

Effects of Plank Exercises with Resistance of One-Sided Hip Adduction on the Abdominal Muscle Thickness

JaeCheol Park, JinGyu Jeong

Department of Physical Therapy, Chunnam Techno University, Jeonnam, Korea

Purpose: The purpose of this study was to examine the effects of plank exercises with resistance of one-sided hip adduction on abdominal muscle thickness.

Methods: Thirty subjects were divided into a group that underwent plank exercises with one-sided hip adduction resistance ($n = 15$) and a group that underwent plank exercises only ($n = 15$). Their changes in abdominal muscle thickness before the experiment ($n = 15$) and three and six weeks after the experiment were analyzed using a two-way repeated analysis of variance at a statistical significance level of $\alpha = 0.05$. When there was any interaction between the time of measurement and each group, post hoc t-tests were conducted at a statistical significance level of $\alpha = 0.01$.

Results: The results of the experiment showed statistically significant differences in the thickness of the rectus abdominis, internal oblique muscle, and transversus abdominis, depending on the time of measurement and the interaction between the time of measurement and each group ($p < 0.05$). Statistically significant differences were observed in the thickness of the external oblique, depending on the time of measurement, the interaction between the time of measurement and each group, and variances between the groups ($p < 0.05$).

Conclusion: The results of this study indicated that plank exercises with resistance of one-sided adduction are effective for increasing abdominal muscle thickness. The study's overall findings will likely be used as basic data for lumbar stabilization exercises and rehabilitation treatment.

Keywords: Adductor muscle, Muscle thickness, Plank exercise,

서론

몸통 부분은 박스형태의 근육 집합체로 표층 근육인 배곧은근, 배바깥근이 있으며 심부 근육으로는 배속빗근, 배가로근이 위치하고 있다.¹ 배곧은근은 외상으로부터 복부 장기를 보호하고 복압을 증가시키며² 배바깥근은 외적 자극의 안정성에 도움을 주며³ 심부 근육인 배속빗근과 배가로근은 몸통 안정성에 영향을 미치고 있다. 이러한 복부 근육의 동시 수축(co-activation)은 복압을 형성하여 몸통의 안정성과⁴ 정적·동적인 상태에서 팔과 다리의 움직임 능력을 향상시키는 역할을 한다.⁵ 그러므로 이러한 복부 근육의 능력 약화는 몸통의 불안정성과 팔 다리 움직임 능력을 감소시켜주기 때문에 Kibler 등⁴은 복부 근육 강화의 중요성을 강조하였다.

몸통 근육의 강화를 위해 수년간 많은 연구가 이루어졌고 관련 연

구로 도구를 이용한 안정화 운동과⁶⁻⁸ 전통적인 허리 안정화 운동인 크런치 운동(crunch exercise),⁹ 교각 운동(bridge exercise),¹⁰ 플랭크 운동(plank exercise)¹¹ 등이 있다. 이렇게 다양한 허리 안정화 운동 중에서 플랭크 운동은 체중을 이용한 운동으로 복부 근육 강화를 위한 대표적인 안정화 운동이며,¹² 심부 근육인 배바깥근과 배속빗근을 포함한 핵심 근육을 강화시켜¹³ 몸통 안정성을 증가시킨다.¹⁴ Schellenberg 등¹⁵은 플랭크 운동은 몸통 펌 근보다 복부 근육의 활동을 증가시켜 복부 근육 강화에 적절한 운동이라고 하였고, 또 다른 연구에서는 척추의 압력을 증가시켜 다양한 퇴행성 척추 손상을 유발하는 상체 일으키기(sit-up exercise) 운동보다 플랭크 운동이 허리 부상을 감소시킨다고 하였다.¹⁶ 플랭크 운동은 허리 골반(lumbopelvic)을 중립 위치에서 운동을 수행할 때 척추의 하중을 감소하여 복부 근력을 증가시키기 위한 최적의 운동으로 알려져 있다.¹⁷

Received Mar 18, 2019 Revised Apr 16, 2019

Accepted Apr 19, 2019

Corresponding author Jin-Gyu Jeong

E-mail ptj8763@hanmail.net

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.

