

## 경두개 직류전기자극을 이용한 운동 학습 증진

<sup>1</sup>부산대학교병원 재활의학과, <sup>2</sup>부산대학교 의학전문대학원 재활의학교실 및 양산부산대학교병원 의생명융합연구소고성화<sup>1</sup> · 신용일<sup>2</sup>

## Enhancing Motor Learning with Transcranial Direct Current Stimulation

Sung-Hwa Ko, M.D.<sup>1</sup> and Yong-Il Shin, M.D., Ph.D.<sup>2</sup><sup>1</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Pusan National University Hospital, <sup>2</sup>Department of Rehabilitation Medicine, Pusan National University School of Medicine and Research Institute for Convergence of Biomedical Science and Technology, Pusan National University Yangsan Hospital

Motor learning is a relatively permanent change of improving motor skills, resulting from repetitive training and an important process of motor recovery in neurorehabilitation. There are various methods of physical therapies, medications, stem cell therapy, invasive and non-invasive neuromodulation techniques for recovery of motor function after stroke. In this review, we describe motor learning and transcranial direct current stimulation among noninvasive neuromodulation techniques to enhance the motor learning. (Brain & NeuroRehabilitation 2015; 8: 81-85)

**Key Words:** motor learning, neurorehabilitation, plasticity, transcranial direct current stimulation

## 서 론

운동 학습(motor learning)이란 훈련을 통해 향상된 운동 능력이 상대적으로 영속적인 변화를 보이는 것으로 정의할 수 있다. 훈련을 통해 학습이 일어나기 위해서는 부호화(encoding), 강화(consolidation) 저장(storage), 인출(retrieval)과 같은 일련의 과정이 필요하다. 즉, 무수히 반복된 훈련을 통해 운동에 대한 기억이 형성되고, 강화의 단계를 거치면서 이전 연습에서 부호화되었던 불안정한 운동 수행 능력이 영구적이고 안정된 형태로 변화되어 나타나는 것이다.<sup>1,2</sup> 이는 특히 뇌졸중과 같이 중추신경계 손상으로 인한 운동 기능 저하를 보이는 환자에서 운동 기능을 회복시키는 중요한 방법의 하나이다. 운동 학습을 강화시키기 위한 방법으로는 다양한 운동 훈련 기법, 약물 치료, 침습적 및 비침습적 뇌신경조절 기술 등이 있다. 본 중설에서는 운동 학습과 이를 강화하기 위한 비침습적 뇌신 조절 기술 중 주로 경두개 직류전기자극(transcranial

direct current stimulation, tDCS)이 운동 학습에 미치는 영향에 대해 기술하고자 한다.

## 본 론

운동 학습은 반복된 훈련을 통해 오류(error)를 수정하는 기술을 습득하는 것으로, 운동 수행(motor performance)과는 다르다.<sup>3</sup> 감정의 변화나 동기(motivation) 등의 여러 내외적인 조건이나 환경적 인자들의 영향을 받아 일시적으로 나타나는 행동이거나 수 차례의 반복 훈련을 하였지만 다시 재현하지 못하는 경우는 운동 학습이 아닌 단순한 운동 수행의 단계라고 할 수 있다. 즉, 운동 학습은 운동 수행과 구분하여 효과가 지속되는 특징을 가지고 있어야 한다. 운동 학습은 반복되는 훈련과 경험을 통해 향상되는 기술이라는 점에서 ‘기억(memory)’의 과정과 같은 맥락을 가진다.

일반적으로 학습(learning)과 기억의 형성과정은 외현 기억(explicit memory)과 내현 기억(implicit memory)으로 구분된다.<sup>4</sup> 외현 기억 또는 학습은 사실과 상황에 따른 의식적인 기억 반응으로 감각 연합 피질과 내측두엽, 해마 등에서 일어난다. 이에 반해 내현 기억 또는 학습은 많은 반복적 자극과 훈련에 의해 형성된 무의식적이고 반사적인 반응으로, 비연합 학습(non-associative learning), 연합

Correspondence to: Yong-Il Shin, Department of Rehabilitation Medicine, Pusan National University School of Medicine, 20 Geumo-ro, Mulgeum-eup, Yangsan 50612, Korea  
Tel: 055-360-2872, Fax: 055-360-4251  
E-mail: rmshin@pusan.ac.kr  
This work was supported by a 2-Year Research Grant of Pusan National University.

