

# 기능적 전기 자극을 이용한 생체되먹임 융합 자세조절 훈련이 뇌졸중 환자의 근활성도와 균형 능력에 미치는 영향

김제호<sup>1</sup>, 엄요한<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>세한대학교 물리치료학과 교수, <sup>2</sup>군장대학교 물리치료학과 교수

## The Effects of Biofeedback Fusion Postural Control Training using Functional Electrical Stimulation on the Muscle Activity and Balance Ability of the Stroke Patient

Je-Ho Kim<sup>1</sup>, Yo-Han Uhm<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Dept. of physical therapy, Sehan University

<sup>2</sup>Professor, Dept. of physical therapy, Kunjang University

**요약** 본 연구에서는 기능적 전기 자극을 이용한 생체되먹임 융합 자세조절 훈련을 증재하여 급성기 뇌졸중 환자들의 다리 근활성도와 균형 능력에 미치는 효과에 대하여 알아보하고자 하였다. 뇌졸중 환자는 기능적 전기 자극을 이용한 생체되먹임 융합 자세조절 실험군 15명과 일반적인 생체되먹임 융합 자세조절 대조군 15명으로 나누어 8주간 주 5회, 30분간 시행하였고, 다리 근활성도를 평가하기 위해 근전도를 이용하여 가쪽넓은근, 안쪽넓은근, 넓다리곧은근, 넓다리두갈래근을 측정하였다. 균형 능력을 측정하기 위해 Biorecue를 이용하여 균형 능력을 측정하였다. 다리 근활성도 비교에서는 가쪽넓은근, 안쪽넓은근, 넓다리곧은근, 넓다리두갈래근에서 통계적으로 유의한 차이를 보였고, 균형 능력 비교에서는 신체 중심 이동면적, 총 궤적 길이, 안정선한계에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이에 따라 기능적 전기 자극을 이용한 생체되먹임 자세조절 훈련이 일반적인 생체되먹임 자세조절 훈련 보다 다리 근활성도와 균형 능력을 향상시키는데 효과적임을 알 수 있었다.

**주제어** : 기능적 전기 자극, 생체되먹임, 뇌졸중, 근활성도, 균형

**Abstract** The muscle activity and balance ability of the acute stroke patient has been checked by the functional electrical stimulation using biofeedback fusion postural control training in this study. Functional electrical stimulation using biofeedback fusion postural control training have been implemented on 15 trainees and general biofeedback fusion postural control training have been implemented on another 15 trainees for 30 minutes at 5 times per week during 8 weeks, and vastus lateralis, vastus medialis, rectus femoris and biceps femoris have been measured using the biceps femoris to evaluate the muscle activity of the lower extremity. The moving surface area, whole path length and limited of stability have been measured using biorecue to measure the balance ability. There was statistically meaningful difference on the vastus lateralis, vastus medialis, rectus femoris and biceps femoris in the muscle activity of the lower extremity and there was statistically meaningful difference on surface area, whole path length and limited of stability in the balancing ability. Based on above, it is realized that the functional electrical stimulation using biofeedback fusion postural control training is more effective than the general biofeedback fusion postural control training on the improvement of the muscle activity of the lower extremity and the balance ability.

**Key Words** : Functional electrical stimulation, biofeedback, stroke, muscle activity, balance

## 1. 서론

뇌졸중은 뇌에 혈액을 공급하는 혈관이 출혈되거나 경색되어 뇌 조직의 손상이 발생하고, 그에 따른 장애를 유발하는 신경학적 질환으로 뇌졸중 환자들은 비정상적인 근 긴장도, 근력 약화, 일상생활을 제한, 인지능력 저하, 균형 능력 저하 및 보행 장애 등의 다양한 문제가 나타난다[1]. 뇌졸중으로 인한 대뇌 걸질과 추체로(pyramidal tract) 손상은 반신마비를 가져오며 자세, 근 긴장도, 수의적 움직임의 비정상화로 인해 운동 장애가 나타나게 된다[2]. 뇌졸중으로 인한 장애는 일상생활에서 필요한 동작을 수행하는데 있어 제한을 가져오게 된다[3]. 마비측에 대한 조절 능력이 소실되어 근육 약화, 비대칭적인 자세, 균형 능력 저하와 체중 이동능력 저하, 섬세한 기능을 수행하는 운동요소의 상실 등으로 삶의 질 저하를 일으킨다[4].

뇌졸중 후 근골격계의 변화는 신체의 비사용으로 인하여 근육에 구축을 유발하고, 결과적으로 신체 부위를 담당하는 대뇌 걸질의 위축을 초래하여 마비가 더욱 심해진다[5]. 뇌졸중 환자의 마비측 근육인 속근(white muscle)가 위축되는 형태학적 변화가 일어나고 근육의 기능에 부정적인 영향을 미치게 된다[6]. 이러한 근육의 문제들은 결국에 근육 약화로 나타나고 일상생활을 위한 과도한 에너지 소비, 운동 시작의 어려움, 비정상적인 수축, 근-골격계의 부하 상태 동안 근육의 기본적인 능력을 감소시키게 된다[7]. 뇌졸중으로 인한 근육의 기능적 변화는 높은 에너지 소비와 근-골격계의 문제를 유발하여 운동조절을 더 어렵게 만들고 신체 기능의 악화시킨다고 생각된다. 운동손상과 기능적 활동을 비교하는 연구들에서 둘의 연관성이 높다고 보고하였다[8]. 반신마비는 신체의 한쪽에 근력 약화와 운동 장애를 보이며, 대부분 경우에는 다리 근육의 약화를 보인다. 근력 약화는 팔보다 다리에서 더 빠르게 시작되며, 다리 근력은 일상생활 동작과 높은 상관관계가 있으며, 일반적으로 반신마비 환자들은 넓다리내갈래근과 넓다리뒤근에서 근력 약화를 보인다[9]. 근력약화로 인한 비사용은 마비를 더욱 심하게 하며, 결과적으로 일상생활과 사회로의 복귀에 제한을 준다고 생각된다. 뇌졸중 발병 이후 발생하는 마비측의 근력 약화와 감각 저하는 환경에 대하여 신체 분절을 정렬하고, 자세를 조절하는 균형 능력의 제한을 가져오게 된다[10]. Salbach 등[11]은 다리 근활성도 증가가 일상생활 동작과 관련된 능력을 향상시키는데 효과적이라고 보고하였다.

