

뇌졸중 환자와 정상인의 근 수축 유형에 따른 피질 신경원의 활성화도 비교



The Journal Korean Society of Physical Therapy

■ 양가애, 김수현, 임영은¹, 이동걸, 김태열²

■ 동신대학교대학원 물리치료학과, ¹남동장애인복지관 물리치료실, ²동신대학교 물리치료학과

Comparison of the Activity of Cortical Neurons According to Muscle Contraction Type between Post Stroke Hemiplegic Subjects and Healthy Subjects

Ga-Ae Yang, PT, MS; Su-Hyon Kim, PT, MS; Yong Eun Lim, PT, MS¹; Dong-Geol Lee, PT, MS; Tae Youl Kim, PT, PhD²

Department of Physical Therapy, Graduate School of Dong shin University; ¹Department of Physical Therapy, Nam Dong Rehabilitation Community Center; ²Department of Physical Therapy, Dong Shin University.

Purpose: In order to examine difference in the activity of potential of spinal neurons and cortical neurons according to muscle contraction type in post stroke hemiplegic subjects and healthy subjects, the present study conducted an experiment as follows.

Methods: The subjects in the experimental group were 17 left-side hemiplegic subjects (9 female, 8 male; mean age, 63.41±9.86 years) with the right hand as the dominant hand selected among post stroke hemiplegic subjects, and 17 age matched healthy control subjects (10 female, 7 male; mean age, 64.12±12.07 years). Movement-related cortical potentials (MRCPs) were measured using surface electromyography and electroencephalography while concentric and eccentric movements were made alternately.

Results: As to the pattern of the activity of MRCP, which indicates the activity of motor cortical neurons, we found that the amplitude is high ($p<0.01$), the length of excitement is short ($p<0.01$) and the ascending gradient of amplitude to the peak increases ($p<0.05$) in post stroke hemiplegic subjects' lesion sites different from healthy subjects.

Conclusion: The activity of cortical neurons was no difference in activity according to contraction type was observed in post stroke hemiplegic subjects' lesion sites. This suggests that there is no distinction in the activity of cortical neurons between concentric contraction and eccentric contraction. Accordingly, if post stroke hemiplegic subjects' activity of motor cortex is analyzed by measuring MRCPs, it is considered useful in research on neural plasticity or as a ground of clinical effects in the area of physical therapy for the central nervous system.

Keywords: Movement-Related Cortical Potentials (MRCPs), Neural plasticity, Post stroke hemiplegic subjects

논문접수일: 2009년 2월 24일

수정접수일: 2009년 3월 10일

게재승인일: 2009년 3월 11일

교신저자: 김태열, ptcep@hanmail.net

1. 서론

뇌졸중은 발병 후 대부분의 환자들이 영구적 장애로 인해 독립성과 사회로의 복귀, 삶의 질에도 제한을 받고 있으며, 또한 개인적 뿐만 아니라 사회적으로도 환자 관리 비용으로 인한 경제적 부담이 증가되고 있다.¹ 뇌졸중 후 나타나는 대표적인 장애

는 근력약화, 근 단위 면적의 감소, 비정상적 움직임으로 특징 지워지는 운동 능력의 손상이 나타나 기능적 활동의 수행 능력을 제한하며,² 뇌졸중의 기능적 제한은 기능적 상태와 삶의 질에 영향을 미친다고 하였다.³ 또한 뇌졸중환자는 편측 뇌손상으로 인해 영구적인 장애를 가진 채 생활해야 하기 때문에, 입원 기간 이후 신체적 장애에 대한 지속적인 관리가 중요하다고 하

였다.⁴

뇌졸중 후 편마비 환자의 기능 수행력의 감소 원인으로 운동단위를 동원시키는 신경원의 능력 감소, 기능적 운동단위 수의 감소, 운동단위의 흥분율의 감소 등이 제시되었으며, 따라서 감소된 운동단위 동원을 증가시킬 전략이 필요하다고 제안하였다.⁵ 뇌졸중환자의 급성기 운동학습이 뇌졸중의 기능 회복에 미치는 중요한 영향을 미친다고 하였으며,⁶ 뇌졸중 후 편마비 환자들에게 집중적인 고강도 근 수축 훈련은 복합적인 기능장애 문제를 개선하는데 효과적이며, 적용 시간, 반복 횟수가 늘어나면 신경근 조절 능력과 기능회복에 더 많은 영향을 주게 된다.⁷

