

도수적 자세교정이 슬링을 이용한 교각운동 시 체간과 하지 근육의 근활성도에 미치는 영향

김소영^{1,2}, 김선엽³, 장현정³

¹바로선병원 물리치료실, ²대전대학교 보건의료대학원 물리치료학과, ³대전대학교 자연과학대학 물리치료학과

Effects of Manual Postural Correction on the Trunk and Hip Muscle Activities During Bridging Exercises

So-young Kim^{1,2}, BHSc, PT, Suhn-yeop Kim³, PhD, PT, Hyun-jeong Jang³, PhD, PT

¹Dept. of Physical Therapy, Barosun Hospital

²Dept. of Physical Therapy, Graduate School of Health & Medicine, Daejeon University

³Dept. of Physical Therapy, College of Natural Science, Daejeon University

Abstract

The aim of this study was to investigate the effects of different postural correction in the electromyographic (EMG) activity of the trunk and hip muscles during bridging exercises. Twenty-four healthy subjects volunteered for this study. The muscle activity was recorded with surface electrodes over the erector spinae, multifidus, gluteus maximus (GM), and hamstring (Ham) muscles; it was measured by using surface EMG equipment under the following 3 experimental conditions: manual postural correction, verbal correction, and no correction. The maximal voluntary isometric contraction (MVIC) was determined for each muscle group in order to represent each exercise as a percentage of MVIC and allow for standardized comparison between subjects. A one-way analysis of variance was used to determine significant differences in the EMG activities of each muscle between the 3 experimental groups. During bridging exercises, the manual postural correction on normalized EMG activity of the GM muscle during manual guiding was significantly higher than during verbal guiding and without guiding ($p < .05$). Furthermore, the GM/Ham ratio was significantly higher during manual guiding than during verbal guiding and without guiding ($p < .05$). These findings suggest that the activities of the hip and trunk muscles may be favorably modified with manual guiding during bridging exercises.

Key Words: Bridging exercise; Electromyography; Manual postural correction; Trunk muscle.

I. 서론

최근 근골격계 질환의 재활훈련에 있어 치료적 운동(therapeutic exercise)은 근육의 기능향상을 위한 필수적인 접근법으로 여겨지고 있다. 만성, 급성 근골격계 질환을 지닌 환자의 대부분은 관절 주변근육의 근위축과 근력 및 근지구력이 감소가 특징적으로 나타나므로 능동적 재활운동프로그램을 통한 근기능 회복이 무엇보다 중요하다(Hides 등, 1996). 최근의 연구들은 단순히 약화된 근육의

근력강화에 초점을 맞추지 않고, 목표근육의 선택적 강화와 운동조절을 위한 최선의 운동방법을 근전도를 이용해 비교 분석하여 제시하고 있다(Arlotta 등, 2011; Ekstrom 등, 2007; Sellkowitz 등, 2013). 이처럼 근육 훈련 시 단순히 동작을 훈련하는 것이 아닌 목표근육의 정확한 근육 동원을 위한 선택적 강화 훈련이 강조되고 있다.

실제 임상에서 물리치료사는 환자의 동적, 정적 운동 시 목표근육의 정확한 근육 동원을 위하여 구두적(verbal) 지시, 도수적 자세교정(manual postural correction), 시각

적 피드백 등과 같은 다양한 방법을 사용하고 있다. 이 중 도수적 자세교정은 환자가 운동을 수행하는 동안, 치료사가 환자의 정확한 동작을 이끌어 내기 위해 교정이 필요한 신체부위에 도수적으로 움직임을 제어 혹은 교정하는 것으로 일반적으로 환자의 움직임 평가와 치료 시 혼하게 사용하는 방법이다(Beales 등, 2010). Scholtes 등(2010)은 구두적 지시를 사용하여 운동지도를 하였을 때 운동 효과에 있어서는 큰 차이가 없다고 보고하였으나, Park 등(2013)은 구두적 지시와 환자의 능동적 자세조절이 근육 활성화에 영향을 미친다고 보고하였다. 이와 같이 일부 연구자들에 의해 효과적인 운동훈련을 위한 지시 방법에 관하여 연구가 진행되었지만, 대부분의 연구들이 개별 근육의 운동방법에 대한 연구들이었으며, 정확한 근육동원을 위한 효율적 운동지시 방법에 관한 연구는 부족한 실정이다.