학습(associative learning)과 절차 학습(procedural learning)을 통해 향상된 수행 능력이 습관화되는 것이라 할 수 있다. 이는 주로 편도체, 소뇌, 기저핵, 보조 운동 영역 등에서 관찰된다. 대부분의 운동 학습은 이러한 외현 학습과 내현 학습의 연합작용을 통해 나타난다. 자전거 타기를 처음 배울 때, 순차적 또는 인위적으로 체중 이동 방법과 체간 조절 방법을 배우고 조정간과 페달의 작동법을 배워서 넘어지지 않고 앞으로 나아가는 것을 습득하는 것과 같이 특정하게 제공된 훈련에 대해 기억하고 학습하는 것이 외현 학습이다. 반면에 이러한 과정이 지속적이고 반복적인 훈련을 통해 몸에 배이게 되면 본인도 모르게 반사적으로 자전거를 탈 수 있게 되고 배울 때와 똑같은 환경이 아닌 상황에서도 자전거 타기가 가능하게 되는데, 이것은 외현 학습에서 내현 학습의 단계로 전환됨으로써 더 이상의 훈련이 없이도 운동 기술을 수행할 수 있게 되는 것이다.<sup>5</sup>

재활의 측면에서 볼 때 운동 학습은 뇌손상 등으로 인하여 운동 능력이 저하된 환자들에게 있어 운동 기능을 다시 획득하기 위한 중요한 방법이다. 외현 학습을 이용해 치료실에서 환자로 하여금 주의 집중을 한 상태로 동작의 순차적인 단계를 의도적으로 기억하게 하고, 이를 반복함으로써 내현 학습이 일어나도록 할 수 있다. 이를 통해 운동 기능 수행 능력이 습관화되고 다른 환경에서도 수행이 가능하도록 전이가 이루어진다. 이와 같이 운동 기능이 치료실이 아닌 병실에서나, 치료 당일이 아닌 다음 날에도 지속적이고 일정하게 나타날 수 있게 되는 것이 재활 치료를 통한 운동 학습의 효과라 할 수 있다. 기억의 습득 과정과 같이 재활 치료의 효과가 지속되기 위해서는 외현 학습에 의해 습득된 기억이 부호화-강화-저장-인출과 같은 일련의 과정을 통해 내현 학습 또는 기억으로 전환되어야 한다. 이때 수면이 강화의 단계에서 중요한 역할을 하며 특히 rapid eye movement (REM) 수면, non-rapid eye movement (NREM) 수면 2단계, 서파 수면(slow-wave sleep)과 깊은 연관성을 보인다.<sup>6,7</sup> 그러므로 운동 기능 장애가 있는 환자에서 재활 치료를 통한 운동 학습의 효과를 유지, 증진시키기 위해서는 수면의 조절과 같은 환경적 측면의 조절도 중요한 영역이라 할 수 있다.

반복된 재활 치료에 의한 운동 학습은 운동 피질 활성화 영역의 확대 및 신경회로망의 재조직 등과 뇌신경계에 직접적인 변화를 동반한 기능 회복으로 알려져 있으며, 뇌 가소성(brain plasticity)과 연관지어 설명할 수 있다.<sup>8-10</sup> 즉, 다람쥐원숭이의 손에 해당하는 일차 운동 피질 영역(primary motor cortex, M1)에 손상을 주고 3~4개월 이후 재활 훈련을 한 집단과 하지 않은 대조군 집단의 비교했을 때 재활 훈련을 실시한 집단에서 손 기능과 관련된

피질영역(cortical map)이 팔꿈치와 어깨에 해당하는 영역으로 확장되고 더불어 손의 기능적 회복을 보이는 재생 가소성(restorative plasticity)과 같은 현상이 나타난다.<sup>11</sup>

