

심박변이도와 호흡변이도의 상관성 연구

유승연, 박영재, 박영배

경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학과학교실

Abstract

Correlation Analysis of Respiratory variability and and HRV

Seung-Yeon, Yoo, Young-Bae Park, Young-Jae Park

Dept. of Biofunctional Medicine and Diagnosis, College of Korean Medicine, Kyung Hee University

Background and purpose :

Health is characterized by variability, and the loss of variability is associated with aging and disease. Normal healthy respiratory patterns are characterized by breath to breath variability. Cold-Heat scores are quantified indices in Korean Medicine. The aim of this study is to analyze relations between 9 respiratory indices (including breath to breath variability) and HRV(heart rate variability).

Method :

Respiratory data were measured during a period of 15 minutes and transferred to text file. We calculated 9 respiratory parameters using MATLAB 7.1. Afterwards we did correlation analysis of the 9 respiratory indices and HRV.

Results and conclusion :

Respiratory variability showed significant correlation with HRV.

Key Words :

respiratory variability, respiration index, HRV

1. 서론

자율 신경은 작용이 매우 신속하고, 여러 내부 장기에 분포하여 상반된 기능을 가지면서 보완적으로 작용하여 인체의 균형을 유지시키는 기능을 한다. 심장박동의 변화는 동방결절의 자발적 흥분을 자율신경계가 조절함으로써 발생한다. 그러므로 심장주기의 변화를 살핌으로써 신체의 전반적인 자율신경상태를 유추할 수 있으며, 이 검사로 심박 변이도(heart rate variability, HRV)가 많이 활용되고 있다. 심박변이도는 심전도상의 심장의 R-R 간격 변이를 통하여 심장 및 심혈관의 자율신경 활성도를 측정하는 검사법이다. 심장 동방 결절의 부교감 신경의 활동으로부터 교감신경의 활동을 분류하는데 도움을 주고 자율신경 상태의 평가뿐만 아니라 임상에서 다양하게 사용되고 있다.¹⁻⁴⁾ 심박변이도는 한의학에서 말하는 음양의 특성과 유사한 교감·부교감 신경의 활동⁷⁾을 비침습적으로 측정할 수 있어 여러 임상분야에 응용되고 있다.⁵⁻⁶⁾

건강은 그 항상성을 유지하기 위해 일정한 범위 내에서 유연성과 변이성을 가지는데⁷⁻⁸⁾ 변이성의 결여는 노화나 질병의 신호가 되며, 호흡의 경우에도 정상적인 호흡이 가지는 주기와 진폭을 분석하여 변이성을 생리적인 지표로 활용할 수 있다. 호흡의 변화를 분석하여 자율신경계에 영향을 미치는 것에 대한 연구가 다양한데, 심호흡은 전기피부 자율반응검사 지표를 증가시킨다⁹⁾고 하였으며, 호기와 흡기 길이와 비율을 조절하여 심박변이도 지표에 미치는 영향¹⁰⁾이 발표된 바 있다. 정신노동을 수행하는 동안에 호흡의 규칙성이 증가하였다.¹¹⁾ 불안 시에는 호흡변이도의 감소하고 공포 시에는 호흡변이도가 증가하는 것이 보고되었다.¹²⁻¹⁹⁾ 지금

까지 호흡과 자율신경계 간의 관련성에 대한 연구가 진행 중이지만, 호흡의 변이성의 지표가 확립되어 자율신경계와의 관련성을 확립하는 연구는 미진한 실정이다.

이에 본 연구는 호흡변이도의 진폭 및 주기를 지표로 설정하고 자율신경 상태의 평가에 다양하게 활용되고 있는 심박변이도 지표와의 상관성을 분석하여 향후 자율신경 활성도를 평가하는데 호흡변이도를 활용하는 기초자료로 이용하고자 한다.

본 연구는 건강한 성인 피험자를 대상으로 자의적호흡을 실시하도록 하였으며, 자의적 호흡 시 측정된 심전도와 호흡신호를 가공하여 심박변이도와 호흡변이도 지표를 설정하고, 각 지표들 간의 상관관계를 분석하였다.

