

Influence of Difficulty Variation of the Core Stabilization Exercise on Thickness Changes of Abdominal Muscles in Healthy Subjects: A Pilot Study

Jeong-Hyeon Kang¹, Hye-Rim Suh², Chang-Yong Kim³, Hyeong-Dong Kim⁴, Hyungkun Kim⁵

¹Department of Health Science, Graduate School, Korea University; ²Department of Physiology, College of Medicine and Neuroscience Research Institute, Korea University; ³The Biomechanics and Movement Rehabilitation Laboratory, Health and Sciences Institute, Korea University;

⁴Department of Physical Therapy, College of Health Science, Korea University; ⁵Department of Health Science, Graduate School, Korea University, Seoul, Korea

Purpose: This study examined thickness changes in abdominal muscles according to difficulty level of core stabilization exercise in healthy subjects.

Methods: Thirty healthy subjects (age range: 21–30 years) volunteered under three conditions. In the first condition, the subjects performed an abdominal draw-in maneuver (ADIM). In the second condition, they performed the ADIM during quadruped exercise using a suspension device without extending their lower limbs. In the third condition, the subjects performed the ADIM during quadruped exercise using a suspension device while extending both lower limbs. The changes in thickness of transverse abdominis (TrA), internal oblique (IO), and external oblique (EO) muscles were measured by ultrasonography (US) imaging during the three experimental conditions, and US was used to measure the improvement ratio of muscle thickness at rest. The interventions were conducted over three trials in each condition, and measurements were performed on each subject by one examiner.

Results: Our results showed a significantly greater increase in the muscle thickness of TrA and IO muscles after performance of quadruped exercise using a suspension device without knee extension ($p < 0.05$) compared to the other conditions. The results also showed a significantly greater increase in the thickness changes of EO muscle in those who performed the ADIM during quadruped exercise using a suspension device with knee extension ($p < 0.05$) compared with the ADIM only.

Conclusion: These findings demonstrated positive evidence that a low-level core stabilization exercise could improve thickness of abdominal muscles.

Keywords: Core stabilization exercise, Muscle thickness, Ultrasonography

서론

중심 안정화(core stability)는 최적화된 힘(force)의 생성, 허리골반 및 엉덩이(lumbopelvic-hip) 움직임의 정확한 조절, 그리고 척추로부터 골반 및 사지(distal segment)로 전달되는 부하의 적절한 전이를 이끌어 내는 중심 근육들의 효과적인 동원력이다.^{1,2} 중심 안정화를 위한 근육(core muscle)들은 복부, 골반 및 엉덩이 근육들이 포함되며³ 크게 두 가지의 그룹으로 나뉘는데, 부착 부위에 따라 가장 깊이 위치하며 척추에 가깝게 부착되어 있는 근육인 소근육군(local muscles)과 비교적 표층(superficial)에 위치하며 흉부와 골반에 붙는 근육인 대근육군(global muscles)으로 분류한다.³ 소근육군은 척추 분절의 안정

화에 기여하며 복횡근(transverse abdominis), 내복사근(internal oblique), 다열근(multifidus) 등이 포함되고, 대근육군은 인체 움직임의 대운동 동작(gross movement)을 담당하며 외복사근(external oblique), 장늑근(iliocostalis) 등이 포함된다.^{4,5}

중심 안정화 운동은 흔히 소근육군의 활성화를 통한 운동으로 이루어지며, 소근육군은 요통과 같은 척추의 불안정성이 있는 환자에게 위축(atrophy) 또는 기능장애(dysfunction)의 상태로 발견된다.⁶ 특히, 위의 증상을 지니고 있는 환자는 허리의 통증으로 인한 문제들이 해결된 후에도 위축된 근육들의 기능이 회복될 수 있지 않기 때문에⁶ 소근육군의 기능 증진을 위한 훈련은 재활단계에서 가장 중요한 요소 중 하나라고 할 수 있으며 이전의 선행 연구에 의하면 소근육군을

Received Mar 22, 2016 Revised Apr 23, 2016

Accepted Apr 26, 2016

Corresponding author Chang-Yong Kim

E-mail dreampt@korea.ac.kr

Copyright ©2016 The Korea Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

훈련시키기 위하여 운동 방법,^{2,7,8} 운동의 정확도,^{9,10} 그리고 난이도 등¹¹⁻¹³과 같은 다양한 훈련 요소들을 변화시켜 적용한 연구들이 보고되었다.

최근 연구 결과들을 보면 비교적 불안정한 지면에서 이루어진 고강도 훈련들이 소근육군의 가장 높은 수축력을 보이기 때문에 추천된다.^{2,7} 반면에 Urquhart 등⁹은 소근육군의 효과적인 훈련을 위하여 척추의 중립 위치(neutral joint position)에서의 저강도 훈련이 이루어져야 한다고 주장하였고, O'Sullivan 등¹⁴은 가벼운 기능적인 동작에도 동시수축이 일어나 대근육군이 과도하게 사용되면 요통환자에게 적절한 몸통 근육의 조절이 일어나지 않을 수 있다고 하였다. 위에서 언급된 선행 연구들을 종합적으로 살펴보면, 요통 환자의 재활 초기 단계에서 소근육군의 난이도 조절에 초점이 맞춰진 훈련이 필요하다고 할 수 있다.

