

안정된 면과 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 시 초음파를 이용한 복근들의 두께 양상 비교

정도영¹ · 고은경² · 김수정³ · 권오윤⁴

¹순천제일대학 의료보장구과 · ²마산대학 물리치료과 · ³연세대학교 대학원 재활학과

⁴연세대학교 보건과학대학 물리치료학과

Comparisons of Abdominal Muscles Thickness During Single Leg Holding Exercise on Stable Surface and on a Foam Roller Using Ultrasound Imaging

Do-Young Jung¹ · Eun-Kyung Koh² · Su-Jeong Kim³ · Oh-Yun Kwon⁴

¹Department of Prosthetics and Orthotics, College of Suncheon First, Suncheon, Korea

²Department of Physical Therapy, College of Masan, Changwon, Korea

³Department of Rehabilitation Therapy, The Graduate School, Yonsei University, Wonju, Korea

⁴Department of Physical Therapy, College of Health Science, Laboratory of Kinetic Ergocise Based on Movement Analysis, Yonsei University, Wonju, Korea

Received 29 October 2010; Received in revised form 28 November 2010; Accepted 16 December 2010

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the thickness of the abdominal muscles during single leg holding exercise (SLH) in a hooked lying position on stable surface and on a foam roller. Healthy twenty subjects who had no medical history of lower extremity or lower back pain were recruited for this study. Muscle thickness of transverse abdominis (TrA), internal oblique (IO), and external oblique (EO) was recorded using real-time ultrasonography during SLH. Paired t-test with Bonferroni adjustment was used to compare the muscles thickness during SLH on stable surface and on a foam roller. The result showed that TrA and IO muscle demonstrated greater thickness during SLH on foam roller than those on the stable surface. This finding suggests that SLH on an unstable foam roller is more effective to increase thicknesses of TrA and IO muscles than stable surface.

Keywords : Abdominal Muscle Thickness, Lumbar Stabilization Exercise, Unstable Surface, Ultrasonography

I. 서론

다양한 기능적 일을 수행하는 동안 요추의 안정성(lumbar spinal stability)은 조직의 과부하 혹은 손상에 대한 위험성을 줄

이기 위해 필요하다(Ferreira, Ferreira & Hodges, 2004). 여러 연구들에서 복횡근(transverse abdominis: TrA)과 국소 근육계(local muscle system)는 요추 체질의 안정성(lumbar spinal segmental stabilization)에 중요하다고 보고하였다(Davidson & Hubley-Kozey, 2005; Urquhart, Hodges, Allen & Story, 2005). 복근 크런치(abdominal crunch), 옆으로 누워 수평으로 다리 들기(horizontal side-support), 교각운동(bridging exercise), 생체되먹임 안정화 도구를 이용한 복부 당기기 요법(abdominal drawing-in maneuver with biofeedback stabilizer), 실시간 초음파 되먹임(real-time

Corresponding Author : Oh-Yun Kwon
Department of Physical Therapy, College of Health Science, Yonsei University 234 Maeji-ri, Hungup-myon, Wonju, Kangwon-do, Korea
Tel : +82-33-760-2721 / Fax : +82-33-760-2496
E-mail : kwonoy@yonsei.ac.kr

ultrasound feedback)을 이용한 복부 넣기 운동(abdominal hollowing exercise)과 같은 요추 안정화 운동은 복횡근의 수축을 일으켜 스포츠와 재활분야에서 요통의 재발 방지와 치료를 위해 자주 사용된다(Henry & Westervelt, 2005; Stevens et al. 2006; Teyhen et al. 2008).

요추 안정화 운동(lumbar stabilization exercise)은 저항 증가, 지렛 팔(lever arm) 증가, 그리고 불안정한 면을 지닌 도구를 사용하여 체간의 근육들을 점진적으로 증진시킨다. 특히, 불안정한 면(labile surface)은 체간 안정성(trunk stability), 전정계 균형 반응과 체간의 고유수용성감각(proprioception)을 향상시키는데 흔히 사용된다(Creager, 1996). 요추 안정화 운동 시 보편적으로 이용되는 불안정한 도구들은 스위스 볼(Swiss ball), 동요 혹은 굴림 판(wobble or rocker board) 그리고 균형 디스크(balance discs)가 있다(Haynes, 2004). 최근에는 폼 롤러(foam roller)가 수평면에서의 회전 움직임에 대한 균형 반응을 강화하기 위해 불안정한 면으로 사용되고 있다. 폼 롤러를 이용한 운동 중 폼 롤러 위에 누워서 한 발 들기 자세 운동(single leg holding exercise: SLH)은 체간의 비대칭적 부하를 일으켜 체간의 안정성을 유지하기 위해 복부 근육들의 근 활성도를 증가시킨다(Kim et al. In Press).