2. 연구대상 및 방법

가. 연구대상

본 연구는 2006년 11월부터 2007년 1월까지 3개월간 건강한 남녀 총 78명(남:여= 47:31, 연령 24.35±1.92)이 참가하였다. 본 연구에 관한 모든 사항은 경희의료원 한방병원 임상시험 심사위원회(IRB, Institutional Review Boards)에서 심의, 승인을 받은 후 시행하였고, 피검자는 자원자로 서면으로 된 임상시험 동의서를 작성하였다. 피검자는 아래와 같이 연구에 영향을 미칠 수 있는 경우는 제외하였다.

- 1) 호흡주기 및 심박동주기에 이상이 있는 자
- 2) 기공수련자, 직업 운동선수
- 3) 내과 및 신경정신과적 질환과 뇌외상 혹은 두뇌 병변이 있는 자

- 4) 기침, 객담, 발열 등을 수반하는 각종 호흡기계 질환자
- 5) 고혈압, 부정맥, 허혈성 심장질환 등을 포함하는 심혈관계 질환을 진단받은 자
- 6) 심장질환에 대해 수술 받은 과거병력이 있는 자
- 7) 심장질환과 관련된 혹은 자율신경계에 영향을 미치는 약물을 복용중인 자

나. 실험절차

피검자는 검사전 24시간 이내 담배, 아스피린, 커피, 녹차, 알코올 섭취와 혈관운동성에 영향을 미치는 약물의 복용을 피하고, 48시간 이내에는 자율신경에 영향을 주는 약물의 복용을 금한다. 그리고 검사 전 22-24℃의 조용한 방 안에서 피검자는 안정되고 편안한 상태에서, 10분 이상 휴식하여 안정을 취하게 한다. 검사 전 48시간 동안 급성질환이 없어야 하며, 검사 전 24시간동안 숙달되지 않은 격렬한 운동을 삼가게 하였다. 모든 검사는 피검자에게 검사의 내용과 진행과정을 교육한 뒤에 실시하였다.

다. 연구방법

조용한 방에서 의자에 기대어 앉아 10분간 안정을 취한 후, 호흡신호와 심전도를 15분간 측정하였다.

1) 생체신호측정

가) 심전도

심전도는 다중생체신호측정장비인 HSYS-REC-LD(Stellate systems INC, Canada)를 이용하여 심전도를 256sample/sec의 표본 추출 속도로 동시 측정하였고, 데이터획득 과정에서 전원 라인을 통해 유입된 60Hz 전원 노이즈를 필터링하여 text파일로 저장한 다음, 심박변이도 추출에 이용하였다.

나) 호흡신호

호흡신호는 비강부에 thermistor를 장착하여 호흡에 따른 변화양상을 모니터를 통해 확인할 수 있게 하였다. 호흡 상태는 특별한 제한을 받지 않은 안정 상태에서 평소 자신의 호흡대로 자의적 호흡을 15분간 하도록 하였다.

2) 분석지표

가) 심박변이도

심박변이도는 심전도 신호를 바탕으로 Complexity 2.0(Laxtha, Korea)프로그램을 이용하여 추출하였다. 심박변이도의 측정지표로 시간영역분석(time domain analysis)이 있는데, 본 연구에서는 주파수 영역만을 대상으로 하였고, 평가지표는 모두 로그변환하여 분석에 활용하였다. 주파수영역분석(frequency domain analysis)은 심장 박동의 변화를 주파수영역에서 분석하여 각 주파수영역의 신호가 상대적으로 어떤 강도(power spectral density; PSD)로 있는지 평가하는 방법으로써, 주

Table 1. Evaluation Parameters of the Pulse Rate Variability

	Parameter	Description
Frequency domain	LnTP	Logarithmic total power density (approximately $\leq 0.4\text{Hz}$)
	LnVLF	Logarithmic very low frequency density ($< 0.04\text{Hz}$)
	LnLF	Logarithmic low frequency density (0.04-0.15Hz)
	LnHF	Logarithmic high frequency density (0.15-0.4Hz)

요 주파수 대역은 0 ~ 0.4Hz사이이다. 주로 사용되는 측정지표로는 다음과 같다.

