대한물리의학회지 제6권 제3호, 2011년 8월
Vol.6, No.3, August 2011. p.303~310

복부 할로잉 운동에서 실시간 초음파 영상 피드백의 사용 효과

권남희 · 이현옥 · 박두진

부산가톨릭대학교 물리치료학과

The Use of Real-Time Ultrasound Imaging for Feedback during Abdominal Hollowing

Nam-Hee Kwon, PT, MS, Hyun-Ok Lee, PT, PhD, Du-Jin Park, PT, MS

Department of Physical Therapy, Catholic University of Pusan

<Abstract>

Purpose : This study examined the feedback effect of real-time ultrasound imaging on the thickness of transversus abdominis(TrA), internal abdominal oblique(IO) and external abdominal oblique(EO) during abdominal hollowing exercise(AHE) in crook lying.

Methods : We performed this study on 30 healthy men who voluntarily consented to participate in this study after listening to its purpose and method. All subject were divided into an experimental group(n=15) with using the real-time ultrasound imaging feedback(RUIF) and a control group(n=15) without the RUIF The thickness changes between rest and AHE were compared between the two groups in crook lying.

Results : The difference in TrA and EO thickness changes between the groups were significant in crook lying ($p<0.05$).

Conclusion : The group with using real-time ultrasound imaging feedback showed a higher increase in the thickness of TrA than the other group without real-time ultrasound imaging feedback. And the thickness of EO in the group with using real-time ultrasound imaging feedback decreased than the other group without real-time ultrasound imaging feedback. If the muscle thickness can be regarded as an indicator of muscle activity, RUIF will be helpful for inducing the independent activity of TrA by reducing the activities of abdominal muscles such as EO.

Key Words : Real-time ultrasound imaging, Feedback, Abdominal hollowing, Abdominal muscle

교신저자 : 권남희, E-mail: chilwo@hanmail.net
논문접수일 : 2011년 07월 12일 / 수정접수일 : 2011년 08월 08일 / 게재승인일 : 2011년 08월 18일

Ⅰ. 서 론

체간 근육들은 운동 수행, 일상생활 그리고 기능적인 활동에 요구되는 척추의 안정성에 많은 기여를 한다(McGill과 Cholewicki, 2001). 특히 복횡근 같은 심부 체간 근육은 탄성력과 복부 내의 압력을 증가시켜 척추의 안정성을 높이는데 큰 역할을 수행하고 있다(Panjabi, 1992).

복횡근은 발성, 호흡, 배변, 구토 등을 위해 복강의 압력을 조절하고(Misuri 등, 1997), 움직임의 방향과 상관없이 사지의 움직임 이전에 수축하여 자세를 조절하는데 중요한 역할을 하는 근육이다(Hodges와 Richardson, 1997, Hodges와 Richardson, 1999). 또한 복횡근은 3가지 섬유속(fascicles)으로 구성되어 다양한 역할을 수행한다. 상부 섬유속은 늑연골에서 기시하여 흉곽에 안정성을 제공하고, 흉요추 근막(thoracolumbar fascia; TLF)에서 기시하는 중부 섬유속은 요추를 조절하는데 많은 기여를 하고, 장골능에서 기시하는 하부 섬유속은 복부의 구조물들을 보호하고 천장 관절을 지지하는 힘을 생성한다(Richardson 등, 2002). 이처럼 다양한 역할을 수행하는 복횡근의 기능 이상은 요통 환자들에게 많이 발견된다. Hodges와 Richardson(1996)은 선행적 자세 조절을 하는 복횡근의 활동이 요통 환자들에게서 지연되었음을 보고하였다. Ferreira 등(2004)은 낮은 강도의 사지 움직임을 수행하는 동안에도 복횡근을 수축하는 능력이 요통 환자들에게 감소되었음을 보고하였다. 또한 O'sullivan 등(1997)은 요통 환자들이 비정상적인 복횡근 동원 패턴과 과도한 복직근 활동을 보였다고 하였다.

