

Influence of Slashpipe Exercise on Symmetrical Contraction of Trunk Muscle in Normal Adults

Young In Choi¹, Jung Sun Kim², Shin Young Kim³

¹Wellness Center, Ansan University, Ansan; ²Department of Physical Therapy, Gang Dong University, Eumseong-gun; ³Department of Physical Therapy, Ansan University, Ansan, Korea

Purpose: This study examined the effects of slashpipe exercise on reducing the thickness of the left and right external oblique, internal oblique, transverse abdominis, erector spinae, and multifidus muscles.

Methods: A total of 29 healthy adult men and women were included in the study. They performed trunk flexion in the supine position and trunk extension in the prone position with a slashpipe and weight bar. The external oblique, internal oblique, and transverse abdominis muscles were measured in the supine position, while the erector spinae and multifidus muscles were measured in the prone position. The data were analyzed using the SPSS ver 21.0 statistical program. The difference in thickness between the right and left sides of the trunk muscle was analyzed by repeated measures analysis. The statistical significance level was set to $p < 0.05$.

Results: The results showed that the slashpipe exercise reduced significantly the difference in thickness of the oblique internus and erector spinae muscles compared to the weight bar exercise.

Conclusion: The chaotic fluidity of the fluid filled inside the slashpipe could be used as sensory feedback information on body mal-alignment, which would have positively affected the symmetrical contraction of the trunk muscles as a trigger for self-correction. Therefore, it will have a useful effect not only on the health of the general public, but also on low back patients and athletes with muscle asymmetry.

Keywords: Muscle contraction, Symmetry, Exercise, Ultrasound image

서론

척추 안정성(spinal stability)은 신체조직의 과부하 없이 일상생활 활동을 수행하기 위한 필요조건으로 요통환자의 치료와 운동선수의 부상예방 및 기능향상에 있어 매우 중요한 역할을 담당한다. 몸통을 둘러싸고 있는 근육에 의해 형성되는 척추 안정성은 복강 내압(intra-abdominal pressure) 상승과 길항관계 근육의 동시수축을 통해 높아지며,¹ 이와 관련된 근육으로는 앞쪽의 배바깥빗근(external oblique), 배속빗근(internal oblique), 배가로근(transverse abdominis), 뒤쪽의 척추세움근(erector spinae)과 뭇갈래근(multifidus)이 있다.²

몸통근육은 척추를 안정화시키는 역할에 따라 소근육(local muscle)과 대근육(global muscle) 집단으로 구분된다.³ 소근육 집단에 포함되는 배속빗근, 배가로근, 뭇갈래근은 척추분절사이동작(intersegmental motion)의 섬세한 조절을 통해 척추를 안정시킨다.² 반면에 대근육 집단에 속하는 배바깥빗근과 척추세움근은 모멘트 팔(moment

arm)이 길고 근육량이 많아 힘 생성에 효과적이며 몸통의 큰 움직임을 토대로 전반적인 척추 안정성에 기여한다.² 상호 보완적인 관계를 형성하고 있는 두 집단의 근육체계는 최상의 척추 안정성을 이루기 위하여 협력하는 것이 무엇보다 중요하다.⁴

요통환자의 몸통근육은 피로증가, 근육위축, 지방함유량 증대, 그리고 심부근육의 활성개시 지연과 같은 여러 문제점이 발생하고 있지만,^{2,5} 최근 양쪽 몸통근육의 비대칭성이 심화되는 것에 대해 높은 관심을 보이고 있다. 이와 관련하여 Hide 등⁶은 뭇갈래근의 단면적이 일반인은 좌우 대칭을 이루지만 요통환자는 측면 간 비대칭성이 존재하며 이것이 악화될수록 허리통증 강도는 높아진다고 하였다.^{6,7} 또한 Ota와 Kaneoka⁸는 양쪽 배근육 근력의 대칭성은 요통증상이 없는 일반인의 특징이었음을 보고하였다. 이에 따라 몸통근육의 대칭적인 수축양상은 허리건강에 중요한 요인임을 알 수 있다.