수축 유형 중 원심성 수축의 운동단위 동원 순서는 근육의 길이가 짧아지는 구심성 수축과는 반대로 역치가 높은 운동단위에서부터 발화되므로 운동단위 동원 명령이 선택적으로 추가되는 특징을 갖는다.⁸ 따라서 원심성 수축은 구심성 수축보다 큰 장력을 만들어 내고, 원심성 수축력의 증가는 근 조직의 손상이나 통증을 감소시키며, 일상생활 활동 중에도 원심성 수축이 많이 사용되기 때문에 원심성 수축력과 조절 능력의 회복은 매우 중요하다.⁹ 뇌졸중 후 편마비 환자의 경우 근 수축의 유형에 따라 선택적 수축력 조절능력에도 제한이 나타나는데,¹⁰ 슬관절 신전근의 구심성, 원심성 수축 시 운동속도에 따른 주동근과 길항근의 수축력이 정상인에 비해 34~60% 낮은 것으로 나타났다.¹¹ 원심성 수축은 근육이 가지고 있는 최대 능력을 활용하게 하므로 효율적인 치료를 가능하게 하며, 일상생활 동작에서 원심성 수축력의 조절이 매우 중요하다.¹⁰ 뇌졸중 환자를 대상으로 원심성 수축과 구심성 수축 훈련을 실시하면 원심성 훈련군의 근력과 기능적 움직임이 보다 더 향상되는 것으로 보고되었다.¹² 그러나 중추신경계 병변을 가진 환자에 대한 이러한 임상적 효과를 뒷받침하기 위한 연구는 주로 표면근전도를 이용한 운동단위 활동전위의 분석에만 치중되었고, 상 척수수준에서 이루어지는 근 수축 유형에 따른 대뇌피질 신경원의 신경근 조절기전에 대한 신경생리학적 연구는 아직 미흡하다.¹³

정상적인 인간의 대뇌피질은 끊임없이 변화하고 재조직화가 일어난다. 그러나 손상 받은 성인의 구조적 신경요소 변화를 분석한 결과에서도 잔후에 따른 가소성이 일어나는 것으로 보고되었다.¹⁴ 반복되는 학습과정에서 뇌졸중 환자의 뇌 피질 반응 영역이 커지거나 이동되는 것으로 입증 되었다.¹⁵ 오래 전부터 뇌의 신경생리학적 기전의 이해를 돕는 전기생리학적 분석으로 운동 활동 및 준비와 연합된 피질의 기전을 관찰할 수 있는 운동 관련 피질전위(movement related cortical potential)에 대한 연구가 진행되어 왔다.¹⁶ 운동 관련 피질전위란 수의적인 움직임의 실행 과정과 관련되는 뇌파의 신호를 의미하는 것으로 대뇌 피질 신경원들의 전위를 측정하는 비침습적 방법이므로 연속적으로 일어나는 뇌 전위 변동에 관한 생리학적 설명이 용

이하고, 뇌파의 비정상성에 대한 정량적 측정이 가능하며, 연구자의 선입관이나 기대성에 영향을 덜 받는 분석방법으로 알려져 있다.¹⁷ 운동 관련 피질전위를 이용한 뇌 지도화(brain mapping) 기법은 뇌 활동의 결과로 발생하는 생물학적 전기 에너지 변동의 추이를 공간적 분포와 시간적 분포인 주파수 대역에 의해 파악할 수 있는 방법으로 시간의 경과에 따른 분석이 가능하므로 뇌 전위 변동에 관한 생리학적인 설명이 용이하다.¹⁸ 운동 관련 피질전위는 정신분열증(schizophrenia)으로 인한 과제 실행 계획 장애, Alzheimer disease 등으로 인한 인지 결손, 외상성 뇌손상이나 척수손상의 신경학적 가소성 연구 등 여러 분야에서 사용되고 있다.

뇌졸중 환자는 운동 실행 과정이 선택적으로 손상되기 때문에 운동 관련 피질전위를 이용하면 움직임의 준비나 실행과 같은 하위과정에서의 차이점을 파악 할 수 있다. 최근 연구로 뇌 병변을 가진 환자가 편측 집게손가락을 움직일 때 반대쪽 운동 피질에서 운동 관련 피질전위의 구성요소가 유의한 차이를 보이며 이를 통해 피질전위의 공간적 구별 가능성이 확인 되었다.¹⁹ 정상인을 대상으로 한 근 수축 유형과 관련된 연구에서 구심성 수축과 원심성 수축 시 피질 신경원의 활성화도 차이를 알아본 결과, 정상인의 경우는 원심성 수축이 구심성 수축보다 운동 관련 피질전위의 정점 값이 더 높게 나타났으며, 운동단위 활동전위의 동원은 더 감소되는 것으로 나타났다.²⁰ 최근에는 근 수축 조절과 관련하여 피질 신경원의 활성화도를 분석하기 위하여 운동 관련 피질전위를 이용한 연구도 이루어지고 있으나, 뇌졸중 환자를 대상으로 한 근 수축 유형에 따른 피질 신경원의 활성화도에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

이 연구의 목적은 뇌졸중 환자에서 임상적 접근이 보다 용이한 뇌전도를 통한 동작의 근 수축 유형에 따른 뇌 병변부의 신경원 활성화도가 어떠한 차이를 가지고 있는지를 분석함으로써 중추신경계 물리치료분야에서 신경 가소성 및 임상효과에 대한 정량적 분석방법으로 활용 가능성에 대한 기초자료를 제공함에 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상

이 연구는 2008년 3월부터 5월까지 광주광역시에 소재한 종합 병원에 입원하여 치료를 받고 있는 뇌졸중 환자 17명과 정상인 17명을 대상으로 하였다.

뇌졸중 환자군은 비마비측 사지에 근골격계 질환과 감각 및 시각에 이상이 없는 자, 발병일로부터 6개월 이상 경과 한 자, Medical Research Council Motor Strength Scale이 3.0~4.0,

우세 손이 우측이며, 좌측 편마비 환자, 이 연구의 취지를 이해하여 자발적으로 동의한 자로 이상의 조건에 만족하는 사람을 대상으로 선정하였다. 연령대비 대조군은 신경계나 근골격계 질환이 없는 자, 우세 손이 우측인 자의 조건에 해당된 사람을 대상으로 하였다.