대부분 뇌졸중 환자는 정상인에 비해 체중 이동 시 자세 동요가 두 배 정도 커지게 된다. 반신마비를 갖고 있는 뇌졸중 환자는 불안정성 극복을 위해 마비측 쪽으로만 체중을 이동시켜 불균등한 체중분배율과 비정상적인 자세조절 및 균형을 보이게 된다[12]. 대부분의 일상생활 동작은 다양한 신체 중심을 변화시키는 활동으로 이루어져 있으며, 일상생활 동작과 관련된 과제를 수행하기 위해선 자세조절 능력이 필요하다[13]. 뇌졸중 환자의 목표는 독립적인 보행과 일상생활에 있고, 보다 수월한 동작을 위해서는 균형 능력이나 자세조절 능력이 우선되어야 한다[13]. 균형 능력은 장애를 예측하는 중요한 인자이며, 균형 능력의 회복은 보행 능력과 높은 상관관계를 나타낸다[14]. 뇌졸중 환자들은 다양한 자세에서도 마비측으로 체중의 60~65% 정도를 지지하는 경향을 나타내고, 체중지지 자세에서 안정적으로 균형을 유지하면서 신체 중심을 이동할 수 있는 능력이 저하되어 낙상과 같은 위험한 요소에 노출된다[15].

뇌졸중 환자들의 일상생활 능력을 향상시키는 물리치료적 접근 방법은 과제 지향적 운동, 기능적 전기 자극, 트레드밀 보행 훈련, 운동 이미지 훈련, 리듬 청각 자극 훈련, 로봇 치료, 가상현실 훈련, 근력 강화 운동 등과 같이 다양하게 제시되고 있다. 최근 뇌졸중 환자의 기능적 능력의 향상에 감각적인 요소가 중요한 부분을 차지하고 있고 외부에서 들어오는 감각자극을 이용한 새로운 중재 방법들이 개발되고 있다[16]. 기능적 전기 자극(Functional Electrical Stimulation) 치료는 반복적인 움직임을 훈련하는 동안 운동의 재학습이 최대화될 수 있도록 돕는 치료법이다[17]. 기능적 전기 자극은 근력 강화, 경직을 감소, 일상생활 동작 능력을 향상시키는데 뇌졸중 환자의 마비측 근육 부위에 적용되었다[18]. 기능적 전기 자극 훈련은 약화된 근육이나 마비된 근육에 전기적 자극을 가해 수축(contraction)을 유발하여 근 위축 방지, 근력 강화 등의 효과를 기대할 수 있다[19]. 기능적 전기 자극의 영향을 받는 신경이나 근육은 척수의 전각(anterior horn)에서 신경계 활동을 활성화시키고, 전기 자극이 되는 동안 환자 스스로의 노력이 결합되어 피라미드로의 활동을 강화시킨다. 이는 뇌졸중 환자가 일상생활을 활동하는 동안 에너지 효율성을 높여준다[20]. 기능적 전기 자극은 뇌졸중 환자의 마비된 운동 부위에 근력과 신체적 능력 향상을 돕는다[21]. 기능적 전기 자극은 뇌 손상을 가진 사람들의 근력과 운동회복을 초래하여, 더 나은 기능적 수행을 촉진하며, 근육 활동 참여와 함께 하는 감각자극은 피질 신체영역에 가소성을 불러일으킬 수 있다[22].

생체되먹임은 기기를 이용하여 신체에 나타나는 반응에 시·청각 되먹임을 이용하여 조절하는 것을 말하며, 자신 스스로의 반복적 훈련으로 운동 학습(motor learning)이 가능하고 운동 후 직후 자신의 과제수행과 평가의 결과를 즉각적으로 보여주기 때문에 뇌졸중 환자에게 적합한 훈련 방법으로 여겨지고 있다[23]. 이심성 정보에 대한 내부 반응의 느낌을 획득하기 위해 신경생리학적 상태가 반영된 신호를 시·청각 혹은 움직이는 그림 등으로 컴퓨터 화면에 나타내는 것이다[24]. 생체되먹임을 이용하는 참여자는 생체되먹임으로 인해 효과적으로 움직임을 조절할 수 있게 되며, 즐기면서 자신 스스로 과제를 수행하고 처리할 수 있어 치료에 흥미와 동기부여를 가질 수 있다[25]. 개개인에게 맞는 훈련 프로그램을 제공하기 위해 가상현실의 환경에서 시청각이나 고유 수용감각과 같은 감각피드백을 제공할 수 있고 적응 정도에 따라 운동의 난이도를 바꿔가며, 환자에 맞는 환경을 창조하여 적용할 수 있다[26]. 결과에 대하여 즉각적인 되먹임을 제공하여 운동 학습 효과를 극대화시킬 수 있으며, 생체되먹임을 이용한 증재는 기존의 일반적인 증재가 가지고 있는 제한점을 극복하기 위한 수단으로 뇌졸중 환자의 재활훈련으로의 가능성을 보여주고 있다[27]. 생체되먹임은 새로운 증재 방법으로 다양한 환경 속에서 환자를 의미 있고 즐거운 활동에 참여시키는 장점을 가지고 있다[28].

