

Original Article

경두개직류전류자극이 무릎관절 전치환술 환자의
통증 및 균형 능력에 미치는 영향

이재홍, 민동기, 이상재¹⁾

대구보건대학교 물리치료학과 교수, 대구 더열린병원 물리치료실¹⁾

The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Pain and Balance of Total Knee Arthroplasty Patients

Jae-hong Lee, Dong-ki Min, Sang-jae Lee¹⁾

Dept. of Physical Therapy, Daegu Health College

Dept. of Physical Therapy, Daegu The Open Hospital¹⁾

ABSTRACT

Background: The purpose of this study was to examine the effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on the pain and balance of patients who receive total knee arthroplasty (TKA).

Methods: This study subjects were 24 patients in Hospital T, located in Daegu, South Korea who received TKA after being diagnosed with degenerative arthritis. The subjects were randomly divided into and experimental group and a control group, with each group including 12 patients. Both group received superficial thermal therapy, interferential current therapy (ICT), and continue passive motion (CPM), which are conventional knee therapy on the knee joint. The experimental group received the tDCS treatment three times a week for three weeks, from October 1st to October 20th. The visual analogue scale and Wii Balance Board system were used to measure the pain and balancing ability, respectively, of both groups. In the statistical result analysis, to compare about pre and post test difference in each groups was accomplished. Statistical analysis of independent t-test and paired t-test were conducted using SPSS version 23.0.

Results: After three weeks of intervention, there were significantly difference in balance ability in pre and post test in the tDCS group. VAS decreased significantly in both groups($p<.05$), There was a significantly difference in pain, balance ability in the tDCS group compared to the sham group.

Conclusion: These results indicate that applying tDCS together with conventional knee joint therapy for TKA patients is effective in promoting the patients' recovery.

Key Words:

Balance, Pain, Total Knee Arthroplasty, Transcranial Direct Current Stimulation(tDCS)

I. 서론

통계학적으로 우리나라 향후 미래 인구에서 65세 이상 고령인구의 구성비는 2020년 15.7%, 2030년 24.3%로 점차 높아지고 있는 추세이다(Statistical Office, 2011). 이로 인한 퇴행성관절염(degenerative arthritis)은 노인들이 가장 많이 경험하게 되는 노인 질병으로써 20% 가량이 퇴행성 관절염의 영향을 받으며, 나이가 들수록 더욱 많은 사람들이 경험하게 된다. 퇴행성관절염은 일반적으로 관절연골의 점차적인 변형을 시작으로 퇴행하기 시작하여, 연골의 비대와 활액막의 이차적 염증 반응을 특징으로 관절의 변형을 유발한다(Min 등, 2011).

또한, 통증과 신체적 기능 상실로 삶의 질이 떨어지며, 관절 강직과 변형으로 근력 및 균형 능력의 저하를 초래하고, 이로 인한 일상생활 수행에 많은 제한이 오게 되고 전반적인 신체기능의 저하를 가져오게 된다(Ryan과 Rowe, 2006). 이러한 퇴행성관절염의 치료방법으로 약물치료, 주사치료, 물리치료와 같은 보전적인 방법이 있으나, 정도가 심하여 더 이상 무릎관절의 제 기능을 할 수 없고, 통증 정도가 너무 심한 경우 무릎관절 전치환술(total knee arthroplasty; TKA)을 실시한다(Crowninshield 등, 2006).

TKA를 받은 노인들은 신경계 퇴화와 함께 무릎관절 기능약화로 인해 근력 및 균형능력을 수행하는데 많은 어려움을 가지며, 손상된 운동 감각과 균형감각을 회복하여 최대한 빠른 기능회복을 하는 것이 매우 중요하다(Shin, 2011). 또한, 고유수용성감각의 저하가 나타나고 이를 치료하기 위한 근력 운동과 균형 운동을 실시하는 것이 매우 중요하며, 고유수용성감각은 무릎관절 균형능력에 큰 영향을 미치므로 낙상 예방이 중요한 노인들에게 중요한 회복 요소이다(Hoffman과 Payne, 1995).