2. 실험방법

1) 구심성 및 원심성 운동

대상자는 먼저 주관절 굴곡근의 구심성 및 원심성 운동 시 적용할 저항의 무게를 결정하기 위하여 1RM(repetition maximum)을 측정하였다. 주관절 굴곡근 운동은 대상자가 실험 의자에 앉은 자세에서 환측 상지를 견관절의 높이에 맞춰 유지한 후 팔 받침대에 놓고 주관절을 축으로 회전할 수 있게 하였다. 전완은 회외와 회내 사이에서 중립자세로 고정하였다. 상지는 왼쪽과 오른쪽 견관절에 접하는 수평선으로부터 앞으로 30° 수평 내전한 상태에서 대상자의 몸통, 어깨, 우측 전완은 모두 고정되고 단지 좌측 주관절의 움직임만 허락하였다. 대상자마다 측정된 1RM의 30%에 해당하는 추를 도르래와 비탄력성 줄을 통하여 좌측 주관절의 상완과 전완의 각이 155°에서 구심성 수축 시 부하가 걸리게 실험의자에 고정하였다. 대상자들은 추에 의한 부하를 받는 상태에서 주관절 굴곡근의 원심성 운동과 구심성 운동을 30° 회전 반경 안에서 실시하였다.

운동을 시작하기 전 대상자는 시작자세로 앉은 다음에 조용한 상태를 유지하면서 5분 동안 휴식을 취하였다. 운동은 주관절 굴곡근의 구심성 수축 15회, 원심성 수축 15회를 실시하였다. 구심성 수축 동안에는 주관절 굴곡근의 섬유 길이는 짧아지고 주관절이 155°에서 125°까지 회전하게 된다. 원심성 수축 동안에는 주관절 굴곡근의 길이가 늘어나고 주관절이 125°부터 155°까지 회전하게 된다. 수축 운동은 구심성 수축 운동과 원심성 수축 운동을 반복하며, 각 시도 사이에 15초 간 휴식기간을 가졌다. 뇌전도 신호의 수집 시 원하지 않는 잡음을 제거하기 위하여 수축 운동이 시작되기 전 5초부터 눈을 감거나, 이를 악 물거나, 얼굴과 목 근육을 긴장하는 것을 피하도록 유도하였다. 그러나 15초 중 처음 10초의 휴식시간 동안에는 이러한 활동을 허락하였다. 이는 구심성과 원심성 수축을 시행하는 동안 이 두 가지 과제 사이에 나타나는 뇌파나 운동단위 활동 전위의 피로에 대한 균형을 맞추기 위하여 통제하였다. 구심성 수축과 원심성 수축 시 각속도는 15°/s로 하였다.

2) 뇌파 측정

뇌파 신호는 MP 150 system (Biopac, USA)과 뇌전도 증폭기 (EEG100C, Biopac, USA)를 사용하여 측정하였다. 뇌전도 신호 수집을 위한 sampling rate는 200으로 하였고, 주파수 대역

필터는 1~35Hz로 하였다. 운동 관련 피질전위의 측정을 위해 두피를 70% 알코올 솜으로 닦고 건조한 후 Ag/AgCl 뇌전도 전극을 사용하여 Cz, C3, C4, Fz에 부착하였다. 두피에 전극을 부착한 후에 각 전극의 임피던스를 측정하였고, 전극의 임피던스는 5000Ω 이하로 유지시켰다. 전극의 부착방법은 international 10-20 system을 사용하였다. 첫 번째 활성전극(Cz)은 대상 운동 영역에 놓여있는 두피에 부착시켰고, 두 번째와 세 번째 활성전극(C3와 C4)은 대뇌반구의 왼쪽과 오른쪽 지역의 감각운동영역의 두피에 부착하였다. 마지막 활성전극(Fz)은 전전두 피질의 중심부에 부착하였으며, 접지전극과 참고전극(A1과A2)은 유아돌기에 부착하였다. 뇌전도 신호는 구심성 수축과 원심성 수축 운동을 교대로 15회 하는 동안 연속적으로 기록하였다(Figure 1). 상완이두근의 구심성 수축과 원심성 수축 운동 시 근전도 기록을 위하여 Bagnoli 4 -EMG system (Delsys, USA)의 표면근전도를 사용하였다. 전극은 DE-2.1 single differential electrode (Delsys, USA)를 사용하여, 근전도 신호를 기록하였다(Figure 2). 기록된 근전도를 이용하여 근 활동의 시작을 기준으로 앞으로 2초, 뒤로 1초 동안의 뇌전도 신호를 선택하여 평균화하였다. Acqknowledge 3.8.1 software program (Biopac, USA)이용하여 수집된 신호를 활성도의 크기인 정점값, 활성되는 양상을 분석하기 위해 기울기 시간과 기울기로 분석하였다.