하지만 전통적 플랭크 운동은 정적인 자세에서 실시하여 운동 강도가 부족하여 복부 근육 활동을 추가적으로 증가시키기 위한 방법으로 팔, 다리를 이용한 방법이 주목 받고 있다. 운동 도중 팔, 다리에 추가적인 저항과 움직임은 몸통 안정성과 관련된 복부 근육의 활동을 더욱 증가시키며¹⁸ 엉덩관절 모음근에 대한 저항도 몸통의 외측 굽힘을 발생시켜¹⁹ 추가적인 복부 근육의 활동을 유발한다. Park 등²⁰은 교각운동 도중 엉덩관절 모음이 배바깥근과 못갈래근의 근활성도가 증가하였다고 하였고, Kim 등¹⁷은 플랭크 운동 중에 엉덩관절 모음에 대한 저항이 복부 근육의 근활성도를 증가시킨다고 하였다.

이처럼 선행연구를 통해 플랭크 운동에 대한 긍정적인 효과에 대하여 보고되고 있지만, 선행연구들은 대부분 근력 및 근활성도의 변화를 확인하였고 본 연구처럼 초음파 영상 장치를 이용하여 근육의 형태학적 변화의 지표인 근두께 변화에 대한 연구는 부족한 실정이다. 그러므로 본 연구는 플랭크 운동과 함께 엉덩관절 모음근에 저항을 주고 초음파를 이용하여 복부 근두께를 시기별 변화 추이를 알아보고자 하며 따라서 본 연구는 한쪽 엉덩관절 모음근 저항을 동반한 플랭크 운동이 복부 근육인 배곧은근, 배바깥근, 배속빗근, 배가로근의 두께에 미치는 영향을 알아보고 임상에서 안정화 운동으로써 기초 자료와 활용 가능성을 제시한다.

연구방법

1. 연구대상

본 연구는 전라남도에 소재한 A대학에 재학 중인 건강한 20대 성인 남성 30명을 대상으로 하였으며 근, 뼈대계와 정형외과적 질환이 없는 자로 선정하여 한쪽 엉덩관절 모음근 저항을 동반한 플랭크 운동군(plank exercise with unilateral hip adduction resistance group, PUHG), 15명, 플랭크 운동군(plank exercise group, PG) 15명으로 대상자들에게 군에 대한 정보를 공개하지 않고 무작위로 군을 선정하였다. 실험 전 각 군에 연구에 대한 목적 및 운동 방법을 설명하고 자발적으로 연구 참여를 희망한 자를 대상으로 연구 동의를 작성한 후 연구를 시행하였다. 대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects

	PUHG (n=15)	PG (n=15)	p
Age (year)	22.0±1.19	23.4±1.84	0.305
Height (cm)	172.8±5.04	176.4±5.11	0.169
Weight (kg)	67.9±11.73	76.4±14.24	0.713
BMI (KG/m ²)	22.7±3.64	24.4±3.97	0.421

PUHG: plank exercise with unilateral hip adduction group, PG: plank exercise group, BMI: body mass index.

2. 실험방법

1) 연구 절차 및 운동방법

엉덩관절 모음근에 일정한 저항을 주기 위해 흔들리지 않는 기둥을 운동 장소 양 옆에 배치하여 기둥에 탄력밴드를 묶어 플랭크 운동 시행과 동시에 엉덩관절 모음근에 각각 저항을 주었다. 탄력밴드는 안정적인 상태의 길이가 30 cm 정도로 제작하였고 운동이 시작과 동시에 60 cm로 늘어나는 정도의 장력을 이용하여 운동을 실시하였다. 탄력밴드 적용 부위는 PUHG는 한쪽 다리 넓다리뼈 중간 지점에 적용하였으며 PG는 아무런 저항이 없이 플랭크 운동을 시행하였다. 플랭크 운동 자세는 어깨 관절과 팔꿈치 관절 90도 굽힌 자세에서 시선은 바닥을 향하였고 골반은 중립위치에서 발은 어깨 너비만큼 벌린 상태에서 시행하였다. 운동은 총 30분 적용하였고 준비운동으로 트레드밀에서 가벼운 걷기 운동 5분, 본 운동 20분, 마무리 운동 5분으로 구성하였고 본 운동은 10초간 플랭크 운동 후 10초 휴식 6회를 1세트로 총 7세트를 하였고 세트마다 1분씩 휴식시간이 주어졌으며 주 3회 총 6주간 실시하였다.