나) 호흡변이도

thermister를 통하여 호흡신호를 획득하여 text파일로 저장된 데이터를 MATLAB 7.1을 이용하여 측정지표를 검출하였다.

(1) 호흡신호 지표 검출

본 연구에서 사용된 호흡곡선은 비강 앞 인중 부분에 부착된 thermistor에서 측정된 신호이다. 흡기와 호기에 따른 비강 근처의 온도 변화에 따라 곡선이 변화되며 흡기 시에 곡선이 상승하고 호기 시에 하강한다. 신호는 1024 Hz의 sampling rate로 디지털 변환되고 PC에 기록되었다.

호흡 곡선은 주기 신호에 가까운 신호(pseudo-periodic signal)이므로 각 호흡주기의 특징점을 선택해서 매 호흡 주기의 특징점의 시간 간격을 측정하면 호흡 주기를 구할 수 있다. 본 논문에서는 peak detection 알고리즘을 이용해서 각각 positive peak와 negative peak를 구한 후에, peak

positive peak와 negative peak를 구한 후에, peak 간의 시간 간격의 변동률, 크기의 변동률 등을 측정하였다. 특정 변수의 변동률은 $100 * (\text{변수의 표준편차}) / (\text{변수의 평균})$ 로써 정의하였다.

peak detection에는 다양한 알고리즘이 존재하고, 각각 알고리즘마다 특징과 장단점이 있는데 본 연구에서 사용된 알고리즘은 Eli Billauer에 의해 개발된 알고리즘이다.¹⁾ 해당 알고리즘은 대부분의 경우 positive peak과 negative peak이 번갈아가며 나타난다는 점에 착안해서 구성되었다. 분석하고자 하는 곡선에서 각각 positive peak과 negative peak의 후보가 되는 지점의 값들이 미리 지정된 문턱값(threshold) 이상 차이가 나는 경우 peak로서 결정되게 된다. 이 알고리즘의 특징은 반드시 positive peak과 negative peak을 교호 순서대로 찾는 것으로서 분석 곡선에 noise가 포함되더라도 peak detection이 비교적 기대대로 잘 수행된다는 장점이 있다.

(2) 호흡신호 분석지표

사용된 분석지표로는 다음과 같다.

Parameter		Description
amplitude	P-mean	호흡곡선에서 positive peak 평균값
	P-var	호흡곡선에서 positive peak의 변이계수= $(\text{positive peak의 표준편차} / \text{positive peak평균값}) * 100$
	N-mean	negative peak 평균값
	N-var	호흡곡선에서 negative peak의 변이계수= $(\text{negative peak의 표준편차} / \text{negative peak평균값}) * 100$
	pvd-mean	positive와 바로 인접하는 negative peak의 amplitude의 평균값.
	pvd-var	positive와 바로 인접하는 negative peak의 amplitude의 평균값의 변이계수
cycle	R-mean	호흡주기=positive peak간격을 sampling rate로 나눈 값.
	R-var	호흡주기 변동률= $(\text{호흡주기의 표준편차} / \text{호흡주기 평균값}) * 100$

1) <http://billauer.co.il/peakdet.html>

(3) 통계분석

심박변이도와 호흡변이도의 상관관계를 보기 위하여 Pearson Correlation을 시행하였으며, 78명 중 호흡곡선이 불규칙하게 그려진 19명이 제외되고 59명(남:여=33:26, 연령 24.31 ± 1.92)의 호흡곡선으로 다음과 같은 결과를 도출하였다. 통계분석은 SPSS Windows 13.0을 활용하였고, 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

3. 연구결과

가. 심박변이도와 호흡 진폭 변이도의 상관분석

P-mean는 심박변이도 지표와의 상관분석에서 통계적 유의성을 보이지 않았다.

P-var는 심박변이도 지표와의 상관분석을 시행하여 LnLF와 양의 상관관계를 보였다.

N-mean는 심박변이도 지표와의 상관분석에서 통계적 유의성을 보이지 않았다.