Robertson 등[29]은 뇌졸중 환자를 15명을 대상으로 4주 동안 1일 2시간씩 기능적 전기 자극을 부착하여 균형 훈련을 증재한 그룹과 기능적 전기 자극을 부착하지 않고 균형 훈련을 증재한 그룹을 비교 분석한 결과, 기능적 전기 자극을 부착한 그룹에서 균형 능력의 향상을 보고하였다. 엄요한 등[30]은 뇌졸중 환자 30명을 대상으로 생체되먹임을 결합한 컴퓨터화된 자세조절 훈련군과 생체되먹임을 제거한 동적 균형훈련군을 비교한 연구에서 생체되먹임을 결합한 컴퓨터화된 자세조절 훈련군이 동적 균형 훈련군과 비교하여 다리 근활성도에 유의한 차이를 보였다. 이처럼 뇌졸중 환자의 기능 회복을 위한 다양한 재활 훈련이 적용되고 있는 가운데, 운동감각 입력의 변화와 함께 다양한 생체되먹임을 결합한 치료방법들은 미비한 실정이다. 본 연구에서는 급성기 뇌졸중 환자에게 기능적 전기 자극을 이용한 생체되먹임 자세조절 훈련을 증재하여 다리 근활성도와 균형에 미치는 영향에 대해 연구하고, 급성기 뇌졸중 환자들의 재활훈련에 기초 자료로 사용하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구 대상자

본 연구는 S 대학교의 기관생명윤리위원회의 승인을 받았다(number:2018-08-11). 연구는 2018년 9월부터 2018년 12월까지 3개월 간 뇌졸중으로 인해 반신마비 진단을 받고 전남 소재의 재활병원에서 기능 회복을 위해 중추신경계 물리치료를 받고 있는 입원 환자들 중에서 뇌졸중 진단을 받고 6개월을 초과하지 않은 반신마비 환자, 뇌졸중 후 재발 병력이 없는 자, 운동 시·지각 검사에서 정상범주에 속한 자, 한국형 간이 정신 상태 검사에서 24점 이상으로 의사소통이 가능한 자, 보조기를 사용하지 않거나 사용하지 않고 독립적으로 10 m를 걸을 수 있는 자, 시야결손에 문제가 없으며, 당뇨와 고혈압 외 다른 의학적 질환을 가지고 있지 않은 자, 본 연구에 자발적으로 참여하기를 희망하는 자로 선정하였다. 본 연구에서는 설정한 기준에 적합한 뇌졸중 환자 30명을 대상으로 실험군으로 기능적 전기 자극을 이용한 생체되먹임 융합 자세조절 훈련 그룹, 대조군은 일반적인 생체되먹임 융합 자세조절 훈련 그룹으로 분류하여 각 그룹에 15명씩, 단순 무선 표본추출을 통하여 무작위 임의 배치하였다. 본 연구에서는 G-power 3.1.9.4를 이용한 공분산분석을 기준으로 하여 양측검정 유의수준 0.05, 검정력 0.80, 효과크기 0.50으로 계산하여 총 표본 크기는 28명으로 나왔으며, 탈락률을 고려하여 각 집단 당 15명, 총 30명으로 산출하였다. 연구 대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. General characteristics of the subjects

	Experiment group (n=15)	Control group (n=15)	F	p <sup>*</sup>
	M±SD	M±SD		
Age (year)	55.05±6.51	53.95±6.90	5.17	.588
Height (cm)	168.51±14.51	169.06±13.33	21.84	.845
Weight(kg)	64.19±5.78	66.73±6.11	8.23	.624
Duration (month)	5.05±0.41	5.31±0.88	1.38	.774

<sup>\*</sup>Shapiro-wilk test

Mean±SD: mean±standard deviation

Experiment group: functional electrical stimulation using

biofeedback fusion postural control training

Control group: biofeedback fusion postural control training

### 2.2 연구 도구

#### 2.2.1 근활성도 능력 측정

근활성도를 측정하기 위해 MP100 표면 근전도 시스템(Biopac System Inc., California, USA)을 이용하였다. 디지털 신호는 개인용 컴퓨터에서 Acqknow -ledge 3.91 소프트웨어를 이용하여 자료 처리하였다. 잡음을 최소화하기 위하여 대역 통과 필터 30~500 Hz와 대역역과 필터 60 Hz를 사용하였고, 신호의 표본 추출률은 1,024 Hz로 설정하였다. 수집된 신호는 root mean square(RMS) 처리를 하였다. 표면 근전도 신호에 대한 피부 저항을 감소시키기 위하여 근전도 부착 부위의 털을 제모하고 사포로 각질층을 제거한 후, 소독용 알코올 솜을 이용하여 피부를 깨끗이 닦아내었다. 안정성 한계를 3회 검사하는 동안 다리의 근활성도를 3회 측정하고 표준화하기 위하여 측정된 데이터를 실효치로 변환하고 측정된 값을 이용하여 평균값을 사용했다. 이극 표면 전극을 측정하는 근육에 부착하였다. 전극부착 근육은 가쪽넓은근, 안쪽넓은근, 넓다리곧은근, 넓다리두갈래근에 부착하여 근활성도를 측정하였다.

### 2.2.2 균형 능력 측정

균형 능력을 분석하기 위하여 균형분석기(Biorescue, RM Ingenierie, France)을 사용하였으며, 정사각형의 기립용 힘판으로 구성되어 있고 그 위에는 정확한 발의 위치를 위해서 눈금자가 표시되어 있다. 균형 능력이 측정되고, 여러가지 균형 훈련 프로토콜을 통해서 재활치료 및 운동치료를 증재하는데 사용된다. 검사 방법에는 정적 균형 능력을 측정하기 위해 두 발 서기를 60초간 수행하는 동안 신체 중심(center of pressure)의 이동면적(surface area)과 총궤적길이(whole path length)를 측정하였다. 동적 균형 능력인 안정성 한계(limited of stability)를 측정하기 위해 화면에서 지시하는 8개의 방향으로 체중 이동시의 거리를 측정하였다. 모든 평가는 3회를 측정하고, 얻은 결과 값의 평균값을 이용하였다. Song & Park[31]은 Biorescue 검사 도구가 검사-재검사 방법에서 급내 상관계수 ICC=0.84로 높은 신뢰도를 가진다고 보고하였다.