현재 척추 안정성 증진에 목적을 둔 중심 안정화 운동(core stabilization exercise)은 다양한 분야에서 활발하게 연구되고 있는 추세이

Received Sep 9, 2019 Revised Oct 17, 2019

Accepted Oct 18, 2019

Corresponding author Shin Young Kim

E-mail sykim@ansan.ac.kr

Copyright ©2019 The Korean 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/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다.⁹ 만성요통환자를 대상으로 한 근육의 신장운동 및 강화운동 연구,¹⁰ 탄력밴드의 저항이 가미된 한다리 벌림 플랭크(plank) 동작의 효용성을 검증한 연구,¹¹ 진동이 유발되는 플렉시바(flexibar)와 실내용 승마기구를 이용한 연구,^{12,13} 중심근육(core muscle)의 효과적인 운동 환경인 슬링(sling)과 폼롤러(foam roller) 및 스위스공(swiss ball)을 이용한 연구,¹⁴⁻¹⁷ 신체무게중심의 치우침을 촉진하기 위해 웨이트트레이닝(weight training) 동작을 한쪽만 실시한 연구 등이 보고된 바 있다.¹⁸ 그러나 이와 같은 운동들은 동작 수행 시 신체정렬(body alignment) 상태에 대한 정보가 제공되지 않아 체중부하가 균등하지 못한 상태에서 실시되었을 가능성이 있으며, 이로 인해 한쪽 부위에 부하가 집중되어 특정근육이 과사용될 수 있다.

최근 독일에서는 액체의 관성변화(inertial change)에 의해 야기된 불안정성을 운동원리로 적용하고 있는 슬래시파이프(slashpipe) 도구가 개발되었다.¹⁹ 슬래시파이프 운동은 동작수행 시 수평상태가 무너지게 되면 액체의 쓸림 현상 때문에 한쪽 부위의 무게는 증가하게 되고, 평형상태를 재정립하기 위한 노력의 일환으로 근육의 반사적, 보상적 동원이 일어나게 된다.¹⁹ 선행연구에서는 이와 같은 운동환경이 웨이트바보다 근육활성도 및 최대근육활성도 향상에 이점이 있고,¹⁹ 팔뚝관절 굽힘운동²⁰과 오버헤드 스쿼트²¹ 동안 중심근육의 활성화에도 효과가 있음을 보고하였다. 또한 8주 동안의 중재 비교연구를 통해 건강한 성인의 자세조절 능력 향상에 슬래시파이프가 웨이트바보다 유용함을 알 수 있었다.²² 국내에서는 뇌졸중 환자의 몸통 안정화 운동으로 슬래시파이프가 활용된 바 있는데, 4주 동안의 중재 결과 몸통조절능력, 균형능력, 보행능력, 삶의 질 개선에 유효하였다.²³

초음파는 비침습적인 검사 도구로서 근육의 상태 및 반응을 두께로 정량화할 수 있고 신뢰도가 높은 것으로 보고되고 있다.²⁴ 또한 근육 수축 시 근육의 두께가 증가한다는 연구,²⁵ 근전도와 초음파의 결과값 간에 높은 상호관련성이 있음을 규명한 연구²⁶를 통해 근육 수축 시 발생하는 힘을 대변하는 지표로 인식되고 있다. 따라서 초음파 측정법은 운동에 따른 몸통근육의 변화 추이를 검정할 수 있는 간편하고 유용한 방법이라 사료된다.

이상의 내용을 종합해 볼 때, 슬래시파이프 운동은 액체의 유동성 때문에 신체 근육의 지속적인 협응수축이 요구될 것으로 판단되며 무게중심이 고정되어 있는 웨이트바보다 균형 인식에 민감하게 작용하여 좌우 근육의 수축 양상이 좀 더 대칭적임을 예상해 볼 수 있다. 그러나 과학적인 검사장비를 가지고 균형 잡힌 근육수축에 대하여 슬래시파이프 운동의 효능을 확인한 연구는 전무하다. 이에 본 연구는 좌우 몸통근육의 두께를 초음파 영상으로 분석하여 슬래시파이프 운동이 대칭적인 근육수축에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

Table 1. Physical characteristics of subjects

Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)
N=29	21.75±1.99	165.79±7.71	62.02±5.77

Mean± standard deviation.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구대상자는 20대 건강한 성인 남녀 총 29명으로 연구의 목적과 절차에 대해 충분한 설명을 듣고 자발적으로 참가하였다. 신경학적 및 정형외과적 질환이 없고, 정기적으로 운동을 하지 않았으며 슬래시파이프 운동을 처음 접하였다. 연구대상자의 일반적인 특성은 Table 1과 같다.

