

뇌-컴퓨터-인터페이스를 이용한 암환자들의 전전두엽 뇌파 분석

(Patterns Analysis of Prefrontal Brain Waves of Cancer Patients using Brain-Computer-Interface)

한 영 수 [†] 채 명 신 ^{**} 박 병 운 ^{***} 박 종 기 ^{****}
 (Young Soo Han) (Myoung Sin Chae) (Pyung Woon Park) (Chong Ki Park)

요 약 암환자들은 암의 진행과 항암화학요법 등의 치료로 인해 심신의 불안정과 항상성의 저하로 큰 고통을 겪고 있다. 간편하면서 인체에 아무 해를 주지 않는 뇌파를 기반으로 하는 뇌-컴퓨터-인터페이스(BCI) 기술로서 암 환자의 상태를 모니터링하여 적절한 처치를 취할 수 있다는 것은 매우 중요한 일이다. 암환자들의 전전두엽에 헤드밴드 형태의 건성전극단자를 부착하고, 컴퓨터와 연결된 휴대용 뇌파측정 장치로 전전두엽 뇌파(Fp1, Fp2)를 측정하였다. 컴퓨터를 통하여 파장대 별로 얻어진 뇌파를 상호 연관성에 따라 뇌지수로 구분한 후 통계 처리하여 유의성을 검증하였다. 암환자군과 정상대조군을 비교한 결과 암환자군에 비하여 정상대조군이 기초율동지수, 주의지수, 정서지수, 항스트레지수와 좌우뇌균형지수에서 유의하게 높은 차이를 나타냈다. 따라서 뇌파 측정이 환자의 상태를 모니터링하는 중요한 도구로서의 가능성을 보였다.

키워드 : 암, 항상성, 뇌파(EEG), 전전두엽, 뇌지수

Abstract Cancer patients have been suffered from the instability of mind/body and unbalanced homeostasis because of cancer progression and medical treatment such as chemotherapy, It is very important that appropriated actions can be promptly taken by monitoring cancer patients' mental conditions. For this reason, it is crucial to develop a monitoring method which is convenient and not harmful to their body. Brain-computer-interface (BCI) system is introduced for the purpose in this paper. Prefrontal brain waves of cancer patients and control groups have been measured by a portable neurofeedback (NF) system based on self-regulation of the human electroencephalogram (EEG). The NF system consists of the portable EEG amplifier and a headband with dry electrodes placed on Fp1 and Fp2 sites. Patterns of the prefrontal brain waves taken by computer are correlated to brain quotients by EEG-analysis program. Basic rhythm quotient, attention quotient, emotional quotient, anti-stress quotient and correlation quotient of control group have shown high significant level compared with the cancer patients group. On the other hand, the EEG patterns analysis is shown its possibility to be an important methodology of monitoring cancer patients' condition.

Key words : cancer, homeostasis, brainwaves(EEG), prefrontal lobe, brain quotient

[†] 정 회 원 : 서울벤처정보대학원대학교 정보경영학과

youngsoo1026@naver.com

^{**} 정 회 원 : 서울벤처정보대학원대학교 정보경영학과 교수

mschae@suv.ac.kr

^{***} 정 회 원 : 서울불교대학원대학교 심신통합치유학과 교수

pwpark00@naver.com

^{****} 정 회 원 : 에덴요양병원 병원장

president@edenah.com

논문접수 : 2008년 1월 10일

심사완료 : 2008년 1월 30일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용 제35권 제3호(2008.3)

1. 서 론

인간의 생체신호 중 뇌에서 발생하는 전기적 신호인 뇌파는 뇌-컴퓨터-인터페이스(BCI) 기술에의 활용과 더불어 이를 모니터링 하는 기술로도 개발되어 각종 재활 분야, 건강검진 분야 등의 의료분야에서도 응용될 수 있다. 현재 BCI는 다양한 기반기술과 함께 게임기술과 임상기술 분야로 활발히 연구되고 있다. 특히, BCI 임상진단은 간질, 파킨슨병, 알츠하이머병, ADHD(Attention Deficit Hyperactivity Disorder), 등의 뇌관련 질환의 진단에 이용되고 있다[1-3].

본 연구는 뇌 관련 질환이 아닌 신체관련 질환인 암

을 대상으로 암의 기초 임상 진단에 BCI 기술을 응용하고자 한다. 암은 지난 20년 간 우리나라에서 사망 원인 부동의 1위를 지키고 있다. 방사선치료나 항암화학요법 등의 암 치료방법은 암세포 뿐 아니라 정상세포들에게도 함께 영향을 주어 심신의 항상성을 심각하게 떨어뜨린다. 뇌파는 인체의 심신 상태를 나타내는 중요한 데이터 중의 하나로써 인체의 항상성이 깨지고 면역력이 저하된 암환자의 뇌파가 건강한 사람과 큰 차이를 보일 수 있다는 것은 충분히 예견할 수 있는 사실이다.

사람의 인지 사고 및 창의성과 관련이 있는 전전두엽은 뇌 전체에서 발생하는 모든 정보를 종합하여 총체적으로 판단하고 조직화하여 반응이 실행되도록 한다[4]. ADHD 아동의 전전두엽의 크기가 일반아동보다 작다는 보고가 있고[5], 우울증 환자의 좌측배부 전전두엽의 뇌혈류 감소가 있다는 보고도 있다[6]. 나이가 들면서 뇌 영역 중 가장 큰 위축을 보이는 부위는 전전두엽이며, 노인은 중년층에 비해 전전두엽 뇌 혈류량의 감소를 보인다[7, 8]. 따라서 전전두엽의 뇌파는 환자의 건강 상태를 나타내는 중요한 데이터로 이용될 수 있다.

뇌파는 일반적으로 주파수 대역에 따라 δ 파(0.2-4Hz), θ 파(4-8Hz), α 파(8-13Hz), β 파(13-30Hz), γ 파(30-50Hz)로 구분한다. δ 파는 가장 느린 서파로 숙면 중에 나타나고, θ 파는 잠이 들 때나 안정된 상태에서 나타난다. α 파는 뇌파의 기본이 되며 기초 율동이라고도 표현하고, 정상 성인의 각성, 안정, 폐안 상태에서 잘 나타난다. β 파는 진폭이 짧은 속파로 민첩성, 각성, 집중, 인식력과 관련되어 있으며, 과도할 경우 불안을 유발시키기도 한다. 이들 뇌파들이 암환자들과 건강한 사람들 간에 서로 유의하게 차이를 보인다면, 이것은 간단한 뇌파 측정으로 환자의 상태를 파악하는 중요한 방법이 될 수 있다.

