

# tDCS와 요추 움직임 조절 운동이 만성요통환자의 정적균형과 요통장애지수에 미치는 영향

정용식, 신의주<sup>1)</sup>

목포중앙병원, 구리 굿병원<sup>1)</sup>

## Effect of tDCS and Lumbar Motor Control Exercise on Static Balance and Disability in Chronic Low Back Pain

Yong-sik Jeong, Eui-ju Shin<sup>1)</sup>

Dept. of Physical Therapy, Mokpo Jung-Ang General Hospital

Dept. of Physical Therapy, Gu Ri Good Hospital<sup>1)</sup>

### Key Words:

Low back pain, tDCS, Motor control exercise, Biofeedback unit, Static balance

### ABSTRACT

**Background:** The purpose of this study was to investigate the effects on static balance and disability in chronic low back pain with lumbar rotation extension subgroup of transcranial direct current stimulation (tDCS) and lumbar motor control exercise (MCE). **Methods:** In 40 male low back pain with lumbar rotation extension subgroup subjects were recruited for the study. Subjects were randomly allocated into two groups. Experimental groups received tDCS and MCE, Control groups received sham-tDCS and MEC. Before and after intervention, measured in surface area, whole path length and Roland-Morris low back pain questionnaire (RMQ). **Results:** Showed a significant static balance and disability from the experimental groups compared to the control group. Showed a no significant RMQ score from experimental groups compared to the control group. **Conclusions:** tDCS and lumbar MCE showed the increased static balance in chronic low back pain with lumbar rotation extension subgroup.

## I. 서론

요통을 경험한 사람들 중 44~78%는 12개월 이내에 재발을 경험하며(Ouellette 등 2017; Airaksinen 등 2006), 약 25%는 만성통증으로 전이된다(Manchikanti 등, 2009). 높은 유병율에도 불구하고, 만성적인 요통에 대한 치료법은 치료효과가 크지 않다(Saragiotto 등, 2016).

요통은 장애의 주요 원인중 하나이며, 높은 발병률에도 불구하고 원인은 확립되어 있지 않으며, "비-특이적 요통"이라는 용어가 사용된다(Hancock 등, 2007). 비-특이적 요통은 안정화와 척추의 조절능력과 안정화의 소실 중 하나의 인자라고 하였다(Panjabi, 2003).

비 특이적-요통을 관리하기 위한 움직임 방향-기반 매커니즘에 의해 요통을 분류하는 것은 병리적 기반 진

단보다 효율적이라고 하였다(Fersum 등, 2010). 요부의 신전과 회전운동으로 증상이 증가될 때 요부-회전-신전 하위집단으로 간주한다(Sahrman, 2010). Park 등 (2016)은 요부-회전-신전의 하위집단에게 움직임 조절 훈련(motor control exercise; MCE)이 허리통증을 감소시키는 방법으로 추천한다고 하였다(Park 등, 2016).

MCE는 임상에서 비-특이적 요통환자의 치료를 위한 방법으로 사용되고 있으며(Macedo 등, 2008), 요통환자의 몸통근육의 조절 부족을 가지고 있다는 원칙을 기초하여 개발되었으며, 척추의 적절한 조절능력을 다시 훈련하는 것이다(Macedo 등, 2009). 다시 말해, MCE는 조절능력이 결여된 근육들을(다열근과 복횡근) 훈련시키고, 과도한 긴장을 하는 근육(복직근과 척추기립근)의 활동을 억제하는 훈련을 시키기 위해 고안된 방법이다(Macedo 등, 2016; Hodges와 Richardson, 1997). 이 전의 연구들에서 허리골반부 안정성에 기여하는 근육들의 재훈련(Luomajoki 등, 2010; Hodges, 2003) 및 피드백 장

교신저자: 신의주(구리굿병원, sej8688@hanmail.net)  
논문접수일: 2017.10.13, 논문수정일: 2017.11.03,  
게재확정일: 2017.11.06.

치를 이용한 훈련(Park 등, 2016)이 만성요통환자들에게 효과적이라고 하였다.

만성적인 요통환자의 치료결과를 개선하기 위한 방법으로 기계적 효과와 임상적 시너지가 결합된 치료법을 통해 적용된 것이다(Ouellette 등, 2017).