2) 측정도구

복부 근육 두께 측정은 초음파 영상 장치를(MylabOne, Esaote, Italy) 이용하였고, 주파수 변조 범위는 8-10 MHz를, 민감도는 G60, 동적 범위 C4로 고정하였다. 측정 자세로 배곧은근은 바로 누운 자세에서 배꼽에서 바깥측으로 3 cm 떨어진 곳을, 배바깥근, 배속빗근, 배가로근은 배꼽에서 바깥측으로 직선을 그어 만들어진 선과 겨드랑이에서 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine) 사이를 직선으로 그어 두 선이 만나는 지점에 측정하였다. 배바깥근이 초음파 화면상 외측에 위치하게 하여 초음파 화면 정 가운데에서 근두께를 획득하였고, 근두께 변화에 호흡 주기가 영향을 미칠 수 있다는 연구 결과에 따라 날숨 마지막 단계에서 측정하였다.²¹

변환기와 피부 사이의 압박을 최소화하기 위해 충분한 초음파 겔을 발랐고 측정 시 시기별 측정 부위를 오류를 줄이기 위해 수술용 펜으로 지점을 표시하고 시행하였으며 몸통의 해부학적 지식 및 초음파 검사기에 숙달된 물리치료사 1인을 선정하여 오른쪽 몸통 근육을 측정하였다. 총 3회 반복 측정한 후 평균값을 근두께로 이용하였다.

3. 분석방법

모든 자료는 통계 프로그램 SPSS for Windows (Ver. 19.0)를 이용하여 분석하였고 대상자 일반적 특성 정규분포를 알아보기 위하여 단일 표본 Kolmogorov-smirnov 검정을 하였으며 정규분포가 인정되어 두 그룹간 실험 전, 운동 3주 후, 운동 6주 후의 측정 변인에 대한 변화를 알아보기 위해 반복측정 2요인 분산분석(two-way repeated ANOVA)을 이용하였고 유의수준 0.05로 하였다. 시기와 군간 상호작용이

발생한 경우 사후분석으로 집단 내 비교의 경우 대응표본 t-검정 (paired t-test)를 집단간 비교의 경우 독립표본 t-검정(independent t-test)를 실시하였고²² I종 오류를 줄이기 위해 유의수준 0.01로 하였다.

결 과

1. 배곧은근 근두께 변화

각 군의 배곧은근 두께 변화에 대한 결과 시기별, 시기와 군 간 상호 작용에서 유의한 차이가 있었고(p<0.05), 집단간 변화에서는 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 사후분석 결과 6주 후에서 PUHG와 PG의 두 집단에서 유의한 차이가 있었다(p<0.01)(Table 2, 3)(Figure 1).

2. 배바깥빗근 근두께 변화

각 군의 배바깥빗근의 두께 변화에 대한 결과 시기별, 시기와 군 간 상호 작용, 집단간 변화에서 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 사후분석 결과 6주 후에서 PUHG와 PG의 두 집단에서 유의한 차이가 있었다 (p<0.01)(Table 2, 3)(Figure 1).

3. 배속빗근 근두께 변화

각 군의 배속빗근의 두께 변화에 대한 결과 시기별, 시기와 군 간 상호 작용에서 유의한 차이가 있었고(p<0.05), 집단간 변화에서는 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 사후분석 결과 6주 후에서 PUHG와 PG의 두 집단에서 유의한 차이가 있었다(p<0.01)(Table 2, 3)(Figure 2).

Table 2. Comparison of trunk muscle thickness.

