

뉴로피드백은 뇌파를 이용한 바이오피드백 훈련이다. 환자는 컴퓨터 스크린을 통해 자신의 두뇌 활동 상태에 대한 정보를 얻고 이를 변화할 수 있다. 뉴로피드백의 치료 원리는 학습심리학의 조건화 원리에서 찾을 수 있으며, 많은 연구자와 임상가의 노력 끝에 오늘날의 뉴로피드백이 완성되었다.

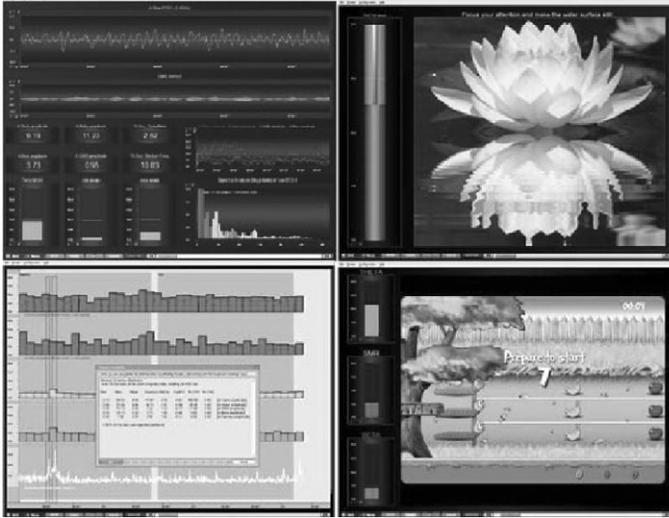
뉴로피드백은 두뇌의 기능을 변화하기 위한 시도 중 가장 안전하고 효과적인 기법으로 알려져 있어서 많은 주목을 받고 있다. 이 장에서는 뉴로피드백의 입문자를 위해 뉴로피드백의 이론적 기반과 발달과정에 대해 간단히 다루고자 한다. 뉴로피드백은 뇌파를 바이오피드백의 기법을 이용해 조절하는 것이다. 따라서 바이오피드백이 무엇인지를 먼저 살펴볼 필요가 있다.

## 바이오피드백이란?

살아 있는 인간의 몸에서는 다양한 생리학적 신호가 발생한다. 심장이 뛰고, 숨을 쉬고, 땀을 흘리는 등의 행동은 모두 우리의 심리 상태와 밀접한 관련이 있다. 우리는 당황스러운 상황에 놓일 때 심장박동이 증가하고 땀이 나는 것을 느낄 것이다. 이렇게 생리적 활동들은 심리 상태의 변화를 빠르고 민감하게 반영한다. 문제는 인간이 그 신호들을 충분히 인식하지 못한다는 점이다. 우리는 당황할 때 근육이 긴장된다는 것을 모호하게는 알 수 있지만, 긴장의 정도를 비교하기 어렵다. 따라서 긴장을 완화하고자 하는 자신의 시도가 성공적인지를 알기는 무척 어려운 것이다(물론 전혀 긴장을 느끼지 못할 정도로 완전한 통제가 가능하다면 알 수도 있을 것이다).

바이오피드백은 이러한 인간의 인식능력 한계를 보조하기 위해 고안되었다. 바이오피드백 기기들은 개인이 정상적인 상황에서는 인식하기 어려운 심리생리적 현상을 측정할 뿐 아니라, 이해하기 쉬운 정보로 변환하여 컴퓨터 스크린이나 다른 도구들을 통해 보여 준다. 개인은 컴퓨터를 통해 제시되는 신호를 직접 관찰하면서 자신의 어떠한 노력이 신호를 변화할 수 있는지를 체험하고 직접 조절하여 최적의 방법을 찾는다(Fuller, 1984).

바이오피드백이란 용어에서 ‘바이오(bio)’는 바이오피드백이 처리하는 모든 정보가 생명체(인간)의 내부에서 발생하는 신호라는 것을 의미하며, ‘피드백(feedback)’은 다시 돌아온다는 의미이다(Thompson & Thompson, 2003). 다시 말하면, 인간의 생명체에서 발생한 신호가 정밀 측정기기에 의해 측정되어 컴퓨터가 처리할 수 있는 신호의 형태로 컴퓨터에 입력되며, 컴퓨터는 이를 다시 인간이 이해하기 쉬운 방식으로 바꾼다.