이와 같이 복횡근의 중요성을 인식하고 기능 이상을 해결하기 위한 다양한 치료 전략들이 제안되었다. 현재 가장 흔한 접근법들 중 하나는 복부 할로잉 운동(abdominal hollowing exercise)이다. 복부 할로잉 운동의 시작 단계는 심부 체간 근육들을 촉진시킬 수 있는 자세에서 심부 복횡근의 수축을 잘 유도할 수 있도록 교육하는 것이다. 이 때, 복횡근의 활동은 천층에 위치한 복직근과 외복사근으로부터 선택적으로 일어나야 한다(Rackwitz 등, 2006). 하지만 외복사근의 활동을 제거한 상태에서 복횡근의 선택적인 수축을 유도하는 것은 어렵다고 보고되고 있다. Chanthapetch 등(2009)은 25%미만의 참가자들만이 외복사근의 활동 없이 복횡근의 선택적인 수축을 유도할 수 있다고 보고하였으며, Park DJ과 Lee HO(2010)은 약 22%의 참가자들만이 외복사근의 활동을 최소화하여 복횡근의 선택적인 수축을 유도할 수 있었다고 하였다.

복부 할로잉 운동을 교육하고 습득하는데 발생할 수 있는 어려움을 해결하기 위해서 시각적인 피드백을 줄 수 있는 실시간 초음파 영상(real-time ultrasound imaging)이 추천된다(Hide 등, 1998). 초음파는 복횡근과 다열근 같은 심부 체간 근육들의 크기와 활동 상태를 측정할 수 있는 유용한 비침습적인(noninvasive) 도구이며, 전외측 복부 벽에 대한 초음파 영상은 실시간 초음파 화면을 통해 개개인의 심부 복부 근육의 움직임과 두께 변화에 대한 시각적인 피드백과 순간적인 수행 정보를 제공함으로써 운동 조절이나 운동 수행 능력을 향상 시킬 수 있다. 이런 운동 수행 능력에 대한 초음파 영상 피드백의 효과는 선행 연구에 의해서 증명되었다(Park, 2010a). 하지만 네발기기 자세에서 초음파 영상 피드백의 효과를 증명한 것임으로 급성기 요통 환자들에게 이 자세를 적용하는데 한계가 있다. 이에 본 연구는 급성기 요통 환자들의 초기 재활에서 쉽게 적용할 수 있는 누운 자세에서 시각적 피드백인 실시간 초음파 영상을 이용한 교육 훈련이 복부 할로잉 운동 수행에 미치는 영향을 복부 근육들의 두께 변화 차이를 통해 알아보고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 부산에 위치한 부산가톨릭대학교의 재학생들 중 실험 참여에 자발적으로 동의한 건강한 남성 30명을 대상으로 실시하였다. 모든 연구 대상자는 무작위로 실시간 초음파 피드백을 이용하여 복부 할로잉 훈련을 받은 실험군 15명과 일반적인 복부 할로잉 훈련을 받은 대조군 15명으로 분류되었다. 신경학적 질환이나 최근 6개월 동안 요통을

경험한 자, 복부 할로잉 운동의 경험이 있는 자 그리고 다른 신체 부위에 질환이 있는 자는 본 연구 실험에서 제외하였다.

2. 연구 도구

실시간 초음파 영상을 피드백을 제공하고 복부 근육의 두께를 측정하기 위해서 초음파 진단 기기인(Sonoace X4, Medision, 한국)를 이용하였다. 그리고 복부 근육의 두께 측정을 하기 위한 7.5MHz의 선형 탐촉자를 사용하였다.

