

발바닥 특정 부위 자극이 뇌파에 미치는 효과에 대한 비선형 분석

吳永仙 · 吳旼錫 · 宋泰元*

Abstract

Nonlinear analysis of the effects on the brain waves of the stimulation
on specific area of the sole of the foot

Oh Yeong-seon, O.M.D., Oh Min-seok, O.M.D., Ph.D., Song Tae-won, O.M.D., Ph.D.

Dept of Rehabilitation of Medicine

College of Oriental Medicine, Daejeon University, Daejeon, Korea

The brain is one of the most complex systems in nature. Brain waves, or the "EEG", are electrical signals that can be recorded from the brain, either directly or through the scalp. The kind of brain wave recorded depends on the behavior of the animal, and is the visible evidence of the kind of neuronal (brain cell) processing necessary for that behavior. But, EEG had been considered as a virtually infinite-dimensional random signal.

However, nonlinear dynamics light on dynamical aspects of the human EEG. The methods of nonlinear dynamics provide excellent tools for the study of multi-variable, complex system such as EEG.

In this study, 20 persons separated in 2 groups were examined with EEG, one group stimulated on specific area of the sole of the foot with footbed inside the shoes.

This experiment resulted in at the group stimulated on specific area of the sole of the foot correlation dimension of P4 and O1 channels increased significantly. Therefore, we observed that stimulation on specific area of the body had a constant effects on the specific channels.

I. 緒論

영국의 Caton에 의해 최초로 동물의 뇌에서 전기활동을 기록한 이후, 뇌파에 대한 비약적인 연구 결과로 현재는 의학분야에서 간질, 혼수

및 뇌종양, 뇌경색 등의 신경질환의 진단과 치료에 있어 유용하게 이용되고 있다¹⁾.

뇌에는 세포체, 수상돌기, 축삭으로 이루어진 140여개의 신경세포(neuron)가 존재하며 이 신경세포의 결합형태나 활동에 의해 여러 가지 전기적 변화가 생긴다. 신경세포의 전기현상에는 안정막 전위, 활동 전위, 시냅스 후전위 등이 있

* 大田大學校 韓醫科大學 再活醫學科學教室

고 뇌파는 이들 수많은 신경세포의 활동을 의부에서 측정하고 기록한 것이다²⁾.

단순히 '뇌파'라고 할 때는 대뇌 피질의 수많은 뉴런군(신경망)의 총괄적인 활동을 대상으로 두피에 장착한 전극을 사용해서 측정하는 두피상 뇌파(scalp EEG)를 가리킨다. 대뇌 피질에는 신경세포가 6층을 이루고 있고, 이들 신경세포(neuron)는 복잡한 시냅스 결합을 하고 있다. 이들 중 시냅스 후 전위가 피질뇌파의 본체를 이루고 있다고 보여진다²⁻⁴⁾.

그러나 인간의 두뇌가 고차원적인 동력학계를 가진 구조라는 점⁵⁾을 인식할 때 뇌파에 대한 기존의 해석방법 즉, 정상 뇌파와 다른 이상 뇌파를 발견함으로써 질병을 진단하는 방법으로는 두뇌 활동의 기능적 측면을 이해하지 못하며 뇌파의 이용을 단순한 몇가지 뇌질환의 판정에 이용하는 수준으로 국한하고 만다.

이러한 단점을 극복하면서 대두되는 것이 카오스 이론이며 이 이론에 의하면 카오스란 '어떤 계가 확고한 규칙(결정론적 법칙)에 따라 변화하고 있음에도 불구하고, 매우 복잡하고 불규칙하면서 동시에 불안정한 행동을 보여서 먼 미래의 상태를 전혀 예측할 수 없는 현상이다⁶⁾.'는 것이다. 이런 카오스이론으로 복잡하고 고차원적인 현상이 일어나는 두뇌현상을 이해하는 방향으로 현대물리학에서의 연구가 진행되고 있으며 이의 해석적 방법으로 제기되고 있는 것이 비선형 이론이고 그 대표적인 것이 상관차원⁵⁾인 것이다.

이에 한의학에서의 경락이론에 입각하여 발바닥의 특정부위 즉 湧泉穴부위를 깔창을 이용하여 자극함으로써 나타나는 뇌파의 변화현상을 관찰하고자 하였다.

湧泉穴의 腎經의 井穴로서 濟腎熱, 降陰火의 작용을 가지고 있어 失神, 心煩, 足心熱 등에 효과가 있는 것⁷⁾으로 알려지고 있다. 또한 足鍼療法은 14正經의 腧穴 이외의 足部의 일정 穴位를 자극함으로써 운동기, 신경정신, 소화기 질환 등을 치료하는 작용이 있다⁸⁾. 대체요법에서의 발반사 요법⁹⁾ 또한 足鍼理論과 유사한 개념을 가

지고 있다. 이런 韓醫學的 觀點에서 보면 湧泉穴을 주요 자극점으로 하는 부분깔창을 이용한 발바닥의 특정부위 자극은 뇌파의 변화에 긍정적 효과를 발휘될 것으로 기대되며 이의 실험을 통해 얻어진 뇌파의 변화를 카오스 이론에 기초한 비선형 동력계의 상관차원으로서 분석함으로써 針灸治療에 대한 인체의 영향과 두뇌에 대한 효과를 증명하고자 본 실험을 시행하였고 이의 결과 약간의 지견을 얻었기에 이에 보고하는 바이다.

II. 實驗方法

1. 실험대상

20명의 피험자를 남녀 5명으로 10명씩 두 그룹으로 나누어 한 그룹은 발바닥의 앞 쪽 부분만 자극을 주는 부분 깔창을 사용하고, 다른 한 그룹은 발바닥 전체를 자극하는 전체 받침을 사용하였다.