균형이란 움직이는 동안 무게중심을 유지하도록 조절하는 능력으로 정적 균형과 동적 균형으로 나눈다(Anne 등, 2006). 고유수용성감각, 시각, 평행감각과 하지근육의 안정적인 수축과 조절이 필요하고(Butler 등, 2008), TKA를 실시한 대상자는 초기부터 균형능력 향상을 위한 노력이 필요하다고 하였다(Rahmann 등, 2009; Stitik 등, 2005). 균형능력 저하는 환자에게 상실감을 주며 보행 능력 또한 떨어지게 되며, 환자의 삶의 질에도 큰 영향을 미친다(Lee 등 2022). 비효율적인 보행 형태와 균형능력 저하는 낙상의 위험을 증가시켜 TKA를 실시한 환자들에게 큰 문제를 일으킬 수 있다(Min과 Lee,

2019).

균형능력을 회복시키기 위한 방법으로 경두개직류전류 자극(transcranial direct current stimulation; tDCS)은 뇌의 가역성 및 기능 증진을 위한 방법으로 효과적인 비침습적 뇌 자극 기법이며, 두피에 약한 전류를 흘려보내어 뇌 국소부위 신경원의 흥분성을 변화시키는 방법이다(Liebetanz 등, 2002; Nitsche와 Paulus, 2000).

tDCS의 이러한 적용을 통해 말초신경과 중추신경의 정보 입력이 시냅스 가소성 및 기술 학습을 향상시키고(Zandvliet 등, 2018; Stagg 등 2011), 운동 수행 능력을 높여 준다(Huang 등 2019). tDCS는 적용방법이 간편하고, 선택적으로 대뇌피질의 기능적인 변화를 유도, 지속할 수 있으며, 전기장이 두피와 두개를 통과하여 대뇌의 흥분성을 조절함으로써 뇌의 기능을 변화시키는 기전으로 다양한 분야의 연구에 사용되고 있다(Wagner 등, 2007).

근래에 주요하게 사용되고 있는 tDCS 적용방법은 1~2mA의 전류 강도, 25~35cm²의 전극 크기, 자극시간 20~30분이 일반화되어 사용되고 있으며(Poreisz 등, 2007), 사용 후 약간의 따끔거림, 두통, 피로감 등이 유발될 수 있으나 전기자극 후 금방 완화되어 안전하게 사용된다(Antal 등, 2007). 선행연구로 건강한 성인을 대상으로 다양한 대뇌피질 부위에 양극 tDCS를 적용한 결과 일차운동피질(primary motor cortex)에서는 지각 및 통증역치 증가가 있다고 하였고(Boggio 등, 2008), 일차감각피질(primary sensory cortex)에서는 공간 능력향상을 보고하였다(Ragert 등 2008).

이와 같이 다양한 분야에 tDCS이 적용되고 효과에 많은 연구들이 진행되고 있지만, 주로 감각 기능에 대한 연구가 대부분이며(Min, 2013), 대상자들 또한 뇌졸중, 인지장애, 파킨슨 등 신경계 질환을 가진 환자들에게 주로 적용하였고(An 등 2019; Kim, 2019), 근골격계 질환 및 수술 환자들과 통증 및 균형능력에 대한 연구는 미비한 편이다.

따라서 본 연구의 목적은 tDCS 를 TKA 환자에게 적용하였을 때 환자의 무릎관절 통증 및 균형능력에 미치는 영향을 알아보고 실제 임상적 치료에 근거 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구대상은 대구광역시에 위치한 T병원에서 퇴행성관절염으로 인한 양쪽 TKA를 받고 7일이 경과한 입원 환자 24명을 대상으로 2022년 10월 1일부터 10월 20일까지 3주간 중재를 실시하였다. 연구의 목적 및 방법을 충분히 설명하고, 대상자들의 자발적 참여 동의를 구하였다.

연구의 참여와 중단은 스스로 결정할 수 있으며 그 외 연구에 사용되는 개인정보는 철저한 익명과 비밀보장을 약속하였다. 그리고 연구 도중 언제라도 중단 할 수 있으며, 혹시 있을 부작용에 대해서는 적극적인 책임을 보장하였다.

연구대상자 선정기준은 첫째, 퇴행성관절염으로 진단을 받고 양쪽 TKA를 시행한 65세 이상의 환자 둘째, 신경학적 이상이 없는 자 셋째, 수술 후 염증반응 및 다른 관절 문제가 없는 자 넷째. 연구목적 및 방법을 잘 숙지하고, 중재 수행에 어려움이 없는 자로 하였다.

연구대상자 제외기준은 대상자 중 무릎관절 이외 다른 관절의 질환을 가진 경우, 신경학적 이상이 있는 경우, tDCS 적용에 거부반응을 보이는 경우는 제외하였다.