3. 운동 방법

실험 전 복부 할로잉 운동 방법은 다음과 같이 교육하였다. 척추, 늑골 그리고 골반의 움직임 없이 배꼽을 천천히 부드럽게 안쪽으로 넣으면서 위쪽으로 올리도록 교육하였다(Richardson과 Jull, 1995). 그리고 모든 대상자들은 복부 할로잉 운동을 하는 동안 정상적인 호흡이 지속하면서 소변을 참듯이 아랫배를 천천히 안쪽으로 넣고 골반저근을 위쪽으로 당겨 골반저근을 함께 수축할 수 있도록 복부 할로잉 교육을 받았다(Critchley, 2002). 이는 복부 근육들과 골반저근이 복부 내의 압력 메카니즘의 한 부분으로써 운동 프로그램을 통해 연결되어 있어 골반저근을 함께 수축시키는 것은 복부 할로잉 운동을 교육하는데 큰 도움이 되기 때문이다(Norris, 2001). 실험군은 구두 명령, 촉각적 접촉 그리고 실시간 초음파 영상 피드백을 통해 복부 할로잉 교육을 받았고, 대조군은 전통적인 방법인 구두 명령과 촉각적 접촉을 통해 복부 할로잉 교육을 받았다. 모든 대상자는 무릎을 90도 구부리고 누운 자세(crook lying with knee flexion of 90°)에서 복부 할로잉 운동을 15분간 교육을 받았다.

4. 측정 방법

표준화된 초음파 영상을 얻기 위해 탐촉자는 11번째 늑연골과 장골능 사이의 중간 지점에 놓았으며(Teyhen 등, 2007; Park, 2010a), 복횡근과 흉요추근막이 만나는 공간이 초음파 영상의 오른쪽에 나타나도록 하였다(Teyhen 등, 2005, Springer 등, 2006, Park, 2010a). 호흡에 의한 복부 근육의 두께 변화에 대한 오차를 줄이기 위하여 호기 끝 지점에서 모든 초음파 영상을 수집하였다. 그리고 누운 자세에서 실시간 초음파 영상 피드백의 훈련 효과를 비교 분석하기 위해서 모든 대상자는 휴식 상태와 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안 복부 근육들의 두께를 각각 3번씩 측정하여 평균값을 산출하였다. 그리고 휴식 상태와 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안의 복부 근육의 두께 변화를 비교하였다(Fig 1).

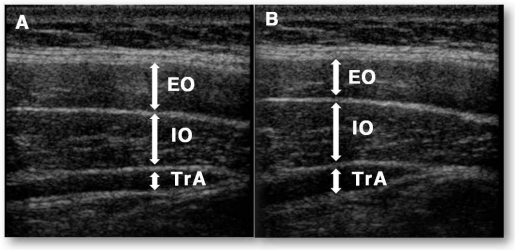

Fig 1. A transverse view of an ultrasound imaging of lateral abdominal muscles at rest(A), an ultrasound image of lateral abdominal muscles during abdominal hollowing exercise(B).
TrA: transversus abdominis, IO: internal abdominal oblique, EO: external abdominal oblique

5. 통계 처리

본 연구는 시각적인 피드백의 사용 유무에 따른 복부 할로잉 운동의 효과를 알아보기 위하여 독립표본 t-test를 실시하였다. 통계적 유의성을 검정하기 위해 유의수준 α는 .05로 설정하여 수집된 자료는 SPSS 12.0 Win 프로그램을 이용하여 분석하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구 대상자의 일반적 특성은 아래 Table 1과 같다.

Table 1. General characteristics of subjects (N=30)

	Experimental Group(n=15)	Control Group(n=15)
Age(years)	22.47±1.85	21.87±4.03
Height(cm)	175.53±4.34	174.60±5.55
Weight(kg)	68.73±7.16	65.67±9.48
BMI(kg/m^2)	22.38±2.77	21.44±2.28