비침습적 방법으로 뇌를 탐색하는 주요 기술 중 CT, MRI, PET 같은 뇌신경영상 장비들은 뇌의 구조적인 부분을 연구하는 데 초점을 두고 있으나, 뇌파(EEG)는 뇌의 구조적인 연구보다는 대뇌 기능을 평가하는 데 중점을 두는 방법이다.

지금까지 뇌파를 측정하고 분석한 연구로 간질환자는 발작 중에 비정상적인 뇌파(Epileptiform)가 출현될 뿐 아니라 소발작의 경우나 발작과 발작 사이에도 발작에서 보이는 비정상적인 뇌파가 출현된다고 하였다[9]. ADHD 아동의 뇌파를 Quantitative EEG(QEEG)로 측정한 결과 대조군에 비해 서파는 더 강하게 나타나고 속파는 더 약한 상태를 보인다고 하였다[10]. 또한 알츠하이머병 초기에는 α 파의 감소와 함께 β 파의 감소와 θ 파의 증가를 보인다면 중등도 이상으로 진행되면 α 파의 감소와 δ 파의 증가가 관찰된다고 하였다[11]. 우울증 환

자의 경우도 좌측과 우측의 뇌파가 차이가 나는 것으로 분석하였다[12]. 그리고 파킨슨병은 그 임상적으로 α 파의 서행과 서파의 증가가 가장 많이 나타나는 것이라고 하였다[13].

종양(Tumor)과 관련된 연구로 신경교신경원세포종양(Glioneuronal Tumors)과 피질병소이형증(Focal Cortical Dysplasia)의 피질뇌파검사패턴(Electrocorticographic Discharge Pattern)은 간질에서 나타나는 비정상뇌파가 나타났다고 하였다[14]. 이와 같이 뇌 관련 질환이나 뇌종양과 관련된 뇌파에 대한 보고들은 있으나 뇌 이외의 신체에서 발견된 암과 뇌파와의 관련성에 대한 연구나 문헌은 많지 않다.

뇌파분석 중 전통적 뇌파분석은 단순 시계열(Time Series) 전압신호로서 배경(Background)뇌파와 지배(Dominant)뇌파를 구분하여 뇌의 상태를 파악하는 것으로 의학적으로 사용되어 왔다. 그러나 뇌파는 시계열 신호가 특정 주파수로 확연히 구별되는 신호가 아니고 다양한 정보가 포함되어 있는 복합신호이기 때문에 보다 다양한 분석기법들이 연구 개발되었다. 가장 기본적으로 사용되는 방법은 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)을 통한 주파수계열(Frequency Series) 파워스펙트럼 분석법이다[15]. 이것은 시계열 뇌파 값을 주파수계열로 변환하여 밴드별로 진폭의 세기를 비교 분석하는 방법이다. 그러나 밴드별 뇌파 세기를 독립적으로 구분하게 되면 서파화나 속파화 정도 등을 정확히 파악하기 어렵다. 이러한 방법들은 모두 고전적인 선형 분석법으로서 수많은 신경세포에서 발생하는 복합적인 신호들을 정밀 분석하는 데 한계가 있다. 1985년에 Bablyoantz, Salazar와 Nicolis[16]는 비선형적인 특성을 발견하고, 비선형적 분석이 가능하다는 것을 보여 주었다. 이후 많은 연구들이 이루어지면서 뇌질환에 의한 뇌파신호의 비선형적 분석들이 이루어졌다[17]. 뇌파신호 분석에 있어 주목을 받는 것은 신호의 근원(Source)과 국소화(Localization)에 대한 연구이다. 이런 목적에서 가장 대표적으로 사용되는 것은 독립 성분 분석법(ICA: Independent Component Analysis)이다[18]. 이것은 복합 신호 뇌파에서 특정 성분들을 구별하여 뇌파신호의 근원과 위치를 추정할 수 있게 한다.

본 연구에서는 주파수계열 스펙트럼 분석법을 이용하여 상호 연관성에 의한 서파화와 속파화 정도를 파악하여, 기존의 밴드별 독립 분석법이 서파화나 속파화 정도 등을 정확히 분석하지 못하는 단점을 보완하였다. 또한 폐안과 개안시의 뇌파를 비교 분석함으로써 기초율동의 주파수를 파악하고 뉴로피드백에 의한 뇌의 자기 조절 정도(Degree of Self-regulation)를 측정함으로써 뇌의 동적상태(Dynamic State)를 측정하여 분석하였다. 이는

단순히 시계열 분석만 하거나 파워스펙트럼에만 의존하는 기존의 분석법보다 다양한 정보를 제공한다. 이와 같은 분석법을 B.Q. Test라 하고 지수 형태로 뇌의 상태를 정량화하였다[19]. 그러므로 뇌지수는 좀 더 종합적으로 뇌의 기능을 보고자 하는 노력에서 나온 틀로서 기존의 방법들보다 밴드별 상호 연관성에 따라 뇌의 기능을 세분화하여 분석 평가할 수 있는 유용한 지표가 될 수 있는 방법이다[20].

따라서 본 연구는 암환자와 정상대조군의 전전두엽에서 뇌파를 측정하여 뉴로피드백의 뇌기능 분석 프로그램인 B.Q. Test를 이용하여 각 밴드별 상호 연관성에 따라 6개의 지수로 뇌의 기능 상태를 분석하였다. B.Q. Test를 이용하여 첫째 암환자들을 병의 상태의 경중에 따라 암초기와 암진행으로 나누어 뇌파의 차이가 있는가를 규명하고, 둘째 전체 암환자군과 정상대조군의 뇌파의 차이를 규명하고, 셋째 나이대별 암환자와 정상대조군의 뇌파의 차이가 있는가를 규명한 후, 넷째 전전두엽 뇌파 분석이 암환자들의 상태를 모니터링하기 위한 효과적인 방법임을 규명하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

연구는 경기도 남양주시 수동면 내방리에 위치한 에덴 요양병원에서 2006년 4월부터 2007년 3월에 걸쳐 요양 치료 중인 환자들 중 뇌파 훈련실에서 뇌파측정을 한 사람들을 대상으로 하였다. 실험에 사용된 암의 종류와 환자수는 표 1에 나타난 바와 같이 유방암, 위암, 대장암 및 폐암 등 23 종류의 다양한 암으로 투병 중인 30대에서 60대의 암환자 92명((남:24, 여:68)(초기암:16, 진행암:76))이다. 먼저 암환자의 병기에 따른 뇌파의 차이를 암의 전이 여부에 따라 전이가 되지 않은 암초기

군과 주변이나 다른 장기까지 전이가 된 암진행군으로 나누어 비교 분석하였고, 다음은 암환자군과 정상대조군을 비교 분석하였다.