경피두개직류자극(transcranial direct current stimulation; tDCS)을 결합한 치료법이 만성적인 요통을 가진 사람들에게 대한 MCE의 효과를 증대시킬 수 있다고 하였다(Ouellette 등, 2017). 비-침습 뇌 자극의 형태는 50년간 인간과 동물의 뇌 생리학, 인지기능, 행동을 조절하는데 사용되었다(Edwards 등, 2017). tDCS는 저렴한 비용, 다양한 적용 및 작은 크기를 장점으로 신경과학자들 사이에서 급속도로 인기를 얻고 있는 비-침습 뇌자극 기술의 하나의 방법이다(Thibaut 등, 2013). 또한 비-침습 뇌자극 기술은 운동 순서 학습을 포함한 다양한 시나리오에서 운동학습을 수정하는데 광범위하게 사용되어 있다(Kaminski 등, 2016; Montenegro 등, 2015; Madhavan와 Stinear, 2010). 적은 노력으로 효율적인 수행 능력을 얻을 수 있으면, 상대적으로 저렴하고 매력적이다(Edwards 등, 2017).

최근 tDCS는 내생적 통증 완화 시스템의 조작을 허용할 수 있는 도구로 제시되고 있으며(Flood 등, 2017), 만성 통증을 가진 사람들의 운동피질에 적용되는 tDCS는 통증을 줄일 수 있다고 하였다. 체계적 고찰에서 적은 부작용을 가진 FDA에서 승인된 의약품과 유사한 통증 감소 효과가 있다고 하였다(Marlow 등, 2012). 또 미국 스키 스노우보드 연합회와 Halo 신경과학회는 올림픽 선수들이 포함한 7명의 스키점퍼 들을 대상으로 tDCS를 적용한 결과 대조군과 비교하여 점프 능력이 70% 향상되고 협응 능력이 80% 향상되었다.

이러한 매커니즘에 기초하여, tDCS와 요부 MEC는 감각운동피질 재조직화의 표적 상승 매커니즘이 촉진될 수 있으며, 움직임 조절로 달성할 수 있는 것을 능가하는 임상결과를 기대할 수 있다(Ouellette 등, 2017). 그럼에도 불구하고, tDCS와 요부 움직임 조절 운동을 만성요통 환자들에게 적용을 검증한 증거들은 부족하다. 본 연구에서는 tDCS와 요부 움직임 조절 운동이 만성요통환자들의 균형과 장애지수에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구는 전남 소재 M 종합병원의 전문의에게 비-

특이적 요통을 진단을 받은 대상으로 과거 심혈관계와 요통 이외에 다른 정형 외과적 질환이 없으며 일상생활을 수행을 하지만 만성요통을 가진 성인 남성 100명을 대상으로 하였다. 100명 중 Sahrmann의 하위 그룹 분류 중 요부-회전-신전 하위그룹 40명을 대상으로 선정하였다(Sahrmann, 2010; Van Dillen 등, 2003). 대상자들에게는 실험에 참가하기 전 실험의 목적과 절차, 실험으로 인하여 나타날 수 있는 여러 가능성에 대해 설명 하였으며, 자발적으로 동의한 경우에만 실험에 참여하도록 하였다. 참여한 대상자는 사전 동의서에 서명 하였으며, 제비뽑기를 이용해 무작위로 실험군과 대조군으로 배정하였다.

## 2. 측정도구 및 방법

### 1) 정적균형 평가

연구대상자들의 균형 능력을 평가하기 위해 균형능력 측정 장비(Biorescue, RM Ingenierie, France)를 이용하였다. 평가 장비는 압력중심(center of pressure)이동을 측정하기 위한 힘판(force plate)과 압력중심의 이동을 보여주는 모니터로 구성되어 있다. 측정 시 시작 자세는 측정 장비 위에 올라서서 발판 위의 사선을 두 번째 발가락으로 밟도록 발뒤꿈치를 붙이고 발의 앞쪽 부분을 30도 간격을 유지하도록 하였다(Figure 1). 검사 방법은 롬버그 테스트(Romberg test close)를 사용하였으며, 힘판 위에 올라가 눈을 감은 상태로 60초 동안 서 있는 상태의 신체 중심이동면적과 이동거리를 측정하였다. 모든 평가는 3회 측정하여 얻은 결과 값의 평균값을 이용하였다.