Mean±SD: mean±standard deviation

2. 두 집단 간의 두께 변화

휴식 상태와 복부 할로잉 운동에서 실험군과 대조군의 두께 변화는 Table 2와 같다. 근육의 두께 변화는 실험군의 외복사근을 제외하고 대조군과 실험군 모두에서 휴식 상태에 비해 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안 근육의 두께가 증가하였다. 휴식 상태와 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안 실험군과 대조군 사이에 두께 변화의 차이는 Table 3과 같다. 외복사근에서 실험군과 대조군 사이에 두께 변화의 차이는 실험군이 .16±.30mm로 감소되었으나, 대조군은 .59±.47mm 증가하여 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05). 복횡근에서 실험군과 대조군 사이에 두께 변화 차이는 실험군과 대조군이 1.19±.37mm, .66±.31mm 두께 증가를 보여, 유의한 차이를 보였다(p<.05). 그러나 내복사근에서는 실험군과 대조군이 .89±.70mm, 1.15±.80mm 두께 증가를 보였지만, 통계학적으로 유의한 차이가 없었다.

Ⅳ. 고 찰

초음파는 근육들의 위축과 비대를 직접적으로 평가하는데 사용되어 왔으며(Hides 등, 1994, Stokes 등, 2007), 재활 프로그램들의 효과를 평가하는데도 많이 사용되고 있다(Teyhen 등, 2005, Raney 등,

Table 2. Muscle thicknesses of experimental group and control group at rest and abdominal hollowing in crook lying position (N=30)

		Muscle thickness	
		Experimental group(n=15)	Control group(n=15)
EO	At rest	5.64±.97	6.01±1.09
	AH	5.48±1.08	6.60±1.17
IO	At rest	8.00±2.12	8.05±1.64
	AH	8.88±2.54	9.20±2.02
TrA	At rest	3.23±.86	3.84±1.18
	AH	4.43±1.09	4.51±1.22

Unit: mm, AH: abdominal hollowing

Table 3. Changes in muscle thicknesses between experimental group and control group during abdominal hollowing in crook lying position (N=30)

	Difference of Muscle Thickness		
	Experimental Group(n=15)	Control Group(n=15)	p
EO	-.16±.30	.59±.47	.00*
IO	.89±.70	1.15±.85	.37
TrA	1.19±.37	0.66±.31	.00*

*p<.05, Unit: mm

2007). 또한, 초음파 영상은 근육 수축에 대한 정확한 피드백을 제공함으로써 운동의 질적 향상을 높이는데 기여한다(Hodges, 2005). 근전도를 이용한 영상도 근육 수축에 대한 피드백 도구로써 사용되고 있다. 그러나 비침습적인 표면 근전도의 경우, 특히 내복사근과 복횡근의 활동을 차별화시키는데 많은 제한을 가지고 있다(Teyhen 등, 2005). 그러므로 본 연구에서는 비침습적인 초음파 영상의 다양한 이점을 바탕으로 시각적 피드백인 실시간 초음파 영상을 이용한 교육 훈련이 복부 할로잉 운동 수행에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시하였다. 실제로 복부 할로잉 운동은 천층에 위치한 복직근과 외복사근으로부터 심부 근육인 복횡근의 선택적인 수축을 촉진시키는 운동이지만, 본 연구의 대조군에서는 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안 복횡근에 비해 외복사근의 두께도 상당히 증가하였다. 이는 복부 할로잉 운동을 실시하는 동안 외복사근의 활동을 제거하는 것이 어렵다는 선행 연구들(Urquhart 등, 2005, Chanthapetch 등, 2009, Park과 Lee, 2010)의 결과를 뒷받침한다. 하지만 본 연구의 실험군은 휴식 상태보다 복부 할로잉 운동을 실시하는 동안 복횡근의 두께는 약 37%정도 증가하였고, 특히 외복사근의 두께 변화는 약 3%정도 감소하여 대조군과 유의한 차이를 보였다. 이는 실시간 초음파 영상에 의해 제공되는 복부 근육들의 움직임과 관련된 피드백 정보인 수행에 대한 지식(knowledge of performance)을 제공함으로써 외복사근과 복횡근의 운동 조절 능력을 재교육시킨 것으로 사료된다. 이는 시각적 피드백을 이용한 복부 할로잉 운동이 운동 조절 능력 개선에 효과적임을 보여주는 것이다.