2. 중재 방법

본 연구는 정형외과 전문병원에서 TKA을 받은 입원환자를 대상으로 중재 전·후 비교로 하는 실험 연구로 진행되었다. TKA을 받은 총 24명의 대상자를 컴퓨터를 사용하여, 1번(실험군), 2번(대조군)을 추첨하는 무작위 배치법으로 tDCS 자극군 12명, tDCS 위자극군 12명으로 구성하였으며, 총 3주간 주 3회 실시하였다.

tDCS 발생장치로 Phoresor II Auto (PM850, IOMED, USA)를 사용하였으며, 두피에 부착하는 두 개의 전극 크기는 각각 25cm²(5cm×5cm), 전류 밀도는 .08mA/cm²으로 스펀지 전극을 사용하였다. 전극은 모두 .9% 생리식염수에 적신 후 밴드를 이용해 부착 부위에 환자가 불편하지 않을 정도로 최대한 밀착하여 부착하였다 (Figure 1).

1) 공통적 중재 방법

tDCS 자극군과 tDCS 위자극군 모두 3주 동안 동일하게 적용한 중재 방법으로 표층열치료, 간섭전류치료(interferential current therapy; ICT)는 하루 2회 각 15분 실시하였고, 복합운동치료(continue passive motion; CPM)는 하루 1회 30분 치료하였다.



Figure 1. Transcranial direct current stimulation(tDCS)

2) tDCS 자극군 중재 방법

양극 tDCS 자극군의 전극 부착 부위로 일차운동피질(primary motor cortex, M1)에는 10-20 국제 뇌파 검사 시스템에 따라 C3에 부착시키고, 음극 전극은 반대측 안와부 상부(supraorbital area)에 부착하였다. 전류강도는 1mA, 자극시간은 15분으로 설정하였다(Sohn 등, 2013; Min, 2013)(Figure 2). tDCS를 대뇌피질 부위에 적용한 결과 지각 및 통증 역치의 증가가 있었다는 보고가 있었다(Boggio 등, 2008).



Figure 2. Transcranial direct current stimulation(tDCS) measuring position (Left: anode, Right: cathode)

3) tDCS 위자극군 중재 방법

tDCS 위자극군은 자극군과 똑같은 방법으로 양극과 음극을 위치한 다음, 30초간 인지할 수 있는 1mA의 자극을 준 후 곧 자극을 소멸시켜 15분 간 전극을 부착한 상태로 자극군과 같은 자세로 안정을 취하도록 하였다 (Min, 2013; Gandiga 등, 2006).

3. 측정 도구

1) 통증 측정

대상자의 통증 정도를 시각적으로 표현하는 방법으로 시각적 통증 강도 척도(visual analogue scale: VAS)를 사용하였다. 10cm 길이의 선으로 되어있는 기준표에 왼쪽 끝에는 통증 없음을 0으로 나타내고, 오른쪽 끝에 최대 통증을 10으로 나타내어 대상자가 느끼는 통증 정도를 기록한다(Brodie 등, 1990)(Figure 3).

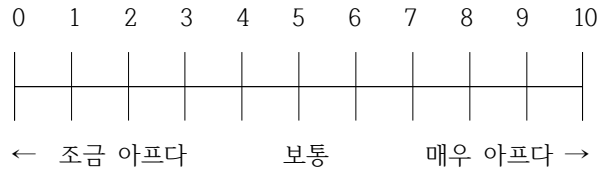


Figure 3. Visual analogue scale(VAS)

2) 균형 측정

본 연구의 측정 도구는 대상자의 좌, 우 체중지지 및 외발서기 균형능력을 측정하기 위해 위보드 밸런스 시스템(Nintendo Wii Balance Board, RVL-021, JAPAN)을 이용하여 실시하였다(Figure 4).

몸의 중심이 어느 방향으로 치우쳐져 있는지 균형을 측정하여 자신의 몸 상태를 확인할 수 있는 도구이며, 오른쪽과 왼쪽의 차이를 절대값으로 환산하여 0에 가까울수록 몸의 중심이 균형을 이룬다. 측정을 위해서 대상자를 맨발로 밸런스 보드(Balance Board)에 올라서게 한 후 편안한 자세로 정면을 바라보게 하였다.

