

경피신경전기자극이 근피로에 의한 자세균형과 근수축력의 변화에 미치는 효과

조휘영¹, 이순현¹, 인태성¹, 강선희², 이동엽³, 송창호^{1*}
¹삼육대학교 물리치료학과, ²공주대학교 의무기록정보학과, ³선문대학교 물리치료학과

Effectiveness of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation(TENS) on the Changes of Postural Balance and Muscle Contraction following Muscle Fatigue

Hwi-young Cho¹, Sun-hyun Lee¹, Tae-Sung In¹, Sun-hee Kang²,
Dong-Yeop Lee³ and Chang-Ho Song^{1*}

¹Dept. of Physical Therapy, Sahmyook University

²Dept. of Medical Reocrd & Health Information Management, Kongju National University

³Dept. of Physical Therapy, Sunmoon University

요 약 근피로는 자세균형과 근수축력의 악화를 유발하여 다양한 근골격계 손상을 초래한다. 본 연구는 하퇴삼두근에 근피로 유발에 의한 자세불균형과 근수축력 저하에 경피신경전기자극이 미치는 효과를 알아보려고 하였다. 2010년 3월부터 4개월간 전정계통과 시각계통에 문제가 없는 20명의 건강한 성인을 대상으로 반복운동 수행을 통하여 비복근에 근피로를 유발하였고, 유발 후 즉시 경피신경전기자극을 적용하였다. 근피로 및 경피신경전기자극에 의한 자세균형과 근수축력의 변화를 측정하기 위하여 자세동요 이동거리와 속도, 최대수축수축력을 사용하였다. 근피로 유발에 의하여 자세동요 이동거리 및 속도의 증가와 근수축력의 저하가 나타났다($p < .05$). 근피로가 유발된 비복근에 경피신경전기자극의 적용은 근피로에 의한 자세동요와 근수축력을 유의하게 개선하였다($p < .05$). 이와 같은 연구결과를 통하여 족저굴곡근의 근피로는 자세균형과 근수축력에 관여되고, 경피신경전기자극은 근피로에 의한 자세불균형 및 근수축력 저하에 효과적임을 증명하였다. 경피신경전기자극은 일상생활에서 흔히 유발되는 근피로의 증재에 경피신경전기자극이 효과적인 증재 방법으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract Muscle fatigue often induces deterioration of postural balance and muscle contraction, such as strength or maximal voluntary contraction(MVC). This study was to investigate the effects of transcutaneous electrical stimulation(TENS) applied to the fatigued muscles on postural imbalance and decline in muscle strength following fatigue of triceps surae. For the 4 months from March, 2010, twenty healthy subjects without vestibular disease and visual disturbance were recruited and induced muscle fatigue of triceps surae performed by repeated voluntary contraction. TENS was applied to gastrocnemius immediately after development of muscle fatigue. Postural sway length, velocity and MVC were recorded under these conditions: pre-fatigue, post-fatigue, and TENS application to fatigued muscle during post-fatigue. Muscle fatigue increased postural imbalance as expressed by sway length and velocity and decreased muscle contraction($p < .05$), while TENS improved the postural imbalance and MVC following muscle fatigue during stance($p < .05$). The results suggested that fatigue on plantar flexor is associated with postural balance and muscle contraction, and TENS application to fatigued muscle was effective in improving postural imbalance and decline in muscle strength following muscle fatigue. TENS will be an effective method in exercise, working environment and daily life.

Key Words : Muscle fatigue, postural balance, transcutaneous electrical nerve stimulation(TENS)

*교신저자 : 송창호(chsong@syu.ac.kr)

접수일 10년 08월 16일

수정일 (1차 10년 09월 14일, 2차 10년 11월 16일)

게재확정일 10년 11월 19일

1. 서론

일상생활에서 흔히 접하게 되는 근피로는 목표 근력을 발휘하는데 요구되는 인지 노력의 증가와 목표 근력 유발의 무능력과 같은 운동 수행의 급성 장애로 정의된다 [1]. 근피로는 다양한 원인에 의하여 유발되며, 조직학적 기전은 중추성 및 말초성 기전이다. 중추성 근피로는 중추 신경계부터 운동축삭 사이에서 유발되고 운동단위 활성의 감소가 나타나며, 말초성 근피로는 근육 내의 변화에 의하여 유발된다[2]. 일상생활에서 유발되는 근피로는 말초성 기전에 기인하며, 근육으로 영양소와 산소 공급을 차단하는 혈류의 방해는 말초성 기전의 주된 원인이다 [3]. 근피로는 반사반응을 지연하고 고유감각의 악화를 유발하여 통증 및 관절 안정성 소실과 관절 운동학에 악영향을 미친다[4, 5].

자세균형은 시각계통, 전정계통 및 체성감각계통의 감각 정보가 중추신경계에서 통합되고 운동계의 상황-선택적 반응을 실행하여 수행된다[6]. 세 가지의 구심성 감각 중 체성감각은 균형 유지에 가장 중요한 감각으로, 체성감각의 하위감각 중 고유감각은 관절 위치감각과 사지 움직임 감각에 관여하여 균형조절 및 자세조절에 중요한 요인이다[7]. 또한, 충분한 근력의 유발은 자세조절의 전제조건으로, 원하는 동작이나 임무 수행을 유지하기 위해 요구된다[8]. 근피로는 근수축력 효율과 고유감각 정보를 변화시켜 움직임과 자세조절에 변화를 유발하며, 낙상이 빈번한 노인과 다양한 질환의 환자들에게 동반된다 [9-11]. 또한 근피로는 일상생활이나 운동 및 생산 활동에서 흔히 유발됨에도 불구하고 근력이나 최대수의수축력과 같은 운동기능의 저하 및 자세동요에 대한 연구는 미흡한 상황이다.