근전도 연구들에서 불안정한 면 위에서의 체간 안정화 운동은 안정된 면보다 복부 근육의 활성도를 증가시키는 데 효율적이라고 보고하였다(Vera-Garcia, Grenier & McGill, 2000; Lehman, Honda & Oiver, 2005; Marshall & Murphy, 2005). 그러나 표면 근전도는 요추 안정화에 중요하다고 여겨지는 복횡근과 같은 심부 복근을 측정하는데 제한점을 지니고 있다. 최근 연구에서 실시간 초음파 영상(real-time ultrasound imaging: USI)은 복근들의 두께(abdominal muscles thickness)를 근 활성도를 측정하는 간접적인 방법으로 사용될 수 있다고 보고하였다(Hodges, Pengel, Herbert & Gandevia, 2003; John & Beith, 2007; McMeeken, Beith, Newham, Milligan & Critchley, 2004).

이전 연구들에서 다양한 체간 안정화 운동 시 심부 근육들의 두께 변화를 보고하였고(Endleman & Critchley, 2008; Hides et al. 2006; Teyhen et al. 2008), 몇몇 연구자들은 근전도 실험에

서 안정된 면보다 불안정한 면에서 체간 운동들이 표층의 복근 근 활성도를 증가시키는데 효율적이라고 보고하였다(Vera-Garcia et al. 2000; Lehman, Honda & Oiver, 2005; Marshall & Murphy, 2005). 하지만 폼 롤러 위에서 무릎을 구부리고 누운 자세(hook-lying position)로 한 발 들기 자세 운동이 실시간 초음파 영상을 이용하여 복횡근을 포함한 복근들의 두께에 미치는 영향을 알아본 연구는 없는 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 요통이 없는 건강한 성인을 대상으로 실시간 초음파 장비를 이용하여 안정된 면과 폼 롤러 위에서 무릎을 구부리고 누운 자세로 한 발 들기 자세 운동 시 복근들의 두께를 비교하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구의 대상자는 M대학교 재학생 중 20명 (남성 14명, 여성 6명)의 건강한 성인을 대상으로 하였다. 대상자의 평균 연령은 24.50 ± 2.24 years, 신장은 171.64 ± 6.08 cm 그리고 체중은 65.50 ± 8.85 kg이었다. 과거 혹은 현재 요통, 신경학적 문제 그리고 상지 혹은 하지의 통증 및 기능적 제한이 있는 대상자는 제외시켰다. 각각의 대상자들에게 실험 전 실험 동의서의 내용을 알려주고 연구 참여에 동의를 얻은 후에 실시하였다. 실험자는 대상자들에게 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 운동 시 체간의 회전을 방지하고 균형을 유지하는 방법을 알려주었고, 대상자들은 실험 전 이 운동에 익숙해지도록 3일간 15분씩 폼 롤러 위에서 연습하였다. 또한 3일 운동 후 실험 당일에 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 운동을 수행하지 못하면 제외시켰다.

2. 한발 들기 자세 운동 방법

대상자들은 안정된 면과 폼 롤러(15.2×91.4 cm; Sammons Preston Rolyan, Bolingbrook, IL)를 이용하여 가슴위에 팔을 교차한 채 폼 롤러 위에 바로 누운 자세를 취하도록 하였다. 일반

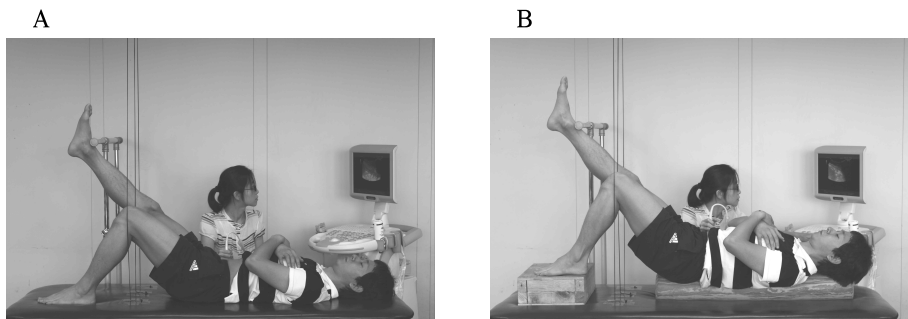


Figure 1. Single leg holding exercise on the stable surface (A) and on a foam roller (B)

