

止息호흡에 대한 인체의 특성연구

유승연¹ · 오환섭^{1,2} · 박영재^{1,3} · 박영배^{1,3}

1. 경희대학교 학과간협동과정 한방인체정보의학과 / 2. 경희대학교 기계공학과 / 3. 경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학교실

Abstract

Characteristic Study of Breath-holding

Seung-Yeon Yoo¹ · Hwan-Sup Oh^{1,2} · Young-Jae Park^{1,3} · Young-Bae Park^{1,3}

1. Dept. of Human Informatics of Oriental Medicine, Interdisciplinary Programs, Kyung Hee University

2. Dept. of Mechanical Engineering, Kyung Hee University

3. Dept. of Diagnostics & biofunctional medicine, College of Oriental Medicine, Kyung Hee University

Objectives

The aim of the present study is to define breath-holding in spontaneous respiration and to observe the difference of respiratory variables, EEG and HRV.

Methods

46 healthy young volunteers (M:F=31:15) were recruited in the study. By measuring and analysing respiration, EEG and HRV in the spontaneous respiration. We segment subjects by 100% of coefficient of variation in the breath-holding.

Results & Conclusions

1. There is a period of breath-holding after expiration and before endeavored inspiration, in the course of respiration. The greater coefficient of variation in the breath-holding, longer respiration period mean, inspiration period mean and breath-holding mean in respiratory variable.
2. There was no significant difference between HRV parameters.
3. The greater coefficient of variation in the breath-holding, the higher β frequency and γ frequency in the left prefrontal lobe.

Key Words

Breath-holding, spontaneous respiration, respiratory variable, EEG, HRV

* 교신저자 : 박영배 / 소속 : 경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학교실

TEL : 02-958-9191 / E-mail : bmppark@khu.ac.kr

투고일 : 2011년3월15일; 수정일 : 2011년4월3일; 게재확정일 : 2011년4월11일

I. 서론

요가와 명상, 기공에서 중요시되는 調息은 단순히 호흡을 조절하는 행위일 뿐 아니라 생체리듬과 마음까지 조절한다.^{1,2)} 호흡을 조정하고 氣를 단련하여 精氣神을 조화롭게 함으로써 인체를 건강하게 만드는 의미가 있다.

기존의 호흡 연구에서는 호흡주기, 분당 호흡수와 호기/흡기비를 중심으로 생체 반응에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. Grossman 등³⁾은 호흡주기가 느린 호흡은 분당 호흡수가 작아, 깊고 안정된 호흡이라는 것을 밝혔으며, Strauss 등⁴⁾은 호기와 흡기의 비율을 조절한 호흡패턴을 연구하여 呼長吸短호흡에서 RSA가 吸長呼短호흡보다 유의하게 증가했음을 보고하였다.

특히 호흡지표 중 진폭과 호흡주기의 변이도는 호흡의 안정성을 평가하는 중요한 지표가 된다.⁵⁻⁹⁾ 김 등¹⁰⁻¹²⁾에 의하면, 자발호흡과 유도호흡(호기/흡기비 1.6)시에 호흡 진폭의 변이도와 뇌파 및 심박변이도의 변화에 관한 보고에서 인체 내 기관(심혈관계, 뇌, 내분비계, 면역계 등)들이 항상성을 유지하기 위하여 일정한 범위 내에서 유연성과 변이성을 유지한다고 보고하였다.

호흡 및 폐기능장애, 정신질환 등^{13,14)}에 동반하여 胸痺心痛과 함께 출현하는 短氣¹⁵⁾는 호흡이 순조롭게 이루어지지 않는 호흡으로, 短氣의 정도는 호흡의 상태를 평가하는 중요한 지표가 된다. 또한 短氣이외에도 止息은 유도호흡 수행능력의 평가와 연관 있을 것으로 보이나 정량적인 분석 방법이 아직 보고되지 않았으며, 止息에 관한 연구도 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 향후 지속적인 호흡연구의 기반을 확보하기 위해 건강한 성인 남녀를 대상으로 평상시 호흡인 자발호흡을 시행하여 止息 상태를 정량화하였고, 止息의 변이계수로 분류된 집단 간의 뇌파 및 심박변이도 등 생체지표간의 차이를 비교 분석하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 2006년 11월부터 2007년 1월까지 3개월간 건강한 남녀 성인을 모집하여 임상시험 동의서에 서면으로 동의한 자로 총 78명을 대상으로 하였다. 피검자 모집 시 다음과 같이 연구에 영향을 미칠 수 있는 경우는 제외하였다.

- 1) 호흡주기 및 심박동주기에 이상이 있는 자
- 2) 기공수련자 및 직업 운동선수
- 3) 내과 및 신경정신과 질환과 두뇌 외상, 병변이 있는 자
- 4) 해수, 객담, 발열 등을 수반하는 각종 호흡기계 질환자
- 5) 고혈압, 부정맥, 허혈성 심장질환자 등을 포함하는 심혈관계 질환을 진단받은 자
- 6) 심장질환으로 수술을 받은 과거병력이 있는 자
- 7) 심장질환과 관련된 혹은 자율신경계에 영향을 미치는 약물을 복용중인 자
- 8) 감기, 식상 등 뚜렷한 내외인성 질환자
- 9) 고혈압, 지질 강하제를 상복하고 있는 자
- 10) 연구 참여 거부의를 밝힌 자
- 11) 기타의 원인으로 측정이 불가능한 자

본 연구에서는 78명으로부터 데이터를 측정된 후, 전체 15분 동안의 호흡구간 중에서 안정한 5분 동안의 호흡구간을 설정하였다. 가장 안정한 5분 동안의 호흡구간에서 충분한 호흡곡선의 peak를 검출할 수 없었던 경우를 제외한 46명을 분석대상으로 하였다. 46명의 선택은 전체 15분 중에서 추출한 연속한 5분간의 호흡곡선에서 고¹⁶⁾가 개발한 알고리즘으로 호흡지표를 생성할 수 있는 경우로 한정하였다.

Figure 1은 연구대상으로 선정된 한 피검자의 호흡곡선의 한 가지 예이다. 고¹⁶⁾가 개발한 MATLAB을

이용한 알고리즘은 positive peak(Δ), negative peak(∇), 흡기시작점(\triangleleft), 호기시작점(\circ) 호기가 끝나는 점(\triangleright)을 찾아준다. \boxtimes 표시는 호기가 끝남과 동시에 흡기가 시작함을 보여준다.