본 연구에서 사용된 정상대조군의 뇌파는 한국정신과학연구소가 보유하고 있는 데이터베이스로부터 전국 9개 지역에서 뇌파측정 시 외형적으로 나타난 질병이 없는 30대에서 60대 679명(남:245, 여:434)의 건강한 사람들의 것을 사용하였다. 그리고 표 2에서 보는 바와 같이 암환자군과 정상대조군의 두 집단을 암 이외에 노화와 관련된 영향변수의 존재 여부를 확인하기 위하여, 양측 측두부에서 생리적 노화에 의해 측두부 서파가 나타나는 45세를 기준으로 30-44세, 45-59세와 고령자로 분류되는 60대로 구분하여[21] 비교 분석하였다.

2.2 뇌파측정 장치

뇌파측정은 두피로부터 대뇌피질의 신경세포군에서 발생하는 미세한 전기적 파동을 체외로 도출하고 이를 증폭하여 전위를 증폭으로 시간을 횡축으로 해서 기록하는 것으로 기존의 다채널 시스템은 측정에 어려움이 있고 전문가의 도움이 필요하다.

본 논문에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 비침습형 헤드밴드 형태로 측정자 친화적인 휴대용 뉴로피드백 시스템 뇌파 측정장치(뉴로하모니: Braintech사 제품)를 사용하여 뇌파를 측정하고 분석하였다. 뉴로하모니를 이용한 뉴로피드백 훈련 결과는 현재까지 뉴로피드백 훈련에 많이 사용되고 있는 뇌파 측정기인 Grass Neurodata Amplifier System(U.S.A.)을 이용하여 얻어진 각 뇌파 간 상관계수의 상호 비교를 통하여 신뢰성이 입증되었다[22].

뉴로하모니는 2채널 뇌파 측정기로 쌍극 유도법(Sequential Bipolar Montage)을 이용하여 국제 10-20 system 기준[23]에 의해 정해진 전전두엽(prefrontal

표 1 암의 종류와 환자 수

암의 종류	환자수(남,여)	암의 종류	환자수(남,여)	암의 종류	환자수(남,여)
유방암	19 (0, 19)	담도암	3 (1, 2)	백혈병	1 (1, 0)
위암	12 (2, 12)	췌장암	2 (2, 0)	설암	1 (0, 1)
대장암	10 (3, 7)	후각신경아세포암	1 (0, 1)	담낭암	1 (0, 1)
폐암	10 (5, 5)	두경부암	1 (1, 0)	구강암	1 (0, 1)
간암	8 (4, 4)	선양낭성암종	1 (0, 1)	연육부종	1 (0, 1)
난소암	8 (0, 8)	미만성비호지킨림프종	1 (1, 0)	흑색종	1 (1, 0)
갑상선암	4 (1, 3)	골수섬유화증	1 (0, 1)	임파선암	1 (1, 0)
직장암	3 (1, 2)	자궁경부상피내암	1 (0, 1)	계	92 (24, 68)

표 2 암환자군과 정상대조군의 나이대별 측정자수

	전체		30-44세		40-59세		60-69세					
	남	여	남	여	남	여	남	여				
암환자군	92	24	68	29	6	23	49	13	36	14	5	9
정상대조군	679	245	434	337	114	223	271	110	161	71	21	50

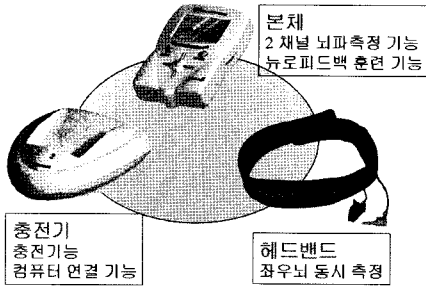


그림 1 뇌파측정 장치: 뉴로하모니



그림 2 뉴로하모니를 이용한 뇌파 측정

lobe)의 Fp1과 Fp2에서 좌우뇌파를 동시에 측정하도록 설계되었다. 여기에 단극 유도법을 혼합하여 Fp1, Fpz와 Fp2 위치에 각각 전극이 부착되도록 건성단자를 헤드밴드(head band) 형식으로 구성하였다. 이들 세 전극

을 전전두엽에 간단하게 부착하고, 컷볼을 기준전극으로 사용하였다[20]. 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 뉴로하모니는 컴퓨터와 연결하여 뇌파를 측정하고 뉴로피드백 훈련을 할 수 있는 장치로 전도성 폴을 사용하는 기존의 습성 전극 시스템에 비해 훨씬 편리하며, 특히 간편하게 휴대하면서 뇌파를 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다.

2.3 뇌파측정

뇌파 측정은 처음 30초는 눈을 뜨고, 다음 30초는 눈을 감고, 그 다음 30초는 다시 눈을 뜨고 측정한다. 그리고, 3가지 기본상태인 휴식(α 파), 주의력(SMR), 집중력($low\beta$ 파)을 각각 60초씩 측정한다[20].

측정된 뇌파에 대해 그림 3에서와 같이 원시뇌파 뿐만 아니라 동시에 고속 푸리에 변환을 시행함으로써 시간에 따라 뇌파의 형태가 변화하는 것을 볼 수 있고, 실시간으로 2차원 그래프와 3차원 그래프 및 밴드별 평균치를 얻을 수 있다. 원시뇌파와 주파수 별로 구분된 뇌파를 관찰할 수 있으므로 비전문인들도 각 뇌파를 종류별로 분석할 수 있다.