각도계를 사용하여 고관절은 45° 굴곡 그리고 슬관절은 70° 굴곡 자세를 취하도록 하였다(Figure 1). 안정된 면과 폼 롤러 위에서의 고관절과 슬관절 각도를 동일하게 하기 위해 폼 롤러의 높이와 동일한 나무 판 (30 × 40 × 15 cm) 위에 대상자의 발을 올려놓고 한발 들기 자세 운동을 실시한다(Figure 1). 들어 올린 다리는 비우세 다리로 정하였다. 대상자들은 고관절을 45°로 유지하면서 슬관절을 완전히 신전시키도록 한다. 완전히 슬관절을 신전 시킬 때 발목이 접촉하는 목표 지점에 알루미늄 틀 (aluminum frame)을 설치하였다. 또한 한 발 들기 자세 운동 시 양쪽 고관절의 움직임을 제한하기 위해 하지에 탄성 안내줄 (elastic guidelines)을 정렬 시켰다(Figure 1). 대상자들은 목표 지점에 접촉할 때까지 슬관절을 신전시키고 5초간 이 자세를 유지하도록 하였다. 피로의 영향을 줄이기 위해 안정된 면과 폼 롤러 위에서의 운동 사이에 5분간의 휴식을 취하도록 하였다. 한 발 들기 자세 운동은 지면 형태(1번: 평평한 면; 2번: 폼 롤

러)와 복부 초음파 측정 부위(1번: 우측; 2번: 좌측)를 투표용지를 이용해 무작위 할당하여 실시하였다. 대상자는 이 자세를 3번 반복하였으며 측정 간에 30초 동안 휴식을 취하도록 하였다.

3. 복근들의 두께 측정

복근들의 두께를 측정하기 위해 7.5 MHz의 곡선형 초음파 탐침(ultrasound probe)을 지닌 초음파 기기(SonoAce X4: Medison Inc. Korea)를 사용하였다. 측정을 위해 대상자의 상의를 걷어 복부 벽(abdominal wall)을 노출 시켰다. 전도성 겔(conductive gel)로 덮인 초음파 탐침은 전상장골(anterior superior iliac spine)과 전액와선(anterior axillary line) 사이 중간의 흉곽 하방(rib cage)의 중간지점에 위치시켰다(Ainscoughj-Potts, Morrissey & Critchley, 2006). 탐침의 위치를 표준화시키기 위해 복횡근 흉요근막(thoracolumbar fascia) 사이의 고반향 경계면(hyperechoic

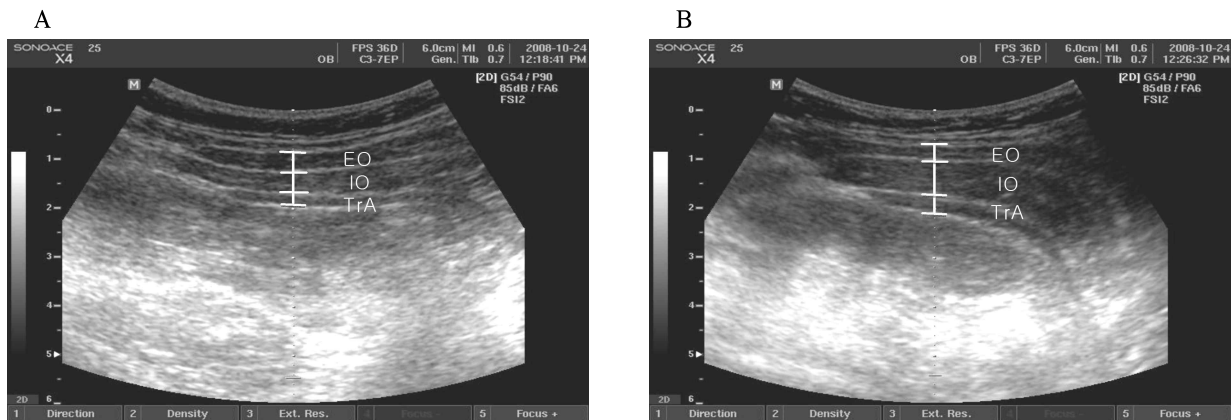


Figure 2. Typical ultrasound image of the abdominal muscles at resting (A) and during single leg holding with non-dominant side leg(B) Note. EO: External Oblique, IO: Internal Oblique, TrA: Transverse Abdominis

