

스위스 볼을 이용한 등척성, 등장성 운동이 요부 안정화 근육의 근활성도 및 통증에 미치는 영향

■ 김명훈, 한상완

광주보건대학 물리치료과

The Influence of a Core Stability Exercise Program using Swiss Ball on Muscle Activity and Pain in the Lower Back

Myung-Hun Kim, PT, PhD; Sang-Wan Han, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Gwangju Health College

Purpose : The purpose of this study is to examine the influence of a core stability exercise program using Swiss Ball on muscle activity, muscle thickness, maximum muscular strength, and pain in the trunk region during a 6-weeks program involving participants who have lower back pain.

Methods : A total of 21 males between the ages of 20 and 33 years old were divided into 3 Swiss Ball exercise groups. Group 1 performed isometric exercises, group 2 performed isotonic exercises, and group 3 performed mixed exercises. Measurements were taken prior to starting the exercise program and after completing the program at the 6-week period using ME6000 to measure muscle activity and VAS to measure pain reduction. Comparisons were made using a paired t-test and ANOVA on SPSS 10.0.

Results : There was a statistically significant effect in muscle activity for group 1 and group 3. Secondly, there was a statistically significant effect in pain reduction for group 1, group 2, and group 3.

Conclusion : We found that isometric exercises performed by group 1 were effective in improving muscle activity and pain reduction.

Key words : Muscle activity, Pain, Low back pain, Core exercise

논문접수일 : 2011년 4월 21일

수정접수일 : 2011년 5월 13일

게재승인일 : 2011년 5월 17일

교신저자 : 한상완, rpthan@ghc.ac.kr

1. 서론

21세기를 살아가는 현대인들은 동적인 생활 패턴보다는 정적인 형태로 보내는 시간이 늘어나면서 허리통증을 호소하는 사람들이 급격히 늘어났다. 인구의 80%는 일생에 있어 한번 이상의 허리통증을 경험했으며, 이들 중 10-15%는 만성 허리통증환자로서 치료를 받고 있다.¹ 현대인들은 산업과 기계화된 사회에서 바쁜 일상과 과중한 업무, 스트레스, 운동부족 등으로 허리통증이 더 심해지는 경향을 보인다. 특히 근육이 약해지고 근불균형이 증가될 경우 심한 만성적 허리통증으로 악화될 수 있다. 몸통의 문제는 대부분 근육계의 문제에서 기인하며, 몸통근력의 약화가 함께 발생하기 때

문에 의사나 물리치료사들은 허리통증환자들의 몸통 근 근력 증진에 많은 관심을 가지고 있다.² 최근 활발하게 연구되는 분야에서는 허리통증이 여러 가지 원인으로 발생하게 되는데 반복적인 허리통증으로 인한 운동량 감소가 근육량 감소의 원인이 되며,³ 원인적 요소나 결과적인 요소에 상관없이 '몸통의 안정성'을 유지 향상시켜 주는 접근법 또한 상당히 효과적이라는 주장의 연구결과가 제시되었다.⁴

몸통 안정성란 배벽(abdominal wall), 골반, 허리, 가로막(diaphragm)에 의해 경계되어진 신체의 부분과 관계되며 움직이는 동안 신체를 안정시켜 주는 능력을 말한다. 몸통의 안정성과 운동성을 길러 주는 주변의 대근육과 소근육을 고르게 강화시켜 몸

통의 정렬을 바르게 하여 안정성을 기반으로 한 운동성을 향상시켜 몸통의 안정성을 이루는 것이 그 목적이다. 몸통의 안정성을 유지하는데 가장 중요한 근육으로 밝혀진 근육은 multifidus(multifidus)과 배가로근(transversus abdominis)이다.⁵ 운동을 시작할 때 이 두 근육이 먼저 움직여 몸통 안정성을 이룬 후에 다음 동작 근육이 움직인다. 더불어 배속빗근, 외복사근과 허리네모근이 안정근과 고정근으로 작용하는 역할을 한다.^{6,7}