또한, 외발서기는 환측 발을 밸런스보드의 중심에 위치하게 한 후, 균형 프로그램의 측정이 진행되는 동안 정면을 바라보고 자세 흔들림을 최소화하며 중심을 잡게 하였고, 자세의 흔들림이 적을수록 100%에 가까운 수치가 측정된다(Figure 5). 본 연구에서는 양쪽 모두 수술을 실시하였으므로, 먼저 수술을 실시한 다리의 균형 능력 측정하였다. 검사-재검사 신뢰도는 .86이다(Ross 등, 2010).



Figure 4. Nintendo Wii balance board



Figure 5. Measurement of weight bearing distribution (top), Measurement of standing ability on one-leg (bottom)

3. 분석방법

수집된 자료의 통계학적 분석은 SPSS version 23 프로그램(IBM SPSS Statistics, IBM Co, USA)을 이용하여 측정된 값에 대하여 분석하였다.

대상자의 일반적 특성은 카이제곱-검정(chi-square test)와 독립표본 t-검정(Independent t-test)를 실시하였다. 통증과 균형 능력은 그룹 내 중재 전과 후 변화량을 비교하기 위해 대응표본 t-검정(paired t-test)를 사용하여, 그룹 간 중재 후 변화량을 비교하기 위해 독립표본 t-검정을 실시하였다. 모든 통계학적 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

III. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적인 특성

본 연구에 참여한 대상자는 TKA를 받은 65세 이상의 노인들로 총 24명으로 구성되었다. tDCS 자극군(stimulation group) 12명과 tDCS 위자극군(sham group) 12명으로 구성되었으며, 두 군 간의 특성에 유의한 차이가 없었으므로($p>.05$), 두 군 간 일반적 특성은 동질한 것으로 나타났다(Table 1).

Table 1.
General characteristics of all the subjects

Groups	EG(n=12)	CG(n=12)	t
Sex(M/F)	2 / 10	2 / 10	
Age(yrs)	72.83±7.27	70.83±5.49	.760
Height(cm)	155.16±7.01	153.75±5.62	.546
Weight(kg)	59.08±7.91	57.33±9.39	.494

^aMean±SD *p<.05 EG: Transcranial direct current stimulation group, CG: Sham group

2. 통증 수준

각 그룹의 통증 정도 점수는 다음과 같다. tDCS 자극군의 중재 전 7.41점(±1.97), 중재 후 2.91점(±1.31)으로 나타났고, tDCS 위자극군은 중재 전 7.50점(±1.44), 중재 후 5.08점(±1.08)으로 나타났고, 두 그룹 모두 중재 전·후 그룹 내 검사에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었고(p<.05), 중재 후 그룹 간에 차이 값 또한 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<.05)(Table 2).

Table 2.
Comparison of pain levels between each groups

Groups	Pre-test	Post-test	Difference value	t
EG	7.41±1.97	2.91±1.31	4.50±2.19	7.102*
CG	7.50±1.44	5.08±1.08	2.41±1.88	4.451*
t	.118		-2.497*	

^aMean(score)±SD, *p<.05, EG: Transcranial direct current stimulation group, CG: Sham group

3. 균형 능력

대상자의 균형 능력은 첫째로 좌, 우 체중지지 분포를 비교 분석하였고, 둘째로 외발서기 능력을 비교 분석하였다. 각 그룹의 균형 능력 측정값은 다음과 같다(Table 3, 4).

1) 각 그룹의 좌, 우 체중지지 분포 비교

각 그룹의 좌, 우 체중지지 분포 비교는 다음과 같다. tDCS 자극군의 중재 전 11.91(±6.52), 중재 후 4.38(±3.07)으로 나타났고, tDCS 위자극군은 중재 전 10.75(±7.72), 중재 후 9.81(±5.63)으로 나타났고,

tDCS 자극군에서 중재 전·후 각 그룹 내 유의한 차이가 있었고(p<.05), tDCS 자극군과 tDCS 위자극군의 중재 후 그룹 간에 차이 값에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<.05)(Table 3).

Table 3.
Comparison of weight bearing between each groups

Groups	Pre-test	Post-test	difference value	t
EG	11.91±6.52	4.38±3.07	7.53±6.00	4.343*
CG	10.75±7.72	9.81±5.63	.93±4.53	.713
t	.400		3.037*	

^aMean(score)±SD, *p<.05, EG: Transcranial direct current stimulation group, CG: Sham group

2) 각 그룹의 외발서기 능력 비교

각 그룹의 외발서기 능력 비교는 다음과 같다. tDCS 자극군의 중재 전 61.26(±8.59), 중재 후 75.47(±8.39)으로 나타났고, tDCS 위자극군은 중재 전 59.01(±8.30), 중재 후 62.80(±10.61)으로 나타났고, tDCS 자극군에서 중재 전·후 각 그룹 내 유의한 차이가 있었고(p<.05), tDCS 자극군과 tDCS 위자극군의 중재 후 그룹 간에 차이 값에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<.05)(Table 4).

