



■ 이현옥

■ 부산가톨릭대학교 물리치료학과

Activation of Trunk Muscles during Stabilization Exercises in Four-point Kneeling

Hyun-Ok Lee, PT, PhD

Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan

Purpose: This study examined the activation of the rectus abdominis (RA), external abdominal oblique (EO), transversus abdominis, internal abdominal oblique (TrA/IO), and Multifidus (MF) muscles while stabilization exercise was performed in a four-point kneeling position.

Methods: Experiments were conducted on 21 healthy male adults (mean age=25.29 years) who voluntarily agreed to participate in the study. Each subject was instructed regarding maximal voluntary contractions (MVC) and stabilization exercise in four-point kneeling. While MVC and stabilization exercise of individual muscles were being performed, activation of the muscles was measured using surface electromyography (EMG). Activation of the muscles while performing stabilization exercise in four-point kneeling was normalized to a percentages of the MVC.

Results: Left RA, right TrA/IO, right and left MF muscles showed significant differences among the positions.

Conclusion: Selecting an optimal position can aid subjects on physical conditions while performing stabilization exercises in the four-point kneeling position.

Keywords: Stabilization exercise, Four-point kneeling, Rectus abdominis, External abdominal oblique, Transversus abdominis, Internal abdominal oblique, Multifidus

논문접수일: 2010년 7월 29일

수정접수일: 2010년 10월 8일

게재승인일: 2010년 10월 9일

교신저자: 이현옥, holee@cup.ac.kr

1. 서론

요통 중에서 사회적으로 부정적인 영향을 미치는 것은 만성요통이며 이것은 병리역학적 기전의 결과로 발생된다. 일반적으로 이것을 임상적 척추 불안정성(instability)이라 하며, 좌골신경통의 원인이 되기도 한다.¹ 척추 불안정성은 여러 연구자들의 노력에도 불구하고 아직도 의견의 일치를 보이지 않고 있다. 이는 전문가들 즉 임상가, 방사선전문가, 생체엔지니어 등에 따라 관점이 다르기 때문이다. 그러나 일반적으로 받아들여지는 가장 타당한 정의는 Pope와 Panjabi²가 제의한 운동분절의 강성도(stiffness)가 약해져서 분절에 가해지는 힘에 의해 정상적인 경우보다 과도한 운동이 일어나는 것이다.

일반적으로 척추의 안정성은 체간의 굴곡근과 신장근의 동시 수축으로 증가되고, 증가된 탄성력과 함께 증가된 복부내의 압력으로 높아진다.³ 비록 모든 체간 근육들이 척추의 안정화에 참여하지만, 복횡근과 다열근 같은 심부 국소 안정화 근육들의 수축은 이런 점에서 많은 기여를 한다. 하지만 요통환자들은 척추 안정성에 중요한 역할을 하는 복횡근과 다열근의 기능에 이상을 초래한다.⁴ 요통환자들에게서 복횡근과 다열근 같은 심부 체간 근육의 기능을 회복하기 위한 방법으로 안정화 운동이 권장되고 있다. 안정화 운동은 체간 안정화(trunk stabilization), 요부 안정화(lumbar stabilization), 중심부 강화운동(core strengthening) 혹은 동적 안정화(dynamic stabilization) 등의 용어와 유사 동의어로 사용되고 있다.⁵ 안정화 운동은 안정근의 선택적 훈련이며 초

기에 낮은 수준의 등척성 수축으로 시작하여 점진적으로 일상 동작을 할 수 있는 수준으로 통합된다.⁶ 안정화 운동의 방법은 기본 운동에서 보다 진전된 운동으로 진행해야 하며 Saal⁷에 의해 제안된 방법이 많이 활용되고 있다. 초기단계에는 McGill⁸에 의해 기술된 3가지 운동 즉, 몸통 웅크리기(curl-up), 측면 교량운동(side bridge), 새 사냥개 운동(bird dog)도 같이 활용된다. 몸통 웅크리기 운동 전에 배꼽넣기(abdominal hollowing)와 고정운동(bracing)은 웅크리는 동안 복횡근과 내복사근을 촉진할 수 있고, 새 사냥개 운동은 네발, 세발, 두발 기기자세로 진행될 수 있다.

