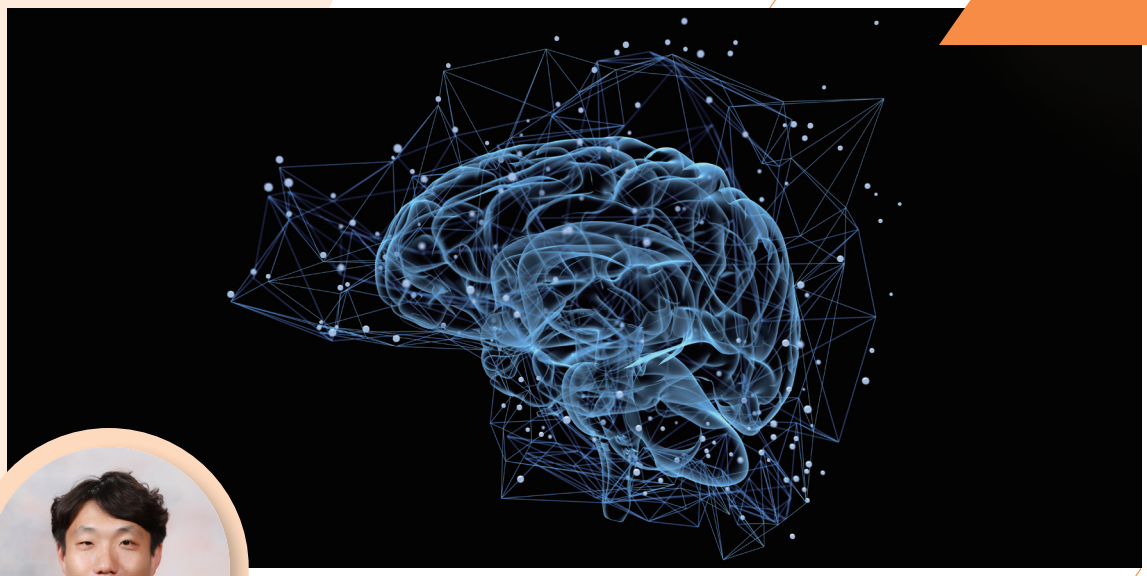
뇌자극(Brain Stimulation)은 우리의 움직임을 변화시킬 수 있을까?



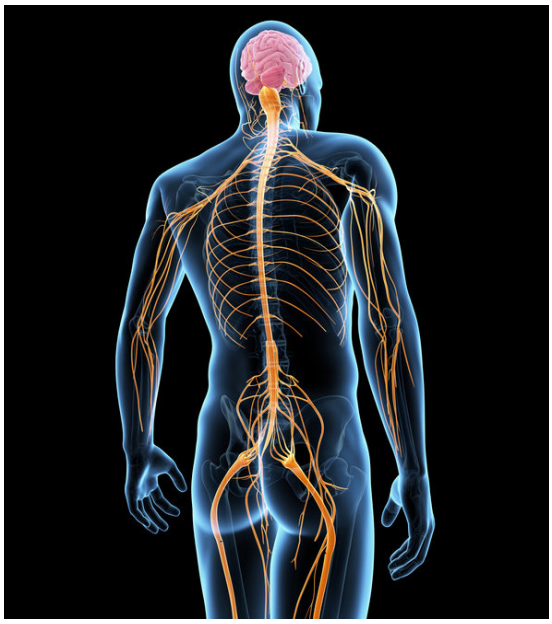
강년주 인천대학교 체육학부 부교수

들어가며

뇌자극(Brain Stimulation)은 우리의 움직임을 변화시킬 수 있을까? 히어로 영화에 나오는 주인공처럼 우리도 지구를 지킬 수 있는 뛰어난 지능과 강력한 힘을 가질 수 있을까? 누구나 살면서 이런 상상은 한 번씩 해봤을 것이다. 하지만 우리는 평생 동안 뇌가 가진 최대능력치의 30%밖에 활용하지 못한다고 한다. 우리의 뇌가 가진 기능을 극대화할 수 있는 방법은 없을까? 많은 신경과학자, 행동과학자, 스포츠과학자들은 그 해답을 전기자극을 통한 뇌 기능 조절에서 찾고 있다.