허리통증을 위한 운동치료로 알려진 것은 윌리암 운동, 맥켄지 운동, 필라테스 운동 등이 있으며, 최근에는 허리통증의 새로운 운동치료법으로 몸통 안정성(lumbar stability)운동 또는 중심안정성(core stability)운동이 허리통증치료에 적용되고 있다. 최근 의료선진국에서는 환자의 근력을 강화시키면서 근육과 움직임의 조절능력을 회복하여 몸통의 안정성을 확보하기 위한 목적을 가지고, 환자의 능동적인 참여를 요하는 몸통 안정성 운동이 널리 사용되고 있다. 만성 허리통증환자들의 허리운동은 대부분 배곧은근, 척추세움근과 같은 대근육 운동 위주로 실시하였으나, 최근 들어 몸통 안정성에 중요한 역할을 하고 있는 몸통 심부근육 운동의 중요성이 강조되고 있다.⁵ 또한 다양한 기구와 운동을 접목하여 안정성 근육을 강화시키는 방법이 사용되고 있다.⁸

최근에 자세 조절 능력의 향상 및 근활성의 적합성과 관련해 스위스 볼(Swiss ball) 운동에 대한 관심이 증가하고 있다. 스위스 볼 운동이 몸통 분절의 안정성을 제공한다고 보고하였으며, 다른 운동기구보다 거부감 없이 비교적 쉽고 친근하게 접근할 수 있으며, 운동 효과가 몸에 충격을 주지 않는 저충격 운동 이라고 발표하였다.⁹ 스위스 볼을 이용한 운동은 동적 안정성 요법의 하나로서 근력, 지구력, 유연성을 강화시킬 수 있다고 보고되고 있다.¹⁰ 스위스 볼을 이용한 몸통 안정성 운동 방법이 다양하게 제시되고 있는데 등척성 이후에 등장성 운동을 8주간 실시했을 때 근력 증가와 현저한 통증감소를 보였다고 한다.¹¹ 최근에는 연구에 의하면 스위스 볼을 사용하여 안정성 운동을 하였을 때 외복사근과 척추세움근 근전도 검사에서 활성도는 변화가 없었으나,¹² Cho¹³는 탄력밴드와 스위스 볼에서의 몸통 안정성 운동을 실시하여 허리통증환자 복부의 배곧은근, 내복사근의 근활성도를 비교한 결과 모든 측정 부위에서 스위스 볼 운동 그룹에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다고 하였다. 특히, 배곧은근의 근육은 대부분 Push-up의 자세에서 최대의 근활성도를 보였으나 배곧은근은 두 다리를 스위스 볼 위에 올리는 운동을 하였을 때 근활성도에서 유의한 차이가 있고,¹¹ 브릿지 운동을 실시하였을 때 외복사근과 배곧은근의 몸통 근활동에 영향을 미칠 수 있다.¹⁴ 한편, 등척성 운동을 시행하였을 때 배가로근에서만 근두께의 향상을 보인다고 하였다.¹⁵ 국내, 외

연구에서 몸통 안정성에 대한 여러 가지 연구가 되어졌지만, 스위스 볼을 이용한 몸통 안정성 운동에서 각각의 등장성, 등척성 운동이 몸통 안정성에 기여하는 정도를 검증하는 논문이 부족하다.

이 연구는 만성 허리통증환자들에게 6주간 스위스 볼을 적용하여 등척성, 등장성, 등척성과 등장성 운동을 복합 운동프로그램을 실시하였을 때 근활성도와 통증에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 알아보고, 단기간 시행되는 만성 허리통증 재활프로그램이 허리통증 환자들에게 효율적이고 과학적인 운동치료방법으로 적용되고 인식될 수 있도록 재검토하는데 유용한 자료로 제공되게 함을 목표로 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 목적과 방법에 대하여 실험 전에 연구 대상자에게 충분히 설명한 후 실험 참여에 동의한 K대학에서 현재 허리통증을 호소하고 있는 20대 남성 21명을 대상으로 실시하였고 그룹별 신체적 특성은 <표 1>과 같다. 대상자들의 선정 기준은 허리통증증상이 6개월 이상 지속된 환자를 선정하고, 현재 몸통 안정성 운동, 도수치료, 물리치료를 받는 자, 디스크 문제로 인한 신경학적 허리통증인 자, 정기적인 근력 강화 운동을 하는 자는 실험에서 제외하였다. 대상자들은 무작위로 등척성 운동그룹, 등장성 운동그룹, 등척성 및 등장성 운동그룹으로 나누었다.

