

## 노년기 인지기능 및 건강상태를 반영하는 지표로써 Alpha 고유리듬과 뇌파 및 HRV 지표와의 관계 연구

A Study of Intrinsic Alpha Rhythm, Electroencephalography, and Heart Rate Variability Index as Indicators of Cognitive Function and Health in Elderly Adults

심준영<sup>†</sup>

Jun-Young Shim<sup>†</sup>

### Abstract

This study was an examination of the relevance and clinical significance of electroencephalographic (EEG) indexes (e.g., mental/physical stress and attention) and indexes of heart rate variability (HRV) with regard to cognitive function and physiological health conditions in elderly people. A device was used to record two-channel EEGs of the frontal lobe and a one-channel ECG simultaneously. Subjects were 76 people average aged 73. The significant findings are as follows: First, subjects whose intrinsic alpha rhythm had high amplitude, regardless of peak, showed higher resistance to mental stress and lower physical stress than did subjects with low-amplitude intrinsic alpha rhythm. Second, HRV, SDNN, and RMSSD indexes showed strong positive correlations between the two groups of subjects regardless of the division of groups. Third, the alpha asymmetry of the left and right sides of the brain in subjects with low-amplitude intrinsic alpha rhythm was larger, and the delta/alpha ratio (reflecting physical stress) and theta/sensorimotor rhythm (SMR) ratio (showing the decline in attention) were bigger. Fourth, the subjects in whom intrinsic alpha rhythm peak occurred during slow rhythm had a higher theta/SMR ratio than did subjects whose peak occurred during fast rhythm, which was related to a steeper decline in attention. Therefore, the presence or absence of intrinsic alpha rhythm peak and amplitude on quantitative EEG may be an index reflecting the cognitive function and physiological health of elderly people.

**Key words:** Elderly, Cognitive Function, EEG, Alpha Intrinsic Rhythm, HRV

### 요약

이 연구는 노년기 인지기능 및 생리적 건강상태와 관련 있는 정량화 뇌파의 Alpha 고유리듬 피크 위치 및 진폭의 출현 유무가 정신적·육체적 스트레스, 주의집중 등의 뇌파 지표들과 심박변이도 지표 간에 어떠한 관련성과 임상적 의미가 있는지 알아보려고 하였다. 이를 위하여 평균 73세 남녀 노인 76명을 대상으로 전두엽 2채널 뇌파와 1채널 심전도를 동시에 측정 가능한 장치를 이용하여 폐안시 EEG, HRV를 측정하였다. 의미있는 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, Alpha 고유리듬피크 위치와 상관없이 고유리듬 진폭이 높게 잘 나타난 집단은 낮은 집단에 비해 정신적 스트레스에 대한 저항도는 높고, 육체적 스트레스는 낮게 나타나는 상관성을 보였다. 두 번째, 심박변이도의 HRV index, SDNN, RMSSD 지표는 집단 구분에 상관없이 공통적으로 서로 간 높은 양의 상관성을 보였다. 세 번째, Alpha 고유리듬 진폭이 잘 나타나지 않은 집단에서 좌우뇌 Alpha 비대칭이 커질수록 육체적 스트레스를 반영하는 Delta/Alpha 비율과 주의집중 저하를 반영하는 Theta/SMR 비율도 커지는 상관성을 보였다. 네 번째, Alpha 고유리듬피크가 느린 리듬

\* 이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A5A2A01027733).

<sup>†</sup>(교신저자) 심준영: 국제뇌교육종합대학원대학교 뇌교육학과 부교수 / E-mail : simjy@naver.com / TEL :

쪽에 위치한 집단은 빠른 리듬 쪽에 위치한 집단에 비해 Theta/SMR 비율이 높게 나타나 주의집중도 저하와 관련이 있음을 의미하였다. 따라서 정량화 뇌파의 Alpha 고유리듬 피크 위치 및 진폭의 출현 유무는 노년기 인지기능 및 생리적 건강상태를 반영하는 지표로 활용 가능성이 있음을 시사하였다.

**주제어:** 노년기, 인지기능, 뇌파, 알파 고유리듬, 심박변이도

## 1. 서론

우리나라 노인 인구는 2018년 기준 약 738만 1천명으로 전체 인구의 14.3%를 차지하고 있으며(Statistics Korea, 2018), 2025년에는 천만명을 넘어 노인 인구의 비중이 20%를 초과하는 초고령 사회에 도달할 것으로 예측되고 있다(Statistics Korea, 2016). 이처럼 노인 인구가 급속히 증가한 고령사회가 되면서 단순한 수명 연장보다는 삶의 질 측면에서 노년기 건강관리 및 만성질환 예방의 중요성은 나날이 증가하고 있다.

노년기 정신건강과 관련하여 노인의 인지기능이 높을수록 우울정도가 낮고(Kim & Sohn, 2005), 인지기능이 저하된 노인에서 우울증상이 증가하여 삶의 질을 저하시키는 요인으로 작용한다. 우울한 사람은 기억력과 집중력을 평가하는 인지과제에서 저조한 수행과 느린 정보처리 속도를 보인다(Li, Meyer, & Thornby, 2001). 이러한 우울증은 인지기능 저하로 이어지고 인지기능 장애는 평형기능 및 사지조화 능력에 영향을 미쳐 낙상 위험을 높임으로써(Huang, Gau, Lin, & Kernohan, 2003) 노인의 안전사고 위험을 증가시키게 된다. 이러한 노년기 정신건강 및 인지기능 저하는 일상생활의 수행을 어렵게 만들고 삶의 질을 떨어뜨리게 되므로 이를 예방하기 위한 연구 및 노력들이 필요하다.

노인은 신경생리학적 특성상 대뇌의 전전두엽(prefrontal lobe) 영역의 퇴조가 크게 진행됨으로써 전전두엽에 의존하는 인지기능들이 다른 영역 기능들보다 조기에 저하될 수 있다(Sim, 2009). 75세 이상 노인 15% 정도에서 경도인지장애가 발생하고, 매년 경도인지장애 환자의 10~15%가 알츠하이머병으로 진단되며, 6년 후에는 알츠하이머 80%가 치매로 진행된다(Kim, 2003). 이러한 노인 인지기능의 평가는 자기보고식 주관적 평가도구를 주로 사용하고 있는 것이 현

실이며, 이는 척도의 타당성과 신뢰성의 저하를 가져올 수가 있다. 이러한 측면에서 뇌파(electrocardiogram: EEG) 검사는 노인의 인지기능을 과학적으로 평가하고 관리할 수 있는 장점이 있으며, 정상노화와 여러 가지 신경퇴행성 질환을 구별해 주는 좋은 도구가 될 것으로 기대되고 있다(Celesia, Kaufman, & Cone, 1987; Rossi, 2009).

뇌파 분석의 접근법 중 주파수(frequency)에 의한 객관화된 정량화 뇌파(quantitative EEG: QEEG) 분석 기법은 비전문가도 데이터와 컴퓨터만 있으면 뇌파에 관한 정보를 손쉽게 구할 수 있는 장점이 있으며(Park & Ko, 2008), 정상 뇌파와 비정상 뇌파를 판단할 수 있다. 이러한 뇌파 검사는 비용 및 시간이 적게 소요되고 부작용이 없으며, 장비도 간단하여 객관적 평가 방법으로써 장점이 있으므로 향후 그 응용 가능성이 급속히 확대될 전망이다(Kim, Kim, & Lee, 2013).

정량화 뇌파에 의한 Alpha파의 좌·우뇌 비대칭은 정서적 측면과 관련이 있고(Gotlib, Ranganath, & Rosenfeld, 1998), Beta파는 이성적 판단과 관련성이 있다(Amoss, 2009). 또한 Delta/Alpha 및 Alpha/H-Beta 비율은 내·외적 환경요인으로 인한 육체적, 정신적 스트레스에 대한 저항도를 나타내는(Peniston et al., 1993) 지표로 사용되고 있다. 특히, 배경뇌파(background EEG)의 고유리듬피크(intrinsic rhythm peak)는 파워스펙트럼(power spectrum) 분포의 6~13Hz 영역 내에서 공통적으로 가장 높은 피크 형태로 나타나며(Penttilä et al., 1985; Pucci et al., 1999), 고유리듬피크의 위치와 형태는 인지기능 수준과도 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

뇌파의 고유리듬과 관련된 선행연구를 살펴보면, 정상노인에서부터 초기 치매, 중증 치매 환자를 대상으로 고유리듬피크의 분포를 비교한 연구에서 인지기능 퇴화가 심해질수록 고유리듬피크의 주파수 위치가 느린리듬 쪽으로 이동하면서 피크의 높이도 낮아지고

동시에 넓게 퍼지는 형상이 되어간다(Pucci et al., 1999). 또한 설문지 방식의 신경심리검사(neuropsychological test)에 의한 전형적인 인지기능 수준과 고유리듬피크 주파수 위치와의 상관관계에서도 설문지 방식의 인지기능 수준이 100에서 0으로 낮아질수록 고유리듬피크 위치도 10Hz에서 6Hz 정도까지 낮아졌다(Penttilä et al., 1985). 인지손상단계에 있는 노인 그룹별로 MMSE (mini-mental state score) 지수와 뇌파 고유리듬피크의 관계에서 정상, 우울증, 초기 치매, 중증 치매로 갈수록 MMSE 지수도 낮아지면서 고유리듬피크 주파수 위치도 9.5Hz에서 6Hz 수준까지 낮아졌음이(Prinz & Vitiello, 1989) 보고되었다. 그러나 뇌파 스펙트럼 분석(spectral analysis)과 병의 진행 정도는 연관성이 보고된 반면, 일부 인지기능 장애와 뇌파는 큰 연관성이 없다는 주장도 있다(Hughes et al., 1989).