이처럼 안정화 운동들은 다양한 체위에서 수행할 수 있다. 그러나 재활 과정에서 가장 흔하게 추천되는 것 중 하나는 손과 무릎을 지면에 지지한 채 네발기기 자세(four-point kneeling position)에서 수행하는 것이다.⁹ 네발기기 자세는 상대적으로 다른 자세에 비해 척추에 가해지는 하중을 줄이고 척추 중립자세로 쉽게 균형을 유지할 수 있는 비항중력자세(non-anti gravity posture)이다.¹⁰ 이 자세에서는 내복사근의 하부섬유의 분리된 수축이 엷드린 자세와 비교하여 보다 일관성 있게 성취될 수 있고,⁶ 국소 근육계(local system)의 재활 초기에 외적 하중과 통증을 최소화하기 때문에 엷드린 자세와 함께 권장되는 자세이다.¹¹ 더불어, 네발기기 자세에서 실시하는 안정화 운동은 팔과 다리를 상호적으로 뺏아서 체간근을 강화시키고,¹² 특별한 체간 근육의 동원 패턴을 훈련할 수 있다.^{6,11,12} 이런 이점들 때문에, 네발기기 자세에서 실시하는 안정화 운동이 임상에서 널리 사용되고 있다. 하지만 운동을 하는 동안 체간의 안정화에 관여하는 근육의 활동을 비교분석한 자료들이 부족한 편이다.

그러므로 본 연구는 네발기기 자세에서 안정화 운동들을 행하는 동안 체간 근육들의 활성도를 알아보고, 자세 변화에 따른 근육활성의 차이를 비교하여 네발기기에서 행하는 척추 안정화를 위한 바람직한 자세를 선택하는데 필요한 자료를 제공하기 위한 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 연구 목적과 방법에 대한 설명을 들은 후, 실험 참여에 자발적으로 동의한 건강한 성인 남자 21명을 대상으로 실시하였다. 연구대상자의 평균 연령은 25.3±3.1세, 평균 신장은 175.8±3.4 cm, 평균 체중은 68.2±6.3 kg이었다. 운동을 수행하는 동안 상·하지에 통증이 있거나 기능부전이 있는 자, 지난 6개월 동안 요통을 경험한 자, 수술적 치료 경험이 있는 자, 신경계 질환이 발견된 참가자는 실험 대상에서 제외하였다.

2. 실험방법

1) 측정 도구 및 도자 부착

네발기기 자세에서 척추 안정화 운동을 수행하는 동안 복횡근/내복사근, 복직근, 외복사근, 다열근의 근육활동을 측정하기 위해서 FlexComp Infiniti™ (Thought Technology Ltd., 캐나다) 근전도를 사용하였다. 표면 근전도 신호에 대한 피부저항을 감소시키기 위해서 과도한 털은 면도하여 제거하고 가는 사포로 2~3회 문질러 피부 각질층을 제거한 후, 소독용 알코올로 피부를 깨끗이 하였다. 3극(Recoding, Ground, Reference) 일회용 표면전극을 다음과 같이 좌우측 근섬유에 나란히 부착하였다. 복횡근/내복사근은 전상장골극(ASIS)과 나란하게 하여 내측으로 2 cm 아래쪽으로 2 cm 되는 부분에 부착하였다.¹³ 복직근은 배꼽에서 외측으로 1 cm 그리고 아래쪽으로 2 cm 되는 부분에 부착하였고, 외복사근은 반대편 치골결절과 늑골모서리 가장 아래쪽을 연결하는 선을 따라 아래쪽 모서리에 대각선 방향으로 부착하였다.¹⁴ 다열근은 L4-L5 극돌기에서 외측 2 cm 부분에 부착하였다.¹⁵ 근전도 신호의 표본추출률(sampling rate)은 2.048 Hz로 설정하였고, 주파수 대역폭(bandpass)을 50 Hz~1 KHz로 설정하여 필터링하였다. 수집된 근전도 신호는 실효치(root mean square, RMS) 값으로 처리하여 분석하였다.