2.4 뇌파 분석

뇌파분석은 뉴로하모니 뇌기능 분석프로그램인 B.Q. Test를 이용하였다. B.Q. Test는 δ 파, ϵ 파, α 파와 함께 β 파를 세분하여 SMR(12-15Hz), $low\beta$ 파(13-20Hz), $high\beta$ 파(20-40Hz)의 밴드별 상호 연관성에 따라 두뇌의 활동 상태를 6개의 지수로 분석한다[19,20]. 이를 통해 뇌기능뿐만 아니라 육체적 건강상태까지도 판단할

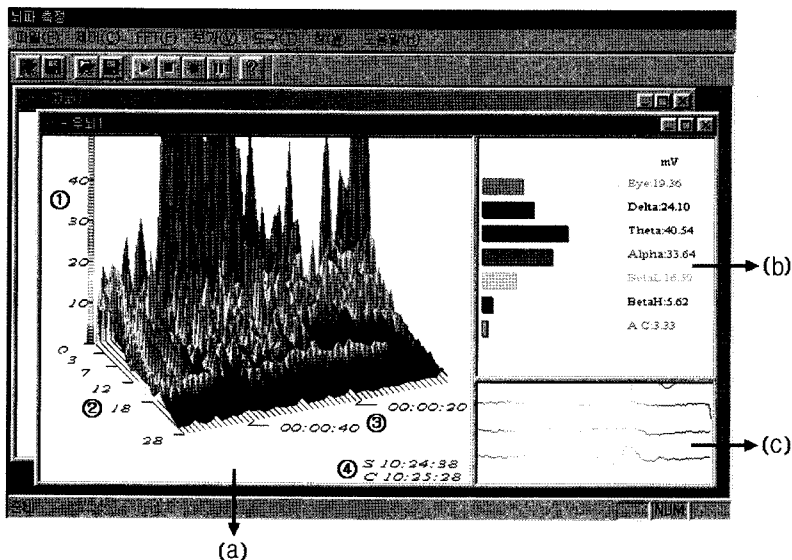


그림 3 뇌파의 3D FFT변환: (a) 3D FFT 뇌파의 색상은 전압세기에 따른 색상 (① 진폭, ② 주파수, ③ 측정시간, ④ 측정시각), (b) 밴드별 평균치, (c) 원시뇌파

수 있다.

2.5 뇌파분석지수(뇌지수)

각 지수와 그 지수를 위해 상호 연관된 뇌파들은 다음과 같다.

1) 기초율동지수(Basic Rhythm Quotient)

a 파는 안정된 폐안 시에 지배적으로 나타난다. 기초율동지수는 a 파의 주파수와 진폭 및 개안 시 사라지는 소실율을 고려하여 뇌의 발달정도, 뇌의 노화정도, 뇌의 안정도나 뇌의 순발력의 정도를 판단하는데 이용된다. a 파의 주파수는 뇌의 활동속도를 말하며 정해진 연령 기준보다 느리면 뇌의 활동속도가 느리다고 본다[24].

2) 주의지수(Attention Quotient)

δ 파의 활성도를 SMR의 활성도로 나눈 수치로 연령 기준에 따라 뇌의 각성 정도를 판단할 수 있다. 육체적 긴장정도를 파악하는 δ 파와 정신적 긴장정도를 파악하는 $high\beta$ 파와 함께 지수의 수준이 결정된다. 지수가 높을수록 뇌가 맑게 각성되어 면역기능이 높은 상태에 있다는 것을 의미한다[25,26].

3) 활성지수(Activity Quotient)

좌뇌와 우뇌의 a 파 활성도, $low\beta$ 파 활성도와 좌우뇌 전체적인 활성 정도를 나타낸다. 좌뇌와 우뇌의 활성지수가 거의 비슷하게 균형을 잡고 높을 때가 이상적이다. 어느 한쪽이 너무 높거나 낮으면 정서불안, 행동성향 불안정 등 뇌기능 불균형의 문제가 발생되고, 질병으로 발전할 가능성이 크다[27,28].

4) 정서지수(Emotion Quotient)

정서지수는 a 파 중심으로 좌우뇌 a 파 비대칭을 본다. $[L(\text{좌측}a\text{파}) - R(\text{우측}a\text{파})]$ 의 값이 +이면 활발한 상태이고 -이면 어둡고 우울한 상태로 정서적 안정, 불안정의 균형 상태를 나타낸다[28,29].

5) 항스트레스지수(Anti-Stress Quotient)

δ 파와 $high\beta$ 파에 대한 분석으로 내외적 환경 요인으로 인한 육체적 정신적 피로도를 나타내며 스트레스 저항력을 나타내는 수치이다. 육체적 스트레스는 δ 파를 통해서, 정신적 스트레스는 $high\beta$ 파를 통해서 그 값을 얻을 수 있다. 항스트레스지수 값이 높을수록 병에 대한 저항력이 크다[30].

6) 좌우뇌균형지수(Correlation Quotient)

좌뇌와 우뇌의 뇌파 진폭의 세기를 비교하는 대칭과 위상의 동시성으로 좌우뇌의 균형상태를 나타낸다. 좌뇌와 우뇌의 균형이 깨지면 육체적 불균형뿐만 아니라 언어장애, 정서장애, 활성장애 등 다양한 불균형으로 인한 문제점들이 나타난다[24].

뇌지수들 중 기초율동지수, 주의지수, 활성지수와 스트레스지수는 좌뇌와 우뇌가 따로 그 값이 산출된다. 표 3은 각각의 뇌지수와 관련된 주파수대역을 나타내고 있다.

표 3 뇌지수와 관련 주파수

뇌지수	관련 주파수
기초율동지수(좌)(우)	폐안 시 a 파
주의지수(좌)(우)	δ 파/SMR
활성지수(좌)(우)	a 파, $low\beta$ 파
정서지수	좌측 a 파-우측 a 파
항스트레스지수(좌)(우)	$high\beta$ 파
좌우뇌균형지수	좌우 뇌파의 상관성

2.6 자료의 분석

먼저 암환자군에서 암초기와 암의 진행상태의 뇌지수를 비교 분석하고, 다음으로 암환자군과 정상대조군의 뇌지수를 비교 분석하였다. 암환자와 정상대조군 간에는 전체 비교와 함께나이 대 별로도 비교·분석하였다. 비교·분석은 독립표본 t -검정을 이용하였다. B.Q. Test 분석에 의한 지수들의 통계처리는 통계분석프로그램 SPSS 12.0을 이용하였다.