Figure. 1 Measure of balance

**2) 요통장애지수 평가**

본 연구에서 대상자의 요통 장애 지수를 알아보기 위해 롤란드-모리스 장애평가(Roland-Morris lowback pain and disability questionnaire; RMQ)를 사용하였다. RMQ는 요통환자의 일상생활과 직업적 습관과 관련하여 기능적 단계측정에 신뢰도가 검증된 평가도구이다. 이 설문지는 총 24개의 질문으로 구성되어있으며, “예” 또는 “아니요”를 선택하고 1점을 부여 한다. RMQ의 점수가 높을수록 장애가 심한 것을 의미한다.

**3. 중재 방법**

실험군은 Halo tDCS device(Halo Neurostimulation system, USA)(Figure 2-A)를 착용하고 편안하게 앉은 자세에서 20분간 자극 후(Edwards 등, 2017)(Figure 2-B) 공기 주입 압력 조절기(stabilizer pressure biofeedback, Chattanooga, USA)를 이용한 요부에 움직임 조절 운동을(Comerford와 Mottram, 2012)실시하였다.

대조군은 Halo tDCS device를 20분간 착용 후 자극하지 않고 편안하게 앉은 자세 20분간 휴식 후 공기 주입 압력 조절기를 이용한 요부에 MCE를 실시하였다.

평가는 실험 시작 전과 중재 5주후에 동일한 평가방법으로 시행 하였으며 중재는 두군 모두 1일 60분, 주 5회 실시하였다.



**Figure. 2** tDCS stimulation  
(A) Halo tDCS device (B) starting position

**1) 경피두개직류자극**

tDCS는 헤드폰 유형의 장비이며, 전극 유형은 직사각형 6.4x4.4 cm 크기로 구성된 3개의 스폰지 형식의 도자로 구성되어 있으며 접촉면은 식염수(0.9%NaCl)를 묻혀 사용하였다. 활성전극은 10-20 시스템에 따라 좌측은 운동피질(C3), 우측 운동피질(C4), 중앙 운동피질

(Cz)인 1차 운동영역에 위치하며, 자극의 진폭은 1.4 mA로 설정되어 있다. 자극은 시작 시 30초 동안 점진적으로 증가하며, 자극 종료 시 30초 동안 점진적으로 전류가 감소한다.

**2) 요부의 움직임 조절 운동**

MCE는 3 단계로 구성되었다. 1 단계에서 참가자들은 공기 주입 압력 조절기를 이용하여 엎드려 누운 자세에서 복부 끌어당기기(abdominal drawing-in maneuver; ADIM)를 수행하는 동안 복횡근의 수축을 촉진하는 방법을 설명하였다. 엎드려 누운자세에서 참가자의 하단 복부에 공기 주입 압력 조절기의 압력을 70 mmHG 유지한 후, 공기 주입 압력 조절기의 압력이 60 mmHG로 감소되도록 배를 당기고 10초간 유지하고 10회 반복하도록 지시하였다(Park 등, 2016; Comerford와 Mottram, 2012).

2 단계는 참가자들은 엎드려 누운 자세에서 한쪽 무릎관절을 굽힘이 일어나는 동안 골반의 보상 작용이 발생하지 않고 공기 주입 압력 조절기의 압력이 유지되도록 5초간 유지하고 10회를 반복하도록 시행하였다(Park 등, 2016; Kim 등; 2013; Comerford와 Mottram, 2012).

3 단계는 참가자는 테이블 가장자리에 엉덩관절을 걸치고 엎드린 자세에서 골반과 허리에 보상작용이 발생하지 않고 한쪽 고관절을 신전을 10회 반복하도록 시행하였다(Comerford와 Mottram, 2012). 모든 참가자는 각 단계가 운동이 보상작용 없이 수행이 되면 다음단계의 운동을 수행하였다.