2) 최대 수의적 수축

각 근육들의 활동전위 표준화를 위해 도수 저항과 함께 최대 수의적 수축(maximum voluntary contractions, MVC)을 생성할 수 있는 자세에서 실시하였다. 5초간 측정된 근수축 중 3초 동안의 측정된 근육활동을 평균하여 MVC를 산출하였다. 복직근은 체간의 굴곡, 복횡근/내복사근은 체간을 굴곡하면서 동측으로 체간을 회전, 외복사근은 체간을 굴곡하면서 반대측으로 체간을 회전하여 측정하였다. 복직근, 복횡근/내복사근, 외복사근은 누운 자세에서 도수의 저항에 대항하여 한번 측정된 다음 앉은 자세에서도 측정하여,⁶ 더 높은 신호량을 표준화하였다. 다열근은 엷드린 자세에서 체간을 신전하여 측정하였다.¹⁶ MVC 측정 시 근피로를 예방하기 위해 5초간 수축을 유지하고 2분간 휴식하였다.

3) 운동 방법

실험 전 운동 방법에 대해 다음과 같이 교육을 실시하였다. 모든 대상자들은 네발기기자세에서 시선은 바닥을 향하고 어깨와 귀가 수평을 이룬 상태에서 손목은 어깨 아래, 무릎은 엉덩이 아래 놓이게 하여, 중립적인 척추의 위치를 유지하도록 교육하였다. 중립적인 척추의 위치는 완전한 신전과 평평한 척추 사이의 약 반 정도에 맞추었다.¹⁷ 자세 1은 네발기기 자세에서 오른 쪽 팔만 어깨 높이까지 들어 올리고, 자세 2는 네발기기 자세

에서 왼쪽 다리를 어깨 높이까지 들어 올리고, 자세 3은 오른쪽 팔과 왼쪽 다리를 동시에 어깨 높이까지 들어올렸다(Figure 1). 연속적인 측정으로 인해 발생할 수 있는 근피로를 최소화하기 위해서 각 자세에 따른 운동 후 2분간 휴식을 취하도록 하였다. 대상자와 측정 기구의 위치에 대한 기준을 잡기 위해 바닥에 표시를 하였다. 각각의 자세를 10초간 실시하고, 처음 3초와 마지막 3초를 제외한 4초 동안 측정된 근육의 신호량을 자료 분석에 사용하였다.

3. 자료 분석

본 연구는 네발기기 자세에서 실시하는 3가지 자세 변화에 따른 각 근육들의 활동 차이를 비교하기 위하여 일원배치분산분석(one way ANOVA)을 하였고, 사후 검정은 Scheffe의 다중 비교 분석을 실시하였다. 통계적 유의성을 검증하기 위해 유의 수준 $\alpha=0.05$ 로 정하여 수집된 자료는 SPSS 12.0 Window 프로그램을 이용하여 분석하였다.

III. 결과

1. 자세 변화에 따른 체간 근육의 활동

자세 변화에 따른 각 근육들의 활동을 측정한 결과는 Table 1에서와 같다. 네발기기 자세에서 오른쪽 팔 들어 올리기(자세 1), 왼쪽 다리 들어 올리기(자세 2), 오른쪽 팔과 왼쪽 다리 들어 올리기(자세 3)로 진행할수록 모든 근육의 근활동은 증가하였다. 그러나 통계학적으로는 왼쪽 복횡근/내복사근, 오른쪽 복직근, 왼쪽과 오른쪽 외복사근의 활동은 유의한 차이가 없었고, 오른쪽 복횡근/내복사근 왼쪽 복직근 그리고 양측 다열근에서는 자세 사이에서 유의한 차이를 보였다. 오른쪽 복횡근/내복사근과 왼쪽 복직근 그리고 오른쪽 다열근에서는 자세 1과 자세 3에서 유의한 차이를 보였으며, 왼쪽 다열근은 모든 자세 사이에서 유의한 차이가 있었다.