### 2.3 증재방법

연구 대상자들은 일반적인 증추신경계 물리치료를 30분씩 증재한 후, 실험군은 기능적 전기 자극을 이용한 생체피막임 융합 자세조절훈련, 대조군은 일반적인 생체피막임 융합 자세조절 훈련을 실시하였다. 기능적 전기 자극을 이용한 생체피막임 융합 자세조절 훈련은 Physio4(기능적 전기 자극)과 Balance trainer를 이용하여 증재

하였다(Fig. 1 참고). 기능적 전기 자극(Physio4, Cefar Complex, Australia)의 전극은 2채널 단일전극으로 5×5 cm의 접착식 전극을 사용하여 1개의 채널은 앞정강근(tibialis anterior)에 다른 1개의 채널은 넓다리네갈래근(quadriceps)에 부착하였다. 자극 조건은 직각 이중파형으로 자극 주파수는 40 Hz로 고정, 펄스 폭 400  $\mu$ s, 자극 강도는 환자의 기능적 회복 수준에 따라 치료사의 관찰을 통해 부착 근육의 수축이 시작되면 환자가 견딜 수 있는 정도로 하였다. Balance trainer (Medica Medizin techink GmbH, Germany)는 관절에 2도 정도의 자유도가 있으며, 무릎패드와 골반 지지대로 구성되어 있다(Fig. 2 참고). Balance trainer는 사람의 움직임이 발생 시, 움직임의 정도를 연결된 모니터에서 보여주며, Balance trainer의 관절은 훈련 과제를 수행하는 동안 사람의 생리학적 움직임을 허용한다. Balance trainer에서의 훈련 과제가 선택되면 환자는 컴퓨터 모니터를 주시하고 훈련 과제에 따라 움직임을 수행하면 된다. 과도한 보상작용이나 손을 사용하는 경우 치료사의 구두를 통해서 제한한다. 증재는 8주간, 1주일에 5회, 1일 30분 동안 시행하였다. 뇌졸중 환자의 기능적 능력 향상을 위해서는 6주 이상의 훈련 기간을 설정해야 하며, 다른 훈련 프로토콜도 함께 적용되어야 한다고 하였다[23].

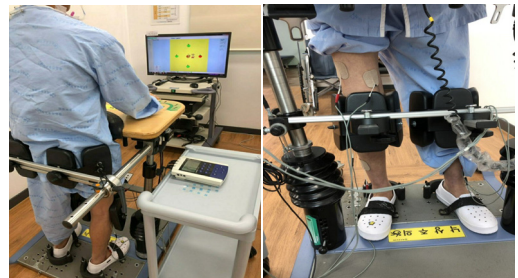


Fig. 1. functional electrical stimulation using biofeedback postural control training



Fig. 2. Balance trainer

### 2.4 분석방법

본 연구의 자료처리는 Window용 SPSS Ver 25.0을 사용하였다. 그룹 간 정규성 검증을 위해 Shapiro-wilk test를 시행하였다. 중재 방법에 따른 근활성도와 균형 능력을 비교하기 위하여 공분산분석(analysis of covariance: ANCOVA)을 실시하였다. 통계학적 유의 수준은  $\alpha=.05$ 로 하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 근활성도 비교

그룹 간의 중재 전·후 가쪽넓은근 근활성도 비교에서 실험군은 34.51±7.77에서 39.44±8.87로 (F=18.36), 넓다리두갈래근 근활성도 비교에서 24.25 ±4.59에서 27.95±4.49로(F=28.69), 앞정강근 근활성도 비교에서 40.86± 9.62에서 43.99±10.17로(F=45.21), 장딴지근 근활성도 비교에서 31.35±6.27에서 33.37 ±6.66로 (F=15.67), 대조군과 비교하여 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05)(Table 2 참고).

Table 2. Comparison of muscle activity between groups

Muscle	Pre-test		Post-test		F	p'
	Experi-ment group	Control group	Experi-ment group	Control group		
VL	34.51±7.77	35.02±7.89	39.44±8.87	37.78±8.90	18.36	.007*
BF	24.25±4.59	25.55±5.05	27.95±4.49	27.02±4.76	28.69	.032*
TA	40.86±9.62	40.94±9.81	43.99±10.17	42.07±10.44	45.21	.021*
GCM	31.35±6.27	32.07±6.11	33.37±6.66	33.18±6.45	15.67	.032*

p' = ANCOVA

\*p<.05

VL: Vatus lateralis muscle

BF: Biceps femoris muscle

TA: Tibialis anterior muscle

GCM: Gastrocnemius muscle

### 3.2 균형 능력 비교

그룹 간의 중재 전·후 신체 중심 이동면적 비교에서 실험군은 67.41±13.12에서 461.67±11.54로 (F=31.98), 총궤적길이 비교에서 8.02±2.22에서 7.73±2.35로 (F= 17.78), 안정성 한계 비교에서 131.39±28.54에서 141.39±29.33로(F=10.49), 대조군과 비교 하여 통계학 적으

로 유의한 차이가 있었다. 신체 중심 이동면적과 총궤적 길이의 값이 작아졌다는 것은 균형 능력이 향상되었음을 뜻하는 것이고, 안정성 한계의 값이 증가 되었다는 것은 균형 능력의 향상을 뜻한다 (p<0.05)(Table 3 참고).

Table 3. Comparison of balance ability between groups

Muscle	Pre-test		Post-test		F	p'
	Experi-ment group	Control group	Experi-ment group	Control group		
SA (mm <sup>2</sup> )	67.41±13.12	68.11±13.99	61.67±11.54	63.87±12.44	31.98	.009*
WPL (cm)	8.02±2.22	8.23±2.74	7.73±2.35	7.89±2.49	17.78	.033*
LOS(cm <sup>2</sup> )	131.39±28.54	132.55±27.77	141.39±29.33	138.89±30.6	10.49	.004*

p' = ANCOVA

\*p<.05

SA: Surface area

WPL: Whole path length

LOS: Limited of stability

## 4. 고찰

뇌졸중은 뇌혈관 순환장애로 인해 유발되는 발생빈도가 높은 중추신경계의 질환이며 감각 및 운동 손상을 포함한 많은 신경학적 기능손상을 동반한다[33]. 뇌졸중 환자에게 흔히 나타나는 신체 기능 장애는 마비 증상이 있으며, 반신마비 환자는 마비측의 감각 및 운동 장애로 인하여 일상생활을 영위하는데 있어 제한이 발생한다[33]. 뇌졸중 이후에 나타나는 운동기능 상실은 근력을 약화시키고, 비정상적인 근긴장을 만들며, 비대칭적인 움직임과 운동조절능력의 장애를 가져온다[34].