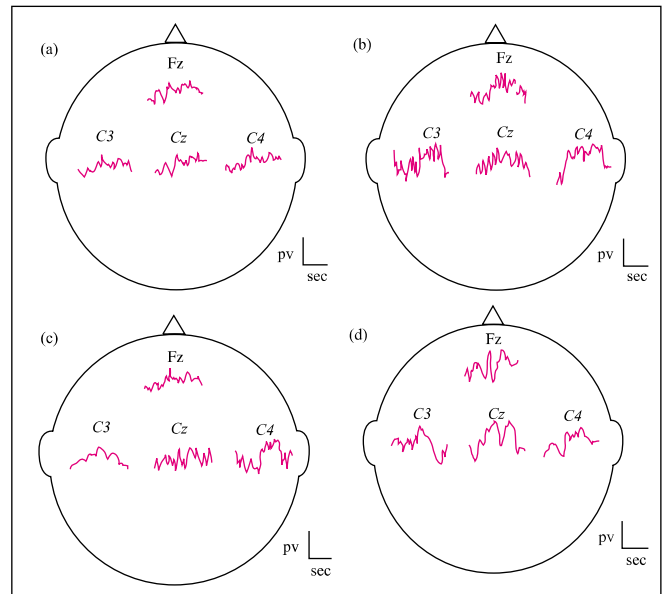


Figure 1. Averaging records of movement related cortical potentials (MRCPs) during concentric contraction (a), eccentric contraction (b) of control group and for concentric contraction (c), eccentric contraction (d) of stroke group.

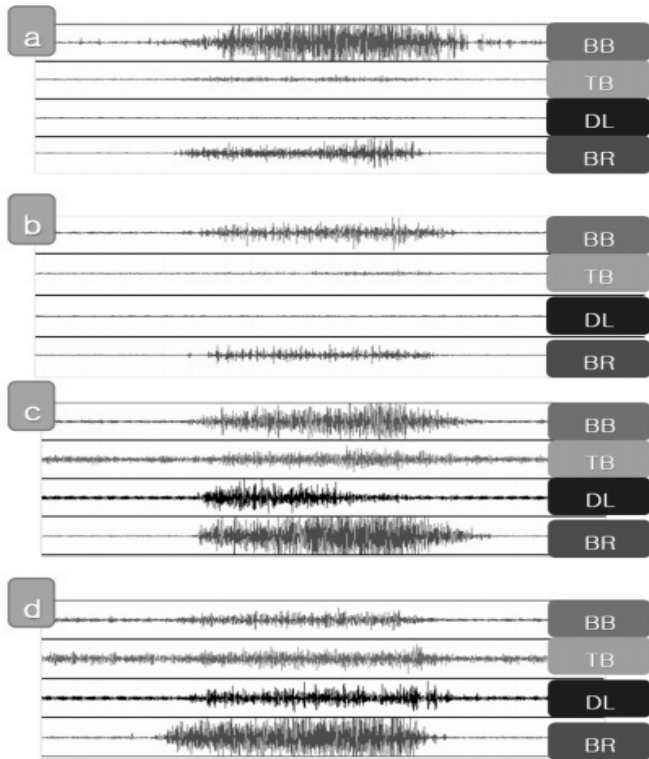


Figure 2. Low signal records of surface EMG during concentric contraction (a), eccentric contraction (b) of control group and for concentric contraction (c), eccentric contraction (d) of stroke group.

3. 자료분석

모든 자료들은 윈도우용 SPSS version 12.0 통계 프로그램을 사용하여 분석하였다. 운동 관련 피질전위 값의 분석은 반복측정분산분석을 사용하였다. 통계적 유의성을 검정하기 위한 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 정하였다.

III. 결과

1. 운동 관련 피질전위의 정점 값 비교

Cz의 정점 값은 대조군에서 구심성 수축이 $1.28 \pm 0.12 \mu V$, 원심성 수축이 $2.23 \pm 0.15 \mu V$ 이었으며, 뇌졸중 군에서는 구심성 수축이 $1.41 \pm 0.14 \mu V$, 원심성 수축이 $2.18 \pm 0.13 \mu V$ 이었다. C3의 정점 값은 대조군이 구심성 수축에서 $1.00 \pm 0.09 \mu V$, 원심성 수축에서 $1.90 \pm 0.16 \mu V$ 이었다. 뇌졸중군은 구심성 수축에서 $1.19 \pm 0.10 \mu V$, 원심성 수축에서 $1.98 \pm 0.15 \mu V$ 이었다. Fz의 정점 값은 대조군이 구심성 수축에서 $1.5 \pm 0.15 \mu V$, 원심성 수축에서 $2.00 \pm 0.16 \mu V$ 이었으며, 뇌졸중군은 구심성 수축에서 $1.68 \pm 0.17 \mu V$, 원심성 수축에서 $2.23 \pm 0.10 \mu V$ 이었다. Cz,

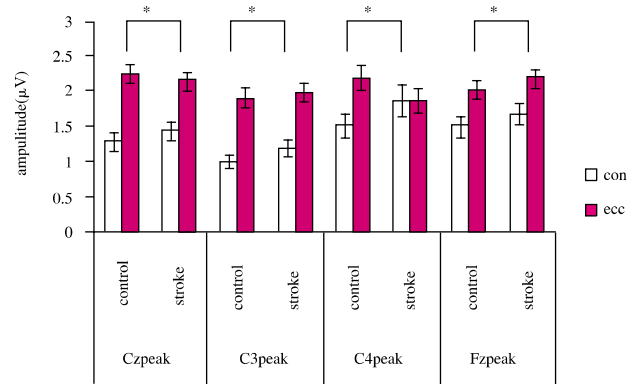


Figure 3. Comparison of peak of movement related cortical potentials (MRCPs) during concentric and eccentric contractions.