그러나, 요통으로 인하여 소근육군의 기능장애를 가진 환자들에게 대근육군과의 분리된 움직임 이끌어내며 정확한 훈련을 시행하는 것은 다소 어려움이 있다.^{7,10} 또한, 중심 안정화 운동에 대한 국내 문헌들을 살펴보면 각 운동 방법들 간의 비교 연구는 많은 반면에 난이도에 따른 비교 연구는 활발히 이루어지지 않은 실정이지만 Ebben 등¹⁵의 연구에 의하면 엎드린 자세에서 신체 위치 변화를 이용한 운동 난이도 조절이 가능하다고 보고하였다. 그러므로 환자 수준에 적합한 운동 난이도 조절에 대한 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 중심 안정화를 증진시키기 위한 세 가지 운동 사이에 신체 위치에 따른 모멘트팔(moment arm)을 변화시켜 중심 안정화 운동에 대한 난이도 조절을 적용하였을 때 복부근육의 두께를 비교해 보고자 하였다. 이를 위해 현수 장치를 사용한 불안정한 지면에서의 네발 기기 운동과 무릎 펴고 네발기기 운동에서 복부 당기기 운동을 실시

하였을 때 초음파 측정을 통하여 복부근육의 두께 변화를 비교 및 분석하였다. 본 연구는 구체적으로 다음의 문제를 해결하고자 비교적 난이도가 낮은 네발기기 자세에서 이루어진 운동을 수행하였을 때 초음파 측정 시 복부근육의 수축에 따른 소근육군의 두께 변화가 더 증가될 것이라고 연구 가설을 설정하였다.

연구방법

1. 연구대상자

본 연구의 대상은 천안 소재의 4년제 대학에 다니는 대학생들 중에서 20-30대 건강한 성인 30명(남자 22명, 여자 8명)을 표본으로 선정하였고, 대상자들은 실험 전에 연구의 목적과 방법에 대해 충분히 설명을 듣고 자발적으로 실험에 동의하였으며 실험 과정은 생명윤리심의 위원회의 심의를 거친 후 실시되었다. 표본 크기는 이전의 연구되어 온 수집된 자료를 근거로 추정되었고,⁷ General power analysis 프로그램(GPower 3.1)¹⁶을 이용하여 0.85 통계학적 검증력(statistical power)을 얻기 위해 최소 21명의 표본크기(sample size)가 산출되었다. 위의 표본 크기 계산은 신뢰도 계수를 0.90으로 가정하고, 군 내 세 조건 사이의 평균값을 비교하는 반복 측정된 일요인 분산분석(repeated one-way ANOVA)에 기초하였다. 최소 33명의 대상자가 참여하였으나, 개인적인 사정 등의 이유로 실험과정에 완벽하게 참여하지 못한 3명이 제외되어 최종 분석에는 30명의 자료만이 사용되었다.¹⁶ 초음파에서 측정되는 근육 두께의 측정 방법을 향상시키기 위해 신체질량지수(body mass index, BMI)를 이용하여 계산된 점수가 18.5에서 24.9 사이에 해당되는 대상으로 선정하여 연부조직의 동질성을 최대한 유지하였다.¹⁷ 모든 대상자는 실험에 영향을 주는 신체적 결함이 없는 자료 선

Table 1. Demographic characteristics of the subjects

(N=30)

Characteristic	Male (n ₁ = 22)	Female (n ₂ = 8)	Total (N = 30)
Age (year)	22.75±2.25	22.70±1.87	23.90±2.45
Height (cm)	177.84±0.04	163.54±0.05	170.13±6.66
Weight (kg)	68.90±8.42	52.20±5.59	62.20±9.98
Body mass index (kg/m ²)	22.06±2.07	19.59±1.30	21.39±2.47

Values are expressed as mean ± standard deviation.

Table 2. Comparison of muscle thickness to the abdominal muscles among three group

(N=30)

Muscle (%)	Types of exercise			F (p-value)
	ADIM	Q	QKE	
Transverse abdominis	88.18±42.81	123.66±54.40 ^{†*}	64.42±39.71 [†]	32.49 (0.000)**
Internal oblique	49.91±28.76	70.02±48.61 ^{†*}	40.10±22.21 [†]	14.26 (0.003)**
External oblique	7.39±4.00	27.68±5.37 [†]	31.79±6.59 [†]	15.24 (0.002)**

Values are expressed as mean ± standard deviation, *p < 0.01.

ADIM: Abdominal draw-in manoeuvre, Q: Quadruped exercise using suspension device, QKE: Quadruped exercise with both knee extended using suspension device.

[†]Significantly different compared to the ADIM; ^{*}Significantly different compared to the QKE.

정하였으며, 근골격계 및 신경계관련질환이 있는 자, 최근 3개월 동안 요통을 경험한 자, 심각한 자세 기형이 있는 자는 연구대상에서 제외하였다. 연구대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다.