N-var는 심박변이도 지표와의 상관분석을 시행하여 LnTP, LnHF, LnLF와 양의 상관관계를 보였다.

pvd-mean는 심박변이도 지표와의 상관분석에서 통계적 유의성을 보이지 않았다.

pvd-var는 심박변이도 지표와의 상관분석을 시행하여 LnTP, LnHF, LnLF와 양의 상관관계를 보였다.

		LnTP	LnHF	LnLF	LnVLF
P-mean	Pearson Correlation	0.206	0.019	0.212	0.211
	Sig. (2-tailed)	0.118	0.889	0.108	0.108
P-var	Pearson Correlation	0.179	0.209	0.287(*)	0.037
	Sig. (2-tailed)	0.175	0.111	0.028	0.782
N-mean	Pearson Correlation	-0.203	-0.007	-0.211	-0.212
	Sig. (2-tailed)	0.124	0.958	0.109	0.107
N-var	Pearson Correlation	0.317(*)	0.294(*)	0.359(**)	0.117
	Sig. (2-tailed)	0.014	0.024	0.005	0.378
pvd-mean	Pearson Correlation	0.205	0.013	0.212	0.212
	Sig. (2-tailed)	0.119	0.922	0.107	0.106
pvd-var	Pearson Correlation	0.341(**)	0.206(*)	0.019(**)	0.212
	Sig. (2-tailed)	0.008	0.118	0.889	0.108

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

나. 심박변이도와 호흡 주기 변이도의 상관분석

R-mean는 심박변이도 지표와의 상관분석을 시행하여 LnLF와 양의 상관관계를 보였다.

R-var는 심박변이도 지표와의 상관분석을 시행하여 LnTP, LnLF와 양의 상관관계를 보였다.

HRV를 평가하는 방법들중 가장 널리 사용되는 방법으로서, 심박주기에 대한 평균, 표준편차 등 기술통계적인 기법을 이용한다. 주로 사용되는 측정 지표로는 심박수에 대한 평균, SDNN, RMS-SD 등이다.

		LnTP	LnHF	LnLF	LnVLF
R-mean	Pearson Correlation	0.251	0.199	0.303(*)	0.108
	Sig. (2-tailed)	0.055	0.131	0.019	0.417
R-var	Pearson Correlation	0.357(**)	0.203	0.427(**)	0.241
	Sig. (2-tailed)	0.006	0.122	0.001	0.066

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

4. 고찰

심전도 한 주기의 패턴은 차례로 P-Q-R-S-T파로 구성되는데 R 피크 사이의 간격을 R-R 간격(R-R interval)이라 한다. 정상인은 안정 상태에서도 심장의 박동과 박동 사이의 간격 즉 R-R interval의 미세한 변화가 관찰되는데 이는 심장의 박동이 체내의 항상성 유지를 위하여 끊임없이 변화하기 때문이다.¹⁹⁾ HRV는 심장의 동방결절의 부교감신경의 활동으로부터 교감신경의 활동을 분류하는데 도움을 준다. HRV는 감성의 평가뿐만 아니라 임상에서는 오래 전부터 사용되어져 왔으며, 신경학, 심장학, 정신생리학, 산과학, 마취학, 그리고 정신의학에서 광범위하게 사용되고 있다.²⁰⁾

HRV 검사의 분석법에는 시간영역분석법(Time domain analysis), 주파수영역분석법(Frequency domain analysis) 두 가지가 있다. 시간영역분석은

주파수영역분석은 HRV를 평가하는 방법들 중 최근 사용법이 증가하고 있는 방법으로서 심박주기의 변화를 주파수영역에서 분석하여 각 주파수 영역의 신호가 상대적으로 어떤 강도(Power Spectral Density; PSD)로 있는지 보는 방법으로서 tachogram 분석을 위한 여러 spectral method가 1960년대 후반 이후부터 적용되어 왔다. PSD는 해당 주파수 대역의 power가 얼마나 되는지에 대한 기초적인 정보를 제공해준다. 일반적으로 HRV 신호의 주요 주파수 대역은 0 ~ 0.4Hz 사이이다. 시간영역분석에 비해 장시간 측정하지 않아도 신뢰성이 있는 정보를 얻을 수 있어 최근 사용법이 증가하고 있다. 주요 사용되는 측정지표로는 TP, VLF, LF, HF, LF/HF ratio 등이 있다.