근력 약화는 활동을 위한 협력수축, 등장성 수축, 자세 유지, 움직임 조절 등 근육의 능력을 감소시키고, 비효율적인 에너지 소비와 운동 시작의 어려움을 초래한다[7]. 뇌졸중 환자가 겪는 대표적인 증상인 근력의 약화는 임상적으로 뇌졸중 환자의 일상생활 수행 능력을 제한하는 요소이다[9]. 뇌졸중 후 신경학적 손상으로 다리 근력이 저하되고, 다리의 근력 저하는 비대칭적인 균형에 관련이 있다[35]. 뇌졸중 환자의 감각 손상과 근력의 약화는 균형과 밀접한 관련이 있다[10].

뇌졸중 환자는 마비측에 대한 중추신경계의 능력 저하로 인해 근육의 조절 능력이 원활하게 이루어지지 않게 되고, 이로 인하여 비정상적으로 근 긴장도가 향상되거나 저하되고 신체의 한쪽에 마비가 발생하여 결과적으로 균

형 능력의 감소가 나타난다[3].

본 연구에서는 8주간의 기능적 전기 자극을 이용한 생체피막임 융합 자세조절 훈련이 뇌졸중 환자의 근활성도와 균형에 미치는 영향을 알아보고 뇌졸중 환자를 대상으로 그 효과를 구명함으로써 급성기 뇌졸중 환자들에게 더 나은 치료의 가능성을 제시하기 위해 다음과 같이 논의하고자 한다.

뇌졸중 환자의 근력 강화의 방법으로 기능적 전기 자극의 치료적 중재는 마비측 다리의 집중적인 근력 강화로 다리의 조절 능력을 향상시킬 수 있다고 하였다[35]. 뇌졸중 환자들에게 기능적 전기 자극을 적용하였을 때, 자극을 받은 근육이 활성화되어 근수축 증가와 재교육을 한다고 보고하였다[37]. Kunkel 등[38]은 뇌졸중 환자의 넓다리내갈래근과 큰볼기근에 적용된 기능적 전기 자극은 균형이나 체중 이동에 영향을 준다고 보고하였고, Ng 등[23]은 뇌졸중 환자 54명을 대상으로 균형 훈련과 함께 기능적 전기 자극을 중재한 실험군과 일반적인 체중 지지 훈련을 중재한 대조군을 비교한 연구에서 체중지지를 동반한 기능적 전기 자극을 중재한 실험군이 대조군에 비교하여 다리 근활성도에서 유의한 차이를 보였다. 이는 기능적 전기 자극이 마비된 근육에 전기적 자극을 주어 운동 단위를 활성화시킴으로써 근활성도에 긍정적인 영향을 미친 것으로 생각된다. Bethel 등[39]은 뇌 컴퓨터 인터페이스 기반 기능적 전기 자극 치료 훈련에 기초한 아급성기 사지 마비 환자의 손에 대한 연구를 하였고, 실험군 7명은 뇌 컴퓨터 인터페이스 기반 기능적 전기 자극 훈련, 대조군 5명은 기능적 전기 자극 훈련을 중재하였을 때, 실험군에서 근활성도가 크게 향상되었다고 보고하였다. 선행연구에서는 연구대상자를 사지 마비 환자를 대상으로 중재하였고, 본 연구는 뇌졸중 환자를 대상으로 중재하였다. 하지만 사지 마비 환자도 뇌졸중 환자와 마찬가지로 근력 약화와 근육 위축이 발생한다[40]. 기능적 전기 자극은 감각 신경 자극뿐만 아니라 근수축을 유발하여 근력 유지 및 강화를 제공하는 이점이 있다[41].

Robertson 등[29]은 뇌졸중 환자 15명을 대상으로 4주 동안 2시간씩, 기능적 전기 자극을 이용한 균형 훈련을 중재한 실험군과 일반적인 균형 훈련을 중재한 대조군을 비교한 연구에서 기능적 전기 자극을 이용한 실험군이 대조군에 비교하여 균형 능력에 유의한 향상을 보였다. 본 연구에서도 기능적 전기 자극을 이용한 그룹에서 근활성도에 유의한 차이를 보였다. Stein 등[42]은 다리에 기능적 전기 자극의 적용은 근력, 피로 저항, 유산소 능력을 증가시킨다고 하였다. 이는 기능적 전기 자극과

함께 훈련 프로그램을 적용했을 때, 그 효과가 더 크고 가중 된다는 것을 뒷받침해준다. 환자의 능동적인 개입이 없는 단순 반복 형태의 기능적 전기 자극은 신경계 환자의 회복에서 운동 재학습의 효과가 떨어진다고 하였다[43]. Boyaci 등[44]은 기능적 전기 자극의 적용방법에 대해서 수동적인 전기 자극 치료보다 능동적인 움직임을 병행한 기능적 전기 자극 훈련이 기능 회복에 더 효과적이라고 보고하였고, 기능적 전기 자극 동안 과제훈련을 수행할 경우, 더 효과적인 기능 회복을 보인다고 보고하였다[45]. 본 연구에서도 마찬가지로 기능적 전기 자극과 함께 능동적인 움직임인 생체피막임 융합 자세조절을 훈련을 적용하였다. 이는 생체피막임을 이용한 스스로가 참여하는 훈련이 과제를 수행하는 동안 움직임에 대한 정보가 제공되어, 다음 움직임 수행에서 즉각적인 행동수정을 이끄는 긍정적인 강화로 사용되어 근활성도와 균형 능력 향상에 유의한 영향을 미쳤다고 생각된다.