2. 측정방법

1) 초음파(sonography) 측정

운동 난이도에 따른 복부근육 두께의 차이를 비교하기 위한 초음파 영상 자료를 얻기 위하여 진단용 초음파 영상장치(LOGIQ P6 PRO, GE Inc., Wisconsin, U.S.A.)를 사용하였다. 영상 자료는 B-모드 스캔을 적용하여 복부근육의 두께를 측정하였다. 복횡근, 내복사근, 외복사근을 초음파 영상에 속달된 측정자 1명이 Mannion 등¹⁸이 발표한 내용에 따라 초음파 젤(gel)을 탐촉자와 피부 사이에 바르고 우측 체간 측면의 액와선(axillary line)을 중심으로 12번째 갈비뼈와 장골능(iliac crest) 중간 지점에서 전방으로 2.5 cm 부위에 탐촉자의 중앙이 닿도록 위치시켰다. 각 근육의 두께 측정은 복횡근과 흉요근막(thoracolumbar fascia)이 만나는 근막 접합부위(muscle fascia - junction)로부터 2.5 cm 떨어진 지점에서 수직선을 그어 각각 측정하였다.¹⁸ 측정은 이완된 자세(resting position)와 중심 안정화 운동을 실시할 때 복부근육이 수축하는 시점(contraction position)에서 각각 측정하여 이완된 자세를 기준으로 수축된 복부 근육의 두께 증가율을 환산하였다.¹⁹ 증가율에 대한 환산 방법은 다음과 같다; 증가율=(수축 시 두께 - 이완 시 두께/이완 시 두께)× 100. 또한, 신뢰도 있는 초음파 영상을 얻기 위하여 30명의 대상자가 두 가지 중심 안정화 운동을 실시하여 검사-재검사(test-retest)신뢰도 결과 높게 나타났으며(ICC=1.00-1.00), 측정자 간 신뢰도 또한 높게 나타났다(ICC=0.91-0.96).

2) 적용방법 및 절차

본 연구의 전반적인 절차는 Figure 1과 같다. 두 가지 중심 안정화 운동은 소근육군을 효과적으로 수축시키는 동시에 난이도에 따른 두 가지 운동 방법 사이의 차이를 비교하기 위하여 복부 당기기 방법(abdominal draw-in manoeuvre)을 추가적으로 시행하여 함께 비교하였다.²⁰ 또한, 두 가지 중심 안정화 운동도 복부 당기기 방법을 동시에 적용 및 유지하여 동작을 실시하였다. 복부 당기기 방법을 가장 먼저 실시한 뒤 나머지 두 가지 중심 안정화 운동의 적용 순서는 무작위(random)로 실시하였으며, 각 운동 사이에 30분간 휴식시간을 취하도록 하였다. 두 가지 중심 안정화 운동과 복부 당기기 방법의 정확한 수축 상태를 확인하기 위하여 본 실험 전 초음파 영상을 생체 되먹임 장치(biofeedback unit)로 사용하여 대상자에게 복부 당기기 방법을 연습시킨 뒤, 생체 되먹임 장치가 제거된 뒤에도 충분히 수축시킬 수 있는지 확인한 후에 본 실험을 시작하였다. 모든 운동은 최소한 5초 이상 유지하였고, 3회 실시된 측정값을 평균화하였다. 세 가지 중심 안정화 운동은 다음과 같다.

(1) 복부 당기기 방법(Abdominal draw-in manoeuvre)

대상자를 테이블에 바르게 누운 자세에서 양쪽 무릎을 약 90° 굽힌 상태로 위치시키고, 편안한 호흡을 하도록 한 뒤, 호기 시점에서 복부를 척추 쪽으로 당기도록 지시하였다.²¹

(2) 현수 장치를 이용한 네발기기 운동(Quadruped exercise using suspension device)

대상자를 어깨, 무릎, 고관절을 굽힘 90°가 되도록 엎드린 상태로 위치시키고, 양손으로 현수 장치를 잡고 척추를 최대한 수평으로 유지

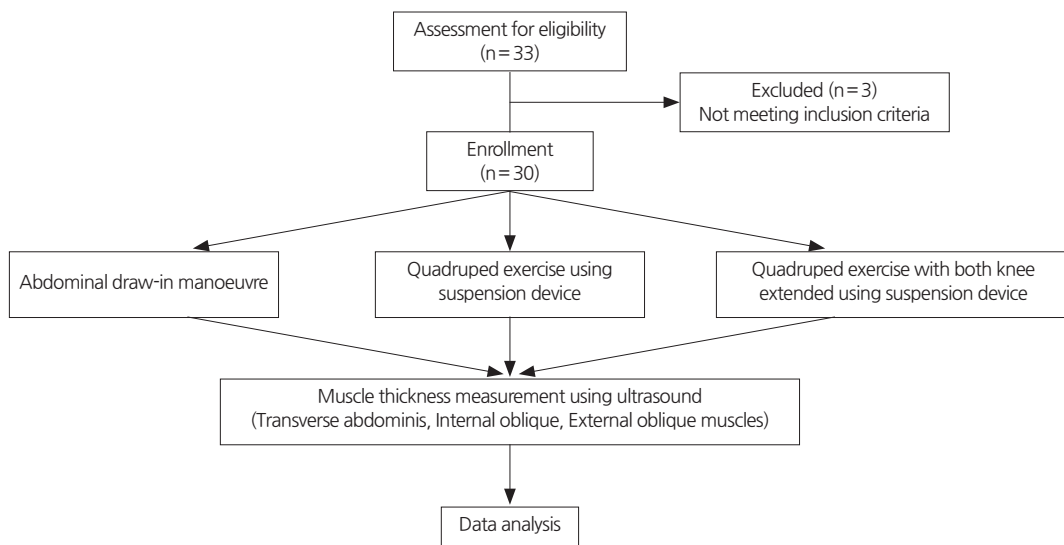


Figure 1. Procedures used in this present study.