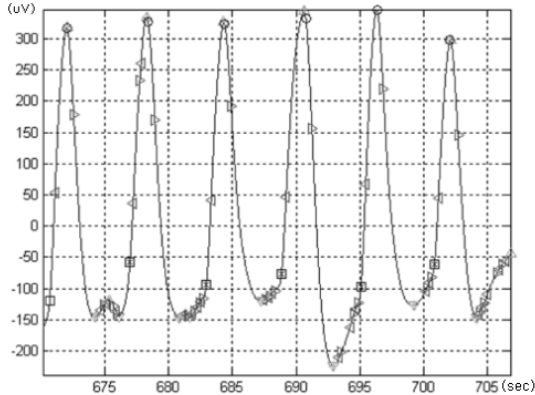


Figure 5. A sample of 46 subjects. Δ positive peak; ∇ negative peak; \triangleleft the start point of expiration; \circ the start point of inspiration ; \triangleright the end point of inspiration ; \boxtimes the end point of expiration is the start point of inspiration.

Figure 2는 고¹⁶⁾의 알고리즘으로 positive peak (Δ), negative peak(∇), 흡기시작점(\triangleleft), 호기시작점(\circ) 호기가 끝나는 점을 찾지 못하는 자료가 많아 연구대상에서 제외한 예이다.

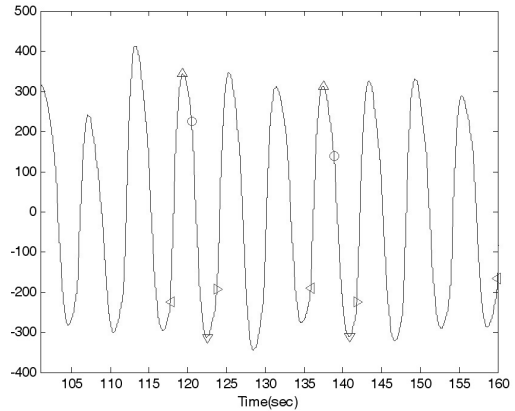


Figure 6. An invalid sample.

Table 1은 46명에 대한 연령, 신장, 체중에 대한 통계적 특성이다.

46명의 止息 변이계수를 100%를 기준으로 두 집단으로 나누었다. 두 집단에서 변이계수는 변이계수가 100% 이하인 집단이 변이계수가 100%이상인 집단보다 작게 나타났으며, 안정된 호흡 5분 동안 피험자의 止息시간은 변이계수가 작은 집단에서 止息의 평균값이 크게 나타났다. 止息이 나타나는 동안에 써미스터에서 나타나는 저항의 변화의 평균값은 변이계수가 작은 집단에서 크게 나타났다.

두 집단 간의 성별, 연령, 체중, 신장 간의 통계적인

Table 1. Statistical Characteristics of the Study Population

	Group A	Group B	Mann-Whitney U / Chi-Square	Asymp. Sig.(p-value)
	(n=29)	(n=17)		
	Mean \pm SD	Mean \pm SD		
Age	25.10 \pm 2.14	24.23 \pm 1.44	174.00	0.093
Weight(kg)	62.01 \pm 11.35	67.64 \pm 12.34	183.00	0.148
Height(cm)	169.86 \pm 5.52	169.88 \pm 8.57	237.50	0.837
Coefficient of variation(%)	74.13 \pm 18.31	146.39 \pm 28.77	0.00	0.000***
mean X(sec)	0.67 \pm 0.29	0.35 \pm 0.17	80.500	0.000***
Sex(M/F)	18/11	13/4	1.012	0.315

** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

SD : Standard Deviation; Group A : Coefficient of variation<100%; Group B: Coefficient of variation>100%

차이는 없었다. (Table 1)

2. 연구방법

본 연구는 측정과 분석으로 나누어 진행하였다. 피검자는 검사 전 24시간 동안 담배, 아스피린, 커피, 녹차 알코올 섭취와 심장 및 위장의 운동성에 영향을 주는 약물의 복용을 피하고, 48시간 이내에 자율신경에 영향을 주는 약물의 복용을 금했다. 각 피검자는 첫 날 방문하여 피검자 임상시험 동의서를 작성한 후 일반적인 주의사항을 지시받았으며, 임상시험 대상 제외기준 적용 여부를 검토하고, 만일 제외기준에 해당하지 않으면 귀가 조치하였다.

피검자로 선정된 지원자를 대상으로 검사 전 22-24℃의 조용한 실험실에서 피검자는 안정되고 편안한 상태에서, 10분 이상 휴식을 취하게 하여 안정을 취하게 하였다. 의복 등은 느슨하게 하고 양말이나 스타킹은 벗고 검사하였다. 검사 전 48시간동안 급성 질환은 없어야 하며, 검사 전 24시간동안은 숙달되지 않은 격렬한 운동을 삼가 하게 하였다.

10분간 휴식을 취한 후 피검자에게 비강부, 머리, 가슴부위에 각각 써미스터, 뇌파전극, 심전도전극을 장착하였다. 이때 자신의 호흡에 따른 변화양상을 모니터를 통해 확인할 수 있게 한 후, 모니터를 보면서 호흡패턴을 30분간 연습을 하게하고 본 실험을 실시하였다.

측정되는 생체 신호들은 다중생체신호 측정 장비인 HSYS-REC-LD (Stellate systems INC, Canada)를 이용하여 256 Hz의 sampling rate로 측정하였고 데이터획득과정에서 전원라인을 통하여 유입되는 60 Hz전원노이즈를 필터링하였다.

본 연구에 관한 모든 사항은 경희의료원한방병원 임상시험심사위원회(IRB, Institutional Review Boards)에서 심의, 승인을 받은 후 시행하였고, 피검자는 서면으로 된 임상시험동의서를 작성하였다.

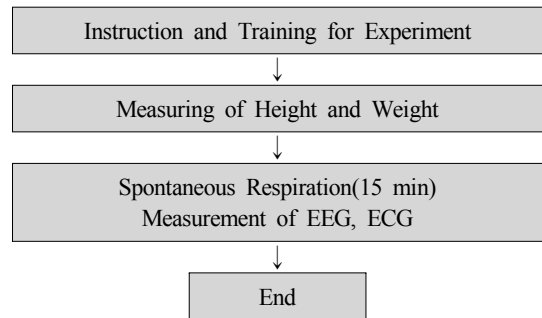


Figure 7. Block diagram of experimental protocol.

1) 호흡신호의 측정

호흡하는 방법은 피검자들이 특별한 제한 없이 평소 소에 숨 쉬는 방식으로 호흡한 것을 자발호흡이라 한다. 이를 15분간 시행하여 호흡신호를 측정하였다. 피검자는 15분간 자발호흡을 실시하고 이때 호흡신호와 동시에 뇌파 및 심전도를 실시간으로 측정하였다.