IV. 고찰

체간의 동원 패턴¹⁸이나 체간 근육의 활동 수준^{19,21}을 알아보기 위한 근전도 연구들은 다양하나 네발기기 자세에서 안정화 운동들을 실시하는 동안 체간 근육들의 활동 대한 연구는 부족한 실정이다. 그리하여 본 연구에서는 근전도를 이용하여 네발기기 자세에서 안정화 운동들을 실시하는 동안 체간 근육들의 활동 수준을 분석하였다. 그 결과, 네발기기 자세에서 오른쪽 팔 들어 올리기(자세 1), 왼쪽 다리 들어 올리기(자세 2), 오른쪽 팔과 왼

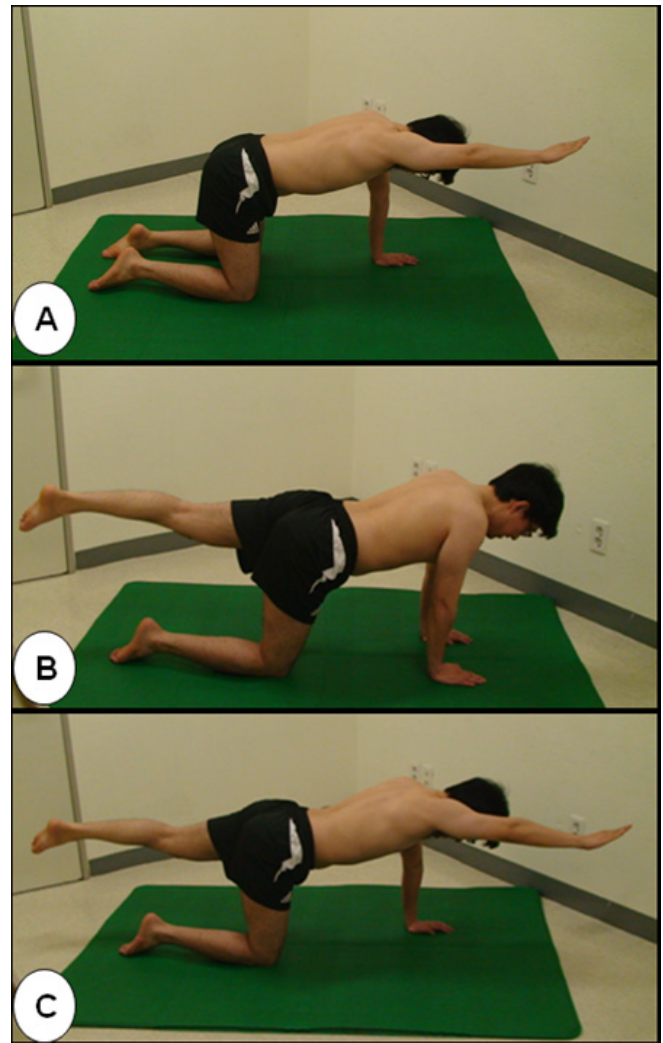


Figure 1. Stabilization exercises in four-point kneeling. A: Single right arm lift (position 1), B: Single left leg lift (position 2), C: Right arm and left leg lift (position 3).

쪽 다리 들어 올리기(자세 3)를 실시한 운동에서 자세 1에서 3으로 진행할수록 모든 체간 근육의 활성도가 높아졌다. 이는 기저면이 조금씩 감소하면서 균형을 유지하는데 더 많은 어려움을 겪게 되어 자세 조절에 많은 역할을 하는 관절, 근육, 심부 조직의 기계적 수용기들에서 대뇌 피질로 전달하는 고유 수용성 감각의 정보가 많아져서 상대적으로 체간 근육들의 근활성이 높아지는 것으로 사료된다. 따라서 자세 1에서 3으로 진행한다면 근육의 근활성도를 점진적으로 증가시킬 수 있을 것이다. 표면 근전도를 이용하여 복횡근의 활성도를 측정하는 것에 대한 논란이 존재한다. 하지만 Marshall과 Murphy¹³의 연구를 살펴보면, 표면 근전도를 이용하여 복횡근의 활성도를 측정하는데 높은 신뢰도를 보였으며, 복횡근과 내복사근의 주행 방향이 겹치는 부분이 존재하기 때문에 함께 측정하는 것을 권장하였다. 최근의 선

