

논문 2010-47SC-2-6

자세와 수면 박탈이 심박 변이도에 미치는 영향

(The Effects of Posture and Sleep Deprivation on Heart Rate Variability)

심 영 우*, 양 동 인**, 김 남 현***, 김 덕 원***

(Young Woo Shim, Dong In Yang, Nam Hyun Kim, and Deok Won Kim)

요 약

자율신경계는 불수의적 활동 기능을 조절해 주는 신경계통으로, 자율신경계의 활성 정도를 정량적으로 평가하기 위해 심박 변이도가 이용된다. 그러나 심박 변이도는 환경 변화나 심리 상태의 변화 등에 민감하게 반응하며, 자세와 수면 박탈에 의해서도 심박 변이도가 달라질 수 있다. 특히 전자과 자원자 연구에서는 자각 증상 및 인지 여부에 의한 수면 박탈로 심박 변이도가 달라질 수 있다. 이에 본 연구에서는 자세에 따른 수면 박탈 횟수와 심박 변이도를 30분간 6 stage에서 측정하였고, 앉은 자세와 누운 자세에서 측정된 심박 변이도를 비교하여 앉은 자세나 누운 자세에서 심박 변이도를 측정하는 실험에 어떠한 자세가 적합한지 결정하고자 하였다. 심박 변이도 분석은 전력 스펙트럼을 이용한 주파수 영역에서의 LF (low frequency) / HF (high frequency)를 이용하였고, stage 1을 100%로 하여 개인 및 성별에 따른 초기 LF/HF 차이를 상쇄시켜 주었다. LF/HF 증가는 교감 신경의 활성 증가를 나타내고 감소는 교감 신경의 활성 감소를 나타낸다. 교차 분석 결과 수면 박탈은 자세의 영향을 받는 것으로 나타났으며 ($p=0.002$), LF/HF에 대하여 자세만을 변수로 고려하였다. 앉은 자세에서 수면 박탈 횟수는 모든 stage에서 누운 자세보다 유의하게 적었다 ($p<0.05$). 자세는 LF/HF에 유의한 영향을 끼쳤으며 ($p=0.033$), 앉은 자세에서는 stage 1과 비교하여 LF/HF가 stage 4, 5, 6에서 유의하게 증가하였고 ($p<0.05$), 누운 자세에서는 stage 1과 비교하여 모든 stage에서 LF/HF가 유의하게 증가하였다 ($p<0.05$). 따라서 앉은 자세가 누운 자세보다 수면 박탈 횟수가 적고 LF/HF 변화가 작기 때문에 피험자가 깨어 있어야 하는 심박 변이도 측정 실험에 있어서 더 적합한 자세라고 사료된다.

Abstract

Autonomic nervous system (ANS) acts as a control system functioning largely below the level of consciousness, and controls visceral functions. The activity of the ANS has been assessed by means of the heart rate variability (HRV). It has been reported that HRV is dependent on sex, age, body mass index, and smoking, etc. However, the effects of posture and sleep deprivation on HRV have rarely been reported. Objective of our work was to find out which posture is appropriate for stable HRV. We measured the number of sleep deprivation and HRV using power spectrum in six stages for 30 minutes. Increased low frequency (LF) power and high frequency (HF) power indicate enhanced sympathetic and parasympathetic activity, respectively. We determined the LF/HF ratio to minimize individual difference. It was found that sleep deprivation by awakening up subjects was affected by posture, which resulted in changes of LF/HF. Although LF/HF varied with time, it was more stable in sitting than in supine. In conclusion, we recommend sitting posture when measuring HRV because of less sleep deprivation resulting in less variation in LF/HF.