한편, 노년기 스트레스는 신체, 심리적인 반응을 유발하여 질병에 영향을 미치는 중요 요인으로(Wilson et al., 2007) 스트레스성 질환은 자율신경계와 깊이 관련되며, 만성적 스트레스는 교감신경을 활성화시켜 심혈관계 질환을 발생시키고, 면역기능 저하 등 인체에 여러 가지 악영향을 초래한다(Lovallo & Thomas, 2000). 자율신경계의 변화는 심박변이도(heart rate variability: HRV)를 정량적으로 분석함으로써 스트레스에 대한 인체 반응이나 현재의 건강상태 및 정신생리학적 안정상태를 파악하는데 사용되어지고 있다(Jeste et al., 2013). 이러한 심박변이도와 뇌파 검사를 함께 연동하여 사용한다면 인체의 내·외적인 환경요인 및 항상성 조절능력을 평가하여 노인의 인지 및 스트레스에 대한 건강상태를 추적 관리하는데 좋은 도구가 될 수 있을 것이다.

이상과 같이 노인의 인지나 정서 및 신체 영역은 서로 간 밀접한 관련성이 있으며, 예방적 방법에 따라서 증상의 속도를 늦추거나 개선시킬 수 있다. 뇌 기능의 생물학적 표지자로서 뇌파는 대부분 치매와 같은 인지장애 대상자 위주의 연구들이 주를 이루고 있으며, 예방적 측면에서 노년층의 인지 및 생리적 건강상태에 대한 전기신경생리학적 평가도구의 연구는 부족한 실정이다. 그러므로 노년기 인지 및 생리적 건강상태를 객관적으로 파악할 수 있는 측정지표 발굴과 활용성을 위해 정량화 뇌파 및 심박변이도 지표에 대한 관

련성 연구의 필요성이 있다.

노인복지의 예방적 측면에서 노인들의 인지기능을 중심으로 한 생리적 건강상태를 뇌파나 심박변이도와 같은 전기신경생리학적 도구를 이용하여 조기 평가를 수행하는 것은 주관적 평가도구를 상호 보완하여 노인들의 건강 위험상태로 진입하는 속도를 늦출 수 있다. 이는 국가 의료복지적인 차원뿐만 아니라 노년기 삶의 질 향상을 위해서도 중요한 문제이다.

따라서 본 연구는 노년기 정량화 뇌파의 고유리듬이 정신적·육체적 스트레스, 주의집중도 등의 뇌파 지표들과 자율신경계 균형을 정량적으로 평가할 수 있는 심박변이도 지표와 어떠한 관련성과 임상적 의미가 있는지 알아보는데 연구의 목적이 있다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위한 연구문제는 다음과 같다.

첫 번째, Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 높은 집단과 낮은 집단의 뇌파 및 심박변이도 지표 간에 어떠한 차이와 관련성이 있는가? 두 번째, Alpha 고유리듬피크의 위치가 빠른 리듬 쪽에 위치한 집단과 느린 리듬 쪽에 위치한 집단의 뇌파 및 심박변이도 지표 간에는 어떠한 차이와 관련성이 있는가?

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 정량화 뇌파의 고유리듬

뇌파 데이터는 느리고 빠른 진동성분이 얼마만큼의 비중을 차지하고 있는지 정량적으로 파악하는 주요 분석방법이 파워스펙트럼 분석으로 절대파워(absolute power)와 상대파워(relative power)로 분석할 수 있다. 절대파워는 측정된 뇌파 속에 어떤 진동성분(주파수)이 얼마만큼의 비중으로 출현하고 있는지를 나타내는 파워 값의 합으로 단위는 마이크로볼트( $\mu V^2$ )로 나타낸다. 이에 비해 전체 영역에 대한 해당영역의 진동성분이 출현한 상대적인 비율(%)을 나타내는 값을 상대파워라고 한다. 절대파워는 피검자의 두피 두께, 머리뼈 두께, 전극과 피부와의 접촉상태 등에 따라 뇌파파형의 진폭의 크기가 조금씩 달라지며, 이러한 전반적인 진폭(amplitude)의 크기는 절대파워의 값에 영향을 주게 된다(Shim, 2012).

뇌의 고유리듬은 시상과 대뇌피질간의 네트워크에 의해 발생되며 뇌간(brainstem)의 콜린계 뉴런들에 의해 조정된다. 이런 콜린계 손상에 의한 인지기능 저하 상태는 노인성 치매가 대표적이며, 이는 뇌파 고유리듬의 변화를 통해 확인할 수 있다. 고유리듬은 눈을 감은 안정상태에서 누구나에게 나타나는 자발뇌파리듬 또는 배경뇌파로 뇌의 시상(thalamus)이 주요 발생원이며 뇌파리듬의 페이스메이커(pace maker) 역할을 한다. 배경뇌파는 뇌질환의 진단뿐만 아니라 치료에 있어서도 유용한 정보를 제공하며, 많은 상황에서 CT scanning, MRI, neuropsychiatric testing과 같은 전형적인 검사방법보다 더 민감한 수준까지 진단 가능한 것으로 알려져 있다(Braverman, 1990). 이러한 고유리듬은 정상인에 있어서 Alpha파 영역에서 주로 나타나므로 Alpha 고유리듬이라 한다. 그러므로 주도적인 고유리듬이 확실하게 나타난 배경뇌파인지 여부를 파악하는 것은 뇌파 해석에 있어서 매우 중요한 부분이다.

뇌파의 고유리듬 영역인 Alpha의 경우, 안정되고 편안하게 이완된 상태일 때 높은 비중으로 출현되며, 이때 Alpha 고유리듬 피크와 진폭도 잘 나타나게 된다. Alpha파는 뇌에서 에너지가 자유로이 흐르는 고요하고 균형 잡힌 마음을 반영하며, Alpha파의 활성수준이 높은 사람은 그 수준이 낮거나 알파파가 나타나지 않은 사람보다 스트레스를 잘 이겨낼 수 있다(Hoffmann, 2012).

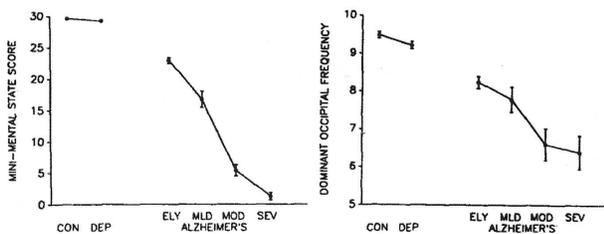


Fig. 1. Relationship between MMSE index and intrinsic rhythm peak (Prinz & Vitiello, 1989)

Fig. 1은 인지손상단계의 노인 평가에 사용되는 간이정신상태검사인 MMSE 지수와 고유리듬피크 주파수와의 관계를 나타낸 그래프이다. 정상노인(CON), 우울증노인(DEP), 초기단계(ELY), 경한단계(MID), 중한단계(MOD), 심각한단계(SEV)의 치매노인으로 갈수

록 MMSE 지수도 낮아지면서 배경뇌파의 고유리듬 주파수도 9.5Hz에서 6Hz수준까지 낮아졌음을 보여주고 있다(Prinz & Vitiello, 1989).