한편, 교각(bridging)운동은 체간의 안정성 증가와 고관절 신전근 강화를 위하여 적용되는 대표적인 닫힌 사슬 운동이며(Richardson과 Jull, 1995) 누운 자세에서 실시하므로 재활 초기에 주로 적용하며, 발의 위치, 지지면의 상태, 부하의 정도를 변화시켜 하지와 체간 근육의 활성화의 다양화 할 수 있는 운동이다. 최근에는 교각운동 시 지지면을 달리하여 체간근육과 하지근육의 근활성도를 비교한 연구가 소개되고 있으며, Feldwieser 등(2012)은 슬링이나 볼과 같이 불안정한 지지면에서 체간근의 근활성도가 더 높게 나타나는 것을 보고하였다.

이에 본 연구는 건강한 성인을 대상으로 슬링 운동을 이용하여 세 가지 방법 즉, 구두적 자세조절과 도수적 자세교정 그리고 아무런 자세조절 지시없이 교각운동을 실시하였을 때 각 운동조절 방식에 따라 체간 신전근과 고관절 신전근의 근활성도에 미치는 영향에 차이를 비교하여, 보다 효율적인 운동방법을 제시하고자 실시하였다. 연구의 구체적인 가설은 다음과 같다. 첫째는 세 가지 방식의 교각운동 방법에 따라 측정된 근육들의 근활성도에 차이가 있을 것이다. 두 번째는 세 가지 방식의 운동방법에 따라 측정된 근육간에 근활성도 비는 차이가 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

연구대상자는 D시에 소재한 D대학교에 재학 중인

건강한 성인 남녀 24명을 대상으로 자발적으로 실험참여에 동의하고 본 연구의 목적과 방법에 대해 충분히 이해한 자로 하였다. 선정조건은 상지, 하지 질환이 없고 슬링운동이 가능한 자로 운동수행에 어려움이 없고 의사소통이 가능한 자이며, 제외조건은 교각운동이 불가능한 체간과 하지의 관절가동범위를 가진 자, 중앙과 척수 손상, 감염 등 기타 운동장애를 일으키는 신경학적, 정형외과적 질환이 있는 자로 정하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

2. 실험기기 및 도구

체간근육 및 하지근육의 근활성도를 알아보기 위해 근전도 장비(Myosystem 1400A, Noraxon Inc., Scottsdale, AZ, USA)를 이용하여 측정하였다. 은/염화은(Ag/AgCl) 전극을 사용하여 디지털 신호로 전환되어 수집된 각 근육별 5개 채널의 표면 근전도 아날로그 신호를 개인용 컴퓨터에서 MyoResearch XP Master 1.06 소프트웨어를 이용하여 처리하였다. 근전도 신호의 표본추출률(sampling rate)은 1024 Hz로 정하였고, 전기신호에 의한 잡파 제거를 위해 주파수 대역폭(bandpass-filtered)은 20~450 Hz, 노치 필터(notch filter)는 60 Hz를 사용하였다.

3. 실험방법

가. 근활성도의 측정 및 분석

근전도 측정 시 전극을 부착하기 전에 피부저항을 최소화하기 위해 전극 부착 부위의 털을 제거하고, 사포로 피부의 각질을 제거한 다음, 알코올 솜으로 피부를 청결히 하였다. 각각 근섬유 방향과 평행하게 전극간 거리는 2 cm 간격으로 부착하였다. 근전도 전극의 부착 부위는 척추기립근은 극돌기에서 2 cm 수평하게 떨어진 지점의 근복부위(Hickman과 Cramer, 1998)에, 다열근은 L5 극돌기로 부터 외측으로 후상장골극 선상

Table 1. General characteristics of subjects (N=24)

Variables	Subjects
Age (year)	21.2±2.0 ^a
Height (cm)	166.7±9.4
Weight (kg)	60.7±10.8
BMI ^b (kg/m ²)	18.1±2.6

^amean±standard deviation, ^bbody mass index.