Keywords: ANS, HRV, posture, sleep deprivation

* 정회원, 연세대학교 의과대학 의과학과

(Brain Korea 21 Project for Medical Science, Yonsei University)

** 정회원, 연세대학교 생체공학협동과정

(Graduate Program in Biomedical Engineering, Yonsei University)

*** 평생회원, 연세대학교 의과대학 의학공학교실

(Dept. of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University)

※ 본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(08123)주관으로 수행된 과제임

접수일자: 2010년1월5일, 수정완료일: 2010년2월11일

I. 서 론

자율신경계는 불수의적으로 활동 기능을 조절해 주는 신경계통으로 장기의 기능을 자동적 또는 반사적으로 조절하기 때문에 식물성 신경계라고도 한다. 또한 내외적인 환경 변화에 대하여 내적 환경의 균형을 유지하는 역할을 하므로 생명 유지 활동 및 신체 내의 항상성을 유지하여 건강한 생활을 영위하는데 직접적인 관련이 있는 매우 중요한 신경계이다^[1]. 이러한 자율신경계는 ECG (electrocardiogram)의 RRI (R-R interval)를 이용한 심박 변이도에 의해 평가된다. 심박 변이도 (HRV, heart rate variability)는 인체의 조절 능력을 추정하고 스트레스 대처 및 적응 능력을 파악할 수 있는 지표이다^[2]. 심박 변이도를 사용하여 적절한 약물의 종류 및 복용량을 결정하기도 하며 각종 이완요법의 전, 후 결과를 비교하는데도 사용된다^[3]. 또한 질병의 심화 정도를 파악하고 심장의 전기적 안정도를 예측하여 심질환 등 위험을 예견하기도 한다^[4].

현재는 BMI (body mass index), 성별, 연령 등 다양한 조건에서 심박 변이도를 분석하고 스트레스, 운동 등 다양한 자극 하에서의 인체반응을 평가하는 연구들이 진행되고 있다^[5-6]. BMI와 생리 주기에 따른 심박 변이도는 서로 상반되는 연구 결과가 존재하며, 흡연은 자율신경계의 균형을 방해하고 교감 신경을 흥분시킨다는 결과가 있다^[7]. 또한 성별에 따라서는 남자가 여자보다 LF (low frequency) / HF (high frequency)가 높다고 알려져 있다^[8]. 이처럼 심박 변이도는 주변 환경과 내적 요인에 의해 민감하게 반응하는 변수로서 중요하게 고려해야 한다. 그 중에서도 자세와 수면 박탈은 기본적으로 고려되어야 할 변수이다. 이전 연구들에서 심박 변이도 측정을 위한 자세는 누운 자세, 앉은 자세, 혹은 선 자세에서 대부분의 측정이 이루어졌다. 그러나 실험 중 졸음 및 수면 박탈과 자세 변화가 심박 변이도에 영향을 미칠 수 있음에도 불구하고 이를 고려하여 실험한 연구는 드물다. 특히 전자파 자원자 연구에서는 자각 증상 및 인지 여부를 조사하는데, 이러한 질문이 실험 중 수면 박탈로 작용하여 심박 변이도에 영향을 줄 수 있다.

따라서 본 연구는 자세가 수면 박탈과 심박 변이도에 미치는 영향에 대하여 관찰하고, 앉은 자세와 누운 자세에서 측정된 심박 변이도 결과를 비교하여 피험자가 깨어 있는 상태에서 심박 변이도를 측정하는 실험에 어

떠한 자세가 적합한지 결정하는데 목적이 있다.

II. 본 론

1. 측정 장비 및 생리학적 변수 측정

가. 측정 장비

ECG를 측정하기 위하여 상용화된 제품인 PolyG-I (Laxtha, Korea)를 사용하였으며, 512 Hz 샘플링 주파수로 측정하였다. PolyG-I는 컴퓨터에 연결하여 사용하며 TeleScan0.9 (Laxtha, Korea)의 자체 저장 및 분석 소프트웨어를 사용하여 데이터를 저장하고 분석하였다. 그림 1은 PolyG-I의 장비 및 측정된 화면이다.

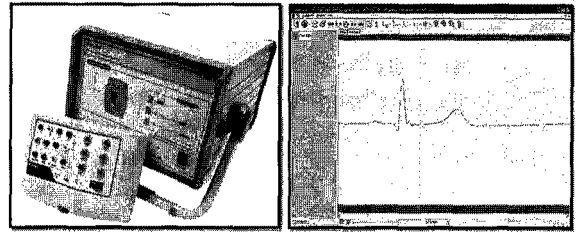


그림 1. PolyG-I 장비 및 측정 화면

Fig. 1. Photos of PolyG-I and measured ECG waveform.