3. 결 과

3.1 암초기군과 암진행군의 뇌지수 비교

암환자들을 전이의 유무에 따라 암초기군과 암진행군으로 나누어 뇌지수를 비교하여 표 4에 실었다. 이 표에서 볼 수 있는 바와 같이 좌측 기초율동지수, 우측 기초율동지수, 좌측 주의지수, 우측 주의지수, 좌측 활성지수, 우측 활성지수, 정서지수, 좌측 항스트레스지수, 우측 항스트레스지수와 좌우뇌균형지수 모두에서 두 집단 간에 유의한 차이를 보이지 않았다.

3.2 30대-60대 전체 암환자군과 정상대조군의 뇌지수 비교

표 5는 연구대상자 전체 암환자군과 정상대조군의 뇌지수를 비교한 결과이다. 이 표에서 볼 수 있는 바와 같이 정상대조군이 암환자군에 비해 좌측 기초율동지수($t=7.79, P=.000$), 우측 기초율동지수($t=8.06, P=.000$), 좌측 주의지수($t=6.19, P=.000$), 우측 주의지수($t=7.01, P=.000$), 정서지수($t=9.47, P=.000$), 좌측 항스트레스지수($t=6.45, P=.000$), 우측 항스트레스지수($t=7.31, P=.000$)와 좌우뇌균형지수($t=3.25, P=.002$)에서 유의하게 높은 차이를 보였다. 그러나 좌측 활성지수 및 우측 활성지수는 두 집단 간에 유의한 차이를 보이지 않았다.

3.3 나이대별 뇌지수 비교

3.3.1 30세-44세 암환자군과 정상대조군의 뇌지수 비교

표 6은 30세-44세 암환자군과 정상대조군의 뇌지수를 비교한 결과이다. 표 6에서 볼 수 있는 바와 같이 좌측 기초율동지수($t=6.05, P=.000$), 우측 기초율동지수($t=6.61, P=.000$), 좌측 주의지수($t=7.43, P=.000$), 우측 주의지수($t=6.62, P=.000$), 정서지수($t=10.36, P=.000$), 좌측 항스

표 4 암초기군과 암진행군의 뇌지수 비교

뇌지수	암초기군(n=16)	암진행군(n=76)	t 값	유의확률(P)
	평균(표준편차)	평균(표준편차)		
기초운동지수(좌)	53.61 (13.78)	58.41 (14.93)	-1.18	.240
기초운동지수(우)	53.07 (11.45)	57.61 (14.46)	-1.18	.242
주의지수(좌)	45.14 (16.72)	46.20 (17.39)	-.22	.826
주의지수(우)	41.86 (14.39)	44.72 (17.82)	-.60	.548
활성지수(좌)	77.32 (15.29)	75.25 (13.98)	.53	.597
활성지수(우)	77.51 (14.43)	75.70 (13.05)	.49	.623
정서지수	72.85 (6.18)	74.73 (6.03)	-1.12	.264
항스트레스지수(좌)	61.41 (15.58)	60.53 (20.86)	.16	.875
항스트레스지수(우)	54.72 (20.00)	55.23 (24.87)	-.08	.938
좌우뇌균형지수	72.79 (16.05)	74.35 (12.00)	-.37	.717

기초운동지수평가 40이하 심각한 불안정, 40-60 불안정, 60-80 안정, 80이상 최상
 주의지수평가 20이하 극산만, 20-40 산만, 40-60 보통, 60-80 건강, 80이상 최상
 활성지수평가 20이하 기능저하, 20-40 비활성, 40-60 보통, 60-80 활성, 80이상 최상
 정서지수평가 20이하 극저, 20-40 비활성, 40-60 보통, 60-80 활성, 80이상 최상
 항스트레스지수 20이하 병적상태, 20-40 피로, 40-60 보통, 60-80 건강, 80이상 최상
 좌우뇌균형지수 50이하 완전비대칭, 50-70 비대칭, 70-90 대칭, 90이상 완전대칭

표 5 30대-60대 암환자군과 정상대조군의 뇌지수 비교

뇌지수	암환자군(n=92)	정상대조군(n=679)	t 값	유의확률(P)
	평균(표준편차)	평균(표준편차)		
기초운동지수(좌)	57.58 (14.78)	68.92 (13.69)	7.79	.000 ***
기초운동지수(우)	56.82 (14.04)	69.08 (13.64)	8.06	.000 ***
주의지수(좌)	46.01 (17.19)	57.59 (13.75)	6.19	.000 ***
주의지수(우)	44.23 (17.23)	57.35 (13.76)	7.01	.000 ***
활성지수(좌)	75.61 (14.15)	74.13 (13.40)	-.98	.327
활성지수(우)	76.02 (13.23)	74.26 (13.49)	-1.18	.239
정서지수	74.40 (6.06)	80.63 (4.77)	9.47	.000 ***
항스트레스지수(좌)	60.68 (19.97)	74.40 (11.23)	6.45	.000 ***
항스트레스지수(우)	55.14 (23.99)	73.70 (11.05)	7.31	.000 ***
좌우뇌균형지수	74.08 (12.71)	78.57 (10.39)	3.25	.002 **

p < .01, *p < .001

트레스지수(t=4.68, P=.000)와 우측 항스트레스지수(t=4.63, P=.000)에서 정상대조군이 암환자군에 비해 유의하게 높은 차이를 나타냈다. 그러나 좌측 활성지수, 우측 활

성지수와 좌우뇌균형지수에서는 두 집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

3.3.2 44세-59세 암환자군과 정상대조군의 뇌지수 비교

표 6 30-44세 암환자군과 정상대조군의 뇌지수 비교

뇌지수	30-44암환자군(n=29)	30-44정상대조군(n=337)	t 값	유의확률(P)
	평균(표준편차)	평균(표준편차)		
기초운동지수(좌)	51.87 (12.35)	67.00 (12.30)	6.05	.000 ***
기초운동지수(우)	50.01 (11.68)	66.44 (12.94)	6.61	.000 ***
주의지수(좌)	35.30 (12.36)	54.22 (13.23)	7.43	.000 ***
주의지수(우)	35.43 (14.74)	53.24 (13.82)	6.62	.000 ***
활성지수(좌)	65.18 (12.68)	65.86 (10.96)	.33	.745
활성지수(우)	64.98 (10.70)	65.93 (10.64)	.46	.643
정서지수	70.38 (4.02)	79.09 (4.37)	10.36	.000 ***
항스트레스지수(좌)	57.63 (20.97)	76.02 (10.08)	4.68	.000 ***
항스트레스지수(우)	54.55 (23.58)	74.96 (10.06)	4.63	.000 ***
좌우뇌균형지수	75.83 (12.98)	78.50 (10.00)	1.08	.289