Values are mean±SE. Significant difference between group ($p<0.001$). CON : concentric exercise, ECC : eccentric exercise

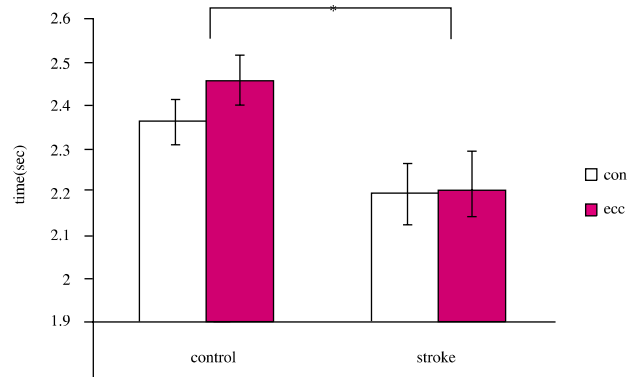


Figure 4. Comparison of C4 slope time of movement related cortical potentials (MRCPs) during concentric and eccentric contractions.

Values are mean±SE. Significant difference between group ($p<0.01$). CON : concentric exercise, ECC : eccentric exercise

C3, Fz 정점 값에 대한 반복측정분산분석을 실시한 결과에서 모두 근 수축 유형에 대한 주 효과만 유의한 차이를 나타내었다($p<0.001$). 그러나 C4의 정점 값은 대조군이 구심성 수축에서 $1.28 \pm 0.10 \mu V$, 원심성 수축에서 $1.42 \pm 0.17 \mu V$ 이었으며, 뇌졸중군이 구심성 수축에서 $1.86 \pm 0.23 \mu V$, 원심성 수축에서 $1.87 \pm 0.17 \mu V$ 이었다(Figure 3). C4 정점 값에 대한 반복측정분산분석을 실시한 결과에서 군 간 차이에 대한 주 효과($p<0.01$)에서 유의하였다(Figure 3).

2. 운동 관련 피질전위의 기울기 시간 비교

C4의 기울기 시간은 대조군이 구심성 수축에서 2.36 ± 0.05 sec, 원심성 수축에서 2.45 ± 0.06 sec, 이었으며, 뇌졸중군은 구심성

수축에서 2.20 ± 0.07 sec, 원심성 수축에서 2.20 ± 0.10 sec, 이었다(Figure 4). C4 기울기 시간에 대한 반복측정분산분석을 실시한 결과에서 군 간 차이에 대한 주 효과가 유의한 차이를 나타내었다($p < 0.01$). 그러나 Cz, C3, Fz는 군 간 및 근 수축 유형에 대한 반복측정분산분석에서 유의한 차이가 나타나지 않았다.

3. 운동 관련 피질전위의 기울기 비교

C4의 기울기는 대조군이 구심성 수축에서 0.30 ± 0.03 , 원심성 수축에서 0.39 ± 0.06 이었으며 뇌졸중군이 구심성 수축에서 0.50 ± 0.07 , 원심성 수축에서 0.50 ± 0.06 이었다(Figure 5). C4 기울기에 대해 반복측정분산분석을 실시한 결과에서 군 간 차이에 대한 주 효과는 유의하였다($p < 0.05$). 그러나 Cz, C3, Fz는 군 간 및 근 수축 유형에 대한 반복측정분산분석에서 유의한 차이가 나타나지 않았다.

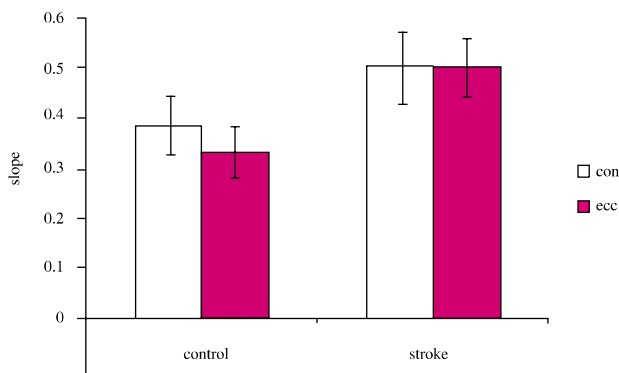


Figure 5. Comparison of C4 slope of movement related cortical potentials (MRCPs) during concentric and eccentric contractions.

Values are mean \pm SE. Significant difference between groups ($p < 0.05$). CON : concentric exercise, ECC : eccentric exercise

IV. 고찰

운동 관련 피질전위(movement related cortical potential)는 비침습적인 접근법으로 피질 신경원 활성도의 공간적 정보와 시간적 정보를 보다 효율적으로 제공함으로써 운동의 활동성을 평가할 수 있다.²¹ 또한 간단한 움직임의 준비와 실행에 관련된 피질 신경원의 구분이 가능한 전기적 활성도로 수의적 움직임에 따른 감각운동과정에 대한 전위가 나타난다.²² 이로 인해 운동 실행의 마지막 단계를 구성하는 근 수축에서 대상자에 의해 수의적 움직임의 시작 시점을 직접적으로 비교할 수 있다.²³ 뇌졸중 환자는 운동 실행 과정이 선택적으로 손상되기 때문에 제

한 점을 갖고 있는 움직임의 준비나 실행과 같은 하위과정 사이에서 차이점을 알아 볼 수 있다.¹⁸

이처럼 운동 관련 피질전위는 중추신경계의 신경생리학적 평가도구로서 임상적 의미를 가지고 있지만, 아직까지는 뇌 병변이 있는 환자를 대상으로 한 과제 지향적 연구는 부족한 실정이다. 따라서 이 연구는 뇌졸중 환자 17명과 연령 대비 정상인 17명을 대상으로 좌측 주관절 굴곡근에 대하여 구심성 수축과 원심성 수축 시 근 활성도와 대뇌 피질 전위의 변화를 분석하여 신경 가소성 기전의 연구와 임상 평가 방법으로서의 활용 가능성을 알아보고자 한다.