**그림 1.1** 바이오피드백 시스템이 제공하는 다양한 형태의 시각적 정보(NEXUS 시스템 제공)  
출처 : <http://www.growing.com>

처음 신체에서 발생한 신호는 심장박동수의 미묘한 변화나 피부의 표면 온도 등 인간이 정확하게 파악하기 어려운 신호들이지만, 이것이 컴퓨터를 통해 시각적 형태로 바뀌면서 누구나 쉽게 차이를 이해할 수 있는 정보로 변환되는 것이다(그림 1.1). 환자는 어떤 시도가 자신의 생리적 활동을 변화시키는지 확인하면서 신체 활동을 통제하는 방법을 익힌다.

바이오피드백의 학습 원리는 자전거 타기를 배우는 것과 비슷하다. 처음 자전거를 탈 때는 균형 잡는 방법을 알지 못해 계속 넘어진다. 최적의 균형점이 무엇인지를 확인할 수 없기 때문에 초보자가 할 수 있는 일은 그저 반복적으로 넘어지는 것뿐이다. 하지만 연습을 계속하면서 신체는 넘어지지 않고 자전거를 전진시키는 최적의 균형점을 익힌다. 바이오피드백도 마찬가지로 처음에는 자신의 신체를 변화시키는 어떤 방법도 알 수 없지만,

스크린에 나타나는 성공과 실패의 신호를 보면서 신체는 성공의 신호를 보내는 최적의 몸 상태를 찾아낸다.

## 뉴로피드백이란?

뉴로피드백은 뇌파 바이오피드백(EEG biofeedback)이라고도 한다. 관찰과 훈련의 대상인 정보원이 뇌에서 측정되는 뇌파라는 점에서 바이오피드백의 일종이다(그림 1.2). 뇌파는 인간의 특정한 정신 상태를 반영하며, 정신 상태의 변화는 뇌파의 변화로 관찰된다. 따라서 바이오피드백의 원리를 도입하여 우리가 증가(또는 감소)하고자 하는 정신 활동과 관련된 뇌파를 변화시키면 인간의 마음이 변화될 수 있다는 것이 뉴로피드백의 원리이다.

뉴로피드백에서 사용하는 시스템의 원리는 바이오피드백의 그것과 매우 비슷하며, 실제로 다수의 장비는 뉴로피드백과 바이오피드백을 한 시스템에서 동시에 사용할 수 있게 되어 있다. 락사의 CANS 시스템은 바이

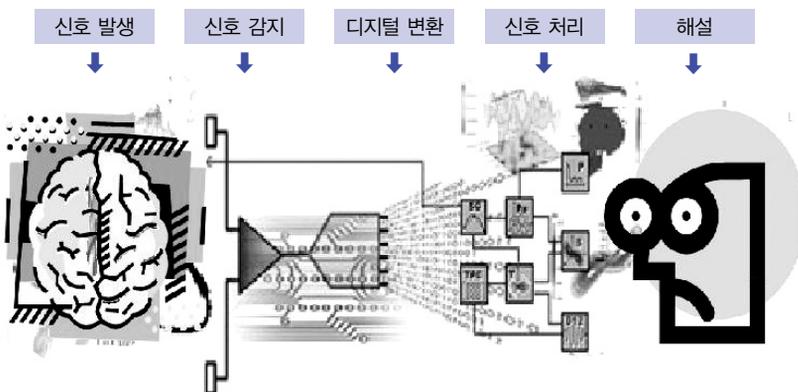


그림 1.2 바이오피드백과 뉴로피드백에서 생리 신호가 인간에게 전달되는 과정

오피드백과 뉴로피드백 모두를 한 장비에서 사용할 수 있으며, Procomp Infinity나 NEXUS는 이 두 가지 훈련을 동시에 실시할 수 있다. 뉴로피드백이 바이오피드백과 가장 큰 차이는 기계에 입력되는 신호가 두뇌에서 시작된 것이라는 점이다. 두뇌에서 발생한 전기적 신호는 뉴로피드백 시스템을 이용해 디지털 신호로 변환되어 컴퓨터 스크린에 전달된다. 스크린에 전달된 정보는 실시간으로 변화하는 뇌파 그 자체인 경우도 있지만, 환자가 쉽게 이해할 수 있도록 뇌파의 특정 정보만을 선택해 그림이나 애니메이션의 형태로 제공하는 경우가 일반적이다(그림 1.3).