TP란 VLF, LF, HF를 포함한 power를 의미한다. 이것은 자율신경계의 전체적인 활동성을 반영한다. LF는 혈압조절과 메커니즘의 활동을 반영하는 0.1Hz 부근의 상대적인 저주파 성분으로 교감

신경과 부교감신경계의 활동을 동시에 반영하는 것으로 알려져 있다. 특히 LF 성분은 주로 심장에 대한 교감신경의 활동성에 의해 특징적으로 보여준다. 그러나 부교감신경을 비롯해 다른 여러 원인에 의해 영향을 받게 되므로 교감신경에 대한 신뢰성 있는 정보를 주지 못하는 것으로 알려져 있다.

HF는 호흡 활동과 관련 있는 상대적인 고주파수 성분으로 심장에 대한 부교감신경계의 활동성에 대한 지표로 활용된다. 호흡성 동성부정맥(RSA, respiratory sinus arrhythmia)와 관련된 심박동의 변화와 관련이 깊어 respiratory band라고 하는데, 호흡이 느리거나 깊은 경우에 과다해진다.

VLF는 0.0033 ~ 0.04Hz의 주파수 대역으로 교감신경의 부가적인 정보를 제공해주는 것으로 알려져 있으나 신뢰성 있는 정보를 획득하기 어렵다.

심박변이 지표의 Normal range는 total power 3466±1018ms², LF 1170±413ms², HF 975±203ms², LFnorm 54.7±2.6nu, HFnorm 38.1±2.5nu, LnTP 6.90±0.2, LnVLF 6.39±0.2, LnLF 5.21±0.2, LnHF 4.83±0.2, LF/HF ratio 0.5~2.0으로 알려져 있다.

HRV은 자세(21-22), 신체 버릇(23), 체중(24), 아침과 저녁, 잠잘 때의 시간(25-28), 신체적 건강함(29-30), 음식 섭취(31) 약물 특히 항콜린계(32)의 영향을 받는 것으로 연구되어졌다. 그렇기 때문에 HRV 측정시 이러한 변수를 고려해야한다.

심박변이도 지표와 호흡변이도와의 상관분석을 통하여 주로 심장에 대한 교감신경과 부교감신경계의 활동을 동시에 반영하는 LF성분은 호흡변이도 지표 중 P-var, N-var, R-var, pvd-var, R-mean 이 양의 상관관계를 보였으며, 심장에 대한 부교감

신경계의 활동성에 대한 지표로 활용되는 HF성분은 N-var, pvd-var와 양의 상관관계를 보였으며, 자율신경계의 전체적인 활동성을 반영하는 TP성분은 N-var, pvd-var, R-var와 양의 상관관계를 보였다.

안정을 취한 후 자의적인 호흡을 시행하였을 때의 호흡곡선의 진폭과 주기를 분석하여 호흡변이도의 지표를 설정하고 자의적인 호흡시에 심박변이도와 상관관계를 보았다.

심박변이도와 호흡변이도의 상관성을 분석하고, 이를 통해 자율신경을 평가하는데 유용하게 쓰이는 심박변이도를 통하여 호흡과 자율신경의 관계가 갖는 특징도 살펴보려 하였으나, 심장박동조절은 자율신경계의 관여에 주로 이루어지지만, 호흡의 특성상 자율신경계의 관여만으로 조절이 이루어지지 않는 한계점이 있다. 본 연구에서 조용한 방에서 안정상태를 유지하도록 하였으나, 그럼에도 참가자들의 호흡이 자율신경의 관여에 의한 변화만을 나타낸다고 하기에는 보다 많은 연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

또한 연령에 따른 LF, HF의 정상범위는 차이(33)를 보이는데, 본 연구의 참가자는 20~30세(24.31±1.92)의 연령대를 보이고 있어, 이후의 연구로 다른 연령대의 호흡변이도 측정 및 심박변이도와의 상관성 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서 호흡변이도의 지표설정시 심박변이도의 시간영역분석법 사용시 설정하는 지표들인 심박수에 대한 평균, SDNN의 개념을 도입하였는데, 시간영역분석법의 지표설정과 동일한 개념으로 호흡변이도의 지표를 설정하였으므로 시간영역분석법의 분석지표와의 상관분석도 이후 필요한 연구라 판단된다.