2. 측정방법

몸통근육의 두께 및 대칭성 변화를 확인하기 위하여 진단용 초음파 영상장치(LOGIQ e, GE Inc., USA)를 사용하였다. 탐촉자의 접촉지점에 스티커를 부착하여 측정 내내 동일한 위치에서 결과값을 얻도록 하였으며, 근육의 두께변화에 미치는 호흡의 영향을 조절하고 대상자들의 측정시점을 표준화하기 위해 시각적 관찰에 기초하여 날숨 후 측정을 실시하였다.²⁷ 배바깥근, 배속뺨근, 배가로근의 두께를 측정하기 위해 전도성 겔(conductive gel)로 덮인 초음파 탐침을 11번째 갈비뼈와 엉덩뼈능선 사이의 중간부분에서 앞-안쪽 방향으로 위치시켰다.²⁸ 척추세움근은 12번째 등뼈 가시돌기를 촉진한 후 가로돌기가 나타날 때까지 3-4 cm 가쪽으로 움직이면서 측정하였으며,²⁹ 뭇갈래근은 허리뼈 4, 5번 가시돌기를 촉진한 후 척추돌기사이관절이 보일 때까지 안쪽으로 경사지게 이동하면서 측정하였다(Figure 1).³⁰

3. 연구절차

운동 동작은 바로누운자세(supine position)에서 몸통 굽힘(trunk flexion), 엎드린 자세(prone position)에서 몸통 펴기(trunk extension)이었고, 운동형태는 웨이트바(weight bar)와 슬래시파이프 도구를 이용한 두 가지로 구성하였다. 모든 대상자는 본격적인 측정에 앞서 충분한 연습을 통해 운동방법에 숙달되었으며, 운동 동작 및 운동 형태를 무작위로 실시하였다. 운동 시 변화된 근육두께를 확인하기 위해 이완 상태에서 몸통근육을 측정 후 선정된 순서에 맞게 운동동작 및 운동 형태를 실시하였다. 배바깥근, 배속뺨근, 배가로근은 바로누운자세에서 측정하였고, 척추세움근과 뭇갈래근은 엎드린자세에서 측정하였다. 각각의 운동 동작을 10초 유지하는 동안 날숨을 마친 시점에 영상을 수집하였으며,³¹ 3회 반복하여 얻은 평균값을 연구결과에 반영하였다. 피로 발생을 최소화하기 위해 운동횟수 간 휴식시간은 30초,