표 1. 대상자의 그룹별 신체적 특성

그룹	나이(세)	키(cm)	몸무게(kg)
등척성	25.1±3.0	174.6±9.0	72.3±9.8
등장성	23.2±2.3	173.7±5.0	72.6±7.2
등척성+등장성	22.8±1.9	174.8±6.0	72.8±13.6

평균±표준편차

2. 연구방법

1) 운동 방법

각 피실험자들을 등척성, 등장성, 등척성과 등장성 혼합운동 그룹으로 분류하여 6주간 주 3회 40분씩 운동을 실시하였다(표 2). 등척성 그룹의 운동 빈도는 10초 유지, 3초 휴식, 10회 반복 한 동작 후 1분간 휴식을 취했다. 등장성 그룹의 운동 빈도는 한 운동당 10회 반복하고 10초를 쉬는 것을 1set로 하여 총 3set를 실시하였다. 다음 운동으로 넘어갈 때 1분간의 휴식을 취하게 하였다. 등척

성과 등장성을 함께 하는 그룹은 각각의 운동 프로그램에서 5회씩만 실시하였다. 운동 전, 후 스트레칭을 실시하였으며, 운동 시행 3주 후에는 근 순응에 대비하여 운동 프로그램의 횟수를 5회씩 늘려 더 높은 강도의 운동프로그램을 실시하였다.

표 2. 그룹간 운동 프로그램

항목	운동프로그램	횟수	세트	운동시간
준비 운동	1. 골반 균형 잡기	3회		
	2. 다리 뒤쪽 스트레칭	2회	1세트	유지 10초 휴식 1분
	3. 몸통 늘리기	2회		유지 10초 휴식 1분
	4. 척추 어깨 늘려주기	2회		유지 10초 휴식 1분
	5. 옆구리 스트레칭	2회		
	6. 몸통이완하기(등 스트레칭)	2회		유지 10초 휴식 1분
등척성 운동	1. back arch or back extension			
	2. Cross-eyed Superman			
	3. supine bridge			유지 10초 휴식 10초
	4. push-up	10회	1세트	운동간 휴식분
	5. abdominal crunch			
	6. supine leg extension			
	7. supine pelvic tilt			
등장성 운동	1. back arch or back extension			
	2. Cross-eyed Superman			
	3. supine bridge			휴식 10초
	4. push-up	10회	3세트	세트간 휴식분
	5. abdominal crunch			
	6. supine leg extension			
	7. supine pelvic tilt			
등척성 운동 + 등장성 운동	1. back arch or back extension			
	2. Cross-eyed Superman			
	3. supine bridge			유지 10초 휴식 10초
	4. push-up	5회	1세트	운동간 휴식분
	5. abdominal crunch			
	6. supine leg extension			
	7. supine pelvic tilt			
마무리운동	위 준비운동과 동일			