**4. 분석방법**

본 실험의 모든 자료들은 SPSS (statistical package for the social science, Chicago, USA) Ver 19.0 통계프로그램을 이용하여 분석하였다. Shapiro-Wilk 검정을 이용하여 두 그룹의 정규분포를 확인하였다. 그룹 간 중재 전·후 균형과 RMQ 변화를 비교하기 위해 공분산분석(ANCOVA)을 이용하였으며 통계학적 유의수준은  $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

**III. 결과**

**1. 연구대상자의 일반적인 특징**

연구 대상자의 실험군의 평균연령은 35.94±5.17세, 평균신장 170.21±8.21 cm, 평균체중 70.35±8.37 kg, 평균유병기간은 5.83±0.35개월 이다. 대조군 평균연령은

34.86±4.98세, 평균 신장 169.92±7.94 cm, 평균 체중 69.63±9.82 kg, 평균유병기간 5.67±0.42이다. 두 군 간에 유의성을 검정하기 위해 Shapiro-Wilk 검정을 실시한 결과 두 군 모두 유의한 차이가 없었다( $p>.05$ )(Table 1).

**Table 1.** General characteristics of subjects

	Experimental group (n=20)	Control group (n=20)	P
Age (yrs)	35.94±5.17 <sup>a</sup>	34.86±4.98	.623
Height (cm)	170.21±8.21	169.92±7.94	.547
Weight (kg)	70.35±8.37	69.63±9.82	.521
LBP period	5.83±0.35	5.67±0.42	.401

<sup>a</sup>Mean±SD

Experimental group: transcranial direct current stimulation + lumbar motor control exercise, Control group: sham-transcranial direct current stimulation + Lumbar motor control exercise, LBP: low back pain

## 2. 신체중심 이동면적 변화 비교

그룹 간 중재 전과 후 눈을 감은 상태에서 신체중심 이동면적 비교에서 실험군이 대조군 보다 통계학적으로 유의하게 증가하였다( $p<.05$ )(Table 2).

## 3. 신체중심 이동길이 변화 비교

그룹 간 중재 전과 후 눈을 감은 상태에서 신체중심 이동 길이가 비교에서 실험군이 대조군 보다 통계학적으로 유의하게 증가하였다( $p<.05$ ) (Table 2).

## 4. RMQ 변화 비교

그룹 간 중재 전과 후 RMQ 점수 비교에서는 실험군이 대조군과 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 2).

**Table 2.** Comparison of static balance and RMQ between groups

	Experimental group (n=20)		Control group (n=20)		P
	Pre	Post	Pre	Post	
SA (cm <sup>2</sup> )	64.18± 7.25	35.61±2.98	60.46±9.21	40.76±4.01	.036
WPL (mm)	33.09±4.86	15.81±3.37	31.23±4.57	20.76±4.27	.046
RMQ (score)	5.92±2.25	2.43±1.94	5.87±2.93	3.52±2.61	.051

<sup>a</sup>Mean±SD

Experimental group: transcranial direct current stimulation + lumbar motor control exercise  
Control group: sham-transcranial direct current stimulation + Lumbar motor control exercise  
SA: surface area, WPL: whole path length  
RMQ: Roland-Morris low back pain questionnaire

## IV. 고찰

본 연구는 요부-회전-신전 하위그룹에게 tDCS와 요부 움직임 조절 운동이 정적균형과 요통 장애지수에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시하였다. 첫 번째 비교는 요부-회전-신전 하위그룹에 tDCS와 요부 MEC를 적용한 실험군이 MEC만 적용한 대조군과 비교하여 정적 균형에 효과가 있는지 알아보았다.

균형은 바닥면에 대해 신체의 무게중심을 최소한의 자세동요로 제어하려는 과정으로(Rose, 2011), 균형 능력은 통증, 근위의 약화, 관절 움직임 감소 및 고유수용성 감각기능의 저하 등에 의해 저하될 수 있으며(Rosén 등, 2005), 요통으로 고통 받는 사람들은 손상된 균형능력이 나타난다(Etemadi 등, 2016). 이에 요통환자는 몸통근육의 부족한 운동조절로 균형조절에 문제가 나타날 수 있다(Etemadi 등, 2016; Wand 등, 2011b).