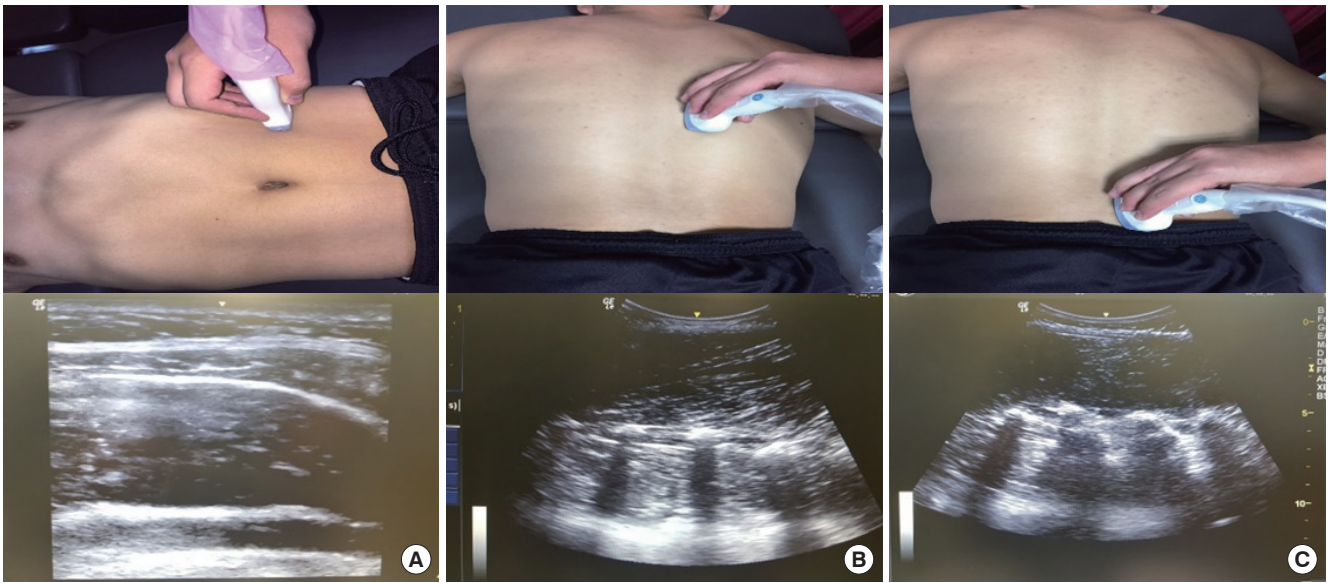


Figure 1. The measurement position and ultrasonographic imaging of trunk muscles. (A) Lateral abdominal muscles, (B) erector spinae, (C) multifidus.



Figure 2. The movement of trunk with weight bar and slashpipe. (A) Trunk flexion with weight bar, (B) trunk flexion with slashpipe, (C) trunk extension with weight bar, (D) trunk extension with slashpipe.

운동동작 및 운동형태를 변경할 경우 3분의 휴식시간을 제공하였다 (Figure 2).

4. 자료처리

수집된 자료는 SPSS ver 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램으로 분석을 하였다. 운동 적용 직후 배바깥빗근, 배속빗근, 배가로근, 척추세움근, 그리고 뒷갈래근의 좌우 두께 차이는 반복측정분산 분석을 실시하여 측정 시점별 운동방법에 대한 변화량의 차이를 분석하였다. 또한 휴식기를 기준으로 웨이트바와 슬래시파이프를 적용했을 때 각각의 근육두께 좌우 차이를 알아보기 위하여 개체 내 대비

Table 2. Difference in thickness of trunk muscles according to exercise method (cm)

Muscles	Exercise method			p-value
	Rest	Weight bar	Slashpipe	
EO	1.14±1.02	1.17±1.10	0.87±0.89	0.089
IO	1.22±0.88	1.63±0.98	1.12±0.76	0.040*
TA	0.73±0.54	0.02±0.73	0.76±0.92	0.073
ES	1.92±1.80	3.52±2.64	2.20±1.55	0.004*
MF	3.77±3.20	3.97±3.89	3.05±2.32	0.549

Mean± standard deviation. EO: external oblique, IO: internal oblique, TA: transverse abdominis, ES: erector spinae, MF: multifidus. *p<0.05.

Table 3. Test of within-subject contrasts for the difference in thickness of trunk muscles

Source		Muscles	Type III sum of Squares	df	Mean square	F	p-value
Factor 1	Level 1 vs. Level 3	IO	0.263	1	0.263	0.199	0.659
	Level 2 vs. Level 3		7.482	1	7.482	8.744	0.006*
		ES	2.190	1	2.190	0.431	0.517
			50.556	1	50.556	7.101	0.013*

Level 1: rest, Level 2: weight bar, Level 3: slashpipe, IO: internal oblique, ES: erector spinae. *p < 0.05.

검정을 실시하였다. 본 연구에서 통계학적 연구가설을 검증하기 위한 유의수준은 0.05로 하였다.

결 과

배바깥빗근의 좌우 두께 차이는 휴식상태 1.14±1.02 cm, 웨이트바 운동 1.17±1.10 cm, 슬래시파이프 운동 0.87±0.89 cm로 나타났으며 유의한 차이는 없었다(Table 2).

배속빚근의 좌우 두께 차이는 휴식 상태 1.22±0.88 cm, 웨이트바 운동 1.63±0.98 cm, 슬래시파이프 운동 1.12±0.76 cm로 나타났고 통계적으로 유의하였다(p < 0.05)(Table 2). 또한 개체 내 대비검정에서도 슬래시파이프 운동이 웨이트바 운동보다 좌우 근육의 두께 차이가 유의하게 적은 것으로 나타났다(p < 0.01)(Table 3).

배가로근의 좌우 두께 차이는 휴식상태 0.73±0.54 cm, 웨이트바 운동 0.02±0.73 cm, 슬래시파이프 운동 0.76±0.92 cm로 나타났으며 유의한 차이는 없었다(Table 2).