나. 심박 변이도 측정

자율신경계의 활성 정도를 정량적으로 평가하기 위해서 그림 2와 같은 심박 변이도를 측정하였다. 심박 변이도는 분당 심박수의 변화가 아닌 RRI를 측정하고 그 변이를 관찰하는 것이다.

심박 변이도를 이용한 자율신경계 기능 분석 방법에는 측정된 구간의 RRI의 평균 (심박수), 표준편차 등의 시간영역 분석 방법과 전력 스펙트럼을 이용한 주파수 영역 분석이 있다. 심박 변이도의 전력 스펙트럼에는 세 가지의 피크가 나타난다. 첫째는 0.04 - 0.15 Hz의 LF 성분, 둘째는 0.15 - 0.4 Hz의 HF 성분, 마지막으로 0.04Hz 이하의 VLF (very low frequency) 성분이다^[9]. HF 성분은 호흡성 동성 부정맥 (RSA, respiratory sinus arrhythmia)에 의한 부교감 신경의 영향을 반영한다^[9-10]. 반면에 LF 성분은 연구자에 따라 교감 신경과 부교감 신경 모두의 영향을 반영한다는 의견^[11]과 교감 신경의 영향만을 반영한다는 의견^[10]의 서로 다른 주장이 제기되고 있어, 자율 신경 활동의 균형을 나타내는 지표로서 LF/HF가 사용된다^[11]. 그리고 LF/HF의 증

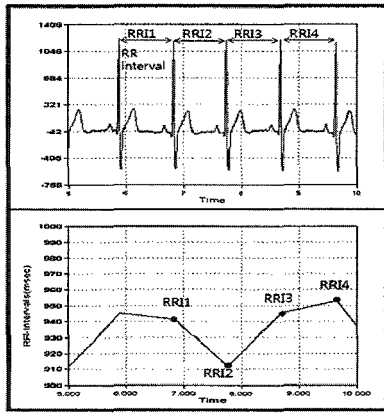


그림 2. ECG 신호와 심박 변이도
Fig. 2. ECG signal and HRV.

가는 교감 신경의 활성 증가를 나타내고 감소는 교감 신경의 활성 감소를 나타낸다^[11]. VLF 성분은 여러 생리학적인 해석들이 주장되고 있으나, 명확하게 결론이 나지 않아 자율신경의 평가를 위한 연구에서는 대부분의 경우 제외되고 있다^[12~13].

본 연구에서는 30분간 ECG를 측정하여 심박 변이도를 구하였다. 그 후 심박 변이도의 전력 스펙트럼을 계산하고 LF 대역의 전력 LFP (low frequency power)와 HF 대역의 전력 HFP (high frequency power)를 이용한 LF/HF를 사용하여 자세 변화와 수면 박탈에 대한 자율신경계 영향을 평가하였다. 실험 시간은 본 연구실에서 진행 중인 전자파 자원자 연구의 예상되는 최소 실험시간이 30분이기 때문에 30분으로 결정하였다.

2. 실험 방법

가. 연구 대상

실험은 심혈관계 및 신경계 질환이 없는 건강한 남자 25명 (25.4±2.9 세; 21.8±1.7 kg/m²), 여자 27명 (23.6±2.3 세; 20.4±2.0 kg/m²), 총 52명을 대상으로 실시하였다. 피험자 모집은 연세대학교 홈페이지 게시판을 이용하였다. 피험자는 흡연을 하지 않고, 실험 24시간 전부터 과도한 운동 및 장시간 휴대폰 사용, 음주와 약물 복용을 금지하였다. 장시간의 휴대전화 사용에 의한 전자파 노출은 일반인 청소년과 성인의 자율 신경에 영향을 줄 수 있기 때문에 1시간 이내로 제한하였다^[14]. 또한 연령과 비만은 심박 변이도에 영향을 미칠 수 있기 때문에 20대 및 18.5 이상 22.9 이하의 평균 BMI를 가진 피험자로 제한하였다^[15, 15].