실험군과 대조군 간의 휴식 상태와 복부 할로잉 운동 사이에 두께 변화의 차이를 비교하여 보면, 복횡근의 두께 차이는 대조군은 17%증가에 비해 실험군이 37%증가하여 실험군이 대조군보다 통계적으로 유의한 차이로 증가하였다. 그리고 실험군의 외복사근 두께는 3%정도 감소하였고 대조군은 10%증가하여, 통계학적으로 유의한 차이를 보였다. 하지만 내복사근의 두께 차이는 대조군은 14%증가하였고 실험군은 11%증가하여 실험군이 대조군보다 두께가 작게 증가하였지만 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. Mew(2009)의 연구를 살펴보면, 누운 자세에서 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안 내복사근의 두께가 휴식 상태에 비해 약 16.3%로 증가하였으며, 다른 선행 연구들(Richardson 등, 2002, Hides 등, 2006, Mannion 등, 2008, Park, 2010b)도 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안 내복사근의 두께가 약 10~20% 증가하였다고 보고하였다. 이는 내복사근의 하부 섬유가 전상장골극의 아래에서 복횡근과 함께 주행하여 복부 할로잉 운동 같은 척추 안정화 운동을 수행하는 동안 각 근육의 기능적인 활동이 부분적으로 겹쳐(Mannion 등, 2008) 복횡근의 활동이 내복사근의 활동에도 영향을 주었기 때문이라 사료된다. 그리고 본 연구는 복부 할로잉 운동을 경험하지 못한 대상자를 선택하여 15분간 운동을 교육하였고, 다른 선행 연구들도 장기적인 교육 훈련이 이루어지지 않았다. 만약 초음파 영상 피드백을 이용한 복부 할로잉 운동의 교육이 장기적으로 실행한다면 다른 결과를 보였을 것이다. 향후에는 장기간의 초음파 피드백 교육 훈련에 따른 효과를 규명할 수 있는 연구도 필요할 것으로 보인다.

본 연구의 대조군과 비슷한 조건에서 실험한 Mew(2009)의 연구 대상자들(28명)과 비교하여 볼 때, 본 연구의 실험군에 외복사근 두께는 3%감소한데 비해 약 16%정도 증가하였으며, 골반저근의 수축 없이 전통적인 복부 할로잉 운동을 실시한 Park(2010b)의 연구 대상자(20명)도 누운 자세에서 약 8%정도 외복사근의 두께가 증가하였다. 피드백 없이 복부 할로잉 운동을 실시한 Park과 Lee(2010)의 근전도 연구와 비교하여도, 누운 자세에서 약 31%의 대상자만이 외복사근의 활동을 최소화하여 복횡근의 선택적 수축을 할 수 있었지만, 본 연구의 실험군은 약 73%의 대상자(11/15명)가 휴식 상태에 비해 복부 할로잉 운동을 실시하는 동안 0.03mm이하의 외복사근 두께 변화를 보였고, 전체적으로 휴식 상태보다 약 3%정도 외복사근의 두께 감소를 보이면서 복횡근의 두께는 상당히 증가하였다. 선행 연구들(Beith 등, 2001, Chanthapetch 등, 2009, Park과 Lee, 2010)은 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안 다른 복부 근육들보다 외복사근의 활동을 제거하는

