

만성 뇌졸중 시 반복경두개자기자극에 의한 경직성 발목관절의 관절가동 범위 향상 및 H-반사 억제 효과

조 미 숙

나사렛대학교 물리치료학과

The Effect of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on H-Reflex Inhibition and Fascilitation of Range of Motion of Spastic Ankle Joint in Chronic Stroke Patients

Mi-suk Cho, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Korea Nazarene University

<Abstract>

Purpose : The purpose of this study was carried out to investigate the effect of repetitive transcranial magnetic stimulation on increase of H-reflex inhibition and fascilitation of range of motion of spastic ankle joint in chronic stroke patients.

Methods : 30 chronic stroke patients were randomly divided into three groups, a control group(placebo rTMS group), 5 Hz rTMS group and manual therapy group. The MAS and ROM of ankle joint and H-reflex inhibition of soleus muscle were evaluated on each group.

Results : The rTMS group decreased MAS of ankle joint and increased H-reflex inhibition of soleus muscle, and ROM of ankle joint than manual therapy group. The placebo rTMS group did not affected the change of MAS, ROM of ankle joint and H-reflex inhibition of soleus muscle.

Conclusion : The rTMS was a good therapeutic tool to improve the foot drop in the chronic stroke patients.

Key Words : rTMS, Ankle joint, MAS, ROM, H-reflex

I. 서 론

경두개자기자극(transcranial magnetic stimulation,

TMS)은 두개부에 유도코일 배열시 발생하는 짧은 전류에 의해 형성되는 고강도 자기장에 의한 대뇌 피질의 신경세포를 비침습적으로 자극하는 기술이

다(Chen 등, 2008). 이 유도전류는 직접적으로 대뇌 피질 신경세포의 축삭언덕(axon hillock)을 탈분극 시키거나, 또는 간접적으로 사이신경세포(interneuron)의 탈분극을 유발시켜 피질척수로(corticospinal tract)에 관여하는 신경세포를 활성화시킨다(Di Lazzaro 등, 2004). 반복경두개자극은 피질척수로의 흥분성 또는 억제성 효과를 유발시키는데 이 기전에는 자극 빈도, 자극 강도, 총자극수, 자극 사이 시간 등이 관여한다. 예를 들어, 저빈도 반복경두개자극(1Hz 이하)은 운동 피질의 흥분성을 감소시키는 반면, 고빈도 반복경두개자극(5Hz 이상)은 증가시킨다(고명환 등, 2009). 최근 이러한 특성을 이용하여 반복경두개자극이 우울증, 파킨슨병 및 신경인성 통증 등의 치료에 응용되는 연구가 초기의 관심이 되고 있지만(Berardelli 등, 2008), 반복경두개자극에 의해 유도되는 대뇌피질세포의 흥분성 조절에는 개체 간 다양성 및 접근방법의 차이 등으로 인해 그 기전의 완벽한 해석이 이루어지지 않고 있다.

이런 원리에 근간을 둔 반복경두개자극을 이용한 연구의 대표적 예로 뇌의 비 병변 부위는 저빈도 반복경두개자극으로 자극하여 대뇌피질 내 억제를 증가시키고, 병변부위는 고빈도 반복경두개자극을 적용하여 대뇌 피질 내 흥분성을 증가시켜 마비된 상지의 재신경 지배(reinnervation)를 증가시켜 빠른 회복을 야기 시키고, 뇌의 신경가소성에 변화를 유발해 병변 부위 손가락의 빠른 움직임과 병변이 있는 손의 장애 개선을 촉진시킨 연구가 있다(Dafotakis 등, 2008). 또한, 반복경두개자극 적용 이후 동반된 체성감각유발전위의 진폭의 감소로 인한 같은 쪽 대뇌의 감각피질을 억제하는 것을 확인하여 반복경두개자극이 감각인식(sensory perception)을 변조(modulation)시킬 수 있어 신경인성 통증 완화에 치료적 효과를 유발시킨다는 보고도 있다(Frengi 등, 2006).

한편, Hoffman-반사(H-reflex)는 척수수준에서 반사궁의 기능적 상태를 평가하는데 사용되는 단일연접반사(monosynaptic segmental reflex)로 H-반사에서 보이는 최대 M 반응에 대한 H 반사의 진폭비(H/M)는 운동신경신경세포의 흥분성을 반영하여 경