호흡신호의 측정방법은 다음과 같다. 먼저 피검자의 코밑에 써미스터를 부착하였다. 피검자가 호흡하는 동안, 흡기시와 호기시에 나타나는 호흡량의 변화가 온도변화를 유발하고, 이 온도변화를 써미스터가 저항이 변하는 것으로 호흡곡선의 y값으로 측정하였다. 써미스터는 온도의 증가시에 저항의 감소가 나타나 호흡곡선의 감소로 입력하였고, 온도의 감소시에 저항의 증가가 나타나 호흡곡선의 증가로 입력하였다. 호흡곡선의 sampling rate는 256 Hz이었다.

2) 뇌파의 측정

뇌파는 HSYS-REC-LD(Stellate systems INC, Canada)를 이용하여 측정하였다. 머리에 부착하는 전극의 배치는 국제뇌파 및 임상 뇌대상학회에서 추천하는 10-20시스템¹⁷⁾을 따라, 전극용 풀을 사용하여 8개의 도금된 전극을 Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4에 부착하여 데이터를 측정하였다. (Figure 4) 접지전극(ground electrode)은 우측 유양돌기(right mastoid process)위에 부착하였고, 기준전극

(reference electrode)은 우측 귓볼(right anterior region of lobule of auricle)에 부착하였다.

8개의 채널 각각에서 측정된 뇌파를 각 채널별로 평균하여 뇌파의 지표로 활용하였다.

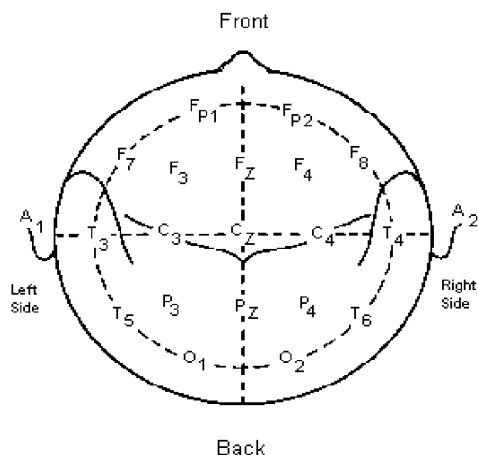


Figure 8. Arrangement of the 10/20 electrode. Top of the head.

3) 심전도의 측정

심전도는 Ag-AgCl전극을 전극용 풀을 사용하여 V4의 위치에 부착하여 신호를 수집하였다. 측정 장비는 HSYS-REC-LD (Stellate systems INC, Canada)를 이용하여 256 Hz의 sampling rate로 측정하였다. 60Hz notch filter를 사용하여 데이터획득 과정 중에 발생하는 60Hz 전원 노이즈를 필터링하였다.

3. 분석지표

1) 호흡

써미스터로 그려진 호흡곡선을 Eli Billauer에 의해 개발된 peak 검출 알고리즘(<http://billauer.co.il/peak-det.html>)을 이용해서 분석하였다. Peak detection에는 여러 가지 알고리즘이 존재하고, 각각 알고리즘마다 특징과 장단점이 있다. 해당 알고리즘은 각각 positive peak와 negative peak가 번갈아가며 나타난다

는 점에 착안해서 구성된 것으로 분석하고자 하는 곡선 상에서 각각 positive peak와 negative peak의 후보가 되는 peak의 값들이 미리 지정된 특정값(threshold) 이상 차이가 나는 경우에 peak로서 결정되게 된다. 이 알고리즘의 특징은 반드시 positive peak와 negative peak를 교호 순서대로 찾는 것으로서 분석 곡선에 noise가 포함되더라도 peak detection이 비교적 기대대로 잘 수행된다는 장점이 있다.

고¹⁶⁾의 논문에서 밝힌 알고리즘을 이용하여 아래와 같이 호흡지표를 구하였으며, 해당 알고리즘은 써미스터를 이용해서 얻은 호흡 곡선을 분석하여 매 호흡의 흡기 시작점과 호기 시작점을 검출하여 흡기 시간과 호기 시간을 계산할 수 있는 알고리즘이다.

① Positive peak mean : 호흡곡선에서 positive peak의 평균값

② Positive peak variability : 호흡곡선에서 positive peak의 변이계수=(positive peak의 표준편차/positive peak의 평균값)×100

③ Negative peak mean : negative peak의 평균값

④ Negative peak variability : 호흡곡선에서 negative peak의 변이계수=(negative peak의 표준편차/negative peak의 평균값)×100

⑤ Respiration period mean : 호흡주기의 평균값. 한 호흡의 positive peak와 연속해서 행해지는 호흡의 인접한 positive peak 간의 시간간격을 해당 호흡의 호흡주기로 정의했다. 일정 기간 동안 행하여진 매 호흡의 호흡주기를 모두 구한 후 그 평균을 계산하였다.

⑥ Respiration period variability : 호흡주기 변동률=(호흡주기의 표준편차/ 호흡주기의 평균값)×100

⑦ Peak-valley difference mean : 매 호흡에 대해 positive peak와 바로 인접하여 후발하는 negative peak간의 amplitude 차이를 peak-valley difference 라고 정의했을 때, 이것의 평균값

⑧ Peak-valley difference variability : peak-val-

ley difference의 변이계수

⑨ Absolute peak mean : positive peak와 negative peak에 대해 절대값을 취해준 결과를 Absolute peak로 정의했을 때, absolute peak를 구한 평균값

⑩ Absolute peak variability : absolute peak mean의 변이계수

⑪ Inspiration period mean : 흡기 시간의 평균값

⑫ Inspiration period variability : 흡기 시간의 변이계수

⑬ Expiration period mean : 호기시간의 평균값

⑭ Expiration period variability : 호기 시간의 변이계수

⑮ Expiratory/Inspiratory time ratio mean : 한 호흡의 호기시간/흡기시간을 구하고 Expiratory/Inspiratory time ratio라고 정의했을 때, 일정시간 동안 행해진 호흡에 대한 매 호흡의 Expiratory/Inspiratory time ratio의 평균값

⑯ Expiratory/Inspiratory time ratio variability : Expiratory /Inspiratory time ratio의 변이계수

⑰ Breath-holding : 한 호흡의 negative peak와 흡기시작점이 나타나는 시간의 차이

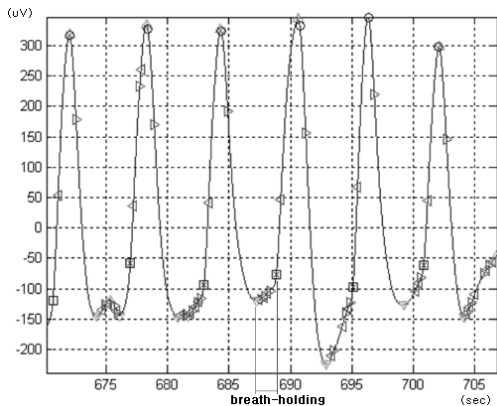


Figure 5. Detection of the breath-holding. Δ positive peak; ∇ negative peak; \triangleleft the start point of expiration; \circ the start point of inspiration ; \triangleright the end point of inspiration ; \boxtimes the end point of expiration is the start point of inspiration.