나. 실험 과정

그림 3의 왼쪽 그림과 같이 지면으로부터 피험자의 상체를 약 30° 정도 일으켜 편하게 누운 자세와 앉은 자세에서 실험 전 각각 10분 동안 충분한 안정을 취한 후 실험을 시작하였다. 심전도는 Ag-AgCl 전극 (monitoring electrode 2223, 3M, USA)을 사용하여 동 잡음의 영향을 최소화하였다. 심전도는 표준 유도인 lead I 방법을 사용하여 왼쪽 손목과 오른쪽 손목, 오른쪽 발목에 전극을 부착하여 측정하였다.

실험의 전체 과정을 그림 4에 나타내었다. 실험은 앉은 자세와 누운 자세 두 부분으로 나뉘어 하루에 한 차례씩 이틀에 걸쳐 진행되었고, 24시간 주기의 생체 리듬 변화를 고려하여 각 피험자에서 두 실험 모두 하루 중 같은 시간대에 이루어졌다. 실험은 총 40분으로 10분간의 resting 후, 30분간의 심전도를 측정하여 심박 변이도를 분석하였다. stage 1은 10-15분, stage 2는 15-20분, stage 3은 20-25분, stage 4는 25-30분, stage 5는 30-35분, stage 6는 35-40분을 나타낸다. 실험 중 수면 박탈은 피험자가 실험 도중 잠들었을 경우 구두로 주의를 주어 깨운 것으로 정의하며 그 시간 및 횟수를 기록하였다. 또한 실험 중 수면 박탈이 0회인 경우에만 수면 박탈이 없다고 하였고, 나머지는 모두 수면 박탈이 있다고 정의하였다.



그림 3. 누운 자세와 앉은 자세에서의 심전도 측정
Fig. 3. Measuring ECG at the sitting and supine posture.

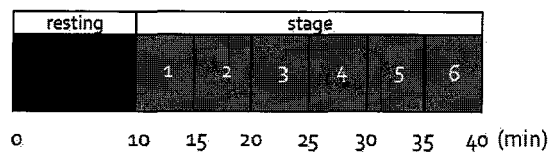


그림 4. 전체 실험 과정
Fig. 4. The process of experiment.

다. 실험실 온도 및 습도

실험실의 온도 및 습도가 피험자의 자율 신경계에 영향을 줄 수 있으므로 실험실의 온도와 습도를 쾌적한 상태로 유지하였다. 자세에 대하여 피험자는 이틀에 걸쳐 앉은 자세와 누운 자세에서 실험하였는데, 표 1은 자세에 대하여 앉은 자세와 누운 자세에서의 실험실 온도와 습도이며 paired t-test를 이용하여 검정한 결과 유의한 차이가 없었다($p < 0.05$).

표 1. 앉은 자세와 누운 자세에서의 실험실 온도 및 습도

Table 1. Ambient temperature and relative humidity during sitting and supine postures.

	앉은 자세 (n=52) (평균±표준편차)	누운 자세 (n=52) (평균±표준편차)	p-value
온도 (°C)	22.9 ± 1.7	22.8 ± 1.7	0.640
습도 (%)	47.6 ± 14.1	46.0 ± 12.0	0.062

라. 분석 방법 및 통계 처리

심박 변이도는 개인 간 편차가 큰 신호이다. 따라서 데이터의 상대적인 변화도를 분석하였다. 각 개인의 자세와 수면 박탈에 따른 LF/HF를 5분씩 6 stage로 나누어 stage 1 측정값을 100%로 하였고, 이후 측정값을 상대적인 비율로 환산하여 분석하였다. 이는 성별 및 개인 간 초기 LF/HF 차이를 상쇄시켜 주었다. 각 stage를 5분으로 한 것은 HRV 분석에서 최소 분석 시간이 5분이기 때문이다^[16].