직(spasticity)을 객관적으로 평가할 수 있는 지수로 쓰인다(Inghilleri 등, 2003). 뇌졸중으로 인한 발목관절(ankle joint)의 경직은 상위 운동신경원의 손상으로 인한 척수 앞뿔(anterior horn)의 알파와 감마 운동신경세포(α - γ -motor neuron)의 탈억제(deinhibition)로 발생하는 현상으로, H-반사가 항진되고, 보행 시 비정상적인 근활동을 야기한다. 만성 뇌졸중 시 발바닥 쪽 굽힘근(plantar flexor m.)의 긴장으로 인한 족하수(foot drop)가 유발되어 H-반사가 증가하게 되는데 이런 형태의 개선의 한 일환으로 대뇌피질 자극(cortical stimulation)의 정도에 따라 H-반사의 크기를 변화시킬 수 있다(Sugawara와 Kasai, 2002). 즉, 역치자극 의해 유발되는 대뇌피질의 활성이 말초로부터 Ia 신경의 유입이 동시에 척수의 운동신경세포 풀(motoneuron pool)에 도달하면 하지에서 H-반사의 크기는 증가한다. 반대로, 역치 상 자극에 의해 유발된 하행성 피질척수로의 흥분이 말초로부터 Ia 신경 유입 전에 척수에 도달하면 H-반사는 감소한다(Di Lazzaro 등, 2006).

반복경두개자극과 H-반사와 관련된 연구에서 정상인에서 고빈도 반복경두개자극 적용 후 짧은엄지발가락별립근(abductor hallucis brevis m.)에서 H-반사가 감소하는데, 특히 손은 고빈도 반복경두개자극이 연접 전 억제(presynaptic inhibition)를 증가시켜 H-반사를 억제하므로 경직이 있는 환자에서 도움을 줄 수 있을 것이라고 보고한 연구가 있다(손민균 등, 2010).

그러나 최근까지 많은 연구와 치료 기술의 개발을 통해 뇌졸중 후 경직으로 인한 사지마비 시 능동운동을 유도하려는 괄목할만한 업적이 있지만 전통적 재활을 통해서도 경직의 개선에 아직 많은 어려움이 남아 있다. 또한, 만성 뇌졸중 환자에서 경직을 완화시키기 위해 H-반사의 감소를 관찰한 연구는 일부 발견되고 있으나, 반복경두개자극을 적용하여 H-반사의 감소와 발목관절의 관절운동 범위의 향상을 연계하여 관찰한 연구는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구는 만성뇌졸중 환자에서 반복경두개자극을 이용하여 경직성 발목관절의 관절운동 범위 향상, 경직의 감소 및 H-반사 감소를 유도하는 연구의 시급성을 느껴 실행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상

만성뇌졸중으로 인하여 D 지역 ○○ 병원에 내원하고 있는 환자들로 뇌졸중 발병 후 1년 이상 경과하였고, 연구자의 지시에 따라 하지 동작을 수행할 수 있을 정도의 인지능력이 있으며, 발바닥쪽굽힘근(plantar flexor m.)에 경직이 있는 남녀 30 명의 환자를 대상으로 제한하였고, 실험에 참가한 모든 피험자는 본인 또는 보호자가 본 연구의 연구방법에 동의하였다. 연구 대상의 선정 기준은 발목관절이 10° 이상 발바닥쪽굽힘으로 족하수(foot drop)가 유발된 상태 및 경직 정도가 수정된 Ashworth 척도(modified Ashworth scale, MAS)가 2.5 이상인 자로 제한하였다. 실험대상은 실험군1(반복경두개자극 치료군), 실험군2(보편적 운동치료 군) 및 대조군(위자극군)으로 분류하였으며, 각 군당 10 명(남 5 명, 여 5 명)씩 할당하였다.

2. 연구 도구 및 측정 방법

1) 실험 설계

반복경두개자극은 Magpro[®](Medtronic Inc., Skovlunde, 덴마크)에 연결된 70 mm 8 자형 집형 코일, MCF B-65[®](Medtronic Inc., Skovlunde, 덴마크)을 사용하였다.

2) 실험 절차

(1) 반복경두부자극(rTMS)

피험자를 일인용 소파에 편안한 자세로 비스듬히 기대어 얇혀 양팔을 최대한 편하게 팔걸이에 얹어 놓게 하고 반복경두개자극을 시행하였다. 운동 피질의 하지영역 부위를 1cm 간격으로 이동하면서 역치상 강도로 자극하여 진폭이 크게 나타나는 집점을 hot spot으로 표시하고, 이 지점에서 자극의 강도를 40%부터 1~2% 간격씩 상향 조정하면서 10 회의 자극 중 5 회 이상에서 50 μ V 이상의 진폭을 보이는 운동유발전위가 얻어지는 최소한의 강도를 운동역치(motor threshold)로 정하였다. 각 피험자의

운동역치의 90% 강도로 하지영역 부위의 hot spot 을 자극하였다. 자극은 매일 5 Hz의 빈도로 5 초간 자극하고, 55 초간 휴식하는 과정을 10 회 반복하였으며, 위의 과정을 주 5 일, 4 주간 반복하였다. 대조군의 경우 8 자 코일의 자극기를 적정 두께 위치에서 반대로 회전시키고 나머지 조건은 동일하게 하여 자극을 하였으며, 대상자가 치료과정을 알아보지 못하게 하였다.