2. 실험 방법

우선 사전 뇌파를 측정하고, 한 시간 동안 그룹에 따라 부분 깔창과 완전 깔창을 신고 활동하게 한 후, 사후 뇌파를 측정하였다. 뇌파 측정은 국제 10-20 뇌파 측정 체계에 따른 F7, T3, Fp1, F3, C3, P3, O1, F8, T4, T5, T6, Fp2, F4, C4, P4, O2(영문자는 각각 Frontal, Central, Parietal, Temporal, Occipital을 의미하며 Fp는 Frontopolar를 의미)의 16개 전극을 사용하였으며, 오른쪽 귓볼 A2를 기준 전극으로 하고 O2, Cz, Pz, T4를 EEG측정 부위(활성전극)로 각각 선정한 A1/A2의 기준 전위를 사용하였다. 눈으로 관찰하여 비교적 인위파나 잡음이 적고 안정된 상태에서의 뇌파 아날로그 신호를 출력단자에 연결된 개인을 컴퓨터에 설치한 아날로그-디지털 전환기를 통하여 500Hz의 주파수로 저장하였다. 각 뇌파는 1분간 저장하고, 실제 분석에서는 20초 동안인 10,000 point를 사용하였다.

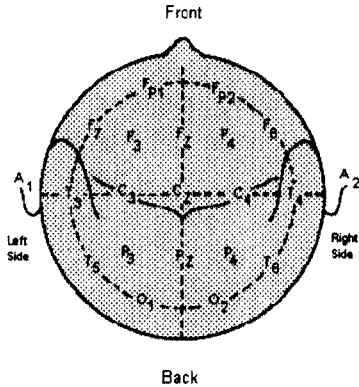


그림 1 국제 10-20 측정체계에 따른 전극 부착

III. 實驗結果

표 1 완전갈창

	Before		After		t	p
F7	9.86745	1.2854	9.71022	1.74178	0.25975	0.8009
F8	10.34449	0.50943	10.35073	0.61506	-0.03513	0.97275
T3	10.99803	0.1915	10.35151	0.51197	1.39547	0.19635
T4	10.30817	0.60137	10.35431	0.62622	-0.28961	0.77868
T5	10.28587	0.6045	10.26882	0.72715	0.05057	0.96077
T6	10.44837	0.36954	10.44692	0.73314	0.00882	0.99315
Fp1	10.41437	0.71309	10.47618	0.61563	-0.18737	0.85553
Fp2	10.26284	0.76316	10.54881	0.53606	-1.1636	0.27451
F3	10.35375	0.47928	10.25433	0.44317	0.6664	0.52187
F4	9.50272	1.39309	9.3493	1.11244	0.42187	0.68302
C3	10.35853	0.59442	10.42041	0.59155	-0.27609	0.78871
C4	10.10403	0.93291	10.07975	0.55692	0.06993	0.94578
P3	10.50822	0.40449	10.37317	0.41878	0.77764	0.45674
P4	9.66756	1.00709	9.87319	1.10979	-0.55003	0.59568
O1	10.70162	0.42429	10.53852	0.35855	0.90731	0.38789
O2	10.42589	0.55171	10.10205	0.58602	1.47256	0.17496

카오스 이론에서 비선형 역학계를 정량화하는 값인 상관 차원 (Correlation Dimension)을 구한 결과 전체 갈창의 경우에는 통계적으로 유의한 채널이 나오지 않았다.

표 2 부분갈창

	Before		After		t	p
F7	9.81461	0.96164	9.92816	1.10994	-0.35475	0.73095
F8	10.17935	0.80372	10.47422	0.35651	-1.10315	0.29858
T3	10.2197	0.42245	10.40687	0.61803	-1.19825	0.26142
T4	10.39928	0.57469	10.59281	0.26946	-0.96959	0.35758
T5	9.57218	1.13681	10.19017	1.28191	-1.42368	0.18827
T6	10.37029	0.73671	10.644	0.42947	-1.24896	0.24319
Fp1	10.19418	0.6191	10.19031	1.38469	0.00793	0.99385
Fp2	10.2275	1.02232	10.29529	0.62365	-0.33824	0.74294
F3	10.53653	0.50682	10.30468	0.79374	1.594	0.1454
F4	9.34895	0.76879	9.84422	0.79763	-2.01272	0.075
C3	10.45862	0.50431	10.50152	0.40206	-0.20111	0.84509
C4	10.36972	0.51556	10.28718	0.51568	0.35258	0.73252
P3	10.6729	0.3336	10.55674	0.43016	0.5752	0.57925
P4	8.73493	1.07502	9.84618	0.6787	-3.43513	0.00745*
O1	10.24405	0.66645	10.57735	0.49772	-2.76691	0.02186*
O2	10.21825	0.64751	10.21766	0.54742	0.00307	0.99762

카오스 이론에서 비선형 역학계를 정량화하는 값인 상관 차원 (Correlation Dimension)을 구한 결과 하였다. 부분 갈창에 대해서는 통계상으로 유의한 변화가 나왔는데, P4와 O1 채널에서 유의하게 상관 차원이 증가하는 경향을 보여 주었다.