최근 여러 연구에서 가벼운 촉각 자극[12]과 기계적 자극[13], 전기적 자극[14]을 사용하여 체성감각을 변화시켜 균형조절이 가능함을 보고하였다. 경피신경전기자극(transcutaneous electrical stimulation, TENS)은 임상과 가정에서 적용이 간단하고 용이한 전기적 자극방법으로 감각 조절기능에 의하여 통증 중재에 사용되고 있다. 그런데, 최근 경피신경전기자극이 자율신경계에 영향을 미치고[15], 경직의 감소와 운동 능력을 향상시키는 효과가 보고되었다[16]. 또한, 이승원 등(2007)은 비복근에 적용한 경피신경전기자극이 노인의 자세동요 감소에 효과적인임을 증명하였고[11], Dickstein 등(2006)은 고빈도 자극을 정상인의 비복근에 적용하여 자세동요의 감소를 보고하였다[14]. 또한, Mulvey 등(2009)은 경피신경전기자극이 고유감각과 같은 체성감각을 자극하여 의수의 인지 구체화에 도움이 된다고 보고하였다[17]. 하지만, 경피신

경전기자극이 고유감각 및 체성감각과 균형에 미치는 효과에 대한 연구는 아직까지 명확하지 않으며, 특히 일상생활과 운동경기, 작업환경에서 흔히 유발되어 다양한 손상을 유발할 수 있는 근피로 및 근피로에 의해 유발되는 상황에 대한 연구는 전무한 상황이다.

따라서 본 연구는 근피로에 의한 자세불균형과 근수축력 저하의 유발을 확인하고, 경피신경전기자극의 적용이 근피로에 의한 자세균형과 근수축력의 변화에 미치는 효과를 알아보고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상 및 방법

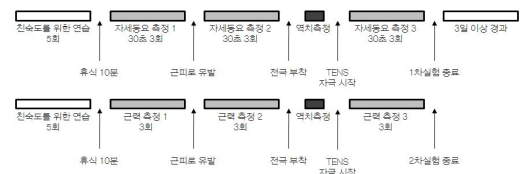
2.1.1 연구대상

본 연구는 2010년 3월부터 7월까지 서울 소재의 S대학 대학원에 재학 중인 23명의 건강한 성인(남자 14명, 여자 9명)을 대상으로 구성되었고, 대상자는 연령 25-29세, 신장 156-176 cm, 체중 41-90 kg 범위에서 시행되었다. 신경외과적 질환, 정형외과적 장애가 있거나 시력손상이나 전정계질환으로 인한 균형 장애가 있는 대상자는 제외하였고, 측정하기 24시간 전에 약물복용이나 음주하지 않은 대상으로 하였다. 또한 대상자에게 본 실험의 동기와 목적을 사전에 충분히 설명하고 동의를 구한 후 실험에 참여시켰다.

대상자 중 3명은 균형훈련기(balance trainer)위에서 외발서기 수행이 불가능하여 탈락하였으며, 본 연구는 남녀 20명(남자 12명, 여자 8명)을 연구대상으로 선정하였다.

2.1.2 실험방법

선정된 20명의 건강한 사람에게 피로유발 전, 피로유발 후 그리고 피로유발 후 피로근에 경피신경전기자극을 적용한 상태에서 자세동요 이동거리, 속도와 최대수의수축력을 측정하였다. 근피로 유발에 의한 자세동요를 측정 후 3일간의 충분한 회복기간을 주었으며 동일한 방법의 친속도 연습과 근피로 유발 후 근력 측정이 시행되었다 [그림 1].



[그림 1] 피로유발과 경피신경전기자극 및 측정의 절차 순서도.

종아리 근육의 피로를 유발하기 위해 뒤꿈치 들기를 실시하였다. 피검자가 20cm 높이의 발판위에서 발뒤꿈치를 최대한 들게 하여 유지할 수 있는 한 버티게 하고 이를 반복적으로 실시하며 뒤꿈치 들기를 유지할 수 없을 때까지 실시하였다. 검사자는 “할 수 있는 만큼 최대한 뒤꿈치 들기를 유지 하세요” 라는 지시를 하여 근피로를 유발할 수 있도록 하였다. 피검자는 피로가 발생했는지 눈으로 분별하고 피로로 인하여 뒷꿈치 들기 수행 불가능한지 확인하였다[8, 18].

근 피로 유발 후 검사를 실시하고 경피신경 전기자극(TENS)을 종아리 근육(gastrocnemius, GCM)의 양쪽 근복에 부착하여 역치 값(threshold)의 2배의 강도로 자극을 주고 동일한 방법으로 검사를 실시하였다[16].