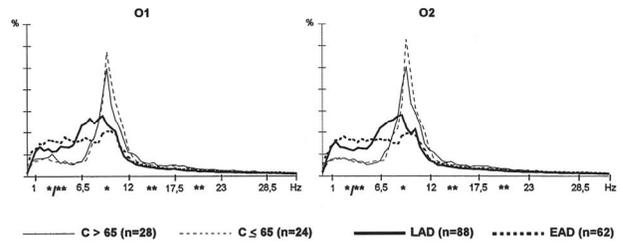


Fig. 2. Distribution of power spectrum with degeneration of cognitive function (Pucci et al., 1999)

Fig. 2는 젊은 정상노인(C≤65), 나이든 정상노인(C>65), 최근에 치매가 발병한 경우(LAD)와 일찍 치매가 발병하여 치매병력이 오래된 경우(EAD), 각각의 배경뇌파 파워스펙트럼 분포를 중첩해서 비교한 그래프이다. 인지기능 퇴화가 심해질수록 고유리듬피크 주파수가 느린리듬 쪽으로 이동하면서 피크의 높이가 낮아지고 동시에 넓게 퍼지는 현상이 되어감을 보여주고 있다(Pucci et al., 1999).

그 외에도 정상인과 알츠하이머 초기단계의 스펙트럼을 비교한 연구에서 정상인의 경우, 약 10Hz 지점에 고유리듬피크가 나타나났으나 알츠하이머 초기단계의 경우 약 9Hz로 피크의 위치가 느린 주파수 쪽으로 이동하면서 옆으로 퍼진 현상을 나타낸다(Penttilä et al., 1985). 또한 정상 젊은이는 고유리듬피크의 주파수 위치가 10Hz 정도이나 치매가 심화될수록 6.5Hz 수준까지 점차 내려가는 것으로 나타나(Penttilä et al., 1985) 인지기능 저하에 따라 고유리듬피크의 주파수 위치도 느린 리듬 방향으로 내려감을 보고하였다. 이상과 같이 파워스펙트럼 분포의 고유리듬피크의 주파수 위치 및 진폭의 형태는 인지기능 수준과도 관련이 있으므로 고유리듬의 출현 양상을 측정하고 평가하는 것은 노인 인지기능 수준 및 관리를 위해 중요한 의미가 있다.

## 2.2. 심박변이도 지표의 생리적 의미

정상인의 심장박동은 자율신경계인 교감신경계(sympathetic nerve system)와 부교감신경계(parasympathetic

nerve system)의 상호작용에 의해 끊임없이 변화하며, 교감과 부교감신경의 활성비율은 신체의 스트레스 상태를 잘 반영하는 민감한 변수 중의 하나로 알려져 있다. 교감신경과 부교감신경의 길항작용으로 심장박동이 빨라지고 늦어지는 직접적인 원인이 되며, 이러한 자율신경계의 시간에 따른 주기적 변화는 심박변이도로 평가할 수 있다. 심박변이도는 심장박동의 변화를 시간 영역과 주파수 영역으로 구분하여 분석하는 방법으로 신뢰성과 재현성이 높으며, 비침습적인 자율신경계 기능평가방법으로(Kang, Park, & Kim, 2006) 활발한 연구가 시도되고 있다. 또한 스트레스 상황을 짧은 시간에 나타내는 유용한 방법으로 활용되고 있다. 심박변이도의 분석 방법 중 가장 많이 사용되는 것은 시간영역 분석법(time domain methods)과 주파수영역 분석법(frequency domain methods)이다.

시간영역 분석법은 연속된 심전도 기록에서 각각의 QRS complex 사이의 간격(normal-to-normal interval: NN)과 심박수를 분석하는 방법으로 SDNN, RMSSD, NN50, pNN50 등의 지표들이 있다. 이 연구에서 분석한 NN간격의 표준편차인 SDNN(standard deviation of the NN interval)은 심박변이도에 기여하는 모든 주기요소들을 반영한다. 심박변이도가 크고 불규칙할수록 SDNN 값은 커지므로 생리적으로 건강할수록 SDNN 값도 증가한다. 따라서 SDNN은 스트레스에 대한 생리적 회복탄력성(physiological resilience)을 반영하는 지표라 할 수 있다(Kim & Min, 2015). 연속된 NN 간격 차의 제곱 평균에 대한 제곱근인 RMSSD(root mean square of the successive differences)는 심박동수의 단기 변이를 반영하고, 고주파수(high frequency) 대역의 박동 간 변이도를 예측하는데 주로 사용된다. 또한 부교감신경계 조절에 대한 예측치이며, 이 값이 클수록 건강하고(Kim, Woo, & Chae, 2005) 이완된 상태인 것으로 해석한다.

심박변이도 신호는 각기 다른 대역의 주파수 신호가 합쳐져서 하나의 복잡한 신호로 나타난다. 다양한 주파수 범위를 대역별로 분리해 각 대역에서의 주파수 신호가 상대적으로 어떤 강도(power, 분산 variance)를 갖는지 평가하는 것이 주파수영역 분석법이다. 5분 내외의 단기 변이 측정에서는 주파수영역 분석방법이 시간영역 분석방법보다 더 선호되므로 심박변이도의

생리적 의미를 설명하기에는 주파수 영역분석으로 얻어지는 결과가 설명력이 더 좋은 장점이 있다(Kim & Min, 2015).

주파수 영역 지표는 TP, VLF, LF, HF/HF ratio를 주로 측정한다. 생리적 활성과 연관성이 밝혀져 있는 LF(low frequency)는 0.04~0.15Hz에 해당하는 주파수 대역의 강도에 해당하고, 전체 자율신경계 내에서 교감신경계 활성도를 반영한다. HF(high frequency)는 0.15~0.4Hz에 해당하는 주파수 대역의 강도에 해당하고 주로 부교감신경계의 활성도를 반영하는 지표이다. LF/HF ratio는 교감-부교감 신경계의 전체적 균형을 반영하며, LF/HF ratio의 감소는 교감신경계 부전을 의미한다(Task Force, 1996).

### 3. 연구방법 및 절차

#### 3.1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 G광역시 노인건강타운, 종합사회복지관, 요양원을 이용하는 65~80세 사이의 남녀 노인을 대상으로 건강 위험과 비위험 집단 등을 고려한 선별검사를 거쳐 EEG 및 HRV 측정에 적합한 대상자 85명을 모집하였다. 사전 선별검사 내용에는 자신의 건강상태, 질병 및 약물복용, 우울 등이 포함되었다. 선정된 대상자들에게는 연구에 대한 목적, 내용, 위험요소 및 사생활 보호 등에 대하여 충분히 설명을 제공한 후 자율적 의지에 의한 연구 참여 동의서를 받았으며, 실험시작 전에 IRB(institutional review board) 심의를 승인 받았다.

최종 분석대상자는 안구나 안면 근육의 움직임으로 인한 인공물(artifacts)이 많이 포함된 자료나 EEG 2채널, ECG 1채널의 측정기록 중 1채널 이상 오류가 발생하여 EEG와 ECG 신호 비교가 어려운 경우 등을 제외한 76명을 최종 분석대상자로 하였다. 선정된 대상자는 공통적으로 언어적 의사소통이 가능하고 정신적 질환이나 인지장애가 심하지 않으며, 신체적으로 활동하는데 지장이 없는 노인들로 5분 정도를 움직이지 않고 편안하게 EEG와 HRV 측정이 가능한 남녀 노인들이었다.

집단의 구분은 두 가지 형태로 구분하여 비교, 분석하였다. 첫 번째 집단은 Alpha 고유리듬의 출현 비중이 명료하게 높게 나타난 집단 54명과 잘 나타나지 않은 낮은 집단 22명으로 구분하였다. 이를 위한 정량화 분석 지표로는 Table 4에 제시된 바와 같이 Alpha 고유리듬 진폭(Alpha AMP) 값을 기준으로 진폭의 형태를 직접 확인하면서 구분하였다. 집단의 특성은 Table 1과 같고, 전체 대상자 76명에 대한 평균 나이는 73.3세였다.

Table 1. Characteristics of Alpha intrinsic rhythm high and low groups

Variables		High group (n=54)	Low group (n=22)
		Frequency (%)	Frequency (%)
Gender	Male	10(18.5)	6(27.3)
	Female	44(81.5)	16(72.7)
Level of education	Ignorance	16(29.6)	6(27.3)
	Elementary school	10(18.5)	4(18.2)
	Middle school	17(31.5)	4(18.2)
	High school	6(11.1)	3(13.6)
	More than Junior college	5(9.3)	5(22.7)
Normal health condition	Very bad	2(3.7)	1(4.5)
	Bad side	9(16.7)	3(13.6)
	Normal	29(53.7)	6(27.3)
	Good side	14(25.9)	11(50)
	Very good	—	1(4.5)
Current mind and body condition	Very bad	3(5.6)	—
	Bad side	2(3.7)	3(13.6)
	Normal	33(61.1)	8(36.4)
	Good side	15(27.8)	10(45.5)
	Very good	1(1.9)	1(4.5)
Average sleep for a week	3~6 hours	16(29.6)	10(45.5)
	6~9 hours	35(64.8)	12(54.5)
	9~12 hours	3(5.6)	—

두 번째 집단은 Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 높게 나타난 54명을 대상으로 고유리듬피크의 주파수 위치가 빠른리듬 쪽에 위치한 집단과 느린리듬 쪽에 위치한 집단으로 구분하였다. 두 집단의 차이를 위하여 54명의 Alpha 고유리듬피크 평균값인 9.11(Hz)에 근접한 4명을 제외하고 Alpha Peak의 위치가 빠른 집단 25명, 느린집단 25명으로 구분하였다. Alpha Peak 위치에 따른 집단별 정량화 분석 값은 Table 7과 같고, 집단의 특성은 Table 2와 같다.