에(SENIAM, 2005), 슬립근은 슬와 주름과 둔부 주름 사이의 중간지점(Cram 등, 1998)에, 대둔근은 근육과 평행하게 대퇴골 대전자와 제 2 천골 추체 사이의 중간 지점으로 하였다. 접지전극(ground electrode)은 경골두 위에 부착하였다. 5명의 예비실험 결과 좌우측 체간근 근활성도의 유의한 차이가 나타나지 않아 각 전극은 우세측에만 부착하여 데이터를 수집하였다. 우세측 다리의 선정은 대상자가 공을 찰 때 사용하는 다리를 우세측으로 결정하여 선정하였다.

근전도 부착 후, 근전도 값을 정규화(normalization) 하기 위하여 본 실험에 앞서 도수근력검사 자세(Kendall, 2005)에서 최대 수의적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction; MVIC)을 실시하여 근활성도를 측정하였다. 각 자세에서 5초간 3회 반복 실시하여 MVIC값을 측정하였으며, 처음과 마지막에 각 1초를 제외한中间的 3초 동안을 평균 근전도 신호량의 100% MVIC로 정하여 5초 동안의 근전도 자료를 제공된 평균제곱(root mean square)으로 처리하였다. 각 측정 사이에는 1분간의 휴식시간을 제공하였다.

나. 실험과정

측정은 실험에 영향을 줄 수 있는 환경적 요인을 배제하기 위하여 소음이 없는 측정실에서 실시하였다. 연구대상자는 바로 누운 자세에서 3가지 조건(무교정, 구두적 자세교정, 도수적 자세교정)에서의 슬링을 이용한 교각운동 시 등척성 수축동안 근활성도를 기록하였다(Figure 1). 3가지 조건에서의 운동의 순서는 준비뱀기를 통해 무작위로 정하였다.

먼저 세 가지 조건에 동일하게 적용한 교각운동은 먼저 교각운동의 방법을 숙지할 수 있도록 5회의 연습

동작으로 수행하였다. 이 후 치료사의 '시작' 구령과 함께 교각운동을 실시하였으며 동작의 순서는 두 손을 손바닥이 아래로 향하게 하여 양옆으로 30° 정도 벌려 가지런히 내려놓고 우세측 다리를 슬링의 스트랩 위에 올려놓은 후 무릎을 아래로 누르면서 펴고, 반대쪽 다리를 평행하게 들어올리면서 골반을 바닥에서 들어올리도록 지시하였다. 이때 대상자에게 골반과 체간이 한쪽 측면으로 치우치지 않도록 오른쪽과 왼쪽 대퇴골 대전자에서 5 cm 거리에 막대바를 설치하였다. 도수적 자세교정 시에는 대상자가 교각자세를 유지하는 동안 치료사를 통한 도수적 교정을 통해 골반과 체간의 중립자세를 유지하도록 하였으며, 구두적 자세교정 시에는 치료사의 구두적 지시를 통해 동작을 수정하도록 하였다. 무교정시에는 어떤 교정도 실시하지 않았다. 대상자는 교각동작을 5초간 유지하였으며, 5초 동안의 수축을 1회로 하여 3회 반복을 통해 얻어진 평균값의 근활성도를 구하여 최종분석에 이용하였다. 각 운동 사이에는 1분간의 휴식시간을 제공하였다.

4. 자료분석

실험을 통하여 수집된 자료는 PASW ver. 18.0 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 분석하였다. 기술통계 자료는 평균과 표준편차로 제시하였다. 측정된 자료의 정규분포 여부를 알아보기 위하여 샤피로 윌크(Shapiro-Wilk) 검정을 실시하였고 정규분포함을 확인하였다. 치료사의 구두적 자세교정과 도수적 자세교정 시에 체간근육과 하지근육의 근활성도와 근활성도 비를 비교하기 위해 일요인 분산분석(one-way analysis of variance)을 실시하였으며, 사후분석을 위해 투키(Tukey)검정을 사용하였다. 통계학적 유의수준은 α 는 .05로 정하였다.

