가

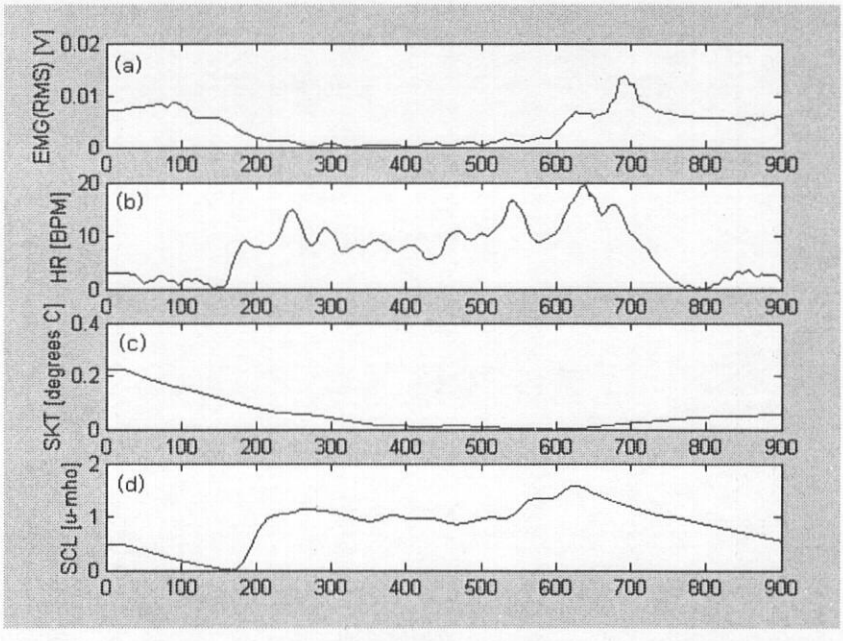

그림 6. 전처리 결과
(a) 근전도 실효치값 (b) 분당 심박률 (c) 말초의 피부온도 (d) 피부전도도

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

해소되는 단계였고, 스트레스 정도가 낮아지는 것을 관찰할 수 있었다. 다른 피험자들에 대해서도 그림 7과 유사한 형태의 스트레스 상태 진행 템플릿을 얻을 수 있었고, 동전 쌓기 작업과 관련해서 나타난 스트레스 정도의 변화를 뚜렷하게 확인할 수 있었다.

3.3 스트레스 추론결과 분석

스트레스 부과시간에 동전의 높이에 따른 가중치를 주어 계산한 스트레스 부과량과 반응기 동안에 증가한 스트레스 정도인 생리변수의 변화량을 이용하여 반응기의 특성을 나타내는 지표인 (생리변수의 변화량 / 스트레스 부과량)을 도출해냈다. 그리고 (25%의 회복에 걸리는 시간)을 회복기의 특성을 나타내는 지표로서 사용하였다. 반응과 관련된 파라미터를 가로축의 좌표로 하고, 회복과 관련된 파라미터를 세로축의 좌표로 하여, 각 피험자들에 대한 순서쌍을 표현한 그래프가 그림 8이다.

4. 결 론

본 연구에서는 동전쌓기 작업을 통하여 스트레스를 유발하고, 생체신호들을 획득하였다. 상호간의 생리현상을 고려할 수 있도록 퍼지추론을 통해 생체신호들을 종합적으로 분석하여 스트레스를 평가하였다. 본 연구를 통해 동전쌓기 작업으로 유발된 스트레스의 정도를 정량적으로 평가한 스트레스 상태 진행