(2) 보편적 운동치료(manual therapy, MT)

운동치료는 환자를 치료대에 바로 누운 상태에서 발바닥쪽굽힘근의 경직이 있는 동측의 발목 아킬레스 힘줄(Achilles tendon)을 치료사의 손으로 감싸 쥐고 발바닥을 치료사의 팔 안쪽부분으로 받쳐주면서 시행하였다. 운동치료는 먼저 수동적 최대 발등쪽굽힘(dorsiflexion) 각도에서 정적신장을 5 초간 시행 한 후 장딴지근(gastrocnemius m.)의 등척성 수축을 10 초간 수행하였고, 마지막으로 앞정강근(tibialis anterior m.)의 수축을 5 초간 시행하였다. 휴식은 40 초 이상을 주고 10 회 반복 시행하였으며, 위의 과정을 주 5 일, 4 주간 반복하였다.

3) 실험 자료의 수집

(1) 발목관절의 관절가동범위(range of motion, ROM) 측정

발목관절의 수동적 발등쪽굽힘 시행자와 측정자는 매 시도마다 동일인으로 하였다. 기본자세는 무릎을 편 상태에서 발뒤꿈치를 검사대 끝에 위치시켜 누운 자세를 취하고 측정도구는 goniometer를 사용하였다. Goniometer 사용법은 고정팔을 종아리뼈(fibula)와 평행하게 하며, 운동팔은 발뒤꿈치 외측과 5 번째 발허리뼈 머리(5th metatarsal head)와 연결한 선에 평행하게 하여 측정하였다.

(2) 수정된 Ashworth 척도 측정

경직의 평가를 위한 Ashworth 척도는 주관적 판정에 따른 정량화 방법으로 초기에 5 등급으로 분류되었으나, 현재는 6 등급으로 나뉘어 수정된 Ashworth 척도를 통상적 방법으로 이용하였다.

(3) 장딴지근의 H-반사 측정

근전도기기는 Keypoint®(Medtronic Inc., Skovlunde, 덴마크)를 이용하였으며 여과 선정은 2 Hz~10 Hz 로 하였다. H-반사 기록을 위해 가자미근(soleus m.)에 표면전극을 부착하고, 다리오금(popliteal fossa)에서 뒤정강신경(posterior tibial n.)에 대해 지속시간 1 msec의 전기자극을 하여 유발되는 반사의 최대진폭을 기록하였다. 반복경두개자극 적용 전과 반복경두개자극 적용 후에, 보편적 운동치료 적용 전과 적용 후에 및 위자극 적용 전과 적용 후에 H-반사를 검사하여 최대진폭의 비를 구하여 H-반사 억제(H-reflex inhibition) 지수로 하였다.

$$H\text{-reflex inhibition}(rTMS) = rTMS \text{ H-reflex amplitude} / \text{prerTMS H-reflex amplitude}$$

$$H\text{-reflex inhibition}(MT) = MT \text{ H-reflex amplitude} / \text{preMT H-reflex amplitude}$$

$$H\text{-reflex inhibition}(Con) = Con \text{ H-reflex amplitude} / \text{preCon H-reflex amplitude}$$

3. 통계 처리

실험결과 자료의 통계처리는 SPSS-PC ver 17.0 for windows 프로그램을 이용하여 t-test와 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 각 군 간의 차이를 검증하기 위하여 일원배치분산분석 후 Dunnett multiple comparison test로 사후 검정을 하였으며, 본 연구의 통계학적 유의수준은 p<.05로 하였다.

III. 연구 결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자는 만성 뇌졸중으로 인해 발목관절에 경직이 있는 환자로 일반적인 특성은 나이는 평균 연령이 남자의 경우 58.82 세, 여자의 경우 60.03 세였으며, 체중은 남자의 경우 64.12 kg, 여자의 경우 56.17 kg이었고, 신장은 남자의 경우 166.37 cm, 여자의 경우 156.48 cm였다. 연구대상자의 뇌졸중 발병원인은 뇌출혈이 14 명(47%)이었고, 뇌경색이 16 명(53%)이었다. 마비부위는 오른쪽 편마비 환자가 17 명(57%)이었고, 왼쪽 편마비 환자가 13 명(43%)이었다. 뇌졸중 발병 후 기간은 14.8 개월이었다(Table 1).