Table 4.
Comparison of one-leg standing between each groups

Groups	Pre-test	Post-test	difference value	t
EG	61.26±8.59	75.47±8.39	14.20±11.86	-4.149*
CG	59.01±8.30	62.80±10.61	3.79±11.12	-1.181
t	.652		2.219*	

^aMean(score)±SD, *p<.05, EG: Transcranial direct current stimulation group, CG: Sham group

IV. 고찰

본 연구는 TKA 환자들을 대상으로 tDCS를 적용한 그룹과 tDCS 위자극군의 비교를 통해 통증과 균형 능력에 대한 효과가 있는지 알아보고자 하였다. tDCS는 최근 물리치료 및 작업치료와 같은 재활치료에서 많은 관심을 받고 있는 치료 방법 중 하나로 집중력 및 단기기억 증

진, 실행기능 증진, 시공간 능력 증진 등의 기능에 효과적인 치료로 알려져 있다(Meinzer 등, 2015; Litvan 등, 2012). 이러한 tDCS를 사용한 선행연구로 tDCS가 감각 기능에 미치는 영향(Min, 2013), 뇌졸중, 경도인지장애 환자에게 적용한 균형과 낙상에 관한 연구 등 다양하게 사용되고 있으나(An 등 2019; Kim, 2019), 균형이 중요한 영향을 미치는 무릎관절 환자 및 근골격계 질환 환자에게 적용한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

이에 본 연구는 TKA 환자들에게 기존의 일반적인 무릎관절 치료와 병행하여 tDCS를 적용하였을 때와 허위로 tDCS를 적용하였을 때, 중재 전·후 통증과 균형 능력을 측정하였다. VAS와 Wii balance board를 사용하여 측정된 결과 중재 전·후 통증과 균형 능력의 유의한 차이를 나타내었다.

첫째로 통증 정도에서는 두 그룹 모두 중재 전보다 중재 후 유의한 증가가 있었고, 특히 tDCS 자극군에서 중재 후 차이 값에서 유의한 차이가 나타났($p < .05$). 일반인에게 M1영역에 tDCS 자극 시 Aδ와 C섬유 즉, 빠른 통증, 느린 통증, 온각, 냉각의 작은 신경섬유들의 역치가 증가함을 보였다는 보고하였고(Min, 2013), 만성 통증 환자를 대상으로 tDCS 자극 시 현저한 통증 감소 효과를 보였다는 연구와 일치하였다(Antal 등, 2010). 이러한 결과는 tDCS가 시상(thalamic) 및 시상밑핵(subthalamic nuclei)과 같은 통증 조절 신경과 척수의 내림경로에 억제성 조절과 변화를 유발시켜 통증 역치가 증가된 것으로 보여진다(Fregni과 Pascual-Leone, 2007).

이는 tDCS 적용이 무릎관절 통증에도 의미 있는 효과를 나타내는 것으로 판단되고, 중재 후 tDCS 자극군에서 유의한 차이를 나타낸 결과를 보였($p < .05$). tDCS 위자극군 그룹 내 중재 전·후 비교에서도 통계학적으로 유의한 효과를 나타내는 것으로 보이는 이유는 수술 후 급성 통증은 시간이 지남에 따라 감소하고, 3주간 약물 또는 주사치료 등 통증을 감소하기 위한 개인적인 노력들이 있었을 것이라 판단되고, 수술 후 3주에는 상처치유와 수술 부위에 대한 적응 등으로 통증이 크게 감소하는 시점이라고 한다(Yun 과 Lee, 2015).

균형 능력에서는 먼저 좌, 우 체중지지 분포 비교에서 tDCS 자극군에서 중재 전·후 비교에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었고, 각 그룹 간 중재 후 차이 값 비교에서도 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다($p < .05$). 다음 외발서기 능력 비교에서 또한, tDCS 자극군에서 중재 전·후 비교에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었고, 각 그룹 간 중재 후 차이 값 비교에서도

통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다($p < .05$). 뇌졸중, 파킨슨 환자를 대상으로 균형 증진 및 낙상 관련 체력이 증진하였다는 보고와 일치하는 결과이다(An, 2019; Hadoush 등, 2018).