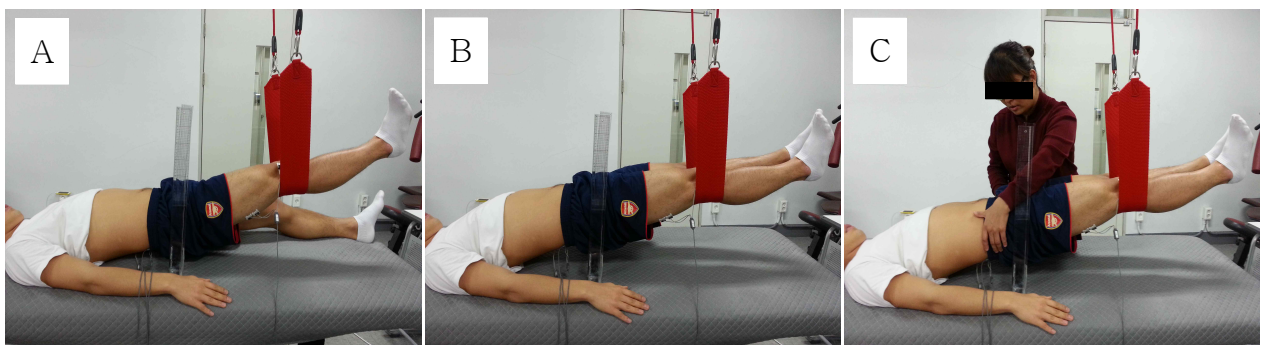


Figure 1. The bridging exercise combined with sling (A: starting position, B: end position, C: manual correction).

III. 결과

교각운동 시 세 가지 조건에서 체간근과 하지근의 근활성도를 측정된 결과, 대둔근에서만 세 조건 간 유의한 차이가 나타났다($p < .05$). 사후 검정 결과, 도수적 자세교정과 구두적 자세교정이 무교정에 비해 대둔근의 근활성도가 유의하게 높게 나타났다($p < .05$). 또한 대둔근/슬딕근 비도 세 조건간 유의한 차이를 보였으며, 사후 검정 결과, 도수적 자세교정과 구두적 자세교정이 무교정에 비해 대둔근/슬딕근 비의 근활성도가 유의하게 높은 것으로 나타났다(Table 2)(Figure 2).

IV. 고찰

최근 근골격계 질환의 근육 재활훈련의 목표는 약화된 근육의 정확한 동원과 운동조절능력에 초점이 맞추어져 있다. 실제 임상환경에서는 정확한 근육동원을 위해 치료

사의 손에 의한 자세 교정이나 구두적 지시 방법과 같은 다양한 방법을 통해 보상적 움직임의 최소화를 유도하고 있으며, 이는 성공적 재활을 이끄는 중요한 요소가 되고 있다. 이에 본 연구는 체간 안정화 훈련으로 흔히 사용하는 교각운동을 실시하는 동안 도수적 자세교정이 체간 신전근과 고관절 신전근의 근활성도에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 실시하였다. 연구 결과 도수적 자세교정군과 구두적 자세교정군이 대조군에 비하여 대둔근의 근활성도와 대둔근/슬딕근의 근활성도 비가 유의하게 증가하는 것으로 확인되었다.

실제 Lee(2013)는 누운 자세에서 초음파를 이용하여 자발적으로 복횡근의 수축시켰을 때, 구두적 지시만 적용하였을 때보다 손을 이용하여 흉곽을 조정하였을 때 복횡근의 수축력이 더 크게 나타난 것을 보고하였다. Beales 등(2010)도 만성 골반통증이 있는 자를 대상으로 누워서 능동적 한 다리들기(active straight leg raise) 과제를 수행할 때 도수적 골반 압박이 골반 주변근육의 운동조절 패턴에 영향을 준다고 보고하였다. 실제 임상에서

Table 2. Electromyographic activity of each muscle and ratio during bridging exercise with three conditions