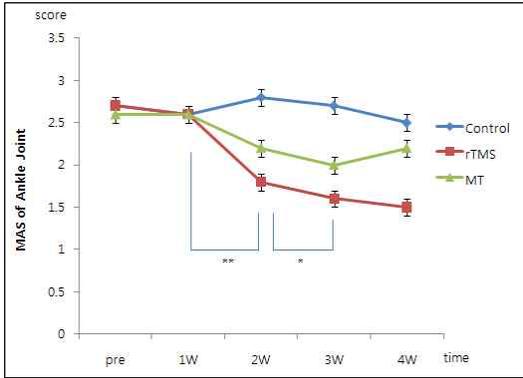
2. 발목관절의 경직의 비교

만성 뇌졸중으로 인한 편마비시 환측 하지의 발바닥 쪽 굽힘근의 경직을 감소시키기 위하여 반복 경두개자극을 적용한 후 발목관절의 경직 정도를 측정된 결과 경직은 감소하는 양상을 나타냈다. 시간 경과에 따른 통계학적 유의성을 검증하기 위해 대응표본 t-test를 실시한 결과 치료 1 주 후와 2 주 후 사이에서(p<.01), 2 주 후와 3 주 후 사이(p<.05)에서 경직 감소의 통계학적 유의성을 관찰할 수 있었다. 또한, 일원배치분산분석을 실시한바 시간대별 변화 사이에서 통계학적 유의성(p<.05)이 관찰되었다. 보편적 운동치료군의 경직은 다소 감소하는 양상을 보였으나, 대조군의 경직은 거의 변화가 없었으며, 보편적 운동치료군과 대조군에서 통계학적 유의성을 관찰할 수 없었다(p>.05). 시간 경과에 따른

Table 1. The general characteristics of chronic stroke subjects

	Age(yr)		Body Weight(kg)		Height(cm)	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Control	59.23±4.23	60.34±5.90	65.42±11.42	54.92±9.68	165.78±10.82	154.84±8.52
Exp1	55.78±5.42	61.29±6.73	62.43±10.37	57.81±10.53	165.42±11.53	157.73±7.61
Exp2	61.46±4.72	58.46±4.80	64.51±11.52	55.79±10.35	167.91±10.53	156.88±9.04
Mean±S.D	58.82±4.79	60.03±5.81	64.12±11.10	56.17±10.18	166.37±10.96	156.48±8.39

Control : Placebo Stimulation Group
 Exp1 : rTMS Group
 Exp2 : MT Group



* $<.05$, ** $<.01$

Fig 1. The changes of MAS in ankle joint of chronic stroke patients

경직 변화에 있어 각 구간 유의한 차이가 있는지 알아 본 결과 치료 2 주 후와 3 주 후에 반복경두개자극 치료군, 보편적 운동치료군 및 대조군의 세 집단간에 유의한 차이를 보였다($p<.01$)(Fig 1). 사후분석으로 Duncan test를 시행한 결과 반복경두개자극 치료군과 보편적 운동치료군, 반복경두개자극 치료군과 위자극군에서 유의한 차이를 나타내었지만 보편적 운동 치료군과 위자극군에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 시간대별 대비 검정을 실시한 바 반복경두개자극 적용 1 주에 비해 2 주 후와 3 주 후에 유의한 차이를 나타내었다.

3. 발목관절의 관절가동 범위의 비교

만성 뇌졸중으로 인한 편마비시 환측 하지의 발목관절의 관절가동 범위를 증강시키기 위하여 반복경두개자극 치료를 적용한 결과 관절가동 범위는 증가하는 양상을 띠었다. 시간 경과에 따른 통계학적 유의성을 검증하기 위해 대응표본 t-test를 실시한 결과 치료 1 주 후와 2 주 후 사이에서($p<.01$), 2 주 후와 3 주 후 사이($p<.05$)에서 통계학적 유의성을 관찰할 수 있었다. 또한, 일원배치분산분석을 실시한 바 시간대별 변화 사이에서 통계학적 유의성($p<.05$)이 관찰되었다. 보편적 운동치료군의 관절가동 범위는 다소 증가하는 양상을 보였으나, 대조군의 관절가동 범위는 거의 변화가 없었으며, 보편