경피신경전기자극을 위해 2채널 경피신경전기자극기(TENS-7000, Koalaty Products Inc., USA)를 사용하였다. 주파수 100Hz, 맥폭은 200 μ s로 고정하였고, 자극 전 각 대상자의 신경역치를 측정하기 위해 0.01mA부터 시작하여 대상자가 느낌을 느끼는 역치를 조사한 후 자극 시 각 개인의 감각역치의 200%의 강도로 자극하였다[16].

2.2 자료 수집과정 및 측정 도구

2.2.1 자세동요

자세동요 지수를 알아보기 위한 도구로서 3D 동작 분석기를 사용하였고 균형 훈련기(Posturo-med, Germany)를 측정방법으로 사용하였다. 3D 동작 분석기에 이용되는 초음파 도자 2개가 부착된 균형 훈련기에 피검자가 올라가서 흔들리는 정도를 거리(3D Path)로 계산하여 합산하여 평가하였으며 각각 측정점의 움직이는 속도의 평균값을 보았다. 초음파의 신호를 받아들이는 수신기는 3D 동작분석기인 CMS10(Zebris, Germany)를 이용하였고 신호의 분석은 Win posture(V0.12)로 측정하였다.

대상자의 자세동요에 의한 대상자의 균형 수행 능력을 알아보기 위해 자세분석기(CMS-10)를 이용하여 근피로 전, 근피로 유발 후, 경피신경전기자극(TENS) 적용 시에 외발서기의 자세동요지수인 자세동요 이동거리와 속도를 30초간 3회 측정하였고 평균을 구하였다. 측정 전 대상자들은 균형 훈련기(balance trainer)위에서 외발서기에 관한 수행 방법을 익히기 위하여 연습할 수 있는 기회를 5회씩 제공하였다. 연습 후 대상자들은 10분의 휴식을 실시하였고 외발서기 도중 하지나 몸통을 이용하여 균형 유지 시 재검사하였다[8].

전정계통의 자극을 최소화하기 위하여 모든 실험은 조용한 장소에서 시행되었다. 피검자는 균형 훈련기(balance trainer)위에서 검사자가 “준비”라는 신호를 주면

안전 손잡이를 잡고 정면에 가상의 한 지점을 응시한다. “시작”이라는 신호와 함께 양손을 팔짱낀 채 우세 다리로 균형을 잡고 반대쪽 다리를 들어올린다. 측정이 시작되면 상지나 하지를 심한 동요를 이용해 균형 유지 시와 15초 이상 수행 실패 시 측정을 다시 하였다.

2.2.2 최대수의수축력

종아리 근육의 최대수의수축을 측정하기 위해 도수근력측정기(Manual Muscle Tester, Model 01163, Lafayette, USA, 2003)를 사용하여 평가하였다. 도수근력검사는 고강도에서 0.2 kg 단위로 0~136.1 kg 범위까지 측정 가능하며, 저강도에서 0.1 kg 단위로 0~22.6 kg 범위까지 측정이 가능하고 측정의 오차는 $\pm 1\%$ 이다. 근력측정기의 도자를 족저부에 위치시키고 피검자는 엎드려 누워서 무릎을 최대한 신전시킨 후 발목을 0°에서 최대한 배측 굴곡을 하여 도자를 밀도록 하였다. 검사자내 신뢰도 $r=0.84\sim 0.99$, 검사자간 신뢰도 $r=0.84\sim 0.94$, 검사간 신뢰도 $r=0.88\sim 0.99$ 이다. 1회 연습 후 3회 반복 측정하여 평균값을 기록하였다[19].

2.3 자료분석

본 연구의 모든 통계 분석은 SPSS ver. 15.0을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 전체 대상자는 정규성 검증을 하였으며, 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 사용하였다. 근피로 유발 전, 후, 근피로 유발상태에서 경피신경전기자극 적용이 자세동요와 근수축력 변화에 미치는 효과를 비교하기 위하여 일원 반복 분산분석(one way repeated ANOVA)을 실시하였고, 사후분석은 최소유의차 검정(least significant difference: LSD test)을 사용하였다. 자료의 모든 통계학적 유의수준(α)은 0.05 이하로 하였다.

3. 결과

3.1 연구대상자의 특성

25세에서 29세의 건강한 성인(남자 12명, 여자 8명)을 대상으로 하였으며 평균 신장은 167.46 ± 7.03 cm, 평균 체중은 62.38 ± 13.21 이었다. 대상자의 일반적 특성은 표 1과 같다.

[표 1] 연구 대상자의 특성

연구 대상자	
성별 (남/여)	20명 (12명/8명)
연령 (세)	26.77 ± 1.24
신장 (cm)	167.46 ± 7.03
체중 (kg)	62.38 ± 13.21
자세동요 이동거리 (mm)	734.05 ± 250.30
자세동요 속도 (mm/s)	21.10 ± 9.81
최대수의수축력(kg)	33.47 ± 8.61

§ 평균 ± 표준편차

3.2 자세동요 이동거리 및 속도의 변화

근피로에 의한 자세동요에 미치는 효과는 표 2, 그림 2. A와 B와 같다.

족저굴곡근인 하퇴삼두근에 유발된 근피로는 기립상태에서 자세동요 이동거리를 734.05 ± 250.30 mm에서 1471.75 ± 497.44 mm로 약 100%의 유의한 증가와 자세동요 속도는 21.10 ± 9.81 mm/s에서 49.85 ± 21.06 mm/s로 약 136% 유의한 증가를 나타냈다.