IV. 考察

1. 뇌의 신경생리

1) 대뇌 피질의 세포와 기능적 구조단위¹⁰⁾

대뇌에는 약 1010-12개의 neuron(신경원 세포)과 이의 다섯배 정도의 glial cell(교세포)가 존재한다. 하나의 뉴런은 약 1000개 정도의 시냅스를 형성하고 있어 시냅스는 수는 수 조개에 이른다. 뉴런은 대뇌 피질에 위치하며, 피질은 주름이 심하게 잡혀있기 때문에 펼친 표면적은 약 4000cm²에 이르며, 이는 신문지를 활짝 편 넓이와 같다고 한다. 뉴런은 피질안에서 100-300 개 정도가 수직으로 배열을 이루어 컬럼을 형성하며, 서로간에 수직으로 수많은 연결을 하고 있어 빠른 정보를 교환하는 특징적인 기능적인 단위를 형성한다 (functional columnar unit, Lorente et al). 즉, 대뇌

피질 제 2층과 4층에서 주로 정보를 받아들이고, 5층의 피라미드 세포에서 신호를 내보내게 된다. 이런 컬럼사이 사이에 교세포들이 산재해 있으면서 뉴런의 이온 환경을 형성하게 된다.

2) 안정막 전위와 활동전위^{2,10)}

신경세포를 미세전극으로 찢러 세포막 안의 전압을 측정해 보면 $-60 \sim 70\text{mV}$ 정도로 측정이 된다. 이를 안정막전위(resting membrane potential; RMP)라고 한다. 이 전위는 세포막 안과 밖의 전해질 농도차에 의해 형성되는데, 주로 세포 안에 더 많이 존재하는 K^+ 이온이 확산(diffusion)에 의해 세포 밖으로 빠져나가는 것에 기인한다. 그런데, 세포안의 K^+ 이온은 Na-K pump 에 의해 세포 밖에서 2개의 K^+ 이온이 들어오고, 3개의 Na^+ 이온이 안에서 빠져나가기 때문에 형성이 되는 것이다.

시냅스에서의 전위가 충분히 크게 되면, 시냅스 후막은 역치를 넘어서 활동전위(action potential; AP)을 일으키게 된다. 활동전위는 세포 밖의 Na^+ 이온이 신속하게 세포 내로 이동하면서 세포 내 전위가 급격히 상승하게 되어, 세포 밖이 오히려 음전하를 띄게 된다. 이런 음전하는 주변으로 퍼지면서 활동전위가 전달되게 된다. 만일 이 활동전위가 신경섬유를 따라 이동하다가 흥분성 시냅스를 만나면, 그 다음 뉴런에서 흥분성 시냅스 후전위(excitatory postsynaptic potential; EPSP)가 형성되고, 억제성 시냅스에 도달하면, 억제성 시냅스 후전위 (inhibitory postsynaptic potential; IPSP)가 형성되게 된다.

2. 뇌파

1) 뇌파의 개요¹⁻⁴⁾

정신현상이나 운동, 감각 등을 관장하는 최고 중추인 인간의 뇌는 좌우의 대뇌반구, 소뇌, 뇌간으로 구성되며 두 개의 대뇌반구는 교량으로 연결되어 있다. 뇌에는 세포체, 수상돌기, 축삭으로 이루어진 140여 개의 신경세포(neuron)가 존재한다. 이 신경세포의 결합형태나 활동에 의해 여러 가지 전기적 변화가 생긴다. 신경세포의 전기현상에는 안정막 전위, 활동 전위, 시냅스 후전위 등이 있고

뇌파는 이들 수많은 신경세포의 활동을 외부에서 측정하고 기록한 것이다.

단순히 '뇌파'라고 할 때는 대뇌 피질의 수많은 뉴런군(신경망)의 총괄적인 활동을 대상으로 두피에 장착한 전극을 사용해서 측정하는 두피상 뇌파(scalp EEG)를 가리킨다. 대뇌 피질에는 신경세포가 6층을 이루고 있고, 이들 신경세포(neuron)는 복잡한 시냅스 결합을 하고 있다. 이들 중 시냅스 후 전위가 피질뇌파의 본체를 이루고 있다고 보여진다.

최초로 동물의 뇌에서 전기활동을 기록한 사람은 영국의 Caton이다. 그는 1875년에 토끼나 원숭이의 뇌표면에서 직접 전류를 기록했다. 그 후 1929년 Hans Berger(1929)가 최초로 인간의 뇌에서 전기 현상을 기록하여 α (alpha)파, β (beta)파를 이름지었다. 그 후 Adrian(1933)등에 의해 뇌파의 연구는 전세계적으로 급속히 행해지게 되었다.

뇌의 전기 활동은 두개골, 근육, 피부 등을 통과하여 오기 때문에 약 $1 \sim 60\text{Hz}$ 의 주파수, $5 \sim 300\mu\text{V}$ 의 작고 미소한 전위 변동을 나타내기 때문에 이를 측정, 기록할 수 있기 위해서는 증폭기가 필요하게 된다.

뇌파는 연구자에 따라 다르게 분류하기도 하는데 일반적으로 주파수에 따라서 δ 파($0.5 \sim 3\text{Hz}$), θ 파($4 \sim 7\text{Hz}$), α 파($8 \sim 12\text{Hz}$), β 파(13Hz 이상)로 분류하고 있다. 그 특징적 뇌파의 리듬이 <표1>에 나타나있다.

뇌파 검사는 대뇌 피질영역을 대상으로 뇌신경세포의 활동에 따라 생기는 전기적 변화를 외부에서 측정하고 기록하는 것이다. 이러한 뇌파에 관한 연구의 목적은 크게 세가지로 구분될 수 있다 11).

첫째, 임상적 이용을 위한 경우로 간질, 뇌종양 등의 중요한 임상 진단 자료를 제공한다. 둘째로 전극을 통해 인간 뇌의 활동을 기록하는 것은 곧 인간 뇌의 기능을 알아볼 수 있는 하나의 방법이 될 수 있다 12). 셋째로 순수한 연구를 위한 경우로써 그 대부분이 심리적 상태와 생리적 반응과의 관계를 고찰하는 것이다.