	Manual correction	Verbal correction	Without correction	F
MF ^a	53.20±17.28 ^b	52.85±16.82	56.14±16.40	1.695
ES ^c	44.56±13.93	45.88±13.26	48.44±14.53	1.577
GM ^d	37.67±14.56	33.63±17.75	31.17±14.99	13.440*
Ham ^e	51.54±28.48	51.26±27.66	52.52±26.60	.314
MF/ES ^f	1.21±.31	1.19±.38	1.19±.33	.404
GM/Ham ^g	.99±.80	.84±.77	.78±.60	9.110*

^amultifidus, ^bmean±standard deviation, ^cerector spinae, ^dgluteus maximus, ^ehamstring, ^fmultifidus/erector spinae ratio, ^ggluteus maximus/hamstring ratio, * $p < .05$.

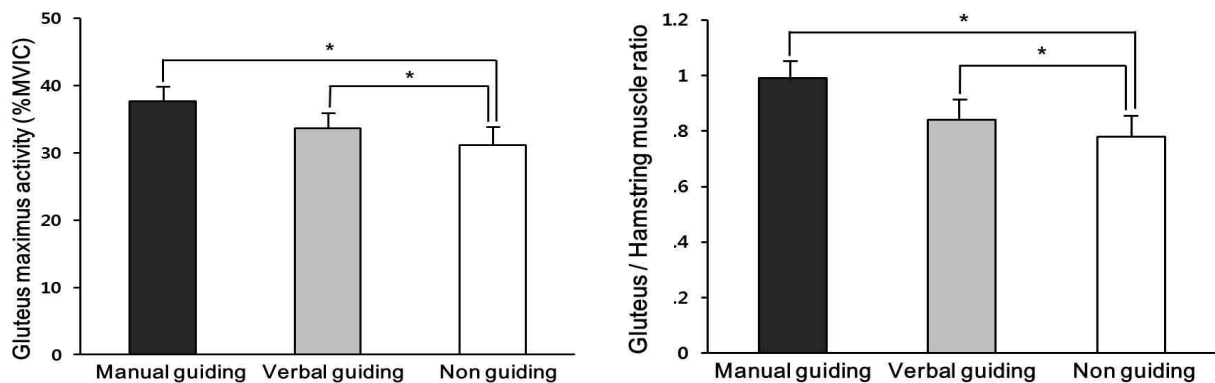


Figure 2. The gluteus maximus activity and gluteus maximus/hamstring ratio of each condition during bridging exercise.

는 근골격계 환자들의 근력강화훈련 시 만성통증으로 인한 근위축 및 근신경계 시스템의 운동조절능력 및 근육 동원능력이 저하되어 정확한 동작을 수행하기가 어렵다(O'Sullivan 등, 1997). 이에 재활훈련초기에 환자의 정확한 동작을 유도하기 위하여 흔히 치료사의 손을 이용하여 정확한 자세를 조정해준다. 본 연구의 결과에서도 교각운동 동작 시 치료사의 손을 이용한 자세조절을 적용한 군이 대조군과 비교하여 대둔근의 근활성도와 대둔근/슬딕근 근활성도 비가 유의하게 높게 나타났다. 이는 교각운동 시 도수적 자세교정은 좌, 우 골반의 회전과 높이를 조정해줌으로써 골반에 부착된 체간근과 하지근의 근활성도를 최대로 이끈 결과라 여겨진다. Bump 등(1991)의 연구에서도 정확한 동작 수행에 있어 시각적 지지와 구두적 지시의 영향을 확인하였으며, Schega 등(2014)은 구두적 지시가 동작수행 및 근육동원에 긍정적인 효과가 있는 것으로 확인되었다. 또한 Park 등(2013)의 연구에서도 누운 자세에서 능동적 다리들기를 하는 동안 대상자의 손을 전상전골극 위에 놓고 골반을 자가 자세 교정하였을 때 벨트를 사용하거나 아무런 조절도 하지 않은 군에 비하여 골반의 회전정도가 감소하고 복부근육의 근활성도는 증가하는 것을 보고하였다. 이는 환자의 정확한 동작수행에 있어 환자가 독립적으로 실시하는 동작보다 치료사의 손이나 환자의 손을 이용해서 동작을 인지하고 조절하는 것이 관절의 위치를 재조정하고 관련 근육의 참여를 유도하는데 효과적이라고 사료된다. 결국, 치료사의 손을 이용한 자세 교정이 각 관절을 위치를 생역학적으로 최적의 상태로 이동시킴으로써 관절 주변 근육의 수축력을 최대화시키고, 힘 조절 및 신경근 조절력을 향상시킨 것으로 보여진다.