5. 결론

본 연구는 호흡변이도의 진폭 및 주기를 지표로 설정하고 자율신경 상태의 평가에 다양하게 활용되고 있는 심박변이도 지표와의 상관성을 분석하여 향후 자율신경 활성도를 평가하는데 호흡변이도를 활용하는 기초 연구이다.

건강한 성인 59명의 피검자로부터 충분한 안정 후 자의적 호흡을 시행하여 얻은 신호를 추출하였으며, 호흡변이도는 호흡 진폭을 분석한 P-mean, P-var, N-mean, N-var, pvd-mean, pvd-var, 호흡 주기를 분석한 R-mean, R-var의 지표를 구하였고, 심박변이도와 호흡변이도와의 상관분석을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. LF성분은 호흡변이도 지표중 P-var, N-var, R-var, pvd-var, R-mean이 양의 상관관계를 보였다.
2. HF성분은 N-var, pvd-var와 양의 상관관계를 보였다.
3. TP성분은 N-var, pvd-var, R-var와 양의 상관관계를 보였다.

참 고 문 헌

1. 임대정, 이현진, 황지혜, 조현석, 김경호. HRV(Heart Rate Variability)를 통한 사암침법(舍岩鍼法) 중 심정격 자침과 자율신경실조의 상관성 연구. 대한침구학회지. 2006; 23(5): 207-218.
2. 임대정, 황지혜, 황중순, 조현석, 김경호, 김갑성. HRV(Heart Rate Variability)를 통한 말초성 안면신경마비와 자율신경실조의 상관성 연구. 대한침구학회지. 2005; 22(6): 51-60.
3. 장보형, 이정희, 문경숙, 김진원, 권오섭. 이침요법이 정신적 스트레스를 가한 성인의 심박변이도에 미치는 영향, 대한침구학회지. 2005; 22(6): 173-180.
4. 박정준, 임낙철, 설인찬. HRV 측정으로 본 불면증 환자에 대한 연구. 한의학논문집. 2004; 13(1): 39-45.
5. Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Berger AC, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. Science. 1981; 213(45 04): 220-2.
6. Ziegler D, Piolot R, Strassburger K, Lambeck H, Dannehl K. Normal ranges and reproducibility of statistical, geometric, frequency domain, and non-linear measures of 24-hour heart rate variability. Horm Metab Res. 1999; 31(12):672-9.
7. Pool R. Is it healthy to be chaotic? Science 1989; 243: 604-607
8. Lipsitz LA. Physiological complexity, aging, and the path to frailty. Sci Aging Knowl Environ 2004; 16 pe16.
9. 남동훈, 박영배. 심호흡이 건강한 한국성인남녀의 전기 피부 활동성에 미치는 영향. 대한한의진단학회지. 2001;5(1):139-153.
10. 양동훈, 박영재, 박영배. 상대적인 호기와 흡기 시간의 차이가 HRV에 미치는 영향. -대조군과 호흡유도의 비교- 대한한의진단학회지. 2007;11(1):146-156
11. Boiten F. Component analysis of task-related respiratory patterns. Int J Psychophysiol 1993;15:91-104.