		Pre	3weeks	6weeks	Source	F	p
RA	PUHG	9.95±1.40	10.69±1.21	11.66±1.08	Time	48.709**	0.000**
	PG	10.13±1.66	10.17±1.62	10.28±1.59	Time X Group	31.918**	0.000**
					Group	1.23	0.277
EO	PUHG	4.76±0.78	5.43±0.89	6.18±0.90	Time	41.735**	0.000**
	PG	4.70±0.46	4.86±0.70	5.22±0.76	Time X Group	10.556**	0.000**
					Group	4.117	0.052
IO	PUHG	7.64±1.14	8.59±1.33	9.53±1.35	Time	66.956**	0.000**
	PG	7.59±1.36	7.95±1.17	8.26±1.12	Time X Group	15.150**	0.000**
					Group	2.216	0.148
TrA	PUHG	3.32±0.36	4.05±0.47	4.85±0.54	Time	117.871**	0.000**
	PG	3.45±0.60	3.77±0.65	4.25±0.62	Time X Group	9.969**	0.001**
					Group	1.806	0.190

RA: rectus abdominis, EO: external oblique, IO: internal oblique, TrA: transverse abdominis, PUHG: plank exercise with unilateral hip adduction group, PG: plank exercise group, *p<0.05, **p<0.001, mean±SD.

Table 3. Post-hoc according to interactions of time and groups in PUHG and PG

		After 3weeks ^a	After 6weeks ^b	t	p
RA	PUHG	0.74±0.51	1.71±0.74	9.342	0.000**
	PG	0.04±0.22	0.15±0.34	2.904	0.012
	t	1.001	2.771 ⁺		
	p	0.325	0.010 ⁺		
EO	PUHG	0.66±0.27	1.41±0.38	10.021	0.000**
	PG	0.16±0.41	0.52±0.74	2.051	0.06
	t	1.912	3.137 ⁺		
	p	0.066	0.004 ⁺		
IO	PUHG	0.94±0.84	1.88±0.90	17.994	0.000**
	PG	0.36±0.39	0.67±0.61	4.127	0.001**
	t	1.396	2.789 ⁺		
	p	0.174	0.009 ⁺		
TrA	PUHG	0.73±0.34	1.52±0.42	14.107	0.000**
	PG	0.32±0.30	0.80±0.46	6.915	0.000**
	t	1.378	2.809 ⁺		
	p	0.179	0.009 ⁺		

RA: rectus abdominis, EO: external oblique, IO: internal oblique, TrA: transverse abdominis, PUHG: plank exercise with unilateral hip adduction group, PG: plank exercise group, adifference between pre and 3weeks, bdifference between pre and 6weeks, *p<0.05, **p<0.001, +post-hoc t-test p<0.01, mean±SD.

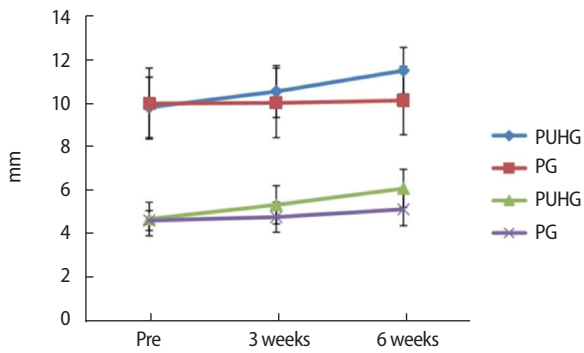


Figure 1. Comparison of rectus abdominis and external oblique thickness

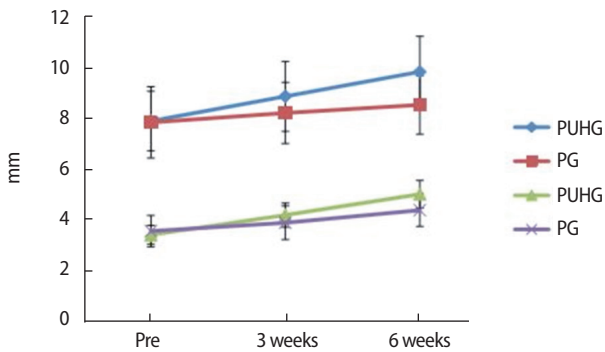


Figure 2. Comparison of internal oblique and transverse abdominis thickness

4. 배가로근 근두께 변화

각 군의 배가로근의 두께 변화에 대한 결과 시기별, 시기와 군 간 상호작용에서 유의한 차이가 있었고($p < 0.05$) 집단간 변화에서는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 사후분석 결과 6주 후에서 PUHG와 PG의 두 집단에서 유의한 차이가 있었다($p < 0.01$)(Table 2, 3)(Figure 2).