또한 본 연구에서 선택한 교각운동은 체간근육과 하지근육의 근육협응패턴을 개선시키고 근력향상을 위해 수행되는 가장 보편화된 단한-사슬운동으로, 하지의 체중부하를 통한 대둔근과 슬딕근의 근력을 향상시켜 보행의 입각기 단계를 준비할 수 있는 운동이며, 자세 조절능력 향상을 위해 임상에서 흔하게 적용되는 운동이다(O'Sullivan과 Schmitz, 2007). 교각운동 시 척추와 골반의 올바른 정렬과 중립자세를 통한 척추심부근육의 동시수축의 유도가 중요하며, 동작이 정확하지 않을 경우 과도한 요부전만이 유발되어 체간근육과 하지근육의 근활성도가 변할 수 있다(Stevens 등, 2007). 실제 이 운동은 요통을 지닌 환자의 요부 안정화를 위해 실시하며 분절간 안정성과 큰 움직임 간의 근육 협응패턴을 재교육하

는 것이 핵심인 운동이다(Steven 등, 2006). 정상인의 경우 중립자세에서 교각운동 시 척추기립근의 사용은 감소하고, 체간심부근과 하지 근육의 근활성도는 증가하며, 환자의 경우에도 체간근육의 안정성을 향상시키기 위해 불안정한 지지면에서 한 다리의 무릎을 구부리거나 또는 펴고 지지한 상태에서 교각운동을 하는 것이 효과가 있다고 보고하였다(Kumar와 Narayan, 2001). 이에 본 연구에서도 교각운동을 하는 동안 체간과 하지 근육들의 근육 동원에 도수적 자세교정 방법이 어떠한 영향을 미칠 수 있는지 확인하였다.

또한 교각운동 시 지지면에 따라 체간근육과 하지근육의 근활성도는 차이가 있으며, 체간근육과 하지근육의 근육의 활성화를 위해 불안정한 지지면에서의 훈련이 추천된다고 보고되고 있다(Kim 등, 2014). Kang 등(2012)의 연구에서도 슬링에서의 교각운동이 불이나 바닥에서 교각운동을 실시하는 것보다 척추기립근과 다열근의 근활성도가 유의하게 증가하였음을 보고하였다. Dannelly 등(2011)은 슬링을 이용하여 단한 사슬운동을 점진적으로 적용하였을 때 요통환자의 근력과 고유수용성 감각이 증가되었음을 보고하였으며, 이에 본 연구에서도 슬링시스템을 이용한 교각운동을 적용하였다.

한편, 최근 일부 연구에서는 운동을 하는 동안 동시에 작용하는 근육들의 근활성도 비를 제시하여, 생역학적으로 주로 활성화되어야 하는 근육의 근활성도가 상대적으로 크게 나타나는 운동들이 소개되고 있다(Sellkowitz 등, 2013). 이에 본 연구에서도 고관절 신전근인 대둔근과 슬딕근의 상대적 비를 확인하였으며, 도수적 자세교정 방법이 교각운동 동안 대조군에 비하여 슬딕근에 대한 대둔근의 상대적 비가 26.92% 증가된 것으로 확인되었다. 실제 고관절 신전 시 슬딕근의 과활성화는 대둔근의 활성을 억제시켜 근육동원패턴을 변화시키고, 골반의 움직임을 변형시키고 요부의 기계적 자극을 증가시켜 결국 요통을 야기할 수 있으며(Vogt 등, 2003) 슬딕근의 과활성화를 최소화시키며 치료적 운동을 적용하는 것은 요통환자 치료 시에 중요하며, 도수적 자세교정방법이 단순히 근육의 근활성도의 변화뿐만 아니라 근육동원패턴에도 변화를 주어 슬딕근에 대한 대둔근의 근활성도가 증가한 것으로 여겨진다.