Table 2. Characteristic of group according to Alpha intrinsic rhythm peak position

Variables		Fast position group (n=25)	Slow position group (n=25)
		Frequency (%)	Frequency (%)
Gender	Male	4(16)	7(28)
	Female	21(84)	18(72)
Level of education	Ignorance	7(28)	8(32)
	Elementary school	8(32)	8(32)
	Middle school	4(16)	5(20)
	High school	3(12)	2(8)
	More than Junior college	3(12)	2(8)
Normal health condition	Very bad	—	2(8)
	Bad side	5(20)	2(8)
	Normal	16(64)	13(52)
	Good side	4(16)	8(32)
Current mind and body condition	Very bad	1(4)	2(8)
	Bad side	1(4)	—
	Normal	17(68)	15(60)
	Good side	6(24)	7(28)
	Very good	—	1(4)
Average sleep for a week	3~6 hours	12(48)	2(8)
	6~9 hours	10(40)	23(92)
	9~12 hours	3(12)	—

Table 3은 Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 높게 나타난 54명 집단과 낮게 나타난 22명 집단의 주파수 대역(frequency band)에 대한 상대파워 평균값의 비교이며, Fig. 1과 Fig. 2는 상대파워 평균값에 대한 스펙트럼 분석이다.

Table 3. Characteristics of Frequency Band for high and low groups (relative power/%)

frequency band	High group (n=54)	Low group (n=22)	t-test	
	M(SD)	M(SD)	t	p
Delta	0.114(0.07)	0.214(0.14)	-3.213	.004**
Theta	0.187(0.09)	0.208(0.05)	-1.290	.202
Alpha	0.427(0.13)	0.196(0.08)	9.660	.000***
Beta	0.199(0.07)	0.271(0.11)	-2.926	.007**
Gamma	0.073(0.05)	0.111(0.07)	-2.243	.033*

\*p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001

Table 3과 같이 고유리듬 진폭의 비중이 높은집단에 비해 고유리듬 비중이 유의하게( $t=9.660, p<.001$ ) 높게 나타나고 있으며, 상대적으로 Delta, Theta,

Beta, Gamma 리듬의 비중은 낮게 나타남을 확인할 수 있다. 또한 스펙트럼 분석에서도 Fig. 3과 같이 고유리듬 비중이 높게 나타난 54명 집단은 9Hz 정도에서 Alpha 고유리듬피크와 진폭의 비중이 높게 나타남을 보여주고 있다.

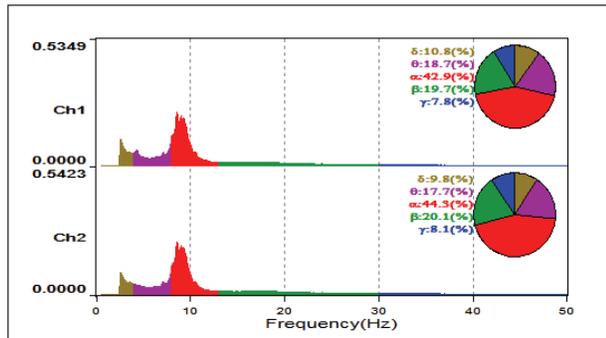


Fig. 3. Power spectral analysis of 54 groups with high intrinsic rhythm peak and amplitude (Ch1= Left prefrontal lobe, Ch2= Right prefrontal lobe)

반면에 Fig. 4와 같이 Alpha 고유리듬 진폭이 잘 나타나지 않은 22명 집단은 Alpha 리듬의 비중이 현저하게 줄어들고 상대적으로 Delta와 Theta 리듬의 비중이 커짐을 알 수 있다. 특히, 우측 전전두엽(prefrontal lobe) Ch2에서는 Delta, Theta 진폭의 비중이 커지고, 좌측 전전두엽 Ch1에서는 Beta 진폭의 비중이 커짐으로써 좌·우뇌가 대칭적이지 않음을 보여주고 있다.

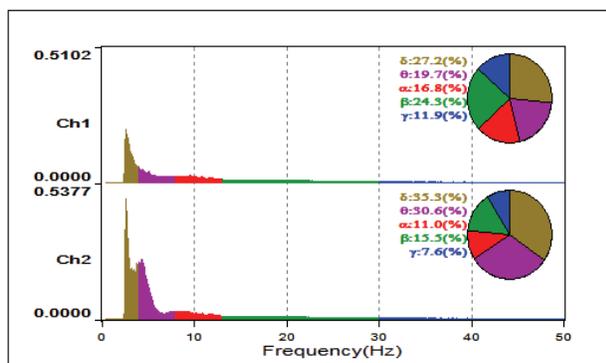


Fig. 4. Power spectral analysis of 22 groups with low intrinsic rhythm peak and amplitude (Ch1= Left prefrontal lobe, Ch2= Right prefrontal lobe)

### 3.2. 측정 도구

뇌파 및 심박변이도 측정 장치는 고정밀 다채널 생

체전기신호 측정시스템인 QEEG-64FX(Laxtha Inc., Korea)를 사용하여 동시에 측정하였다. 뇌파 측정은 1회용 Ag/AgCl 전극(2237/3M)을 연결하여 사용할 수 있는 스냅전극 케이블을 이용하여 이마 부위인 좌·우 전전두부(Fp1, Fp2) 2채널과 우측 귓볼 뒤에 참조전극(reference electrode), 목 뒷부분에 접지전극(ground electrode)을 부착하여 단극유도(monopolar derivation) 방식으로 측정하였다. 전전두엽은 뇌의 모든 영역과 직접적으로 연결되어 있어 단독으로 다른 뇌 구조와 작업을 연결하고 통합하는 것을 가능하게 하는 중요 부위이다(Nauta, 1972). 그러므로 좌·우 전전두엽 2채널 부위의 측정만으로도 두뇌 활동상태 파악이 가능한 장점이 있다. 심박변이도 측정은 QEEG-64FX의 ECG 1채널을 이용하여 양 손목의 안쪽 부위에 1회용 전극을 부착하고 스냅전극 케이블을 연결하여 표준사자유도 방식으로 뇌파와 동시에 측정하였다.

정확한 계측을 위해 두피에 연결된 각 전극과 접지전극 사이의 임피던스(impedance)값을 100kΩ이하로 확보하고, 디스크 전극과 두피 접촉 간 전압 정밀도를 0.1% 이하로 유지하여 접촉불량 등에 의한 오차를 제거했다. 2채널로부터 받는 피험자의 뇌파신호는 250Hz 고속샘플링 주파수, 0.5~50Hz의 통과필터, ±50ppm의 변환 주파수 오차(sampling frequency error)범위에서 24bits AD변환(analog-digital converter)에 의해 컴퓨터에 저장하였고, 저장된 EEG, HRV 원자료(raw date)는 실시간 데이터 수집 및 시계열 분석(time series analysis) 프로그램인 락싸(Laxtha)사의 TeleScan(Ver. 3.28)을 이용하여 분석하였다.

EEG와 ECG 측정 자료의 분석 구간은 눈을 감은 폐안 시 4분 측정 자료 중, 중간 200초 구간을 공통적으로 선정하였다. 뇌파 분석은 움직임에 의한 잡파(artifacts)의 영향을 최소화하고 순수한 폐안 시 뇌파를 확보하기 위하여 2.5Hz의 High pass FFT filtering을 실시하였다. 분석 주파수 대역은 2.5~4Hz의 Delta파, 4~8Hz의 Theta파, 8~12Hz의 Alpha파, 12~15Hz의 Low-Beta파, 15~20Hz의 Mid-Beta 20~30Hz의 High-Beta파, 30~45Hz의 Gamma파로 설정하였다.

고유리듬피크 주파수 위치와 진폭은 파워스펙트럼 분포의 6.5~13Hz 영역 내에서 공통적으로 가장 높은 피크 위치와 출현 비중이 많은 지점에 대한 상대파워

의 최대 진폭을 정량화하여 구하였다.