근피로에 의하여 증가된 자세동요 이동거리는 경피신경전기자극 적용후 740.20 ± 250.30 mm로 약 50% 유의하게 감소하였고, 자세동요 속도도 30.85 ± 18.53 mm/s으로 약 38% 유의하게 감소되었다(p<.05).

[표 2] 근피로와 경피신경전기자극 적용에 의한 자세동요 이동거리 및 속도의 변화

	유발 전	유발 후	TENS 적용	F	P
이동거리 (mm)	734.05 ± 250.30 ^a	1471.75 ± 497.44 [*]	740.20 ± 245.57 ^a	29.142	.000
자세동요 속도 (mm/s)	21.10 ± 9.81 ^a	47.12 ± 21.32 [*]	30.85 ± 18.53 ^a	14.528	.000

§ 평균 ± 표준편차

* p<.05 (근피로 유발 전)

^a p<.05 (근피로 유발 후)

3.3 최대수의수축력의 변화

근피로에 의한 근수축력의 변화와 경피신경전기자극의 적용이 근피로에 의한 근수축력의 변화에 미치는 효과는 표 3, 그림 2. C와 같다.

하퇴삼두근의 최대수의수축력은 근피로에 의하여 33.47 ± 8.61 kg에서 25.28 ± 8.20 kg으로 약 24% 감소되었고, 경피신경전기자극의 적용은 최대수의수축력을 30.53 ± 7.07 kg로 약 21% 증가시켰다(p<.05).

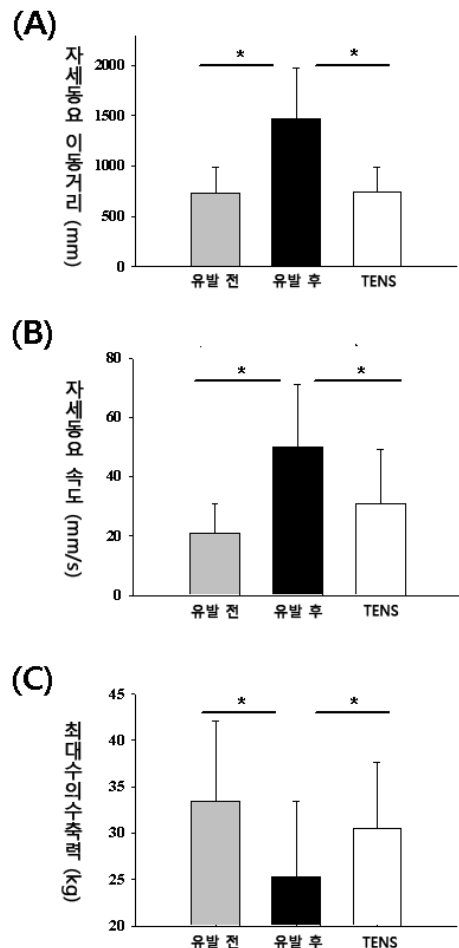
[표 3] 근피로와 경피신경전기자극 적용에 의한 근수축력의 변화

	유발 전	유발 후	TENS 적용	F	P
근수축력 (kg)	33.47 ± 8.61 ^a	25.28 ± 8.20 [*]	30.53 ± 7.07 ^a	5.401	.007

§ 평균 ± 표준편차

* p<.05 (근피로 유발 전)

^a p<.05 (근피로 유발 후)



[그림 2] 근피로에 의한 자세동요 이동거리 및 속도와 근수축력의 변화와 경피신경전기자극(TENS)이 근피로의 변화에 미치는 영향. (A) 자세동요 이동거리, (B) 자세동요 속도, (C) 최대수의수축력. * p<.05

4. 논의

본 연구는 경피신경전기자극이 근피로에 의한 자세균형과 근수축력의 변화에 미치는 효과를 실험하였다.

첫째, 비복근의 근피로는 자세불균형과 근수축력의 저하를 유발함을 증명하였다. 본 연구에서 비복근에서 충분한 피로감을 느끼고 물리적인 수의운동이 곤란한 정도의 근피로는 확연한 자세동요를 유발하였다. 피로 유발 전 피험자에서 자세동요 이동거리와 이동속도는 734.05 ± 250.30 mm, 21.10 ± 9.81 mm/s였으며, 피로 유발 후 1471.75 ± 497.44 mm, 49.85 ± 21.06 mm/s로 각각 100.50%와 136.26% 증가되었다. 이는 하지의 근피로가 자세동요를 유발시키는 것에 대한 여러 연구들과 일치하는 결과이다. Yaggie 등(2002)은 족저굴곡근, 배측굴곡근과 같은 발목관절 근육에 유발된 근피로가 이동거리와 이동속도를 유발 전 35 cm와 14 mm/s에서 유발 후 40 cm와 16 mm/s로 증가시켰고[20], Gribble 등(2004)은 하지에 유발된 근피로가 전두면의 자세동요 속도를 36 mm/s에서 40 mm/s로, 시상면의 자세동요 속도는 34 mm/s에서 36 mm/s로 증가시켰다고 보고하였다[21]. 또한, Vuillerme 등(2006)은 양측 비복근에서 본 연구와 비슷한 정도의 근피로 유발은 발압력분산(foot pressure variance)의 전후 및 좌우 변화를 약 100% 증가시켰고[18], Ledin 등(2004)도 양측 비복근에 유발된 근피로는 대조군에 비하여 유의한 자세동요의 증가를 보고하였다[8]. 이처럼 근피로가 자세동요를 유발한 원인은 발목관절의 고유감각 저하 및 운동계의 변화에 기인한다[22]. 하퇴삼두근에 유발된 근피로는 기계적 자세동요에 대한 반응을 지연하고 이는 발목관절각의 변화를 감소시킨다[23]. 또한, 근피로는 작용근-길항근의 증가된 동시수축을 유발하여 관절경직을 초래하고 유발된 움직임의 제동을 증가시켜 자세동요를 유발하였으므로 사료된다.