수면 박탈과 자세의 관계를 알아보기 위하여 교차 분석의 카이제곱 검정을 이용하였고, 각 stage에서 자세에 따른 수면 박탈 횟수의 비교를 위해 paired t-test를 이용하였다. 자세에 따른 LF/HF 변화는 one-way repeated measure ANOVA test를 이용하여 분석하였고, 앉은 자세와 누운 자세에서의 stage 별 차이를 분석하기 위해 sub group analysis 방법을 이용하였다. 통계 분석은 SPSS 10 (SPSS Inc, USA)을 사용하였으며, $p=0.05$ 유의 수준으로 검정하였다.

III. 결 과

1. 자세와 수면 박탈과의 독립성

수면 박탈과 자세에 대한 독립성을 알아보기 위해 교차 분석 (crosstabs)의 카이제곱 검정을 이용하였다. 통

표 2. 자세에 따른 stage 별 수면 박탈 횟수 및 paired t-test 통계 분석 결과

Table 2. The result of paired t-test and the number of sleep deprivation in each stage by the posture.

stage	자세		p-value
	앉은 자세 (회, n=52명)	누운 자세 (회, n=52명)	
1	3	16	0.006
2	10	32	<0.0001
3	14	33	0.001
4	14	32	0.008
5	14	34	0.001
6	6	26	<0.0001
총계	61	173	

계 분석 결과 수면 박탈과 자세는 $p=0.002$ 로 유의한 상관관계가 있었다. 따라서 심박 변이도를 분석함에 있어 수면 박탈은 자세에 영향을 받는 변수로서, 자세만을 변수로 사용하여 심박 변이도에 대한 영향을 관찰하였다. 표 2에서와 같이 수면 박탈 횟수에 유의한 차이가 있었는데, 누운 자세가 앉은 자세보다 수면 박탈 횟수가 많았다 ($p < 0.05$).

2. 자세와 LF/HF

그림 5는 52명의 피험자를 대상으로 측정된 LF/HF의 결과를 나타낸 것이다. 앉은 자세와 누운 자세에서 이틀에 걸쳐 실험하였고, 각각 6개의 stage로 구성되어 있다.

자세가 LF/HF에 미치는 영향에 대하여 알아보기 위하여 one-way repeated measure ANOVA test 통계 분석 결과, 자세는 LF/HF에 유의하게 영향을 미치는

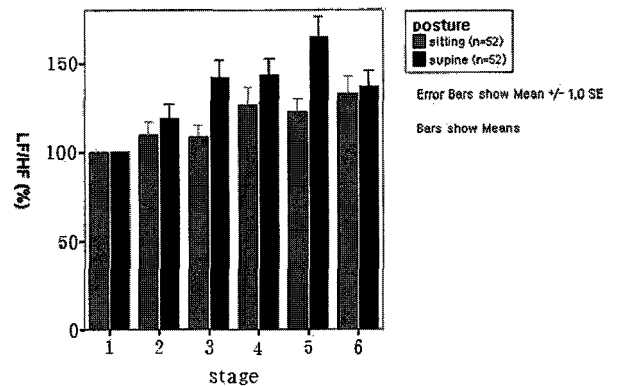


그림 5. 자세에 대한 각 stage에서의 LF/HF

Fig. 5. The LF/HF in each stage by the posture.

IV. 결 론

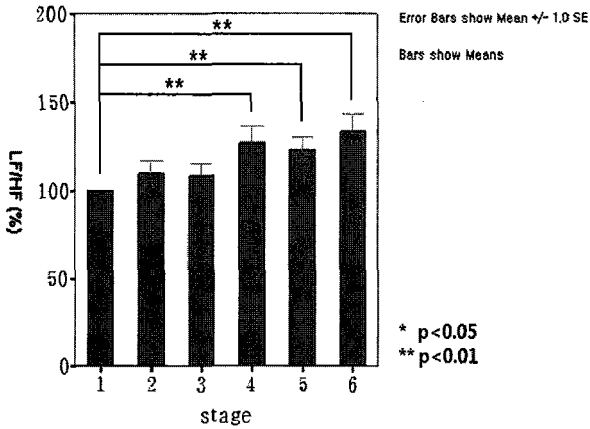


그림 6. 앉은 자세에 대한 stage 별 LF/HF 변화
 Fig. 6. The changes in LF/HF for each stage of the sitting posture (n=52).