인간 움직임의 생성과정

인간 움직임의 생성과정을 컴퓨터의 작동원리에 비유한 정보 처리적 관점(Information processing approach)에 따르면, 투수가 던진 공을 타자가



〈그림 1〉 뇌-척수-운동신경을 통한 움직임의 생성

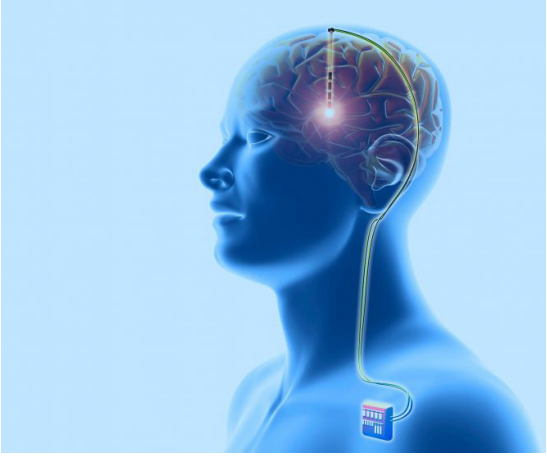
ⓒ https://www.bodyflowchiro.com/is-chiropractic-for-you-1

정확하게 쳐내기 위해서는 우리의 뇌에서 크게 3단계의 정보처리 과정이 이루어진다고 한다. 1단계는 자극확인단계로써 날아오는 공에 대한 시각적 정보(visual information)를 뇌로 전달한다. 2단계는 반응선택단계로써 날아오는 공을 칠 것인지 아닌지를 결정한다. 3단계는 운동프로그래밍단계로써 공을 치기로 했다면 어떤 스윙 자세를 취할 것인지를 구체적으로 조직한다. 이러한 정보처리 과정은 뇌의 여러 주요 부위에서 필요한 정보를 발생시키고 서로 그 정보를 교류하는 것을 통해 이루어진다. 그리고 최종적으로 완성된 정보는 척수와 운동신경(motor neuron)을 통해 우리의 근육에 전달되고, 이를 받아들인 근육은 힘껏 수축하여 우리가 원하는 움직임을 성공적으로 만들어낸다. 따라서 우리가 원하는 대로 어떠한 동작을 잘 만들어내기 위해서는 우리의 뇌 속에 발생하는 수많은 정보의 처리와 전달이 원활하게 이루어져야 한다.

'뇌 전기 자극'을 통한 인간 움직임의 개선

흥미로운 점은 움직임을 만들기 위해 뇌에서 발생하는 정보처리 과정이 수많은 뇌 신경 내 전기 작용(뉴런과 뉴런 사이의 전기신호의 전달)과 관련이 있다는 것이다. 많은 과학자들은 뇌에 직·간접적인 전기신호를 전달하여 뇌 작동을 적절히 조절함으로써 우리가 원하는 움직임을 만들어 낼 수 있다고 주장한다. 이러한 방법을 '뇌 자극법(brain stimulation)'이라고 한다. 직접적인 전기신호를 전달하여 뇌 작동을 조절하는 대표적인 방법으로 '뇌 심부 자극술(Deep Brain Stimulation)'이 있다.

파킨슨병 환자들의 경우 병세가 악화됨에 따라 손떨림(tremor) 또는 행동이 비정상적으로 느려지는 현상(bradykinesia)과 같은 이상 운동 증상(movement disorder)을 보인다. 이러한 증상은 '도파민'이라는 호르몬을 발생시키는 뇌간(Brainstem) 중앙의 신경세포의 문제와 관련이 있다. 이 부분에 전극을 삽입한 후 전기신호를 전달하여 도파민 분비와 관련된 신경



〈그림 2〉 뇌심부자극술

ⓒ https://scitechdaily.com/study-shows-deep-brain-stimulation-is-effective-treatment-for-most-severe-depression/

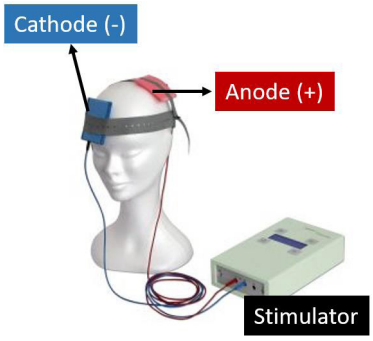
회로를 직접적으로 조절함으로써 이상 운동 증상을 완화시킬 수 있다. 하지만 뇌심부자극술은 외과적 수술을 통해 치료가 진행되어야 하므로 주로 약물을 통해 증세가 호전되지 않는 신경계 질환 환자들에게 제한적으로 사용되고 있다.