이는 tDCS 적용이 대뇌의 운동결실 영역을 활성화시켜(Kwon 등, 2008), 유발된 흥분성의 변화가 하지의 운동결실에도 영향을 미쳐 걸질 척수로의 연결을 강화하고 기능회복에 긍정적인 영향을 미친다(Talelli와 Rothwell, 2006). 대뇌에 tDCS를 실시하는 동안 운동효과를 효과적으로 증진시킬 수 있으며, 이러한 자극들은 불쾌한 통증 없이 뇌 자극을 가능하게 하였으며, 자극 부위에 따라 다양한 기능적인 변화가 일어나 환자들의 기능 개선에 매우 효과적으로 사용할 수 있다는 연구 결과와 일치하는 결과로 tDCS 적용이 기능 개선을 통한 균형능력 향상에 효과적인 것으로 판단된다(Boggio 등, 2006). 또한, 운동피질 영역뿐만 아니라 소뇌 영역에도 긍정적인 영향을 보여, 균형능력 향상을 위해서 소뇌의 자세 조절 능력이 중요한 역할을 한 것으로 보여진다(Yosephi, 2018).

일상생활에서 자세를 유지하고 원하는 동작을 나타내기 위해서는 안정된 자세와 어떠한 힘에도 신체를 유지할 수 있는 균형능력이 매우 중요하며, 특히 무릎관절과 같은 수술을 받은 환자들에게는 매우 중요한 요소이다(Redfern 등, 2001). 노인과 수술을 실시한 환자들에게 낙상은 매우 위험한 요인이며, 이차적인 문제가 일어나지 않도록 균형 능력을 키우는 것이 중요한 치료방법이라고 판단된다(Choi 등, 2011). tDCS를 통한 양발서기 및 외발서기 균형능력 향상은 TKA 환자들에게 낙상에 대한 두려움 해소와 보행 및 일상생활에 더욱 자신감을 갖게 될 것이라 판단된다.

따라서 이상의 결과들을 종합하여 볼 때, TKA 환자들에게 tDCS 적용이 통증 및 균형능력에 효과적인 영향을 나타내었다고 판단된다. 이를 기반으로 무릎관절 치료와 함께 다양한 중재와 프로토콜이 임상에서 사용되길 기대한다.

본 연구에서의 제한점은 TKA를 실시한 대상자 중 오직 24명의 대상으로 하였기 때문에 모든 환자들을 일반화하는 데는 부족함이 있으며, 향후 대상자의 수를 확대하여 연구를 반복할 필요가 있다. 대상자들의 회복을 위한 개인적인 노력과 다른 혼란 변수들을 좀 더 체계적으로 통제하여 세밀한 연구 설계를 하여 적용해보고, tDCS 적용으로 통증 및 균형능력 외에 또 다른 결과값을 측정해보고 통계학적으로 비교해 볼 것을 제안한다.

V. 결론

본 연구는 65세 이상의 양쪽 TKA를 실시한 환자 24명을 대상으로 tDCS 자극군 12명, tDCS 위자극군 12명으로 3주간 주 3회의 tDCS를 적용하였을 때, 무릎관절 통증 및 균형에 미치는 영향에 대해 알아보려고 연구하였다. 전체 결과들을 종합하여 볼 때, 그에 따른 결론은 다음과 같다.

1. tDCS 자극군의 균형능력에서 중재 전 측정 보다 중재 후 유의한 차이를 나타내었다.
2. 두 그룹 간 통증 정도에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다.
3. 두 그룹 간 균형능력에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다.

따라서 TKA 환자에게 tDCS 적용이 무릎관절 통증 및 균형 회복에 의미 있는 치료방법이며 임상에서 널리 사용되길 적극 제안한다.