고찰

본 연구는 20대 건강한 성인 남성 30명을 대상으로 PUHG와 PG로 두 그룹으로 나누어 PUHG는 플랭크 운동 중 엉덩관절 모음근 저항 운동을 PG는 일반적 플랭크 운동을 적용하여 실험 전, 3주 후, 6주 후로 시기를 나누어 복부 근두께 변화를 분석하였다. 근두께의 변화를 알아보고자 이용된 초음파는 비침습적인 방법으로 정적 및 동적인 상태에서 심부 구조의 변화를 실시간 측정할 수 있는 장점이 있고 형태학적 변화인 근두께 변화를 알아보는 데 자주 이용되고 있다.²³ 초음파 영상 장치의 신뢰도 연구에서 신뢰도가 높았으며²⁴ 팔다리와 몸통 근육 두께를 측정하는데 신뢰성과 타당도가 입증된 장비이다.²⁵

그 결과 배곧은근과 배속빗근, 배가로근은 시기별, 시기와 군간 상호작용에서 유의한 차이가 있었고, 집단간 변화에서는 유의하지 않

았다. 배바깥빗근은 시기별, 시기와 군간 상호작용, 집단간 변화에서 유의한 차이가 있었다. 사후분석 결과 모든 복부 근육들은 6주 후에 PUHG와 PG에서 유의한 차이가 있었다. 시기와 군간 상호작용에서 유의한 차이가 있었지만 집단간 변화에서 차이가 없었던 점은 상호작용이 주 효과를 가리는 가면 효과(masking effect)로 인한 결과로 생각된다.²⁶

몸통의 안정성 증가를 위해서는 몸통과 복부 부위 근육의 동시수축이 필수 요소이며 근육의 동시수축은 근막으로 연결되어 있는 근육들의 수축을 유발하게 되어 몸통의 안정성과 기능적 움직임을 가능하게 한다.²⁷ 그러나 기존 허리 안정화 운동들은 운동 자세와 방법에 따른 몸통 근육의 수축 시간(onset time) 및 수축비율(contraction ratio)이 각각 다르기 때문에²⁸ 각 근육을 강화시키기 위해서는 선택적인 운동과 추가적인 운동이 필요하다. 하지만 본 연구에서 시행한 플랭크 운동 중에 엉덩관절 모음근에 추가적인 저항 제공은 모든 복부 근육의 두께를 증가시켰다.

Do와 Yoo는²⁹ 불안정 지지면에서 플랭크 운동을 실시한 후 초음파로 몸통 근두께 변화를 측정한 연구에서 일반적 플랭크 운동보다 배속빗근과 배가로근의 두께가 증가하였다고 하면서 불안정 지지면이 심부 근육 강화에 효과적이라고 하였고, Snarr와 Esco는¹³ 불안정한 지지면에서 플랭크 운동이 표층 근육인 배곧은근과 배바깥빗근의 높은 근활성도를 발생하였다고 보고하였다. 또 다른 연구에서는 스위스볼을 이용한 플랭크 운동이 배곧은근 배바깥빗근, 배속빗근, 배가로근의 근활성도를 극대화한다고 하였다.³⁰ 선행연구에서는 불안정한 지지면에서 운동이 허리와 골반의 안정성을 증가시키기 위해 많은 근육의 동시 수축이 유발되었고 그로 인해 근육들의 근활성도가 증가하였다고 하였다. 본 연구는 선행 연구들처럼 불안정 지지면을 이용하여 몸통 불안정성을 유발한 것은 아니지만 몸통 불안정성을 유발하기 위해 저항을 이용한 점은 비슷하다고 볼 수 있다. 이런 관점에서 볼 때 엉덩관절 모음근에 대한 저항이 불안정 지지면처럼 다리와 몸통의 불안정성을 유발하였고 저항을 이겨내고 골반과 허리의 안정성을 유지하고자 복부 근육들의 추가적인 수축과 지속적인 수축의 결과로 생각되며 Kim 등¹⁷은 플랭크 운동을 시행할 때 엉덩관절 모음근에 추가적인 저항은 배곧은근, 배바깥빗근, 배속빗근, 배가로근의 근활성도를 증가시킨다고 하여 본 연구의 근두께 증가가 선행연구 결과를 지지하고 있다.