2) 뇌파와 심박변이도

뇌파는 Table 2에서와 같이 시간에 따라 변화하는 시계열 신호를 주파수 영역으로 변환하기 위하여 Fast Fourier Transformation (FFT)을 하고 난 후, 각 주파수에 따라 절대값(Absolute Band Power)을 구하였다.

심박변이도는 호흡유도를 시행하여 측정된 심전도를 이용하여 분석하였다. 심박변이도의 측정지표로 주파수영역분석을 사용하였는데, 이는 심장 박동의 변화를 주파수 영역에서 분석하여 각 주파수영역의 신호가 상대적으로 어떤 강도로 있는지 보는 방법으로써 주요 주파수 대역은 0-0.4 Hz사이이다. 이 연구에서는 Table 3과 같이 TP (total power density), VLF (very low frequency density), LF (low frequency density), HF (high frequency density), norm-LF (LF/(LF+HF)), norm-HF (HF/(LF+HF))를 분석지표로 사용하였다.

TP, VLF, LF, HF는 자연로그값을 취하여 분석하였고, norm-LF (LF/(LF+HF)), norm-HF(HF/(LF+HF))는 정규화한 값으로 자연로그값을 취하지 않고 분석하였다.

Table 2. Frequency Range of EEG

Parameter	Hz
δ	2-3.999
θ	4-7.999
low α	8-9.999
high α	10-12.999
β	13-29.999
γ	30-70

4. 분석 방법

본 연구는 수집된 15분의 호흡신호, 뇌파신호 및 심전도신호 중에서 figure 5에서와 같이 5분간 positive peak와 negative peak점들이 모두 명확하게 검

Table 3. Selected Frequency Domain Measures of HRV

Parameter	Unit	Description	Frequency Range
Total Power	ms ²	The variance of NN intervals over the temporal segment	≤0.4Hz
VLF	ms ²	Power in VLF Range	0.002-0.05Hz
LF	ms ²	Power in LF Range	0.05-0.15Hz
norm-LF	nu	LF power in normalized units LF/(total power-VLF) X 100	
HF	ms ²	Power in HF Range	0.15-0.5Hz
norm-HF	nu	HF power in normalized units HF/(total power-VLF) X 100	

출되는 호흡 구간을 선정하고, 이 구간에서 얻어지는 뇌파와 심전도 신호를 최종자료로 사용하였다.

호흡신호는 MATLAB 7.1을 이용하여 Eli Billauer와 고¹⁶⁾에 의하여 개발된 알고리즘으로 16개의 호흡지표의 값을 구하고, 止息의 평균값을 구하여 피검자마다 止息의 변이계수의 크기를 100%를 기준

으로 하여 집단을 구분하였다.

뇌파와 심전도신호는 TeleScan 2.0(Laxtha, Korea) 프로그램을 이용하여 분석하였는데, 뇌파는 시간에 따라 변화하는 시계열 신호를 주파수 영역으로 변환하기 위하여 Fast Fourier Transformation(FFT)을 하고 난 후, 각 주파수에 따라 절대값(Absolute Band Power)

Tabel 4. Comparison of Respiratory Variables Between Breath-holding Patterns by T-test (n=46)

	Group A	Group B	Mann-Whitney U	Asymp. Sig. (2-tailed)
	(n=29)	(n=17)		
	Mean ± SD	Mean ± SD		
PPkM	185.25±81.94	140.88±68.00	168.00	0.074
PPkV	18.92±6.57	21.79±6.42	169.00	0.078
NPkM	153.07±73.14	-126.35±70.49	201.00	0.300
NPkV	25.40±10.85	25.20±9.81	235.00	0.794
RPdM	4.02±0.77	3.44±0.44	128.50	0.007***
RPdV	15.06±4.79	13.73±3.94	207.00	0.369
PVDM	338.32±154.31	263.11±136.36	176.00	0.109
PVDV	17.32±6.25	17.07±4.58	238.50	0.856
APkM	169.16±77.15	131.59±68.13	176.00	0.109
APkV	24.74±8.21	25.50±7.03	227.00	0.657
IPdM	1.56±0.30	1.38±0.19	152.50	0.032**
IPdV	21.25±5.95	20.22±5.99	218.00	0.517
EPdM	2.37±0.42	2.18±0.33	187.50	0.179
EPdV	25.73±9.15	30.94±12.35	194.00	0.232
EIRM	1.62±0.32	1.66±0.27	244.00	0.955
EIRV	32.30±14.58	37.19±13.05	184.00	0.155

p<0.05, *p<0.01

SD : Standard Deviation; Group A : Coefficient of variation<100%; Group B: Coefficient of variation>100%

을 구하였다. (Table 3) 심박변이도는 심전도신호에서 R-R interval variability를 구하고, 각 주파수별 절대값을 구한 뒤에 로그 변환하여 분석하였다. (Table 3) 본 연구에서 수집된 자료를 분석하기 위하여 SPSS Windows 13.0(SPSS, Inc. U. S. A.)을 이용하였다.

자발호흡에서 止息이 큰 변이계수를 나타내는 집단과 작은 변이계수를 나타내는 집단 간의 호흡지표 16개 항목 중에서 Respiration period mean, Inspiration period mean를 제외한 14개의 항목은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. (Table 4) 두 집단 간 Respiration period mean과 Inspiration period mean은 변이계수가 작은 집단에서 그 값이 각각 큰 것으로 나타났다.