척추세움근의 좌우 두께 차이는 휴식상태 1.92±1.80 cm, 웨이트바 운동 3.52±2.64 cm, 슬래시파이프 운동 2.20±1.55 cm로 나타났고 통계적으로 유의하였다(p < 0.01)(Table 2). 또한 개체 내 대비검정에서도 슬래시파이프 운동이 웨이트바 운동보다 좌우 근육의 두께 차이가 유의하게 적은 것으로 나타났다(p < 0.05)(Table 3).

뭇갈래근의 좌우 두께 차이는 휴식상태 3.77±3.20 cm, 웨이트바 운동 3.97±3.89 cm, 슬래시파이프 운동 3.05±2.32 cm로 나타났으며 유의한 차이는 없었다(Table 2).

고 찰

좌우 몸통근육의 비대칭적인 수축양상은 척추와 연부조직의 국소 부위에 스트레스가 집중되어 통증 발생위험이 높아질 뿐만 아니라 효과적인 척추 안정성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구는 몸통근육의 대칭적인 근육활성에 이바지하는 운동방법을 제시하기 위해 실시하였으며, 슬래시파이프와 웨이트바를 비교 운동도 구로 활용하였다.

장시간에 걸친 편측성 활동과 비대칭적 자세유지는 근육의 길이 및 긴장도 변화를 통해 신체정렬의 이상뿐만 아니라 여러 가지 문제를 초래할 수 있다. Park과 Kim³²은 좌우 골반 앞기울임이 4° 이상 차이가 나는 대상자들의 몸통근육 두께를 대조군과 비교한 결과, 바로 선 자세와 플랭크 자세에서 좌우 근육두께에 유의한 차이가 있었다고 보고하였다. 이를 통해 신체정렬은 근육의 건강상태와 관련이 있음을 유추해 볼 수 있다. Kim과 Ju³³는 일반인과 펜싱선수를 대상으로 좌우 엉덩뼈(ilium)의 길이 차이를 비교하여 펜싱선수의 유의한 골반변위를 확인하였다. 펜싱선수는 한쪽 다리와 팔을 내미는 동작이 반복적으로 발생하기 때문에 골반변위에 따른 통증 및 상해 발생 위험도, 경기력 저하의 가능성이 높으며, 이를 최소화하기 위해서는 골반기능에 초점을 둔 특이적 프로그램이 처방되어야만 한다. 이 밖에도 근육 비대칭에 대한 선행연구를 살펴보면, Stanton 등³⁴은 좌우 몸통 근육의 비대칭과 관련된 근력저하 및 자세불균형이 허리 손상의 위험도를 증가시키고 통증발생과 더불어 균형 능력을 감소시킨다고 하였으며, Jun 등³⁵은 몸통의 안정성이 높을수록 양쪽 배속빚근의 두께 차이와 뭇갈래근의 밀도 차이는 적어지는 것으로 보고하였다.

근육 및 신체정렬의 대칭성 개선에 목적을 두고 중재연구가 실시되었다. Yoon³⁶은 편측성 종목인 양궁 및 테니스 선수에게 8주간 필라테스를 실시하여 허리와 엉덩이의 좌우 높이 차이를 완화시켰으며, 통증감소와 균형능력 향상에도 유의한 결과를 이끌어냈다. Yu와 Lee³⁷는 두부전방자세 환자의 통증, 신체정렬, 비대칭적 근육활성에 대해 8주간의 근육신장 및 근육강화 운동을 통하여 치료적으로 유의미한 효과를 보고하였다. 본 연구는 슬래시파이프 운동이 웨이트바 운동보다 배속빚근과 척추세움근의 대칭적인 수축양상에 유의한 효과가 있었으며, 통계학적으로는 유의하진 않았으나 슬래시파이프 운동에서는 배바깥빗근과 뭇갈래근이, 웨이트바 운동에서는 배가로근의 좌우 근육 두께 차이가 적게 나타났다. 슬래시파이프는 투명한 원형의 플라스틱관 안에 일정한 양의 액체를 채워 넣은 운동장비로서 액체의 무질서한 유동성으로 인해 야기된 불균형적 요소가 근육의 반사적인 수축을 유도할 수 있다. 본 연구에서처럼 슬래시파이프를 가슴에 안고 몸통 굽힘 및 몸통 펴는 시도할 경우 좌우 높이가 발생하여 액체의 평형상태가 깨지고, 이로 인해 한쪽 영역의 무게