Table 1. A comparison of muscle activities with %MVC in different positions (N=21)

	Position 1	Position 2	Position 3	F	p
Lt. TrA/IO	10.98±9.02	11.19±9.74	11.69±9.54	0.03	0.97
Rt. TrA/IO*	13.13±9.95 ^a	18.63±14.16 ^{ab}	24.89±15.32 ^b	4.08	0.02
Lt. RA*	6.81±2.63 ^a	11.68±5.67 ^{ab}	16.94±11.24 ^b	9.78	0.00
Rt. RA	8.68±4.82	11.92±9.83	14.41±13.71	1.69	0.19
Lt. EO	20.66±15.08	24.66±15.43	31.92±21.39	2.23	0.12
Rt. EO	17.06±11.82	19.29±15.62	22.49±16.69	0.71	0.50
Lt. MF*	11.8±7.98 ^a	36.62±20.81 ^b	50.21±20.1 ^c	26.53	0.00
Rt. MF*	7.4±7.72 ^a	16.27±12.74 ^{ab}	26.48±18.34 ^b	10.28	0.00

*Significant difference (p<0.05)

Unit: %MVC

Position 1: Single right arm lift, Position 2: Single left leg lift, Position 3: Right arm and left leg lift

Rt: Right, Lt: Left

RA: Rectus abdominis, EO: External abdominal oblique, MF: Multifidus

TrA/IO: Transversus abdominis/internal abdominal oblique

^{a, b, c} values with different superscripts within the same columns are significantly different at p<0.05

행 연구들^{22,23}에서도 Marshall과 Murphy¹³의 연구를 바탕으로 표면 근전도를 이용하여 안정화 운동을 하는 동안 복횡근/내복사근의 활성도를 함께 측정하였다. 본 연구의 오른쪽 복횡근/내복사근의 활동은 자세 1에서 13.13%, 자세 3에서 24.89%를 보였으며, 자세 1과 자세 3은 유의한 차이를 보였다. Gresswell 등²⁴은 사지의 균형을 저해하는 외측 하중은 체간근의 활동을 증가시키고, 이것은 척추의 안정성을 유지하는데 기여한다고 하였다. 본 연구에서도 자세 3이 자세 1에 비해 약 11.76% 높은 근 활동을 보였다. 이는 네발기기 자세에서 복부 장기들이 앞으로 이동하여 심부 복부 근육이 신장되어 있는 상태¹¹에서 불균형한 사지의 움직임에 의해 가해진 하중이 근육의 신장 수용기에 더 많은 피드백을 주어 복횡근/내복사근의 운동신경원의 흥분을 증가시켜 척추의 안정성을 유지하기 위한 것으로 사료된다. 또한, 척추의 안정성을 증가시키기 위해 요구되는 복횡근과 다열근 같은 국소 근육의 힘은 MVC의 25% 정도라고 하였다.¹¹ 본 연구에서 복횡근/내복사근의 활동은 모든 운동에서 25% MVC 미만으로 나타났으므로 재활 초기에 복횡근의 기능 회복을 위해 실시할 수 있는 운동이라 사료된다.

왼쪽 복직근의 활동은 자세 1과 자세 3에서 유의한 차이를 보였다. 이는 본 연구의 자세 3과 동일한 조건으로 실시한 연구^{12,25}에서는 왼쪽 복직근이 오른쪽 복직근에 비해 상대적으로 높은 근활동 수준을 보여 본 연구에서의 결과와 일치하고 있다. 선행 연구들^{12,25,26}에서는 복직근의 평균적 근활동이 약 6%로 미만으로 나타났으나, 본 연구에서는 운동 1에서만 6.81%로 비슷한 수준을 유지하였고, 자세 2와 자세 3은 각각 11.68%, 16.94%로 상당히 높은 왼쪽 복직근의 활동을 보였다. 이는 본 연구의 대상자들이 자세 2와 3에서는 균형을 유지하기가 더욱 어려워 짐으로서 체간 근육의 활동이 증가하기 때문이라 사료

된다.