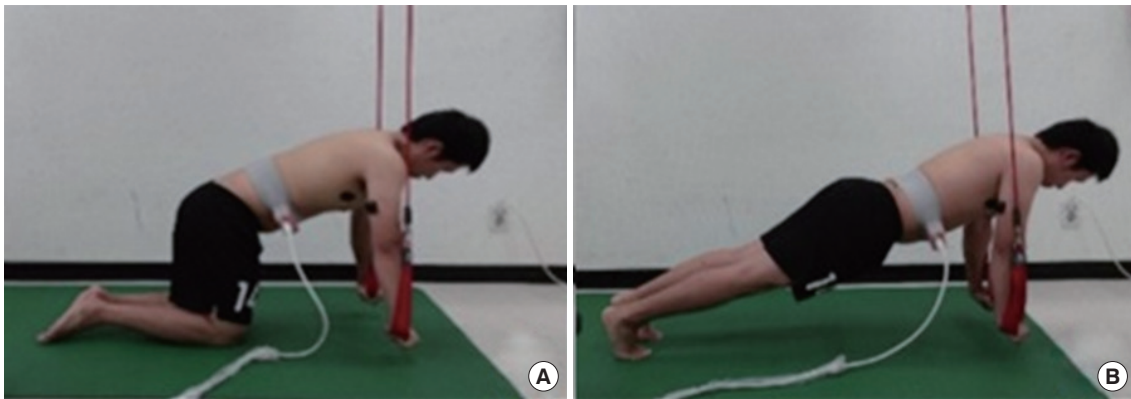


Figure 2. Core stability exercise using suspension device (A) quadruped exercise using suspension device, (B) quadruped exercise with both knee extended using suspension device.

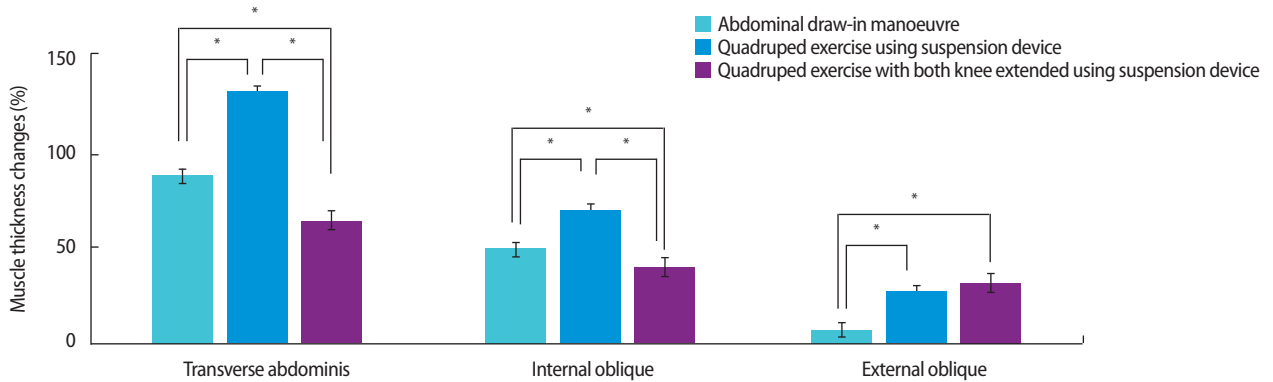


Figure 3. Comparison of the muscle thickness changes among three groups. *p < 0.05.

한 뒤 복부 당기기 방법을 수행하도록 하였다. 현수 장치의 손잡이는 지면으로부터 10 cm 떨어지도록 설치하였으며, 손의 위치는 양쪽 견봉돌기(acromion process) 넓이에 맞추고 팔이 어깨와 수직이 되도록 하였다(Figure 2A).⁷

(3) 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기기 운동(Quadruped exercise with both Knee Extended using suspension device)

현수 장치를 이용한 네발기기 자세에서 복부 당기기 방법을 유지하며 무릎을 지면으로부터 닿게 하였고, 복부 당기기 방법을 지속시키며 척추와 무릎은 곧게 일직선을 유지하여 180°에 가깝도록 지시하였다. 현수 장치의 손잡이는 지면으로부터 10 cm 떨어지도록 설치하였으며, 손의 위치는 양쪽 견봉돌기 넓이에 맞추고 팔이 어깨와 수직이 되도록 하였다(Figure 2B).²²

3) 자료분석 및 통계방법

본 연구에서의 자료 통계처리는 상용 통계프로그램인 윈도우용 SPSS ver. 12.0 프로그램을 사용하였다. 측정값은 기술통계를 이용하여 평균과 표준편차로 표시되었다. 본 연구에 수집된 표본들이 Kol-

mogorov-Smirnov 검정을 이용한 정규성 검정에서 정규 분포 곡선을 띠고 있으므로, 모수 검정법을 사용하였다. 복부 당기기 방법과 난이도 변화에 따른 두 가지 중심 안정화 운동에 대한 복부근육의 두께 변화 차이를 비교하기 위하여 반복 측정된 일요인 분산분석(repeated one-way ANOVA)방법을 사용하였고, 사후 검정은 본페로니(Bonferroni's correction) 사후 검정 분석을 이용하였다. 가설 수락을 위한 유의수준 $\alpha = 0.05$ 로 설정하였다.