기존 연구들은 근피로에 의한 자세동요가 약 6%에서 약 14% 증가된 반면[20, 21], 본 연구에서는 근피로에 의하여 약 136%의 자세동요 증가가 나타났다[표 2]. 이는 기존 연구들이 자세동요 측정을 위하여 힘판과 같은 정적 균형상태의 자세동요를 측정한 반면, 본 연구는 자세유지가 어려운 PosturalMed에서 동적 균형상태의 자세동요를 측정하여 이와 같은 결과의 차이가 나타난 것으로 사료된다. 또한, 일부 연구에서는 본 연구와 반대로 발목관절에 유발된 근피로는 유의한 자세동요 변화를 유발하지 못하였다[21, 24]. Harkins 등(2005)은 근피로 유발 정도는 자세동요 정도와 유지에 영향을 미치는 요인임을 밝혔고[25], 전기 자극을 이용한 근피로 유발방법과 발꿈치 들기, 발가락 들기와 같은 근육 수축을 이용한 근피로

유발방법 등 이전 연구들에서 근피로 유발에 사용된 방법이 각기 다양하였다[9, 20, 21, 25]. 따라서, 이와 같은 결과는 근피로 유발방법 및 유발정도, 근피로가 유발된 근육 등의 차이에 의한 것으로 사료된다. 특히 본 연구와 비슷한 정도로 근피로를 유발한 Vuillerme 등(2006)도 약 100%의 자세동요가 증가되었는데[18], 이를 통해 근피로 유발 정도는 자세조절에 중요한 요인으로 사료된다.

본 연구는 단일사지 기립자세에서 자세균형을 측정하였다. 자세조절 연구는 양측사지 기립자세, 단일사지 기립자세와 일자걸음 기립자세 등과 같은 자세에서 시행되며, 양측사지 기립자세는 피검자의 안정성으로 인하여 가장 빈번하게 사용된다[9]. 반면, 단일사지 기립자세는 건강한 대상과 하지 근골격계 질환자의 임상적 차이를 검증하기 위하여 주로 사용되는 자세로서[21], 양측지지 기립자세에 비하여 지지면(base of support)이 좁고 균형에 관여하는 근육의 더 큰 활성이 요구된다[26]. Onambele 등(2006)은 건강한 대상에서 나이에 따른 자세동요 및 비복근의 길이, 최대수축속력과 같은 근육의 특성을 보고하였는데, 젊은 사람에 비하여 중년 성인에서 양측사지 기립은 약 12%, 단일사지 기립은 50%, 일자걸음 기립자세는 21% 증가함을 보고하였다[9]. 단일사지 기립자세는 자세동요 측정에 가장 민감하였고 근육 특성의 변화를 가장 잘 대변한 반면, 양측지지 기립자세는 자세동요뿐만 아니라 나이에 따른 근육 특성의 변화를 대변하지 못하였다. 본 연구는 단일사지 기립자세에서 측정을 시행하였고 양측지지 기립자세에서 측정을 시행하지 않아서 두 자세의 비교에 제한이 따르지만, 본 연구결과를 통하여 단일사지 기립자세는 근피로에 의한 자세동요 측정에 타당한 방법임을 입증하였다. 또한, 비슷한 정도의 근피로 유발 후 양측지지 기립자세[18]에 비하여 더 자세동요가 유발된 것을 통해서(100% vs 136%) 자세균형 측정에 더 민감한 자세방법일 것으로 추측된다.

또한, 근피로는 근수축력을 33.47 ± 8.61 에서 25.28 ± 8.20 로 24.47% 감소시켰다[표 3]. 근력이나 최대수축속력 감소는 근피로 상태를 결정하는 대표적인 기준으로, Paillard 등(2010)도 근피로는 최대수축속력을 약 6% 유의하게 감소시켰다[10]. 반복적인 운동은 에너지 생성을 위한 혐기성 해당작용(anaerobic glycolysis)을 활성화하고 피루브산(pyruvic acid)과 수소 원자의 양을 증가시켜 젖산생성이 증가하게 된다. 젖산의 생성은 ATP형성을 방해하고 세포내 pH를 감소시키며, 세포내 pH의 감소는 근육의 흥분-수축을 방해하여 근수축력을 저하시킨다[3]. 근피로에 의하여 감소된 근수축력은 운동기능이 수행하는 자세조절에 지장을 초래하여 자세동요와 같은 자세불균형을 유발하게 된다. 본 연구에서도 근피로에 의하여

24.47% 근수축력의 감소와 136% 자세동요 증가가 동시에 나타났으며, 앞선 연구에서도 본 연구와 비슷하게 약 6% 최대수의수축력이 감소된 근피로 유발자에서 약 27% 자세동요 속도가 증가되었고[10], 청년군에 비하여 최대수의수축력이 약 52% 낮은 노인군에서 증가된 자세동요를 나타냈다[9]. 그리고 본 연구는 다른 연구에 비하여 근피로에 의한 최대수의수축력의 감소뿐만 아니라 자세동요도 심하였는데, 이러한 결과들은 근력이나 수의적 근수축력이 자세유지에 중요한 요인임을 나타낸다.