III. 연구결과

1. 호흡지표의 비교

2. 심박변이도의 비교

자발호흡에서 止息이 큰 변이계수를 나타내는 집

Table 5. Comparison of HRV Parameters Between Breath-holding Patterns by T-test ($n=46$)

HRV	Group A	Group B	Mann-Whitney U	Asymp. Sig. (2-tailed)
	($n=29$)	($n=17$)		
	Mean \pm SD	Mean \pm SD		
VLF	6.60 \pm 0.71	6.68 \pm 0.53	229.50	0.70
LF	6.22 \pm 0.89	6.06 \pm 0.65	193.00	0.22
HF	6.00 \pm 0.67	5.86 \pm 0.71	210.50	0.41
TP	7.50 \pm 0.58	7.43 \pm 0.50	216.50	0.49
norm-LF	0.55 \pm 0.16	0.55 \pm 0.12	227.00	0.66
norm-HF	0.44 \pm 0.16	0.45 \pm 0.13	221.50	0.57

** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

SD : Standard Deviation; Group A : Coefficient of variation<100%; Group B: Coefficient of variation>100%

Table 6. Comparison of Low α Frequency Between Breath-holding Patterns by T-test ($n=46$)

Region of 10-20 System	Group A	Group B	Mann-Whitney U	Asymp. Sig. (2-tailed)
	($n=29$)	($n=17$)		
	Mean \pm SD	Mean \pm SD		
F3	9.67 \pm 6.50	9.13 \pm 4.98	243.00	0.94
F4	9.15 \pm 6.61	8.94 \pm 5.15	231.50	0.73
Fp1	13.15 \pm 15.89	15.39 \pm 9.21	189.00	0.19
Fp2	11.98 \pm 13.58	12.83 \pm 7.71	200.00	0.29
T3	6.39 \pm 4.94	6.13 \pm 4.50	242.50	0.93
T4	4.41 \pm 4.72	3.62 \pm 2.36	241.00	0.90
P3	15.00 \pm 21.02	13.43 \pm 18.28	229.00	0.69
P4	14.53 \pm 18.03	10.48 \pm 9.94	222.00	0.58

** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

SD : Standard Deviation; Group A : Coefficient of variation<100%; Group B: Coefficient of variation>100%

Table 7. Comparison of High α Frequency Between Breath-holding Patterns by T-test ($n=46$)

Region of 10-20 System	Group A ($n=29$)	Group B ($n=17$)	Mann-Whitney U	Asymp. Sig. (2-tailed)
	Mean \pm SD	Mean \pm SD		
F3	6.87 \pm 3.72	8.08 \pm 7.30	240.50	0.89
F4	6.29 \pm 3.39	7.33 \pm 6.99	232.00	0.74
Fp1	7.55 \pm 7.36	10.52 \pm 8.11	179.00	0.12
Fp2	6.85 \pm 5.81	9.03 \pm 6.47	184.00	0.15
T3	5.67 \pm 2.72	6.67 \pm 4.93	237.00	0.83
T4	3.95 \pm 2.43	4.15 \pm 2.84	233.00	0.76
P3	11.76 \pm 7.91	14.45 \pm 14.09	240.00	0.88
P4	11.50 \pm 8.08	12.19 \pm 13.09	230.00	0.71

** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

SD : Standard Deviation; Group A : Coefficient of variation<100%; Group B: Coefficient of variation>100%

단과 작은 변이계수를 나타내는 집단 간의 심박변이도 항목은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. (Table 5)

2) high α 파의 비교

자발호흡에서 止息이 큰 변이계수를 나타내는 집단과 작은 변이계수를 나타내는 집단 간의 high α 파 변화량은 모든 부위에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다. (Table 7)

3. 뇌파의 비교

1) low α 파의 비교

자발호흡에서 止息이 큰 변이계수를 나타내는 집단과 작은 변이계수를 나타내는 집단 간의 low α 파 변화량은 모든 부위에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다. (Table 6)

3) β 파의 비교

자발호흡에서 止息이 큰 변이계수를 나타내는 집단과 작은 변이계수를 나타내는 집단 간의 β 파 변화량은 Fp1 부위에서 통계적으로 유의한 차이가 있었

Table 8. Comparison of β Frequency Between Breath-holding Patterns by T-test ($n=46$)

Region of 10-20 System	Group A ($n=29$)	Group B ($n=17$)	Mann-Whitney U	Asymp. Sig. (2-tailed)
	Mean \pm SD	Mean \pm SD		
F3	10.27 \pm 6.73	10.50 \pm 3.66	201.00	0.30
F4	9.87 \pm 9.15	9.22 \pm 2.98	182.00	0.14
Fp1	10.11 \pm 7.32	19.28 \pm 26.28	141.00	0.02**
Fp2	12.61 \pm 17.28	26.49 \pm 48.95	165.00	0.06
T3	15.06 \pm 14.49	17.54 \pm 13.76	205.00	0.34
T4	10.56 \pm 11.58	13.57 \pm 10.94	195.00	0.24
P3	13.05 \pm 7.67	14.55 \pm 11.35	238.00	0.85
P4	10.56 \pm 5.00	10.40 \pm 3.69	240.00	0.88

** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

SD : Standard Deviation; Group A : Coefficient of variation<100%; Group B: Coefficient of variation>100%

Table 9. Comparison of δ Frequency Between Breath-holding Patterns by T-test ($n=46$)

Region of 10-20 System	Group A ($n=29$)	Group B ($n=17$)	Mann-Whitney U	Asymp. Sig. (2-tailed)
	Mean \pm SD	Mean \pm SD		
F3	134.59 \pm 151.56	245.35 \pm 259.44	179.00	0.12
F4	130.77 \pm 152.35	234.67 \pm 268.87	189.00	0.19
Fp1	474.14 \pm 665.77	843.34 \pm 835.73	171.00	0.09
Fp2	466.27 \pm 686.51	744.73 \pm 851.38	190.00	0.20
T3	23.07 \pm 17.05	30.09 \pm 26.52	213.00	0.45
T4	16.93 \pm 25.62	17.22 \pm 9.47	166.00	0.07
P3	24.41 \pm 16.42	23.92 \pm 11.74	230.00	0.71
P4	22.54 \pm 16.66	24.51 \pm 13.03	208.00	0.38

** $p<0.05$, *** $p<0.01$

SD : Standard Deviation; Group A : Coefficient of variation<100%; Group B: Coefficient of variation>100%

다. (Table 8)

량은 모든 부위에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다. (Table 10)

4) δ 파의 비교

자발호흡에서 止息이 큰 변이계수를 나타내는 집단과 작은 변이계수를 나타내는 집단 간의 δ 파 변화량은 모든 부위에서 통계적으로 유의한 차이가 없었다. (Table 9)

5) θ 파의 비교

자발호흡에서 止息이 큰 변이계수를 나타내는 집단과 작은 변이계수를 나타내는 집단 간의 θ 파 변화

6) γ 파의 비교

자발호흡에서 止息이 큰 변이계수를 나타내는 집단과 작은 변이계수를 나타내는 집단 간의 γ 파 변화량은 Fp1 부위에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다. (Table 11)

Table 10. Comparison of θ Frequency Between Breath-holding Patterns by T-test ($n=46$)