Table 1. Comparison of abdominal muscles thickness during SLH with non-dominant side leg on the stable surface and on a foam roller (unit: mm)

Muscles	Surface condition		% increase	95%CI	P	Effect size	
	Stable	Foam Roller					
TrA	Ipsilateral	3.70 (1.29)	4.52 (1.34)	22.2%	0.34 - 1.31	.002	0.75
	Contralateral	3.32 (1.04)	4.50 (1.07)	35.5%	0.58 - 1.77	.001	1.49
IO	Ipsilateral	7.18 (2.30)	8.67 (2.71)	20.8%	0.63 - 2.35	.002	1.18
	Contralateral	7.55 (2.65)	9.94 (4.36)	31.7%	1.26 - 3.53	.000	1.90
EO	Ipsilateral	4.44 (1.29)	4.65 (1.69)	4.7%	-0.36 - 0.78	.455	0.26
	Contralateral	5.02 (1.48)	4.48 (1.07)	-10.8%	-1.20 - 0.12	.104	0.56

Note. EO: External Oblique, IO: Internal Oblique, TrA: Transverse Abdominis

interface)을 모니터의 좌측에 위치시켰다. 또한 복부 근육들의 두께를 측정하기 위해 모니터의 중간에 놓여 있는 투명한 수직선(중심선)을 이용하여 근육 두께 측정 선을 표준화시켰다(Whittaker, 2007). 탐침의 각도는 영상의 최적화된 상태가 되도록 조절하였다(Figure 2). 탐침의 위치를 표시하여 매번 측정 시 동일하게 위치하도록 하였다. 호흡주기가 복근의 두께에 미치는 영향을 조절하고 대상자들 간의 측정 시점을 일치시키기 위해 복부의 시각적 관찰로 호기(expiration) 말기에 측정하였다(Teyhen et al. 2008). 복근들의 두께는 상·하 고반향성 근막(superior and inferior hyperechoic muscle fascias)사이의 거리로 측정되었다(Figure 2).

4. 자료 분석 및 통계 방법

한 발 들기 자세 운동 시 각 근육의 두께(복횡근(transverse abdominis: TrA), 내복사근(internal oblique: IO), 외복사근(external oblique: EO))에 대한 측정자내 상관도(intra-rater reliability)를 알아보기 위해 예비실험을 8명을 대상으로 실시하였다. 측정자내 상관도는 급간내 상관계수(intraclass correlation coefficient) ICC_{3,1} model을 사용하였다. 각 조건에서 복근들의 두께를 측정하기 위해 3번 측정된 값으로 부터 평균값을 사용하였다. 안정된 면과 폼 롤러 사이의 복근들의 두께 차이를 알아보기 위해 짝비교 t-검정을 실시하였고 유의수준은 Bonferroni 수정하여 0.008(0.05/6)로 정하였다. 통계 처리는 SPSS 15.0을 사용하였다.

III. 결과

한 발 들기 자세 운동 시 실시간 초음파 영상을 사용한 복근들의 두께 측정에 대한 검사-재검사 신뢰도는 복횡근(ICC_{3,1}[95%CI] = 0.95 [0.78-0.99]), 내복사근(ICC_{3,1}[95%CI] = 0.97 [0.88-0.99]), 그리고 외복사근(ICC_{3,1}[95%CI] = 0.95[0.75-0.99])에서 모두 높았다. 본 연구의 결과, 안정된 면 보다 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 운동 시 양측 복횡근과 내복사근의 두께가 유의하게 증가하였으나($p < .008$), 외복사근의 두께 변화는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p > .008$), (Table 1). 비우세측 다리로 한 발 들기 자세 운동 시 복근의 두께는 반대측 복횡근(35.5%)에서 가장 크게 증가하였고 반대측 내복사근(31.7%), 동측 복횡근(22.2%), 동측 내복사근(20.8%) 순으로 두께 증가율이 높았다(Table 1).