가 증가하게 되면 정렬이상에 대한 정보가 중추신경계(central nervous system)로 전달되어 자가교정이 가능해진다. 이와 같은 운동효과로 인해 슬래시파이프 운동은 무게중심이 고정되어 있는 웨이트바 운동에 비하여 근육의 대칭적 수축에 긍정적인 영향을 미쳤을 것이라 판단된다. 따라서 슬래시파이프를 이용한 운동은 향후 일반인의 건강증진을 위한 목적뿐만 아니라 근육의 좌우 비대칭이 심한 요통 환자와 특정동작을 반복 실행하여 한쪽 근육만 우세하게 발달한 운동선수들에게도 유용한 효과를 줄 수 있을 것이라 사료된다.

이와 같은 장점에도 불구하고 배바깥근과 뒷갈래근은 유의성이 확보되지 않았고, 심지어 배가로근의 경우에는 웨이트바 운동이 근육 두께 차이 감소에 효과적인 것으로 나타났다. 이처럼 상반된 결과가 나타난 배경에는 본 연구의 대상자들이 운동초보자들로 구성되어 있기 때문일 수 있다. 슬래시파이프 도구에 적응할 수 있는 시간이 주어졌음에도 불구하고 운동능력이 충분하지 않은 일부 대상자는 물의 흐름을 제어하는 데 어려움을 호소하였다. 이에 따라 추후 연구는 슬래시파이프를 활용한 선행연구에서처럼 4주 이상의 중재기간을 두어 근육두께의 대칭성뿐만 아니라 통증, 균형, 운동수행력에 대해 어떠한 영향을 미치는지 검증할 필요가 있다.

본 연구는 몸통 근육의 두께변화를 일시적으로 측정하였기 때문에 근육의 대칭적 수축에 관한 슬래시파이프 운동의 당위성을 뒷받침하기에는 한계가 있다. 또한 20대 건강한 성인을 대상으로 실시하였고, 표본집단의 크기가 작아서 연구결과를 일반화하는 데 어려움이 있다. 향후 연구에서는 근육의 적응성 변화가 일어날 수 있는 충분한 기간을 고려하여 중재 프로그램을 계획하고, 좌우 근육 두께의 비대칭과 통증을 호소하고 있는 환자에게 슬래시파이프가 치료적 운동의 접근방법으로 활용될 수 있는지 여부를 확인하고자 한다.