본 연구에서 탄력 밴드의 적용 부위는 넓다리뼈 중간 부분이다. 넓다리뼈 중간에는 긴모음근(adductor longus muscle)과 짧은모음근(adductor brevis muscle)이 시작되어 두덩결합(pubic symphysis)에 붙어 있으며 등허리 근막(thoracolumbar fascia)을 통해 몸통과 복부에 위치한 근육들과 상호 작용하여 척추와 골반 그리고 다리 사이의 효과적인 하중 전달시스템의 역할을 하고 있다.³¹ 다리에 적용된 저항이 모

음근 수축을 발생시키고 두덩결합에 붙어 있는 배곧은근 수축을 유도하여 근막으로 연결된 배바깥빗근, 배속빗근, 배가로근의 수축이 더불어 증가된 것으로 생각된다. 또한 Mullington 등³²은 팔의 벌림과 같은 동작은 팔의 움직임에 의해 동요가 발생하고 동요를 감소시키기 위해 몸통은 반대 방향으로 수축한다고 하였고, Mok 등³³은 현수 장치에서 다리 벌림을 이용한 플랭크 운동이 복부 근육의 근활성도를 증가시킨다고 하여 팔과 다리의 움직임이 몸통의 동요를 만들어 내고 복부 근육의 활동을 증가시킨다는 점을 확인할 수 있었다. 본 연구에서도 모음근에 대한 저항이 몸통의 동요를 발생시켜 몸통 가쪽 굽힘(lateral bending)을 유발하게 되고 그 결과 배바깥빗근과 골반의 앞쪽을 덮고 있는 배속빗근, 복압의 중요한 역할을 하는 배가로근의 수축이 증가되어 근두께가 증가한 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 건강한 남성들과 소수의 대상자만을 하였고 대상자의 근육능력은 고려하지 않고 획일된 저항만 이용하여 근피로도 누적으로 인한 대상작용 및 부정확한 운동 방법에 대한 점을 고려하지 않아 일반화하기에는 무리가 있다. 하지만 한쪽 엉덩 관절 모음을 동반한 플랭크 운동이 복부 근두께에 미치는 효과는 긍정적으로 생각되며 향후 허리 안정화 운동의 기초자료와 임상에서 복부 근육 강화를 위한 중재 방법으로 유용할 것으로 생각된다. 후속 연구에서 대상자의 다변화와 본 연구에서 확인하지 못한 몸통 근육과 다리 근육의 질적 변화의 관련 연구가 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Richardson C, Jull G, Hides J et al. Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in low back pain: Scientific basis and clinical approach. Edinburgh, London, Churchill Livingstone 1999; Pages.
- Kim SY, Kim NS. Effects of mulligan's mobilization with sustained natural apophyseal glides on the paraspinal muscle activity of subjects with chronic low back pain. *J Kor Phys Ther.* 2013;25(1):10-5.
- Lee HO. Activation of trunk muscles during stabilization exercises in four-point kneeling. *J Kor Phys Ther.* 2010;22(5):33-8.
- Kibler WB, Press J, Sciascia A. The role of core stability in athletic function. *Sports Med.* 2006;36(3):189-98.
- Key J. The core: Understanding it and retraining its dysfunction. *J Bodyw Mov Ther.* 2013;17(4):541-59.
- Kang JI, Choi HH. Effects of 3d stabilization exercise on the muscle activity and static balance of patients with lumbar instability. *J Kor Phys Ther.* 2017;29(4):181-86.
- Park JC, Yu JY, Hwang TY et al. Effects of stabilization exercise on the structural characteristics of trunk muscles between stable and unstable surfaces. *J Kor Phys Ther.* 2016;28(5):297-302.
- 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.
- Kim CY, Kim HD. The effect of supplementary shouting technique on muscle activity to rectus abdominis and external oblique during crunch exercise in healthy subjects. *J Kor Phys Ther.* 2015;27(1):1-6.
- Kong YS, Hwang YT. Comparison of the activity and proprioception of trunk muscles according to different types of bridge exercises in subjects with and without chronic low back pain. *J Kor Phys Ther.* 2015;27(6):400-06.
- Bak JW, Shim SY, Cho MK et al. The effect of plank exercises with hip abduction using sling on trunk muscle activation in healthy adults. *J Kor Phys Ther.* 2017;29(3):128-34.
- 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):754-62.
- Snarr RL, Esco MR. Electromyographical comparison of plank variations performed with and without instability devices. *J Strength Cond Res.* 2014;28(11):3298-305.
- Lee J, Jeong KH, Lee H et al. Comparison of three different surface plank exercises on core muscle activity. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2016;5(1):29-33.