<표 1> 뇌파의 분류 대역과 특징¹⁾

구분 종류	주파수	특징
δ 파 (delta wave)	0.5~3Hz	젖먹이, 유아의 각성시 및 소아, 성인의 수면시 뇌의 여러 부위에서 나타나며, 병적으로는 뇌종양, 뇌염, 의식 장애 등에서 볼 수 있다. θ 파와 함께 서파라 한다.
θ 파 (theta wave)	4~7Hz	아동에게 혼회 나타나며, 성인은 경계심이 감소되었을 때 나타난다. 전두엽, 측두엽에서 두드러지게 나타나며, 진폭은 높은 것도, 낮은 것도 있으며, 높은 것은 수백 μ V에 미치는 것도 있다. 이상소견으로 취급하는 경우가 많다.
α 파 (alpha wave)	8~13Hz	정상 성인의 각성, 안정, 폐안 상태에서 잘 보여지며 30~50 μ V의 진폭을 보인다. 후두엽, 두정엽에서 진폭이 큰 활동성파가 우세하다. 10Hz전후가 많다. 안정파라고도 한다.
β 파 (beta wave)	14Hz 이상	정상인의 각성시 진폭이 20 μ V이하로, 전두엽, 중심엽, 측두엽에 비교적 많이 나타난다. 불안, 긴장, 암산 등의 정신 활동 및 개안, 자극 통증등의 흥분에 의해 α 파가 억제되어 (α -blocking) 진폭이 작은 속파가 증가한다. 일면시 저진폭의 속파가 폭발적으로 나타난다. 활동파라고도 한다.

안정상태의 성인의 뇌파는 노년기를 제외하고는 개인차는 크지만 기본적으로 α 활동이 주가 되고 이것에 β 활동이 혼합되는 양상을 보인다. α 파는 보통 9~11Hz의 범위에 있는 경우가 많고 진폭은 20~60 μ V사이에 있는 경우가 많다. α 파 활동은 보통 후두엽, 두정엽에서 많이 나타나는 후두우세(occipita dominance)를 보이며, α 활동의 진폭은 수초를 주기로 커지고 하고 작아지고도 하는 정중점감(waxing and waning)을 보인다. 건강한 성인의 60~70Hz는 α 파의 진폭에 좌우차를 나타내는 경우가 많으나 그 차는 20%미만이다¹⁻⁴⁾.

그러나 소아의 경우는 뇌파상으로도 발달과정에 있기 때문에 연령에 따른 뇌파의 변화가 심하고, 발달의 개인차도 심하다. 소아와 성인의 경계도 불분명하지만 15세를 넘으면 거의 성인과 유사한 뇌파 모양이 완성된다¹³⁾.

연령별 뇌파의 특성을 살펴보면 <표 2>와 같다.

<표 2> 연령별 뇌파의 특징¹⁻³⁾

단 계	특 징
신생아기 (0~4주)	조직적으로 구성된 리듬이 보이지 않는다. 30 μ V 이하의 광범성 불규칙 서파가 주된 파형으로 이것에 θ, α, β 파가 가끔 혼입한다.
영아기 (4주~1세)	활동성과 진폭이 서서히 증대하여 명료한 파가 형성되는 시기로 6개월경에는 후두부 고진폭 서파가 보인다. 주로 30~100 μ V의 두정우세의 4~7 Hz파가 주된 파형으로 θ, δ 파가 혼합되어 있다.
유아기 (1~5세)	가장 고진폭의 뇌파가 전두, 두정부위에서 나타나는 시기로 δ 파, θ 파의 주파수가 떨어지며 α 파의 출현량이 증가하여 특히 후두부에서 θ 파와 느린 α 파를 볼 수 있다.
학동기 (6~15세)	δ 파, θ 파가 감소하고 α 파도 빠르게 주파수가 증가한다. 진폭은 유아보다는 작아지나 성인보다는 크다. 전두중심, 두정부에 아직 서파가 남아있고 후두부에서는 4~5Hz 정도의 θ 파가 비교적 높은 연령까지 나타난다. 10-15세경까지는 β 파도 증가하고 15-20세경에 걸쳐서는 거의 성인에 가까운 뇌파상이 완성된다.
성인 (20세이상)	20~60 μ V, 9~11Hz의 α 파 활동이 주가 되고 이것에 β 파가 혼합되며 후두우세를 보인다. α 활동은 점중점감(waxing and waning)을 보인다.

2) 뇌파 연구의 역사¹⁴⁻¹⁵⁾

1600년경 William Gilbert는 여러 물체에서의 전기적 성질을 연구하였으며, 1672년 Von Guericke는 마찰에 의해서 정전기가 발생한다는 것을 발견하였다. 1791년 Galvani는 개구리다리 실험에서 생체에 전기현상이 있다는 것을 발견하였다. 곧이어 Volta(1793)는 Gavani의 실험에 영향을 받아 최초로 축전기를 발명하였으나, 동물의 전기현상을 인정하지 않았다. 18세기 중엽에 William Thomson 에 의해 galvanometer가 도입이 되었으며, Fritsch 와 Hitzig는 대뇌피질을 전기자극하여 운동이 유발되는 것을 시도하였다. 영국 Liverpool에서 개업하였던 Richard Caton (1842-1926)는, 토끼, 고양이, 원숭이 뇌의 노출된 표면에서 galvanometer를 이용하여 전위를 기록함으로써,