Carpes 등(2008)의 연구에서 만성허리통증을 가진 여성을 대상으로 허리안정화운동 실시 후 허리골반부와 선자세의 안정성 모두 증가하였고, Sekendiz 등(2010)의 연구에서는 만성요통환자를 대상으로 스위스볼을 이용한 안정화 훈련이 체간 자세조절에 기여하는 심부의 복부의 근육들의 기능을 회복시킨다고 하였다. Salavati 등(2016)은 만성 비-특이적 요통환자를 대상으로 허리 안정화 훈련이 대조군과 비교하여 정적균형능력이 증가하였다고 하였다.

본 연구에서도 5주 동안 공기 주입 압력 조절기를 이용한 MCE를 적용한 결과 정적 균형능력이 향상됨을 알 수 있었고, tDCS와 요부 MCE를 적용한 실험군이 요부 MCE만 적용한 대조군과 비교해본 결과 더 효율적임을 알 수 있었다. tDCS는 근육의 일반적인 힘 생산 능력에서 영향을 미칠수 있다고 하였다(Hendy와 Kidgell, 2013; Kane 등, 2013). Cogiமானiane 등(2007)의 연구에 의하면 tDCS를 이용한 자극이 피로 인지 능력이 감소됨을 확인하였고, University of Kent in Canterbury의 Sports scientist Lex Mauger에서의 연구에서도 하지기능을 조절하는 운동피질을 자극하는 것이 피로도를 느끼지 않고 더 오래 페달을 움직일 수 있도록 한다고 하였다(Reardon, 2016). 허리통증을 가진 환자의 경우 운동성 저하로 근력 및 지구력이 감소되며, 이는 요부 근 피로도를 증가시킨다고 하였다(Kankaanpää 등, 2005). 본 연구의 결과 tDCS와 결합한 MCE가 운동 조절 능력의 향상과 운동 동안에 근육 피로도를 감소 시켜 균형능력 증가 영향을 미친 것으로 생각되어 진다.

MCE는 만성적인 요통환자를 대상으로 무작위 대조군 연구 및 사례 연구들에서 효과적인 것으로 나타났으며, MCE은 반복 학습으로 운동학습을 유도하여 체간 심부 근육의 정확한 조절 능력을 회복하고 유지하기 위한 방법으로 복횡근의 운동조절능력의 회복에 주로 이용되었다(Ferreira 등, 2007). 이 전의 연구들에서, 요부-회전-신전 하위 그룹에 공기 주입 압력 조절기를 이용한 MCE가 옆드린 자세에서 무릎을 구부리는 동작 동안에 골반의 대상작용을 감소시킬 수 있으며(Park 등, 2016), 공기 주입 압력 조절기를 이용한 ADIM은 외측 및 외측 햄스트링 활동과 척추기립근의 활성을 억제시켜 요부-회전-신전 하위그룹의 운동을 효율적으로 수행할 수 있다고 하였다(Park 등, 2011). MCE는 기능적 과제 동안에 전체 몸통근육의 협응과 심부 척추 근육의 정상 조절을 재설정하는데 사용된다(Macedo 등, 2009). 본 연구에서도 공기 주입 압력 조절기를 이용한 시각적 피드백이 허리뼈 분절안정화를 증가시켜 심부 척추근육을 활성화시켜 통증에 완화에 따른 균형능력의 향상에 효과를 가질 것으로 생각 된다.

이 연구의 두 번째 비교는 요부-회전-신전 하위그룹에 tDCS와 요부 MCE를 적용한 실험군과 MCE만 적용한 대조군을 비교하여 기능에 어떠한 효과를 있는지 알아보았다. 본 연구의 tDCS와 요부 MCE를 적용한 실험군은 RMQ 점수가 5.92±2.25에서 2.43±1.94로 MCE만 적용한 대조군은 5.87±2.93에서 3.52±2.61로 감소하였으나 두 그룹 간에 통계학적 유의한 차이는 없었다.