뇌졸중 후 균형 능력의 손상은 안정성을 감소시키며 기능적 활동 수행의 어려움을 발생시키므로 균형 능력은 독립적 활동과 기능적인 능력에 기초가 된다[46]. 균형 능력의 상실은 일상생활에서 움직임을 감소시켜 근력의 약화를 가져오며, 움직임을 방해하는 중요한 요인으로 작용한다[10]. Robertson 등[29]은 뇌졸중 환자 15명을 대상으로 4주간 기능적 전기 자극을 앞정강근에 적용하여 균형 훈련을 실시한 결과, 기능적 전기 자극을 적용한 그룹에서 균형 능력에 유의한 차이를 보였고, Cho [47]는 뇌졸중 환자 30명을 대상으로 중간볼기근과 앞정강근에 기능적 전기 자극을 적용한 트레드밀을 훈련을 중재하였을 때, 균형 능력에 유의한 향상을 보였다. 기능적 전기 자극 치료가 환자가 훈련을 하는 동안 운동 재학습이 될 수 있도록 돕고, 이로 인해 중추신경계 장애를 갖고 있는 환자의 기능을 회복시킬 수 있다[48]. 이는 기능적 전기 자극이 자발적인 근수축을 유도하고 결과적으로 균형능력에 영향을 미친 것으로 생각된다.

Tong 등[10]은 아급성 뇌졸중 환자를 대상으로 전동식 보행 훈련과 기능적 전기 자극 병행 보행 훈련이 균형에 미치는 효과에 대한 실험에서 20분, 4주간, 1일 1회 실시한 결과 기능적 전기 자극을 병행한 전동식 보행 훈련군이 일반적인 전동식 보행 훈련군과 중추신경계 물리치료군에 비하여 균형에서 세 구간 유의한 차이를 얻지 못하였다. 하지만 본 연구에서는 기능적 전기 자극을 적용한 그룹에서 균형 능력에 유의한 차이를 보였다. 이는 선행연구에 비해 본 연구에서 중재 기간이 길어 균형 능력 향상에 유의한 차이를 준 것으로 생각된다. 또한 뇌졸

중 환자의 균형 능력 향상을 위해서는 8주 이상의 훈련 기간을 설정해야 하며, 기능적 전기 자극 뿐만 아니라 다른 훈련 프로그램도 함께 적용되어야 한다고 생각된다. 본 연구에서도 균형 능력의 효과적인 향상을 위해 8주 이상의 중재기간을 설정하였고, 기능적 전기 자극과 함께 생체피막임 융합 자세조절 훈련을 적용하였다.

Hong [49]은 뇌졸중 환자 30명을 대상으로 가상현실 훈련 전 기능적 전기 자극 훈련을 적용한 그룹과 가상현실 훈련 전 수동적 몸통 정렬 훈련을 적용한 그룹으로 나누어 6 주간, 일주일에 주 3회, 1일 30분을 증재한 후 집단 내 비교 연구에서 기능적 전기 자극을 적용한 그룹에서 안정성 한계에 유의한 향상을 보였다. 본 연구에서도 기능적 전기 자극을 적용한 그룹에서 안정성 한계에 유의한 향상을 보였는데, 이는 기능적 전기 자극 치료와 생체피막임 융합 자세조절 훈련이 뇌졸중 환자의 마비측의 다리 근력을 향상시킴으로써 균형 능력에 긍정적인 영향을 미쳤을 것이라고 생각한다.

### 5. 결론

본 연구는 뇌졸중 환자를 대상으로 기능적 전기 자극을 이용한 생체피막임 융합 자세조절 훈련을 8주 동안 실시한 후 근활성도와 균형에 미치는 영향을 분석한 결과, 기능적 전기 자극을 이용한 생체피막임 융합 자세조절 훈련이 근활성도와 균형의 증가에 더 효과적임을 알 수 있었다. 뇌졸중 환자들에 있어서 효과적인 치료로 생각되며, 중추신경계 손상 환자의 기능 회복 중재 방법으로 제안할 수 있겠다. 본 연구의 제한점으로 연구대상자의 지역적 제한으로 모든 뇌졸중 환자에게 일반화하기 어려웠고, 연구대상자의 나이, 성별, 손상 부위와 발병 후 유병 기간 등의 관련 인자가 연구에 미치는 영향을 완전히 배제하기 어려웠다. 그리고 연구대상자의 일상생활 통제에 어려움이 있었다. 앞으로 본 연구를 바탕으로 이급성기 뇌졸중 환자가 아닌 급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 하여 효과를 확인하는 연구가 필요하다.

### REFERENCES

[1] J. E. Harris, J. J. Eng & D. S. Marigold. (2005). Relationship of balance and mobility to fall incidence in people with chronic stroke. *Phys Ther*, 85(2), 150-158. DOI :https://doi.org/10.1093/ptj/85.2.150

[2] S. C. O. Martins et al. (2011). Thrombolytic therapy for acute stroke in the elderly: an emergent condition in developing countries. *J Stroke Cerebrovas Dis*, 20(5), 459-464. DOI :10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2010.02.019

[3] S. B. O'Sullivan & T. J. Schmitz. (2006). *Physical rehabilitation*, 5<sup>th</sup> ed, Philadelphia : F. A. Davis COMPANY.

[4] L. Lundy-Ekman. (2012). *Neuroscience: Fundamentals for rehabilitation*, 4<sup>th</sup> ed, Amsterdam : ELSEVIER Saunder.

[5] J. M. Gracies. (2005). Pathophysiology of spastic paresis. I : Paresis and soft tissue changes. *MUS*, 31(5), 535-551. DOI :doi.org/10.1002/mus.20284

[6] L. M. Snow, W. C. Low & L. V. Thompson. (2012). Skeletal muscle plasticity after hemorrhagic stroke in rats : influence of spontaneous physical activity. *Am J Phys Med Rehabil*, 91(11), 965-976. DOI :10.1097/phm.0b013e31825f18e1

[7] D. A. Winter. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*, 4<sup>th</sup> ed, New jersey : John Wiley & Sons Inc.