참고문헌

- Anne SC, Marjorie H, Woollacott. Motor control theory and practical applications. Seoul. 2th ed. 2006.
- Antal A, Terney D, Poreisz C, et al. Towards unravelling task-related modulations of neuroplastic changes induced in the human motor cortex. *Eur J Neurosci.* 2007;26:2687-2691. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2007.05896.x>
- Antal A, Terney D, Kuhn S, et al. Andal transcranial direct current stimulation of the motor cortex ameliorates chronic pain and reduces short intracortical inhibition. *J Pain Sympt Manage.* 2010;39(5):890-903. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2009.09.023>
- An TK, Kwon, HC, Lee SM, et al. The effects of transcranial direct current stimulation on balance, fall efficacy, and fall-related fitness in stroke patient's through a virtual reality rehabilitation program. *J of Kor Soc Inter Med.* 2019;7(1):9-17. <https://doi.org/10.15268/ksim.2019.7.1.009>
- Boggio PS, Castro LO, Savagim EA, et al. Enhancement of non-dominant hand motor function by anodal transcranial direct current stimulation. *Neurosci Lett.* 2006;404 (1-2):232-236. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.05.051>
- Boggio PS, Zaghi S, Lopes M, et al. Modulatory effects of anodal transcranial direct current stimulation on perception and pain thresholds in healthy volunteers. *Eur J Neurol.* 2008;15:1124-1130. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2008.02270.x>
- Brodie DJ, Burnett JV, Walker JM, et al. Evaluation of low back pain by patient questionnaires and therapist assessment. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1990;11(11):519-529. <https://doi.org/10.2519/jospt.1990.11.11.519>
- Butler AA, Lord SR, Rogers MW, et al. Muscle weakness impairs the proprioceptive control of human standing. *Brain Res.* 2008;1242:244-251. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.03.094>
- Choi CJ, Lim HW, Park MK, et al. Does the kyphotic change decrease the risk of fall?. *Clin Exp Otorhinolaryngol.* 2011;4(3):118-121. <https://doi.org/10.3342/ceo.2011.4.3.118>
- Crowninshield RD, Rosenberg AG, Sporer SM. Changing demographics of patients with total joint replacement. *J Clin Orthop and Related Res.* 2006;443:266-272. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000188066.01833.4f>
- Fregni F, Pascual-Leone A. Technology insight: noninvasive brain stimulation in neurology-perspectives on the therapeutic potential of rTMS and tDCS. *Nat Clin Prac Neur.* 2007;3(7):383-393. <https://doi.org/10.1038/ncpneuro0530>
- Gandiga PC, Hummel FC, Cohen LG. Transcranial DC stimulation(tDCS): A tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. *Clin Neurophysiol.* 2006;117:845-850. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.12.003>

- Hodoush H, Al-Jarrah M, Khalil M, et al. "Bilateral anodal transcranial direct current stimulation effect on balance and fearing of fall in patient with Parkinson's disease". *NeuroRehabilitation*. 2018;42(1):63-68. <https://doi.org/10.3233/nre-172212>
- Hoffman M, Payne VG. The effects of proprioceptive ankle disk training on healthy subjects. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1995;21(2):90-93. <https://doi.org/10.2519/jospt.1995.21.2.90>
- Huang L, Deng Y, Zheng X, et al. Transcranial direct current stimulation with halo sport enhances repeated sprint cycling and cognitive performance. *Frontiers in physiology*. 2019;10:118. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00118>
- Kim KU. Effects of transcranial direct current stimulation and virtual reality rehabilitation program on balance, fall efficacy, and fall-related fitness in people with mild cognitive impairment. *J Hum and Soc sci*. 2019;10(5):1337-1348. <https://doi.org/10.22143/hss21.10.5.95>
- Kwon YH, Ko MH, Ahn SH, et al. Primary motor cortex activation by transcranial direct current stimulation in the human brain. *Neurosci Lett*. 2008;435(1):56-59.
- Lee JY, Sim HP, Choi YJ. The study on the effects of maitland mobilization and MWM for range of motion, static and dynamic balance, plantar pressure, gait ability performed on the ankle joint of hemipegic patients. *J of Kor Orthopedic Manual Phys Ther*. 2022;28(1):61-69.
- Liebetanz D, Nitsche MA, Tergau F, et al. Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability. *Brain*. 2002;125(10):2238-2247. <http://doi.org/10.1093/brain/awf238>
- Litvan I, Goldman JG, Troster AI, et al. "Diagnostic criteria for mild cognitive impairment in parkinson's disease: movement disorder society task force guidelines". *Movement Disorders*. 2012;27(3):349-356. <https://doi.org/10.1002/mds.24893>
- Meinzer M, Lindenberg R, Phan MT, et al. "Transcranial direct current stimulation in mild cognitive impairment: behavioral effects and neural mechanisms". *Alzheimer's & Dementia*. 2015;11(9):1032-1040. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2014.07.159>
- Min DK. Effect of Transcranial direct current stimulation on sensory function. Keimyung University. Doctoral Dissertation. 2013.
- Min DK, Lee SJ. The effects of obstacles gait on balance and falls-efficacy in patients with total knee arthroplasty. *J Kor Orthopedic Manual Phys Ther*. 2019;25(1):37-43.
- Min HS, Jung YH, KIM ES, et al. Effects of muscle strenghtening exercise program on pain, fatigue, physical funcion in elderly women with total knee arthroplasty. *J Muscle and Joint Health*. 2011;18(2):203-214. <https://doi.org/10.5953/jmjh.2011.18.2.203>
- Nitsche MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol*. 2000;527:633-669. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x>
- Poreisz C, Boros K, Antal A, et al. Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients. *Brain Res Bull*. 2007;72:208-214. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2007.01.004>
- Ragert P, Vandermeeren Y, Camus M, et al. Improvement of spatial tactile acuity by transcranial direct current stimulation. *Clin Neurophys*. 2008;119:805-811. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.12.001>
- Rahmann, AE, Brauer SG, Nitz JC. A specific inpatient aquatic physiotherapy program improves strength after total hip or knee replacement surgery: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2009; 90(5):745-755. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2008.12.011>