뇌졸중 후 상실된 운동 기능과 관련된 뇌 영역의 활성화와 가소성을 증진시키기 위해서 다양한 방법이 이용되고 있다. 말초신경계의 자극을 통한 기능 회복과 관련된 뇌 영역의 가소성 증진을 위해 기능적 전기자극치료, 반복적인 중추신경계 발달 치료, 로봇 치료, 건측억제유도 운동 치료, 과제지향적 반복 훈련, 가상현실 치료 등이 이용된다. 운동 기능 회복과 연관된 뇌 영역의 활성화를 위해 운동연상, 거울 치료, 약물 치료, 줄기세포 치료와 같은 방법을 사용할 수 있으며, 직접적으로 뇌 영역의 전기생리학적 변화를 유도하기 위하여 경두개 자기자극(transcranial magnetic stimulation, TMS) 치료, 경두개 직류전기자극(transcranial direct current stimulation, tDCS) 치료, 경막의 뇌 피질 전기자극(epidural cortical stimulation) 치료 등을 사용할 수 있다(Fig. 1). 뇌졸중 후 운동 기능의 회복을 강화하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있으며, 특히 최근 수 년간 경두개 자기자극치료와 경두개 직류전기자극치료 같은 비침습적 뇌자극법을 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이중에서 경두개 직류전기자극치료와 관련된 기초적인 배경을 보았을 때, 기억과 학습을 위해서는 뇌 신경세포의 분자적 수준에서의 변화가 필요하며, 헤비안 학습(Hebbian learning)의 법칙에 따라 일어나는 장기 상승 작용(long term potentiation, LTP)과 장기 하강 작용(long term depression, LTD)의 시냅스 전/후 신경세포의 활동이 기억과 학습의 중요한 기전으로 알려져 있다.<sup>12,13</sup> 경두개 직류전기자극은 N-methyl-D-aspartic acid (NMDA) 수용체의 조절을 통해 LTP와 LTD 유사 반응을 이끌어내

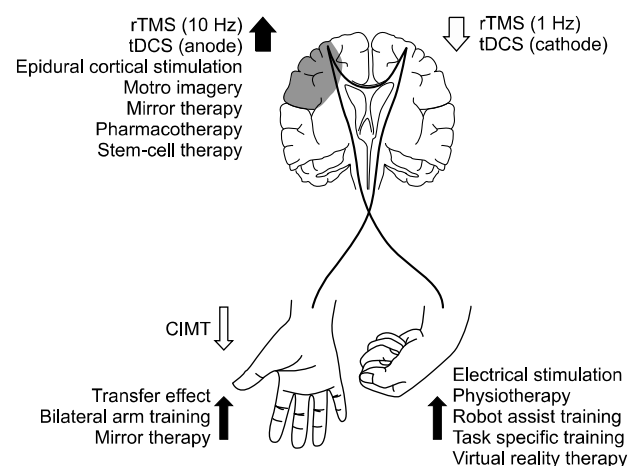


Fig. 1. Neuromodulation techniques for improving motor function after stroke.

고, Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) 의존적 시냅스 가소성(synaptic plasticity)과 관련된 messenger ribonucleic acid (mRNA)의 발현을 증가시킨다고 알려져 있어 운동 학습의 강화에 효과적일 수 있다.<sup>14-17</sup>