환자는 다양한 노력을 통해 스크린에 나타나는 정보들을 변화시키려 할 것이다. 임상가는 환자의 뇌파가 정상인과 유사한 방향으로 변화할 수 있도록 목표를 설정한다. 환자는 정보를 변화시키기 위해 여러 가지 시도를 하게 되며, 이 중 치료자가 사전에 설정한 목표에 부합하는 뇌파가 발생할 때 스크린의 정보는 변화하면서 환자에게 그의 시도가 성공했음을 알려 준

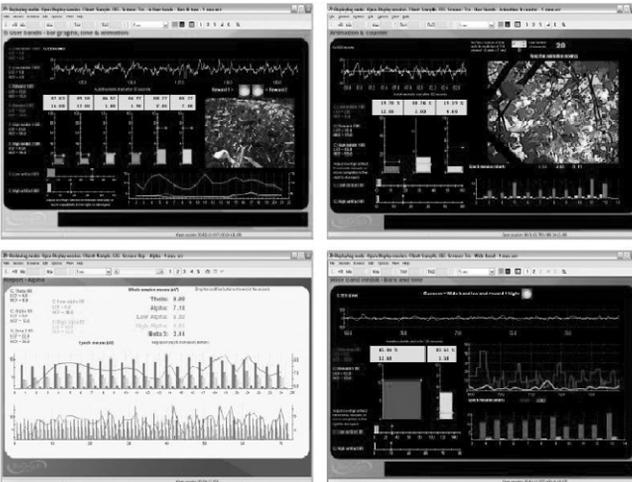


그림 1.3 뉴로피드백에 제공되는 다양한 형태의 스크린(Procomp Infinity 제공)

다. 환자는 반복된 시도를 통해 자신의 뇌파를 특정 방향으로 변화시키는 것을 학습한다. 치료자는 정상인의 뇌파를 목표로 설정하므로, 환자는 컴퓨터 스크린의 정보를 변화시키는 시도를 통해 자연스럽게 자신의 뇌파를 정상인의 패턴으로 변화시키게 된다.

뇌파가 변화하기 위해서는 두뇌의 활동이 변화하여야 한다. 뇌파는 시상-기저핵-피질이 서로 신호를 주고받는 과정에서 나타나는 두뇌의 전기 활동이 합쳐져서 나타나므로, 뇌파가 변화하기 위해서는 이 두뇌 영역들의 활동과 연결이 변화하여야 하는 것이다. 뉴로피드백에서 스크린 정보의 변화는 반복적인 시행착오를 통해 얻어진다. 자전거 타기의 예에서 알 수 있듯이 자신도 모르게 조금씩 나아지는 듯 하다가 다시 수행이 쇠퇴하는 경험을 반복하면서 자신의 두뇌 활동에 대한 통제력을 얻는다. 뉴로피드백에서 두뇌를 통제하는 방향은 정상에서 이탈된 활동을 정상인의 평균적인 활동으로 변화시키는 것이다. 이런 이유로 뉴로피드백을 ‘학습된 뇌파 정상화 과정’이라고도 부른다.

## 뉴로피드백과 학습심리학의 원리

뉴로피드백은 어떻게 인간의 두뇌 활동을 변화시킬 수 있는가? 이에 대한 해답은 학습심리학에서 찾을 수 있다. 어떤 행동에 긍정적인 보상이 따른다면 그 행동의 발생빈도는 증가할 것이다. 우리는 여러 가지 일 중 보상이 가장 큰 일에 매달리는 경향이 있으며, 외출을 할 때에는 주변 사람들이 가장 좋은 평을 했던 모습으로 꾸미고 나가려 할 것이다. ‘효과의 법칙(law of effect)’으로 알려진 이 현상은 심리학자 Thorndike에 의해 알려진 학습의 원리이다(Hermstein, 1970).