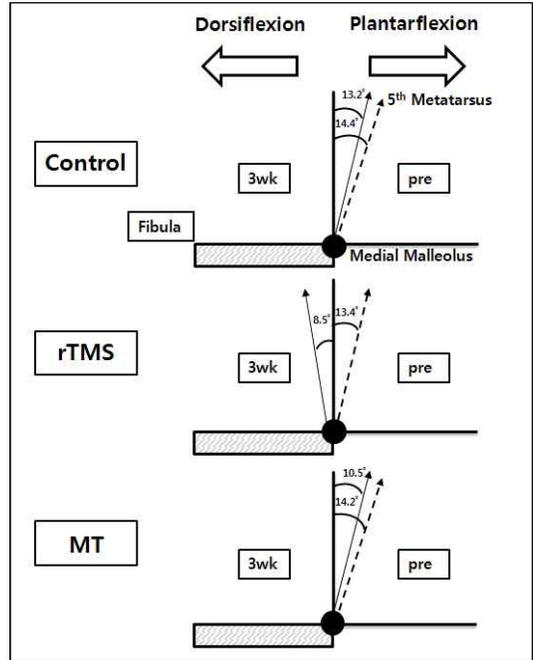
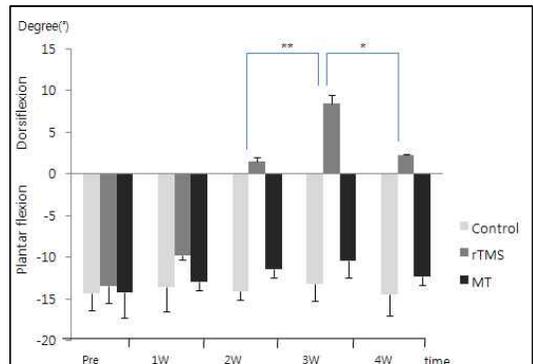


Fig 2. The schematic changes of ROM of ankle joint in chronic stroke patients

적 운동치료군과 대조군에서 통계학적 유의성을 관찰할 수 없었다($p>.05$). 시간 경과에 따른 관절가동 범위 변화에 있어 각 구간 유의한 차이가 있는지 알아본 결과 치료 2 주 후와 3 주 후에 반복경두개자극 치료군, 보편적 운동치료군 및 대조군의 세 집단간에 유의한 차이를 보였다($p<.01$)(Fig 2,3).



* $<.05$, ** $<.01$

Fig 3. The changes of ROM of ankle joint in chronic stroke patients

사후분석으로 Duncan test를 시행한 결과 반복경두개자기자극 치료군과 보편적 운동치료군, 반복경두개자기자극 치료군과 위자극군에서 유의한 차이를 나타내었지만 보편적 운동치료군과 위자극군에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 시간대별 대비검정을 실시한 바 반복경두개자기자극 적용 1 주에 비해 3 주 후와 4 주 후에 유의한 차이를 나타내었다.

4. 장딴지근의 H-반사 억제 비교

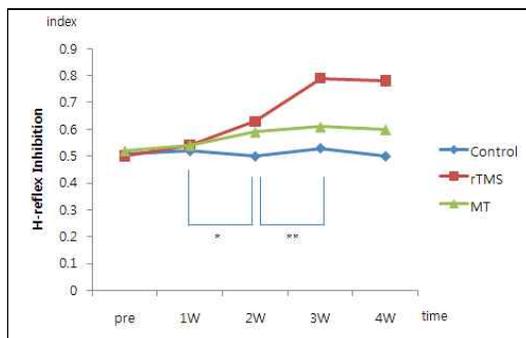
만성 뇌졸중으로 인한 편마비시 반복경두개자기자극 적용 후 환측 하지의 장딴지근의 H-반사 억제 지수를 측정한 결과 H-반사 억제 지수는 증가하는 양상을 띄었다. 시간 경과에 따른 통계학적 유의성을 검증하기 위해 대응표본 t-test를 실시한 결과 치료 1 주 후와 2 주 후 사이에서($p<.05$), 2 주 후와 3 주 후 사이에서 통계학적 유의성을 관찰할 수 있었다($p<.01$). 또한, 일원배치분산분석을 실시한바 시간대별 변화 사이에서 통계학적 유의성($p<.05$)이 관찰되었다. 보편적 운동치료군의 H-반사는 다소 감소하는 양상을 보였으나, 대조군의 H-반사 억제 지수는 거의 변화가 없었으며, 보편적 운동치료군과 대조군에서 통계학적 유의성을 관찰할 수 없었다($p>.05$). 시간 경과에 따른 H-반사 변화에 있어 각 군간 유의한 차이가 있는지 알아본 결과 치료 2 주 후와 3 주 후에 반복경두개자기자극 치료군, 보편적 운동치료군 및 대조군의 세 집단 간에 유의한 차이

를 보였다($p<.01$)(Fig 4). 사후분석으로 Duncan test를 시행한 결과 반복경두개자기자극 치료 군과 보편적 운동치료군, 반복경두개자기자극 치료군과 위자극군에서 유의한 차이를 나타내었지만 보편적 운동 치료군과 위자극군에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 시간대별 대비검정을 실시한 바 반복경두개자기자극 적용1주에 비해 2주후와 3주후에 유의한 차이를 나타내었다.