것이 어렵다고 보고하였으나, 본 연구의 실험군에 적용한 실시간 초음파 피드백은 복횡근의 활동은 증가시키면서 특히 외복사근의 활동을 감소시켜 정확한 복부 할로잉 운동하는데 큰 도움을 준 것으로 사료된다. Henry와 Westervelt(2005)의 연구에서도 실시간 초음파 피드백을 적용한 그룹이 다른 피드백 그룹과 비교하여 정확한 복부 할로잉 운동을 수행하기 위한 연습 횟수가 감소하였다고 하였다. Van 등(2006)의 연구에서도 과제 수행에 따른 결과를 제공하는 피드백인 결과에 대한 지식(knowledge of result)만을 적용한 그룹보다 실시간 초음파 피드백을 준 그룹에서 운동 학습이 더 향상되었음을 보고하였다. 그리고 요통 환자들을 대상으로 실시간 초음파 피드백의 효과를 연구한 선행 연구(Hides, 등 2001)도 긍정적인 결과를 보고하였다. 4주간 실시간 초음파 피드백을 이용하여 다열근(multifidus)의 수축 운동을 실시한 실험군과 일반적인 의학적인 관리를 한 대조군 사이에 요통 재발률(recurrence)을 조사하였다. 1년 후 요통 재발률은 실험군이 대조군에 비해 약 54%정도 감소였고, 2~3년 후에 재발률도 실험군이 대조군에 비해 약 40%정도 감소였다. Herbert 등(2008)의 연구에서도 실시간 초음파 영상을 적용한 모든 그룹들이 단기간의 운동 학습 능력이 개선되었음을 보고하였다. 이런 결과들은 실시간 초음파 영상 피드백이 기술 습득을 향상시킬 수 있다는 것을 보여준다. 이처럼 누운 자세에서 복부 할로잉 운동을 실시하는 동안 실시간 초음파 영상 피드백이 상당히 효과적인 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 실시간 초음파 영상 피드백을 이용한 교육 훈련이 올바른 복부 할로잉 운동 수행에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 정상인을 대상으로 복부 할로잉 운동을 수행하는 동안 실시간 초음파 영상 피드백의 사용은 외복사근의 두께를 감소시키면서 복횡근의 두께 증가를 촉진할 수 있는 훈련 방법임이 입증되었다. 그러므로 만약 복부 근육들의 두께 변화가 복부 근육들의 활동 지표로 여겨진다면, 안정화 운동을 하는 동안 적절한 복부 근육의 수축을 촉진하기 위한 방법으로 실시간 초음파 영상 피드백을 추천한다.

참 고 문 헌

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.

Chanthapetch P, Kanlayanaphotporn R, Gaogasigam C et al. Abdominal muscle activity during abdominal hollowing in four starting positions. Man Ther. 2009;14(6):642-6.

Critchley D. Instructing pelvic floor contraction facilitates transversus abdominis thickness increase during low-abdominal hollowing. Physiother Res Int. 2002;7(2):65-75.

Ferreira PH, Ferreira ML, Hodges PW. Changes in recruitment of the abdominal muscles in people with low back pain: ultrasound measurement of muscle activity. Spine. 2004;29(22):2560-6.

Henry SM, Westervelt KC. The use of real-time ultrasound feedback in teaching abdominal hollowing exercises to healthy subjects. J Orthop Sports Phys Ther. 2005;35(6):338-45.

Herbert WJ, Heiss DG, Basso DM. Influence of feedback schedule in motor performance and learning of a lumbar multifidus muscle task using rehabilitative ultrasound imaging: a randomized clinical trial. Phys Ther. 2008;88(2):261-9.

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. 1994;19(2):165-72.

Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Use of real-time ultrasound imaging for feedback in rehabilitation. Man Ther. 1998;3(3):125-31.

Hides JA, Jull GA, Richardson CA. Long-term effects of specific stabilizing exercises for

first-episode low back pain. Spine. 2001;26(11): E243-8.

Hides J, Wilson S, Stanton W et al. An MRI investigation into the function of the transversus abdominis muscle during "drawing-in" of the abdominal wall. Spine. 2006;31(6):E175-8.

Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. Spine. 1996;21(22):2640-50.

Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. Phys Ther. 1997;77(2):132-42.