IV. 논의

본 연구는 안정된 면과 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 운

동 시 복근들의 두께 변화를 알아보기 위해 실시하였다. 한 발 들기 자세 운동과 유사한 하지 거상(active straight leg raise) 시 심부 복근들의 두께 변화를 알아본 Teyhen et al.(2009)의 연구에서는 복횡근과 내복사근의 두께가 각각 5.23 mm, 9.83 mm였다. 본 연구에서는 안정된 면에서 한 발 들기 자세 운동 시 비우세측의 복횡근과 내복사근의 두께는 각각 3.70 mm, 7.18 mm였고 우세측의 복횡근과 내복사근의 두께는 각각 3.32 mm, 7.55 mm였다. 선행 연구에서는 지면으로부터 발을 20 cm 하지 거상하였고 본 연구에서는 고관절을 45°까지 한 발 들기 자세 운동을 실시하였다. 그리고 본 연구에서는 복부 근육들의 두께 측정 위치를 표준화하기 위해 복횡근과 흉요근막 사이의 고반향 경계면을 모니터의 좌측에 위치시켰고 모니터의 중간에 놓여 있는 투명한 중심선을 이용하여 근육 두께를 측정하였다. 하지만 선행 연구에서는 복횡근과 흉요근막을 모니터의 우측 모서리에 위치시켜 중심선을 이용하여 측정하였다. 따라서 본 연구와 선행 연구에서의 운동방법과 복부 근육들의 두께 측정방법이 달랐기 때문에 복횡근과 내복사근의 두께 차이가 있었다.

여러 선행연구들에서 불안정한 지면에서의 운동이 근육의 활성화 변화에 영향을 준다고 제시하였다(Paul et al. 2005, Imai et al. 2010, Kim et al. In Press). Marshall과 Murphy(2005)의 연구에서는 스위스 볼에서 한 발 들기 자세 시 안정된 면에서 보다 반대측 복직근의 근 활성화도는 증가하였으나 복횡근/내복사근 그리고 외복사근에서는 유의한 차이가 없다고 보고하였다. 하지만 본 연구에서는 안정된 면보다 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 운동 시 복횡근과 내복사근은 유의하게 더 증가하였다. 그 이유는 스위스 볼보다 폼 롤러의 기저면이 좁아 더 불안정한 면을 제공하므로, 즉 더 큰 동요 토크(destabilizing torque)가 발생하게 되므로 대상자가 균형을 유지하기 위해 복직근과 내복사근의 근 활성화도가 더 증가시켜 두께가 유의하게 증가되었다고 사료된다. Kim et al.(In press)의 연구에서는 안정된 면 보다 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 운동 시 복근들의 근 활성화도가 모두 유의하게 더 증가하였다. 선행 연구에서는 들어 올린 다리의 반대측 복횡근/내복사근의 근 활성화도 증가율이 가장 높았고, 동측 복횡근/내복사근, 동측 복직근, 동측 외복사근, 반대측 복직근, 반대측 외복사근의 순서로 근 활성화도가 증가하였다. 본 연구에서는 안정된 면보다 폼 롤러에서 반대측의 복횡근 두께 증가율이 가장 높았다. 그리고 반대측 내복사근, 동측 복횡근, 동측 내복사근 순으로 두께 증가율이 높았다. 선행 연구들에서 표면 근전도를 사용하였기 때문에 내복사근과 복횡근의 각각의 근 활성도를 정확히 측정하기 어려웠으나 본 연구에서는 복횡근과 내복사근의 두께 변화를 독립적으로 측정하여 분석할 수 있었고 선행 연구에서의 근 활성화도의 증가율과 복근의 두께 증가율은 복횡근과 내복사근에서 일치하였다.

McMeeken et al.(2004)은 복횡근의 두께 변화와 근 활성화도의

변화는 높은 상관관계가 있다고 하였다. 그러므로 복횡근의 증가된 두께 변화는 근활성도 증가의 지표로 볼 수 있고, 폼 롤러에서의 한 발 들기 자세 운동 시에는 안정된 면에서 보다 복횡근의 작용이 증가되었다고 볼 수 있다. Liebenson et al.(2009)은 바닥에서 한쪽 다리를 올리는 하지 거상 검사 시 복부 조이기 (abdominal bracing) 수축을 하면 골반의 회전이 줄어든다고 하였다. 복부 조이기 수축은 선택적으로 복횡근만 수축하는 것으로서 Richardson et al.(2002)은 복근을 전체적으로 수축하는 것보다 천장관절의 불안정성을 줄이는데 더 효과적이라고 하였다. 폼 롤러에서 한쪽 다리를 들어 올린 자세도 다리를 들어 올린 쪽으로 무게가 증가하므로 골반에 회전을 야기하며 이는 체간의 회전 및 폼 롤러의 동요를 일으키므로 골반과 체간의 움직임을 막아 폼 롤러 위에서 안정성을 유지하기 위하여 복횡근의 두께 증가가 일어났을 것이다.