이 연구에서 모든 측정부위의 운동 관련 피질전위의 정점 값은 정상인에 비하여 뇌졸중 환자가 약간 높은 것으로 나타났다. 그러나 근 수축 유형에 따른 정점 값은 Cz, C3, Fz에서 구심성 수축 시에 비하여 원심성 수축 시에 정점 값이 더 높았으나, 병변부인 C4에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 원숭이를 대상으로 한 연구에서 움직임과 관련하여 운동피질 신경원 반응이 증가되는 것으로 보고하였는데, 이는 움직임을 하기 위해 발휘된 노력과 연관성이 있다고 하였다.²⁴ 또한 사람을 대상으로 한 연구에서도 운동 관련 피질전위의 정점 값과 근육의 작용 사이에는 높은 관련성이 있는 것으로 보고되었다.²⁵ 뇌졸중 환자를 대상으로 견관절과 주관절의 통합적인 움직임에 따른 운동 관련 피질전위의 변화에 대한 연구에서 기능적 손 뻗기 동작을 하면 감각운동영역과 전두영역에서 인지적 노력이 증가하여 정점 값이 높아지는 것으로 보고하였다.²⁰

운동 관련 피질전위의 기울기 시간은 뇌졸중 환자가 정상인에 비해 더 짧으며, 구심성 수축 시에 비하여 원심성 수축 시에 더 길어지는 것으로 나타났다. 그러나 병변부인 C4에서는 근 수축 유형에 따른 차이가 없었다. 운동 관련 피질전위의 기울기 시간은 피질 신경원이 발화되어 유지되는 지속시간을 의미하는데, 운동 피질에 손상을 가진 사람은 어렵거나 복잡한 과제를 수행하는 경우 비정상적으로 피질 신경원의 활성도가 증가되고,²⁶ 이로 인해 비정상적 양상으로 피로가 나타나거나 과제 수행이 어렵게 될 수도 있다.²⁷

또한 Fz 기울기 시간은 유의한 차이를 나타내지는 않았지만 병변부인 C4와 유사한 경향을 보였는데, Fz는 대뇌의 전두엽 중앙부의 활성도를 측정하는 부위로 전두엽의 세포들은 전두엽 안의 여러 부분과 연결되어 내재적인 회로를 구성하고, 보조 운동 영역과 다양한 경로를 통하여 연결되어 다른 영역들과 교차적인 강화를 가능하게 한다.²⁸ 또한 풍부한 신경학적 연결을 이룸으로써 과거 경험과 현재 감각정보를 저장하므로 이 부분 손상 시 주로 문제 해결 능력에 장애가 생기게 된다.²⁹

운동 관련 피질전위의 기울기는 뇌졸중 환자가 정상인에 비하여 더 증가되었으며, 근 수축 유형에 따른 비교에서도 구심성

수축에 비하여 원심성 수축 시 더 증가되었다. 운동 관련 피질 전위의 기울기는 움직임이 일어나는데 필요한 피질 신경원의 활동전위의 정점 값과 피질 신경원의 흥분을 유지하는 시간과의 상호관계를 나타낸다. 뇌졸중 환자의 경우에는 피질 신경원의 흥분성 높이는 정점 값은 높으나 흥분을 유지하는 시간이 짧으므로 기울기는 더 가파르고, 정상인은 정점 값은 상대적으로 낮으나 흥분을 유지하는 시간은 길어지기 때문에 경사가 완만하게 나타났다. Jankelowitz와 Colebatch³⁰의 연구에서 뇌졸중 환자와 정상인을 대상으로 집게손가락의 운동 관련 피질전위를 분석한 결과, 근 약증을 지닌 사람들은 운동 관련 피질전위의 초기 구성요소가 늦게 시작되었고, 정점 값과 기울기 값은 더 크게 나와 운동 피질의 활동이 증가 되는 것으로 나타났다. 그러나 외상성 뇌 손상 환자를 대상으로 마비 측과 비마비 측을 비교한 결과에서는 마비 측을 움직일 때 뇌파의 경사가 더 낮은 것으로 나타났다.²⁷