IV. 고 찰

근래 들어 뇌졸중 후 비침습적으로 대뇌피질을 자극하여 운동기능의 호전을 유도하는 연구들이 활발히 수행되고 있는데 이러한 운동기능의 호전은 손상된 피질척수로(corticospinal tract)와 피질연수로(corticobulbar trat)의 강화와 연관이 있는 것으로 알려져 있다(손민균 등, 2008). 비침습적으로 대뇌피질을 자극하는 방법으로는 반복경두개자기자극(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)과 경두개직류전류자극(transcranial direct current stimulation, tDCS)이 대표적이다. 반복경두개자기자극은 강한 자장을 특정 뇌영역에 반복적으로 가하여 국소적인 신경기능의 변화를 유도하는 비침습적인 방법으로 시술자가 원하는 부위에 원하는 시간동안, 원하는 강도를 가하여 대뇌피질의 흥분도를 조절할 수 있는 장점이 있다(Pleger 등, 2004). 반복경두개자기자극에 의해 형성된 자기장은 코일에서 멀어지면서 급격히 감소하기 때문에 자극에서 가까운 부위가 가장 강한 강도의 자극을 받는다(Paulus 등, 2008). 또한 최근 뇌영상 기술을 이용한 연구에서는 반복경두개자기자극이 운동피질에 가해지면 자극 부위 뿐 만 아니라 멀리 떨어져 있는 피질, 피질하영역의 활성화에도 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(Rossini 등, 1994).

최근, 뇌졸중 환자를 대상으로 반복경두개자기자극의 효과에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 뇌졸중 후 평균 16 개월 된 마비성 환자를 대상으로 10 Hz의 고빈도 반복경두개자기자극으로 뇌의 병변부위를 자극하면 자극하지 않은 군에 비해 운동유발전위가 증가되고 손의 운동기능도 증가되며,



* $<.05$, ** $<.01$

Fig 4. The changes of H-reflex inhibition index of soleus muscle in chronic stroke patients

피질운동 흥분성과 운동기능 사이에 유의한 상관관계가 있다(Mállly와 Dinya, 2008). 뇌졸중 환자에서 저빈도 반복경두개자극의 효과에 대해서 뇌졸중 후 평균 27 일 된 급성기 군에서 1 Hz의 반복경두개자극으로 자극하면 위팔세갈래근(triceps brachii m.)과 위팔두갈래근(biceps brachii m.)에서 운동유발전위의 진폭이 증가되고 상지근육의 수축력이 증가되며, 만성뇌졸중환자에서도 1 Hz의 반복경두개자극으로 자극하면 양측 대뇌반구 사이에 운동 신경로가 재구성되어(Migita 등, 1995), 뇌들보횡단(transcallosal) 억제를 감소시켜 비정상 대뇌반구의 피질척수로의 흥분성이 증가되어 효과가 나타나는 것으로 해석되고 있다. 이러한 결과는 비침습적 대뇌피질 자극법으로 15 명의 만성 뇌졸중 환자에서 병변측 대뇌반구에 10 Hz의 반복경두개자극을 실시하여 위자극에 비하여 실제 자극에서의 운동기술 획득의 정확도 및 반응시간의 호전과 운동유발전위의 진폭의 상승을 확인한 결과(Kim 등, 2006)와 비슷하여 유사한 기전으로 피질척수 흥분도에 영향을 미쳐 상지기능이 향상되었음을 생각해 볼 수 있다. 본 연구에서는 만성 뇌졸중 환자에서 환측 뇌반구에 5 Hz의 고빈도 반복경두개자극을 시행하였는데 그 결과 하지의 관절운동 범위가 향상되었고 위자극군인 대조군에서는 통계적 차이가 없어 병변측의 고빈도 반복경두개자극이 만성 뇌졸중 환자의 발목관절의 경직 감소에서 효과가 있었음을 확인할 수 있었다. 이는 반복경두개자극이 만성 뇌졸중으로 인한 편마비 시 발목관절을 지배하는 하행성 피질척수로(corticospinal tract)의 신경가소성(neuroplasticity)을 유발시켜 발목관절의 관절운동 범위를 활성화시켰으며, 대뇌피질에서 척수로 투사되는 하행성 억제를 활성화시켜 발목관절의 경직이 감소된 것으로 생각된다. 이 결과로 물리치료 임상에서 통상적 운동치료로 만성 뇌졸중 환자의 발목관절의 관절운동 범위와 경직의 개선이 유발되지 않을 시 반복경두개자극이 유용한 치료적 중재로 활용될 수 있음을 시사한다. 그러나 본 연구의 결과로는 반복경두개자극의 특성상 대뇌피질 외의 다른 부위의 활성 여부가 명확히 구별되지 않아 향후 이에 대한 구체적 연구가 진행되어

야 할 것으로 생각해 볼 수 있다.