평균±표준편차

2) 측정 방법

(1) 근전도 검사 방법

표면근전도(ME6000, MegaWin, 핀란드)를 이용하여 근활성도를 측정하고, 실험결과에 영향을 줄 수 있는 기술적 오류(technical fault)를 피하기 위해 피험자의 전극 부착 부위를 최대 근육 정적 수축을 하게 하여 역동적 근전도 검사 기구인 Megawin사에서 제공하는 소프트웨어를 모니터링 하면서 근육의 기시점과 정지점의 중간부위에서 가장 발달된 부위의 근육에 표면전극을 부착하였다. 표면전극은 검사 결과에 영향을 미칠 수 있는 털을 제거하고 피부의 이물질 제거를 위해 알코올을 이용하여 깨끗이 소독 후 부착하였다. 근활성도 측정을 위해 사용된 전극은 직경 3cm 크기의 원형 모양의 Ag/AgCl의 표면전극을 사용하여 피험자 신체의 오른쪽 배가로근, 외복사근, 목갈래근에 부착하였다. 이때 근전도의 잡음을 최소화하기 위해 근육과 상관없는 주변조직에 잡음제거패드를 부착하였다. 부착 후, 독일의 폐가수스를 사용하여 운동시 실시간 근전도 검사를 통해 근활성도를 측정하였다. 연속적인 측정으로 인해 발생할 수 있는 근피로를 최소화하기 위해서 각 운동 후 2분간 휴식을 취하도록 하였다. 각 측정부위의 최대 정적 수축은 10초간 실시하고 처음 2초와 마지막 2초를 제외한 6초 동안 측정된 근활성도를 실효치진폭으로 자료분석에 사용하였다.

(2) 시각적 통증 척도(VAS)

시각적 통증 척도의 기록 방법은 피험자가 평소에 느끼는 허리 통증 정도에 따라 일상생활에 전혀 지장이 없고 통증에 자각 증상이 없는 상태는 0으로, 일상생활을 전혀 할 수 없고 참을 수 없을 정도의 심한 통증이 지속되는 상태를 10으로 하여 10cm 길이의 표를 10등분 하여 0~10까지 수치적으로 표현하였고,¹⁶ 0주와 6주에 한 번씩 각각 프로그램 적용 전 후에 동일한 검사자가 기록하였다.

3. 자료분석

본 연구 자료의 통계 처리는 SPSS 12.0를 이용하였다. 운동 전, 후 근활성도, 통증의 변화를 보기 위해 대응표본 T-test를 실시하였다. 통계학적 유의수준을 검증하기 위해 유의수준 α 는 0.05로 설정 하였다.

III. 결과

1. 그룹별 근활성도 비교

운동 방법이 서로 다른 세 그룹의 스위스 볼 운동 전과 후에서의 근활성도를 비교해본 결과는 다음과 같다(표 3). 등척성 운동그룹에서 굽힘 시 배가로근의 근 활성도가 통계적으로 유의한 차이가 보였으나(p=0.020), 못갈래근 및 외복사근은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 폼 시 못갈래근의 근활성도가 통계적으로 유의한 차이가 보였으나(p=0.002), 외복사근 및 배가로근은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

등장성 운동그룹에서 굽힘 시 외복사근과 배가로근에서 근 활성도가 통계적으로 유의한 차이가 보였으나(p=0.018, p=0.019), 못갈래근은 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 폼 시 못갈래근에서 근 활성도가 통계적으로 유의한 차이가 보였으나(p=0.010), 외복사근과 배가로근은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 등척과 등장성 운동을 복합한 그룹에서 굽힘 시 못갈래근에서 근활성도가 통계적으로 유의한 차이가 보였으나(p=0.013), 외복사근과 배가로근은 유의한 차이가 나타나지 않았다. 폼 시에는 모든 근육에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

표 3. 그룹별 훈련 전, 후 근활성도 비교

(단위: μ V)

운동 형태	구분	근육	훈련 전	훈련 후	t	p
등척성	굽힘	못갈래근	39±17.9	46.6±15.2	-1.100	0.313
		외복사근	190.9±135.0	272.6±208.1	-1.666	0.147
		배가로근	117.6±88.5	237.7±160.9	-3.123	0.020
	폼	못갈래근	135.0±51.1	234.0±92.2	-5.001	0.002
		외복사근	63.1±44.3	97.1±88.8	-1.404	0.210
		배가로근	44.1±26.9	41.6±29.3	0.141	0.892
등장성	굽힘	못갈래근	34.4±16.4	51.3±27.0	-2.069	0.084
		외복사근	128.4±78.8	234.4±161.4	-3.217	0.018
		배가로근	78.9±27.6	195.9±115.0	-3.173	0.019
	폼	못갈래근	164.0±84.0	263.9±94.3	-3.671	0.010
		외복사근	62.6±45.4	124.0±81.8	-2.208	0.069
		배가로근	30.4±35.2	35.1±25.2	-0.318	0.761
등척성 + 등장성	굽힘	못갈래근	30.9±9.7	82.4±41.9	-3.485	0.013
		외복사근	126.9±51.5	180.4±90.2	-1.991	0.094
		배가로근	63.4±32.6	153.9±115.9	-2.215	0.069
	폼	못갈래근	109.3±100.7	178.1±102.7	-1.571	0.167
		외복사근	47.0±23.5	93.4±49.1	-2.373	0.055
		배가로근	26.0±16.6	28.7±14.5	-0.357	0.733