이 연구에서 운동 관련 피질전위가 군 간 유의한 차이를 나타낸 특정영역이 병변부인 C4로 나타나, 운동 관련 피질전위를 이용하면 피질 지도화에 따른 공간적 측정이 가능할 것으로 생각된다.³¹ 정상인을 대상으로 한 연구에서 반대 측 사지의 근육이 수축하면 진폭이 증가하며, 뇌졸중 후 편마비 환자가 과제 수행과 관련하여 회복이 진행되면 관련된 구역이 축소되거나 변형되는 것을 볼 수 있다.³² 또한 각 영역마다 정해진 역할이 있어 일의 수행 과정에 따라 더 활성화 되는 부분이 나타난다.³³ 선행연구에서 인위적으로 만든 근 약화가 있는 정상인과 뇌졸중으로 근 약화가 있는 환자를 대상으로 실험한 결과에서 두 군 모두 해당 운동피질의 활성화가 증가하였으며,³⁰ Wheaton³⁴ 등의 연구에서는 족관절의 배측 굴곡과 수근관절의 신전 운동 시 운동 관련 피질전위를 측정하고 결과 활성화 되는 영역이 구분되고, 전 운동영역의 예비 활동이 반영되는 것으로 나타났으며, 여러 관절을 움직이면 반응영역이 더 확대되는 것으로 보고되었다.

운동 관련 피질전위는 피질 지도화에 따른 판별뿐만 아니라 행하는 중재나 운동방법에 전기 생리학적 근거를 제공할 수 있다.³⁵ 뇌졸중을 대상으로 한 연구에서 한 손만 사용한 것 보다 양손 훈련을 시행한 것이 정점 값이 더 높고, 피질 전위 발화와 운동 단위 발화까지의 시간이 짧았으며,³⁶ 앉은 자세와 선 자세에서 견관절 굴곡을 시행 했을 때 선 자세에서 시행한 것이 정점 값 변화가 크게 나타났다. 이 연구에서도 원심성 수축과 구심성 수축간에 차이점을 나타내고 있으며, 이를 통해 중재의 효율성을 표현할 수 있다.

운동 관련 피질전위는 뇌 영역의 활성화 수준이 수행하는 과제의 난이도에 따라 달라질 수 있으며, 아울러 과제 난이도에 따른 뇌 반구 사이의 활성화 수준 차이는 뇌 영역에 따라 달라질 수 있음을 시사한다.³⁷ Mima³⁸ 등의 연구에서도 뇌졸중

환자에게 수관절을 신전 시켰을 때보다 힘있게 쥐는 동작을 시켰을 때 정점 값이 더 크게 측정되어 수행의 어려운 정도를 나타낸다. 따라서 운동 학습의 촉진을 위한 피질 신경원의 활성화에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 과제의 난이도와 뇌 영역뿐만 아니라 추가적인 요인들에 대한 연구가 필요하다.³⁹ 운동 관련 피질전위가 가지고 있는 시·공간적 판별 특성은 뇌의 재 조직화와 관련된 신경생리학적 연구에 과학적 근거를 제시해 줄 수 있으며, 신경계 물리치료의 임상 효과에 대한 평가방법으로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

V. 결론

이 연구의 결과를 정리하면 근 수축 유형에 따른 대뇌 피질 신경원의 활성화도의 차이가 정상인에서는 현저하였으나, 뇌졸중 환자의 병변부에서는 차이가 나타나지 않아 구심성 수축과 원심성 수축 시 피질 신경원의 흥분 양상에 구별이 없는 것으로 나타났다. 따라서 운동 관련 피질전위의 측정을 통하여 뇌졸중 환자의 운동피질 활성화도의 변화를 분석하면 대뇌피질의 신경가소성에 대한 연구나 임상 효과에 대한 근거를 제시하는 방법으로 활용이 가능 할 것으로 생각된다.

Author Contributions

Research design: Kim TY

Acquisition of data: Kim SH, Yang GA

Analysis and interpretation of data: Yang GA, Lee DG

Drafting of the manuscript: Yang GA, Kim TY

Administrative, technical, and material support: Kim SH, Lee DG

Research supervision: Kim TY

Acknowledgements

이 논문은 양가애의 석사학위 논문 일부를 출판하였음.

참고문헌

1. Rosamond W, Flegal K, Friday G et al. Heart disease and stroke statistics-2007 update: A report from the american heart association statistics committee and stroke statistics subcommittee. *Circulation*. 2007;115(5):69-171.
2. Kautz SA, Patten C. Interlimb influences on paretic leg function in poststroke hemiparesis. *J Neurophysiol*. 2005;93(5):2460-73.