12. Albeson JL, WegJG, Nesse RM, Curtis G. Persistent respiratory irregularity in patients with panic disorder. *Biol Psychiatry* 2001;49:588-595
13. Bystritsky A, Shapiro D. Continuous physiological changes and subjective reports in panic patients: A preliminary methodological report. *Biol Psychiatry* 1992;32:766-777
14. Schwartz GE, Goetz RR, Klein DF, Endicott J, Gorman JM. Tidal volume of respiration and 'sighing' as indicators of breathing irregularities in panic disorder patients. *Anxiety* 1996; 2:145-148
15. Stein MB, Millar TW, Larsen DK, Kryger MH. Irregular breathing during sleep in patients with panic disorder. *Am J Psychiatry* 1995; 152:168-173
16. Yeragani VK, Radhakrishna RKA, Tancer M, Uhde T. Nonlinear measures of respiration: respiratory irregularity and increased chaos of respiration in patients with panic disorder. *Neuropsychobiology* 2002;46:111-120
17. Wilhelm FH, Roth WT. Taking the laboratory to the skies: ambulatory assessment of self-report, automatic, and respiratory responses in flying phobia. *Psychophysiology* 1998;35:596-606
18. Wilhelm FH, Trabert W, Roth WT. Physiologic instability in panic disorder and generalized anxiety disorder. *Biol Psychiatry* 2001;49:596-605
19. 전중성, 전세일, 조정자, 진미령, 김태선, 김덕용, 안준, 정기삼, 신근수, 이명호. 심박변동의 Power Spectrum 분석에 의한 정상 성인의 자율신경 기능 평가. *대한재활의학회지*. 1997;21(5):928-35
20. *Clinical Autonomic Disorders*, 2nd ed. Lopincott-Raven Publishers, Philadelphia. 1997,297
21. Mizuno K, Inoue Y, Tanaka H, Komada Y, Saito H, Mishima K, Shirakawa S. Heart rate variability under acute simulated microgravity during daytime waking state and nocturnal sleep: comparison of horizontal and 6 degrees head-down bed rest. *Neurosci Lett*. 2005 Jul 22-29; 383(1-2):115-20
22. Bennett T, Fentem PH, Fitton D, Hampton JR, Hosking DJ, Riggott PA. Assessment of vagal control of the heart in diabetes. Measures of R-R interval variation under different conditions. *Br Heart J*. 1977 Jan;39(1):25-8.
23. Freeman R, Weiss ST, Roberts M, Zbikowski SM, Sparrow D. The relationship between heart rate variability and measures of body habitus. *Clin Auton Res*. 1995 Oct;5(5):261-6.
24. Hirsch J, Leibel RL, Mackintosh R, Aguirre A. Heart rate variability as a measure of autonomic function during weight change in humans. *Am J Physiol*. 1991 Dec;261(6 Pt 2):R1418-23.
25. Ewing DJ, Neilson JM, Travis P. New method for assessing cardiac parasymp

- pathetic activity using 24 hour electrocardiograms. *Br Heart J.* 1984 Oct;52(4):396-402.
26. Burri H, Chevalier P, Arzi M, Rubel P, Kirkorian G, Touboul P. Wavelet transform for analysis of heart rate variability preceding ventricular arrhythmias in patients with ischemic heart disease. *Int J Cardiol.* 2005 Jul 15; [Epub ahead of print].
 27. Sforza E, Pichot V, Barthelemy JC, Haba-Rubio J, Roche F. Cardiovascular variability during periodic leg movements: a spectral analysis approach. *Clin Neurophysiol.* 2005 May;116(5):1096-104.
 28. 이승훈. 통계적 방법을 이용한 측정시스템 분석에 관한 연구. 동의대학교대학원. 2000.
 29. De Meersman RE. Heart rate variability and aerobic fitness. *Am Heart J.* 1993 Mar;125(3):726-31.
 30. Goldsmith RL, Bigger JT Jr, Steinman RC, Fleiss JL. Comparison of 24-hour parasympathetic activity in endurance-trained and untrained young men. *J Am Coll Cardiol.* 1992 Sep;20(3):552-8.
 31. Ryan SM, Goldberger AL, Ruthazer R, Mietus J, Lipsitz LA. Spectral analysis of heart rate dynamics in elderly persons with postprandial hypotension. *Am J Cardiol.* 1992 Jan 15;69(3):201-5.
 32. Jakobsen J, Hauksson P, Vestergaard P. Heart rate variation in patients treated with antidepressants. An index of anticholinergic effects? *Psychopharmacology (Berl).* 1984; 84(4):544-8.
 33. Fukusaki C, Kawakubo K, Yamamoto Y. Assessment of the primary effect of aging on heart rate variability in humans. *Clin Auton Res.* 2000 Jun;10(3):123-30.