평균±표준편차

2) 그룹별 훈련 전후의 VAS 비교

운동 방법이 서로 다른 세 그룹의 스위스 볼 운동 전과 후에서의 VAS를 비교해본 결과는 다음과 같다(표 4). 등척성 운동그룹에서 훈련 전 4.7±1.3, 훈련 후 2.0±1.0으로 통계적으로(p=0.000) 유의한 차이를 보였다. 등장성 그룹에서도 훈련 전 4.9±1.3, 훈련 후 2.4±0.8으로 통계적으로(p=0.001) 유의한 차이를 보였다. 등척과 등장성 혼합 운동그룹에서도 훈련 전 4.6±1.3, 훈련 후 2.6±1.3으로 통계적으로(p=0.000) 유의한 차이를 보였다.

표 4. 그룹별 훈련 전, 후의 VAS 비교

(단위: cm)

	훈련 전	훈련 후	t	p
등척성	4.7±1.3	2.0±1.0	14.7	0.000
등장성	4.9±1.3	2.4±0.8	6.6	0.001
등척성+등장성	4.6±1.3	2.6±1.3	9.2	0.000

평균±표준편차

IV. 고찰

요부 안정화 운동은 척추 안정화근의 동시 수축 능력과 몸통 강화를 만들어 좀 더 기능적으로 효과적인 생활 습관을 증진시키고 통증의 침해를 예방하고 재활하기 위해 많이 실시되고 있는 운동으로 환자가 척추에 가해지는 부하에 가장 잘 적응을 할 수 있는 자세인 척추 중립자세 시 안정성을 유지하게 하는 운동이다.⁵ 요부 안정화 운동이 적절한 저항과 환경에서 오는 운동 자극에 대한 신체 반응을 통해 감각-운동 조절훈련을 함으로 상태가 약한 환자에게서부터 심한 환자들 모두에게 약화된 심부 근육들을 효과적으로 활성화시키며 움직임에 대해 적절한 신체반응을 일으킬 수 있는 효과적인 운동이라고 했다.⁵ 안정화 운동의 목적은 근육과 움직임 조절 능력을 회복시키기 위한 것이며, 현재는 허리통증 환자의 치료에 필수적인 접근방법이 되었다. 사람이 자신의 요부의 올바른 정열을 인식하고 교정하기 위해서는 정상적인 운동 감각이 반드시 필요하며, 이 운동 감각은 피부나 근육 그리고 관절에 분포되어 있는 감각수용기로부터의 감각 입력에 의해 크게 영향을 받는다.¹⁷

표면전극을 사용한 주파수 분석이 근력의 증가 및 피로에 따른 운동단위 활성도의 변화를 비교적 예민하게 측정할 수 있는 매우 신뢰성 높은 진단도구이다.¹⁸ Cho¹³는 20~30대 여성 허리통증환자들을 대상으로 고정된 지면과 스위스 볼에서의 요부안정화 운동을 실시하여 허리통증환자 요부의 허리세움근과 복부의 배곧은근, 외