***p < .001

표 7은 44세-59세 암환자군과 정상대조군의 뇌지수를 비교한 결과이다. 좌측 기초율동지수($t=4.40, P=.000$), 우측 기초율동지수($t=4.74, P=.000$), 좌측 주의지수($t=3.77, P=.000$), 우측 주의지수($t=5.21, P=.000$), 정서지수($t=6.76, P=.000$), 좌측 항스트레스지수($t=2.95, P=.004$), 우측 항스트레스지수($t=4.07, P=.000$) 좌우뇌균형지수($t=3.15, P=.003$)에서 정상대조군이 암환자군에 비해 유의하게 높은 차이를 나타냈다. 그러나 좌측 활성지수와 우측 활성지수는 두 집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

3.3.3 60-69세 암환자군과 정상대조군의 뇌지수 비교

표 8은 60세에서 69세의 암환자군과 정상대조군의 뇌지수를 비교한 결과이다. 좌측 기초율동지수($t=3.38, P=.001$), 우측 기초율동지수($t=3.66, P=.000$), 좌측 주의지수($t=2.70, P=.016$), 우측 주의지수($t=3.88, P=.002$), 정서지수($t=5.97, P=.000$), 좌측 항스트레스지수($t=2.96, P=.010$), 우측 항스트레스지수($t=3.98, P=.001$)에서 정상대조군이 암환자군에 비해 유의하게 높은 차이를 나타냈다. 그러나 좌측 활성지수, 우측 활성지수와 좌우뇌균형지수에서는 두 집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

4. 고찰

본 연구에서는 암환자군의 뇌파와 정상대조군의 뇌파를 비교 분석하기 위하여 전진두엽에서 뇌파를 측정하고 선형분석으로 각 파장대별 뇌파의 활성도를 분석하고 조합하여 뇌지수를 산출하였다.

암환자들 중 전이가 되지 않은 암초기군과 전이가 된 암진행군으로 나누어 두 집단 간의 뇌지수를 비교한 결과, 표 4에서 볼 수 있는 바와 같이 모든 지수에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이것은 암의 병기의 경중에 상관없이 암의 존재 자체가 뇌지수에 영향을 준다고 볼 수 있다.

표 5는 30세 69세까지의 모든 연구대상자 전체 암환자군 92명과 정상대조군 679명의 뇌파의 비교로서 좌측과 우측 활성지수를 제외한 모든 지수에서 정상대조군이 암환자군에 비하여 유의적으로 높은 차이를 나타냈다. 유의적인 차이를 나타낸 지수들은 좌측 기초율동지수와 우측 기초율동지수, 좌측 주의지수와 우측 주의지수, 정서지수, 좌측 항스트레스지수와 우측 항스트레스지수, 좌우뇌균형지수이다. 정상대조군이 좌측과 우측의

표 7 45-59세 암환자군과 정상대조군의 뇌지수 비교

뇌지수	45-59암환자군(n=49)	45-59정상대조군(n=271)	t 값	유의확률(P)
	평균(표준편차)	평균(표준편차)		
기초율동지수(좌)	60.71 (15.21)	70.19 (13.85)	4.40	.000 ***
기초율동지수(우)	59.73 (14.15)	70.13 (14.12)	4.74	.000 ***
주의지수(좌)	50.63 (16.35)	59.13 (14.18)	3.77	.000 ***
주의지수(우)	48.11 (16.61)	59.30 (13.26)	5.21	.000 ***
활성지수(좌)	77.87 (12.22)	79.66 (9.75)	1.13	.258
활성지수(우)	79.23 (10.62)	79.72 (9.91)	.31	.754
정서지수	76.09 (6.29)	81.47 (4.88)	6.76	.000 ***
항스트레스지수(좌)	64.26 (18.09)	72.26 (12.71)	2.95	.004 **
항스트레스지수(우)	56.72 (25.31)	71.76 (12.50)	4.07	.000 ***
좌우뇌균형지수	72.54 (12.88)	78.68 (10.71)	3.15	.003 **

p < .01, *p < .001

표 8 60-69세 암환자군과 정상대조군의 뇌지수 비교

뇌지수	60-69암환자군(n=14)	60-69정상대조군(n=71)	t 값	유의확률(P)
	평균(표준편차)	평균(표준편차)		
기초율동지수(좌)	58.41 (15.35)	73.40 (15.14)	3.38	.001 ***
기초율동지수(우)	60.74 (13.91)	75.71 (14.02)	3.66	.000 ***
주의지수(좌)	52.03 (19.41)	66.54 (11.70)	2.70	.016 *
주의지수(우)	48.83 (18.46)	68.46 (9.37)	3.88	.002 **
활성지수(좌)	89.31 (11.90)	91.19 (8.86)	.56	.584
활성지수(우)	87.64 (10.30)	92.17 (8.61)	1.74	.086
정서지수	76.82 (4.81)	84.31 (4.19)	5.97	.000 ***
항스트레스지수(좌)	54.50 (22.94)	73.10 (11.84)	2.96	.010 **
항스트레스지수(우)	50.85 (20.88)	73.64 (10.82)	3.98	.001 ***
좌우뇌균형지수	75.83 (11.65)	79.13 (10.35)	1.07	.288