뉴로피드백에서 보상의 대상은 특정 패턴의 뇌파이며, 긍정적 보상은 스크린 정보의 변화(또는 소리의 발생)이다. 그림 1.4는 뉴로피드백이 뇌파를 변화시키는 과정을 상징적으로 보여 준다. 훈련을 시작하기 전 인간의 뇌파는 다양한 주파수 대역의 파형들이 혼합된 형태를 띠고 있다. 훈련이 시작되면서 치료자가 의도한 형태의 뇌파는 웃음을 짓는 스크린 정보를 통해 선별적으로 강화되며, 다른 형태의 뇌파 활동들이 강화될 때에는 찡그리는 정보를 통해 훈련이 잘못되고 있음을 학습시킨다. 특정 주파수 대역의 뇌파만을 선별적으로 보상하는 훈련의 반복은 환자의 뇌파 형태를 특정한 방향으로 변화시킨다.

뉴로피드백 훈련은 점진적인 단계로 진행된다. 초기 훈련은 특정 주파수가 낮은 강도로 발생할 때에도 보상을 제공한다. 훈련이 진행되면서 목표는 상향 조정되어, 특정 주파수의 뇌파가 치료자가 의도한 수준의 강도로 발생할 때에만 보상을 제공한다. 이렇듯 목표행동에 대한 단계적 보상을 통해 행동을 변화시켜 나가는 것을 학습심리학에서는 조형(shaping)이라고 한다. 뉴로피드백은 효과의 법칙과 조형이 적용되는 학습심리학의 응용분야이다.

효과의 법칙과 조형은 행동의 결과가 그 행동의 발생빈도를 결정한다는 도구적 조건형성 원리에 근거한 것이다. 최근에는 이와 달리 고전적 조건

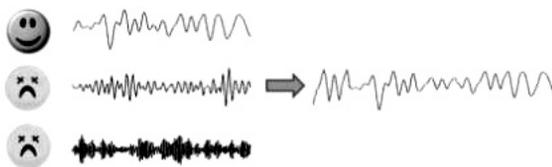


그림 1.4 컴퓨터 스크린 정보에 따른 선별적 보상을 통해 훈련자의 뇌파가 변화되는 과정

형성 원리를 이용한 뉴로피드백 방법들도 소개되고 있다. 고전적 조건형성은 파블로프의 개로 잘 알려진 원리로, 개에게 고기를 줄 때 반복적으로 종소리를 들려주면, 고기 없이 종소리만 들어도 입에서 자동으로 침이 분비된다는 파블로프의 관찰에 의해 구체화되었다. 여기서 고기는 입 속의 침을 자동으로 분비시킨다는 점에서 무조건자극(unconditioned stimulus)이라고 하며, 종소리는 무조건자극이 동반될 때만 효과를 볼 수 있다는 점에서 조건자극(conditioned stimulus)이라고 한다.

고전적 조건형성을 뉴로피드백에 활용한 대표적인 예는 캐나다의 심리학자인 Swingle 박사의 브레인드라이빙(braindriving)이다. 기존 뉴로피드백은 뇌파에 변화가 있으면 강화를 제공하는 형식이기 때문에 피훈련자가 낮은 동기를 보이거나 뇌파를 변화시키는 방법을 찾지 못할 경우, 훈련 자체가 성립되지 못하는 한계가 있다. 브레인드라이빙은 이런 한계점을 극복하기 위해 외부 자극에 의해 뇌파의 변화를 유발하는 방법을 사용한다. 빛, 자기장, 음악 등 다양한 외부 자극이 뇌파의 변화를 유발하는 무조건자극으로 사용되며, 의도한 뇌파가 발생하는 순간 컴퓨터에서 제시되는 신호는 조건자극의 기능을 한다(Swingle, 2011). 아직 많은 과학적 검증이 필요하지만, 고전적 조건형성 원리를 사용하는 이러한 기법들은 기존 뉴로피드백에서 효과를 얻지 못하는 사람들에게 좋은 대안이 될 것으로 기대된다.

## 뉴로피드백과 한의학 이론\*

뉴로피드백의 훈련은 비정상적인 뇌파의 비율을 정상적으로 교정하여 전

---

\*경희대학교 한의과대학 정선용 교수 집필

반적으로 뇌 기능을 조화롭게 하는 데 그 목적이 있다. 이러한 방식은 한의학의 질병치료이론과 매우 유사하다. 즉, 한의학에서는 질병을 인체 내 음양오행의 균형과 조화가 깨진 상태로 보고, 이를 다시 맞추어 나가는 것을 치료의 방법으로 삼는데, 뉴로피드백에서도 균형을 맞추는 방식을 취한다는 점이 그것이다. 특히, 외부로부터의 개입이 아닌 자신의 내부로부터의 변화를 이끌어 낸다는 점이 자연의학이라는 한의학의 특징과 일치한다.