외복사근의 활동은 오른쪽에 비해 왼쪽이 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 상지와 반대측 하지를 들어 올리는 자세에서 반대측 하지 쪽 외복사근의 활동이 높게 나타난 연구들^{12,25}의 결과와 일치한다. 본 연구에서 외복사근은 복횡근/내복사근에 비해 상대적으로 높은 근활동을 보였다. 이는 운동의 난이도가 높아질수록 동측과 반대측 사지들을 들어 올리면서 발생하는 척추의 회전을 조절하고,²⁶ 중립적인 척추의 위치를 유지하는데^{12,22} 외복사근이 더 많은 수축을 하기 때문인 것으로 사료된다. 다양한 척추 안정화 운동에서 외복사근과 복횡근/내복사근의 선택적인 분리 수축을 유도하는 것은 어렵다.^{6,22,23} 이는 외복사근과 복횡근/내복사근이 늑연골, 흉요추 근막, 장골능 그리고 치골에 부착되어 같은 골질 섬유유착부를 공유하기 때문이다.²⁷ 그러므로 복직근과 외복사근 같은 대근육(global muscle)군들의 수축을 줄이기 위해 볼을 이용한 방법,²⁵ 실시간 초음파 영상을 이용한 방법^{28,29} 등을 고려하여야 할 것으로 사료된다.

근전도 실험에서 다열근의 활동을 연구하기 위해 표면 근전도를 사용하는 것은 논란의 여지가 있다. 표면 근전도를 사용한 연구³⁰에서는 다열근의 기능을 평가하기 위한 목적으로 유용하다고 제안하였으나, 이런 연구들은 근육내 삽입전극 근전도와 표면 근전도 사이에 정량적 상관 분석이 없었다. 그리하여 Arokoski 등¹⁵은 요추 2번과 요추 5번에 위치한 다열근을 대상으로 근육내 근전도와 표면 근전도 사이에 상관성을 연구하였다. 그 결과 요추 2번과 요추 5번에 위치한 다열근의 %MVC의 상관계수가 r=0.928, 0.950으로 높은 상관성을 보였다. 더하여 Danneels 등³¹은 요추 다열근에 대한 표면 근전도 사용에서 높은 신뢰도를 증명하였다. 그리하여 본 연구에서는 다열근

의 활동수준을 알아보기 위해 요추 5번에 위치한 다열근에 표면 근전도를 사용하였다.

다열근의 활동은 오른쪽에 비해 왼쪽이 상대적으로 높게 나타났으며, 이는 하지를 들어 올리는 쪽의 다열근이 지면을 지지하는 반대측 다열근 보다 더 높은 근활동을 보인 선행 연구¹²의 결과와 일치한다. 또한 본 연구의 자세 3과 동일한 방법으로 실시한 Drake 등²⁵의 연구를 살펴보면, 매트 위에서 실시한 운동은 오른쪽과 왼쪽 다열근의 활동 차이가 거의 없었지만 Ball을 이용한 운동은 왼쪽 다열근의 활동이 오른쪽 다열근의 활동보다 더 높은 근활동을 보여 본 연구의 결과와 유사하게 나타났다. 본 연구에서 왼쪽 다열근의 활동은 자세 1, 자세 2, 자세 3에서 11.8%, 36.62%, 50.21%로 각 자세 사이에서 유의한 차이를 보였다. Cresswell 등²⁴은 등 근육이 MVC의 25%만큼 수축하여도 관절 강성도를 최대로 제공할 수 있다고 하였다. 더하여 다열근은 주로 긴장성 섬유(tonic fiber)인 Type I 섬유로 구성되어 있고,³² 긴장성 섬유들은 MVC의 30~40% 정도에서 수축하기 때문에 근육들의 긴장성 기능을 회복하기 위해서는 이 정도의 근수축이 필요하다고 하였다.³³ 그리고 근력 강화를 위해서는 1RM(Repetition Maximal)에 MVC의 60~100% 정도의 훈련강도를 추천하였고, 근지구력을 높이기 위해서는 MVC의 60% 이하의 강도와 반복 횟수를 12번 이상 하는 것을 추천하였다.³⁴ 그러므로 본 연구에서 자세 1은 왼쪽 다열근의 낮은 근수축을 유도하므로 재활 초기에 관절의 강성도를 제공하기 위한 목적으로 실시할 수 있는 자세이고, 자세 2는 왼쪽 다열근의 수행능력 및 긴장성 기능을 개선하기 위해 다음 단계에서 실시할 수 있는 자세이며, 자세 3은 왼쪽 다열근의 지구력 향상의 목적으로 실시할 수 있는 자세라 사료된다. 오른쪽 다열근은 모든 자세에서 MVC의 약 27%의 미만으로 나타났으므로 자세 1, 2, 3 모두에서 관절의 강성도를 제공할 수 있을 것이라 사료된다.