결 과

1. 각 중심 안정화 운동 방법에 대한 복부근육의 두께 변화 차이 비교

반복 측정된 일요인 분산분석을 통해 각 중심 안정화 운동에 따른 복부 근육의 두께는 복횡근, 내복사근, 그리고 외복사근 모두 통계학적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 사후 검정 결과, 복횡근의 두께 증가율은 현수 장치를 이용한 네발기기 운동 시 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기기 운동, 복부 당기기 방법에 비하여 유의하게 증가되었고($p < 0.05$), 복부 당기기 방법 또한 현수 장치를 이용한 무릎

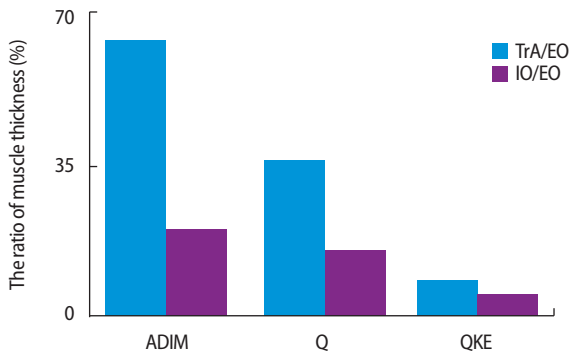


Figure 4. Comparison of the ratio of muscle thickness at global muscle to that at local muscle among three groups. ADIM: Abdominal draw-in manoeuvre, Q: Quadruped exercise using suspension device, QKE: Quadruped exercise with both knee extended using suspension device, TrA: Transverse abdominis, IO: Internal oblique, EO: External oblique

펴고 네발기 운동에 비하여 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 내복사근의 두께 증가율은 현수 장치를 이용한 네발기 운동 시 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기 운동과 복부 당기기 방법에 비하여 유의하게 증가하였고($p < 0.05$), 복부 당기기 방법이 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기 운동에 비하여 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 외복사근의 두께 증가율은 현수 장치를 이용한 네발기 운동과 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기 운동 모두 복부 당기기 방법에 비하여 유의하게 증가하였지만($p < 0.05$), 현수 장치를 이용한 네발기 운동과 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기 운동 사이의 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$) (Figure 3).

2. 각 중심 안정화 운동 방법에 대한 소근육군과 대근육군의 두께 변화 비율

각 중심 안정화 운동 방법에 대한 소근육군(복횡근, 내복사근)과 대근육군(외복사근)의 두께 변화 비율은 Figure 4와 같다. 복부 당기기 방법을 적용한 군에서 대근육군에 대한 소근육군의 두께 변화 비율은 복횡근과 내복사근이 각각 64.59%와 20.74%로 가장 높은 비율을 나타내었고, 현수 장치를 이용한 네발기 운동을 적용한 군에서 각각 36.38%와 15.51%를 나타내었다. 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기 운동을 적용한 군에서는 각각 8.11%와 5.33%로 가장 낮은 비율을 나타내었다.

고찰

본 연구에서는 중심 안정화 운동의 난이도에 따른 복부 근육의 두께 차이를 비교하기 위하여 30명의 대상자에게 서로 비슷한 상황에서 이루어지는 두 가지 중심 안정화 운동 사이에 신체 모멘트팔 변화를 이용하여 난이도 조절을 하였을 경우 복부 근육의 두께 차이를 비교

하였다. 이를 위해 현수 장치를 사용한 불안정한 지면에서 네발기 운동과 무릎 펴고 네발기 운동에서 복부 당기기 방법을 하였을 경우, 복부 근육의 수축 두께를 비교 및 분석하였다. 본 연구 결과, 복부 당기기 방법과 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기 운동에 비하여 현수 장치를 이용한 네발기 자세에서 소근육군인 복횡근과 내복사근의 두께가 대근육군인 외복사근에 비해 통계학적으로 유의하게 증가하였다. 이는 실험 전 연구자가 설정한 가설을 뒷받침하는 결과이다. 외복사근은 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기 운동과 현수 장치를 이용한 네발기 운동에서 각각 31.79%와 27.68%로 다소 높은 증가율을 보였지만 복부 당기기 방법에서는 7.39%로 유의하게 낮은 결과를 보였다. 또한, 각 운동 방법에 따른 대근육군에 대한 소근육군의 두께 변화 비율을 비교해 본 결과 복부 당기기 방법이 가장 높은 비율을 보였고, 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기 운동에서 가장 낮은 비율을 보였다. 따라서, 복부 당기기 방법은 선행 연구²³와 마찬가지로 대근육군과 별개로 소근육군인 복횡근을 선택적으로 수축시킬 수 있는 방법이라고 할 수 있다.