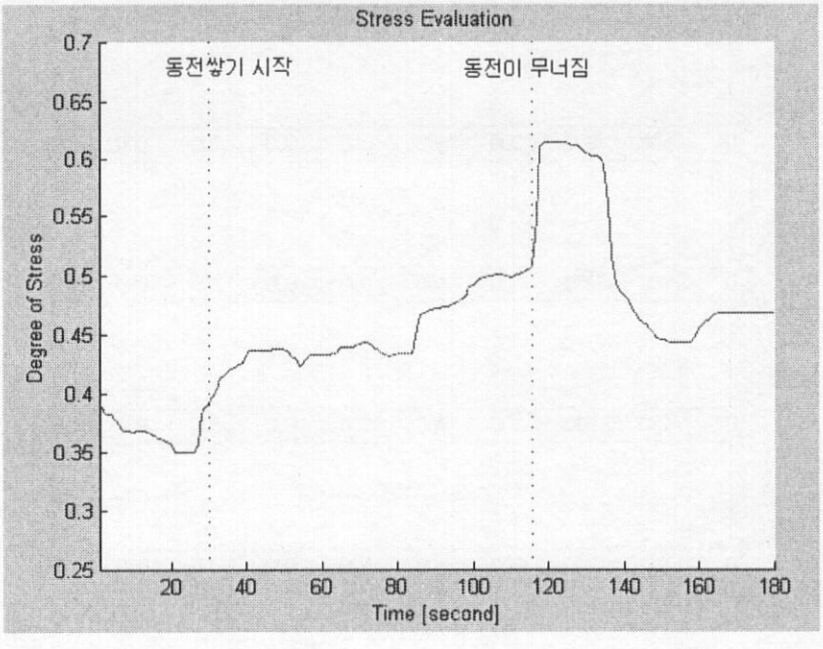

그림 7. 스트레스 상태 진행 템플릿

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

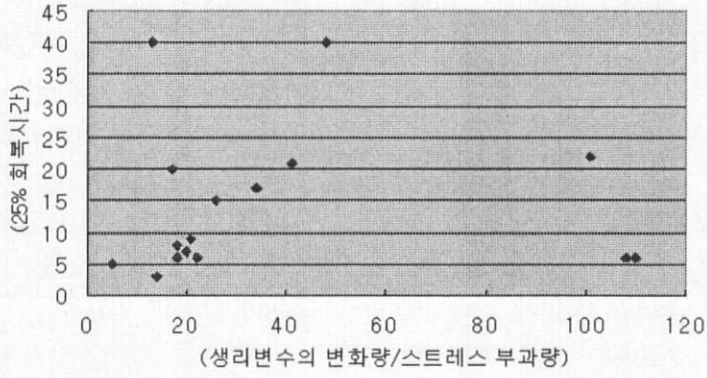

그림 8. 반응 파라미터 – 회복 파라미터 그래프

템플릿을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 다룬 스트레스 정량화 방법은 생체신호를 기반으로 한다. 생체신호의 획득을 위해서 피험자들에게 센서를 부착하였는데, 그로 인하여 피험자들에게 불편함과 불쾌감 등을 초래하였고, 불필요한 스트레스가 부과되었다. 그러한 문제점을 해결하기 위하여 앞으로는 Kataoka 등의 연구처럼 무접촉 방식의 스트레스 평가방법을 개발해야 할 것이다(Kataoka, et al., 1998). 그리고 스트레스에 의한 생리신호의 변화는 각 피험자의 신체적 조건에 의해 영향을 받고, 주관적 판단이나 심리상태 등에 의한 개인차가 많이 존재한다. 따라서 많은 실험을 통해 데이터베이스를 구축해야 할 것이다.

스트레스를 평가하는 방법에는 여러 가지가 있지만, 대부분의 방법들은 스트레스를 유발하는 작업이 완료된 후에 전체적인 스트레스의 정도를 계산한다. 반면에, 실제로 진행되고 있는 스트레스를 평가하는 방법은 많지 않다(Simon, et al., 1993). 본 연구에서 제안한 스트레스 상태 진행 템플릿을 이용하면 시간에 따른 스트레스 정도의 변화를 관찰할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 본 연구에서 이용한 평가방법은 수행속도가 비교적 빠르기 때문에, 실시간 스트레스 모니터로도 응용될 수 있을 것이다.

본 연구의 결과는 객관적이고 정량적인 스트레스 평가방법의 정립에 기여할 수 있을 것이고, 동전쌓기 외의 작업에 적용한다면 다양한 스트레스 업무에 대한 스트레스 상태 진행 템플릿을 얻을 수 있을 것이다.

참고 문헌

신재우 등. (1998) 생체신호와 퍼지이론을 이용한 스트레스 평가에 관한 연구. 한국감성과학회 춘계학술발표논문집, 171-175

신재우 등. (1999) 생체신호와 퍼지이론을 이용한 스트레스 평가에 관한 연구. 대한인간공학회지, 18, 121-132

Barnea, O. and Shusterman, V. (1995) Analysis of Skin-temperature Variability

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

Compared to Variability of Blood Pressure and Heart Rate. Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE 17th Annual Conference, 2, 1027-1028

Cox, E. (1999) The Fuzzy Systems Handbook. AP Professional

Gillin, J. L., et al. (1996) Race and Sex Differences in Cardiovascular Recovery from Acute Stress. International Journal of Psychophysiology, 23, 83-90

Kataoka, H., et al. (1998) Development of a Skin Temperature Measuring System for Non-contact Stress Evaluation. Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 20(2), 940-943

Reisman, S. (1997) Measurement of Physiological Stress. Bioengineering Conference, Proceedings of the IEEE 1997 23rd Northeast, 21-23

Selye, H. (1974) Stress Without Distress. New York: Lippincott and Crowell

Shin, J. W., et al. (1998) Estimation of Stress Status using Biosignal and Fuzzy Theory. Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 20(3)

Simon, P., et al. (1993) Quantitative Analysis of Mental Workload Influence on Eye Scanning Movements. Systems, Man and Cybernetics, Systems Engineering in the Service of Humans, Conference Proceedings, 4, 707-712

Yen, J. and Langari, R. (1998) Fuzzy Logic, Prentice Hall

저자 소개

◈ 설아람

2000년 9월부터 연세대학교 의공학과 석사과정에 재학 중이다.

◈ 신재우

1999년 9월부터 연세대학교 의용계측 및 재활공학 연구센터 연구원으로 재직 중이다.

◈ 성홍모

1998년 9월부터 연세대학교 의공학과 박사과정에 재학 중이다.

◈ 이철규

2000년 3월부터 연세대학교 첨단의료기기 기술혁신센터 연구교수로 재직 중이다.

◈ 윤영로

1994년 3월부터 연세대학교 의공학과 부교수로 재직 중이다.

논문접수일 (Date Received): 2002/02/21
논문게재승인일(Date Accepted): 2002/06/24

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.