복사근, 내복사근의 근 활성도를 비교한 결과 모든 측정 부위에서 스위스 볼운동 그룹에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다고 하였다. 고정된 지면과 스위스 볼에서의 요부 안정화 운동에 따른 몸통 근육을 근활성도를 비교한 논문에서 허리세움근의 근활성도를 비교한 결과는 요부 안정화 운동을 전에 측정한 근활성도 보다 후에 측정한 근활성도가 통계적으로 유의하게 높게 나타났다. 본 연구에서 선행 연구결과와 동일하게 모든 운동 그룹에서 근활성도 변화에 효과적이었으며 특히, 등척성 운동시 다른 운동에 비해 더욱 효과적이었음을 확인할 수 있었다. 이로 인해 스위스 볼을 이용한 등척성 운동을 하는 것이 몸통의 안정화에 기여하는 것이 크다고 생각된다. 허리통증환자를 대상으로 스위스 볼을 이용해 몸통 안정화 운동을 시켰을 때 척추 주변 근육 보다는 복부근육에게 더 효과적인 운동방법이라고 하였다.⁹ 이는 모든 동작을 수행 시 가장 먼저 작용하는 근육이 심부 근육이기 때문이 아닐까 라고 생각한다.

Danneels 등¹⁹에 의하면 10주간 59명을 대상으로 안정화 운동군, 동적 안정화 운동군, 정적-동적 안정화 운동군으로 운동을 하였을 때 L3와 L4 부위의 못갈래근의 직경이 증가되었다고 하였다. 또한, 6주간 운동 후 요부 안정화 운동군은 못갈래근은 6.92% 증가하였다. 이러한 결과 못갈래근 두께 증가에 있어 분절 안정화 운동이 더 효과적이라는 사실을 밝혀냈다. 본 연구에서도 선행 논문과 같이 등척성 그룹에서는 못갈래근의 경우 13.53%가 증가하였고 등장성 그룹에서는 못갈래근의 경우 1.59%가 증가하였다. 또한, 외복사근의 9.49%로 증가하였다. 등척성과 등장성 혼합운동에서는 배가로근은 12.61%로 뚜렷하게 증가하였다. 이로 인해, 스위스 볼에서 등척성과 등장성 운동을 하였을 때 몸통 안정화 근육 중에서 복부와 척추에 있는 근육들에 효과적이었고, 등척성과 등장성 혼합운동을 하였을 때는 복부에 있는 근육에게 효과적이었다고 생각된다. Lee²⁰는 요부안정화 운동 프로그램 후 VAS의 점수가 통계적으로 감소한다는 통증완화에 대한 연구결과를 보여주었다. 본 연구에서도 선행연구 결과와 동일하게 모든 그룹에서 VAS의 점수가 감소하였다. 이로 인해, 모든 스위스 볼을 이용한 운동들은 허리통증 환자의 통증을 감소해 줄 수 있다고 생각된다. 본 연구의 결과는 스위스 볼을 이용한 몸통 안정화 운동 중 근활성도와 통증의 변화에 가장 적합한 운동은 등척성 운동이다. 이러한 연구 결과 등척성 운동이 다른 운동 그룹에 비해 보다 유의한 차이가 있는 것으로 보아 허리통증을 호소하는 환자들에게 가장 적절한 치료적 효과를 기대해 볼 수 있으리라 생각된다.

V. 결론

본 연구는 허리통증환자를 대상으로 스위스 볼을 이용한 등척성 운동, 등장성 운동, 등척성 운동과 등장성 운동을 복합한 운동을 6주간 실시하여 몸통 근육의 근활성도와 통증 변화에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 근활성도를 측정한 결과 등척성 그룹에서 모든 근육들의 근활성도가 증가하였으나, 굽힘 할 때 배가로근, 폼 할 때 못갈래근의 활성도가 통계적으로 유의한 차이가 보였다. 등장성 그룹에서도 모든 근육들의 근활성도가 증가하였으나, 굽힘 할 때 외복사근과 배가로근이 통계적으로 유의한 차이가 보였으며, 폼 할 때 못갈래근이 증가하였다. 복합운동 그룹에서는 모든 근육들의 근활성도가 증가하였으나, 굽힘할 때 못갈래근이 통계적으로 유의한 차이가 보였으며, 폼 할 때는 근활성도가 증가하였으나, 통계적인 차이는 없었다. 통증은 사전, 사후 측정한 결과, 모든 그룹에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

이런 결과로 스위스 볼을 이용한 등척성, 등장성, 등척성과 등장성 복합 운동들이 못갈래근, 외복사근, 배가로근의 근활성도를 증가시키며, 통증을 감소시키기 때문에 환자 유형에 따라 운동방법을 어떠한 운동을 선택해서 실시해도 같은 효과를 보인다고 생각된다.