중심 안정화 운동은 통증 및 장애의 감소, 근력과 근지구력의 증가, 척추 분절의 안정화 그리고 부상의 방지 등의 다양한 효과가 있다.²⁴⁻²⁶ 복부 당기기 방법은 복부 팽창 방법(abdominal bracing) 및 골반 후방 경사 방법(pelvic posterior tilting)과 함께 중심 안정화 운동에 주로 사용되는 방법으로 복횡근과 내복사근을 가장 크게 활성화시키는 방법이다.²⁷ 또한, 동적이고 기능적인 훈련과 함께 결합된 사용이 추천되기 때문에, 본 연구에서는 두 가지 중심 안정화 운동 방법의 효과적인 수축과 함께 그 효과를 비교하기 위하여 개별적인 운동 및 중심 안정화 운동과 결합하여 실시하였다.

네발기 자세는 중심 안정화 운동으로써 가장 널리 사용되는 운동 방법 중 한가지로, 척추의 부하를 줄여주고 안정화에 필요한 소근육군을 효과적으로 훈련시킬 수 있다.^{28,29} 또한, 이러한 이점으로 인하여 다양한 운동과 함께 결합되어 사용되었다.^{10,30} 반면, Queiroz 등³⁰은 다양한 골반의 위치 변화와 함께 실시한 네발기 운동 연구에서 골반 위치의 변화에 따라 각 체간 근육의 활성도가 달라지는 것을 확인한 뒤 운동 목적과 자세의 상관성에 대한 중요성을 강조하였다. 또한, 이전 선행 연구들에서^{29,31} 한쪽 하지와 반대쪽 상지를 들어올리는 네발기 운동에 대하여 요추의 4번과 5번에 압박력(compressive forces)과 전단력(shear forces)을 증가시키기 때문에 재활과정에서 신중히 사용되어야 한다고 보고하였다. 네발기 운동은 선행 연구들에서 효과적인 측정 및 생체 되먹임 장치를 이용한 정확한 근육의 수축을 위해서 초음파 영상 장비와 함께 사용되었다.^{20,21}

본 연구에서 사용된 초음파 영상 장비는 비침습적인(non-invasive) 방법으로 복횡근과 같은 심부 근육을 측정하기에 용이하여 중심 안정화 운동방법의 연구에 주로 사용된다.^{7,32} 그러나 초음파 겔을 바르

고 직접 탐촉자(transducer)를 접촉시켜 측정하는 방법 때문에 대상자가 동적인 동작을 실시할 때는 탐촉자를 고정시키기 어려워 정확한 측정이 이루어지지 않을 수 있다는 단점이 있다. 이러한 점을 보완하기 위해서 Bunce 등³³은 탐촉자를 고정시킬 수 있도록 제작된 벨트는 대상자가 기능적인 동작 중에도 비교적 정확하고 지속적인 측정이 가능하다고 보고하였다. 또한, Kang 등⁷은 Bunce 등³³이 고안한 벨트 방법을 보완하여 제작한 탐촉자 고정기를 얹은 자세 및 네발기기와 같이 엎드린 자세 등 다양한 자세에서 사용한 결과 높은 신뢰도를 보였다고 보고하였다. 따라서, 본 연구에서는 Kang 등⁷이 발표한 방법에 따라 탐촉자 고정기를 적용하여 측정하였다.

본 연구에서 복횡근과 내복사근의 두께는 이완된 자세의 두께에 비하여 현수 장치를 이용한 네발기 운동에서는 123.66%와 70.02%, 무릎 펴고 네발기 운동 64.42%와 40.10% 그리고 복부 당기기 방법은 88.18%와 49.91%의 증가율을 보였다. 현수 장치를 이용한 네발기 운동은 가장 큰 두께 증가율을 보였지만, 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기 운동은 가장 낮은 증가율을 보였다. 뿐만 아니라 현수 장치를 이용한 무릎 펴고 네발기 운동은 대근육군에 대한 소근육군의 두께 변화 비율이 복횡근과 내복사근 각각 8.11%와 5.33%로 가장 낮은 결과를 나타내며 세 가지 운동 방법 중 중심 안정화에 가장 적합하지 않았다. 이러한 결과는 Kang 등⁷이 발표한 연구 결과와는 상반된다. Kang 등⁷은 5가지 중심 안정화 운동에서 복부 근육의 두께를 비교한 결과, 무릎 펴고 네발기 운동과 가장 흡사한 운동 방법에서 복횡근의 두께 증가율이 139%를 보이며 가장 높은 결과값을 나타냈다. 그러나 운동 전 충분한 사전 교육 및 연습에도 불구하고 현수 장치를 잡고 엎드린 자세와 복부 당기기 방법을 병행하여 정확한 자세를 유지하는 것이 어려웠고, 이는 불안정한 지면에서의 엎드린 자세가 견갑골 안정화에 무의식적으로 더 많은 기여를 하게 되기 때문인 것으로 보고하였다.⁷ Borreani 등³⁴의 연구 결과에 따르면, 바닥으로부터 각각 10 cm, 65 cm 떨어진 안정적인 지면과 현수 장치를 이용한 불안정한 지면에서 팔굽혀 펴기 운동을 실시할 때 상지 근육의 활성도를 비교한 결과, 지면으로부터 10 cm 떨어진 현수 장치를 이용한 운동 방법에서 가장 큰 활성도를 보였다. 또한, Ebben 등¹⁵은 정상인에게 상지와 하지의 높이를 조절하여 다양한 난이도에서의 팔굽혀 펴기(push-up)를 실시한 뒤 각 지면반발력(ground reaction force)을 비교하였다. 그 결과 무릎을 굽힌 상태에서 실시하였을 때 체중의 약 49%의 지면반발력이 측정되었고, 일반적인 엎드린 자세에서 실시하였을 때 64%의 지면반발력이 측정되었다고 보고하였다. 이러한 결과들은 위에서 언급된 불안정한 지면에서 엎드린 자세를 취할 경우 견갑골의 안정화에 무의식적으로 많은 기여를 할 수 있다는 주장을 뒷받침해 준다. 따라서, 본 연구와 Kang 등⁷의 연구 결과 사이의 차이는 본 연구에서 복부 당기기 방법을 제외하고 사전 연습 없이 두 가지 중