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

기초운동지수에서 유의하게 높은 차이를 보인 것은 일반적으로 α 파의 주파수와 뇌의 활동 속도가 비례하는 것에 비추어 암환자군이 정상대조군에 비해 뇌의 활동 속도가 느려서 뇌의 안정성이 떨어진 것으로 해석된다 [24]. 또한 좌측과 우측의 주의지수에 있어 유의하게 높은 차이는 암환자군이 정상대조군에 비해 뇌의 각성 정도가 떨어져서 기억력 감퇴나 질병에 대항할 수 있는 면역력이 저하되어있다고 판단된다[25,26]. 정서지수에서 유의하게 높은 차이는 암환자군이 정상대조군에 비해 자신감이 위축되고 우울한 심리상태에서 벗어나기가 어렵다는 것을 말해준다[28,29]. 좌측과 우측의 항스트레스 지수에서의 유의하게 높은 차이는 암으로 인하여 받는 육체적 정신적 스트레스가 심신의 긴장과 불안을 초래한 것으로 해석된다[30]. 좌우뇌균형지수의 유의하게 높은 차이는 암환자군이 정상대조군에 비해 좌뇌와 우뇌의 뇌파의 균형이 깨어짐으로서 육체적 불균형뿐 아니라 정서장애나 활성장애가 발생할 수 있다고 볼 수 있다[24]. 전체적으로 암환자군이 정상대조군에 비해 심신이 매우 불안정한 상태에서 신체적인 어려움과 함께 투병 중임을 알 수 있게 한다.

또한 표 5의 30세-69세 전체 암환자군과 정상대조군의 뇌파를 기준으로 표 6의 30-44세, 표 7의 45-59세, 표 8의 60-69세의 나이대별 암환자군과 정상대조군의 뇌파를 비교하였다. 그 결과 30-69세 전체의 뇌지수에서 유의하게 높은 차이를 보인 좌측 기초운동지수와 우측 기초운동지수, 좌측 주의지수와 우측 주의지수, 정서지수, 좌측 항스트레스지수와 우측 항스트레스지수, 좌우뇌균형지수에서 각 연령대별로도 대부분 정상대조군이 암환자군에 비하여 유의하게 높은 차이를 보임을 알 수 있었다. 즉, 암환자군과 정상대조군의 뇌파는 연령대별로는 큰 차이를 나타내지 않았다. 이 결과를 통해 볼 때 암환자군과 정상대조군의 전전두엽 뇌파비교에서 나타난 두 집단의 유의적인 차이는 암의 존재여부에 있다는 것을 확인할 수 있었다.

결론적으로 본 연구는 암환자군 내에서 암의 병기의 경증은 뇌파의 차이에 영향을 미치지 못하나 암환자군과 정상대조군 간에는 뇌파에 차이가 있음을 규명하였으며, 더불어 뇌파에 영향을 미치는 연령의 차이가 암환자군과 정상대조군의 뇌파의 차이에 영향을 미치지 않음을 확인하여 정상대조군과 암환자군의 뇌파의 차이를 초래하는 것은 암의 존재여부임을 확인하였다. 따라서 전전두엽 뇌파 분석은 암환자들의 상태를 모니터링하는 중요한 도구로서의 가능성을 보였다.

제한점으로 1) 본 연구에 참가한 암환자 92명은 23종의 다양한 암환자들로 구성되었으나 암의 종류별 뇌파 분석도 앞으로 연구되어야 할 과제이다. 2) 본 연구의

암환자들은 가족과 떨어져서 산속에 위치한 요양병원에서 투병 중인 환자들이었으나 재택 투병환자들과의 뇌파 차이도 연구해야 할 과제로 보인다. 3) 뇌의 기능을 측정하는 장치로 뇌파는 시간해상도가 높아 빠른 시간 내의 뇌의 변화를 볼 수 있고 비용이 저렴한 것이 장점이다. 여기에 비해 f-MRI, PET나 MEG 등은 공간해상도는 높으나 뇌파에 비해 시간해상도는 낮고, 매우 고가의 장비로 특수한 측정설이 필요하다. 시간해상도와 공간해상도를 동시에 만족할 수 있고 비용이 저렴한 뇌기능 측정장치가 요구된다. 4) 전도성 풀을 사용하는 번거로움이 없이 전극단자를 머리카락이 없는 이마에 부착하여 전전두엽의 뇌파를 측정하는 본 연구에서 사용된 2채널 전전두엽 뇌파측정기는 위의 단점을 보완한 대안 장치라고 볼 수 있다. 5) 정상대조군에 비해 유의적으로 낮은 암환자군의 뇌파분석지수들을 정상대조군의 수준으로 올리기 위한 방법으로 암환자들의 뉴로피드백 훈련이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 신승철, 류창수, 송운선, 남승훈, "뇌-컴퓨터-인터페이스를 위한 EEG 기반의 피험자 반응시간 감지", 정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용, 제29권, 제11호, pp. 837-850, 2002.
- [2] 신정훈, 서은미, "BCI 기반 Entertainic 기술개발 동향", 전자공학회지, 제34권, 제6호, pp. 679-690, 2007.
- [3] 음태완, 김용수, "뇌파기반 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술", 정보과학회지, 제22권, 제2호, 2004.
- [4] Miller, K. E., Cohen, D. J., "An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function," Annual Review of Neuroscience, Vol.24, pp. 167-202, 2001.
- [5] Nuwer Mostofsky, S.H., Reiss, A.L., Lockhart, P., and Penckla, M.B., "Evaluation of Cerebellar Size in ADHD," Journal of Child. Neurology, Vol.13, pp. 434-439, 1998.
- [6] 정용안, 유이영, 강봉주, 채정호, 이해원, 문현진, "치료 저항성 우울증 환자에서 반복적 경두개 자기자극 후 국소뇌혈류 변화", Nucl. Med. Mol. Imaging, Vol.41, No.1, pp. 9-15, 2007.
- [7] Raz, N., Aging of the Brain and Its Impact on Cognitive Performance: Integration of Structural and Functional Findings. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse(Eds.), Handbook of Aging and Cognition II. NJ: Erlbaum. 2000.
- [8] West, R. L., "An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging," Psychological Bulletin, Vol.120, pp. 272-292, 1996.
- [9] Osselton, J.W., "Electroencephalographic Monitoring in Epilepsy," Clin. Phys. Physiol. Meas, Vol.12, No.3, pp. 203-217, 1991.
- [10] Monastra, V.J., Lubar, J.F., Linden, M., Deussen, P.V., Green, G., and Wing, W., "Assessing Atten-

tion Deficit Hyperactivity Disorder via Quantitative Electroencephalography: An Initial Validation Study," *Neuropsychology*, Vol.13, No.3, pp. 424-433, 1999.