최초로 동물의 뇌에서 지금의 뇌파를 측정하였던 것이다. 이때의 galvanometer는 종이에 출력되는 것이 아니고, galvanometer에 거울을 달고 거기에 빛을 쬐어 전위따라 거울이 움직이면 그 반사된 빛을 벽에 비추어서 볼 수 있는 장치였다. 그는 이 실험으로 영국의학협회 (British Medical Association) 에서 연구비를 지원 받았으며, 이 결과를 1875년 British medical journal에 기고하였다. 그는 대뇌의 회백질이 심부에 비해서 양전하를 띠는 것에 알았으며, 이런 대뇌의 전기 흐름은 뇌가 어떤 기능을 수행하게 되면 음전하로 된다는 것을 발견하였는데, 이는 오늘날의 유발전위의 원리와 같은 것이다. Danilevsky(1852-1939)는 Caton의 연구를 발전시켜 2년 뒤에 "Investigations in the physiology of the brain" 이라는 유명한 논문을 발표한다. 20세기초 Einthoven (1903) 은 작은 전위에도 민감한 string galvanometer를 만들어 전위 기록에 혁신을 일으켰다. Pravdich-Neminsky (1912) 는 이 string galvanometer로 동물의 뇌 전위를 인화지에 기록하였으며, "electrocerebrogram" 이라고 명명하였다.

Hans Berger (1873-1941)는 독일의 신경정신과 의사로서 신경과 영역이나 정신과 영역에서 학자로서나 임상가로서 별로 두각을 나타내지는 않은 사람이었다. 그는 사람과 사람사이의 생각이나 감정을 전달할 수 있는 정신에너지가 존재한다고 확신을 하고 있었으며, 이 정신에너지를 움직이는 힘의 본질을 탐구하기 위하여 뇌파를 이용하였다. 처음에는 Einthoven type의 string galvanometer를 사용하였으나, 1926년 Siemens社의 성능이 우수한 이중코일 방식의 galvanometer를 이용하여 뇌파를 기록하였다. 이 장비와 nonpolarizable pad electrodes를 이용하여 사람에게서 최초로 뇌파를 기록하여 "elektrenkephalogram"이라고 명명하였으며 1929년 학회에 보고하였다. 이것은 인화용지에 기록되었으며, 뇌파, 심전도, 시간 표시 마크의 3채널로 구성되었다. 전극은 전두부와 후두부에 한 개씩 붙여 연결하여 bipolar로 측정하였으며, alpha rhythm과 alpha blocking resonance를 기록하였다. 그러나, Cambridge의 Adrian (1934)이

이 실험을 재확인하고 나서야 비로소 뇌파로서 인정을 받게 되었다. Toennies는 처음으로 뇌전위를 ink-writing biological amplifier가 도입되었으며, 현재까지 뇌파 증폭기의 기본 원리로 사용되는 differential amplifier를 개발하였다 (1932). Berlin의 뇌연구소의 Kornmuller는 이 장비를 이용하여 여러 전극을 이용하여 뇌의 국소적인 차이를 연구하였다. Fischer와 Lowenbach는 동물에 독성물질로 경련을 유발시킨후 처음으로 간질파를 기록한다.

1935년을 기점으로 뇌파연구의 주도권은 유럽에서 북미로 이동하였다. Havard university의 Gibbs 부부 (Frederic Gibbs and Erna Gibbs, 그녀는 원래 Frederic의 뇌파기사였다)와 Davis, Lennox (1935)는 12명의 소발작 아이들의 연구에서 특징적인 3 Hz spike-wave complex가 나타남을 보고하여, 최초로 사람에서 간질파를 기록하였다. 이어서 대발작이나 정신운동성 발작에서도 발작과 관련된 파를 기록하였다. 이로써 간질의 진단에 있어서 뇌파는 절대적인 지위를 차지하게 되었으며, 많은 학자들이 간질 연구에서 뇌파를 필수적으로 이용하게되었다. 이때, Frederic Gibbs는 MIT의 Albert Grass와 계약을 맺고 Grass Model I 이라는 상용화된 뇌파기계를 최초로 만들어 낸다. 이 뇌파기는 3채널로 구성되어 있으며, 잉크로 종이(roll paper)에 기록할 수 있게 되었다. Gibbs는 정신운동성 발작 환자에서 발작이 없는 발작간사이(interictal period)에서 측두엽부위에서 극파나 예파가 나오는 것을 발견했다(1948). 또한, 이런 측두엽 전위부에서의 발작과는 수면시에만 나타나는 경우도 있음을 알아내어, 각성시만의 뇌파검사는 잘못 판단될 수 있음을 경고하였다. 이후 뇌파검사는 각성시 뿐만 아니라, 발작과의 검출률을 높이기 위해서는 수면시까지 검사를 하게 되었다. Forster and Altenburger (1935)는 처음으로 뇌수술중에 대뇌피질에 전극을 대고 뇌파를 기록 (intraoperative electrocorticography)을 시도하였으나, 이것이 나중에 간질수술에 이용되리라는 생각을 하지 못했다. Walter와 그의 동료들은 10-20 Hz로 깜박이는 빛 자극에 발작파가 나타나는 photoparoxysmal response를 발견하였다. 프랑스