Hodges PW, Richardson CA. Transversus abdominis and the superficial abdominal muscles are controlled independently in a postural task. Neurosci Lett. 1999;265(2):91-4.

Hodges PW. Ultrasound imaging in rehabilitation: just a fad? J Orthop Sports Phys Ther. 2005;35 (6):333-7.

Mannion AF, Pulkovski N, Toma V et al. Abdominal muscle size and symmetry at rest and during abdominal hollowing exercises in healthy control subjects. J Anat. 2008;213(2):173-82.

McGill SM, Cholewicki J. Biomechanical basis for stability: and explanation to enhance clinical utility. J Orthop Sports Phys Ther. 2001;31(2): 96-100.

Mew R. Comparison of changes in abdominal muscle thickness between standing and crook lying during active abdominal hollowing using ultrasound imaging. Man Ther. 2009;14(6):690-5.

Misuri G, Colagrande S, Gorini M et al. In vivo ultrasound assessment of respiratory function of abdominal muscles in normal subjects. Eur Respir J. 1997;10(12):2861-7.

Norris CM. Functional load abdominal training: part 2. Physical Therapy in Sport. 2001;2(3):149-156.

O'Sullivan P, Twomey L, Allison G et al. Altered patterns of abdominal muscle activation in patients with chronic low back pain. Aust J Physiother. 1997;43(2):91-8.

Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. J Spinal Disord. 1992;5(4):383-9.

Park DJ, Lee HO. Activation of abdominal muscles during abdominal hollowing in four different positions. J Phys Ther Sci. 2010;22(2):203-7.

Park DJ. The Effect of real-time ultrasound imaging feedback during abdominal hollowing in four point kneeling to healthy men. J Kor Soc Phys Ther. 2010a;22(6):1-6.

Park DJ. Changes of thickness in abdominal muscles between crook lying and wall support standing during abdominal hollowing in healthy men. J Kor Soc Phys Ther. 2010b;22(6):7-12.

Rackwitz B, de Bie R, Limm H et al. Segmental stabilizing exercises and low back pain. What is the evidence? A systematic review of randomized controlled trials. Clin Rehabil. 2006; 20(7):553-67.

Raney NH, Teyhen DS, Childs JD. Observed changes in lateral abdominal muscle thickness after spinal manipulation: a case series using rehabilitative ultrasound imaging. J Orthop Sports Phys Ther. 2007;37(8):472-9.

Richardson CA, Jull GA. Muscle control-pain control. What exercises would you prescribe? Man Ther. 1995;1(1):2-10.

Richardson CA, Snijders CJ, Hides JA et al. The relation between the transversus abdominis muscles, sacroiliac joint mechanics, and low back pain. Spine. 2002;27(4):399-405.

Springer BA, Mielcarek BJ, Nesfield TK et al. Relationships among lateral abdominal muscles, gender, body mass index, and hand dominance. J Orthop Sports Phys Ther. 2006;36(5):289-297.

Stokes M, Hides J, Elliott J et al. Rehabilitative ultrasound imaging of the posterior paraspinal muscles. J Orthop Sports Phys Ther. 2007;37(10): 581-95.

Teyhen DS, Miltenberger CE, Deiters HM et al. The use of ultrasound imaging of the abdominal drawing-in maneuver in subjects with low back pain. J Orthop Sports Phys Ther. 2005;35(6):346-55.

Teyhen DS, Gill NW, Whittaker JL et al. Rehabilitative ultrasound imaging of the abdominal muscles. J Orthop Sports Phys Ther. 2007;37(8):450-66.

Urquhart DM, Hodges PW, Allen TJ et al. Abdominal muscle recruitment during a range of voluntary exercises. Man Ther. 2005;10(2):144-53.

Van K, Hides JA, Richardson CA. The use of real-time ultrasound imaging for biofeedback of lumbar multifidus muscle contraction in healthy subjects. J Orthop Sports Phys Ther. 2006;36(12):920-5.