Region of 10-20 System	Group A CV<100% ($n=29$)	Group B CV>100% ($n=17$)	Mann-Whitney U	Asymp. Sig. (2-tailed)
	Mean \pm SD	Mean \pm SD		
F3	45.35 \pm 46.86	60.20 \pm 52.81	200.00	0.29
F4	35.82 \pm 33.52	56.63 \pm 51.22	189.00	0.19
Fp1	132.40 \pm 202.94	184.99 \pm 165.21	179.00	0.12
Fp2	126.68 \pm 200.44	158.45 \pm 162.46	193.00	0.22
T3	16.10 \pm 9.71	13.73 \pm 7.52	212.00	0.43
T4	15.79 \pm 20.54	9.31 \pm 3.35	231.50	0.73
P3	23.51 \pm 18.35	16.04 \pm 5.55	210.50	0.41
P4	23.27 \pm 19.89	16.71 \pm 7.62	239.00	0.86

** $p<0.05$, *** $p<0.01$

SD : Standard Deviation; Group A : Coefficient of variation<100%; Group B: Coefficient of variation>100%

Table 11. Comparison of γ Frequency Between Breath-holding Patterns by T-test ($n=46$)

Region of 10-20 System	Group A ($n=29$)	Group B ($n=17$)	Mann-Whitney U	Asymp. Sig. (2-tailed)
	Mean \pm SD	Mean \pm SD		
F3	1.77 \pm 1.88	1.89 \pm 1.77	240.50	0.89
F4	1.81 \pm 2.71	1.60 \pm 1.14	210.50	0.41
Fp1	2.37 \pm 2.60	5.83 \pm 11.60	156.50	0.04**
Fp2	3.94 \pm 8.14	10.67 \pm 28.05	184.00	0.15
T3	4.12 \pm 5.50	4.35 \pm 4.53	243.50	0.95
T4	2.99 \pm 3.66	4.08 \pm 4.02	203.00	0.32
P3	1.85 \pm 2.42	2.52 \pm 4.33	240.00	0.88
P4	1.40 \pm 1.44	1.44 \pm 1.14	231.00	0.72

** $p<0.05$, *** $p<0.01$

SD : Standard Deviation; Group A : Coefficient of variation<100%; Group B: Coefficient of variation>100%

IV. 고찰

호흡 패턴의 변화는 여러 가지로 생체신호에 영향을 미친다. 기존의 호흡 연구에서는 호흡주기, 분당 호흡수와 호기/흡기비를 중심으로 생체 반응에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. Grossman 등³⁾은 호흡주기가 느린 호흡은 분당 호흡수가 작아, 깊고 안정된 호흡이라는 것을 밝혔으며, Strauss 등⁴⁾은 호기와 흡기의 비율을 조절한 호흡패턴을 연구하여 呼長吸短 호흡에서 RSA가 吸長呼短 호흡보다 유의하게 증가했음을 보고하였다.

특히 호흡지표 중 진폭과 호흡주기의 변이도는 호흡의 안정성을 평가하는 중요한 지표가 된다.⁵⁻⁹⁾ 김 등¹⁰⁻¹²⁾에 의하면, 자발호흡과 유도호흡(호기/흡기비 1.6)시에 호흡 진폭의 변이도와 뇌파 및 심박변이도의 변화에 관한 보고에서 인체 내 기관(심혈관계, 뇌, 내분비계, 면역계 등)들이 항상성을 유지하기 위하여 일정한 범위 내에서 유연성과 변이성을 유지한다고 보고하였다.

본 연구는 자발호흡시 止息시간의 표준편차를 평균값으로 나누어 100을 곱한 변이계수를 비교하였다. 止息의 변이계수가 100%보다 크게 나타난 집단($n=17$)과 작게 나타난 집단($n=29$)으로 나누었다. 또

한 두 집단 간의 특성과 호흡지표, 심박변이도 지표, 뇌파의 파워값을 비교해 보았다. 뇌파와 심박변이도는 대표적인 調息의 효과 검증지표로 알려져 있다.¹⁸⁻²⁴⁾

두 집단 피검자 간의 연령, 성별, 체중, 신장 등의 특성을 비교 분석한 결과 통계적으로 유의한 차이는 없었다. (Table 1) 그러나 止息 변이계수가 100%보다 큰 집단(0.35 \pm 0.17 sec)이 작은 집단(0.67 \pm 0.29 sec)보다 止息시간의 평균값이 작았으며 이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

호흡지표에서는 止息 변이계수가 100%보다 작은 집단이 큰 집단보다 호흡주기의 평균값과 흡기시간의 평균값이 컸으며 이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 심박변이도 지표에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 뇌파 중 좌측 전전두엽의 β 파와 γ 파의 파워값은 止息 변이계수가 100%보다 큰 집단이 작은 집단보다 컸으며 이는 통계적으로 유의한 차이가 있었다. (Table 11)

호흡곡선을 분석해 보면 호기시작점은 최고점과 일치하는 경우가 많다. 그러나 흡기시작점은 최저점과 일치하지 않는 경우가 많이 있다. 자연스러운 호흡 상태에서는 흡기는 노력성 호흡이며 호기는 특별한 노력 없이 호흡근의 이완만으로 수동적으로 이루어

지는 차이가 있다. 호기시작점은 흡기를 하면서 나타나는 호흡근의 긴장을 이완시키면서 시작하며, 이 때 내쉬는 공기량이 급작스럽게 증가하는 것은 아니어서 호흡곡선의 최고점과 호흡곡선을 이차 미분했을 때의 최고값과 자연스럽게 대부분 일치한다고 할 수 있다. 그러나 흡기시작점은 호흡근을 긴장시키면서 숨을 급작스럽게 들이쉬는 경향이 있게 되어 최저점과 호흡곡선을 이차 미분한 값과 자연스럽게 일치하지 않는다. 본 연구에서 분석에 사용한 호흡곡선은 안정한 호흡 5분을 뽑아낸 것이므로 최저점이 나타났다는 것은 피검자가 자발호흡에 익숙한 상태로 판단할 수 있다. 따라서 익숙한 호흡 상태가 전제되었을 때 나타난 최저점은 호기를 완료한 상태라고 말할 수 있다. 분석이 이루어진 호흡 곡선에서 최저점부터 흡기시작점까지는 0.16-1.22 sec의 止息이 나타난다. 이것은 호기를 완료하였음에도 즉시 흡기를 시행하지 않고 흡기를 기다리는 상태라고 볼 수 있다.

止息이 호기를 완료하여 흡기를 기다리는 구간으로 호기를 멈추고 흡기를 기다리는 상태라면, 공기량의 변화가 없으므로 써미스터를 통하여 획득한 호흡곡선 상에서 시간축에 평행한 형태이어야 할 것으로 생각되나 실제 측정된 호흡곡선에서는 온도 변화에 의한 써미스터의 저항 변화가 지속적으로 나타나는 것이 보인다.