의 Gastaut는 빛 자극과 함께 정맥내로 pentylenetetrazol을 주사함으로써 발작이 더 잘 유발된다는 것을 알아냈고, 이것을 이용하여 발작의 역치값을 결정하는데 이용하였다. 1940년 후반에 Herbert H. Jasper는 Montreal의 Neurological Institute of McGill University로 자리를 옮기면서, 신경과학에 조예가 깊은 신경외과의사인 Wilder Penfield를 만나게 된다. 이들은 뇌수술중 대뇌피질의 전기자극을 통해서 뇌기능을 지도화(functional brain mapping)하였으며, 측두엽간질환자에서 전측두엽절제술을 처음으로 시도하여 간질수술의 새 장을 연다. 이들은 1954년 이러한 연구의 결과를 집대성한 유명한 저서 'epilepsy and the functional anatomy of the human brain (1954)'을 저술한다. Hans Berger는 물리학자인 Dietsch의 도움을 받아 이미 1932년에 뇌파를 Fourier analysis를 시도하였다. 이 분야의 연구는 Grass and Gibbs, Knott and Gibbs등에 의해서 계속 연구되었었다. 1950년대 초에는 초창기의 자동주파수 분석기가 등장하기도 하였다. 그러나 이런 연구들은 당시의 기계로서는 커다란 성과를 거둘수는 없었다. 1960-70년대에 들어서면서 컴퓨터가 도입되면서 많은 연구자들이 활발히 연구하기 시작하였다. Cooley and Tukey (1965)는 fast Fourier transforms을 도입하여, power spectral analysis의 기초가 되었다. 1980년대 들어서면서 컴퓨터의 급속히 발전하면서, digital EEG가 점차 두각을 나타내기 시작하였으며, dipole source modeling 이 소개되었다. 그리고, topographic mapping이 임상적으로 대중화되어 사용되기 시작하였다. 1990년대는 neuroimaging technique의 눈부신 발전에 힘입어 뇌파와 각종 영상기술을 합치하는 기술, 중환자실이나 수술중 연속적인 감시장치 등에 다양하게 이용되고 있다.

3. 카오스이론^{5-6,16)}

자연현상에 내재된 조화로운 운행원리를 찾는 학문인 물리학은 역사 이래로 인간세계에 많은 영향을 주었으며 잘 알려진 뉴턴(NEWTON)의 역학 원리는 실제 눈에 보이는 대상의 운동상태를 시간의 흐름에 따라 기술하여 인과율을 따르는 결정론

적 세계관의 형성에 기여하였다. 19세기 말에 완성된 맥스웰(MAXWELL)의 전자기학은 오늘날의 전자문명의 초석이 되었다. 특히, 20세기 초에 창시되어 반세기 에 걸쳐 완성된 양자역학은 현실 세계에서는 인지하기 어려운 원자, 분자차원의 미시세계를 이해하고 응용하는 확률론적 인식체계를 구축하였다. 위의 기본원리들에서 파생된 2차원리들은 자연계의 모든 물리적상(PHYSICAL PHASE)들을 설명할 수 있다는 적극적인 태도를 과학자들이 갖게 하였다. 그 결과 모든 자연현상들을 설명할 수 있는 단일 원리를 찾기 위해 여러 방법론으로 시행 착오를 현재까지 거듭하고있다. 하지만 새로운 통합원리를 발견하지 못했으며, 새로운 시도가 있을 때마다 많은 문제점들이 발생하였다. 현대물리학은 위의 이질적인 두 체계를 바탕으로 자연계의 모든 물리적 상들을 이해하고자 많은 시도를 하였고, 두 체계의 유기적 연결을 지양하고 그 동안 비과학적이며, 해결할 수 없는 병리학적 이론체제로 무시된 비선형 혼돈 동역학을 꾸준히 발전시켜온 물리학의 주류에서는 소외된 일단의 과학자들이 있었다. 그들은 뉴턴의 역학체계가 자연을 단순화시켜 선형방정식으로 다루는 것에 불만을 가지고 실제 자연현상은 비선형적인 접근으로 이해할 수 있다고 생각하였다. 영향이 미미할 것이라고 무시했던 것들이 실제로는 큰 효과를 내어 단순화된 물리적 상들을 완전히 바꿔버린 것이다. 조그만한 효과가 어떤 조건이 되면 되먹여짐 (FEED BACK)에 따라 예측 불가능한 혼돈(CHAOS)상태가 되는 것이다. 이와 같이 단순화된 질서가 파괴되어 혼돈상태로 전이하는 과정을 이해하는 새로운 방법론이 20세기 후반기인 현재 급속히 발전하고 있다. 과학자들은 그 동안 임의로 단순화시킨 질서를 찾고 그 속에서 아름다움과 만족감을 느꼈지만 이제는 복잡한 혼돈속에서 새로운 질서를 찾고 있다. 혼돈상태를 기술하는 방정식을 세울 수는 있지만 현재의 수학적 체계로는 완벽한 해를 구할 수가 없다. 그러나 20세기 중반부터 컴퓨터의 도움으로 예전에는 소수점이하 8자리까지의 정확도로 단순화된 구조를 유지하며 물리적 상의 안정성을 설명하였지만, 컴퓨터의 사용

으로 계산이 불가능하다고 여겨졌던 정확도(예를 들면, 소수점이하 16자리)로 조그만한 효과요인까지 고려해 계산하면 비선형적인 되먹임에 의해 급격한 요동(fluctuation)이 발생해 혼돈상태로 전이하는 과정을 인지할 수 있다. 그 전이과정을 분석한 결과 혼돈상태는 예측 불가능하고 이해할 수 없는 대상이 아니라 그 속에 전에는 몰랐던 새로운 규칙성이 내재되어 있다는 것을 발견하였다. 연구를 거듭한 결과 자연계의 실체를 나타내는 비선형 혼돈상태들 간에는 서로 연관된 새로운 질서가 있음을 알게 되었다.