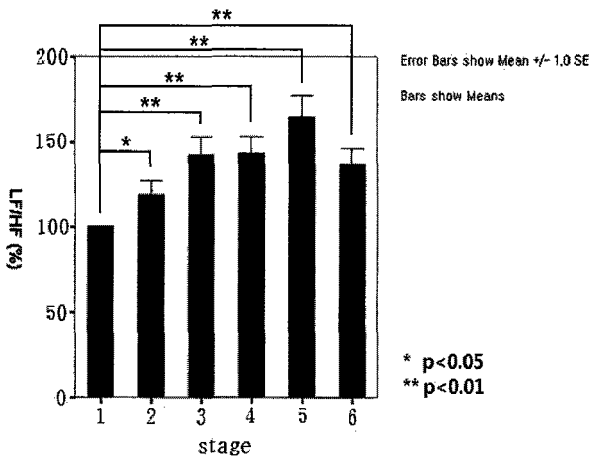


그림 7. 누운 자세에 대한 stage 별 LF/HF 변화
 Fig. 7. The changes in LF/HF for each stage of the supine posture (n=52).

것으로 나타났다 (p=0.033). 이러한 통계 분석 결과를 토대로 앉은 자세와 누운 자세에서의 stage 별 차이를 보기 위해 sub group analysis 방법을 이용하였다. 그림 6은 앉은 자세에서의 stage 별 유의한 차이를 나타낸 것으로 stage 1을 기준으로 하여 stage 4, 5, 6에서 LF/HF가 유의하게 증가하였다 (p<0.01). 그림 7은 누운 자세에서의 stage 별 유의한 차이를 나타낸 것으로 stage 1을 기준으로 했을 때 모든 stage에서 LF/HF가 유의하게 증가하였다(p<0.05).

본 연구에서 교차 분석 결과, 수면 박탈은 자세와 유의한 상관관계가 있었고, 따라서 심박 변이도에 영향을 끼치는 변수로서 자세만을 고려하였다. 또한 paired t-test 결과 누운 자세에서 수면 박탈 횟수가 유의하게 많았다 (p<0.05). One way repeated measure ANOVA test 결과 자세는 심박 변이도에 영향을 끼치는 변수로서 (p=0.033), 앉은 자세에서는 LF/HF가 stage 1과 비교하여 stage 4, 5, 6에서 유의하게 증가하였지만 (p<0.01) 누운 자세에서는 모든 stage에서 유의하게 증가하였다 (p<0.05). 결과적으로 누운 자세에서 수면 박탈 횟수가 더 많았으며, stage 별 분석에서도 앉은 자세보다 더 많은 stage에서 LF/HF가 유의하게 증가하였다. 이는 누운 자세에서 교감 신경이 더욱 활성화되었음을 뜻한다. 따라서 누운 자세보다 수면 박탈 횟수가 적고 LF/HF 변화가 작은 앉은 자세가 심박 변이도를 측정하는 연구에 적합한 피험자 자세이라고 사료된다.

본 연구가 다른 선행 연구와 누운 자세에서의 교감 신경 활성화도가 다르게 나타난 이유는 이전 연구에서는 수면 박탈을 하지 않은 상태이기에 부교감 신경이 활성화 되었지만, 본 연구 결과는 수면 박탈로 인하여 교감 신경이 활성화되었기 때문이다^[6]. 또한 본 연구는 stage 1의 측정값을 100%로 하여 다음 stage 측정값을 상대적인 비율로 환산하여 분석하였는데, 이는 각 피험자 개인 및 성별에 따라 다를 수 있는 초기 LF/HF를 상쇄시키는 역할을 하였다. 하지만 심박 변이도에 영향을 줄 수 있는 여자의 생리주기 및 생리에 따른 통증에 대해서는 고려하지 않았는데 추후 연구에서는 고려되어야 할 부분이라 사료된다.