반면, 외과적 수술 없이 간접적인 전기신호로 뇌 기능을 조절하는 방법으로 비침습적 뇌 자극법(non-invasive brain stimulation)이 있다. 비침습적 뇌 자극법은 두피의 국소 부위에 전기자극을 전달하여 그 아래에 위치한 대뇌피질(대뇌의 표면에 위치하는 신경세포)의 작동을 간접적으로 조절하는 방법이다. 대표적인 예로 '경두개 직류 전기 자극술(transcranial direct current stimulation, 이하 tDCS)'이 있는데, 2mA 미만의 약한 직류 전기를 두피에 전달시켜 신경세포 내 안정막전위 변위를 일으켜 뇌의 활동성을 변화시키는 방법이다. tDCS는 양극 자극(anodal stimulation)과 음극 자극(cathodal stimulation)을 전달할 수 있는데, 양극 자극은 대뇌피질의 흥분성을 증가시키는 역할을 하고 음극 자극은 대뇌피질의 흥분성을 억제시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 안전상의 이유로 2mA 이하의 전류를 일일 최대 20분 이하로 적용하는 것을 권장하며 따끔거림, 간지러움, 화상 등의 경미한 부작용이 생길 수 있는 것으로 보고되었다.

tDCS는 2000년대 중반부터 뇌졸중 환자들의 재활을 위해 사용되어 왔는데, 주로 양극 자극을 손상된 대뇌피질 내 운동영역(Primary Motor Cortex)에 전달하고 음극 자극을 비손상된 운동영역에 가하여 대뇌 좌우 반구 간 뇌 활동성의 균형을 맞추어 재활을 촉진시키려는 노력이 시도되었다. 특히, 뇌졸중 이후 6개월이 지난 만성 뇌졸중 환자들은 운동 기능의 향상이 눈에 띄게 나타나기 어렵지만, tDCS를 적용하였을 때 장기적인 재활 효과가 나타난 것으로 보고되었다. 환자들이 다양한 운동 재활프로그램과 더불어 tDCS를 적용받았을 때 움직임의 회복이 가장 좋은 것으로 알려져 있고 뇌졸중 환자의 효과적인 재활을 위한 최적의 tDCS 프로토콜에 대해서는 계속적인 연구가 이루어지고 있다. 뿐만 아니라 최근에는 노인의 운동과 인지 기능을 향상을 위한 방안으로 tDCS가 활용되고 있으며 술, 담배 등과 같이 개인의 중독성을 완화시키기 위한 방법으로도 tDCS의 적용이 시도되고 있다.

'비침습적 뇌자극술'의 발전과 미래

지금까지의 뇌 자극법은 주로 신경학적 질병을 지닌



〈그림 3〉 tDCS 프로토콜의 구성

ⓒ http://www.clinicalbrain.org/resources/techniques/tdcs/

환자들과 같이 움직임 생성에 문제가 있는 사람을 대상으로 시도되었다. 과연 뇌 자극법은 건강한 사람의 움직임도 더욱 좋게 만들 수 있을까? 이 질문에 대한 답은 최근의 연구결과에서 그 단서를 찾아볼 수 있다. 특히 개별 연구 결과를 통계적으로 종합해서 알려주는 메타분석 연구를 살펴보면, 건강한 성인의 운동 대뇌영역에 tDCS 양극 전극을 가했을 때 달리기나 자전거 타기를 오래 할 수 있는 지구력이 좋아지는 결과가