두 번째, 경피신경전기자극은 근피로에 의한 자세불균형과 근수축력의 개선에 효과적임을 입증하였다. 본 연구 결과 근피로에 의한 자세동요 이동거리 및 속도의 증가와 최대수의수축력의 저하는 경피신경전기자극 적용에 의하여 각각 약 50%, 30%, 21% 개선되었다[표 2,3]. 우리의 연구와 비슷하게, 이승원 등(2007)은 고유감각이 저하된 노인에서 비복근에 적용된 경피신경전기자극은 약 10% 자세동요를 감소시켰고, 정상인에서도 약 9%의 자세동요 감소를 나타냈다[11]. 또한 Diskstein 등(2006)도 건강한 대상에서 경피신경전기자극은 양측지 지 기립자세에서 평균 동요속도, 내외 및 전후 동요 속도를 각각 4%, 6%, 7% 향상시켰고[14], 뇌졸중 장애인에서도 편측무시(hemineglect)에 의한 자세불균형을 약 27% 개선하였다[27]. 정상인을 대상으로 한 연구들에 비하여 본 연구와 뇌졸중 장애인에서의 연구가 더욱 효과적이었으며, 이러한 차이는 질환 및 장애, 신체적 결손에 의한 기초자료 결과에 의한 것으로 추측된다. 또한, 이러한 결과는 신체적 결손, 질환 등에 의한 자세불균형이나 근수축력 저하에 경피신경전기자극이 효과적으로 사용될 수 있음을 나타낸다.

신체의 균형 능력은 하지의 체성감각 중 고유감각에 기인한다[28]. 근피로에 의하여 고유감각이 약화된 비복근에 경피신경전기자극은 하지에서 중추신경계로 가는 체성감각 정보를 증가시켜 기립 균형의 조절 및 유지를 강화시켰을 것이다. 뇌의 체성감각 피질영역과 운동피질영역은 신경회로에 의하여 연결되어 있어서 감각 자극으로도 운동 영역에 영향을 미칠 수 있다[29]. 따라서, 본 연구에서 피로가 유발된 비복근에 경피신경전기자극은 하지의 증가된 체성감각 유입을 통해 뇌의 운동기능 영역을 재조직화 함으로써 운동 생산량을 증가시켜 균형 능력이 향상되었을 것이다. 또한, 경피신경전기자극은 고유감각을 자극하여 근피로에 의하여 약화된 고유감각이 유발한 자세불균형을 개선하였을 것이다.

경피신경전기자극은 편마비 장애인에서 수의적 수축의 증가 및 신장반사를 감소시켜 작용근-길항근의 동시 수축을 억제하여 운동 기능을 향상시켰고[30], 동물연구

에서도 고주파 전기자극은 발디딤력을 증가시켰다[31]. 또한, 정상인에서 경피신경전기자극은 모지근에서 근력 증가를 나타냈고[32], 비복근에 적용된 경피전기자극은 척수운동신경 흥분의 지표인 호프만반사(H-reflex) 진폭을 증가시켰다[33]. 본 연구에서도 이전 연구들과 비슷하게 근피로가 유발된 근육에 경피신경전기자극의 적용은 최대수의수축력을 약 21% 증가시켰고, 이러한 근수축력의 증가는 근수축력 저하에 의한 자세동요 개선에 도움을 주었을 것이다.

박래준(1999)은 본 연구와 동일하게 경피신경전기자극이 근피로에 효과적임을 보고하였다[32]. 그러나, 경피신경전기자극이 근피로에 미치는 직접적인 영향을 측정하지 않고 근력을 향상시킨 효과를 통해 근피로에 미치는 효과를 추정하였고, 원적외선 조사를 병행하여 근력 향상의 원인이 명확하지 않다. 비록, 혈류와 근력의 상관관계가 명확하지 않지만, 근피로는 혈류의 방해로 인하여 유발되며[3], 원적외선과 경피신경전기자극은 적용하는 동안 적용부위의 혈류를 증가시키므로 두 요인의 상관관계를 추정할 수 있다[34]. 본 연구는 경피신경전기자극이 근피로에 의한 근수축력에 직접적으로 미치는 효과를 증명하였다.