임상적으로 비침습적 뇌신경조절 기술의 운동 학습의 효과에 대해서 Reis 등<sup>18</sup>의 여러 전문가들은 기존 연구들을 종합하여 건강한 성인뿐 아니라 신경학적, 정신적 질환을 가진 환자에게서도 경두개 자기자극치료와 경두개 직류전기자극치료가 운동 기억 형성(motor memory formation)과 운동 학습을 향상시킬 수 있다고 발표하였다. 정상인에게 tDCS를 M1에 적용하여 운동 속도와 기민성(dexterity) 향상 및 내현 운동 학습을 호전시킬 수 있다는 연구는 약 10여 년 전부터 이루어져 왔고,<sup>19</sup> 정상인에서의 운동 학습과 습관화에 대한 다양한 연구는 최근까지도 계속되고 있다.<sup>20-22</sup> Boggio 등<sup>20</sup>은 우성수와 비우성수에서 양극의 tDCS를 각각 우성반구와 비우성반구의 M1에 적용하여 손 운동 기능의 호전에 대해 비교하였는데, 비우성수에서 의미 있는 호전을 보임으로써 비우성반구의 M1에 적용한 양극 tDCS가 운동 기능 증진을 보인 것은 tDCS가 피질의 가소성(cortical plasticity)을 일으켜 행동을 변화시킬 수 있기 때문이라고 설명된다. Kuo 등<sup>21</sup>의 연구에서는 tDCS의 오프라인 강화 효과는 확인할 수 없었다고 하였지만 이후, 이와 다른 결과의 연구들도 발표되고 있다. Reis 등<sup>22</sup>의 연구에서는 건강한 성인을 대상으로 순차 시각 등척성 집기 과제(sequential visual isometric pinch task)를 시행하는 중 tDCS를 좌측 M1에 1 mA의 강도로 5일간 20분간 적용하고, 자극을 하는 5일간 매일 1회씩과 자극 시작 8일부터 85일까지 5회, 총 10회의 속도-정확성 상관관계(speed-accuracy trade off function)를 확인한 결과 대조군에 비해 양극 tDCS군에서 5일간 훈련 중 매일 평가한 수행 능력과 일 간의 훈련과 훈련 사이에 평가한 수행 능력이 통계적으로 유의한 향상을 보였다. 5일간의 훈련 이후 85일까지 망각 속도는 두 군간에 차이가 없었으나 85일째의 운동 기술은 양극 tDCS군에서 대조군보다 우월한 결과를 보였다. 이를 통해 tDCS가 정상인에서 운동 학습의 장기 유지(long-term retention)는 유의하게 향상시키지 못하지만 온라인 기술 습득과 특히 오프라인 강화로 운동 기술의 습득을 증진시킬 수 있음을 알 수 있었다. 자극의 극성과 시간-의존효과를 확인하고자 한 또 다른 연구에서는 tDCS를 15분간 1 mA의 강도로 양극 tDCS군과 음극 tDCS군, sham tDCS군으로 나누어 적용하였을 때에는 운동 반응 시간은 각 군간에서 차이가 나지 않았지만, tDCS자극과 훈련 시간에 따라 다르게 시행한 결과, 자극과 훈련을 동시에 수행하였을 때에는 양극 tDCS 및 sham tDCS군에서

음극 tDCS군보다 외현 순서 학습 과제(implicit sequence learning task)에서 운동 학습이 더 빨리 나타났지만 훈련 전 tDCS자극을 적용하였을 때에는 오히려 양극 tDCS와 음극 tDCS가 sham군보다 학습속도가 더 느려졌다.<sup>23</sup> 이와 같은 결과는 Lang 등<sup>24</sup>의 연구에서 정상인을 10명에게 전 처치 음극 tDCS 후에 5 Hz rTMS를 시행하였을 때, 피질 흥분도가 의미 있게 증가하였고 반대로 양극 tDCS후 5 Hz rTMS를 시행하였을 때, 피질 흥분도가 감소하는 양상을 나타냈으며 sham TMS를 시행하였을 때에는 피질 흥분도의 변화가 나타나지 않았던 결과와 같은 의미로, 메타가소성 메커니즘의 항상성 가소성(homeostatic plasticity)이라는 개념으로 설명할 수 있다.<sup>25</sup>

이와 같이 정상인의 운동 학습과 관련된 tDCS 적용에 대한 연구는 많이 이루어져 온 것에 비해, 뇌손상 환자에서의 tDCS 적용은 주로 인지기능 또는 상하지 운동 기능에 주로 초점이 맞추어져 있었다.<sup>26-29</sup> 그러나 최근에는 뇌졸중 환자에서 운동 학습과 관련된 tDCS의 연구가 활발히 이루어지고 있다.<sup>30-32</sup> 12명의 만성 피질하 뇌졸중 환자들에게 병변 반대측 M1에 음극 tDCS를 20분간 적용한 뒤, 90분 이후와 24시간 이후의 평가에서 모두 sham군에 비해 실험군에서 운동 수행 능력이 향상되어, 운동 학습이 이루어졌음을 추정할 수 있었고, tDCS를 적용하는 중의 5회 추적 평가에서도 sham 군에 비해 운동 수행 능력이 유의하게 증가되어 tDCS가 운동 학습의 온라인 효과 또한 가진다고 할 수 있다.<sup>30</sup> Lefebvre 등<sup>31</sup>은 만성 뇌졸중 환자에서 dual-tDCS를 적용하여 마비측 손으로 복합적 시지각 기술에 해당하는 회로 게임을 tDCS 적용 중, tDCS 적용 30분 후, 60분 후, 그리고 1주일 후까지 시행하게 하였다. 그 결과 모든 시기에서 sham 군과 비교하여 유의한 향상을 보여 tDCS가 뇌졸중 환자에게 온라인 운동 학습에서부터 초기 회상 및 장기간 유지까지, 모든 시기에서 운동 학습을 증진시킨다고 보고하였다. 같은 연구팀의 최근 연구에서는 다른 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 이전 연구와 동일하게 tDCS를 적용하여 운동 학습 향상시킴을 재차 확인하고 이와 더불어 tDCS 적용 1주일 뒤 functional magnetic resonance imaging (fMRI)를 촬영하여 tDCS군이 sham 군에 비해 좀 더 국소적 영역에 피질 흥분을 보임으로써 반복적인 훈련과 함께 tDCS를 적용할 경우 더 효과적인 신경 회복 기전으로 운동 학습을 증진시킬 수 있었다.<sup>32</sup> 최근 tDCS의 운동 학습 효과 증진을 위한 연구로는 M1에 자극하는 방법뿐만 아니라 학습과 연관이 있는 소뇌의 자극에 대한 연구도 진행되고 있다.<sup>33,34</sup>