- Redfern MS, Jennings JR, Martin C, et al. Attention influences sensory integration for postural control in older adults. *Gait & Posture*. 2001;14(3):211-216. [https://doi.org/10.1016/s0966-6362\(01\)00144-8](https://doi.org/10.1016/s0966-6362(01)00144-8)
- Ross A, Clark RA, Bryant AL, et al. Validity and reliability of the nintendo wii balance board for assessment of standing balance. *Gait & Posture*. 2010;31:307-310. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.11.012>
- Ryan CG, Rowe PJ. An electromyographical study to investigate the effects of patellar taping on the vastus medialis/vastus lateralis ratio in asymptomatic participants. *Physiother Theor Pr*. 2006;22(6):309-315. <https://doi.org/10.1080/09593980601023739>
- Statistical Office. Population projections for Korea:2010-2060:42 Daejeon, 2011.
- Shin JY. The effect of Rehabilitation Program on Pain, ROM of the Knee Joint, and Mobility in Elderly with Total Knee Arthroplasty. Dongeui University. Unpublished master's thesis. 2011.
- Sohn MK, Jee SJ, Kim YW. Effect of transcranial direct current stimulation on postural stability and lower extremity strength in hemiplegic stroke patients. *Annals of rehb medi*. 2013;37(6):759-765. <https://doi.org/10.5535/arm.2013.37.6.759>
- Stagg CJ, Jayaram G, Pastor D, et al. Polarity and timing-dependent effects of transcranial direct current stimulation in explicit motor learning. *Neuropsychologia*. 2011;49(5):00-04. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.011.02.009>
- Stitik TP, Kaplan RJ, Kamen LB, et al. Rehabilitation of orthopedic and rheumatologic disorders. osteoarthritis assessment, treatment, and rehabilitation. *Arch Phy Med Rehabil*. 2005;86(1):48-55. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.12.010>
- Talelli P, Rothwell J. Does brain stimulation after stroke have a future?. *Curr Opin Neurol*. 2006;19(6):543-550. <https://doi.org/10.1097/wco.0b013e32801080d1>
- Wagner T, Fregni F, Fecteau S, et al. Transcranial direct current stimulation: a computer-based human model study. *Neuroimage*. 2007;35(3):1113-1124. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.01.027>
- Yosephi MH, Ehsani F, Zoghi M, et al. Multi-session anodal tDCS enhances the effects of postural training on balance and postural stability in older adults with high fall risk: Primary motor cortex versus cerebellar stimulation. *Brain Stimul*. 2018;11(6):1239-1250. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.07.044>
- Yun JY, Lee JK. Effects of a thera-band exercise program on pain, knee flexion ROM, and psychological parameters following total knee arthroplasty. *J Korean Acad Nurs*. 2015;45(6):823-833. <https://doi.org/10.4040/kan.2015.45.6.823>
- Zandvliet SB, Meskers CG, Kwakkel G, et al. Short-Term effects of cerebellar tDCS on standing balance performance in patients with chronic stroke and healthy age-matched elderly. *The cerebellum*. 2018;17(5):75-589. <https://doi.org/10.1007/12311-018-939-0>

논문접수일(Date received) : 2022년 11월 29일
논문수정일(Date Revised) : 2022년 12월 12일
논문게재확정일(Date Accepted) : 2022년 12월 20일