본 연구는 하지의 비복근에 근피로를 유발하여 자세불균형과 근수축력의 저하를 확인하였고, 경피신경전기자극은 근피로에 의한 근수축력 및 자세균형 조절에 효과적임을 입증하였다. 이를 통하여 일상생활, 작업환경 및 운동 중에 흔히 유발되는 근피로 증대에 경피신경전기자극이 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 건강한 성인을 대상으로 하퇴삼두근에 근피로를 유발하여 자세불균형과 근수축력 저하에 경피신경전기자극이 미치는 효과를 알아보고자 하였다. 전정계통과 시각계통에 문제가 없는 20명의 건강한 성인을 대상으로 반복운동 수행을 통하여 근피로를 유발하였고, 이로 인하여 자세동요 이동거리 및 속도의 증가와 근수축력의 저하가 나타났다($p < .05$). 근피로가 유발된 비복근에 경피신경전기자극의 적용은 근피로에 의한 자세동요와 근수축력을 유의하게 개선하였다($p < .05$). 본 연구 결과에 따르면 족저굴곡근의 근피로는 자세균형과 근수축력에 관여되고, 경피신경전기자극은 근피로에 의한 자세불균형 및 근수축력 저하에 효과적이며 이를 통하여 일상생활에서 흔히 유발되는 근피로의 증대에 경피신경전기자극이 효과적인 증재 방법으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Enoka, R. M., & Stuart, D. G., "Neurobiology of muscle fatigue", *Journal of Applied Physiology*, vol 72(5), pp. 1631-1648, 1992.
- [2] Giannesini, B., Cozzone, P. J., & Bendahan, D., "Non-invasive investigations of muscular fatigue: metabolic and electromyographic components", *Biochimie*, vol 85(9), pp. 873-883, 2003.
- [3] Guyton, A. C., & Hall, J. E., *Medical Physiology* 11th Edition, Chapter 6 & 67, Philadelphia: Saunders Company, 2006.
- [4] Pline, K. M., Madigan, M. L., & Nussbaum, M. A., "Influence of fatigue time and level on increases in postural sway", *Ergonomics*, vol 49(15), pp. 1639-1648, 2006.
- [5] Hawkins, R. D., & Fuller, C. W., "An examination of the frequency and severity of injuries and incidents at three levels of professional football", *British Journal of Sports Medicine*, vol 32(4), pp. 326-331, 1998.
- [6] Keshner, E. A., Allum, J. H., & Pfaltz, C. R., "Postural coactivation and adaptation in the sway stabilizing responses of normals and patients with bilateral vestibular deficit", *Exp Brain Res*, vol 69(1), pp. 77-92, 1987.
- [7] Hiemstra, L. A., Lo, I. K., & Fowler, P. J., "Effect of fatigue on knee proprioception: implications for dynamic stabilization", *J Orthop Sports Phys Ther*, vol 31(10), pp. 598-605, 2001.
- [8] Ledin, T., Fransson, P. A., & Magnusson, M., "Effects of postural disturbances with fatigued triceps surae muscles or with 20% additional body weight", *Gait&Posture*, vol 19(2), pp. 184-193, 2004.
- [9] Onambele, G. L., Narici, M. V., & Maganaris, C. N., "Calf muscle-tendon properties and postural balance in old age", *Journal of Applied Physiology*, vol 100(6), pp. 2048-2056, 2006.
- [10] Paillard, T., Maitre, J., Chaubet, V., & Borel, L., "Stimulated and voluntary fatiguing contractions of quadriceps femoris differently disturb postural control", *Neuroscience Letters*, 477(1), pp. 48-51, 2010.
- [11] 이승원, 김남조, 박대성, 이동엽, 이상숙, 이해현, 김성렬, 송창호, "정상성인군과 노인군의 TENS 적용을 통한 자세동요 비교", *한국스포츠리서치*, 제18권, 제5호, pp. 659-668, 2007.
- [12] Watanabe S, Kobara K, & Ishida H. "Influence of fingertip contact with a wall on postural sway and electromyographic activity of the soleus muscle", *Electromyography and clinical neurophysiology*, vol 50(5), pp. 229-33, 2010.
- [13] Ross, S. E., "Noise-enhanced postural stability in subjects with functional ankle instability", *British journal of sports medicine*, vol 41, pp. 656-59, 2007.
- [14] Dickstein, R., Laufer, Y., & Katz, M., "TENS to the posterior aspect of the legs decreases postural sway during stance", *Neuroscience Letters*, vol 393(1), pp. 51-55, 2006.
- [15] Cramp, F. L., McCullough, G. R., Lowe, A. S., & Walsh, D. M., "Transcutaneous electric nerve stimulation: The effect of intensity on local and distal cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol 83(1), pp. 5-9, 2002.
- [16] Ng, S. S. & Hui-Chan, C. W. "Transcutaneous electrical nerve stimulation combined with task-related training improves lower limb functions in subjects with chronic stroke", *Stroke*, vol 38(11), pp. 2953-59, 2007.
- [17] Mulvey, M. R., Fawcner, H. J., Radford, H., & Johnson, M. I., "The use of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) to aid perceptual embodiment of prosthetic limbs", *Medical Hypothesis*, vol 72(2), pp. 140-142, 2009.
- [18] Vuillerme, N., Burdet, C., Isableu, B., & Demetz, S., "The magnitude of the effect of calf muscles fatigue on postural control during bipedal quiet standing with vision depends on the eye-visual target distance", *Gait & Posture*, vol 24(2), pp. 169-172, 2006.
- [19] Moss, C. L. & Wright, P. T. "Comparison of three methods of assessing muscle strength and imbalance ratios of the knee", *Journal of Athletic Training*, vol 28(1), pp. 55-8, 1993.
- [20] Yaggie, J. A., & McGregor, S. J., "Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol 83(2), pp. 224-228, 2002.
- [21] Gribble, P. A., & Hertel, J., "Effect of hip and ankle muscle fatigue on unipedal postural control", *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol 14(6), pp. 641-646, 2004.
- [22] Forestier, N., Teasdale, N., & Nougier, V., "Alteration of the position sense at the ankle induced

by muscular fatigue in humans", *Med Sci Sports Exerc*, vol 34(1), pp. 117-122, 2002.