뇌파 지표의 분석은 각 주파수 대역별 절대파워 (absolute power/ $\mu\text{W}^2$ ) 값에 자연로그(natural logarithm)를 적용한 값을 산출한 다음, 좌·우 전전두엽 2채널 (Fp1, Fp2)의 평균값을 산출하여 비교 분석하였다. 또한 좌·우뇌 Alpha 비대칭 정도를 정량화시키기 위하여 logR-logL 비대칭 지표(Gotlib, Ranganath, & Rosenfeld, 1998)를 사용하였다. logR-logL에서 R은 우측 반구이며, L은 좌측 반구를 의미한다. 좌·우 비대칭 분석은 먼저, 파워스펙트럼에 의한 절대파워 값을 구하고 우측 전전두엽(Fp2) 값에서 좌측 전전두엽(Fp1) 값을 뺀 차이 값을 산출한 후 통계 분석하였다. 비대칭 분석에 대한 해석은 평균값이 증가할수록 우뇌 활성도가 증가하고, 감소할수록 좌뇌 활성도가 증가하며, 0점에 가까울수록 좌·우 비대칭이 완화됨을 의미한다.

그리고 정신적 스트레스 지표인 Alpha/H-Beta, 육체적 스트레스 지표인 Delta/Alpha 비율은 내·외적 환경 요인으로 인한 육체적·정신적 스트레스에 대한 저항도를 나타낸다(Peniston et al., 1993). 또한 Theta/SMR 비율은 주의집중도를 반영하며(Lubar, 1991), Theta과가 높아질수록 주의집중도가 저하됨을 의미한다.

ECG 측정 자료에 의한 HRV 분석은 움직임에 의한 잡파의 영향을 최소화하고 순수한 HRV 지표를 확보하기 위하여 2.5Hz의 High pass FFT filtering을 실시하였다. 시간영역분석 지표로는 스트레스에 대한 생리적 회복탄력성을 반영하는 지표인 SDNN과 RMSSD를 분석하였다. 주파수영역 분석 지표로는 자율신경계의 전체적인 균형정도를 반영하는 LF/HF ratio를 산출하였으며, 심박변이도의 전반적인 활성도를 시각적으로 쉽게 확인 가능한 기하학적분석인 HRV index를 분석하였다.

### 3.3. 실험 절차

선정된 연구 대상자에게는 측정일과 측정시간을 사전에 조율하여 정한 다음, 실험 참여 3일 전에 참여 날짜, 시간, 주의사항을 전달하고 측정 전날에는 음주 및 심한 신체활동을 금하며 충분히 숙면을 취할 것을 요청하였다. 측정 당일 3시간 전에는 신경계에 영향을 줄 수 있는 알코올이나 카페인 포함 음식이나 약물을 복용하지 않도록 하였다. 해당 대상자들은 외부의 빛과 소음이 차단되고, 온도( $24\pm 1^\circ\text{C}$ )와 습도( $50\pm 1\%$ )를 조절

할 수 있는 측정 장소로 이동하여 측정 준비를 하였다. 측정은 목 받침과 팔걸이가 있고 체형에 맞게 조절할 수 있는 의자에 앉아 간단한 설문지를 작성하였고, 생체신호측정 경험이 많은 전문가에 의해 EEG와 ECG 측정전극을 부착하여 양질의 신호가 제대로 나오는지 확인하였다.

모든 연구대상자들의 동일하고 일관성 있는 생체신호 측정환경을 위하여 측정 멘트 및 시간을 측정시스템과 연동하여 사전 설정하였고, 모든 피험자가 사전 설정한 측정환경에 따라 동일한 환경과 조건에서 측정을 실시하였다. 구체적 측정절차는 먼저 측정순서를 안내하고 EEG, ECG 측정신호를 확인한 다음, 눈을 뜬 안정상태 1분 → 눈을 감은 안정상태 4분 → 측정 자료의 기록 등의 절차로 진행하였다. 피험자 1명에 대한 전체적인 측정시간은 간단한 질문지 검사, 전전두엽 2채널 뇌파와 ECG 1채널 전극부착, 측정 안내, 안정상태 유도, 측정 및 기록 등을 포함하여 1인당 평균 30분 정도가 소요되었다.

### 3.4. 자료분석

이 연구에서 얻어진 측정 자료들은 1차적으로 락싸사의 시계열 분석 소프트웨어인 TeleScan을 이용하여 파워스펙트럼 분석에 의한 각 주파수별 절대파워 값에 자연로그(natural logarithm) 적용 값을 산출한 후, 통계 프로그램 SPSS 23.0을 이용하여 통계 처리하였다. 집단의 EEG와 HRV 지표 간의 관련성을 알아보기 위하여 Pearson의 상관관계 분석을 실시하였으며, EEG와 HRV 지표들의 집단 간 차이를 알아보기 위하여 독립  $t$ -검정(independent samples  $t$ -test)을 실시하였다.

## 4. 연구 결과 및 논의

### 4.1. Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 높은 집단과 낮은 집단의 EEG, HRV 지표 간 관계

Table 4는 Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 높은 집단과 낮은 집단에 대한 뇌파 및 심박변이도 지표의 집단 간 차이를 알아보기 위해  $t$ -검정을 실시한 결과이다. 먼저, Alpha AMP가 높은 비중으로 나타난 집단은

Table 4. Comparison of EEG and HRV index for Alpha intrinsic rhythm High and Low group

Variables	High group (n=54)	Low group (n=22)	t-test	
	Mean (SD)	Mean (SD)	t	p
Alpha AMP	0.36(0.34)	0.05(0.04)	6.728	.000***
Alpha R-L	-0.02(0.09)	0.04(0.31)	-1.177	.243
Alpha/H-Beta	6.46(5.78)	1.66(0.86)	5.945	.000***
Delta/Alpha	0.36(0.40)	2.06(3.39)	-2.343	.029*
Theta/SMR	3.91(2.39)	5.03(9.13)	-0.841	.403
SDNN	23.12(13.78)	31.20(25.68)	-1.778	.080
RMSSD	22.70(21.11)	27.19(27.02)	-0.774	.441
HRV index	7.40(3.24)	8.41(3.97)	-1.155	.252
LF/HF ratio	1.49(1.67)	1.52(1.72)	-0.065	.948

Note) \* $p < .05$ , \*\*\* $p < .001$  / Alpha AMP: Alpha intrinsic rhythm amplitude(%), Alpha R-L: Alpha asymmetry

낮은집단에 비해서 평균값이 유의한 차이로( $t=6.278$ ,  $p < .001$ ) 높게 나타남을 보여주고 있다.

정신적 항스트레스를 반영하는 Alpha/H-Beta 비율에서도 고유리듬 진폭의 비중이 높은집단은 낮은집단에 비해서 평균값이 유의하게( $t=5.945$ ,  $p < .001$ ) 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고유리듬이 높은 비중으로 나타나는 집단은 정신적 스트레스에 대한 저항도가 높다는 것을 의미한다. 육체적 스트레스를 반영하는 Delta/Alpha 비율에서는 고유리듬 진폭의 비중이 높게 나타난 집단은 낮은집단에 비해서 평균값이

유의하게( $t=-2.343$ ,  $p < .05$ ) 낮은 것으로 나타났다. 이상과 같은 결과는 Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 높게 나타난 집단이 낮게 나타난 집단에 비해 정신적·육체적 스트레스에 대한 저항도가 높아 생리적 건강상태가 양호할 수 있음을 의미한다.

Alpha 고유리듬 진폭이 높은 비중으로 나타난 집단과 낮게 나타난 집단에 대한 EEG와 HRV 지표 간 상관관계는 Table 5, Table 6과 같다. Table 5와 같이 고유리듬 진폭의 비중이 높게 나타난 집단의 상관관계 중 의미있게 나타난 지표를 살펴보면, Alpha AMP는 정신적 스트레스 정도를 반영하는 Alpha/H-Beta와 높은 양의 상관( $0.714$ ,  $p < .01$ )이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 높아지면 정신적 스트레스에 대한 저항도를 반영하는 Alpha/H-Beta도 높아질 수 있음을 의미한다.

반면에 Alpha AMP는 육체적 스트레스를 반영하는 Delta/Alpha와는 낮은 음의 상관( $-0.398$ ,  $p < .01$ )이 있는 것으로 나타났다. 이것은 Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 낮아지면, Delta/Alpha 비율이 높아짐을 의미한다. 전기 진동의 폭인 진폭은 동시에 활동하는 뉴런의 수가 많을수록 높아지며, 느린 주파수일수록 동기화 현상에 의해 진폭은 증가한다. 이상과 같이 Alpha/H-Beta, Delta/Alpha 비율은 Alpha 고유리듬 진폭의 증감과 밀접한 관련이 있음을 보여주고 있다.