3. Kwon MJ. Daily Physical functioning and quality of life for stroke. *J Kor Soc Phys Ther.* 2007;19(5):87-96.
4. Lee HS, Choi JH. Correlation between BBS, FRT, STI, TUG, MBI, and falling in stroke patients. *J Kor Soc Phys Ther.* 2008;20(4):1-6.
5. Tang A, Rymer WZ. Abnormal force-velocity relations in paretic limbs of hemiparetic human subjects. *Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1981;44(8):690-8.
6. Lee MY, Park RJ, Nam KS. The effect of implicit motor sequence learning through perceptual-motor task in patients with subacute stroke. *J Kor Soc Phys Ther.* 2008;20(3):1-8.
7. Perrine K. Differential aspects of conceptual processing in the category test and wisconsin card sorting test. *J Clin Exp Neuropsychol.* 1993;15(4):461-73.
8. Nardon A, Romano C, Schieppati M. Selective recruitment of high threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *J Physiol.* 1989;409:451-71.
9. Bobbert MF. Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Med.* 1990;9(1):7-22.
10. Chaudhuri S, Aruin AS. The effect of shoe lifts on static and dynamic postural control in individuals with hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81(11):1498-503.
11. David JC, Condliffe EG, Patten C. Activation impairment alters muscle torque-velocity in the knee extensors of persons with post-stroke hemiparesis. *Clin Neurophysiol.* 2006;117(10):2328-37.
12. Engardt M, Knutsson E, Jonsson M et al. Dynamic muscle strength training in stroke patients: Effects on knee extension torque, electromyographic activity, and motor function. *Arch Phys Med Rehabil.* 1995;76(5):419-25.
13. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL et al. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: Effects of resistance training. *J Appl Physiol.* 2000;89(6):2249-57.
14. Ward NS, Frackowiak RS. The functional anatomy of cerebral reorganisation after focal brain injury. *J Physiol Paris.* 2006;99(4-6):425-36.
15. Liepert J, Bauder H, Wolfgang HR et al. Treatment-induced cortical reorganization after stroke in humans. *Stroke.* 2000;31(6):1210-6.
16. Slobounov SM, Ray WJ. Movement-related cortical potentials. In: Halliday AM, ed, *evoked potentials in clinical testing*, 2nd ed. Churchill Livingstone, Edinburgh, 1993.
17. Thickbroom GW, Byrnes ML, Archer SA et al. Motor outcome after subcortical stroke: MEPs correlate with hand strength but not dexterity. *Clin Neurophysiol.* 2002;113(12):2025-9.
18. Wheaton LA, Yakota S, Hallett M. Posterior parietal negativity preceding self paced praxis movements. *Exp Brain Res.* 2005;163(4):535-9.
19. Wiese H, Stude P, Nebel K et al. Impaired movement-related potentials in acute frontal traumatic brain injury. *Clin Neurophysiol.* 2004;115(2):289-98.
20. Daly JJ, Fang Y, Perepezko EM et al. Prolonged cognitive planning time, elevated cognitive effort, and relationship to coordination and motor control following stroke. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2006;14(2):168-71.
21. Dai TH, Liu JZ, Sahgal V et al. Relationship between muscle output and functional MRI-measured brain activation. *Exp Brain Res.* 2001;140(3):290-300.
22. Nativ A. Brain potentials associated with movement in traumatic brain injury. *Phys Ther.* 1991;71(1):48-59.
23. Wiese H, Neumann MF, Schweinberger SR et al. Event-related potential correlates of repetition priming for ignored faces. *Neuroreport.* 2007;18(13):1305-9.
24. Cheney PD, Ferz EE. Functional classes of primate corticomotoneuronal cells and their relation to active force. *J Neurophysiol.* 1980;44(4):773-91.
25. Terada K, Ikeda A, Yazawa S et al. Movement-related cortical potentials associated with voluntary relaxation of foot muscles. *Clin Neurophysiol.* 1999;110(3):397-403.
26. Slobounov S, Hallett M, Newell KM. Perceived effort in force production as reflected in motor-related cortical potentials. *Clin Neurophysiol.* 2004;115(10):2391-402.
27. Johnston J, Rearick M, Slobounov S. Movement-related cortical potentials associated with progressive muscle fatigue in a grasping task. *Clin Neurophysiol.* 2001;112(1):68-77.
28. Bates JF, Goldman-Rakic PS. Prefrontal connections of medial motor areas in the rhesus monkey. *J Comp Neurol.* 1993;336(2):211-28.
29. Montojo CA, Courtney SM. Differential neural activation for updating rule versus stimulus information in working memory. *Neuron.* 2008;59(1):173-82.
30. Colebatch JG, Jankelowitz SK. Movement related potentials in acutely induced weakness and stroke. *Exp Brain Res.* 2005;161(1):104-13.
31. Green JB, Bialy Y, Sora E et al. High-resolution EEG in

- poststroke hemiparesis can identify ipsilateral generators during motor tasks. *Stroke*. 1999;30(12):2659-65.
32. Marshall RS, Perera GM, Lazar RM et al. Evolution of cortical activation during recovery from corticospinal tract infarction. *Stroke*. 2000;31(3):656-61.
 33. Platz T, Kim IH, Pintschovius H et al. Multimodal EEG analysis in man suggests impairment-specific changes in movement-related electric brain activity after stroke. *Brain*. 2000;123(12):2475-90.
 34. Wheaton LA, Carpenter M, Mizelle JC et al. Preparatory band specific premotor cortical activity differentiates upper and lower extremity movement. *Exp Brain Res*. 2007;184(1):121-6.
 35. Takeda Y, Yamanaka K, Yamamoto Y. Temporal decomposition of EEG during a simple reaction time task into stimulus and response locked components. *NeuroImage*. 2008;39(2):742-54.
 36. Smith AL, Staines WR. Cortical adaptations and motor performance improvements associated with short-term bilateral training. *Brain research*. 2006;1071(1):165-74.
 37. Gerloff C, Altenmüller E, Dichgans J. Disintegration and reorganization of cortical motor processing in two patients with cerebellar stroke. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1996;98(1):59-68.
 38. Mima T, Toma K, Koshy B et al. Coherence between cortical and muscular activities after subcortical stroke. *Stroke*. 2001;32(11):2597-601.
 39. Johnson BW, Teyler TJ, Hamm JP et al. Long-term potentiation of human visual evoked responses. *Eur J Neurosci*. 2005;21(7):2045-50.