[23] Brandt, T., *Disorders of posture and gait*. pp. 269-276, Georgia: Thieme Medical Pub, 1990.

[24] Bizid, R., Margnes, E., Francois, Y., Jully, J. L., Gonzalez, G., Dupui, P., "Effects of knee and ankle muscle fatigue on postural control in the unipedal stance", *European Journal of Applied Physiology*, vol 106(3), pp. 375-380, 2009.

[25] Harkins, K. M., Mattacola, C. G., Uhl, T. L., Malone, T. R., & McCrory, J. L., "Effects of 2 ankle fatigue models on the duration of postural stability dysfunction", *Journal of Athletic Training*, vol 40(3), pp. 191-194, 2005.

[26] Krause, D. A., Jacobs, R. S., Pilger, K. E., Sather, B. R., Sibunka, S. P., & Hollman, J. H., "Electromyographic Analysis of the Gluteus Medius in Five Weight-Bearing Exercises", *Journal of Strength and Conditioning Research*, vol 23(9), pp. 2689-2694, 2009.

[27] Perennou, D. A., Leblond, C., Amblard, B., Micallef, J. P., Herisson, C., & Pelissier, J. Y., "Transcutaneous electric nerve stimulation reduces neglect-related postural instability after stroke", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol 82(4), pp. 440-448, 2001.

[28] Lord, S. R., Clark, R. D., & Webster, I. W., "Physiological Factors Associated with Falls in an Elderly Population", *Journal of the American Geriatrics Society*, vol 39(12), pp. 1194-1200, 1991.

[29] Farkas, T., Kis, Z., Toldi, J., & Wolff, J. R., "Activation of the primary motor cortex by somatosensory stimulation in adult rats is mediated mainly by associational connections from the somatosensory cortex", *Neuroscience*, vol 90(2), pp. 353-361, 1999.

[30] Levin, M. F., & Huichan, C. W. Y., "Relief of Hemiparetic Spasticity by Tens Is Associated with Improvement in Reflex and Voluntary Motor Functions", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, vol 85(2), pp. 131-142, 1992.

[31] Hahm, T. S., "The effect of 2 Hz and 100 Hz electrical stimulation of acupoint on ankle sprain in rats", *Journal of Korean Medical Science*, vol 22(2), pp. 347-351, 2007.

[32] 박래준, "경피신경전기자극이 근피로에 미치는 영향", *대한물리치료학회지*, 제11권, 제1호, pp.71-77, 1999.

[33] Hardy, S. G., Spalding, T. B., Liu, H., Nick, T. G., Pearson, R. H., Hayes, A. V., "The effect of transcutaneous electrical stimulation on spinal motor neuron excitability in people without known neuromuscular diseases: The roles of stimulus intensity and location", *Physical Therapy*, vol 82(4), pp. 354-363, 2002.

[34] Cramp, A. F. L., Gilsenan, C., Lowe, A. S., & Walsh, D. M., "The effect of high- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation upon cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects", *Clinical Physiology*, vol 20(2), pp. 150-157, 2000.

조 휘 영(Hwi-young Cho)

[정회원]



- 2008년 2월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 (이학석사)
- 2010년 8월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 박사과정 재학중
- 현재 : 고려대학교 의과대학 생리학교실 조교

<관심분야>

근골격계 물리치료, 신경계 물리치료, 통증학

이 순 현(Sun-hyun Lee)

[정회원]



- 2009년 2월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 (이학석사)
- 2010년 8월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 박사과정 재학중
- 현재 : 의정부 보람병원 물리치료사

<관심분야>

신경계 물리치료, 임상운동학, 근골격계 물리치료

인 태 성(Tae-Sung In)

[정회원]



- 2009년 2월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 (이학석사)
- 2010년 8월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 박사과정 재학중
- 현재 : 동국사랑병원 물리치료사

<관심분야>

신경계 물리치료, 임상운동학, 근골격계 물리치료

송 창 호(Chang-Ho Song)

[정회원]



- 2000년 8월 : 경희대학교 체육대학원(체육학 석사)
- 2005년 2월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 (이학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 삼육대학교 물리치료학과 조교수

<관심분야>

신경과학, 운동처방학, 전기치료학

강 선 희(Sun-Hee Kang)

[정회원]



- 1998년 2월 : 서울대학교 보건대학원(보건학 박사)
- 1998년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 의무기록정보학과 교수

<관심분야>

의료정보, 의료사고, 임상의학, 의료행정

이 동 엽(Dong-Yeop Lee)

[정회원]



- 2005년 2월 : 건양대학교 보건복지대학원(보건학 석사)
- 2008년 8월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 (이학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 물리치료학과 전임강사

<관심분야>

신경계 물리치료, 임상해부학, 임상운동학