참고문헌

- Rossignol M, Rozenberg S, Leclerc A. Epidemiology of low back pain: what's new Joint Bone Spine. 2009;76(6):608-613.
- Graves JE, Pollock ML, Foster D et al. Effect of training frequency and specificity on isometric lumbar extension strength. Spine. 1999;15:504-509.
- Tracy MF, Gibson MJ, Szypryt EP et al. The geometry of the muscles of the lumbar spine determined by magnetic resonance imaging. Spine. 1989;4(2):186-193.
- Luoto S, Aalto H, Taimela S et al. One-Footed and externally disturbed two-footed postural control in patients with chronic low back pain healthy control subjects, A controlled study with follow-up. Spine. 1998;23(19):2081-2089.
- O'Sullivan PB, Phytty GD, Twomey LT et al. Evaluation of specific stabilizing exercise in the treatment of

- chronic low back pain with radiologic diagnosis of spondylolysis or spondylolisthesis. *Spine*. 1997;22(24):2959-2967.
6. Sapsford RR, Hodges PW, Richardson CA et al. Co-activation of the abdominal and pelvic floor muscles during voluntary exercises. *NeuroUrol Urodyn*. 2001;20(1):31-42.
 7. Moseley GL, Hodges PW, Gandevia SC. Deep and superficial fibers of the lumbar multifidus muscle are differentially active during voluntary arm movements. *Spine*. 2002;27(2):29-36.
 8. Richardoson CA, Jull GA. Muscle control-pain control. What exercises would you prescribe? 1995;1(1):2-10.
 9. Han SW, Cho SY, Kim YS et al. The effect of isometric exercise using Swiss ball on the flexibility, the strength and the waist and hip circumferences. *Journal of the Korean Physical Therapy*. 2001; 13(1):73-82.
 10. Mori A. Electromyographic activity of selected trunk muscles during stabilization exercise using a gym ball. *Electromyogram Clinical Neurophysiol*. 2004;44(1):57-64.
 11. 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):556-560.
 12. Marshall PW, Murphy BA. Core stability exercises on and off a Swiss Ball. *Arch Phy Med Rehabil*. 2005;86(2):245-252.
 13. Cho HY. Comparing the effects of core stability exercise between using treatment ball and fixed support. Dankook University; Dissertation of Master's Degree. 2006.
 14. Lehman GJ, Hoda W, Oliver S. Trunk muscle activity during bridging exercises on and off a Swiss ball. *Chiropratic & Ostoepathy*. 2005;13:14.
 15. John EK, Beith ID. Can activity within the external abdominal oblique be measured using real-time ultrasound imaging? *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2007;22(9):972-979.
 16. Harms-Ringdahl K, Carlsson AM, Ekholm J et al. Pain assessment with different intensity scales in response to loading of joint structures. *Pain*. 1986;27(3):401-411.
 17. Maffeyward L, Jull G, Wellington L. Toward a clinical test of lumbar spine kinesthesia. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1996;(6):354-358.
 18. Moritani T, Muro M. Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increase force of contraction. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1987;56(3):260-265.
 19. Danneels LA, Vanderstraeten GG, Cambier DC et al. Effects of three different training modalities on the cross-sectional area of the lumbar multifidus in patients with chronic low back pain. *Br J Sports Med*. 2001;35(3):186-191.
 20. Lee WY, Bang YS, Ko JK. Effect of therapeutic gymnastic ball exercise in patients with chronic low back pain. *Journal of the Korean Academy of University Trained Physical Therapists*. 2003;10(3):109-126.