## 결론

기억 및 학습은 재활의학 영역에서 기능 회복의 중요한 과정이다. 뇌졸중을 비롯한 신경계 문제를 가진 환자의 운동 학습은 단순하고 일회적인 운동 수행이 아닌, 반복되는 수행 또는 훈련으로 외현 운동 학습을 내현 운동 학습으로 전환시켜 영구적 변화를 유도하는 것을 목적으로 한다. 본 종설을 통하여 tDCS와 같은 비침습적 뇌신경조절 방법이 여러 운동 훈련 방법들과 더불어 신경 가소성의 향상을 통해 운동 학습을 강화시키는 역할을 할 수 있음을 확인하였다. 향후 tDCS의 자극 위치, 극성, 시간 의존적 효과 등에 대한 동물 및 임상 연구를 통해 뇌손상 후 기능 회복과 관련된 근거의학 중심의 최적의 치료 프로토콜의 개발이 필요하다.

## References

- Winters BD, Saksida LM, Bussey TJ. Object recognition memory: neurobiological mechanisms of encoding, consolidation and retrieval. *Neurosci Biobehav Rev*. 2008;32:1055-1070
- McGaugh JL. Memory--a century of consolidation. *Science*. 2000; 287:248-251
- Schmidt RA. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological review*. 1975;82:225-260
- Green RE, Shanks DR. On the existence of independent explicit and implicit learning systems: an examination of some evidence. *Mem Cognit*. 1993;21:304-317
- Doyon J, Benali H. Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Curr Opin Neurobiol*. 2005;15: 161-167
- Walker MP, Stickgold R. Sleep-dependent learning and memory consolidation. *Neuron*. 2004;44:121-133
- Stickgold R. Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*. 2005; 437:1272-1278
- Karni A, Meyer G, Jezard P, Adams MM, Turner R, Ungerleider LG. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*. 1995;377:155-158
- Doyon J, Song A, Lalonde F, Karni A, Adams M, Ungerleider L. Plastic changes within the cerebellum associated with motor sequence learning: A fMRI study. *NeuroImage*. 1999;9:S506-S506
- Kim YH. Mechanism of neuroplasticity after brain injury and neurorehabilitation. *Brain NeuroRehabil*. 2008;1:6-11
- Nudo RJ. Remodeling of cortical motor representations after stroke: implications for recovery from brain damage. *Mol Psychiatry*. 1997;2:188-191
- Stanton PK, Sejnowski TJ. Associative long-term depression in the hippocampus induced by hebbian covariance. *Nature*. 1989;339: 215-218
- Bliss TV, Collingridge GL. A synaptic model of memory: long-term potentiation in the hippocampus. *Nature*. 1993;361:31-39
- Islam N, Aftabuddin M, Moriwaki A, Hattori Y, Hori Y. Increase in the calcium level following anodal polarization in the rat brain. *Brain Res*. 1995;684:206-208
- Nitsche MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol*. 2000;527 Pt 3:633-639
- Nitsche MA, Fricke K, Henschke U, Schlitterlau A, Liebetanz D, Lang N, Henning S, Tergau F, Paulus W. Pharmacological modulation of cortical excitability shifts induced by transcranial direct current stimulation in humans. *J Physiol*. 2003;553:293-301
- Fritsch B, Reis J, Martinowich K, Schambra HM, Ji Y, Cohen LG, Lu B. Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning. *Neuron*. 2010;66:198-204
- Reis J, Robertson EM, Krakauer JW, Rothwell J, Marshall L, Gerloff C, Wassermann EM, Pascual-Leone A, Hummel F, Celnik PA, Classen J, Floel A, Ziemann U, Paulus W, Siebner HR, Born J, Cohen LG. Consensus: Can transcranial direct current stimulation and transcranial magnetic stimulation enhance motor learning and memory formation? *Brain Stimul*. 2008;1:363-369
- Nitsche MA, Schauenburg A, Lang N, Liebetanz D, Exner C, Paulus W, Tergau F. Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human. *J Cogn Neurosci*. 2003;15:619-626
- Boggio PS, Castro LO, Savagim EA, Brite R, Cruz VC, Rocha RR, Rigonatti SP, Silva MT, Fregni F. Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct current stimulation. *Neurosci Lett*. 2006;404:232-236
- Kuo M-F, Unger M, Liebetanz D, Lang N, Tergau F, Paulus W, Nitsche MA. Limited impact of homeostatic plasticity on motor learning in humans. *Neuropsychologia*. 2008;46:2122-2128
- Reis J, Schambra HM, Cohen LG, Buch ER, Fritsch B, Zarahn E, Celnik PA, Krakauer JW. Noninvasive cortical stimulation enhances

- motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2009;106:1590-1595
- 23) Stagg CJ, Jayaram G, Pastor D, Kincses ZT, Matthews PM, Johansen-Berg H. Polarity and timing-dependent effects of transcranial direct current stimulation in explicit motor learning. *Neuropsychologia*. 2011;49:800-804
  - 24) Lang N, Siebner HR, Ernst D, Nitsche MA, Paulus W, Lemon RN, Rothwell JC. Preconditioning with transcranial direct current stimulation sensitizes the motor cortex to rapid-rate transcranial magnetic stimulation and controls the direction of after-effects. *Biol Psychiatry*. 2004;56:634-639
  - 25) Yoo WK. The Concept of Metaplasticity. *Brain NeuroRehabil*. 2014;7:1-4
  - 26) Hummel FC, Cohen LG. Non-invasive brain stimulation: a new strategy to improve neurorehabilitation after stroke? *Lancet Neurol*. 2006;5:708-712
  - 27) Miniussi C, Cappa SF, Cohen LG, Floel A, Fregni F, Nitsche MA, Oliveri M, Pascual-Leone A, Paulus W, Priori A, Walsh V. Efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation/transcranial direct current stimulation in cognitive neurorehabilitation. *Brain Stimul*. 2008;1:326-336
  - 28) Madhavan S, Weber KA, 2nd, Stinear JW. Non-invasive brain stimulation enhances fine motor control of the hemiparetic ankle: implications for rehabilitation. *Exp Brain Res*. 2011;209:9-17
  - 29) Boggio PS, Nunes A, Rigonatti SP, Nitsche MA, Pascual-Leone A, Fregni F. Repeated sessions of noninvasive brain DC stimulation is associated with motor function improvement in stroke patients. *Restor Neurol Neurosci*. 2007;25:123-129
  - 30) Zimerman M, Heise KF, Hoppe J, Cohen LG, Gerloff C, Hummel FC. Modulation of training by single-session transcranial direct current stimulation to the intact motor cortex enhances motor skill acquisition of the paretic hand. *Stroke*. 2012;43:2185-2191
  - 31) Lefebvre S, Laloux P, Peeters A, Desfontaines P, Jamart J, Vandermeeren Y. Dual-tDCS Enhances Online Motor Skill Learning and Long-Term Retention in Chronic Stroke Patients. *Front Hum Neurosci*. 2012;6:343
  - 32) Lefebvre S, Dricot L, Laloux P, Gradkowski W, Desfontaines P, Evrard F, Peeters A, Jamart J, Vandermeeren Y. Neural substrates underlying stimulation-enhanced motor skill learning after stroke. *Brain*. 2015;138:149-163
  - 33) Celnik P. Understanding and modulating motor learning with cerebellar stimulation. *Cerebellum*. 2015;14:171-174
  - 34) Wessel MJ, Zimerman M, Timmermann JE, Heise KF, Gerloff C, Hummel FC. Enhancing Consolidation of a New Temporal Motor Skill by Cerebellar Noninvasive Stimulation. *Cerebral Cortex*. 2015. pii: bhu335. [Epub ahead of print]