심 안정화 운동을 실시하였기 때문으로 사료된다.

종합적으로 살펴보면, 현수 장치를 이용한 불안정한 환경에서 무릎을 편 상태로 실시한 네발기 운동은 일반적인 방법인 무릎을 구부린 상태보다 모멘트팔의 길이가 증가되었고, 이로 인하여 상지 쪽으로 체중의 이동이 증가되어 무의식적으로 견갑골 및 상지의 안정화에 더 많은 기여^{7,15,34}를 한 것으로 판단된다. 또한, 길어진 모멘트팔로 인해서 척추 전체의 중립 자세를 유지하기 위하여 대근육군의 역할이 커지면서²² 상대적으로 소근육군의 역할이 감소된다. 최근에 진행된 연구 결과들을 보면, 중심 안정화를 위해서는 소근육군뿐만 아니라 대근육군 및 횡격막(diaphragm), 골반 저 근육(pelvic floor muscle)까지 체간 대부분 근육들의 적절한 협응이 필요하다.^{35,36} 그러나 운동의 방법, 자세 또는 난이도에 따라서 근육들 간의 균형이 깨어지며 문제를 일으킬 수 있다.^{7,14,30} 특히, 소근육의 위축 또는 기능장애를 일으킬 수 있는 요통 환자들의 경우, 소근육군의 기능 증진을 위해 초점을 맞춘 훈련없이 다시 회복되지 않을 수 있다.⁶ 따라서, 재활 초기에 소근육군의 기능 증진에 초점이 맞춰진 낮은 강도의 훈련이 우선적으로 필요하다.

본 연구는 학문적으로 그리고 임상적으로 요통 관련 연구자나 치료사들에게 유의미한 정보를 제공할 것으로 보인다. 그럼에도 불구하고, 본 연구는 몇 가지 제한점을 지니고 있으므로 이와 관련된 후속 연구에 대한 방향을 제시하고자 한다. 첫째, 비록 네발기 운동의 효과에 대한 많은 선행 연구들이 존재하지만, 본 연구에서는 단 두 가지 운동 방법만을 비교하였기 때문에 일반화시키기에는 다소 부족한 점이 있다. 둘째, 단편(cross-sectional) 연구로써 난이도에 따른 중심 안정화 운동의 즉각적인 효과만을 측정하여 일시적인 변화를 기록하였다. 셋째, 단지 복부 외측의 근육들만 측정하였기 때문에 본 연구만으로는 난이도 변화에 따른 다양한 근육들 간의 상관관계를 명확하게 설명하기 어려운 부분이 있다. 넷째, 낮은 강도의 운동 난이도 조절이 필요한 소근육군의 위축 또는 기능장애를 갖고 있는 요통 환자군을 대상으로 하지 않고 20대 초반의 건강한 성인만을 대상으로 하였기 때문에 요통 환자군의 난이도에 따른 복부 근육의 두께 변화를 관찰하지 못하였다는 점이다. 따라서 향후 연구에서는 요통 환자군을 대상으로 더욱 다양하게 선정된 운동 방법들이 오랜 기간 중재되어야 할 것이고, 다양한 측정 도구들을 통하여 여러 근육들의 측정이 함께 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서 정상인을 대상으로 하여 바로 누운 자세에서 복부 당기기 방법 및 현수 장치를 사용한 불안정한 지면에서의 네발기 운동과 무릎 펴고 네발기 운동에서 복부 당기기 운동을 함께 실시하였을 때 불안정한 지면에서 실시된 중심 안정화 운동은 비교적 난이도가 낮은 운동 방법에서 복부 근육을 더 효과적으로 수축시켰다. 이러한 결과를 토대로 중심 안정화 운동이 필요한 요통 환자군에게 초기

재활 단계에서 비교적 낮은 강도의 네발기기와 같은 훈련을 추천한다.