Table 5. Correlation of EEG and HRV indices in groups with high Alpha intrinsic rhythm amplitude (n=54)

Variables	Alpha AMP	Alpha R-L	Alpha/H-Beta	Delta/Alpha	Theta/SMR	SDNN	RMSSD	HRV index	LF/HF ratio	
Alpha AMP	r	1								
	p									
Alpha R-L	r	.160	1							
	p	.248								
Alpha/H-Beta	r	.714**	.196	1						
	p	.000	.155							
Delta/Alpha	r	-.398**	-.196	-.316*	1					
	p	.003	.156	.020						
Theta/SMR	r	.207	-.092	.440**	.220	1				
	p	.134	.510	.001	.110					
SDNN	r	-.160	-.055	.050	.232	.009	1			
	p	.248	.695	.720	.091	.948				
RMSSD	r	-.151	-.118	.096	.256	.134	.908**	1		
	p	.276	.395	.491	.062	.335	.000			
HRV index	r	-.120	-.014	.131	.189	.051	.938**	.878**	1	
	p	.387	.919	.345	.171	.714	.000	.000		
LF/HF ratio	r	-.121	-.044	-.159	.042	-.163	-.204	-.310*	-.228	1
	p	.384	.749	.251	.761	.238	.138	.022	.097	

Note) \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

r= Correlation coefficient, p= p-value, Alpha AMP: Alpha intrinsic rhythm amplitude, Alpha R-L: Alpha asymmetry

또한 심박변이도 지표에서 스트레스에 대한 생리적 회복탄력성을 반영하는 SDNN은 부교감신경계 활성도를 반영하는 RMSSD(0.908,  $p < .01$ ), HRV index(0.938,  $p < .01$ )와 높은 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. HRV index는 심박변이도의 전반적인 활성도를 반영하며, 건강할수록 HRV index가 커지는 것으로 알려져 있다. 또한 HRV index는 RMSSD와 높은 양의 상관(0.878,  $p < .01$ )이 있는 것으로 나타나 생리적 건강상태를 반영하는 지표로 알려져 있는 SDNN, RMSSD, HRV index는 서로 간 상관관계가 모두 높게 나타났다.

Table 6은 Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 낮게 나타난 집단의 상관관계를 분석한 결과이다. 이 집단은 고유리듬 진폭이 잘 나타나지 않았기 때문에 Alpha AMP와 다른 지표와의 관련성에 의미 부여가 어려워 Alpha AMP를 제외한 지표들의 결과를 제시하였다. 의미있게 나타난 지표들을 살펴보면, Alpha 좌·우뇌 비대칭 정도를 반영하는 Alpha R-L은 Delta/Alpha와 높은 양의 상관(0.893,  $p < .01$ )이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Alpha 좌·우뇌 비대칭 정도가 커질수록 육체적 스트레스를 반영하는 Delta/Alpha 비율이 커짐을 의미한다. 뇌파의 Alpha파는 전형적으로 좌측보다 우측 반구에서 강도가 높은 경향을 보이며, 우반구에서 Alpha파가 낮으면 사회적 위축 패턴에 따른 부정적 행동과 관련된다(Davidson, Jackson, & Kalin, 2000).

또한 Alpha R-L은 Theta/SMR와도 높은 양의 상관(0.950,  $p < .01$ )이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는

Alpha 좌·우뇌 비대칭 정도가 커질수록 Theta/SMR 비율도 커져 주의집중도가 저하될 수 있음을 의미한다. Theta/SMR 비율은 주의집중도를 반영하며(Lubar, 1991), 전전두엽에서 느린 Theta 리듬의 비중이 커질수록 주의집중도가 저하됨을 의미한다. 이상과 같은 결과로 미루어볼 때, Alpha 고유리듬 진폭이 잘 나타나지 않은 집단은 좌·우뇌 비대칭 정도가 높고, 주의집중력 저하와도 관련 될 수 있음을 시사해 준다.

Delta/Alpha는 Theta/SMR와 높은 양의 상관(0.961,  $p < .01$ )이 있는 것으로 나타났다. 즉, 긴장과 불안, 흥분과 같은 육체적 스트레스를 반영하는 Delta/Alpha 비율이 높아질수록 Theta/SMR 비율도 높아져 주의집중도가 저하될 수 있음을 의미한다.

그리고 Alpha/H-Beta와 RMSSD 지표 간에 음의 상관(-0.501,  $p < .05$ )이 있는 것으로 나타났다. 이것은 정신적 스트레스 저항도를 반영하는 Alpha/H-Beta 비율이 낮아지면 부교감신경계 활성도를 반영하는 RMSSD가 높아짐을 의미한다. 또한 Delta/Alpha와 HRV index는 양적 상관(0.435,  $p < .05$ )이 있는 것으로 나타나 육체적 스트레스를 반영하는 Delta/Alpha 비율이 높아질수록 심박변이도의 전반적인 활성도를 반영하는 HRV index도 높아짐을 의미한다. 이상과 같이 뇌파와 심박변이도간 지표인 Alpha/H-Beta와 RMSSD, Delta/Alpha와 HRV index에서는 각각의 지표가 갖는 생리적 특성을 연결하여 임상적 의미를 부여하기에는 한계가 있어 좀 더 정교한 추가적 연구가 필요할 것으로 보인다.

Table 6. Correlation of EEG and HRV indices in groups with low Alpha intrinsic rhythm amplitude (n=22)

Variables		Alpha R-L	Alpha/H-Beta	Delta/Alpha	Theta/SMR	SDNN	RMSSD	HRV index	LF/HF ratio
Alpha R-L	<i>r</i>	1							
	<i>p</i>								
Alpha/H-Beta	<i>r</i>	.235	1						
	<i>p</i>	.294							
Delta/Alpha	<i>r</i>	.893**	.151	1					
	<i>p</i>	.000	.501						
Theta/SMR	<i>r</i>	.950**	.189	.961**	1				
	<i>p</i>	.000	.400	.000					
SDNN	<i>r</i>	.335	-.386	.354	.406	1			
	<i>p</i>	.127	.076	.106	.061				
RMSSD	<i>r</i>	-.063	-.501*	-.070	-.041	.821**	1		
	<i>p</i>	.780	.018	.757	.857	.000			
HRV index	<i>r</i>	.406	-.397	.435*	.487*	.925**	.730**	1	
	<i>p</i>	.061	.067	.043	.022	.000	.000		
LF/HF ratio	<i>r</i>	.131	-.228	.155	.169	.185	-.073	.096	1
	<i>p</i>	.562	.308	.491	.453	.409	.747	.670	

Note) \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$  / *r* = Correlation coefficient, *p* = p-value, Alpha R-L: Alpha asymmetry

#### 4.2. Alpha 고유리듬피크 위치에 따른 EEG, HRV 지표 간 관계

Table 7은 Alpha 고유리듬피크가 빠른리듬 쪽에 위치한 집단과 느린리듬 쪽에 위치한 집단으로 구분한 것이다. 뇌파 및 심박변이도 지표에 대한 집단 간 차이를 알아보기 위해 *t*-검정을 실시한 결과는 다음과 같다.

Table 7과 같이 빠른리듬 쪽에 위치한 집단의 Alpha Peak 평균값은 9.7Hz로 나타나 느린리듬 쪽에 위치한 집단의 8.5Hz에 비해 평균값이 유의하게( $t=8.339, p<.001$ ) 높게 나타났다. 그리고 주의집중도를 반영하는 Theta/SMR 비율에서 Alpha Peak의 위치가 느린리듬 쪽에 위치한 집단이 빠른리듬 쪽에 위치한 집단에 비해 평균값이 유의하게( $t=-2.779, p<.01$ ) 높게 나타났다. 이러한 결과는 느린리듬 쪽에 위치한 집단에서 Theta 리듬이 증가하여 주의집중도도 저하될 수 있음을 의미한다.

주의비율은 SMR에 대한 Theta와의 비율 분석을 통해 구할 수 있다(Lubar, 1991). 15~45세 사이의 성인이나 고등학생이 대략 2:1이며, 중학생이나 50대는 3:1 정도, 유아는 5:1정도, 초등학생이나 60대는 4:1 정도이다. 4:1이라는 것은 Theta파가 SMR보다 4배 더 강하다는 의미이다(Bak et al., 2007). 이러한 Theta/SMR 비율의 의미로 볼 때 Alpha 고유리듬피크의 위치가 빠른 리듬 쪽에 위치할수록 주의집중도도 더 좋아질 수 있음을 예상할 수 있다.