불안정한 면에서의 체간 안정화 운동이 안정된 면에서의 운동보다 외복사근의 근 활성도가 증가한다고 보고한 선행연구의 결과와는 달리 본 연구에서는 외복사근의 두께는 유의한 차이가 없었다. 이 결과는 선행 연구 결과로부터 설명이 가능하다. Misuri et al.(1997)은 최대 호기 시 외복사근의 근 활성도가 없었기 때문에 외복사근의 두께 변화는 없다고 보고하였다. 본 연구에서 호흡에 대한 복근들의 두께의 영향을 통제하기 위해 호기 말기에 측정하였기 때문에 외복사근의 두께는 유의한 차이가 없었을 가능성이 있다. 그리고 John과 Beith(2007)는 외복사근은 근 활성도와 초음파의 상관관계를 알아본 결과 등척성 체간회전을 하는 동안 외복사근의 근 활성도와 두께는 서로 유의한 상관관계가 있었으나 하복부의 당기기 운동 시 증가된 외복사근의 근 활성도에 비해 두께는 대상자의 42%가 증가, 39%는 감소 그리고 19%는 변화가 없었다. 이들은 외복사근이 주동근의 기능을 하는 동안은 근 활성도와 근 두께 사이의 상관관계가 성립되나 당기기 운동은 복횡근의 주기능이 요구되는 운동임으로 이러한 복횡근의 증가로 인해 표면에 있는 외복사근에 압박을 주게 됨으로 외복사근의 두께가 오히려 감소한다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서 안정된 면과 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 운동 시 복횡근과 내복사근의 두께 증가로 인해 외복사근에 압박을 주게 되어 외복사근의 두께 차이가 없었을 것이다. 향후 연구에서는 한 발 들기 자세 운동 시 외복사근의 두께 변화가 없는지에 대한 원인을 규명할 필요가 있을 것이다.

본 연구의 제한점으로 복근의 양쪽을 동시에 측정할 수 없어서 시간차를 두고 좌·우측의 복부를 무작위로 측정하였다. 이는 한 발 들기 자세를 유지하는 동안 동시에 양쪽 복근의 변화를 알아볼 수 없었으므로 대칭적인 근육두께 변화를 알아볼 수 없었다. 그리고 향후 연구에서는 장기간의 안정된 면과 폼 롤러에서의 한 발 들기 자세 운동에 대한 효과를 비교해 보아야 할 것이다.

V. 결론

본 연구는 안정된 면과 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 운동 시 복근들의 두께를 비교하고자 하였다. 본 연구의 결과, 안정된 면보다 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 운동 시 양측 복횡근과 내복사근의 두께가 유의하게 더 증가하였으나, 외복사근의 두께 변화는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 비우세측 다리로 한 발 들기 자세 운동 시 복근의 두께는 반대측 복횡근에서 가장 크게 증가하였고 반대측 내복사근, 동측 복횡근, 동측 내복사근 순으로 두께 증가율이 높았다. 그러므로 본 연구에서는 안정된 면보다는 불안정한 폼 롤러 위에서 한 발 들기 자세 운동이 심부 복근들의 두께를 증가시키는데 더 효과적이라고 제안한다.

참고문헌

- Ainscough-Potts, A. M., Morrissey, M. C., & Critchley, D.(2006). The response of the transverse abdominis and internal oblique muscles to different postures. *Manual Therapy*, 11(1), 54-60.
- Creager, C. C.(1996). *Therapeutic Exercises Using Foam Rollers*, Berthoud, CO: Executive Physical Therapy, Inc.
- Davidson, K. L., & Hubble-Kozey, C. L.(2005). Trunk muscle responses to demands of an exercise progression to improve dynamic spinal stability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(2), 216-223.
- Endleman, I., & Critchley, D. J.(2008). Transversus abdominis and obliquus internus activity during pilates exercises: measurement with ultrasound scanning. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(11), 2205-2212.
- Ferreira, P. H., Ferreira, M. L., & Hodges, P. W.(2004). Changes in recruitment of the abdominal muscles in people with low back pain: ultrasound measurement of muscle activity. *Spine*, 29(22), 2560-2566.
- Haynes, W.(2004). Core stability and the unstable platform device. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 8, 88-103.
- Henry, S. M., & Westervelt, K. C.(2005). The use of real-time ultrasound feedback in teaching abdominal hollowing exercises to healthy subjects. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 35(6), 338-345.
- Hides, J., Wilson, S., Stanton, W., McMahon, S., Keto, H., McMahon, K., Bryant, M., & Richardson, C.(2006). An