또한, H-반사는 척수 수준에서 반사고리(reflex loop)의 기능적 상태를 평가하는 단일연접반사인데, H-반사의 진폭과 Hmax/Mmax 비는 운동신경세포 풀(motoneuron pool)의 흥분성 효과와 연접 전 신경종말에서 분비되는 신경전달물질의 분비 상태를 반영한다(Sugawara와 Kasai, 2002). 이 수치의 변화는 신경병증의 진단, 모니터링, 발달장애 및 척수분절 반사 행위 등에 대한 정보를 제공하므로 H-반사의 특징을 이용해 특정자세, 능동 및 수동운동, 보행주기, 근육특성 및 마사지 등 다양한 연구에서 활용되어 왔다(Chen 등, 2008). 반복경두개자극과 H-반사의 연관성을 관찰한 연구는 정상인을 대상으로 H-반사나 운동유발전위와의 관계를 연구하거나, 뇌졸중환자에서 반복경두개자극을 시행한 후 운동유발전위와 근육 수축의 변화, 운동기능의 회복에 대하여 진행되어 왔다. 즉, 건강한 정상인에게 고빈도 반복경두개자극을 적용한 연구에서 5 Hz의 역치 상 강도로 1 분 간격으로 20 회 자극하면 H-반사의 진폭이 감소하고 이 효과는 자극 후 900 ms 정도 지속된다고 하였다(Jaberzadeh 등, 2004). 5 Hz로 하지의 운동피질영역을 자극하면 가자미근의 H-반사 진폭이 감소하게 되는데, 자극 강도가 크고 자극 후의 검사 간격이 짧을수록 H-반사의 감소가 커진다(Sugawara와 Kasai, 2002). 손민균 등(2010)의 연구에서도 정상인을 대상으로 역치의 강도로 20 Hz 반복경두개자극을 하였을 경우 H-반사의 진폭이 감소하고 잠시가 증가하며 H/M 진폭비는 감소하는데 이는 반복경두개자극 후에 운동피질의 흥분성이 증가하고 피질척수 연접전 억제제의 증가로 척수의 흥분성이 감소되었기 때문이라고 하였다. Mállly와 Dinya(2008)는 만성 뇌졸중 환자에서 반복경두개자극 후에 손의 경직이 감소하여 손의 움직임이 향상되었다고 하였는데, 본 연구에서도 뇌졸중 환자에서 고빈도 반복경두개자극 후 발목관절의 경직이 감소되어 고빈도 반복경두개자극이 연접전 억제를 증가시켜 뇌졸중 환자의 경직을 감소시키는데 도움을 준 것으로 생각할 수 있다. 고명환 등(2009)은 피질척수로의 흥분을 반영하는 지표로 운동유발전위의 진폭의 변화를 사용하여

건강한 성인에서 10 Hz의 고빈도 반복경두개자기자극을 총 1,000 회 시행한 후 피질척수로의 흥분도 변화를 보았는데, 경두부 전기자극 후에 운동유발전위의 진폭이 자극 전에 비해 자극 직후부터 10 분까지 증가되었다고 보고하였다. 또한 Peinemann 등 (2004)은 건강한 성인에서 역치하자극을 150, 900, 1,800 회로 각각 시행하여 피질척수로의 활성화 변화를 관찰한 연구에서 1,880 회의 자극을 주었을 때 30 분 이상 피질척수로의 활성화도가 증가되는 것을 확인하였으나 900 회의 자극을 주었을 때는 5 분까지만 활성화도가 증가되었으며, 150 회 자극 시에는 활성화도의 변화를 확인할 수 없었음을 보고하였다. 본 연구에서는 뇌졸중 환자에서 고빈도 반복경두개자기자극을 시행한 후 발목관절에서 운동기능의 회복 뿐 아니라 H-반사와 경직을 평가한 것이 지금까지의 연구에 비해 특이한 점이라 하겠다. 즉, 본 연구에서는 만성 뇌졸중으로 인한 편마비 환자에서 반복경두개자기자극 치료군이 운동치료군에 비해 수정된 Ashworth 척도 점수를 낮추었고, 발목관절의 관절운동 범위를 증가시켰으며, 가자미근의 H-반사 억제 지수도 증가시켜 뇌졸중 환자에서 증가된 척수의 흥분성이 감소됨을 확인할 수 있다. 이는 반복경두개자기자극에 의한 피질척수로의 활성화로 Ia 신경섬유 말단의 연접전 억제(presynaptic inhibition)와 척수 내 알파신경세포의 흥분성에 변화를 일으켜 나타난 결과로 추정할 수 있다. 또한, 8 자 코일의 자극기를 적정 두피 위치에서 반대로 회전시키고 나머지 조건은 동일하게 하여 자극한 위 자극군에서는 경직 감소, 발목관절의 관절가동 범위 증가 및 가자미근의 H-반사 억제 지수의 감소를 관찰할 수 없어서, 반복경두개자기자극이 만성 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 족하수(foot drop)의 개선에 유용한 치료 수단이 될 수 있음을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 연구는 만성 뇌졸중으로 인한 편마비시 반복경두개자기자극이 경직형 발목관절의 관절가동 범위 향상, 경직 감소 및 H-반사 억제에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 수행되었다. 반복경두개자기자