REFERENCES

- Cholewicki J, Juluru K, McGill SM. Intra-abdominal pressure mechanism for stabilizing the lumbar spine. *J Biomech.* 1999;32(1):13-7.
- Arokoski JP, Valta T, Airaksinen O et al. Back and abdominal muscle function during stabilization exercises. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001; 82(8):1089-98.
- Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand Suppl.* 1989;230:1-54.
- Hodges P. Core stability exercise in chronic low back pain. *Orthop Clin North Am.* 2003;34(2):245-54.
- Costa L, Maher C, Latimer J et al. Motor control exercise for chronic low back pain: A randomized placebo-controlled trial. *Phys Ther.* 2009; 89(12):1275-86.
- Hides JA, Stokes MJ, Saide M et al. Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain. *Spine (Phila Pa 1976).* 1994;19(2):165-72.
- 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):2763-9.
- Ota M, Kaneoka K. Differences in abdominal muscle thicknesses between chronic low back pain patients and healthy subjects. *J Phys Ther Sci.* 2011;23(6):855-8.
- 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.
- Kang TW, Kim BR. The effects of stretching and strengthening exercise on the pain, pelvic tilt, functional disability index, and balance ability of patients with chronic lower back pain. *J Kor Phys Ther.* 2019;31(1):7-12.
- Park JC, Jeong JG. Effects of plank exercises with resistance of one-sided hip adduction on the abdominal muscle thickness. *J Kor Phys Ther.* 2019;31(2):82-7.
- Lim JH. Effects of flexible pole training combined with lumbar stabilization on trunk muscles activation in healthy adults. *J Kor Phys Ther.* 2018;30(1):1-7.
- Park JH, Kim YM. Effect of horse riding simulator exercise on thickness of transverse abdominis in healthy adults. *J Kor Phys Ther.* 2019;31(2): 111-6.
- Jung DY, Koh EK, Kim SJ et al. Comparisons of abdominal muscles thickness during single leg holding exercise on stable surface and on a foam roller using ultrasound imaging. *KJSB.* 2010;20(4):415-20.
- Kim DH, Kim TH. Effects of sling and resistance rotation exercises on pelvic rotation and pain in patients with chronic low back pain. *J Kor Phys Ther.* 2018;30(5):166-72.
- Park SJ, Moon JH, Shin YA. Change of pain, lumbar sagittal alignment and multifidus after sling exercise therapy for patients with chronic low back pain. *J Kor Phys Ther.* 2018;30(5):173-80.
- Marshall PW, Murphy BA. Evaluation of functional and neuromuscular changes after exercise rehabilitation for low back pain using a swiss ball: a pilot study. *J Manipulative Physiol Ther.* 2006;29(7):550-60.
- Behm DG, Leonard AM, Young WB et al. Trunk muscle electromyographic activity with unstable and unilateral exercises. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):193-201.
- Freiwald J. Evaluation of slashpipe. In: Wuppertal P, Bergische University Wuppertal 2014.
- Glass SC, Blanchette TW, Karwan LA et al. Core muscle activation during unstable bicep curl using a water-filled instability training tube. *J Strength Cond Res.* 2016;30:3212-9.
- Glass SC, Albert RW. Compensatory muscle activation during unstable overhead squat using a water-filled training tube. *J Strength Cond Res.* 2018;32(5):1230-7.
- Nicolas K, Teresa R, Christin B et al. Effects of a slashpipe training intervention on postural control compared to conventional barbell power fitness. *Int J Sports and Exerc Med.* 2018;4(2):88-93.
- Bong SY. Effects of the slashpipe exercise on trunk stability on balance, walking and quality of life in stroke patients. Nambu University. Dissertation of Master's degree. 2019.
- Kim CY, Choi JD, Kim SY et al. Reliability and validity of ultrasound imaging and semg measurement to external abdominal oblique and lumbar multifidus muscles. *Phys Ther Kor.* 2011;18(1):37-46.
- Shi J, Zheng YP, Chen X et al. Assessment of muscle fatigue using sonomyography: Muscle thickness change detected from ultrasound imag-

- es. *Med Eng Phys*. 2007;29(4):472-9.
26. McMeeken JM, Beith ID, Newham DJ et al. The relationship between emg and change in thickness of transversus abdominis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2004;19(4):337-42.
27. Teyhen DS, Rieger JL, Westrick RB et al. Changes in deep abdominal muscle thickness during common trunk-strengthening exercises using ultrasound imaging. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2008;38(10):596-605.
28. Hides JA, Miokovic T, Belavy DL et al. Ultrasound imaging assessment of abdominal muscle function during drawing-in of the abdominal wall: An intrarater reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007;37(8):480-6.
29. Watanabe K, Miyamoto K, Masuda T et al. Use of ultrasonography to evaluate thickness of the erector spinae muscle in maximum flexion and extension of the lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(13):1472-7.
30. Kim SJ, Ha SM, Park KN et al. Effects of three lumbar stabilization exercises on the thickness of deep and superficial fibers of the lumbar multifidus. *Phys Ther Kor*. 2012;19(2):20-8.
31. Hodges PW. The role of the motor system in spinal pain: Implications for rehabilitation of the athlete following lower back pain. *J Sci Med Sport*. 2000;3(3):243-53.
32. Park KH, Kim HS. Effect of plank exercise on the abdominal muscle thickness of subjects with asymmetric pelvic anterior tilt. *KSIM*. 2018;6(3):25-32.
33. Kim HY, Ju SB. The index analysis of hip displacement of middle school fencers and students. *JKSRE*. 2013;6(1):23-31.
34. Stanton R, Reaburn PR, Humphries B. The effect of short-term swiss ball training on core stability and running economy. *J Strength Cond Res*. 2004;18(3):522-8.
35. Jun HJ, Kim KJ, Lee JS et al. Correlation between trunk stabilization and symmetry of the trunk muscles in healthy females. *Journal of KOEN*. 2015;9(3):275-82.
36. Yun MJ. Effects of 8 weeks pilates for the body balance, posture and pain lateral and bilateral athletes comparative analysis. Keimyung University. Dissertation of Master's degree. 2011.
37. Yoo KT, Lee HS. Effects of therapeutic exercise on posture, pain and asymmetric muscle activity in a patient with forward head posture: Case report. *J Korean Soc Phys Med*. 2016;11(1):71-82.