이처럼 네발기기에서 실시하는 척추 안정화 운동의 자세 변화에 따른 근육활동은 매우 다양하게 나타났다. 그러므로 네발기기에서 척추 안정화 운동을 수행 시 대상자의 상태와 목적에 따른 바람직한 자세를 선택하는데 많은 도움이 되었으면 한다.

V. 결론

본 연구는 네발기기 자세에서 실시하는 안정화 운동의 자세 변화에 따른 체간근육들의 활동을 분석하였다. 자세 변화에 따른 체간근육들의 활동은 심부 국소 근육들의 활동을 비롯하여 대근육들의 활동도 상당히 높은 수준을 유지하였다. 이는 네발기기에서 실시하는 안정화 운동이 대근육들과 심부 국소 근육들

을 모두 활성화시킬 수 있는 운동이라는 것을 보여준다. 또한 대상자들의 상태에 따라 근활성도를 점진적으로 증가하는 방법으로 네발기기 자세에서 팔들기, 다리들기, 팔과 다리들기로 진행할 것을 추천한다. 척추 근육의 활성도는 팔과 다리의 작은 움직임에도 달라지기 때문에 특정 근육의 선택적인 운동을 위한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

Author Contributions

Research design: Lee HO

Acquisition of data: Lee HO

Analysis and interpretation of data: Lee HO

Drafting of the manuscript: Lee HO

Research supervision: Lee HO

Acknowledgements

본 연구는 부산가톨릭대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행된 것임.

참고문헌

1. Leone A, Guglielmi G, Cassar-Pullicino VN et al. Lumbar intervertebral instability: a review. *Radiology*. 2007;245(1):62-77.
2. Pope MH, Panjabi M. Biomechanical definition of spinal instability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1985;10(3):255-6.
3. Cholewicki J, Juluru K, McGill SM. Intra-abdominal pressure mechanism for stabilizing the lumbar spine. *J Biomech*. 1999;32(1):13-7.
4. Hungerford B, Gilleard W, Hodges P. Evidence of altered lumbopelvic muscle recruitment in the presence of sacroiliac joint pain. *Spine*. 2003;28(14):1593-600.
5. Akuthota V, Nadler SF. Core strengthening. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(3 Suppl 1):S86-92.
6. Beith ID, Synnott RE, Newman SA. Abdominal muscle activity during the abdominal hollowing manoeuvre in the four point kneeling and prone positions. *Man Ther*. 2001;6(2):82-7.
7. Saal JA. The new back school prescription: stabilization training. Part II. *Occup Med*. 1992;7(1):33-42.
8. McGill SM. *Low back disorders: evidenced-based prevention and rehabilitation*. 2nd ed. Champaign, Human Kinetics, 2007:226-34.
9. Queiroz BC, Cagliari MF, Amorim CF et al. Muscle activation