4. 비선형 동력계와 상관차원

비선형 동역학(nonlinear dynamics)과 카오스(chaos)는 최근 빠른 성장을 하고 있는 젊은 학문 분야 중 하나로서 복잡성의 과학(science of complexity)의 큰 축을 이루고 있다. 비선형 동역학과 카오스는 자연의 복잡성(complexity) 속에 숨어 있는 보편적 질서 구조와 생성원리를 이해하고자 한다. 특히 비선형 동역학은 열린(open)계, 흩어지기(dissipative)계, 강한 비평형(far-from equilibrium)계와 같이 복잡성과 관련된 고차원 비선형 동역학계를 다루는 강력한 이론 및 도구를 제공하고 있다. 비선형 동역학 및 카오스는 학제간 분야로서 물리 및 공학계, 생의학계, 경제/금융계 등에 대한 다양한 응용이 활발하게 연구되고 있다¹⁷⁾.

비선형 동역학의 대상은 근본적으로 비선형 계이다. 비선형성은 다양한 복잡성의 발현의 중요 요소로서, 문턱(threshold), 쌍안정성(bistability), 겪음현상(hysteresis), 공명(resonance), 카오스 등의 다양한 현상을 낳는다¹⁸⁾.

비선형 시계열분석은 비선형계의 역문제로서 관측된 데이터의 시계열만 주어졌을 때, 비선형 동역학의 방법론을 응용하여 실제적인 동역학과정을 결정하는 것이다. 뇌파, 금융시계열과 같은 경우 계의 방정식을 모르는 가운데 계의 상태의 시간적 변화를 시계열형태로 얻게 된다. 이 경우 계의 짧은 과거 기록에 의거하여 모델을 세우고, 미래를 예측, 조절하는 비선형 분석의 모든 과정에서 컴퓨터의 도움은 필수적이다. 이 연구에서 핵

심적인 질문은 카오스를 마구잡이(random) 데이터로부터 어떻게 구별하는가, 또 카오스의 구조를 어떻게 효율적으로 기술할 수 있는가 하는 것이다. 여기서 가장 중요한 과정은 지연시간을 이용하여 한 개의 시계열로부터 위상공간상의 카오스 끌개를 재구축하고 그 구조에 대한 정량적 정보를 계산해내는 것이라고 할 수 있다. 야릇한 끌개의 기하학적, 동역학적, 정보론적 특성분석을 위하여 상자세기차원(box counting dimension), 상관차원(correlation dimension), 리야푸노프지수(Lyapunov exponent), Kolmogorov-Sinai 엔트로피 등의 계산알고리즘의 구현과 이를 이용한 마구잡이(randomness)의 정량화가 활발히 연구되고 있다¹⁹⁻²⁰⁾.

5. 湧泉

1) 黃帝內經²¹⁾

取穴法：足心也

主治：熱病依臍急痛 胸脇痛 骨痛 陰痺 腹脹腰痛 大便難 肩背頸項痛.

2) 鍼灸甲乙經²¹⁾

異名：地衝

取穴法：足心陷者中屈足卷指宛宛中

主治：丈夫癰疽陰跳痛引篡中不得溺怒欲殺人暴痛.....肩背頭痛時眩婦人無子.

3) 備急千金要方²¹⁾

異名：地衝

取穴法：足心陷者中屈足捲指宛宛中

主治：腰脊相引如解風入腹中少腹痛肩背頸項痛短氣善喘喉痺身熱脊脇相引忽忽善忘.

4) 鍼灸資生經²¹⁾

異名：地衝

取穴法：足心陷者中屈足捲指宛宛中

主治：心痛不嗜食婦人無子男子如蠱.....腰脊相引如解肩背頸項痛.

5) 鍼灸聚英²¹⁾

異名：地衝

取穴法：足心陷者中屈足捲指宛宛中跪取之

主治：屍厥面黑如灰色咳吐有血渴而.....足下熱男子如蠱女子如娠婦人無子轉胞不得尿.

6) 鍼灸大成²¹⁾

異名：地衝

取穴法：足心陷者中屈足捲指宛宛中白肉際跪取之

主治：屍厥面黑如炭色咳吐有血瀉而.....足下熱男子如蠱女子如娠婦人無子轉胞不得尿.

7) 湧泉의 異名은 地衝, 地冲, 蹶心, 地府, 跟心이라 불리우며 足五趾를 屈하여 나타나는 足趾前中央陷凹處에 取之하며 足 第2趾와 3趾間에 있다. 足少陰腎經의 井穴이며 回陽九針穴 중의 하나이고 腎經의 起始穴이며 自經瀉穴이다. 湧泉의 湧은 水와 勇이 합쳐진 글자로, 勇은 힘이 용솨음쳐서 原氣가 旺盛함을 뜻한다. 따라서 湧泉은 인간이 탄생하면서부터 갖고 있는 생명력 즉 原氣의 泉이 솟아나는 穴이라고 하여 命名한 것이다. 清腎熱, 降陰火, 寧神志, 勞厥逆하는 穴性을 갖고 있으며 失神, 狹心症, 胸出血, 頭眩, 中暑, 失音, 咽喉痛, 足心熱, 心煩, 咳嗽, 大便難 等の 主治를 갖는다⁷⁾.

6. 足鍼⁸⁾

足鍼은 韓醫學을 繼承한 토대 위에 발전된 것으로 특정부위에 刺鍼하여 각종 病症을 치료하는 새로운 療法이다. 이 방법은 모두 과거에 단순히 體穴을 응용하여 治病하던 범위를 초월하여 足部라는 부위에서 일정한 반응점과 자극점을 탐색한 것이다. 足鍼의 穴位는 足背部에 12穴, 足底部에 15穴, 足內側에 4穴, 足外側에 1穴로서 合計 32穴이 있다. 각종 질병에는 主治作用이 있는 穴位를 1-3雙을 選用한다. 한편, 본 실험에서 자극된 부위는 足鍼에서 10號穴과 11號穴과 유사하며 이는 腹痛, 急慢性胃腸炎, 月經痛 등의 主治作用이 있다.