써미스터에 온도를 증가시키고 더 이상 조건의 변화가 없을 때를 관찰한 결과, 최저점 뒤에 자연스러운 전압의 변화는 지속적으로 나타나는 것이 관찰되었다. 따라서 호흡곡선은 피검자의 호기가 종료된 후에도 흡기시작점까지 시간축에 평행한 형태가 아닌 자연스러운 전압의 변화가 지속적으로 나타나는 곡선의 형태를 유지하는 것이다. 그러나 止息시간동안 나타나는 저항의 변화가 써미스터의 기계적 특성 이외의 의미가 있는지에 대하여 개인의 호흡량과 호흡강도와의 관계를 규명해보는 연구가 추가적으로 필요하다.

동의보감에서는 "<明理>曰 短氣者 氣短而不能相續者 是已 若有氣上衝而悉 非氣上衝也 呼吸雖數而不能相續 似喘而不搖肩 似呻吟而無痛 實爲難辨之證 要識其眞者 氣急而短促 是也."²⁵⁾라 하여 기력이 약하여 숨을 잘 이어가지 못하는 短氣를 정의하고 있는데, 胸痺心痛과 함께 출현하는 短氣를 평가함에 있어 止息은 호흡평가지표로 활용할 수 있을 것으로 보인다.

止息을 정량화하여 호흡 평가지표로 삼는 것은 추후 유도호흡을 시행하는 연구에서 수행능력을 평가하는 지표로 사용될 수 있으므로 止息을 정의내리는 것 이외에도 止息이 호흡에서 가지는 특성을 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 止息을 변이계수로 구분하여 호흡의 특성을 파악해 보았다. 止息 변이계수가 100%보다 큰 집단(0.35±0.17 sec)은 작은 집단(0.67±0.29 sec)보다 止息시간이 짧은 것을 볼 수 있다. 자발호흡에서 止息이 상대적으로 짧은 상태이나 止息에 다양한 변화가 나타나는 것을 의미한다.

호흡지표로 두 집단을 비교하여 보았을 때, 호흡주기 평균값과 흡기주기 평균값이 두 집단 간에 통계적인 차이를 보이는데, 止息 변이계수가 100%보다 작은 집단이 큰 집단보다 두 지표에서 모두 크게 나타났다.

위의 결과를 종합하여 두 집단을 비교 분석하여 보면, 止息의 변이계수가 100%이하로 止息의 변이도가 나타난 경우 호흡주기가 길고 이에 따라 흡기시간이 길며 호흡수가 적은 느린 호흡이며 이러한 호흡은 환기량이 높은 호흡으로 안정적인 호흡³⁾을 하고 있음을 의미한다. 인체에서 관찰할 수 있는 생체신호에서 변이도는 일정수준 나타나는 것이 건강상태이며 변이도가 낮아지는 것은 질병상태와 노화를 의미한다²⁶⁾고 알려져 있으나 止息의 변이계수로 집단을 구분하여 특성을 비교하여 호흡을 평가하여 보았을 때, 止息의 지나친 변화가 관찰되는 것은 안정적이지

못한 호흡을 하는 것이다.

뇌파의 측정변수들은 명상을 하면 눈을 뜨거나 감은 상태 모두에서 low frequency activity(즉 θ 파와 α 파)가 증가된다고 보고되고 있다.²⁸⁻³³⁾ 또한 Jevning 등³⁴⁾과 Travis 등³⁵⁾은 초월명상을 하면 frontal and central α activity or α power가 증가한다고 보고하였고, Shin 등³⁶⁾은 초월명상을 하면 frontal and central α activity가 증가하는데 이것의 발생지는 내측 전전두엽 피질과 전측 대상피질이라고 보고하였다. Aftanas 등³⁷⁾은 Sahaja 요가 명상을 했을 때 휴식을 취할 때보다는 중심전두부와 중심부에서 θ -1(4-6Hz), θ -2(6-8Hz) and α -1(8-10Hz) frequency bands가 증가했는데, 이는 명상이 부적절한 정보를 억제시킬 뿐만 아니라 내적으로 주의집중을 유지하기 때문이라고 했다. Nowlis 등³⁸⁾은 α 파의 증가가 이완된 경험을 유발한다고 하였고, 감³⁹⁾은 정신활동시에 α 파가 억제되고 β 파가 증가한다고 하였다.

본 연구에서는 뇌파 중 좌측 전전두엽에서 β 파와 γ 파의 크기가 두 집단간의 통계적으로 유의미한 차이를 보인다. 좌측 전전두엽피질은 사람들의 감정이 낙관적이고, 열정에 차 있고 기력이 넘치는 긍정적 감정 상태일 때는 평소 조용하던 상태에서 활기를 띠는 것으로 알려져 있다.⁴⁰⁾ 止息 변이계수가 100%보다 큰 집단이 작은 집단보다 β 파와 γ 파가 크게 나타났다. 止息이 변화가 지나치게 다양한 경우가 그렇지 않은 경우보다 긴장된 상태, 불안한 상태라고 할 수 있다.

본 연구에서는 안정적인 자발호흡을 시행하였을 때의 止息과 止息의 변이계수에 따라 호흡지표와 심박변이도, 뇌파의 특성을 비교하여 보았으며, 이것은 추후 유도호흡의 연구에 평가지표로 사용하는 근거 자료를 제시한다고 할 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 개개인의 최적화된 효과적인 호흡 패턴을 제시하기 위한 기반기술을 확보하기 위하여, 건강한 성인 남녀 46명을 대상으로 정상시의 호흡인 자발호흡 상태에서 止息의 변이계수로 분류된 집단간의 호흡지표, 뇌파 및 심박변이도를 각각 비교 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 止息 변이계수가 큰 집단에서는 작은 집단 보다 호흡주기와 흡기주기, 止息시간의 평균값이 통계적으로 유의하게 작았다.
2. 止息 변이계수가 큰 집단에서는 작은 집단 보다 심박변이도 지표가 통계적으로 유의한 차이는 없었다.
3. 止息 변이계수가 큰 집단에서는 작은 집단 보다 β 파와 γ 파의 파워값이 통계적으로 유의하게 컸다.

參 考 文 獻

1. 김혜경, 신상훈, 박영배. 기공이 효능·효과에 관한 문헌적 고찰-생체 신호를 중심으로. 대한한의진단학회지. 2004; 7: 69-85.
2. Nagendra. Pranayama-The art and science, Vivekananda Kendra Yoga Prakashana, 1999, 53.
3. Grossman P. Respiration, stress and cardiovascular function. Psychophysiology, 1983; 20: 284-300.
4. Strauss-Blasche G, Moser M, Voica M, McLeod DR, Klammer N, Marktl W. Relative timing of inspiration and expiration affects respiratory sinus arrhythmia. Clin Exp Pharmacol Physiol. 2000; 27: 601-606.