[8] S. Lin. (2005). Motor function and joint position sense in relation to gait performance in chronic stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil*, 86(2), 197-202. DOI :10.1016/j.apmr.2004.05.009

[9] R. W. Bohannon. (2007). Muscle strength and muscle training after stroke. *J Rehabil Med*, 39(1), 14-20. DOI :10.2340/16501977-0018

[10] S. F. Tyson, M. Hanley & J. Chillala. (2006). Balance disability after stroke. *Phys Ther*, 86, 30-38. DOI :10.1093/ptj/86.1.30

[11] N. M. Salbach, N. E. Mayo & S. Wood-Dauphinee. (2004). A task orientated intervention enhances walking distance and speed in the first year post stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*, 18(5), 509-519. DOI :10.1191/0269215504cr763oa

[12] J. J. Eng & K. S. Chu. (2002). Reliability and comparison of weight-bearing ability during standing tasks for individuals with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil*, 83, 1138-1144. DOI :10.1053/apmr.2002.33644

[13] D. H. Kim & K. H. Kim. (2018). A convergence study on the effects of functional electrical stimulation with mirror therapy on balance and gait ability in chronic stroke patients. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(10), 109-120. DOI :10.15207/JKCS.2018.9.10.109

[14] K. H. Kim & S. H. Jang. (2018). A convergence study on effects of progressive proprioceptive motor program training on proprioception and balance ability in chronic stroke patients. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(10), 81-91. DOI :10.15207/JKCS.2018.9.10.081

[15] S. F. Tyson. (2004). Reliability and validity of functional

- balance tests post stroke. *Clin Rehabil*, 18, 916-923.  
DOI :10.1191/0269215504cr8210a
- [16] S. K. Sabut, C. Sikdar & R. Kumar. (2011). Functional electrical stimulation of dorsiflexor muscle : effects on dorsiflexor strength, plantarflexor spasticity, and motor recovery in stroke patients. *NeuroRehabilitation*, 29(4), 393-400.  
DOI :10.3233/NRE-2011-0717.
- [17] D. Soetanto, C. Kuo & D. Babic. (2001). Stabilization of human standing posture using functional neuromuscular stimulation. *J Biomech*, 34(12), 1590-1597.  
DOI :10.1016/s0021-9290(01)00144-0
- [18] W. Rong, K. Y. Tong & X. L. Hu. (2015). Effects of electromyography-driven robot -aided hand training with neuromuscular electrical stimulation on hand control performance after chronic stroke. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 10(2), 149-159.  
DOI :10.3109/17483107.2013.873491
- [19] N. M. Kapadia et al. (2014). Functional electrical stimulation therapy for recovery of reaching and grasping in severe chronic pediatric stroke patients. *J Child Neurol*, 29(4), 493-499.  
DOI :10.1177/0883073813484088
- [20] L. R. Sheffler, M. T. Hennessey & G. G. Naples. (2006). Peroneal nerve stimulation versus an ankle foot orthosis for correction of foot drop in stroke : impact on functional ambulation. *Neurorehabil Neural Repair*, 20(3), 355-360.  
DOI :10.1097/00002060-200603000-00090
- [21] R. K. Tong, M. F. Ng & L. S Li (2006). Effectiveness of gait training using an electromechanical gait trainer, with and without functional electric stimulation, in subacute stroke : a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 87(10), 1298-304.  
DOI :10.1016/j.apmr.2006.06.016
- [22] A. I. Kottink et al. (2007). A randomized controlled trial of an implantable 2-channel peroneal nerve stimulatory on walking speed and activity in post stroke hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil*, 88(8), 452-479.  
DOI :10.3990/1.9789036529594
- [23] G. Y. Ng, A. Q., Zhang & C. K. Li. (2008). Biofeedback exercise improved the emg activity ratio of the medial and lateral vasti muscles in subjects with patellofemoral pain syndrome. *J Electromyogr Kinesiol*, 18(1), 128-133.  
DOI :10.1016/j.jelekin.2006.08.010
- [24] O. M. Bazanova, E. M. Mernaya & M. B. Shtark. (2009). Biofeedback in psychomotor training: electrophysiological basis. *Neurosci Behav Physiol*, 39(5), 437-447.  
DOI :10.1007/s11055-009-9157-z
- [25] D. Rosenberg et al. (2010). Exergames for subsyndromal depression in older adults : a pilot study of a novel intervention. *Am J Geriatr Psychiatry*, 18(3), 221-226.  
DOI :10.1097/jgp.0b013e318c534b5
- [26] A. S. Merians, H. Poizner & R. Boian. (2006). Sensorimotor training in a virtual reality environment: does it improve functional recovery poststroke?. *Neurorehabil Neural Repair*, 20, 252-267.  
DOI :10.1177/1545968306286914
- [27] B. Lange, B. Physio & S. Flynn. (2010). Development of interactive game based rehabilitation tool for dynamic balance training. *Top Stroke Rehabil*, 17(5), 345-352.  
DOI :10.3138/physio.62.2.114
- [28] B. M. Doucet. (2012). Neurorehabilitation: are we doing all that we can?. *AJOT*, 66(4), 488-493.  
DOI :10.5014/ajot.2012.002790.
- [29] J. A. Robertson, J. J. Eng & C. Hung. (2010). The effect of functional electrical stimulation on balance function and balance confidence in community-dwelling individuals with stroke. *Physiother Can*, 62(2), 114-119.  
DOI :10.5014/ajot.2012.002790
- [30] Y. H. Uhm, D. J. Yang & S. K. Park. (2012). Effect of Computerized Feedback Postural Training on Balance and Muscle Activity in Stroke Patients. *J Kor Soc Phys Ther*, 24(5), 348-354.  
DOI :G704-SER000001656.2012.24.5.008
- [31] G. B. Song & E. C. Park. (2016). The effects of balance training on balance pad and sand on balance and gait ability in stroke patients. *Korea Soc Phys Med*, 11(1), 45-52.  
DOI : 10.13066/kspm.2016.11.1.45
- [32] A. Forster & K. Szabo. (2008). Mechanisms of Disease: Pathophysiological Concepts of stroke in hemodynamic risk zones do hypoperfusion and embolism interact?. *nature clinical practice neurolog*, 4(4), 216-225.  
DOI :10.1038/ncpneuro0752
- [33] D. Anaby, T. Jarus & C. L. Backman. (2010). The role of occupational characteristics and occupational imbalance in explaining wellbeing. *Applied Research in Quality of Life*, 5(2), 81-104.  
DOI :10.1007/s11482-010-9094-6
- [34] E. De Vlugt, J. de Groot & K. Schenkeveld. (2010). The relation between neuromechanical parameters and Ashworth score in stroke patients. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 7(1), 35.  
DOI :10.1186/1743-0003-7-35
- [35] J. Hendrickson, K. K. Patterson & E. L. Inness. (2014). Relationship between asymmetry of quiet standing balance control and walking post-stroke. *Gait & Posture*, 39(1), 177-181.  
DOI :10.1016/j.gaitpost.2013.06.022
- [36] S. Combs, E. W. Miller & E. Forsyth. (2007). Motor and functional outcomes of a patient post-stroke following combined activity and impairment level training. *Physiother Theory Pract*, 23(4), 219-229.  
DOI :10.1080/09593980701209261
- [37] A. R. Lindquist, C. L. Prado & R. M. Barros. (2007). Gait training combining partial body-weight support, a treadmill, and functional electrical stimulation : effects on post stroke gait. *Phys Ther*, 87(9), 1144-1154.  
DOI : https://doi.org/10.2522/ptj.20050384