HRV연구의 한계점 중 하나가 스트레스에 의해 영향을 많이 받는데 스트레스는 HF를 감소시키고, LF/HF는 증가시킨다^[19]. 홍현기 등^[17]과 남기창 등^[18]에 의하면 휴대폰 전자파 자원자 연구에 따르면 LFP/HFP분석 결과 전자파 노출여부에 따라서는 차이가 없었지만 시간에 따라서는 유의한 변화가 보였다고 하였다. LFP/HFP가 시간에 따라 변화한 이유로 실험과정 중 수면방해나 실험 자세 등이 스트레스로 작용하여 변화한 것으로 사료된다고 언급하였다. 이렇듯 스트레스는 HRV에 큰 영향을 끼치기 때문에 HRV연구에서는 스트레스 유발요인을 줄이는 것이 반드시 필요하다. 적절한 피험자의 자세 선택도 스트레스 유발을 줄일 수 있는

한 방법이기 때문에 실험과정 결정시 신중해야 한다.

본 연구 결과는 자세가 졸음 및 수면 박탈과 심박 변이도에 미치는 영향을 평가하고 피험자가 깨어 있어야 하는 연구에서 누운 자세보다는 앉은 자세를 권장함으로써, 추후 심박 변이도를 측정하는 자원자 연구 및 자각 증상과 인지 여부를 조사해야 하는 전자과 자원자 연구에서 피험자 자세를 결정하는데 유용하게 활용될 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 최중주, “심박변동 신호를 이용한 선천성 뇌성마비 환자의 자율신경기능 평가”, *연세대학교 석사학위논문*, 2002.
- [2] H. Cohen, J. Benjamin, A. B. Geva, M. A. Matar, Z. Kaplan, M. Kotler, “Autonomic dysregulation in panic disorder and in post-traumatic stress disorder: application of power spectrum analysis of heart rate variability at rest and in response to recollection of trauma or panic attacks”, *Psychiatry Res*, Vol. 96, no. 1, pp. 1-13, September 2000.
- [3] A. D. Krahn, R. Yee, G. J. Klein, C. Morillo, “Inappropriate sinus tachycardia: evaluation and therapy”, *Cardiovasc Electrophysiol*, Vol. 6, no. 12, pp. 1124-1128, December 1995.
- [4] L. Forslund, I. Björkander, M. Ericson, C. Held, T. Kahan, N. Rehnqvist, P. Hjemdahl, “Prognostic implications of autonomic function assessed by analyses of catecholamines and heart rate variability in stable angina pectoris”, *Heart*, Vol. 87, no. 5, pp. 415-422, May 2002.
- [5] I. Antelmi, R. S. de Paula, A. R. Shinzato, C. A. Peres, A. J. Mansur, C. J. Grupi, “Influence of age, gender, body mass index, and functional capacity on heart rate variability in a cohort of subjects without heart disease”, *Am J Cardiol*, Vol. 93, no. 3, pp. 381-385, February 2004.
- [6] M. Buchheit, H. Al Haddad, P. B. Laursen, S. Ahmaidi, “Effect of body posture on postexercise parasympathetic reactivation in men”, *Exp Physiol*, Vol. 94, no. 7, pp. 795-804, July 2009.
- [7] O. Alyan, F. Kacmaz, O. Ozdemir, O. Maden, S. Topaloglu, C. Ozbakir, F. Metin, A. Karadede, E. Ilkay, “Effects of cigarette smoking on heart rate variability and plasma N-terminal pro-B-type natriuretic peptide in healthy subjects: is there the relationship between both markers?”, *Ann Noninvasive Electrocardiol*, Vol. 13, no. 2, pp. 137-177, April 2008.
- [8] N. Sato, S. Miyake, “Cardiovascular reactivity to mental stress: relationship with menstrual cycle and gender”, *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, Vol. 23, no. 6, pp. 215-223, November 2004.
- [9] G. Oftedal, J. Wilen, M. Sandstrom, K. H. Mild, “Symptoms experienced in connection with mobile phone use”, *Occupational medicine*, Vol. 50, no. 4, pp. 237-245, May 2000.
- [10] J. L. A. Carvalho, A. F. Rocha, L. F. Junqueira, J. S. Neto, I. Santos, F. A. O. Nascimento, “A tool for time-frequency analysis of heart rate variability”, *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE and Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 17-21, Cancun, Mexico, September 2003.
- [11] M. Parazzini, P. Ravazzani, G. Tognola, G. Thuroczy, F. B. Molnar, A. Sacchetti, G. Ardesi, L. T. Mainardi, “Electromagnetic fields produced by GSM cellular phones and heart rate variability”, *Bioelectromagnetics*, Vol. 28, no. 2, pp. 122-129, February 2007.
- [12] S. Akselrod, D. Gordon, F. A. Ubel, D. C. Shannon, A. C. Berger, R. J. Cohen, “Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control”, *Science*, Vol. 213, no. 4504, pp. 220-222, July 1981.
- [13] B. Pomeranz, R. J. Macaulay, M. A. Caudill, I. Kutz, D. Adam, D. Gordon, K. M. Kilborn, A. C. Barger, D. C. Shannon, R. J. Cohen, “Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis”, *Am J Physiol*, Vol. 248, no. 1 Pt 2, pp. H151-153, January 1985.
- [14] K. C. Nam, S. W. Kim, S. C. Kim, D. W. Kim, “Effects of RF exposure of teenagers and adults by CDMA cellular phones”, *Bioelectromagnetics*, Vol. 27, no. 7, pp. 509-514, October 2006.
- [15] B. Kuch, H. W. Hense, R. Sinnreich, J. D. Kark, A. von Eckardstein, D. Sapoznikov, H. D. Bolte, “Determinants of short-period heart rate variability in the general population”, *Cardiology*, Vol. 95, no. 3, pp. 131-138, March 2001.
- [16] E. R. Migliaro, P. Contreras, S. Bech, A. Etxagibel, M. Castro, R. Ricca, K. Vicente, “Relative influence of age, resting heart rate and sedentary life style in short-term analysis of heart rate variability”, *Braz J Med Biol Res*, Vol. 34, no. 4, pp. 493-500, April 2007.
- [17] 홍현기, 지효철, 김수찬, 김덕원, “휴대전화 전자파에 의한 자각증상 및 생리학적 변화”, *전자공학회*