5. 김혜경. 호흡유도에 따른 전두부 뇌파와 심박 변이도에 관한 연구. 경희대학교 박사학위논문, 2005.
6. 유승연, 박영재, 박영배. 심박변이도와 호흡변이도의 상관성 연구. 대한한의진단학회지. 2008; 12: 74-83.
7. Ritz T, Dahme B. Implementation and interpretation of respiratory sinus arrhythmia measures in psychosomatic medicine: practice against better evidence? *Psychosom Med.* 2006; 68: 617-627.
8. Schächinger H, Weinbacher M, Kiss A, Ritz R, Langewitz W. Cardiovascular indices of peripheral and central sympathetic activation. *Psychosom Med.* 2001; 63: 788-796.
9. Houtveen JH, Groot PF, Geus EJ. Effects of variation in posture and respiration on RSA and pre-ejection period. *Psychophysiology.* 2005; 42: 713-719.
10. 김동원, 박영재, 허영, 박영배. 호흡변이도와 POMS(profile of mood states)의 상관성 연구. 대한한의진단학회지. 2008; 12: 84-95.
11. 배노수, 오환섭, 박영배. 호흡변이도 및 호흡지표와 한열의 상관관계에 대한 연구. 대한한의진단학회지. 2008; 12: 96-106.
12. 김동원, 호흡이 뇌파 및 심박변이도에 미치는 영향. 경희대학교 박사학위논문, 2009.
13. 박현순, 이창인, 김영철, 김종원. 공황장애 환자의 임상양상에 관한 조사연구. 한국심리학회지 임상. 1997; 16: 1-13.
14. 정은정, 김양기, 이영목, 김기엽, 어수택, 김용훈, 김도진, 박춘식, 황정화. 만성 폐쇄성폐질환 환자에서 호흡곤란과 영상학적 정량과의 상관관계. 대한결핵 및 호흡기학회. 2009; 66: 288-294.
15. 唐立明. 对金匱“胸痹心痛短气病脉证治”篇条文理解与现代医学体会. *中华中医药学刊.* 2008; 26: 1571-1573.
16. 고영일. 호흡패턴과 체위 변화가 자율신경계에 미치는 영향. 경희대학교 박사학위논문, 2009.
17. 전국한의과대학 진단생기능의학교실. 생기능의학, 서울, 군자출판사, 2008, 219.
18. 조선희. 학습활동 시 腦呼吸 수련학생과 일반학생의 腦波分析. 서울대학교대학원, 과학교육과 석사학위논문. 2001.
19. 劉超. 氣功のメカニズム解明のための氣功師の各種計測. *人體科學,* 1994; 3: 65-87.
20. 町好雄. 靜功・内養功の生理的な測定. *國際生命情報科学会誌,* 1998; 16: 297-299.
21. 張彤. 陳偉中. 氣功課題時 心電R-R間隔の變動と腦波α波/θ波 平均振幅との相關について. *國際生命情報科学会誌.* 2003; 21: 282-284.
22. 張彤. 陳偉中. 氣功時の腦活動: 腦波と光トポグラフィ測定の比較. *國際生命情報科学会誌.* 2002; 20: 522-525.
23. 劉超, 町好雄. 制御呼吸による生理効果と氣功における呼吸法. *國際生命情報科学会誌.* 2001; 19: 96-98.
24. 沈再文, 伊藤智子. 閉息呼吸法による大脳皮質の活動状態の變化. *國際生命情報科学会誌.* 2003; 21: 274-277.
25. 허준. 동의보감. 서울, 법인문화사, 1999, 166-167.
26. Van Diest I, Thayer JF, Vandeputte B, Van de Woestijne KP, Van den Bergh O. Anxiety and respiratory variability. *Physiol Behav.* 2006; 89: 189-195.
27. Lutz A, Greischar LL, Rawlings NB, Ricard M, Davidson RJ. Long-term meditators self-induce high-amplitude gamma synchrony during mental practice. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2004; 101: 16369-16373.
28. Delmonte MM. Electro cortical activity and re-

- lated phenomena associated with meditation practice: a literature review. *Int J Neurosci.* 1984; 24: 217-231.
29. Travis FT. Eyes open and TM EEG patterns after one and after eight years of TM practice. *Psychophysiology.* 1991; 28: 58.
 30. Lee MS, Bae BH, Ryu H, Sohn JH, Kim SY, Chung HT. Changes in alpha wave and state anxiety during ChunDoSunBup Qi-training in trainees with open eyes. *Am J Chin Med.* 1997; 25: 289-299.
 31. Khare KC, Nigam SK. A study of electroencephalogram in meditators. *Indian J Physiol Pharmacol.* 2000; 44: 173-178.
 32. Kubota Y, Sato W, Toichi M, Murai T, Okada T, Hayashi A, Sengoku A. Frontal midline theta rhythm is correlated with cardiac autonomic activities during the performance of an attention demanding meditation procedure. *Brain Res Cogn Brain Res.* 2001; 11: 281-287.
 33. Travis F, Tecce J, Arenander A, Wallace RK. Patterns of EEG coherence, power, and contingent negative variation characterize the integration of transcendental and waking states. *Biol Psychol.* 2002; 61: 293-319.
 34. Jevning R, Wallace RK, Beidebach M. The physiology of meditation: a review. A wakeful hypometabolic integrated response. *Neurosci Biobehav Rev.* 1992; 16: 415-424.
 35. Travis F, Olson T, Egenes T, Gupta HK. Physiological patterns during practice of the Transcendental Meditation technique compared with patterns while reading Sanskrit and a modern language. *Int J Neurosci.* 2001; 109: 71-80.
 36. Yamamoto S, Kitamura Y, Yamada N, Nakashima Y, Kuroda S. Medial prefrontal cortex and anterior cingulate cortex in the generation of alpha activity induced by transcendental meditation: a magnetoencephalographic study. *Acta Med Okayama.* 2006; 60: 51-58.
 37. Aftanas LI, Golocheikine SA. Non-linear dynamic complexity of the human EEG during meditation. *Neurosci Lett.* 2002; 330: 143-146.
 38. Nowlis DP, Kamiya J. The control of electroencephalographic alpha rhythms through auditory feedback and the associated mental activity. *Psychophysiology.* 1970; 6: 476-484.
 39. 김인선. 중학생의 불안과 뇌파와의 관계. 충남대학교, 석사학위논문. 1994.
 40. Putnam KM, Pizzagalli DA, Gooding DC, Kalin NH, Davidson RJ. Neural activity and diurnal variation of cortisol: evidence from brain electrical tomography analysis and relevance to anhedonia. *Psychophysiology.* 2008; 45: 886-895.