[38] D. Kunkel et al. (2013). Functional electrical stimulation with exercises for standing balance and weight transfer in acute stroke patients: a feasibility randomized controlled trial. *Neuromodulation : Technology at the Neural Interface*, 16(2), 168-177. DOI :10.1111/j.1525-1403.2012.00488.x

[39] C. A. O. Bethel, W. Leslie & F. Mathew. (2016). Rehabilitation of hand in subacute tetraplegic patients based on brain computer interface and functional electrical stimulation: a randomised pilot study. *Journal of Neural Engineering*, 13(6). DOI :10.5220/0005650500150023

[40] A. I. F. Spooren, Y. J. M. Janssen-Potten & E. Kerckhofs. (2011). A task-oriented client -centered training module to improve upper extremity skilled performance in cervical spinal cord-injured persons. *Spinal Cord*, 49(10), 1042-1048. DOI :10.1038/sc.2011.52

[41] C. Bustamante, F. Brevis & S. Canales. (2016). Effect of functional electrical stimulation on the proprioception, motor function of paretic upper limb, and patient quality of life: a case report. *Journal of hand therapy*, 29(4), 507-514. DOI :10.1016/j.jht.2016.06.012

[42] R. B. Stein et al. (2002). Electrical stimulation for therapy and mobility spinal cord injury. *Prog Brain Res*, 137, 27-34. DOI :10.1016/j.pmr.2014.05.001

[43] J. H. Cauraugh, & S. B. Kim. (2003). Stroke motor recovery : active neuromuscular stimulation and repetitive practice schedules. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 74(11), 1562-1566. DOI :10.1136/jnnp.74.11.1562

[44] A. Boyaci, O. Topuz & H. Alkan. (2013). Comparison of the effectiveness of active and passive neuromuscular electrical stimulation of hemiplegic upper extremities: a randomized, controlled trial. *Int J Rehabil Res*, 36(4), 315-322. DOI :10.1097/mrr.0b013e328360e541

[45] F. L. Alan, G. Alon & P. A. McCARTHY. (2007). Functional electrical stimulation enhancement of upper extremity functional recovery during stroke rehabilitation: A pilot study. *Neuro rehabilitation and Neural Repair*, 21(3), 207-215. DOI :https://doi.org/10.1177/1545968306297871

[46] S. A. Hosseini, M. Fallahpour & M. Sayadi. (2012). The impact of mentalpractice on stroke patients' postural balance. *J Neurol Sci*, 322(1-2), 263-267. DOI :10.1016/j.jns.2012.07.030

[47] M. K. Cho, J. H. Kim & Y. CHung. (2015). Treadmill gait training combined with functional electrical stimulation on hip abductor and ankle dorsiflexor muscles for chronic hemiparesis. *Gait Posture*, 42(1), 73-78. DOI : doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.04.009

[48] C. Y. Yang, T. J. Kim & J. H. Lee. (2009). The Effect of Functional Electrical Stimulation on the Motor

Function of Lower Limb in Hemiplegic Patients. *Journal of the Korean Academy of Rehabilitation Medicine*, 33(1), 29-35.

DOI :G704-000430.2009.33.1.012

[49] J. Y. Hong. (2019). *The Effect of FES with Adominal Muscle Contraction before Virtual Reality Training on Balance and Gait of Stroke Patient dissertation*. Masteral dissertation. Korea national university of transportation. Chungju-si. DOI :I804:43010-200000172138

김 제 호(Je-Ho Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 대불대학교 보건의대학원 물리치료학 석사
- 2015년 2월 : 세한대학교 일반대학원 물리치료학 박사
- 2015년 2월 ~ 현재 : 세한대학교 물리치료학과 교수
- 관심분야 : 신경계물리치료

· E-Mail : albam20@naver.com

엄 요 한(Yo-Han Uhm)

[정회원]



- 2013년 2월 : 세한대학교 대학원 물리치료학 석사
- 2017년 2월 : 세한대학교 대학원 물리치료학 박사
- 2019년 3월 ~ 현재 : 군장대학교 물리치료학과 교수
- 관심분야 : 신경계물리치료

· E-Mail : uhmyo112@naver.com