본 연구의 제한점은 연구대상자의 수가 다소 적고, 20대의 건강한 성인을 대상으로 하였다는 점, 교각운동 동안 골반의 움직임을 동작분석과 같은 객관적인 방법을 이용하여 분석하지 못하였던 점, 골반 주변 근육 중 4개

의 근육만을 분석하였다는 점과 한 대상자에게 3가지 동작을 한 시점에서 실시함으로 나타날 수 있는 학습효과(learning effect)가 제한점으로 여겨진다. 또한 치료사의 손을 이용한 도수적 자세교정훈련 이후 대상자가 독립적으로 교각운동을 실시했을 때 근육의 활성화도 패턴이 동일하게 유지되는지를 확인하지 못한 점도 본 연구의 제한점이라고 할 수 있다.

이에 추후에는 이러한 제한점들을 고려하여 실제 요부 기능장애를 가진 환자를 대상으로 도수적 자세교정을 적용한 후 다양한 기능적 과제들을 수행하였을 때 움직임에 따른 요골반부의 운동역학적 변화를 분석하여 신경근계의 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 건강한 성인 남녀 24명을 대상으로 슬링을 이용한 교각운동을 실시하였을 때 도수적 자세교정이 체간 신전근과 고관절 신전근의 근활성도에 미치는 영향을 알아보고자 실시하였다. 물리치료사에 의한 도수적 자세교정과 구두적 자세교정, 무교정으로 나누어 슬링시스템을 이용한 교각운동을 실시하였고, 다열근과 척추기립근, 대둔근과 슬딕근의 4개의 근육 작용을 근전도 장비를 이용하여 근활성도를 측정하였다.

측정한 자료를 분석한 결과, 세 가지 방식의 교각운동 시 대둔근의 근활성도와 대둔근/슬딕근 비에서 세 조건간의 유의한 차이가 있었다. 도수적 자세교정과 구두적 자세조절은 아무런 자세교정을 하지 않을 때에 비해 대둔근 근활성도는 20.85%와 12.01% 각각 유의하게 높아졌으며($p < .05$), 대둔근/슬딕근 근활성도 비는 도수적 자세교정과 구두적 자세교정이 아무런 자세교정을 하지 않을 때에 비해 26.92%, 11.86% 각각 유의하게 증가하였다($p < .05$). 이러한 결과를 토대로 요통환자의 치료적 운동 목적으로 교각운동을 적용 시 치료사에 의한 도수적 자세교정 방법을 근육의 선택적 동원과 운동교정을 위한 접근법으로 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

References

Arlotta M, Lovasco G, McLean L. Selective recruit-

ment of the lower fibers of the trapezius muscle. *J Electromyogr Kinesiol.* 2011;21(3):403-410.

Beales DJ, O'Sullivan PB, Briffa NK. The effects of manual pelvic compression on trunk motor control during an active straight leg raise in chronic pelvic girdle pain subjects. *Man Ther.* 2010;15(2):190-199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.math.2009.10.008>

Bump RC, Hurt WG, Fantl JA, et al. Assessment of Kegel pelvic muscle exercise performance after brief verbal instruction. *Am J Obstet Gynecol.* 1991;165(2):322-327; discussion 327-329.

Cram JR, Kasman GS, Holtz J. Introduction to surface electromyography. Gaithersburg, MD, Aspen Publishers, 1998:237.