[11] 광용태, "알츠하이머병의 진행에 따른 정량적 뇌파검사의 변화", *J Korean Neurol Assoc*, Vol.23 No.3, pp. 356-362, 2005.

[12] Fingelkurts, A.A., Fingelkurts, An.A., Ryttsälü, H., Suominen, K., Isometsä, E., and Kähkönen, S. "Composition of Brain Oscillations in Ongoing EEG during Major Depression Disorder," *Neuroscience Research*, Vol.56, No.2, pp. 133-144, 2006.

[13] Soikkeli R., Partanen J., "Slowing of EEG in Parkinson's disease," *Electroencephalogram Clin. Neurophysiology*, Vol.79, pp. 159-165, 1991.

[14] Ferrier, C.H., Eleanora Aronica, E., Leijten, F.S.S., Spliet, W.G.M., Huffelen, A.C., and Rijen, P.C., "Electrocorticographic Discharge patterns in Glioneuronal Tumors and Focal Cortical," *Dysplasia Epilepsia*, Vol.47, No.9, pp. 1477-1486, 2006.

[15] Walter, D.O., Leuchter, A.F. A Tutorial on Classical Computer Analysis of EEGs: Spectra and Coherences in Analysis of the Electrical Activity of the Brain, ed. by Angeleri F., Butler S., Giaquinto S., Majkowski J. Wiley & Sons pp. 105-124. 1997.

[16] Bablyoantz, A., Salazar, J.M., and Nicolis, C., "Evidence of Chaotic Dynamics of Brain Activity during the Sleep Cycle," *Phys. Lett.*, Vol. 111A, pp. 152-156, 1985.

[17] Jeong, J., Kim, S.Y., and Han, S.H., "Nonlinear Analysis of Chaotic Dynamics underlying EEGs in Patients with Alzheimer's Disease," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol.106, No.3, pp. 220-228, 1998.

[18] Comon, P., "Independent Component Analysis - A New Concept?," *Signal Processing*, Vol.36, No.3, pp. 287-314, 1994.

[19] 박병운, 뇌파해석기법, 한국정신과학연구소, 2005.

[20] Ryu, C.S, An, M.H, Na, Y.C, Cho, J.O, Han, Y.S, Kim, K.H, and Park, P.W., "A Portable Neurofeedback System and EEG-analysis Methods for Evaluation," *World Congress on Medical physics and Biomedical Engineering Proceeding*, pp. 1060-1062, 2006.

[21] 김대식, 최장욱, 뇌파 검사학, pp. 89-90, 2001.

[22] 이강희, 민윤기, 이방형, 민병찬, "뇌파유도 및 모니터링 인터페이스 시스템 개발 및 효과성", 한국감성학회 춘계학술대회 및 국제 감성공학 심포지움 발표자료, pp. 91-96, 2000.

[23] Jasper, H.H., "The ten-twenty electrode system of the International Federation," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol.56, No.6, pp. 898-902, 1958.

[24] Bruce, J. Fisch. Fisch and Spehlmann's EEG Primer. 3rd Ed., pp. 141-198, Elsevier, 1999.

[25] Lubar, J.F, Swartwood, M.O, Swartwood, J.N, and

O'Donnell, P.H., "Evaluation of the Effectiveness of EEG Neurofeedback Training for ADHD in a Clinical Setting as Measured by Changes in T.O.V.A. Scores, Behavioral Rating, and WISC-R Performance," *Biofeedback & Self Regulation*, Vol. 20, pp. 83-99, 1995.

[26] Lubar, J.O., Lubar, J.F., "Electroencephalographic Biofeedback of SMR and Beta for Treatment of Attention Deficit Disorders in a Clinical Setting," *Biofeedback & Self Regulation*, Vol.9, pp. 1-23, 1984.

[27] Gray, JA., "Brain Systems that Mediate both Emotion and Cognition. Special Issue: Development of Relationships between Emotion and Cognition," *Cognition and Emotion*, Vol.4, pp. 269-288, 1990.

[28] Gotlib, I.A., Ranganath, C, and Rosenfeld, J.P., "Frontal EEG Alpha Asymmetry, Depression and Cognitive Functioning," *Cognition and Emotion*, Vol.12, pp. 449-478, 1998.

[29] Sutton, S.K, Davidson, R.J., "Prefrontal Brain Asymmetry: A Biological Substrate of the Behavioral Approach and Inhibition Systems," *Psychological Science*, Vol.8, pp. 204-210, 1997.

[30] Peniston, E.G, Marrinan, D.A, Deming, W.A, and Kulkosky, P.J, "EEG Alpha-theta Brainwave Synchronization in Vietnam Theater Veteran with Combat-related Posttraumatic Stress Disorder and Alcohol Abuse," *Medical Psychotherapy: An International Journal*, Vol.6, pp. 37-50, 1993.



한 영수

1972년 이화대학교 학사(생물학). 1974년 이화대학교 석사(유전학). 2004년~현재 서울벤처정보대학원 박사과정(뇌과학). 1976년~2002년 이화, 동덕, 숭실대학교 출강. 관심분야는 BCI, Neurofeedback, 뇌과학



채 명신

1994년 The University of Texas at Austin 석사(Instructional Technology) 2003년 The University of Illinois at Chicago 박사(MIS). 2004년~현재 서울벤처정보대학원 대학교 정보경영학과 교수. 관심분야는 BCI, HCI, e-Biz/모바일

비즈니스



박 병 운

1981년 연세대학교 물리학과 학사. 1990년 Indiana University 박사. 1991년~1994년 한국전자통신연구소 선임연구원, RTD 연구팀장. 1994년~현재 한국정신과학연구소 소장. 1998년~현재 Braintech(주) 대표이사. 2004년~2007년 서울벤처정보대학원대학교 정보경영학과 겸임교수. 2008년~현재 서울불교대학원대학교 심신통합치유학과 교수. 관심분야는 BCI, HCI, Neurofeedback, 뇌과학



박 중 기

1965년 삼육대학교 신학과 학사. 1974년 뉴저지주립대학 석사(특수교육). 1984년 전북대학교 의과대학 의학사. 1974년~1977년 뉴욕 주립 정신병원 재활상담사. 1985년~2002년 와싱턴주 타코마 박의료원 원장. 2002년~현재 에덴요양병원 원장, 에덴노인전문요양센터 원장. 관심분야는 암치유, 노인학