논문지, Vol. 45, no. 3, pp. 59-67, 2008년 5월

- [18] K. C. Nam, J. H. Lee, H. W. Noh, E. J. Cha, N. H. Kim, D. W. Kim, "Hypersensitivity to RF fields emitted from CDMA cellular phones: A provocation study", *Bioelectromagnetics*, Vol.30, pp.641-650, 2009.
- [19] Hjortskov N, Rissen D, Blangsted AK, Fallentin N, Lundberg U, Sogaard K, "The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work", *Eur. J. Appl. Physiol.*, Vol. 92, no. 1-2, pp. 84-89, February 2004.

저 자 소 개



심 영 우(정회원)
2008년 연세대학교
의용전자공학과 학사졸업.
2010년 연세대학교
의과대학 의과학과
석사 졸업

<주관심분야: 생체신호 계측 및 분석, 의료기기 등>



양 동 인(정회원)
2008년 연세대학교
의용전자공학과 학사졸업.
2008년~현재 연세대학교 대학원
생체공학협동과정
<주관심분야: 생체신호 계측 및
분석, 의료기기 등>



김 남 현(평생회원)
1977년 연세대학교 공과대학
(공학사)
1982년 연세대학교 대학원
전기공학과(공학석사)
1986년 연세대학교 대학원
전기공학과(공학박사)
1995년~1999년 연세의대 의학공학교실 주임교수
1988년~현재 연세대학교 의과대학 의학공학교실
조교수, 부교수, 교수
2008년~현재 연세의료원 의료정보실장
<주관심분야: U-health 기기, PHR 등>

김 덕 원(평생회원)-교신저자
대한전자공학회 논문지
제45권 SC편 제 3호 참조