- MRI investigation into the function of the transversus abdominis muscle during "drawing-in" of the abdominal wall. *Spine*, 31(6), 175-178.
- Hodges, P. W., Pengel, L. H., Herbert, R. D., & Gandevia, S. C.(2003). Measurement of muscle contraction with ultrasound imaging. *Muscle & Nerve*, 27(6), 682-692.
- Hodges, P. W., & Richardson, C. A.(1997). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical Therapy*, 7(2), 132-142.
- Imai, A., Kaneoka, K., Okubo, Y., Shiina, I., Tatsumura, M., Izumi, S., & Shiraki, H.(2010). Trunk muscle activity during lumbar stabilization exercises on both a stable and unstable surface. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 40(6), 369-375.
- John, E. K., & Beith, I. D.(2007). Can activity within the external abdominal oblique be measured using real-time ultrasound imaging? *Clinical Biomechanics*, 22(9), 972-979.
- Kim, S. J., Yi, C. H., Jeon, H. S., Oh, J. S., Cynn, H. S., & Weon, J. H.(In Press). Comparison of abdominal muscle activity during single-leg hold in the hook-lying position on the floor and on a round foam roll. *Journal of Athletic Training*. in press.
- Lehman, G. J., Hoda, W., & Oliver, S.(2005). Trunk muscle activity during bridging exercises on and off a Swiss ball. *Chiropractic & Osteopathy*, 13-14.
- Liebenson, C., Karpowicz, A. M., Brown, S. H., Howarth, S. J., & McGill, S. M.(2009). The active straight leg raise test and lumbar spine stability. *Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 1(6), 530-535.
- McMeeken, J. M., Beith, I. D., Newham, D. J., Milligan, P., & Critchley, D. J.(2004). The relationship between EMG and change in thickness of transversus abdominis. *Clinical Biomechanics*, 19(4), 337-342.
- Misuri, G., Colagrande, S., Gorini, M., Iandelli, I., Mancini, M., Duranti, R., & Scano, G.(1997). In vivo ultrasound assessment of respiratory function of abdominal muscles in normal subjects. *The European Respiratory Journal*, 10(12), 2861-2867.
- Marshall, P. W., & Murphy, B. A.(2005). Core stability exercises on and off a Swiss ball. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(2), 242-249.
- Richardson, C. A., Snijders, C. J., Hides, J. A., Damen, L., Pas, M. S., & Storm, J.(2002). The relation between the transversus abdominis muscles, sacroiliac joint mechanics, and low back pain. *Spine*, 27(4), 399-405.
- Stevens, V. K., Bouche, K. G., Mahieu, N. N., Coorevits, P. L., Vanderstraeten, G. G., & Danneels, L. A.(2006). Trunk muscle activity in healthy subjects during bridging stabilization exercises. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 7, 75.
- Teyhen, D. S., Rieger, J. L., Westrick, R. B., Miller, A. C., Molloy, J. M., & Childs, J. D.(2008). Changes in deep abdominal muscle thickness during common trunk-strengthening exercises using ultrasound imaging. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 38(10), 596-605.
- Teyhen, D. S., Williamson, J. N., Carlson, N. H., Suttles, S. T., O'Laughlin, S. J., Whittaker, J. L., Goffar, S. L., & Childs, J. D.(2009). Ultrasound characteristics of the deep abdominal muscles during the active straight leg raise test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(5), 761-767.
- Urquhart, D. M., Hodges, P. W., Allen, T. J., & Story, I. H.(2005). Abdominal muscle recruitment during a range of voluntary exercises. *Manual Therapy*, 10(2), 144-153.
- Vera-Garcia, F. J., Grenier, S. G., & McGill, S. M.(2000). Abdominal muscle response during curl-ups on both stable and labile surfaces. *Physical Therapy*, 80(6), 564-569.
- Whittaker, J. L.(2007). *Ultrasound Imaging for Rehabilitation of the Lumbopelvic Region*, Elsevier.