자율신경계의 전체적인 균형정도를 반영하는 LF/HF

ratio에서는 Alpha 고유리듬피크가 빠른리듬 쪽에 위치한 집단의 평균값이 느린리듬 쪽에 위치한 집단에 비해 유의하게 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 고유리듬피크가 빠른리듬 쪽에 위치할수록 교감신경계가 상대적으로 항진되어 나타날 수 있음을 의미한다.

Table 8, Table 9는 Alpha 고유리듬피크가 빠른리듬 쪽에 위치한 집단과 느린리듬 쪽에 위치한 집단에 대한 EEG와 HRV 지표 간 상관관계 분석 결과이다. 먼저, Alpha 고유리듬피크가 빠른리듬 쪽에 위치한 집단의 상관관계는 Table 8과 같이 심박변이도의 HRV index, SDNN, RMSSD 간에는 서로 간 높은 상관이 있는 것으로 나타났다. 이 세 가지 지표는 모든 집단 구분에 상관없이 공통적으로 높은 양의 상관이 있는 것으로 나타나 생리적으로도 유사한 의미를 갖고 있음을 예상할 수 있다. 선행연구에서 시간영역 분석지표인 SDNN은 스트레스에 대한 생리적 회복탄력성과 자율신경계의 전반적인 활성도를 반영하며, 기하학적 분석 지표인 HRV index 값과 서로 양의 상관관계를 갖는다. 또한 RMSSD 값은 부교감신경계 활성도 영향을 받므로 주파수 영역 분석 지표인 HF 값과 양의 상관관계를 갖는 것으로 알려져 있다(Kim & Min, 2015).

그 외 Alpha AMP와 정신적 스트레스 저항도를 반영하는 Alpha/H-Beta 비율은 낮은 양의 상관(0.449,  $p<.05$ )이 있는 것으로 나타났고, Alpha AMP와 육체적 스트레스를 반영하는 Delta/Alpha 비율은 낮은 음의 상관(-0.416,  $p<.05$ )이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 커지면 정신적 스트레스에 대한 저항도는 높아지며, 육체적 스트레스는 낮아짐을 의미한다. 또한 Delta/Alpha와 Theta/SMR 비율은 낮은 양의 상관(0.470,  $p<.05$ )이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 육체적 스트레스가 높아지면 주의집중도도 저하될 수 있음을 의미한다.

Table 9는 Alpha 고유리듬피크가 낮은 쪽에 위치한 집단의 상관관계 분석 결과이다. Alpha AMP는 Alpha/H-Beta 비율과 높은 양의 상관(0.772,  $p<.01$ )이 있는 것으로 나타났고, Alpha AMP와 육체적 스트레스를 반영하는 Delta/Alpha 비율은 낮은 음의 상관(-0.461,  $p<.05$ )이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Alpha 고유리듬 진폭의 비중이 높게 나타난 집단( $n=54$ )의 상관관계인 Table 5와 고유리듬피크가 높은 쪽에 위

Table 7. Group comparison of EEG and HRV indexes according to Alpha intrinsic rhythm peak position

Variables	Fast position group (n=25)	Slow position group (n=25)	<i>t</i> -test	
	Mean (SD)	Mean (SD)	<i>t</i>	<i>p</i>
Alpha Peak	9.68(0.50)	8.53(0.47)	8.339	.000***
Alpha AMP	0.29(0.24)	0.45(0.42)	-1.671	.101
Alpha R-L	-0.03(0.06)	-0.01(0.12)	-0.923	.361
Alpha/H-Beta	5.42(3.12)	7.77(7.65)	-1.424	.161
Delta/Alpha	0.38(0.48)	0.34(0.32)	0.345	.732
Theta/SMR	3.03(1.54)	4.82(2.82)	-2.779	.008**
SDNN	21.41(12.65)	23.25(14.91)	-0.472	.639
RMSSD	16.04(14.99)	27.06(25.04)	-1.888	.065
HRV index	7.09(3.28)	7.64(3.48)	-0.583	.563
LF/HF ratio	2.06(2.01)	0.89(0.89)	2.666	.010**

Note) \*\* $p<.01$ , \*\*\* $p<.001$  / Alpha Peak: Alpha intrinsic rhythm Peak(Hz), Alpha AMP: Alpha intrinsic rhythm amplitude(%), Alpha R-L: Alpha asymmetry

Table 8. Correlation between EEG and HRV indexes in the group of fast rhythm side with alpha intrinsic rhythm peak (n=25)

Variables		Alpha AMP	Alpha R-L	Alpha/H-Beta	Delta/Alpha	Theta/SMR	SDNN	RMSSD	HRV index	LF/HF ratio
Alpha AMP	r	1								
	p									
Alpha R-L	r	.124	1							
	p	.556								
Alpha/H-Beta	r	.449*	.350	1						
	p	.024	.086							
Delta/Alpha	r	-.416*	-.039	-.351	1					
	p	.039	.852	.085						
Theta/SMR	r	-.205	-.096	.094	.470*	1				
	p	.326	.649	.654	.018					
SDNN	r	.032	.139	.019	.104	-.170	1			
	p	.880	.507	.930	.622	.415				
RMSSD	r	-.074	-.015	.084	.098	-.133	.842**	1		
	p	.725	.942	.690	.642	.527	.000			
HRV index	r	-.087	.034	.010	.129	-.121	.947**	.913**	1	
	p	.680	.872	.961	.538	.564	.000	.000		
LF/HF ratio	r	.037	-.127	.023	.068	.223	-.265	-.344	-.275	1
	p	.859	.546	.913	.747	.284	.200	.092	.184	

Note) \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$  /  $r$  = Correlation coefficient,  $p$  = p-value, Alpha AMP: Alpha intrinsic rhythm amplitude, Alpha R-L: Alpha asymmetry

Table 9. Correlation between EEG and HRV indexes in the group of slow rhythm side with alpha intrinsic rhythm peak (n=25)

Variables		Alpha AMP	Alpha R-L	Alpha/H-Beta	Delta/Alpha	Theta/SMR	SDNN	RMSSD	HRV index	LF/HF ratio
Alpha AMP	r	1								
	p									
Alpha R-L	r	.117	1							
	p	.576								
Alpha/H-Beta	r	.772**	.114	1						
	p	.000	.589							
Delta/Alpha	r	-.461*	-.324	-.388	1					
	p	.020	.114	.055						
Theta/SMR	r	.236	-.203	.449*	.171	1				
	p	.255	.330	.024	.413					
SDNN	r	-.244	-.148	.060	.444*	.049	1			
	p	.240	.479	.774	.026	.817				
RMSSD	r	-.237	-.199	.049	.503*	.090	.979**	1		
	p	.253	.340	.815	.010	.669	.000			
HRV index	r	-.173	-.065	.160	.309	.077	.971**	.934**	1	
	p	.407	.758	.445	.133	.716	.000	.000		
LF/HF ratio	r	-.250	.110	-.245	.043	-.269	-.094	-.187	-.128	1
	p	.228	.600	.238	.839	.193	.656	.370	.542	

Note) \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$  /  $r$  = Correlation coefficient,  $p$  = p-value, Alpha AMP: Alpha intrinsic rhythm amplitude, Alpha R-L: Alpha asymmetry

치한 집단의 상관관계인 Table 8의 결과와 유사하다. 즉, Alpha 고유리듬피크 위치와 상관없이 고유리듬 진폭의 비중이 높게 잘 나타나면 정신적 스트레스에 대한 저항도는 높아지고, 육체적 스트레스는 낮아질 수 있음을 의미한다.

마지막으로 육체적 스트레스를 반영하는 Delta/Alpha 비율은 SDNN(0.444,  $p < .05$ ), RMSSD(0.503,  $p < .01$ )와 낮은 양의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는

육체적 스트레스 정도가 높아지면 스트레스 저항도를 반영하는 SDNN과 부교감신경계 활성을 반영하는 RMSSD도 높아질 수 있음을 의미한다. 이상과 같이 뇌파와 심박변이도간 지표인 Delta/Alpha와 SDNN, RMSSD 간에는 Table 6에서 제시한 뇌파와 심박변이도간 관계와 같이 각각 지표가 갖는 생리적 특성을 연결하여 임상적 의미를 부여하기에는 한계가 있으므로 좀 더 정교한 추가적 연구가 필요할 수 있음을 시사하였다.