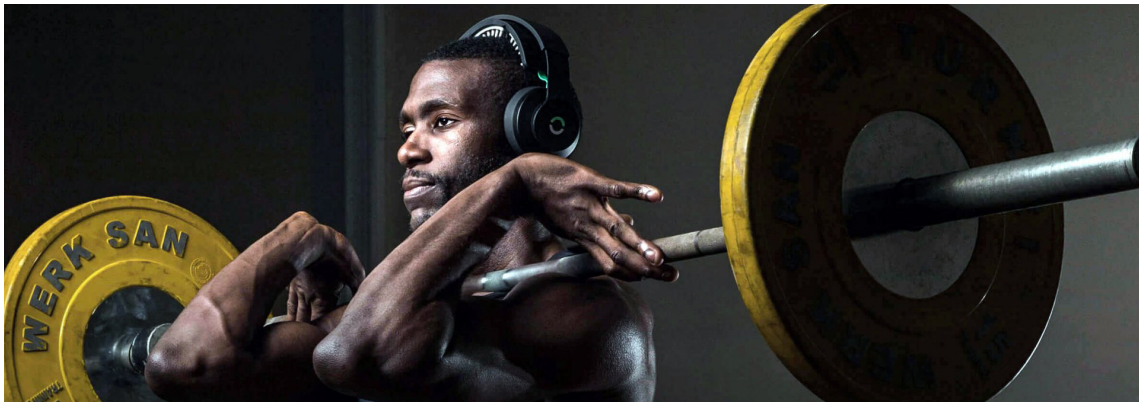
〈그림 4〉 운동 수행력향상을 위한 상용화된 tDCS

ⓒ https://www.roadbikerider.com/can-a-set-of-headphones-make-you-a-faster-cyclist-interview-with-halo-neuroscience

나왔다. 또 다른 메타분석 연구에서는 이러한 지구력의 증가가 tDCS를 일회성으로 제공하더라도 관찰된다고 보고하였다. 흥미로운 점은 이와 비슷한 현상이 전문적인 운동 선수들에서도 관찰된다는 것이다. 미식축구 선수나 핸드볼 선수과 같이 오랜 훈련을 통해 일반인들보다 뛰어난 지구력을 가지고 있는 사람에게서도 tDCS의 긍정적인 효과가 나타났다.

이러한 결과에 대해서 연구자들은 운동을 지속할 때 발생하는 근 피로를 개인이 자각하는 시점을 tDCS가 지연시킴으로써 운동을 오래 할 수 있는 것으로 추측했다. 또한 점프력과 같은 운동 수행력도 tDCS 적용 후 유의하게 향상된다고 보고한 연구들도 있었다. 반면, 다수의 메타분석 연구에서 공통적으로 tDCS가 건강한 사람이 발생시킬 수 있는 최대 근력은 효과적으로 증가시키지 못한다고 보고하였다. 건강한 사람에 대한 비침습적인 뇌 전기자극의 긍정적인 효과는 모든 운동 영역에서 관찰되기 보다 제한된 운동 기능에서만 나타난다고 할 수 있다. 따라서 여전히 많은 나라의 연구진들은 뇌 전기자극의 효과성을 입증하고 그 효과를 증대시키기 위한 세부 프로토콜 개발연구를 진행하고 있다.

뇌 전기자극은 인간의 움직임을 극적으로 변화시켜 줄 수 있는 만병통치약은 아니다. 또한 운동 선수의 경우 뇌 전기자극을 통해 개인의 운동 수행력을 향상하는 것이 과연 윤리적으로 옳은지에 대한 의문도 여전히 논란거리다. 하지만 적어도 움직임을 생성하고 정교하게 제어하는 중추 신경계에 대한 tDCS와 같은 신경조절기법(Neuromodulation)이 어느 정도 운동능력을 개선시킬 수 있는 가능성이 있음을 알 수 있다. 또한 개인의 뇌 해부학적 구조도 조금씩 다르고 전기 자극에 대한 반응성도 다양하기 때문에, 이를 고려한 개인 맞춤형 tDCS 프로토콜이 개발된다면 더욱 극대화된 운동기능의 향상을 기대할 수 있을 것이다.



ⓒ https://www.inc.com/john-brandon/brain-science-has-figured-out-how-to-help-athletes-train-50-faster.html