O'Sullivan 등(1997)의 연구에서 만성요통 환자들을 대상으로 안정화 운동치료를 실시한 후 Oswestry 요통장애 지수를 이용한 기능장애 정도를 측정할 결과 유의한 차이가 있었다고 보고하였으며, Koumantakis 등(2005)의 연구에서도 만성요통환자들을 대상으로 요부 안정화 훈련과 일반적인 운동군과의 비교에서 RMD에서 유의한 효과가 있다고 보고하였다. 또한 이전연구들에서 요통환자들을 대상으로 MCE가 요부기능장애 점수에서 유의하게 감소하였다(Stokes 등, 2011; Lederman, 2010). 본 연구의 MEC만 적용한 그룹에서도 유사한 결과를 확인 할 수 있었으며, tDCS와 요부 MEC의 적용이 더 효율적임을 알 수 있었다.

국소 근육은 척추 분절의 안정성을 유지하고 척추 움직임의 조절하는데 중요한 역할을 한다(Lstokes 등, 2011; Ederman, 2010). 따라서, MCE을 통한 허리 근육 훈련은 척추 움직임을 개선하고 안정성을 높인다고 하였다(Hick 등, 2005; Panjabi, 2003). 본 연구의 요부-회전-신전 하위 그룹의 대상자들에게 적용한 MCE는 척추

에 움직이는 동안 대상작용을 감소시키며 심부근육 강화에 초점을 맞추어 구성 되었으며, tDCS와 결합한 MCE는 근육의 피로를 감소시키며, 운동피질의 활성화시켜 척추분절 안정성에 기여하였을 것으로 생각된다.

## V. 결 론

본 연구는 요부-회전-신전 하위그룹에 환자 40명을 대상으로 tDCS와 MCE 적용한 실험군과 sham-tDCS와 MCE 적용한 대조군으로 분류하여 5주 동안 MEC 실시하고 운동 전후결과 값을 측정할 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 그룹 간 중재 전후 눈을 감은 상태에서 서기를 수행하는 동안 신체중심이동면적과 이동거리 비교에서 실험군이 대조군과 비교하여 통계학적 유의한 차이가 있었다( $p < .05$ ).
2. RMQ 점수 비교에서 실험군이 대조군과 통계학적 유의한 차이가 없었다( $p > .05$ ). 따라서 tDCS와 요부 MCE가 만성요통을 가진 환자들에게 임상적으로 의의가 있다고 생각된다. 하지만 대상자의 요부-회전-신전 하위그룹에 국한되어 적용되었기 때문에 좀 더 많은 그룹에 적용하여 연구할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- Airaksinen O, Brox JJ, Cedraschi C, et al. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. *Eur Spine J.* 2006;15(S2):192-300.
- Carpes FP, Reinehr FB, Mota CB. Effects of a program for trunk strength and stability on pain, low back and pelvis kinematics, and body balance: a pilot study. *J Bodyw Mov Ther.* 2008;12(1):22-30.
- Cogiamanian F, Marceglia S, Ardolino G, et al. Improved isometric force endurance after transcranial direct current stimulation over the human motor cortical areas. *Eur J Neurosci.* 2007;26(1):242-249.
- Comerford M, Mottram S. *Kinetic Control.* Elsevier Australia. 2012.
- Edwards DJ, Cortes M, Wortman-Jutt S, et al. *Transcranial Direct Current Stimulation and*