또한, 현대에 이르러 명상이 과학적으로 다뤄지면서 명상 시 뇌파의 변화도 많이 연구되는데, 이러한 바탕에 뉴로피드백과 명상을 접목할 수 있게 되었다. 그 방법의 하나가 알파파-세타파 훈련이다. 알파파보다 세타파가 우위에 들어가는 순간이, 명상에서 깊은 이완의 상태에 들어갈 때의 뇌파와 유사하고, 실제로 명상 시의 효과가 알파파-세타파 훈련 시에 나타난다고 보고되고 있다. 명상은 잡념에서 벗어나 정서적 안정을 이루고 집중력을 높이기 위해 한의학에서 치료와 요양의 목적으로 많이 사용되는 것으로, 특히 불안이나 우울 증상의 치료에 효과가 높다.

이런 한의학적 관점에서 보면 뉴로피드백이란 뇌파 기계를 이용한 명상으로, 질병의 예방과 치료를 목적으로 사용되는 치료법이라 할 수 있다.

## 뉴로피드백의 역사

뉴로피드백은 뇌파의 변화를 통해 뇌 기능을 변화시키는 훈련이다. 이것이 가능하게 된 것은 뇌파가 특정 뇌 기능과 관련되어 있다는 사실이 발견되었기 때문이다. 뇌파가 인간의 정신세계에 대한 중요한 정보를 가지고 있다는 것을 처음 발견한 사람은 독일의 신경정신의학자인 Hans Berger이다. 인간의 정신 활동의 생리학적 근거를 찾던 Berger는 1924년 두뇌에

서 발생하는 전기 신호를 최초로 측정하였다. 인간의 정신 상태를 측정하며 발견한 알파파, 베타파와 뇌파(electroencephalogram)라는 용어는 현재까지도 뇌파를 분류하는 데 핵심적인 개념으로 사용되고 있다(Haas, 2003). 그가 발견한 알파파는 뇌의 여러 영역이 유사한 패턴의 활동을 보일 때 주로 나타나는 신호로, 이후 뉴로피드백 훈련에서 변화 대상으로 가장 빈번하게 사용하는 신호 중 하나이다.

1958년 시카고대학 심리학과 교수였던 Joe Kamiya는 역사적 발견을 한다. 그의 실험은 인간이 자신의 뇌파 상태를 알아차릴 수 있는지에 대한 것이었다. 실험자는 피험자에게 현재 알파파가 나오는지를 맞춰 보라고 했으며, 그것이 맞았는지 틀렸는지를 알려 주었다. 실험을 시작한 지 나흘째가 되자, 피검자는 자신이 알파파 상태에 있는지를 100% 정확하게 맞출 수 있었다(Kamiya, 1968). 더욱 놀라운 사실은 피검자들이 지시에 따라 스스로 알파파가 증가하는 상태를 만들 수도 있다는 후속 연구결과였다(Hardt & Kamiya, 1976). 그 당시까지 뇌파란 인간이 스스로 통제할 수 없는 불수의적(involuntary) 영역으로 간주되어 있었는데, Kamiya의 실험이 이를 뒤집은 것이다. 그의 발견이 바로 뉴로피드백 시대를 열었다고 해도 과언이 아니다.

Kamiya의 시대까지 뇌파와 인간심리의 관계는 피검자의 자기보고에 절대적으로 의존하여 연구되었고, 그만큼 뇌파 및 뉴로피드백과 관련된 과학적 연구결과를 얻는 데는 상당한 한계가 있었다. 이런 한계를 극복하고 뉴로피드백을 뇌과학의 당당한 한 영역으로 끌어올린 사람이 UCLA의 Barry Sterman 교수이다. 그는 고양이의 뇌 활동을 연구하는 과학자였다. 그가 관심을 둔 주제는 고양이의 감각 운동 피질에서 발생하는 특징적