- during four Pilates core stability exercises in quadruped position. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91(1):86-92.
10. McGill SM. Low back exercises: evidence for improving exercise regimens. *Phys Ther.* 1998;78(7):754-65.
 11. Richardson CA, Jull GA. Muscle control-pain control. What exercises would you prescribe? *Man Ther.* 1995;1(1):2-10.
 12. Stevens VK, Vleeming A, Bouche KG et al. Electromyographic activity of trunk and hip muscles during stabilization exercises in four-point kneeling in healthy volunteers. *Eur Spine J.* 2007;16(5):711-8.
 13. Marshall P, Murphy B. The validity and reliability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(5):477-89.
 14. Ng JK, Kippers V, Richardson CA. Muscle fibre orientation of abdominal muscles and suggested surface EMG electrode positions. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 1998;38(1):51-8.
 15. Arokoski JP, Kankaanpää M, Valta T et al. Back and hip extensor muscle function during therapeutic exercises. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999;80(7):842-50.
 16. Ng JK, Kippers V, Parnianpour M et al. EMG activity normalization for trunk muscles in subjects with and without back pain. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(7):1082-6.
 17. Danneels LA, Coorevits PL, Cools AM et al. Differences in electromyographic activity in the multifidus muscle and the iliocostalis lumborum between healthy subjects and patients with sub-acute and chronic low back pain. *Eur Spine J.* 2002;11(1):13-9.
 18. Lee HO, Gu BO. Recruitment Patterns of Lumbar Extensor and Hip Extensors in Trunk Flexion and Extension. *J Kor Soc Phys Ther.* 2009;21(1):57-64.
 19. Kim BG, Seo HK, Jung YW. The effect of sling exercise on lumbar stabilization and muscle strength. *J Kor Soc Phys Ther.* 2004;16(4): 129-141.
 20. Kim H, Park RJ, Bae SS. Effect of diaphragmatic breathing exercise on activation of trunk muscle of patients with low back pain. *J Kor Soc Phys Ther.* 2005;17(3): 311-327.
 21. Kim TH, Seo HK, Gong WT. The Change of Muscle Activities of Trunk Muscles during Various Leg-Crossing Positions in Low Back Pain Patients. *J Kor Soc Phys Ther.* 2007;19(5):1-10.
 22. Park DJ, Lee HO. Activation of abdominal muscles during abdominal hollowing in four different positions. *J Phys Ther Sci.* 2010;22(2):203-7.
 23. Chanthapetch P, Kanlayanaphotporn R, Gaogasigam C et al. Abdominal muscle activity during abdominal hollowing in four starting positions. *Man Ther.* 2009;14(6):642-6.
 24. Cresswell AG, Oddsson L, Thorstensson A. The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure while standing. *Exp Brain Res.* 1994;98(2):336-41.
 25. Drake JD, Fischer SL, Brown SH et al. Do exercise balls provide a training advantage for trunk extensor exercises? A biomechanical evaluation. *J Manipulative Physiol Ther.* 2006;29(5):354-62.
 26. Souza GM, Baker LL, Powers CM. Electromyographic activity of selected trunk muscles during dynamic spine stabilization exercises. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(11): 1551-7.
 27. Moore KL, Dalley AF. *Clinically oriented anatomy.* 4th ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 1999:184-5.
 28. Henry SM, Westervelt KC. The use of real-time ultrasound feedback in teaching abdominal hollowing exercises to healthy subjects. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2005;35(6):338-45.
 29. Mew R. Comparison of changes in abdominal muscle thickness between standing and crook lying during active abdominal hollowing using ultrasound imaging. *Man Ther.* 2009;14(6):690-5.
 30. McGill S, Juker D, Kropf P. Appropriately placed surface EMG electrodes reflect deep muscle activity (psoas, quadratus lumborum, abdominal wall) in the lumbar spine. *J Biomech.* 1996;29(11):1503-7.
 31. Danneels LA, Cagnie BJ, Cools AM et al. Intra-operator and inter-operator reliability of surface electromyography in the clinical evaluation of back muscles. *Man Ther.* 2001; 6(3):145-53.
 32. Jørgensen K, Nicholaisen T, Kato M. Muscle fiber distribution, capillary density, and enzymatic activities in the lumbar paravertebral muscles of young men. Significance for isometric endurance. *Spine (Phila Pa 1976).* 1993;18(11): 1439-50.
 33. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Exercise physiology, energy, nutrition and human performance.* 3rd ed. Philadelphia, Lea and Febiger, 1991:384-417.
 34. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):687-708.