- Schellenberg KL, Lang JM, Chan KM et al. A clinical tool for office assessment of lumbar spine stabilization endurance: Prone and supine bridge maneuvers. *Am J Phys Med Rehabil.* 2007;86(5):380-86.
- Peterson DD. Proposed performance standards for the plank for inclusion consideration into the navy's physical readiness test. *J Strength Cond.* 2013;35(5):22-6.
- Kim SY, Kang MH, Kim ER et al. Comparison of emg activity on abdominal muscles during plank exercise with unilateral and bilateral additional isometric hip adduction. *J Electromyogr Kinesiol.* 2016;30:9-14.
- Lee DK, Kang MH, Kim JW et al. Effects of non-paretic arm exercises using a tubing band on abdominal muscle activity in stroke patients. *NeuroRehabilitation.* 2013;33(4):605-10.
- Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system-e-book: Foundations for rehabilitation. Kidlington, Elsevier Health Sciences, 2013.
- Park HJ, Oh DW, Kim SY. Effects of integrating hip movements into bridge exercises on electromyographic activities of selected trunk muscles in healthy individuals. *Man Ther.* 2014;19(3):246-51.
- Hodges PW, Gandevia SC. Changes in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *J Appl Physiol.* 2000;89(3):967-76.
- Jung DY, Koh EK, Kwon OY et al. Effect of medial arch support on displacement of the myotendinous junction of the gastrocnemius during standing wall stretching. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39(12):867-74.
- Rankin G, Stokes M, Newham D. Size and shape of the posterior neck muscles measured by ultrasound imaging: Normal values in males and females of different ages. *Man Ther.* 2005;10(2):108-15.
- Lee JA, Kim SY. Reliability of ultrasonography for the longus colli in asymptomatic subjects. *J Kor Phys Ther.* 2011;23(4):59-66.
- Braekken IH, Majida M, Eng ME et al. Morphological changes after pelvic floor muscle training measured by 3-dimensional ultrasonography: A randomized controlled trial. *Obstet Gynecol.* 2010;115(2Pt1):317-24.
- Sung NK. Analysis and experiment of repetitive measurement. Paju, Free Academy. 1997:113.
- Kim YS. The effects of asymmetrical neuromuscular training for postur-

- all control by imbalanced trunk muscles in athletes. Korea University. Dissertation of Master's Degree. 2010.
28. Renkawitz T, Boluki D, Linhardt O et al. Neuromuscular imbalances of the lower back in tennis players--the effects of a back exercise program. *Sportverletz Sportschaden*. 2007;21(1):23-8.
29. Do YC, Yoo WG. Comparison of the thicknesses of the transversus abdominis and internal abdominal obliques during plank exercises on different support surfaces. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(1):169-70.
30. Czaprowski D, Afeltowicz A, Gębicka A et al. Abdominal muscle emg-activity during bridge exercises on stable and unstable surfaces. *Phys Ther Sport*. 2014;15(3):162-68.
31. Vleeming A, Pool-Goudzwaard A, Stoeckart R et al. The posterior layer of the thoracolumbar fascia. *Spine*. 1995;20(7):753-8.
32. Mullington CJ, Klungarvuth L, Catley M et al. Trunk muscle responses following unpredictable loading of an abducted arm. *Gait posture*. 2009;30(2):181-86.
33. Mok NW, Yeung EW, Cho JC et al. Core muscle activity during suspension exercises. *J Sci Med Sport*. 2015;18(2):189-94.