- Sports Performance. *Front Hum Neurosci.* 2017;11:94-104.
- Etemadi Y, Salavati M, Arab AM, et al. Balance recovery reactions in individuals with recurrent nonspecific low back pain: Effect of attention. *Gait & Posture.* 2016;44:123-127.
- Ferreira ML, Ferreira PH, Latimer J, et al. Comparison of general exercise, motor control exercise and spinal manipulative therapy for chronic low back pain: A randomized trial. *Pain.* 2007;131(1):31-37.
- Fersum KV, Dankaerts W, O'Sullivan PB, et al. Integration of subclassification strategies in randomised controlled clinical trials evaluating manual therapy treatment and exercise therapy for non-specific chronic low back pain: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2010;44(14):1054-1062.
- Flood A, Waddington G, Keegan RJ, et al. The effects of elevated pain inhibition on endurance exercise performance. *PeerJ.* 2017;5:3028-3018.
- Gombatto SP, Collins DR, Sahrman SA, et al. Patterns of lumbar region movement during trunk lateral bending in 2 subgroups of people with low back pain. *Phys Ther.* 2007;87(4):441-454.
- Hancock MJ, Maher CG, Latimer J, et al. Systematic review of tests to identify the disc, SIJ or facet joint as the source of low back pain. *Eur Spine J.* 2007;16(10):1539-1550.
- Hendy AM, Kidgell DJ. Anodal tDCS Applied during strength training enhances motor cortical plasticity. *Medi Sci Sports Exerc.* 2013;45(9):1721-1729.
- Hicks GE, Fritz JM, Delitto A, et al. Preliminary development of a clinical prediction rule for determining which patients with low back pain will respond to a stabilization exercise program. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(9):1753-1762.
- Hodges PW. Core stability exercise in chronic low back pain. *Orthop Clin North Am.* 2003;34(2):245-254.
- Hodges PW, Richardson CA. Relationship between limb movement speed and associated contraction of the trunk muscles. *Ergonomics.* 1997;40(11):1220-1230.
- Kaminski E, Steele CJ, Hoff M, et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) over primary motor cortex leg area promotes dynamic balance task performance. *Clin Neurophysiol.* 2016;127(6):2455-2462.
- Kan B, Dundas JE, Nosaka K. Effect of transcranial direct current stimulation on elbow flexor maximal voluntary isometric strength and endurance. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2013;38(7):734-739.
- Kankaanpää M, Colier WN, Taimela S, et al. Back extensor muscle oxygenation and fatigability in healthy subjects and low back pain patients during dynamic back extension exertion. *Pathophysiology.* 2005;12(4):267-273.
- Kim SH, Kwon OY, Park KN, et al. Comparison of erector spinae and hamstring muscle activities and lumbar motion during standing knee flexion in subjects with and without lumbar extension rotation syndrome. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013;23(6):1311-1316.
- Koumantakis GA, Watson PJ, Oldham JA. Trunk muscle stabilization training plus general exercise versus general exercise only: randomized controlled trial of patients with recurrent low back pain. *Phys Ther.* 2005;85(3):209-225.
- Lederman E. The myth of core stability. *J Bodyw Mov Ther.* 2010;14(1):84-98.
- Luomajoki H, Kool J, de Bruin ED, et al. Improvement in low back movement control, decreased pain and disability, resulting from specific exercise intervention. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2010;23(2):11.
- Macedo LG, Latimer J, Maher CG, et al. Motor control or graded activity exercises for chronic low back pain? A randomised controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord.* 2008;9(1):79-89.