극 치료군은 운동 치료군에 비해 경직을 월등히 감소시켰고($p<0.01$), 발목관절의 관절가동 범위를 증가시켰으며($p<0.01$), 가자미근의 H-반사 억제를 증가시켰다($p<0.01$). 위자극군에서는 경직 감소, 관절가동 범위의 증가 및 H-반사 억제 지수의 증가를 관찰할 수 없었다($p>0.05$). 또한, 시간 변화에 따라 치료 2 주 후와 3 주 후에 반복경두개자기자극 치료군, 운동치료군 및 위자극군의 세 집단 간에 유의한 차이를 보여($p<0.05$), 반복경두개자기자극이 만성 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 족하수(foot drop)의 개선에 유용한 치료수단이 될 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 고명환, 한상형, 박성희 등. 뇌졸중 환자에서 경두개 직류전류 자극에 의한 손 기능 호전. 대한재활의학회지. 2009;33(3):259-64.
- 손민균, 김봉옥, 김성겸 등. 고빈도 반복경두부자기 자극이 뇌졸중의 운동 기능에 미치는 영향. 대한재활의학회지. 2010;34(2):168-73.
- 손민균, 김봉옥, 김성겸 등. 사람 급성 근육통 모델에서 10 Hz 반복경두부자기자극의 효과. 대한재활의학회지. 2008;32(5):558-63.
- Berardelli A, Abbruzzese G, Chen R et al. Consensus paper on short-interval intracortical inhibition and other transcranial magnetic stimulation intracortical paradigms in movement disorders. Brain Stimul. 2008;1(3):183-91.
- Chen R, Cros D, Curra A et al. The clinical diagnostic utility of transcranial magnetic stimulation: report of an IFCN committee. Clin Neurophysiol. 2008; 119(3):504-32.
- Dafotakis M, Grefkes C, Eickhoff SB, et al. Effects of rTMS on grip force control following subcortical stroke. Exp Neurol. 2008;211(2):407-12.
- Di Lazzaro V, Dileone M, Profice P et al. Direct demonstration that repetitive transcranial magnetic stimulation can enhance corticospinal excitability in stroke. Stroke. 2006;37(11):2850-3.

- Di Lazzaro V, Oliviero A, Pilato F et al. The physiological basis of transcranial motor cortex stimulation in conscious humans. *Clin Neurophysiol.* 2004;115(2):255-66.
- Freni F, Boggio PS, Valle AC et al. A sham-controlled trial of a 5-day course of repetitive transcranial magnetic stimulation of the unaffected hemisphere in stroke patients. *Stroke.* 2006;37(8):2115-22.
- Inghilleri M, Lorenzano C, Conte A et al. Effects of transcranial magnetic stimulation on the H reflex and F wave in the hand muscles. *Clin Neurophysiol.* 2003;114(6):1096-101.
- Jaberzadeh S, Scutter S, Warden-Flood A, et al. Between-days reliability of H-reflexes in human flexor carpi radialis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(7):1168-73.
- Kim YH, You SH, Ko MH et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation-induced corticomotor excitability and associated motor skill acquisition in chronic stroke. *Stroke.* 2006;37(6):1471-6.
- Mally J, Dinya E. Recovery of motor disability and spasticity in post-stroke after repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). *Brain Res Bull.* 2008;76(4):388-95.
- Migita K, Uozumi T, Arita K et al. Transcranial magnetic coil stimulation of motor cortex in patients with central pain. *Neurosurgery.* 1995;36(5):1039-40.
- Paulus W, Classen J, Cohen LG et al. State of the art: Pharmacologic effects on cortical excitability measures tested by transcranial magnetic stimulation. *Brain Stimul.* 2008;1(3):151-63.
- Peinemann A, Reimer B, L er C et al. Long-lasting increase in corticospinal excitability after 1800 pulses of subthreshold 5 Hz repetitive TMS to the primary motor cortex. *Clin Neurophysiol.* 2004;115(7):1519-26.
- Pleger B, Janssen F, Schwenkreis P et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation of the motor cortex attenuates pain perception in complex regional pain syndrome type I. *Neurosci Lett.* 2004;356(2):87-90.
- Rossini PM, Barker AT, Berardelli A et al. Non-invasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal cord and roots: basic principles and procedures for routine clinical application. Report of an IFCN committee. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1994;91(2):79-92.
- Sugawara K, Kasai T. Facilitation of motor evoked potentials and H-reflexes of flexor carpi radialis muscle induced by voluntary teeth clenching. *Hum Mov Sci.* 2002;21(2):203-12.