## 5. 결론

본 연구는 노년기 인지기능 및 생리적 건강상태와 관련 있는 정량화 뇌파의 Alpha 고유리듬 피크 및 진폭의 비중 유무가 정신적·육체적 스트레스, 주의집중 등의 뇌파 지표들과 심박변이도 지표 간에 어떠한 관련성과 임상적 의미가 있는지 알아보려고 하였다. 의미있는 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫 번째, Alpha 고유리듬피크 위치와 상관없이 고유리듬 진폭이 높게 잘 나타난 집단은 낮게 나타난 집단에 비해 정신적 스트레스에 대한 저항도는 높고, 육체적 스트레스는 낮게 나타나는 상관성을 보였다. 두 번째, 심박변이도의 HRV index, SDNN, RMSSD 지표는 집단 구분에 상관없이 공통적으로 서로 간 높은 양의 상관성을 보였다. 세 번째, Alpha 고유리듬 진폭이 잘 나타나지 않은 집단에서 좌·우뇌 Alpha 비대칭이 커질수록 육체적 스트레스를 반영하는 Delta/Alpha 비율과 주의집중 저하를 반영하는 Theta/SMR 비율도 커지는 상관성을 보였다. 네 번째, Alpha 고유리듬피크가 느린 리듬 쪽에 위치한 집단은 빠른 리듬 쪽에 위치한 집단에 비해 Theta/SMR 비율이 높게 나타나 주의집중도 저하와 관련이 있음을 의미하였다.

이상과 같이 정량화 뇌파의 Alpha 고유리듬 진폭의 출현 유무와 피크의 위치는 노년기 인지기능 및 생리적 건강상태를 반영하는 지표로 활용 가능성이 있음을 시사하였다. 그러나 뇌파와 심박변이도 간의 일부 지표에는 각각의 지표가 갖는 생리적 특성을 연결하여 임상적 의미 부여에 한계가 있어 좀 더 정교한 관련성 연구가 필요할 것으로 보인다. 추후 연구에서는 이 연구의 결과를 바탕으로 근력과 같은 체력이나 인지장애 정도에 따라 집단을 세분화하여 노년기 인지 및 생리적 건강상태를 반영할 수 있는 지표들을 발굴하고 표준화하는 연구가 지속적으로 이루어지길 기대한다.

## REFERENCES

- Amoss, R. T. (2009). Frontal alpha and beta EEG power asymmetry and Iowa gambling task performance. Georgia State University Digital Archive, Psychology Theses.
- Bak, K. J., Yi, S. G., & Park, P. W. (2007). A research on the effect neurofeedback training before & after about emotional and attention deficit characteristics by timeseries linear analysis: for primary student. *Journal of Information Technology Applications & Management*, 14(4), 43-59.
- Braverman, E. R. (1990). Brain mapping: A short guide to interpretation, philosophy and future. *Journal of Orthomolecular Medicine*, 5(4), 189-197.
- Celesia, G. G., Kaufman, D., & Cone, S. (1987). Effects of age and sex on pattern electroencephalograms and visual evoked potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 68(3), 161-171. DOI: 10.1016/0168-5597(87)90023-2
- Davidson, R. J., Jackson, D. C., & Kalin, N. H. (2000). Emotion, plasticity, context and regulation: Perspectives from affective neuroscience. *Psychological Bulletin*, 126(6), 890-909. DOI: 10.1037/0033-2909.126.6.890
- Gotlib, I. H., Ranganath, C., & Rosenfeld, J. P. (1998). EEG alpha asymmetry, depression and cognitive functioning. *Cognition and Emotion*, 12(3), 449-478. DOI: 10.1080/026999398379673
- Hoffmann, E. (2012). *New brain, new world*. Hay House Publishing Company.
- Huang, H. C., Gau, M. L., Lin, W. C., & George, K. (2003). Assessing risk of falling in older adults. *Public Health Nursing*, 20(5), 399-411. DOI: 10.1046/j.1525-1446.2003.20508.x
- Hughes, J. R., Shanmugham, S. Wetzel, L. C., Bellur, S., & Hughes, C. A. (1989). The relationship between EEG changes and cognitive functions in dementia: a study in a VA population. *Clinical Electroencephalography*, 20(2), 77-85. DOI: 10.1177/155005948902000204
- Jeste, M. D., Savla, G. N., Thompson, W. K., Vahia, I. V., Glorioso, D. K., Martin, A. S., Palmer, B. W., Rock, D., Golshan, S., Kraemer, H. C., & Depp, C. A. (2013). Association between older age and more successful aging: critical role of resilience and depression. *American Journal of Psychiatry*, 170(2), 188-196. DOI: 10.1176/appi.ajp.2012.12030386
- Kang, M. S., Park, H. C., & Kim, L. H. (2006). Comparison research of HRV between postpartum women and normal women. *Journal of Oriental Neuropsychiatry*, 17(2), 179-185.
- Kim, B. S., & Min, J. A. (2015). *Use and interpretation of HRV in stress clinic*. Panmuneducation, Seoul.
- Kim, C. G., Kim, H. T., & Lee, S. H. (2013). Clinical implications of EEG and ERP as biological markers for alzheimer's disease and mild cognitive impairment. *Korean Journal of Biological Psychiatry*, 20(4),

- 119-128.
- Kim, D. B., & Sohn, E. S. (2005). A meta-analysis of the variables related to depression in elderly. *Journal of the Korean Gerontological Society*, 25(4), 167-187.
- Kim, S. Y. (2003). Clinical characteristics of mild cognitive impairment. *Journal of the Korean Dementia Association*, 2(2), 96-100.
- Kim, W., Woo, J. M., & Chae, J. H. (2005). Heart rate variability in psychiatry. *Journal of Korean Neuropsychiatr Association*, 44(2), 176-184.
- Li, Y. S., Meyer, J. S., & Thornby, J. (2001). Depressive symptoms among cognitively normal versus cognitively impaired elderly subjects. *International Journal of geriatric psychiatry*, 16(5), 455-461. DOI: 10.1002/GPS.360
- Lovallo, W. R., & Thomas, T. L. (2000). Stress hormones in psychophysiological research: Emotional, behavioral, and cognitive implications. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds), *Handbook of Psychophysiology* (pp. 342-367). New York, NY, US: Cambridge University Press.
- Lubar, J. F. (1991). Discourse on the development of EEG diagnostics and biofeedback for attention-deficit/hyperactivity disorders. *Biofeedback & Self Regulation*, 16(3), 201-225. DOI: 10.1007/bf01000016
- Nauta, W. J. (1972). Neural associations of the frontal cortex. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 32(2), 125-140.
- Park, S. Y., & Ko, M. M. (2008). A Study on SEEG (statistical EEG analysis). *Journal of Korean Date Analysis Society*, 10(3), 1313-1325.
- Peniston, E. G., Marrinan, D. A., Deming, W. A., & Kulkosky, P. J. (1993). EEG alpha-theta brainwave synchronization in Vietnam theater veterans with combat-related post-traumatic stress disorder and alcohol abuse. *Medical Psychotherapy: An International Journal*, 6, 37-50.
- Penttilä, M., Partanen, J. V., Soinen, H., & Riekkinen, P. J. (1985). Quantitative analysis of occipital EEG different stages of Alzheimer's disease. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60(1), 1-6. DOI: 10.1016/0013-4694(85)90942-3
- Prinz, P. N., & Vitiello, M. V. (1989). Dominant occipital (alpha) rhythm frequency in early stage Alzheimer's disease and depression. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 73(5), 427-432. DOI: 10.1016/0013-4694(89)90092-8
- Pucci, E., Belardinelli, N., Cacchio, G., Signorino, M., & Angeleri, F. (1999). EEG power spectrum differences in early and late onset forms of Alzheimer's disease. *Clinical Neurophysiology*, 110, 621-631. DOI: 10.1016/s1388-2457(98)00054-6
- Rossi, P. M. (2009). Implications of brain plasticity to brain-machine interface operation: A potential paradox? *International Review of Neurobiology*, 86, 81-90. DOI: 10.1016/s0074-7742(09)86006-6
- Shim, J. Y. (2012). Comparison of EEG characteristics between short and long-term practitioners during Qigong practice. *Journal of Korean Alliance of Martial Arts*, 14(3), 209-228. DOI: 10.35277/kama.2012.14.3.209
- Sin, M. G. (2009). Effects of an exercise program on frontal lobe cognitive function in elders. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 39(1), 107-115. DOI: 10.4040/jkan.2009.39.1.107
- Statistics Korea (2016). Future population estimation. Statistics Korea.
- Statistics Korea (2018). 2018 aging statistics. Statistics Korea.
- Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043-1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043
- Wilson, R. S., Arnold, S. E., Schneider, J. A., Li, Y., & Bennett, D. A. (2007). Chronic distress, age-related neuropathology, and late-life dementia. *Psychosomatic Medicine*, 69(1), 47-53. DOI: 10.1097/01.psy.00002502264.25017.21

원고접수: 2019.04.30

수정접수: 2019.06.21

게재확정: 2019.07.05