Dannelly BD, Otey SC, Croy T, et al. The effectiveness of traditional and sling exercise strength training in women. *J Strength Cond Res.* 2011;25(2):464-471. <http://dx.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318202e473>

Ekstrom RA, Donatelli RA, Carp KC. Electromyographic analysis of core trunk, hip, and thigh muscles during 9 rehabilitation exercises. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007;37(12):754-762. <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2007.2471>

Feldwieser FM, Sheeran L, Meana-Esteban A, et al. Electromyographic analysis of trunk-muscle activity during stable, unstable and unilateral bridging exercises in healthy individuals. *Eur Spine J.* 2012;21 Suppl 2:S171-S186. <http://dx.doi.org/10.1007/s00586-102-2254-7>

Hickman DM, Cramer R. The effect of different condylar positions on masticatory muscle electromyographic activity in humans. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998;85(1):18-23.

Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Multifidus muscle recovery is not automatic after resolution of acute, first-episode low back pain. *Spine (Phila Pa 1976).* 1996;21(23):2763-2769.

Kang H, Jung J, Yu J. Comparison of trunk muscle

- activity during bridging exercises using a sling in patients with low back pain. *J Sports Sci Med.* 2012;11(3):510-515.
- Kendall FP. *Muscles: Testing and function with posture and pain.* 5th ed. Baltimore, MD, Lippincott Williams & Wilkins. 2005:49-117.
- Kim JH, Kim Y, Chung Y. The Influence of an unstable surface on trunk and lower extremity muscle activities during variable bridging exercises. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(4):521-523. <http://dx.doi.org/10.1589/jpts.26.521>
- Kumar S, Narayan Y. Torque and EMG in isometric graded flexion-rotation and extension-rotation. *Ergonomics.* 2001;44(8):795-813.
- Lee LJ. Thoracic ring control: A missing link? In touch magazine, an official publication of musculoskeletal physiotherapy Australia. A national group of the Australian Physiotherapy Association. Issue 4, 2013:13-16.
- O'Sullivan PB, Phyty GD, Twomey LT, et al. Evaluation of specific stabilizing exercise in the treatment of chronic low back pain with radiologic diagnosis of spondylolysis or spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976).* 1997;22(24):2959-2967.
- O'Sullivan SB, Schmitz TJ. *Physical Rehabilitation: Assessment and treatment.* 5th ed. Philadelphia, F.A. Davis Company, 2007:524-526.
- Park KH, Ha SM, Kim SJ, et al. Effects of the pelvic rotatory control method on abdominal muscle activity and the pelvic rotation during active straight leg raising. *Man Ther.* 2013;18(3):220-224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.math.2012.10.004>
- Richardson CA, Jull GA. Muscle control-pain control. What exercises would you prescribe? *Man Ther.* 1995;1(1):2-10.
- Scholtes SA, Norton BJ, Lang CE, et al. The effect of within-session instruction on lumbopelvic motion during a lower limb movement in people with and people without low back pain. *Man Ther.* 2010;15(5):496-501. <http://dx.doi.org/10.1016/j.math.2010.05.003>
- Schega L, Bertram D, Fölsch C, et al. The influence of visual feedback on the mental representation of gait in patients with THR: A new approach for an experimental rehabilitation strategy. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2014;39(1):37-43. <http://dx.doi.org/10.1007/s10484-014-9239-8>
- Selkowitz DM, Beneck GJ, Powers CM. Which exercises target the gluteal muscles while minimizing activation of the tensor fascia lata? Electromyographic assessment using fine-wire electrodes. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(2):54-64. <http://dx.doi.org/10.2519/jospt.2013.4116>
- SENIAM. Sensor locations [Internet]. Enschede, 2009 April 3 [Cited 2014 Aug 12]. Available from: http://seniam.org/sensor_location.htm
- Stevens VK, Bouche KG, Mahieu NN, et al. Trunk muscle activity in healthy subjects during bridging stabilization exercises. *BMC Musculoskelet Disord.* 2006;7:75.
- Stevens VK, Coorevits PL, Bouche KG, et al. The influence of specific training on trunk muscle recruitment patterns in healthy subjects during stabilization exercises. *Man Ther.* 2007;12(3):271-279.
- Vogt L, Pfeifer K, Banzer W. Neuromuscular control of walking with chronic low-back pain. *Man Ther.* 2003;8(1):21-28.

This article was received May 27, 2014, was reviewed May 28, 2014, and was accepted August 26, 2014.