REFERENCES

- Kibler WB. Biomechanical analysis of the shoulder during tennis activities. *Clin Sports Med*. 1995;14(1):79-85.
- Mok NW, Yeung EW, Cho JC et al. Core muscle activity during suspension exercises. *J Sci Med Sport*. 2015;18(2):189-94.
- Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand Suppl*. 1989;230:1-54.
- Richardson CA, Jull GA. "Muscle control-pain control. What exercises would you prescribe?" *Man Ther*. 1995;1(1):2-10.
- McGill SM, Grenier S, Kavcic N et al. Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003;13(4):353-9.
- Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Multifidus muscle recovery is not automatic resolution of acute, first-episode low back pain. *Spine*. 1996;21(23):2763-9.
- Kang JH, Shim JH, Chon SC. The effect of five different trunk stabilization exercise on thickness of abdominal muscle using an ultrasonography imaging in normal people. *Phys Ther Kor*. 2012;19(3):1-10.
- Escamilla RF, Lewis C, Bell D et al. Core muscle activation during swiss ball and traditional abdominal exercises. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010;40(5):265-76.
- Urquhart DM, Hodges PW, Allen TJ et al. Abdominal muscle recruitment during a range of voluntary exercises. *Man Ther*. 2005;10(2):144-53.
- 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.
- Comerford MJ, Mottram SL. Functional stability re-training: Principles and strategies for managing mechanical dysfunction. *Man Ther*. 2001;6(1):3-14.
- Kim K, Kim EK, Lee DK. Effects of PNF patterns exercise on pain, functional disability and fear avoidance belief in chronic low back pain patients. *J Korean Soc Ther*. 2014;26(2):110-6.
- Kim BK, Lee MH, Kim GC. Comparison of abdominal muscle activity during exercises using a sling and swiss-ball. *J Korean Soc Phys Ther*. 2013;25(3):149-54.
- O'Sullivan PB, Twomey LT, Allison GT. Evaluation of specific stabilizing exercise in the treatment of chronic low back pain with radiologic diagnosis of spondylosis or spondylolisthesis. *Spine*. 1997;15(22):2959-67.
- Ebben WP, Wurm B, Zanden TLV et al. Kinetic analysis of several variations of push-ups. *J Strength Cond Res*. 2011;25(10):2891-4.
- Faul F, Erdfelder E, Lang AG et al. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*. 2007;39(2):175-91.
- John EK, Beith ID. Can activity within the external abdominal oblique be measured using real-time ultrasound imaging? *Clin Biomech*. 2007;22(9):972-9.
- Mannion AF, Pulkovski N, Gubler D et al. Muscle thickness changes during abdominal hollowing: An assessment of between-day measurement error in controls and patients with chronic low back pain. *Eur Spine J*. 2008;17(4):494-501.
- Koppenhaver SL, Hebert JJ, Fritz JM et al. Reliability of rehabilitative ultrasound imaging of the transversus abdominis and lumbar multifidus muscles. *Aech Phys Med Rehabil*. 2009;90(1):87-94.
- Henry SM, Teyhen DS. Ultrasound imaging as a feedback tool in the rehabilitation of trunk dysfunction for people with low back pain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007;37(10):627-34.
- Teyhen DS, Rieger JJ, Westrick AC. Changes in deep abdominal muscle thickness during common trunk-strengthening exercises using ultrasound imaging. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2008;38(10):596-605.
- Atkins SJ, Bentley I, Brooks D et al. Electromyographic response of global abdominal stabilizers in response to stable- and unstable-base isometric exercise. *J Strength Cond Res*. 2015;29(6):1609-15.
- Lee NG, Jung JH, You JS et al. Novel augmented ADIM training using ultrasound imaging and electromyography in adults with core instability. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2011;24(4):233-40.
- Hicks GE, Frintz JM, Delitto A et al. Preliminary development of a clinical prediction rule for determining which patients with low back pain will respond to a stabilization exercise program. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86(9):1753-62.
- Koh EK, Jung DY. Effect of visual and palpation feedback on muscle activity of gluteus maximus and motion of pelvic rotation during clam exercise. *J Korean Soc Ther*. 2013;25(5):337-42.
- Lee WJ, Park S, Park JW. Influence of trunk stabilization exercise upon the lumbar stabilization and foot pressure in patients with back pain. *J Korean Soc Ther*. 2014;26(1):21-6.
- Hodges PW. Is there a role for transversus abdominis in lumbo-pelvic stability? *Man Ther*. 1999;4(2):74-86.
- 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.
- Kavcic N, Grenier S, McGill SM. Quantifying tissue loads and spine stability while performing commonly prescribed low back stabilization exercises. *Spine*. 2004;29(20):2319-29.
- Queiroz BC, Cagliari ME, Amorim CF et al. Muscle activation during four pilates core stability exercises in quadruped position. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010;91(1):86-92.
- Darke JD, Fischer SL, Brown SH et al. Do exercise balls provide a training advantage for trunk extensor exercise? A biomechanical evaluation. *J Manipulative Physiol Ther*. 2006;29(5):354-62.
- Whittaker JL. Ultrasound imaging of the lateral abdominal wall muscles in individuals with lumbopelvic pain and signs concurrent hypocapnia. *Man Ther*. 2008;13(5):404-10.
- Bunce SM, Hough AD, Moore AP. Measurement of abdominal muscle thickness using M-mode ultrasound imaging during functional activities. *Man Ther*. 2004;9(1):41-4.
- Borreani S, Calatayud J, Colado JC et al. Shoulder muscle activation during stable and suspend push-ups at different heights in healthy subjects. *Phys Ther Sport*. 2015;16(3):248-54.
- Calatayud J, Borreani S, Martin J et al. Core muscle activity in a series of balance exercises with different stability conditions. *Gait Posture*. 2015;42(2):186-92.
- Kolar P, Sule J, Kyndl M et al. Postural function of the diaphragm in persons with and without chronic low back pain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2012;42(4):352-62.