7. 반사요법 (Reflexology)⁹⁾

반사 요법은 손과 발에 우리 몸의 각 부분에 해당하는 대표점이 있다는 데에서 출발한다. 이 점들을 자극하면 우리 몸의 각 부분이 영향을 받게 된다. 반사 요법은 유럽의 zone therapy에서 기원하는데 미국에는 이비인후과 의사인 William Fitzgerald에 의해서 소개되었다. 이 사람은 손과 발의 특정 부위에 압력을 가함으로써 마비가 오게

할 수도 있고, 신체의 일부 증상을 경감시킬 수도 있다는 것을 발견하였다. 물리 치료사(Physiotherapist)인 Eunice Ingham은 이를 바탕으로 하여 현재 반사 요법이라고 알려진 것의 토대를 닦았다. Ingham은 각 신체 기관에 상응하는 발의 점들을 지도로 작성하였으며 이 부위에 자극을 주는 기술을 개발하였다. 반사 요법자들은 에너지의 흐름을 방해하여 통증과 질병을 유발하는 부위에 압력을 정확하게 가한다. 반사점들에 자극을 가함으로써 내부 장기와 선이 영향을 받는다고 믿는다. 일부 반사 요법자들은 발에 위치한 7200개의 신경 말단을 찾아서 그 부분의 젖산을 분해하고 칼슘 결정을 분해하려고도 한다. 현재 의학적으로는 반사 요법이 증명되지 않았다고 하더라도 환자들의 치료에 중요한 보조 요법으로 사용될 수 있다고 생각하고 있다. 현재 반사 요법은 전세계적으로 25,000명의 전문가에 의해서 실시되고 있다. 반사 요법은 긴장을 풀고, 스트레스를 해소하고, 깊이 쉬게 하고, 신체의 혈액순환을 원활하게 하고, 우리 신체의 균형과 정상화를 위해서 신경계의 차단을 막는 목적으로 사용된다. 한편, 본 실험에서 사용된 족저 부위는 발반사 요법에서 신장, 비뇨생식기를 담당하는 부위와 유사하다.

V. 結論

본 연구에서는 카오스 이론에서 비선형 역학계를 정량화하는 값인 상관 차원(Correlation Dimension)을 구하였다. 그 결과, 부분 끌창에 대해서 통계적으로 유의한 변화가 나왔는데, P4와 O1 채널에서 유의하게 상관 차원이 증가하는 경향을 보여 주었다. 그러나, 전체 끌창의 경우에는 통계적으로 유의한 채널이 나오지 않았다. 이로써 신체의 특정 부분에 대한 자극이 뇌파 분석에 있어 특정 채널에 일정한 영향을 주고 있음을 관찰하였고 한의학 적 치료방법 특히, 침구자극이 인체에 미치는 영향에 대한 설명 가능성을 제시하고 있다고 사려된다. 이를 기반으로 한의학 적 경락이론과 본 연구에 있어 특정채널 즉 두뇌의 특정부위와의 상관성

을 연구한다면 경락 이론의 현대 물리학적 입증에 큰 뒷받침이 되리라 믿는다.

參 考 文 獻

1. 김은경 : 불안유발과 음악이 아동의 뇌파에 미치는 효과, 충남대학교교육대학원, 1995.
2. 해리슨 번역 편찬위원회 : HARRISON'S 내과학, 서울, 도서출판 정담, 1997, pp2392-2395.
3. 황의완 : 동의정신의학, 부산, 현대의학서적사, 1987, pp202-213.
4. 민성길 : 최신정신의학, 서울, 삼신문화사, 1999, pp170-171.
5. 정재성 : 비선형 분석법을 통한 알츠하이머 환자 뇌파의 카오스적 성질의 이해, 한국과학기술원, 1995.
6. http://www.kjssa.co.kr/hyeop/K_Chaos.htm
7. 崔容泰 外 : 鍼灸學 上, 서울, 集文堂, 1988, pp536-537.
8. 배병철 : 최신침구학, 서울, 정보사, 1979, pp485-487.
9. <http://www.nmedi.com>
10. <http://jnc.pe.kr/eeg1.htm>
11. Webster, W. G : Principles of reseach methodology in physiological Psychology, Harper & Row publishers, 1975, pp224-227.
12. Rosenzweig, M, R. & Leiman, A. L : physiological Psychology, 1982.
13. 한선호 외 : 임상뇌파, 서울, 일조각, 1991.
14. Swartz BE, Goldensohn ES : Timeline of the history of EEG and associated fields. Electroencephalogra Clin Neurophysiol, 1998, pp173-176.
15. Niedermeyer E. : Historical aspects of EEG. In Niedermeyer E and Lopes Da Silva F. Electroencephalography. Basic principles, clinical applications and related fields. Baltimore: Williams & Wilkins, 1999, pp1-14.
16. <http://chaos.inje.ac.kr/Lec/chaos/96lec/chaos01a.html>
17. Special Sections on "Complex Systems", Science 284, 1999, p79.
18. H. G. Schuster : Deterministic Chaos, 3rd ed. VCH, Weinheim, 1995
19. H. D. I. Abarbanel : Analysis of Observed Chaotic Data , Springer-Verlag, 1995.
20. H. D. I. Abarbanel, R. Brown, J. J. Sidorowich and L. Sh. T. Tsimring, Rev. Mod. Phys. 65, 1993, p1331.
21. 蔡禹錫 : 經穴集成, 서울, 大星文化社, 1995, p237.