- Macedo LG, Saragiotto BT, Yamato TP, et al. Motor control exercise for acute non-specific lowback pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016 10;(2):1-61.
- Madhavan S, Stinear JW. Focal and bidirectional modulation of lower limb motor cortex using anodal transcranial direct current stimulation. *BRS.* 2010;3(1):42-50.
- Manchikanti L, Singh V, Datta S, et al. Comprehensive review of epidemiology, scope, and impact of spinal pain. *Pain physician.* 2009;12(4):35-70.
- Marlow NM, Bonilha HS, Short EB. Efficacy of transcranial direct current stimulation and repetitive transcranial magnetic stimulation for treating fibromyalgia syndrome: A systematic review. *Pain Pract.* 2012;13(2):131-145.
- Montenegro R, Okano A, Gurgel J, et al. Motor cortex tDCS does not improve strength performance in healthy subjects. *Motriz, Rio Claro.* 2015;21(2):185-193.
- Moseley LG, Zalucki NM, Wiech K. Tactile discrimination, but not tactile stimulation alone, reduces chronic limb pain. *Pain.* 2008;137(3):600-608.
- O'Connell NE, Wand BM. Transcranial direct current brain stimulation for chronic pain. *BMJ.* 2015;350(3):1774-1774.
- O'Sullivan PB, Phytz GD, Twomey LT, et al. Evaluation of specific stabilizing exercise in the treatment of chronic lowback pain with radiologic diagnosis of spondylolysis or spondylolisthesis. *Spine.* 1997;22(24):2959-2967.
- Ouellette AL, Liston MB, Chang W-J, et al. Safety and feasibility of transcranial direct current stimulation(tDCS) combined with sensorimotor retraining in chronic low back pain: a protocol for a pilot randomised controlled trial. *BMJ Open.* 2017;7(8):3080-3986.
- O'Connell NE, Cossar J, Marston L, et al. Transcranial direct current stimulation of the motor cortex in the treatment of chronic nonspecific low back pain: A randomized, double-blind exploratory study. *The Clin J Pain.* 2013;29(1):26-34.
- Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(4):371-379.
- Park KN, Cynn HS, Kwon OY, et al. Effects of the abdominal drawing-in maneuver on muscle activity, pelvic motions, and knee flexion during active prone knee flexion in patients with lumbar extension rotation syndrome. *YAPMR.* 2011;92(9):1477-1483.
- Park KN, Kwon OY, Yi CH, et al. Effects of motor control exercise Vs muscle stretching exercise on reducing compensatory lumbopelvic motions and low back pain: A randomized trial. *J Manipulative Physiol Ther.* 2016;39(8):576-585.
- Reardon S. Performance boost paves way for "brain doping": Electrical stimulation seems to boost endurance in preliminary studies. *Nature.* 2016;531(7594):283-284.
- Rose DJ. Reducing the risk of falls among older adults: the fall proof balance and mobility program. *Curr Sports Med Rep.* 2011;10(3):4-15.
- Rosén E, Sunnerhagen KS, Kreuter M. Fear of falling, balance, and gait velocity in patients with stroke. *Physiother Theory Pract.* 2005;21(2):113-120.
- Sahrmann S. Movement system impairment syndromes of the extremity, cervical and thoracic spines. Elsevierhealth Sciences. 2016
- Salavati M, Akhbari B, Takamjani IE, et al. Effect of spinal stabilization exercise on dynamic postural control and visual dependency in subjects with chronic non-specific low back pain. *J Bodyw Mov Ther.* 2016;20(2):441-448.
- Saragiotto BT, Maher CG, Moseley AM, et al. A systematic review reveals that the credibility of subgroup claims in low back pain trials was low. *J Clin Epidemiol.* 2016;79:3-9.

정용식 등. tDCS와 요추 움직임 조절 운동이 만성요통환자의 정적균형과 요통장애지수에 미치는 영향

- Schabrun SM, Jones E, Cancino ELE, et al. Targeting chronic recurrent low back pain from the top-down and the bottom-up: A combined transcranial direct current stimulation and peripheral electrical stimulation intervention. *BRS*. 2014;30;7(3):451-459.
- Sekendiz B, Cuğ M, Korkusuz F. Effects of Swiss-ball core strength training on strength, endurance, flexibility, and balance in sedentary women. *J Strength Cond Res*. 2010;24(11):3032-3040.
- Stokes IAF, Gardner-Morse MG, Henry SM. Abdominal muscle activation increases lumbar spinal stability: Analysis of contributions of different muscle groups. *Clin Biomech*. 2011;26(8):797-803.
- Thibaut A, Chatelle C, Gosseries O, et al. Transcranial direct current stimulation: A new tool for neurostimulation. *Rev Neurol*. 2013;169(2):108-120.
- Van Dillen LR, Sahrman SA, Norton BJ, et al. The effect of modifying patient-preferred spinal movement and alignment during symptom testing in patients with low back pain: A preliminary report. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003;84(3):313-322.
- Wand BM, O'Connell NE, Di Pietro F. Managing chronic non-specific low back pain with a sensorimotor retraining approach: Exploratory multiple-baseline study of 3 participants. *Phys Ther*. 2011;91(4):535-546.
- Wand BM, Parkitny L, O'Connell NE, et al. Cortical changes in chronic low back pain: Current state of the art and implications for clinical practice. *Man Ther*. 2011;16(1):15-20.
- Wälti P, Kool J, Luomajoki H. Short-term effect on pain and function of neurophysiological education and sensorimotor retraining compared to usual physiotherapy in patients with chronic or recurrent non-specific low back pain, a pilot randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;16(83):2-11.
- Zaghi S, Thiele B, Pimentel D, et al. Assessment and treatment of pain with non-invasive cortical stimulation. *Restor Neurol Neurosci*. 2011;29(6):439-451.